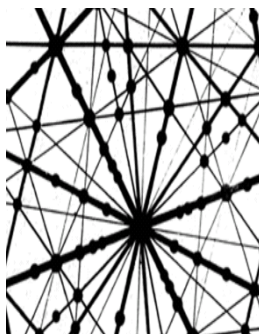


**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ
ФИЗИКИ имени Д.В. СКОБЕЛЬЦЫНА**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
XLIX международной Тулиновской
конференции
ПО ФИЗИКЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С КРИСТАЛЛАМИ

(Москва 29 мая – 31 мая 2019)



Москва 2019

УДК 539.1.01.08
ББК 22.37
Т29

Под общей редакцией:

М.И. Панасюка, Н.Г. Чеченина, Ю.А. Ермакова

Редколлегия:

А.М. Борисов, Ю.А. Ермаков, А.С. Кубанкин, В.С. Куликаускас,
Е.С. Машкова, Н.В. Новиков, В.С. Черныш, Н.Г. Чеченин

Т29 Тезисы докладов XLIX международной Тулиновской конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами / Под ред. М.И. Панасюка, Н.Г. Чеченина, Ю.А. Ермакова. – М.: «КДУ», «Университетская книга», 2019. – 218 с. – doi: 10.31453/kdu.ru.91304.0050.

ISBN 978-5-91304-894-3

Сборник содержит тезисы докладов, отобранные оргкомитетом для представления на конференции.

УДК 539.1.01.08
ББК 22.37

ISBN 978-5-91304-894-3

© МГУ имени М.В. Ломоносова, 2019
© «КДУ», 2019

ПРОГРАММА 49-й МЕЖДУНАРОДНОЙ ТУЛИНОВСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ ПО ФИЗИКЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С КРИСТАЛЛАМИ.

1-й день, вторник 28 мая

8⁰⁰-10⁰⁰ Регистрация

10⁰⁰-10²⁰ Вступительное слово. Регламент конференции

Секция I

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
УСКОРЕННЫХ ЧАСТИЦ С ВЕЩЕСТВОМ (ПРИГЛАШЕННЫЕ
ДОКЛАДЫ С ОБЗОРОМ НОВЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ В
ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ)**

Председатель Н.Г. Чеченин

<u>10²⁰-11⁰⁰ М.И. Панасюк. «Белые пятна» наших знаний о космической радиации и планирование космических миссий</u>	<u>3</u>
<u>11⁰⁰-11³⁰ А.А. Балдин. Прикладные исследования на ускорительном комплексе ЛФВЭ ОИЯИ</u>	<u>4</u>
<u>11³⁰-11⁴⁵ Э.Г. Балдина. Пространство Лобачевского в анализе релятивистских ядерных взаимодействий. Новое явление - направленное ядерное излучение</u>	<u>5</u>
<u>11⁴⁵-12⁰⁰ Н.Г. Чеченин, Н.В. Новиков, В.Я. Чуманов, Т.В. Чувильская, А.А. Широкова. Механизмы одиночных сбоев бортовой электроники протонами с высокой энергией и малыми ионизационными потерями</u>	<u>6</u>

12⁰⁰ - 12¹⁵ общее фото

12¹⁵ - 13¹⁵ Перерыв на чай и кофе

Секция II

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ С ПОВЕРХНОСТЬЮ И
НАНОСТРУКТУРАМИ (РАСПЫЛЕНИЕ, ВКЛЮЧАЯ
РАСПЫЛЕНИЕ КЛАСТЕРАМИ, ФОРМИРОВАНИЕ
ПОВЕРХНОСТНЫХ НАНОСТРУКТУР И ИХ
ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЭМИССИЯ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ)**

1-е заседание, 13¹⁵-14¹⁵Председатель В.С. Черныш

13 ¹⁵ -13 ³⁰ А.А. Никольская, Д.С. Королев, А.Н. Михайлов, А.И. Белов, А.А. Сушков, Р.И. Муртазин, Д.А. Павлов, А.А. Конаков, К.Р. Мухаматчин, Д.И. Тетельбаум. Формирование гексагональной фазы кремния при ионной имплантации в пленку SiO ₂ на Si	9
13 ³⁰ -13 ⁴⁵ Н.Н. Андрианова, А.М. Борисов, В.А. Казаков, Е.С. Машкова, М.А. Овчинников. Формирование гофрированной поверхности на углеродном волокне при высокодозном облучении ионами азота	10
13 ⁴⁵ -13 ⁰⁰ А.Ф. Ширияев, J. Hinks, S. Donnelly, N. Marks, В.Л. Буховец, А.Л. Тригуб. Имплантация благородных газов в наноалмазы: Эксперимент и моделирование	11
14 ⁰⁰ -14 ¹⁵ А.А. Сычева, Е.Н. Воронина. Моделирование воздействия на кремний ионов инертных газов низкой энергии	12

*14¹⁵ – 15¹⁵ перерыв на обед*2-е заседание, 15¹⁵ -16³⁰Председатель А.М. Борисов

15 ¹⁵ -15 ³⁰ Д.В. Широкоград, Г.В. Корнич, С.Г. Буга. Эволюция янусоподобных нанокластеров Ni-Al с кластерами аргона низких энергий	13
15 ³⁰ -15 ⁴⁵ А.И. Титов, К.В. Карабешкин, П.А. Карасев, А.Н. Стручков. Образование структурных нарушений в GaN при соимплантации легких ионов разных энергий	14
15 ⁴⁵ -16 ⁰⁰ С.В. Оболенский, А.В. Скупов. Влияние разупорядоченных областей на оптоэлектронные свойства облученных гетероструктур с наноостровками Ge/Si	15
16 ⁰⁰ -16 ¹⁵ В.Ю. Юрина, В.В. Нешименко, Ли Чундун. Оптические свойства и радиационная стойкость полых, нано- и микрочастиц Al ₂ O ₃	16
16 ¹⁵ -16 ³⁰ В.А. Загайнов, Н.П. Калашников, К.М. Ерохин, В.В. Максименко, И.Е. Аграновский, Ю.Г. Бирюков. Механизмы испарения вещества и образования наночастиц в газовой фазе	17

16³⁰-18 обсуждение стендовых докладовУэжинСтендовые доклады

1.	К.В.Крайнов, В.Е.Пух, А.Л. Шахмин, П.А.Карасёв. Влияние азота на углеродные пленки	18
2.	Ю.А. Ермаков, Д.С. Киреев, А.Е. Иешкин. Прохождение пучка кластерных ионов через атмосферу остаточных газов	19
3.	А.Е. Иешкин, Б.Р. Сенатулин, Д.С. Киреев, В.С. Черныш. Формирование поверхностного рельефа на сплавах под действием пучка кластерных ионов	20
4.	С.М. Пестов, В.В. Григоров, Б.Р. Сенатулин, А.Е. Иешкин, А.А. Татаринцев, И.П. Иваненко, М. Рябцев В.С. Черныш. Кластерные технологии обработки титана для медицинских имплантов	21
5.	Ю.В. Балакшин, А.В. Кожемяко, Г.В. Бабайцев, А.В. Назаров, А.А. Шемухин, В.С. Черныш, А.П. Евсеев, Д.К. Миннебаев. Сравнение комбинационного рассеяния света и резерфордского обратного рассеяния на примере дефектообразования в кремнии	22
6.	Ю.В. Балакшин, А.В. Кожемяко, Г.В. Бабайцев, А.В. Назаров, А.А. Шемухин, В.С. Черныш, А.П. Евсеев, Д.К. Миннебаев. Сравнение потенциалов ион-атомного взаимодействия на примере рассеяния легких ионов от тонких пленок тантала	23
7.	А.Д. Завильгельский, А.В. Назаров. Моделирование последовательных соударений газовых кластерных ионов аргона с поверхностью молибдена	24
8.	А.И. Мусин, Г.В. Корнич В.Н. Самойлов. Молекулярно-динамическое моделирование взаимодействия ионов Ag низкой энергии с поверхностью грани (001) Ni	25
9.	А.И. Мусин, В.Н. Самойлов. Об изменении фокусировки распыленных атомов с увеличением атомного номера вещества мишени	26
10.	В.Н. Самойлов, А.И. Мусин. Эволюция энергоспектров эмитированных атомов с изменением атомного номера вещества мишени	27
11.	А.Ш. Раджабов, А.С. Халматов. О возможности исследования кинетики термодесорбции и сублимации частиц веществ методом термодесорбционной поверхностно-ионизационной спектрометрии	28
12.	А.Ш. Раджабов, У.Х. Расулев. Исследование пороговой области поверхностной ионизации молекул органических соединений методом термодесорбционной поверхностно-ионизационной спектрометрии	29
13.	А.Ш. Раджабов, Д.Т. Усманов. О закономерностях пороговых температур поверхностной ионизации молекул органических соединений	30

14.	А.Ш. Раджабов, У.Х. Расулев. Определение характеристического времени гетерогенных реакции диссоциации молекул методом термодесорбционной поверхностно-ионизационной спектрометрии	31
15.	А.Ш. Раджабов, А.С. Халматов. О закономерностях кинетики гетерогенных процессов в термодесорбционной поверхностно-ионизационной спектрометрии	32
16.	С.Б.Донаев, Б.Е. Умирзаков, А.К.Ташатов. Электронные свойства наноразмерных структур, Si созданных на поверхности CaF ₂	33
17.	С.Б.Донаев, Б.Е.Умирзаков. Эмиссионные свойства сплава Pd–Ba, активированного лазерным облучением	34
18.	Б.Л. Оксенгендлер, Н.Р. Ашуров, С.Е. Максимов, Ж.Т. Азимов, В.Ю. Соколов, О.В. Карпова. Радиационно-стимулированная деградация перовскитных солнечных ячеек с участием атомов йода	35
19.	Ш.Дж. Ахунов, С.Н. Морозов, У.Х. Расулев. Угловая зависимость вторично ионной эмиссии монокристалла GaAs при бомбардировке кластерными ионами Vi_m^+	36
20.	Ш.Дж. Ахунов, С.Н. Морозов, У.Х. Расулев. Источники ионов металлфталоцианнина меди	37
21.	Д.А. Ташмухамедова, А.К. Ташатов, Н. Мустафаева, А.А. Абдуваитов, М.Т. Нормурадов. Получение многослойной наносистемы Si/NiSi ₂ /Si (111)	38
22.	Г.Х. Аллаярова, Ж.Ш. Содикжанов, Р.М. Ёркулов, А.У. Хужаниязова, Д.А. Ташмухамедова. Влияние имплантации ионов Ba ⁺ на состав и электронные свойства Mo и MoO ₃	39
23.	Б.Е. Умирзаков, Х.Х. Болтаев, Д.М. Мурадкалилов, С.Т. Гулямова, Д.А. Ташмухамедова. Кристаллическая и электронная структура поверхности нанопленок силицидов металлов	40
24.	Д.Т. Усманов, Ш.Дж. Ахунов, Б.Ш. Касимов. Последовательная электроспрейная ионизация пептидов при высоком вакууме	41
25.	У.Б. Шаропов, Б.Г. Атабаев, Р. Джаббарганов, И. Мирзахмедов, Ф. Худайкулов, Ш. Абдукаримов. Влияние электронного облучения на окисление поверхности кристаллов кремния	42
26.	У.Б. Шаропов, Б.Г. Атабаев, Р. Джаббарганов, И. Мирзахмедов, Ф. Худайкулов, Ш. Абдукаримов. Миграция междоузельных дефектов углерода и кислорода на поверхности кристаллов кремния	43
27.	И.Д. Ядгаров, В.Г. Стельмах, А.А. Джухалов, Х.И. Жаббаров. Моделирование проникновения атомов аргона внутрь фуллерена-60 и фуллерена-70	44
28.	Ё.С. Эргашов, Б.Е. Умирзаков. Оценка положения максимумов плотности свободных электронов состоянии в пленке CdTe	45
29.	В.Н. Черник, Л.С. Новиков, Е.Н. Воронина, А.В. Кононенко, О.А. Серенко, У.С. Андропова. Воздействие потока кислородной плазмы на наноструктурные полиимидные композиты	46

30.	К.А. Вохмянина, В.С. Сотникова, А.А. Каплий, А.С. Кубанкин. Возможность управления электронами с энергией 10 кэВ с помощью нанокэпилляров в пленке ПЭТ	47
31.	М.В. Здоровец, А.Л. Козловский. Исследование влияния ионизирующего излучения на структурные характеристики p^+ наноструктур	48
32.	Г.А. Вершинин, А.А. Куликов. Моделирование формирования градиентных структур при ионно-лучевом перемешивании атомов металлических слоистых систем	49
33.	А.А. Лазарева, А.Я. Виноградов, К.В. Карабешкин, А.И. Титов, П.А. Карасёв. Влияние облучения ионами на структуру алмазоподобных пленок	50
34.	Э.Г. Никонов, М. Поповичова. Математическое исследование паропроницаемости поверхностного слоя вещества с однородной пористой структурой	51
35.	Emad M. Elsehly, N.G. Chechenin, H.A. Motaweh. He ion irradiation induced effects in cnt-based filters	52
36.	Д.А. Сафонов, Е.Л. Корневский, Н.В. Волков. Модифицирование поверхности материалов радиальными пучками ионов Ag^+ и Xe^+ с широким энергетическим спектром	53
37.	Н.В. Максютя, В.И. Высоцкий, С.В. Ефименко, Е.В. Мартыш, Д.Н. Максютя, А.С. Сабиров. Исследование диссипативных процессов при каналировании инертных атомов в нехиральных углеродных нанотрубках	54
38.	В.В. Углов, Г. Абади, С.В. Злоцкий, И.А. Солодухин, А.А. Малашевич. Блистерообразование в пленках нитридов циркония, алюминия и хрома, облученных ионами гелия	55
39.	И.А. Солодухин, Г. Абади, В.В. Углов, С.В. Злоцкий, А.А. Малашевич. Стойкость к высокотемпературному окислению многослойных покрытий ZrN/SiN_x и CrN/SiN_x , сформированных магнетронным распылением	56
40.	В.В. Сироткин. Молекулярно-динамическое моделирование взаимодействия аргоновых кластеров с поверхностью титана	57
41.	В.В. Сироткин. Молекулярно-динамическое исследование взаимодействия ускоренных атомов аргона с поверхностью полиэфирэфиркетона	58
42.	В.И. Кристя, Мьо Ти Ха. Расчет характеристик слаботоочного газового разряда при наличии диэлектрической пленки на поверхности катода	59
44.	Д.О. Савичкин, М.Р. Фишер, В.И. Кристя. Моделирование энергетических спектров ионов и атомов у поверхности катода с диэлектрической пленкой и его распыления в газовом разряде в смеси аргон-ртуть	60

45.	М.Н. Бабикина, В.Н. Кудияров, Т.Л. Мурашкина, Р.С. Лаптев, М.С. Сыртанов, А.В. Курочкин. Исследование процессов сорбции-десорбции водорода титановым сплавом ВТ1-0 и циркониевым сплавом Э110	61
46.	А.Н. Дудин, В.В. Нещименко, В.Ю. Юрина. Радиационные дефекты в полых частицах ZnO, индуцированные воздействием низкоэнергетических протонов	62
47.	А.Н. Дудин, В.В. Нещименко. Моделирование воздействия протонов на полые частицы оксида цинка	63
48.	Д.В. Андреев, Г.Г. Бондаренко, В.В. Андреев, В.М. Масловский, А.А. Столяров. Зарядовые явления в диэлектрических пленках мдп-структур при одновременном воздействии радиационных излучений и сильнополевой инжекции электронов	64
49.	В.В. Андреев, Д.М. Ахмелкин. Исследование влияния инжекционно- и радиационно-термических обработок на характеристики тонких диэлектрических пленок МДП-структур	65
50.	А.М. Борисов, В.А. Казаков, Е.С. Машкова, М.А. Овчинников, Е.А. Питиримова. Влияние сорта ионов на динамический отжиг ионно-индуцированных радиационных нарушений в алмазе	66
51.	А. И. Толмачев, Л. Форлано. Зависимость энергетического распределения отраженных ионов от вида атомного потенциала....	67
52.	А.И. Кудюкин, М.Н. Махмудов, Е.Н. Моос, В.А. Степанов. Анализ распыленных и осажденных частиц при производстве вакуумных дугогазительных камер квадрупольными системами	68
53.	Б. Батгэрэл, И.В. Пузынин, Т.П. Пузынина, И.Г. Христов, Р.Д. Христова, З.К. Тухлиев, З.А. Шарипов. Моделирование процессов взаимодействия нанокластеров меди с энергией 100 эВ-10 кэВ с металлами	69
54.	Yu. Kudriavtsev, I. Guerrero, R.Asozoza. Secondary ion emission in thermal spike regime of ion beam sputtering	70
55.	В.П. Афанасьев, Д.А. Бурмистров., А.С. Грязев, П.С. Капля, D. Naujoks, M. Mayer, О.Ю. Ридзель, M. Sauer. Анализ поверхностных слоев углеводородных образцов методом электронного RBS	71
56.	Е.В. Дуда, Г.В. Корнич. Использование методов ускоренной молекулярной динамики для моделирования диффузии вакансии	72
57.	С.Ж. Ниматов, Б.Е. Умирзаков, Ф.Я. Худайкулов. Метод дифракции электронов средних энергий для контроля структуры приповерхностных слоев	73
58.	Н.В. Ткаченко, В.Г. Востриков, А.И. Каменских. Разработка методик на основе спектрометрии ядерного обратного рассеяния для анализа водородосодержащих материалов	74
59.	О. Д. Дальгаров, М. А. Негодасв, А. С. Русецкий, М.А. Кирсанов, А.С. Чепурнов. Прохождение быстрых нейтронов через кристаллические структуры текстурированного CVD-алмаза	75

2-й день, 29 мая Секция III

**ФИЗИКА ПРОХОЖДЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО (МНОГОКРАТНОЕ РАССЕЯНИЕ,
ОРИЕНТАЦИОННЫЕ И РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ЭФФЕКТЫ,
ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ, ИЗМЕНЕНИЕ ЗАРЯДОВОГО
СОСТОЯНИЯ ЧАСТИЦ, ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И
ПОЗИТРОНОВ И Т.П., ГЕНЕРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ)**

10⁰⁰-11¹⁵, 1-е заседаниеПредседатель Н.В. Новиков

10 ⁰⁰ -10 ¹⁵ A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, R.M. Nazhmudinov, S.V. Trofymenko, A.P. Potylitsyn, A.S. Gogolev, N.A. Filatov, G. Kube, N.A. Potylitsina-Kube, M. Stanitzki, R. Diener, A. Novokshonov. Measuring spectra of transition radiation produced by 2.8 GeV electrons in a multilayer aluminum target and diffracted in a silicon crystal	79
10 ¹⁵ -10 ³⁰ И.Е. Внуков, Ю.А. Гопонов, С.А. Лактионова, Р.А. Шатохин, К. Sumitani, Y. Takabayashi. Новая методика измерений поперечных размеров пучка электронов для условий ЛСЭ	80
10 ³⁰ -10 ⁴⁵ М.В. Шевелев, Б.А. Алексеев, А.В. Вуколов, А.П. Потылицын. Диагностика расходимости электронного пучка по оптическому излучению Вавилова-Черенкова	81
10 ⁴⁵ -11 ⁰ С. В. Блажевич, М.В. Бронникова, А.В. Носков. Индикация расходимости пучка ультрарелятивистских электронов по угловому распределению дифрагированного переходного излучения	82
11 ⁰⁰ -11 ¹⁵ А.В. Щагин. Дифрагировавшее переходное излучение релятивистских частиц для питания кристаллического рентгеновского резонатора	83

11¹⁵ -11³⁰ перерыв на чай, кофе11³⁰-12³⁰, 2-е заседаниеПредседатель А.С. Кубанкин

11 ³⁰ -11 ⁴⁵ С.В. Трофименко. Ионизационные потери энергии короткоживущих частиц	84
11 ⁴⁵ -12 ⁰⁰ O.V. Bogdanov, Yu.L. Pivovarov, T.A. Tukhfatullin, H. Geissel, N. Kuzminchuk-Feuerstein, S. Purushothaman, C. Scheidenberger. Half-wave-crystal channeling of relativistic heavy ions at SUPER-FRS GSI/FAIR	85

VIII

12 ⁰⁰ -12 ¹⁵ Y. Takabayashi, Yu. L. Pivovarov, T. A. Tukhfatullin. Scattering of sub-GeV electrons in ultrathin si crystal at planar alignment and its relevance to crystal-assisted 1D rainbow scattering	86
12 ¹⁵ -12 ³⁰ В.С. Малышевский, Г.В. Фомин. Динамическое взаимодействие атомов азота с поверхностью кристалла алюминия	87

12⁴⁵-14⁰⁰. 3-е заседание

Председатель В.С. Малышевский

12 ⁴⁵ -13 ⁰⁰ В.И. Высоцкий, М.В.Высоцкий, Н.В.Максюта. Аномальные особенности каналирования модулированного электронного пучка в кристаллах и наноканалиях	88
13 ⁰⁰ -13 ¹⁵ Г.М. Филиппов, А.С. Сабиров, В.А. Александров, А.В. Степанов. Движение волн и частиц в пористых структурах	89
13 ¹⁵ -13 ³⁰ Д.А. Раманова, А.В. Степанов, В.А. Александров, Г.М. Филиппов. Влияние магнитного поля на кластеризацию дисперсного топлива	90
13 ⁴⁵ -14 ⁰⁰ Н.В. Новиков, Н.Г. Чеченин, Т.В. Чувильская, В.Я. Чуманов, А.А. Широкова. Влияние фрагментов ядерной реакции на сбой электроники при приходе быстрых протонов через кремний	91

14⁰⁰ – 15⁰⁰ *Перерыв на обед*

10⁰⁰-14⁰⁰ *Обсуждение стендовых докладов*

Стендовые доклады

1. О.О. Ивашук, А.В. Щагин, А.С. Кубанкин, А.С. Чепурнов, В.Ю. Иониди, И.С. Никулин. Пьезоэлектрический кварцевый источник рентгеновского излучения	92
2. O.D. Dalkarov, M.A. Negodaev, A.S. Rusetskii, A.P. Chubenko, Yu.L. Pivovarov, T.A. Tukhfatullin. Flux peaking role in dd reaction yield initiated by channeled deuterons in deuterated PD target	93
3. A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, R.M. Nazhmudinov, S.V. Trofymenko, A.P. Potylitsyn, A.S. Gogolev, N.A. Filatov, G. Kube, N.A. Potylitsina-Kube, M. Stanitzki, R. Diener, A. Novokshonov. Measurement of 1 GeV electrons energy loss using an electrically cooled CdTe detector at DESY	94
4. С.В. Абдрашитов, О.В. Богданов, П.О. Казинский, Т.А. Тухфатуллин. Орбитальный угловой момент излучения 255 МэВ электронов при каналировании в тонких кристаллах	95
5. С.В. Абдрашитов, С.Б. Дабагов, Ю.П. Кунашенко, Ю.Л. Пивоваров. Полный выход и энергетические спектры позитронов, генерируемых когерентным тормозным излучением электронов с энергиями 10 – 50 МэВ	96

6.	С. В. Блажевич, Ю.А. Дрыгина, Д.О. Шкуропат, А.В. Носков. Когерентное рентгеновское излучение, генерируемое пучком релятивистских электронов в периодической слоистой среде в направлении оси пучка	97
7.	С. В. Блажевич, В.А. Бандаренко, Р.А. Загороднюк, О.Ю. Шевчук, Д.О. Шкуропат, А.В. Носков. Параметрическое рентгеновское излучение, возбуждаемое пучком релятивистских электронов в периодической слоистой среде в геометрии рассеяния Брэгга	98
8.	И.Е. Внуков, Ю.А. Гопонов, С.А. Лактионова, М.А. Сиднин, Р.А. Шатохин. Влияние разворота поверхности кристалла на выход дифрагированного переходного излучения	99
9.	Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова. Изменение потерь энергии тяжелых ионов при торможении в углероде	100
10.	Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова. Оценка максимума потерь энергии тяжелых ионов	101
11.	Н.В. Новиков, Я.А. Теплова. Описание статистического разброса изменений энергии тяжелых ионов после прохождения тонкой мишени	102
12.	Н.В. Новиков, Н.Г. Чеченин. Распределение поглощенной энергии при прохождении быстрых протонов через кремний	103
13.	Д.С. Мелузова, П.Ю. Бабенко, А.П. Шергин, А.Н. Зиновьев. Пробеги атомов водорода, дейтерия, гелия в аморфном кремнии и вольфраме	104
14.	Д.С. Мелузова, П.Ю. Бабенко, А.П. Шергин, К. Нордлунд, А.Н. Зиновьев. Отражение атомов водорода и дейтерия от поверхности бериллия, углерода и вольфрама	105
15.	Д.С. Мелузова, П.Ю. Бабенко, А.П. Шергин, А.Н. Зиновьев. Рассеяние и пробеги ионов дейтерия в кристаллическом вольфраме	106
16.	О.О. Иващук, А.В. Шагин, А.С. Кубанкин, А.С. Чепурнов. Импульсный пироэлектрический ускоритель	107
17.	А.В. Шагин, О.О. Иващук, А.С. Кубанкин, А.С. Чепурнов. Малогабаритный пироэлектрический источник рентгеновского излучения	108
18.	А.В. Шагин, О.О. Иващук, А.С. Кубанкин, А.С. Чепурнов. Миниатюрный пироэлектрический ускоритель и источник рентгеновского излучения	109
19.	А.В. Шагин, О.О. Иващук, А.С. Кубанкин, А.С. Чепурнов. Пироэлектрический ускоритель, работающий в импульсном режиме	110
20.	А.В. Шагин, В.С. Мирошник, В.И. Волков, А.С. Кубанкин, О.О. Иващук, А.С. Чепурнов. Керамический пьезоэлектрический трансформатор для генерации рентгеновского излучения в вакууме	111

X

21. А.В. Щагин, В.С. Мирошник, В.И. Волков, А.С. Кубанкин, О.О. Иващук, А.С. Чепурнов. Генерация рентгеновского излучения при работе пьезоэлектрического трансформатора в вакууме	112
22. О.О. Иващук, А.В. Щагин, А.С. Кубанкин, А.С. Чепурнов, В.Ю. Иониди, И.С. Никулин. Пьезоэлектрический кварцовый ускоритель	113
23. С.Р. Углов, А.В. Вуколов. Наблюдение рентгеновского эффекта Черенкова в излучении электронов 5.7 МэВ в Ве и Si	114
24. O.D. Dalkarov, M.A. Negodaev, A.S. Rusetskii, A.P. Chubenko, Yu.L. Pivovarov, T.A. Tukhfatullin. Flux peaking role in dd reaction yield initiated by channeled deuterons in deuterated pd target	115
25. А.Л. Сибирев, М.Н. Шипко, М.А. Степович, А.А. Вирус, М.В. Акулова, А.Н. Стрельников. Использование каналирования киловольтных электронов для изучения водных растворов портландцемента	116
26. В.Я. Эпп, Ю.Г. Янц. Момент импульса и спектрально-фазовая структура излучения спирального ондулятора	117
27. Н.В. Максютя, В.И. Высоцкий, С.В. Ефименко, В.В. Сыщенко, А.И. Тарновский, А.Ю. Исупов. Расчет зонного спектра при каналировании слабoreлятивистских электронов вдоль главных осей в кристаллах со структурой цинковой обманки	118
28. В.П. Кошечев, Ю.Н. Штанов. Потенциальная энергия взаимодействия атома аргона с аргоном	119
29. С.В. Трофименко, Н.Ф. Шульга. Когерентный эффект в ионизационных потерях банча электронов высокой энергии	120
30. Н.Н. Михеев. Угловое распределение пучка заряженных частиц при многократном рассеянии в веществе	121
31. А.В. Павлов, А.В. Король, В.К. Иванов, А.В. Соловьев. Каналирование электронов и позитронов в периодически изогнутых кристаллах алмаза	122
32. Е.В. Серегина, В.В. Калманович, М.А. Степович. О моделировании распределений неосновных носителей заряда, генерированных широким электронным пучком в многослойных планарных полупроводниковых структурах	123
33. М.А. Степович, А.Л. Сибирев, М.Н. Шипко, О.М. Масленникова, Н.В. Усольцева. Об ориентационных эффектах, обусловленных каналированием киловольтных электронов в упорядоченных коллоидных растворах	124
35. В.И. Алексеев, А.Н. Елисеев, Э.Ф. Иррибарра, И.А. Кишин, А.С. Ключев, А. С. Кубанкин, Р.М. Нажмудинов. Параметрическое рентгеновское излучение в порошках	125

36.	R.M. Nazhmudinov, S.V. Trofymenko, A.V. Shchagin, N.F. Shul'ga, A.S. Kubankin, A.P. Potylitsyn, A.S. Gogolev, N.A. Filatov, G. Kube, N.A. Potylitsina-Kube, M. Stanitzki, R. Diener, A. Novokshonov. Formation region effects in X-ray emission by 1-6 GeV electrons	126
37.	В.М. Быстрицкий, М. Филипович, Г.Н. Дудкин, С.И. Кузнецов, Ю.Л. Пивоваров, Т.А. Тухфатуллин. Влияние эффекта каналирования дейтронов с энергией 16-34 кэВ на усиление реакции $D(^3\text{He}, p)^4\text{He}$ в кристалле ZrD	127
38.	А.В. Щагин. Кремниевые детекторы с плавно управляемой толщиной в космическом телескопе заряженных частиц	128
39.	В.К. Егоров, Е.В. Егоров. Волноводно-резонансное распространение радиационных потоков как возможная основа механизма протекания низкотемпературного ядерного синтеза	129
40.	В.В. Сыщенко, А.И. Тарновский, А.Ю. Исупов, И.И. Соловьев. Структура областей регулярного движения в фазовом пространстве каналированных электронов	130
41.	В.С. Малышевский, Г.В. Фомин, М.В.Булгакова. Рентгеновское черенковское излучение в поглощающей среде конечных размеров	131
42.	Н.П. Калашников, А.С. Ольчак. Конверсия энергии ультрарелятивистского электрона в жесткие гамма-кванты при взаимодействии с периодическими неоднородностями потенциала кристаллических осей или плоскостей	132
43.	Н.П. Калашников, А.С. Ольчак. Фоторекомбинация каналированного ультрарелятивистского электрона	133
44.	В.И. Высоцкий, М.В. Высоцкий. Особенности продольно-поперечной эволюции каналируемых частиц в пределах каждого кристаллического канала	134

Секция 4**МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИОННЫМИ И ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ (ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ И РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ЭФФЕКТЫ, ДИАГНОСТИКА).****15⁰⁰-16³⁰. 1-е заседание****Председатель И.И.Ташлыкова-Бушкевич**

15 ⁰⁰ -15 ¹⁵ В.А. Андрианов К.А. Бедельбекова, А.Н. Озерной, М.Ф. Верещак, И.А. Манакова, А.С.Дегтярёва. Мессбауэровские исследования имплантации Fe-57 в металлический Та	139
15 ¹⁵ -15 ³⁰ И.К. Аверкиев, О.Р. Бакиева, А.А. Колотов Ф.З. Гильмутдинов. Исследование химического состава, структуры и электрохимических свойств железа после облучения ионами O ⁺ и Ag ⁺	140
15 ³⁰ -15 ⁴⁵ Т.В. Панова, В.С. Ковивчак, С.А. Панов. Структурная модификация цинка под действием мощного ионного пучка	141
15 ⁴⁵ -16 ⁰⁰ О.Г. Бобрович, С.М. Барайшук. Морфология и свойства поверхности сплава AMg2M, модифицированного осаждением Mo, Ti в условиях ионного ассистирования	142
16 ⁰⁰ -16 ¹⁵ Д.С. Королев, А.Н. Терещенко, А.А. Никольская, А.Н. Михайлов, А.И. Белов, Д.И. Тетельбаум. Исследование дислокационной фотолюминесценции в кремнии при вариации параметров ионного синтеза	143
16 ¹⁵ -16 ³⁰ В.П. Афанасьев, Ю.Н. Болиско, Д.А. Бурмистров, Д.Е. Грабовский, А.С. Грязев, П.С. Капля. Измерение послыонного состава бериллия, имплантированного дейтерием, методами электронной спектроскопии	144

XIII

16³⁰ – 16⁴⁵ перерыв на чай, кофе

16⁴⁵ - 18⁰⁰, 2-е заседание

Председатель П.А. Карасёв

16 ⁴⁵ -17 ⁰⁰ Е.В. Окулич, Д.И.Тетельбаум, В.И. Окулич. Накопление дефектов и аморфизация при ионном облучении кремния	145
17 ⁰⁰ -17 ¹⁵ А.Л. Козловский, Т.М. Гладких, М.В. Здоровец. Процессы дефектообразования в AlN в результате облучения ионами He ²	146
17 ¹⁵ -17 ³⁰ А.В. Кабышев, Ф.В. Конусов, В.В. Сохорева, С.К. Павлов, В.А. Тарбоков, Г.Е. Ремнев. Влияние облучения высокоэнергетическими ионами гелия на оптические свойства многослойных покрытий из нитридов алюминия и кремния	147
17 ³⁰ -17 ⁴⁵ М.А. Ильницкий, А.В. Шереметьев, В.А. Антонов, В.П. Попов. Инженерия дефектов при водородном переносе слоев кремния	148
17 ⁴⁵ -18 ⁰⁰ А.И. Титов, К.В. Карабешкин, П.А. Карасев, А.И. Стручков. Накопление структурных нарушений при облучении GaN ионами фтора и неона	149

Экскурсия по лабораториям ОФАЯ НИИЯФ или МГУ 18¹⁵

30 мая, четверг, 10⁰⁰ - 11³⁰**Секция 4, 3-е заседание****Председатель А.А. Шемухин**

10 ⁰⁰ -10 ¹⁵ Ю.А. Данилов, Ю.А. Дудин, Р.Н. Крюков, В.П. Лесников, А.Е. Парафин, Е.А. Питиримова. Изменение свойств углеродных нанослоев с помощью ионного и лазерного облучения	150
10 ¹⁵ -10 ³⁰ К.В.Крайнов, В.Е.Пуха, А.Л.Шахмин, П.А.Карасёв, И.И. Ходос, Е.Н. Кабачков, Ю.А. Добровольский. Структура и свойства пленок, осажденных из ускоренных ионов C ₆₀ в атмосфере азота	151
10 ³⁰ -10 ⁴⁵ В.В. Поплавский, А.В. Дорожок, Ф.Ф. Комаров, В.В. Пилько. Исследование каталитических слоев, формируемых ионно-ассистированным осаждением гадолиния и платины на углеродные подложки, с применением спектроскопии резерфордского рассеяния	152
10 ⁴⁵ -11 ⁰⁰ В.С. Ковивчак. Влияние каталитической добавки на формирование слоев углеродных нановолокон на поверхности хлорполимеров при воздействии мощного ионного пучка	
В.С. Ковивчак, А.Б. Арбузов, М.В. Тренихин. Влияние термообработки хлорполимера на формирование слоев углеродных нановолокон на его поверхности при воздействии мощного ионного пучка (объединённый доклад)	153
11 ⁰⁰ -11 ¹⁵ В.В. Привезенцев, А.Н. Палагушкин, Д.А. Киселев, В.С. Куликаускас, Т.С. Ильина, О.С. Зилова, А.А. Бурмистров, А.Н. Терещенко. Формирование наночастиц в кварце, имплантированном цинком и отожженном в кислороде	154
11 ¹⁵ -11 ³⁰ Л.Ю. Немирович—Данченко, Л.А. Святкин, И.П. Чернов. Модификация атомной и электронной структур палладия при воздействии водорода: расчеты из первых принципов	155

*11³⁰-11⁴⁵ перерыв на чай, кофе**11⁴⁵ – 13⁰⁰ Обсуждение стендовых докладов**12³⁰ – 13⁰⁰ Собрание программного и организационного комитетов**13⁰⁰ – 13³⁰ Дискуссия. Награждение победителей. Заключительное слово***Стендовые доклады**

1. В.А. Андрианов, А.Н. Озерной, М.Ф. Верещак, К.А. Бедельбекова, И.А. Манакова, А.С.Дегтярёва. Ионно-индуцированные структурно-фазовые превращения в нержавеющей стали 12Х18Н10Т 156
2. В.В.Козловский, А.А.Лебедев. Использование протонных пучков МэВ-ных энергий для инженерии радиационных дефектов в n-SiC 157

3.	Yu. Kudriavtsev, C.Salinas, A.Hernandez, R.Asozoza. Porous semiconductors formation by low energy ion implantation	158
4.	A.I. Kudykin, M.N. Makhmudov, E.N. Moos, V.A. Stepanov. On arc vacuum discharge modification surface	159
5.	О.А. Подсвилов, А.И. Сидоров, А.И. Немцев, Д.А. Назарова. Спектроскопия комбинационного рассеяния радиационных дефектов кварцевого стекла, сформированных электронным облучением	160
43.	В.И. Бачурин, Н.С. Мелесов, Е.О. Паршин, Д.Э. Пухов, А.С. Рудый, С.Г. Симакин, А.Б. Чурилов. Исследование приповерхностного слоя кремния, облученного фокусированным ионным пучком галлия	161
6.	К.В. Феклистов, А.И. Якимов, В.П. Попов, Е.О. Паршин, Н.С. Мелесов, В.И. Бачурин. Формирование оптически активных центров с атомами эрбия в имплантированных ионами слоях кремния	162
7.	Е.А. Дурман, П.Н.Крылов, Р.М. Закирова, И.В. Федотова. Влияние ионно-лучевой обработки в процессе магнетронного распыления на свойства плёнок оксидов олова, цинка и ИТО	163
8.	П.Н. Крылов, Е.А. Дурман, Р.М. Закирова, А.С. Соломенникова, И.В. Федотова. Влияние ионно-лучевой обработки в процессе магнетронного распыления на деградацию свойств плёнок оксидов олова	164
9.	И.А. Бушкевич, Е. Wendler, В.Г. Шепелевич. Анализ микроструктуры быстрозатвердевшего авиационного сплава 1421 системы Al-Mg-Li ионными и электронными пучками	165
10.	А.А. Ерискин, А.П. Кобзев, В.Н. Колокольцев, П.В. Силин, В.Я. Никулин. Профиль распределения и элементный состав медных пленок, напыленных на поверхность металлов Fe, V, Ti на установке плазменный фокус	166
11.	А.Л. Козловский, М.В. Здоровец. Структура и коррозионные свойства тонких пленок TiO ₂	167
12.	А.В. Курочкин, Е.Б. Кашкаров, А.И. Рябчиков, М.Н. Бабилина. Формирование глубоких модифицированных слоев методом низкоэнергетичной высокоинтенсивной имплантации ионов титана в сплав циркония	168
13.	И.П. Мишин, Е.Н. Степанова, Г.П. Грабовецкая, Р.С. Лаптев. Структура и дефекты приповерхностного слоя сплавов системы Zr-Nb-H, формируемого облучением импульсным электронным пучком	169
14.	Б.Е. Умирзаков, Д.А. Ташмухамедова, Ё.С. Эргашов, Д.А. Мирзаев, Б.В. Ибрагимова, С.Б. Оромидинов. Электронные свойства наноструктур созданных на поверхности и приповерхностном слое полупроводниковых материалов	170

15.	Б.Е. Умирзаков, М.К. Рузibaева, З.А. Исаханов, Ш.И. Хамрокулов, Р. Курбонов. Влияние бомбардировки ионами Ag^+ на спектр характеристических потерь энергии электронами пленок $SiO_2(111)$	171
16.	З.А. Исаханов, М.К. Рузibaева, Ш.И. Хамрокулов, Р.М. Ёркулов, Р. Курбонов, С.Б. Оромиддинов. Влияние имплантации ионов кислорода на состав и структуры свободной нанопленочной системы Si/Cu	172
17.	У.Б. Шаропов, Б.Г. Атабаев, Р. Джаббарганов, И. Мирзахмедов, Ф. Худайкулов, В.Стельмах. Поверхности кристаллов кремния при распылении ионами	173
18.	Б.Е. Умирзаков. Теоретическое рассмотрение влияния ионной имплантации на спектр валентных электронов твердых тел.....	174
19.	М.Б. Юсупжанова, Д.А. Ташмухамедова, М.А. Мирджалилова, Э.А. Раббимов, Б.Е. Умирзаков. Состав и свойства системы MgO/Mg	175
20.	В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, И.Х. Худойкулов, Б.Р. Кахрамонов. К вопросу плазменной вакуумно дуговой обработки металлических изделий	176
21.	В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, И.Х. Худойкулов, Б.Р. Кахрамонов. Влияние воздействия ионов катодной плазмы вакуумной дуги на температуру обрабатываемой поверхности	177
22.	В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, И.Х. Худойкулов, Б.Кахрамонов. Активация поверхности изделий воздействием зарядовой компоненты плазмы тлеющего разряда	178
23.	Х.Б. Ашуров, Ш. Кучканов, С.Ж. Ниматов, С.Е. Максимов. Топография поверхности пленок кремния на кремний и пленок твердых растворов SiGe, полученных высоковакуумным напылением	179
24.	Д.А. Сафонов, А.С. Яшин, Н.В. Волков, Б.А. Калинин, А.А. Зимин, Е.Л. Корневский. Влияние состояния ионномодифицированной внешней поверхности трубок сплава Zr-1%Nb на структуру магнетронно-напыленных металлических пленок Cr, Fe и Ni	180
25.	И.А. Солодухин, Г. Абади, В.В. Углов, С.В. Злоцкий, А.А. Малашевич. Стойкость к высокотемпературному окислению многослойных покрытий ZrN/SiN_x и CrN/SiN_x , сформированных магнетронным распылением	181
26.	И.И. Ташлыкova-Бушкевич, E. Wendler, J. Baik, H.-J. Shin, В.Г. Шепелевич. Анализ структуры быстрозатвердевших сплавов Al-Ti и Al-V методами резерфордовского обратного рассеяния и сканирующей фотоэлектронной спектроскопии	182
27.	И.И.Ташлыкova-Бушкевич, Ю.С. Яковенко, Д.В. Суходольский, Д.Р. Гагуа. Влияние структуры подложки на микротопографию тонких пленок сплавов Al-Me (Me=Mn; Ni)	183
28.	В.П. Афанасьев, Г.С. Бочаров, А.С. Грязев, А.В. Елецкий, П.С. Капля, О.Ю. Ридзель. Анализ термически восстановленного оксида графена методами РФЭС спектроскопии	184

-
- | | | |
|-----|--|-----|
| 29. | И.Е. Тысченко, М. Voelskow, А.Н. Михайлов, Д.И. Тетельбаум. Перераспределение атомов In и As в пленках SiO ₂ в процессе постимплантационного отжига | 185 |
| 30. | И.П. Чернов, Ю.И. Тюрин, Н.Н. Никитенков, В.С. Сыпченко. Особенности поведения водорода в металлах при электромагнитном воздействии | 186 |
| 31. | Ле Чжан, Н.Н. Никитенков, А.Н. Сутыгина, В.С. Сыпченко. Топография поверхности после плазменно-иммерсионной ионной имплантации из вакуумного дугового разряда | 187 |
| 32. | В.П. Петухов, М.В. Петухов, И.А. Рубинштейн. Измерение параметров сегментоидного электростатического анализатора пучков низкоэнергичных электронов | 188 |
| 33. | В.С. Ковивчак, А.Б. Арбузов, М.В. Тренихин. Влияние термообработки хлорполимера на формирование слоев углеродных нановолокон на его поверхности при воздействии мощного ионного пучка | 189 |
| 34. | М.Т. Нормуродов, А.К. Ташатов, И.Ш. Тошпулатов, М.О. Аслонов. Формирование наноразмерных структур на поверхности Pd и Pd-Ва при ионной бомбардировке | 190 |
| 35. | Ю.В. Балакшин, А.В. Назаров, Д.С. Киреев, А.Е. Иешкин, А.Д. Завильгельский, А.А. Шемухин. Проектирование поверхности с помощью ионных пучков | 191 |
| 36. | О.А. Алисиенок, И.В. Корольков, А.Л. Козловский, М.Д. Кутузов, Е.Е. Шумская, Е.Ю. Каныков, Ю.В. Балакшин, А.А. Кожемяко, А.А. Шемухин. Влияние ионизирующего излучения на структуру и оптические свойства систем «ПЭТФ+TiO ₂ » | 192 |
| 37. | А.В. Степанов, А.А. Шемухин, Константинова А.В., А.И. Димитриева, А. Попов. Ионно-модифицированные многостенные углеродных нанотрубки для биологических приложений | 193 |
| 38. | А.В. Степанов, Д.И. Тетельбаум, Е.В. Курильчик, А.И. Димитриева, А.В. Константинова, Д.С. Юманов. Молекулярно-динамическое моделирование дальнего распространения в H ₂ O-Na ⁺ гиперзвуковых волн, возбужденных при ионном или световом облучении твердого тела и их взаимодействие с клеточной мембраной | 194 |
| 39. | А.И. Морковкин, Е.А. Воробьева, А.П. Евсеев, А.А. Шемухин. Модификация углеродных нанотрубок (УНТ) с помощью ионного облучения | 195 |
| 40. | А.П. Евсеев, Е.А. Воробьева, Ю.В. Балакшин А.А. Шемухин. Влияние параметров имплантации на краевой угол смачиваемости массивов МУНТ | 196 |
-

Секция I

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
УСКОРЕННЫХ ЧАСТИЦ С ВЕЩЕСТВОМ
(ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ С ОБЗОРОМ НОВЫХ
РЕЗУЛЬТАТОВ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ)**

«БЕЛЫЕ ПЯТНА» НАШИХ ЗНАНИЙ О КОСМИЧЕСКОЙ РАДИАЦИИ И ПЛАНИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ.

М.И. Панасюк

НИИЯФ МГУ, Физический факультет МГУ

Радиация в околоземном космическом пространстве сложна по своему составу, а диапазон ее энергий широк. Среди основных источников заряженных частиц – галактические космические лучи (ГКЛ), солнечные космические лучи (СКЛ) и захваченные в магнитное поле Земли частицы радиационных поясов (РП). Наиболее энергичные частицы – ГКЛ. Максимум их потока приходится на энергию около 400 МэВ/нуклон. Они более «свободно» проникают внутрь магнитного поля – в отличие от СКЛ, средняя энергия которых значительно меньше. Однако во время наиболее мощных солнечных вспышек максимальная энергия протонов СКЛ может достигать довольно больших значений, таких как 10–30 ГэВ, что даже значительно больше энергий протонов ГКЛ в максимуме их потока. Но, в отличие от ГКЛ, их потоки – спорадические. Энергия ионов в радиационных поясах Земли находится в широком диапазоне – от сотен килоэлектронвольт до 1 гигаэлектронвольт (для протонов). Что касается состава ионов в РП, то к настоящему времени экспериментально подтверждено существование элементов – вплоть до железа. Имеются другие компоненты радиации, но под РП, на малых высотах. В первую очередь, это – альбедные частицы – электроны и протоны, возникающие в результате распада нейтронов – продуктов ядерных реакций протонов ГКЛ с атомами атмосферы и вылетающие обратно в космическое пространство, где захватываются в магнитную ловушку, а также квазизахваченные в магнитном поле частицы (т.е. совершающие не более одного оборота вокруг Земли), «высыпающиеся» из РП. В докладе рассматриваются современные представления о космической радиации с акцентом на проблемные вопросы, требующие дополнительных экспериментальных исследований в связи с планированием будущих космических миссий.

ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА УСКОРИТЕЛЬНОМ
КОМПЛЕКСЕ ЛФВЭ ОИЯИ.

А.А. Балдин

ЛФВЭ ОИЯИ, г. Дубна, Россия

Представлены прикладные исследования, запланированные на пучках ускорительного комплекса НИКА. Они включают радиобиологические эксперименты, задачи материаловедения, испытания электронных компонентов и др. Обсуждаются вопросы мониторинга пучков и методического обеспечения экспериментальных исследований.

ПРОСТРАНСТВО ЛОБАЧЕВСКОГО В АНАЛИЗЕ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ.
НОВОЕ ЯВЛЕНИЕ - НАПРАВЛЕННОЕ ЯДЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Э.Г. Балдина

ЛФВЭ ОИЯИ, г. Дубна, Россия

Рассмотрены свойства пространства Лобачевского в приложении к релятивистской физике, в частности, данным, полученным с помощью пузырьковых камер. Продемонстрировано новое явление - направленное ядерное излучение - и его связь с основным параметром пространства Лобачевского, углом параллельности. Данное явление обосновано с использованием p - C , p - C , C - C , n - p реакций в диапазоне энергий от единиц до десятков ГэВ.

МЕХАНИЗМЫ ОДИНОЧНЫХ СБОЕВ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ПРОТОНАМИ С ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИЕЙ И МАЛЫМИ ИОНИЗАЦИОННЫМИ ПОТЕРЯМИ

Н.Г. Чеченин, Н.В. Новиков, В.Я. Чуманов, Т.В. Чувильская, А.А.
Широкова

НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Космическое излучение может вызвать сбои бортовой электроники (СБЭ) космического аппарата, которые могут варьироваться от кратковременных переходных эффектов до выгорания отдельных компонентов электроники. Широкий спектр типов излучения, по массе и энергии частиц, а также разнообразный дизайн и конструкция электронных компонентов делают надежную оценку вероятности сбоев и их систематизацию сложной задачей. В частности, согласно концепции линейных потерь энергии (ЛПЭ), прохождение протонов высоких энергий ($E \geq 10$ МэВ) не вызывает большой ионизации в мишени и не должно приводить к СБЭ. Однако, эксперименты на ускорителях свидетельствуют об обратном.

В работе рассмотрены основы и ограничения концепции ЛПЭ. В дополнение к ионизационным эффектам рассмотрены возможные вклады флуктуаций потерь энергии, упругих ядерных процессов, приводящих к отдаче ядра-мишени со сравнительно высокой кинетической энергией, анализируется влияние на СБЭ фрагментов ядерных реакций, также возможный вклад аномально высоких потерь энергии ионов, попадающих в так называемый режим «антиканалирования».

Секция II

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ С ПОВЕРХНОСТЬЮ И
НАНОСТРУКТУРАМИ (РАСПЫЛЕНИЕ, ВКЛЮЧАЯ
РАСПЫЛЕНИЕ КЛАСТЕРАМИ, ФОРМИРОВАНИЕ
ПОВЕРХНОСТНЫХ НАНОСТРУКТУР И ИХ
ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЭМИССИЯ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ)**

ФОРМИРОВАНИЕ ГЕКСАГОНАЛЬНОЙ ФАЗЫ КРЕМНИЯ ПРИ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ В ПЛЁНКУ SiO₂ НА Si

А.А. Никольская, Д.С. Королев, А.Н. Михайлов, А.И. Белов,
А.А. Сушков, Р.И. Муртазин, Д.А. Павлов, А.А. Конаков,
К.Р. Мухаматчин, Д.И. Тетельбаум

Университет Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

Долгое время гексагональные модификации кремния считались нестабильными при нормальном давлении и температуре и поэтому интерес представляли в основном только с теоретической точки зрения. Но исследования последних лет показали, что некоторые гексагональные фазы обладают люминесценцией в ИК области, которая заметно превосходит люминесценцию кубического кремния (с-Si). Это открыло новые возможности использования этого материала в оптоэлектронных интегральных схемах на основе кремния. В работе исследовано образование гексагональной фазы 9R-Si при ионном облучении системы SiO₂/Si ионами K⁺ с последующим отжигом. Методом фотолюминесценции (ФЛ) показано, что при последовательном отжиге облученных образцов с повышением температуры происходит переход от спектров ФЛ, характерных для дефектов в кремнии, к спектру, который ранее на основании данных просвечивающей электронной микроскопии и расчетов зонной структуры был отнесен к формирующемуся на границе с плёнкой SiO₂ слою 9R-Si. Линия ФЛ при 1240 нм, характерная для фазы 9R-Si, начинает преобладать при отжиге 800 °С. Интересно, что средний просцированный пробег ионов K⁺ был меньше толщины плёнки. Поэтому, формирование дефектов в Si и дальнейшая трансформация структуры с-Si в 9R-Si связывается нами с механическими напряжениями, обусловленными внедрением ионов K⁺ в плёнку SiO₂.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках проектной части государственного задания (№ 16.2737.2017/4.6), а также РФФИ (18-32-20168). Никольская А.А. признательна за поддержку в рамках программы «УМНИК» (№13192ГУ/2018).

ФОРМИРОВАНИЕ ГОФРИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА
УГЛЕРОДНОМ ВОЛОКНЕ ПРИ ВЫСОКОДОЗНОМ
ОБЛУЧЕНИИ ИОНАМИ АЗОТА

Н.Н. Андрианова¹⁾, А.М. Борисов¹⁾, В.А. Казаков²⁾, Е.С. Машкова³⁾,
М.А. Овчинников^{1,3)}

¹⁾МАИ (НИУ), Москва, Россия;

²⁾ГНЦ - ФГУП «Центр Келдыша», Москва, Россия;

³⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Методами РЭМ, РФЭС, лазерной гониофотометрии и спектроскопии комбинационного рассеяния света исследовано гофрирование оболочки углеродного волокна ВМН-4 композита КУП-ВМ при высокодозном ($\sim 10^{18}$ см²) облучении ионами N₂⁺ с энергией 30 кэВ в интервале температур облучаемого композита от 100 до 600 °С. Найдено, что углы наклона субмикронной гофрированной структуры растут с температурой так, что при ~ 270 °С величина углов наклона достигает максимальных значений $\sim 40^\circ$, оставаясь на этом уровне при дальнейшем увеличении температуры. Период чередования гофров составляет ~ 1 мкм в исследованной области температур. Качественное отличие от температурных зависимостей гофрирования ионами инертных газов связывается с химической активностью азота и образованием при его имплантации С-N соединений. Полученные закономерности, вместе с ранее установленными [1,2], позволяют связать особенности гофрирования при облучении ионами азота не только с пластическими процессами радиационного формоизменения углеродных материалов с учетом распыления поверхности, но и с образованием в модифицированном слое С-N соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианова Н.Н., Аникин В.А. Борисов А.М., Машкова Е.С., Казаков В.А., Овчинников М.А., Савушкина С.В. // Известия РАН. сер.физ., 2018,Т.82, № 2, С.140.
2. Аникин В.А., Борисов А.М., Макунин А.В., Машкова Е.С., Овчинников М.А., // Ядерная физика и инжиниринг. 2018. Т.9. № 2. С. 122

ИМПЛАНТАЦИЯ БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ В НАНОАЛМАЗЫ:
ЭКСПЕРИМЕНТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

А.А. Ширяев¹⁾, J. Hinks²⁾, S. Donnelly³⁾, N. Marks⁴⁾, В.Л. Буховец¹⁾,
А.Л. Тригуб⁵⁾

¹⁾ ИФХЭ РАН, Москва, Россия

²⁾ Huddersfield University, Huddersfield, UK

³⁾ Curtin University, Perth, Australia

⁵⁾ НИЦ КИ, Москва, Россия

Поведение имплантированных благородных газов в зернах наноалмаза и других нанокристаллических материалах представляет интерес как для физики наноструктур, ионного легирования наночастиц и ряда областей астрофизики и космохимии. Недавно нами было проведено изучение процесса имплантации ионов Хе с энергиями в диапазоне 6-40 кэВ в наноалмазы различного размера *in situ* в Просвечивающем Электронном Микроскопе /1/. Обнаружено, что при определенном соотношении энергии иона и размера наночастицы наблюдается полное испарение зерна (для случая Хе в наноалмаз – 6 кэВ и 5 нм). При меньших энергиях происходит имплантация, в ряде случаев с частичной графитизацией/онионизацией, при больших – пролетающий ион оставляет трек, но катастрофических последствий для частицы не отмечается. Квантово-механическое моделирование с использованием различных подходов показало, что причиной разрушения частицы является резкий подъем температуры до значений, превышающих температуру плавления материала. Исследованы случаи косого соударения и взаимодействия ионов с группами частиц.

Методом рентгеновской спектроскопии поглощения (XAFS) впервые исследовано локальное окружение ионов Хе и Кг, имплантированных в различные нанокристаллические материалы с энергиями ≤ 1.5 кэВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shiryayev et al., // Scientific Reports, 2018, 8, 5099, 8 DOI: 10.1038/s41598-018-23434-y

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КРЕМНИЙ ИОНОВ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ НИЗКОЙ ЭНЕРГИИ

А.А. Сычёва¹⁾, Е.Н. Воронина^{1,2)}

¹⁾Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, НИИ ядерной физики
имени Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

²⁾Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

Физическое распыление материалов ионами инертных газов низких энергий находит широкое применение в современной микроэлектронике. Модификация налетающими ионами структуры приповерхностных слоев материалов может привести к существенным изменениям их свойств и влиять на интенсивность распыления [1,2]. Поэтому при компьютерном моделировании указанных процессов возникает необходимость учета дефектов, возникающих в материале.

В данной работе моделирование воздействия ионов инертных газов (He, Ne, Ar, Kr, Xe) низкой энергии (до 200 эВ) проводилось методом молекулярной динамики с накоплением повреждений на примере кристаллического кремния. На основании выполненного анализа структурных изменений приповерхностных слоев материала продемонстрированы существенные различия в механизмах повреждения кремния легкими и тяжелыми частицами. Показано, что эффекты кластеризации [2] имплантированных атомов оказывают существенное влияние на указанные процессы при воздействии самого легкого (He) и самого тяжелого (Xe) ионов.

Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-12-10361 и с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sycheva A.A., Voronina E.N., Rakhimova T.V., Rakhimov A.T. //, Appl. Surf. Sci., 2019, 475, 1021.
2. Sycheva A.A., Voronina E.N., Rakhimova T.V., Rakhimov A.T. //, J. Vac. Sci. Technol. A, 2018, 36, 061303.

ЭВОЛЮЦИЯ ЯНУСОПОДОБНЫХ НАНОКЛАСТЕРОВ Ni-Al ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С КЛАСТЕРАМИ АРГОНА НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

Д.В. Широкоград¹⁾, Г.В. Корнич¹⁾, С.Г. Буга^{2),3)}

¹⁾Запорожский национальный технический университет,
г. Запорожье, Украина

²⁾ФГБНУ “Технологический институт сверхтвердых и новых углеродных материалов”, г. Москва, Троицк, Россия

³⁾Московский физико-технический институт (ГУ МФТИ),
Московская обл., г. Долгопрудный, Россия

Материалы на основе никеля имеют широкое применение в различных устройствах, таких как гидро- и газовые турбины, роторы турбокомпрессоров двигателей, высокотемпературные матрицы и пресс-формы, режущие инструменты и т.д. В наноразмерном диапазоне Ni-Al является важным материалом для наноагрегатов /1/.

В рамках классической молекулярной динамики рассматривается модификация янусоподобных кластеров Ni-Al путем воздействия кластерами Ar_n разных размеров с энергиями до 1.4 кэВ с целью создания наночастиц заданной структуры и состава. Отрицательная теплота перемешивания никеля и алюминия способствует перемешиванию компонентов и формированию однородного кластера с небольшими отклонениями уже при низких энергиях бомбардировки. Происходит рост эффективности передачи энергии кластеру-мишени от налетающей частицы с увеличением ее размера, что приводит к возрастанию температуры и активизации переноса массы в кластере-мишени. Результаты сравниваются с ранее полученными данными для кластеров Cu-Au и Cu-Bi /2/ при том же программном обеспечении.

ЛИТЕРАТУРА

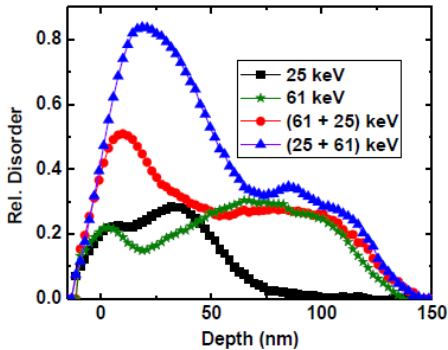
1. Ramli Ismail, Theoretical Studies of Free and Supported Nanoalloy Clusters, University of Birmingham, 2012, 652 p.
2. Shyrokorad D.V., Kornich G.V., Buga S.G. // Computational Materials Science, 2019, 159, №3, 110.

ОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ НАРУШЕНИЙ В GaN ПРИ СОИМПЛАНТАЦИИ ЛЕГКИХ ИОНОВ РАЗНЫХ ЭНЕРГИЙ

А.И. Титов, К.В. Карабешкин, П.А. Карасев, А.И. Стручков

Санкт-Петербургский Политехнический университет
Петра Великого, Россия

Ионное легирование всегда сопровождается образованием структурных нарушений. Известно, что при соимплантации в Si легких ионов, когда последовательно внедряются ионы разных энергий, результат



повреждения кристаллической структуры может драматически зависеть от того, в какой последовательности выполняется имплантация. Нам не известны публикации по этому вопросу для внедрения ионов в GaN, поэтому настоящая работа посвящена исследованию накопления

структурных дефектов при его ионном сооблучении.

Условия ионного облучения GaN ионами F с энергиями 25 и 61 кэВ и регистрации нарушений приведены в [1].

На рисунке показаны распределения дефектов по глубине при облучении GaN ионами фтора двух энергий (см. врезку на рисунке) в разной последовательности, полученные из RBC/C спектров при рассеянии на 170° . Доза каждого облучения 15 DPA. Хорошо видно, что в диапазоне глубин, где распределения перекрываются, результат очень сильно зависит от последовательности. Работа выполнена при поддержке РФФИ. Грант № 18-08-01213.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.И. Титов, К.В. Карабешкин, П.А. Карасев, А.И. Стручков // Настоящий сборник тезисов.

ВЛИЯНИЕ РАЗУПОРЯДОЧЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ НА
ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ОБЛУЧЕННЫХ
ГЕТЕРОСТРУКТУР С НАНООСТРОВКАМИ Ge/Si

С.В. Оболенский, А.В. Скупов

Филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» «НИИИС им. Ю.Е. Седякова»,
г. Н. Новгород, Россия

В докладе приводятся результаты исследования влияния полей упругих и электрических напряжений разупорядоченных областей (РО), возникающих в полупроводниковых гетерокомпозициях при облучении нейтронами (протонами, электронами), на оптоэлектронные свойства наноструктур (НО) Ge/Si(001) в их многослойных массивах.

1. Концентрация РО при интегральном потоке нейтронов $10^{11} - 10^{15} \text{ см}^{-2}$ составляет $10^{10} - 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Электрические поля множества РО оказывают влияние на 4% НО в многослойной гетерокомпозиции при интегральном потоке нейтронов (F) 10^{14} см^{-2} , их доля возрастает до 40% при $F = 10^{15} \text{ см}^{-2}$.
2. Деформации кристаллической решетки, вызванные образованием РО, из-за малой величины не влияют на зонную структуру наноструктур и определяемые ею свойства.
3. Положение уровней радиационных дефектов РО в запрещенной зоне таково, что возможен обмен носителями заряда посредством туннелирования между уровнями дефектов и уровнями размерного квантования НО, находящихся в радиусе 10 нм от РО.
4. Под действием электрического поля РО изменяется положение разрешенных зон энергии носителей заряда гетерокомпозиции на величину до 0,24 эВ, в зоне проводимости возникает барьер для электронов и «яма» для дырок в валентной зоне, изменяется положение уровня Ферми в гетероструктуре. Изменение концентрации носителей заряда вблизи и внутри НО, находящихся в радиусе 100-150 нм от РО, приводит к уменьшению эффективности оптических переходов в НО и деградации параметров оптоэлектронных приборов.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ПОЛЫХ, НАНО- И МИКРОЧАСТИЦ Al_2O_3

В.Ю. Юрина¹⁾, В.В. Нецименко¹⁾, Ли Чундун²⁾

¹⁾ Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия

²⁾ Харбинский политехнический университет, г. Харбин, Китай

Представлены результаты исследования оптических свойств и радиационной стойкости микро-, нанопорошков и полых частиц Al_2O_3 .

Полые частицы Al_2O_3 были получены осаждением на поверхность полистирольных шариков со средним размером 1 мкм наночастиц оксида алюминия в растворе хитозан и уксусной кислоты. С последующей прогревом при 60 °С до полного высыхания раствора, и ступенчатой термообработкой при температуре 300, 900 и 1300 °С в течении 2 часов для каждого режима в вакууме.

Полученные спектры диффузного отражения (ρ_λ) позволили установить, что отражательная способность полых частиц Al_2O_3 меньше по сравнению с микро- и нанопорошками во всем спектральном диапазоне. Отличие в поглощения в УФ и видимой области спектра обусловлено различной концентрацией собственных центров поглощения Al_2O_3 .

Радиационную стойкость исследуемых полых частиц оценивали относительно микро- и нанопорошков по разностным спектрам диффузного отражения ($\Delta\rho_\lambda$), полученных вычитанием спектров после облучения из спектров необлученных образцов.

Из полученных спектров $\Delta\rho_\lambda$ следует, что при воздействии как протонами, так и электронами с энергией 100 кэВ флюенсом $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ в полых частицах Al_2O_3 образуется меньше радиационных дефектов, чем в микро- и нанопорошках. Оценка радиационной стойкости полых частиц Al_2O_3 по концентрации наведенных центров поглощения, показали их высокую радиационную стойкость по сравнению с микро- и нанопорошками.

МЕХАНИЗМЫ ИСПАРЕНИЯ ВЕЩЕСТВА И ОБРАЗОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ

В.А. Загайнов¹⁾, Н.П. Калашников¹⁾, К.М. Ерохин²⁾,
В.В. Максименко¹⁾, И.Е. Аграновский³⁾, Ю.Г. Бирюков⁴⁾

¹⁾НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

²⁾МПУ, Москва, Россия

³⁾Университет Гриффитса, Брисбен, Австралия

⁴⁾НИФХИ им. Л.Я. Карпова, Москва, Россия

В работе рассматривается процесс испарения атомов проводящего материала при коронном разряде. В частности приводится пример коронного разряда на поверхности серебра (Ag). Диффузионный аэрозольный спектрометр (ДАС) регистрировал появление частиц серебра в нано метровой области размеров. Для выявления механизма появления частиц были сделаны оценки концентрации атомов Ag, которые испускались поверхностью металла в результате столкновения электронов с поверхностью металла. На рисунке представлено распределение по размерам частиц, образующихся после выхода паров из канала разряда.

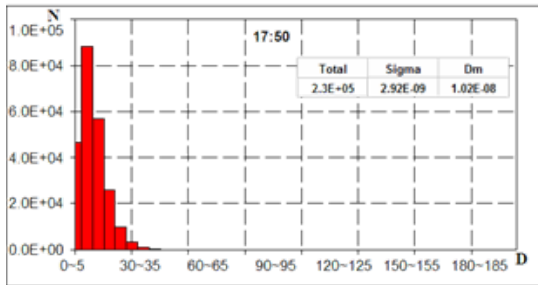


Рис.1 Распределение по размерам частиц, размер частиц в нанометрах

Сопоставление полученных результатов экспериментов с теоретическими оценками позволили сделать вывод о том, что испарение атомов металла происходит не из-за теплового нагрева поверхности, а индивидуального взаимодействия заряда с узлом кристаллической решётки.

ВЛИЯНИЕ АЗОТА НА УГЛЕРОДНЫЕ ПЛЕНКИ

К.В.Крайнов¹⁾, В.Е.Пуха²⁾, А.Л. Шахмин¹⁾, П.А.Карасёв¹⁾¹⁾ Политехнический университет Петра Великого, С.-Петербург²⁾ Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка

Ранее в работе [1] было установлено, что добавление азота в покрытия из аморфного углерода приводит к увеличению гидрофильности и шероховатости пленки, а это улучшает его биосовместимость. Однако, свойства углеродных пленок сильно зависят от метода их получения и использованных технологических параметров. Этот факт открывает широкие возможности направленного получения покрытий с требуемыми свойствами.

В нашем исследовании композитные углерод-азотные (CN) покрытия были созданы ионно-лучевым осаждением на поверхность Si и Ti подложек с помощью ускоренных фуллеренов и напуском в камеру N₂ до давлений $2 \cdot 10^{-4}$ Торр. Энергия ионов C₆₀ была равна 3, 5, 6 и 10 кэВ, температура подложек при нанесении покрытий поддерживалась на значениях 20, 100, 200, 300, 350 и 400 °С. Полученные образцы исследовались при помощи метода XPS, AFM, измерения микротвердости.

Интерпретация XPS спектров композитных CN покрытий для идентификации химических связей C-N не является однозначной. В нашей работе была выбрана модель разложения по Bhattacharyya [2], как наиболее качественно подходящая к нашему набору измерений.

Анализ пленок показал, что азот позволяет образовывать большее количество углеродного кластера sp², участвует непосредственно в замещении углерода, образующего одинарные, двойные связи между собой. С другой стороны образование кластеров sp² помогает атомам азота легироваться в углеродную матрицу. То есть наблюдается взаимодополняющее действие C и N.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. Yang, N. Huang, Y.X. Leng, Z.Q. Yao, H.F. Zhou, M. Maitz, Y. Leng, P.K. Chu, NIMB 242, 22 (2006).
2. S. Bhattacharyya, C. Cardinaud, G. Turban, J. Appl. Phys. 83. (1998) 4491.

ПРОХОЖДЕНИЕ ПУЧКА КЛАСТЕРНЫХ ИОНОВ ЧЕРЕЗ АТМОСФЕРУ ОСТАТОЧНЫХ ГАЗОВ

Ю.А. Ермаков¹⁾, Д.С. Киреев²⁾, А.Е. Иешкин²⁾

¹⁾НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова
Москва, Россия

²⁾ Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

Процесс формирования и транспортировки пучка кластерных ионов состоит из этапов формирования нейтральных кластеров, их ионизации и ускорения, масс-сепарации и фокусировки на образец. В вакуумной камере каждой из систем поддерживается определенный диапазон давлений остаточного газа. Проходя через атмосферу остаточного газа, поток кластеров может изменить свой поперечный профиль и распределение кластеров по массам. Так, получившая развитие процедура получения пучка ускоренных нейтральных атомов заключается в разрушении ускоренных кластерных ионов при их пропускании через газовую ячейку с последующим удалением из пучка заряженных частиц /1/.

В настоящей работе исследовано ослабление пучка кластерных ионов в зависимости от давления газа в вакуумной камере. Определены профили плотности тока в пучке. Предложено описание процесса распространения потока ускоренных кластеров через атмосферу остаточных газов.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. De Vido, M.J. Walsh, S. Kirkpatrick et al // Opt. Mater. Express, 2017, 7, 3303.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО РЕЛЬЕФА НА СПЛАВАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПУЧКА КЛАСТЕРНЫХ ИОНОВ

А.Е. Иешкин¹⁾, Б.Р. Сенатулин²⁾, Д.С. Киреев¹⁾, В.С. Черныш¹⁾

¹⁾ Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

²⁾ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Пучки газовых кластерных ионов активно применяются для сглаживания нанорельефа поверхности металлов, полупроводников и диэлектриков. Средние размеры используемых для этого кластеров благородных газов составляют несколько тысяч атомов на кластер, энергии – несколько десятков кэВ, облучение осуществляется при нормальном падении. Однако в последние годы было показано, что бомбардировка кластерными ионами при наклонном падении пучка может приводить не к сглаживанию рельефа, а к его развитию /1/.

В настоящей работе впервые исследовано формирование такого рельефа на поверхности сплавов. Показано, что под действием кластерной бомбардировки происходит селективное распыление материала. Элементы, составляющие образец, после облучения распределены по поверхности неоднородно, причем закономерности этого распределение отличаются от случая распыления атомарными ионами. Предложена модель, объясняющая обнаруженные явления.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Р. Tilakaratne, Q.Y. Chen, W.-K. Chu // Materials, 2017, 10, 1056

КЛАСТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ТИТАНА ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ИМПЛАНТОВ

С.М. Пестов¹⁾, В.В. Григоров²⁾, Б.Р. Сенатулин³⁾, А.Е. Иешкин⁴⁾,
А.А. Татаринцев⁴⁾, И.П. Иваненко⁴⁾, М. Рябцев⁴⁾ В.С. Черныш⁴⁾

¹⁾ МИРЭА-Российский технологический университет,
Москва, Россия,

²⁾ Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского,
Обнинск, Россия

³⁾ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

⁴⁾ Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

В последние годы активно проводятся исследования, связанные с кластерно-пучковой обработкой поверхности материалов на наноуровне /1/.

В данной работе проведено исследование влияния режимов кластерной обработки на нанощероховатость, смачиваемость и биологическую активность поверхности титана (образцы титана VT1-0 и Grade 4) для медицинских имплантов, применяемых в ортопедии и сердечно-сосудистой хирургии. Обработка поверхности проводилась кластерами аргона ArN^+ , $N = 1000, 2500$ с энергией 10-30 кэВ. Изменение химического состава поверхностного слоя определялось методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (PHI 5580 ESCA (AlK_{α}) и ESCALAB MK2 (MgK_{α})). Полученный рельеф поверхности характеризовался методами сканирующей электронной (FEI Quanta 3D FEG) и атомно-силовой (FemtoScan Online; Nano View-1000, ООО «Серния Инжиниринг») микроскопии. Подобранные режимы обработки приводят к изменению углов смачивания и увеличению роста клеток (на примере клеток пульпы зуба человека (DPSC)).

Работа была поддержана Министерством высшего образования и науки (идентификатор проекта: RFMEFI57918X0157).

ЛИТЕРАТУРА

1. Yamada I. // Appl. Surf. Sci., 2014, V. 310, P. 77.

СРАВНЕНИЕ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА И РЕЗЕРФОРДОВСКОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ НА ПРИМЕРЕ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В КРЕМНИИ

Ю.В. Балакшин¹⁾, А.В. Кожемяко²⁾, Г.В. Бабайцев²⁾, А.В. Назаров¹⁾,
А.А. Шемухин¹⁾, В.С. Черныш^{1,2)}, А.П. Евсеев²⁾, Д.К. Миннебаев²⁾

¹⁾ НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²⁾ Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

Проведено облучение монокристаллического кремния ионами аргона с флюенсами от $3 \cdot 10^{13}$ до $1.5 \cdot 10^{15}$ ион/см² что в единицах «смещение на атом» (фра) составляет 0.1 - 4.5. Облучение проводилось с энергией 110 кэВ, плотность тока поддерживалась на уровне, исключающем термический отжиг.

Облученные образцы изучались методами Резерфодовского обратного рассеяния (РОР) и комбинационного рассеяния света (КРС). Методика РОР позволила получить профили распределения внедренной примеси и степень разупорядоченности кристаллической структуры кремния в зависимости от глубины.

Увеличение дефектов кристаллической структуры под действием облучения приводит к характерным изменениям в спектрах комбинационного рассеяния. Сочетание методик РОР и КРС позволило получить новую информацию о процессе дефектообразования под действием облучения, сопоставить выход обратнорассеянных ионов с нарушением химических связей в структуре кремния.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-32-00833 мол-а

СРАВНЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛОВ ИОН-АТОМНОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА ПРИМЕРЕ РАССЕЙНИЯ ЛЕГКИХ
ИОНОВ ОТ ТОНКИХ ПЛЕНОК ТАНТАЛА

Ю.В. Балакшин¹⁾, А.В. Кожемяко²⁾, Г.В. Бабайцев²⁾,
А.В. Назаров¹⁾, А.А. Шемухин¹⁾, В.С. Черныш²⁾, А.П. Евсеев²⁾,
Д.К. Миннебаев²⁾

¹⁾ НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²⁾ Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

Методом магнетронного распыления были получены тонкие пленки тантала на кремниевой подложке. Контроль однородности пленки по составу, структуре и толщине проводился методами Резерфодовского обратного рассеяния.

С помощью легких ионов различных энергий изучалось рассеяние ионов на большие углы при взаимодействии с атомами поверхности мишени.

Экспериментальные спектры рассеяния ионов сравнивались с результатами компьютерного моделирования в программе TRIC с использованием различных потенциалов ион-атомного взаимодействия.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-32-00833 мол-а

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ СОУДАРЕНИЙ ГАЗОВЫХ КЛАСТЕРНЫХ ИОНОВ АРГОНА С ПОВЕРХНОСТЬЮ МОЛИБДЕНА

А.Д. Завильгельский¹⁾, А.В. Назаров¹⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Исследуется формирование рельефа поверхности и его влияние на дифференциальные характеристики распыления, такие как угловые распределения распылённых атомов [1]. Было проведено моделирование процесса распыления данных материалов пучком газовых кластерных ионов аргона методом молекулярной динамики [2].

Проведена серия расчётов последовательных соударений кластеров с мишенью. Данные расчёты учитывают изменение рельефа поверхности мишени в процесса облучения и экспериментально измеренное распределение кластеров по размерам в пучке.

Для различных флюенсов кластерного облучения вплоть до 2×10^{14} кластеров на см^2 были построены угловые распределения распылённых атомов мишени, а также рассчитана среднеквадратичная шероховатость для данных доз. Продемонстрировано формирование рельефа поверхности под действием пучка газовых кластерных ионов. Показано, что при увеличении шероховатости увеличивается выход частиц под малыми углами от нормали к поверхности, что не наблюдается в случае идеальной поверхности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00725.

ЛИТЕРАТУРА

1. V. S. Chernysh, A. E. Ieshkin, Y. A. Ermakov // Appl. Surf. Sci., 2015, 326, 285-288.
2. A.V. Nazarov, V. S. Chernysh, K. Nordlund, F. Djurabekova, J. Zhao // Nucl. Instr. Methods Phys. Res. B, 2017, 406, 518-522.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНОВ Ar НИЗКОЙ ЭНЕРГИИ
С ПОВЕРХНОСТЬЮ ГРАНИ (001) Ni

А.И. Мусин¹⁾, Г.В. Корнич²⁾, В.Н. Самойлов³⁾

¹⁾Московский государственный областной университет,
Москва, Россия

²⁾Запорожский национальный технический университет,
Запорожье, Украина

³⁾Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

В настоящей работе исследовано распыление грани (001) Ni ионами Ar с энергией 200 эВ. Расчеты выполнялись согласно молекулярно-динамической модели /1/, модифицированной для рассмотрения распределений распыленных атомов с одновременным разрешением по энергии, полярному и азимутальному углам. Было рассчитано падение около 40000 ионов. Рассчитан вклад собственных, фокусированных и перефокусированных распыленных атомов в общий коэффициент распыления (см. также /2/). Максимум распределения распыленных атомов по полярному углу соответствует наблюдаемым в экспериментах максимумам эмиссии. Распределение распыленных атомов по начальному полярному углу, рассчитанному при пересечении атомом плоскости на высоте 0.3 Å над усредненной поверхностью кристалла, более широкое в сторону больших углов, подобно /3/. Максимум распределения распыленных атомов по полярному углу с увеличением энергии смещается в сторону нормали к поверхности, а при энергии выше ~20 эВ □ в сторону от нормали к поверхности, подобно /3/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kornich G.V., Betz G. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B., 1998, V. 143, № 4, p. 455-472.
2. Самойлов В.Н., Мусин А.И., Ананьева Н.Г. // Известия РАН. Серия физическая, 2016, т. 80, № 2, с. 122-125.
3. Samoilov V.N., Tatur A.E., Kovaleva N.A., Kozhanov A.E. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B., 1999, V. 153, № 1-4, p. 319-325.

ОБ ИЗМЕНЕНИИ ФОКУСИРОВКИ РАСПЫЛЕННЫХ АТОМОВ
С УВЕЛИЧЕНИЕМ АТОМНОГО НОМЕРА ВЕЩЕСТВА
МИШЕНИ

А.И. Мусин¹⁾, В.Н. Самойлов²⁾

¹⁾Физико-математический факультет, Московский государственный
областной университет, Москва, Россия

²⁾Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

В настоящей работе проведено моделирование эмиссии атомов с грани (001) ряда реальных и модельных монокристаллов. Изучена эволюция полярных угловых распределений распыленных атомов с одновременным разрешением по энергии E и азимутальному углу φ при изменении атомного номера Z вещества мишени. Для несимметричных относительно направления $\langle 100 \rangle$ интервалов угла φ в распределениях распыленных атомов по полярному углу ϑ различаются максимумы для фокусированных и перефокусированных атомов (см. /1, 2/). В полярном угловом распределении распыленных атомов для энергии $E 2.0 \pm 0.4$ эВ и углов $\varphi [76.5^\circ, 79.5^\circ]$ для $Z = 28$ (Ni) наблюдаются максимум фокусированных атомов при $\vartheta \sim 55.5^\circ$ и максимум перефокусированных атомов при $\vartheta \sim 72.5^\circ$. При увеличении Z до 29 (Cu) оба максимума несильно смещаются в сторону нормали к поверхности. При увеличении Z до 47 (Ag) и далее до 79 (Au) обнаружен сдвиг максимума фокусированных атомов в сторону нормали до $\vartheta \sim 14.8^\circ$, максимум перефокусированных атомов смещается в ту же сторону до $\vartheta \sim 33.6^\circ$. Сигналы фокусированных и перефокусированных распыленных атомов являются очень чувствительными к изменению атомного номера вещества мишени. Эти сдвиги связаны с усилением эффекта блокировки с увеличением Z .

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Самойлов В.Н., Мусин А.И., Ананьева Н.Г. // Известия РАН. Серия физическая, 2016, т. 80, № 2, с. 122-125.
2. Самойлов В.Н., Мусин А.И. // Известия РАН. Серия физическая, 2018, т. 82, № 2, с. 171-176.

ЭВОЛЮЦИЯ ЭНЕРГОСПЕКТРОВ ЭМИТИРОВАННЫХ АТОМОВ С ИЗМЕНЕНИЕМ АТОМНОГО НОМЕРА ВЕЩЕСТВА МИШЕНИ

В.Н. Самойлов¹⁾, А.И. Мусин²⁾

¹⁾Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

²⁾Физико-математический факультет,
Московский государственный областной университет,
Москва, Россия

В настоящей работе проведено моделирование эмиссии атомов с грани (001) ряда реальных и модельных монокристаллов. Изучена эволюция распределений распыленных атомов по энергии с одновременным разрешением по полярному ϑ и азимутальному φ углам при изменении атомного номера Z вещества мишени. Для несимметричных относительно направления $\langle 100 \rangle$ интервалов угла φ в распределениях распыленных атомов по энергии различаются максимумы для фокусированных и перефокусированных атомов (см. /1, 2/). В распределении распыленных атомов по энергии при углах наблюдения φ [76.5°, 79.5°] и ϑ [49.9°, 51.5°] для $Z = 28$ (Ni) наблюдаются максимум фокусированных атомов при энергии ~3 эВ и максимум перефокусированных атомов при энергии ~6 эВ. При увеличении Z до 29 (Cu) оба максимума смещаются менее чем на 0.5 эВ в сторону меньших энергий. При увеличении Z до 47 (Ag) и далее до 79 (Au) обнаружен сдвиг максимума фокусированных атомов на 2.5 эВ в сторону меньших энергий, в то время как максимум перефокусированных атомов смещается более чем на 5 эВ в ту же сторону. Таким образом, при низких энергиях сигнал перефокусированных распыленных атомов является более чувствительным к изменению атомного номера вещества мишени, чем сигнал фокусированных атомов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Самойлов В.Н., Мусин А.И., Ананьева Н.Г. // Известия РАН. Серия физическая, 2016, т. 80, № 2, с. 122-125.
2. Самойлов В.Н., Мусин А.И. // Известия РАН. Серия физическая, 2018, т. 82, № 2, с. 171-176.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ
ТЕРМОДЕСОРБЦИИ И СУБЛИМАЦИИ ЧАСТИЦ ВЕЩЕСТВА
МЕТОДОМ ТЕРМОДЕСОРБЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТНО-
ИОНИЗАЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

А.Ш. Раджабов, А.С. Халматов

Институт Ионно-плазменных и лазерных технологии Академии
Наук республики Узбекистан, Ташкент.

Термодесорбционная поверхностно-ионизационная (ТДПИ) спектрометрия разработана на основе закономерностей поверхностной ионизации (ПВИ) атомов и многоатомных молекул органических соединений для регистрации и анализа труднолетучих органических веществ азотистых основания в условиях атмосферы воздуха /1/. Особенность данного метода заключается в том, что оно объединяет в себе закономерности термодесорбционной спектрометрии /2/, а также закономерности нестационарных процессов поверхностной ионизации /3/.

Анализ показал, что, применяя данный метод, можно изучать не только кинетические характеристики сублимации веществ, но и кинетические характеристики термодесорбции частиц с поверхности нагретого твердого тела. В качестве примера проведены расчеты для случая атомных частиц. Разработан метод определения констант скорости термодесорбции, а также теплота сублимации атомов веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rasulev U.Kh., Iskhakova S.S., et al., Inter. Jour. of Ion Mob. Spec. 4 (2), 121 (2001).
2. Н. М. Попова, Л. В. Бабенкова, Г. А. Савельева, Ю. Г. Кульевская, Н. Г. Смирнова, В. К. Солнышкова. О современном методе термодесорбции и его использовании в адсорбции и катализе, Издательство «Наука», Алма-Ата, 1985 г.
3. Назаров Э.Г., Расулев У.Х., Нестационарные процессы поверхностной ионизации, Ташкент Фан (1991), С. 204.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОГОВОЙ ОБЛАСТИ ПОВЕРХНОСТНОЙ
ИОНИЗАЦИИ МОЛЕКУЛ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИИ
МЕТОДОМ ТЕРМОДЕСОРБЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТНО-
ИОНИЗАЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

А.Ш. Раджабов, У.Х.Расулев

Институт Ионно-плазменных и лазерных технологии Академии
Наук республики Узбекистан, Ташкент.

Известно, что температурные зависимости поверхностно-ионизационных токов частиц, полученных в стационарных условиях можно разделить на две области: область выше пороговых температур ионизации и область пороговых температур ионизации, вызванный влиянием увеличения степени покрытия поверхности эмиттера адсорбатом и ее влиянием на его работы выхода. В области пороговых температур, в отличии от выше пороговых, ионизация одного вида частиц влияет на ионизацию частиц другого вида. В работе /1/ исследована пороговая область поверхностной ионизации молекул триэтиламина. Установлено, что в области пороговых температур увеличение степени покрытия поверхности влияет не только на константы скоростей термодесорбции частиц, но и на константы скоростей гетерогенных химических реакции диссоциации молекул.

В данной работе моделирована кинетика гетерогенных процессов в области пороговых температур в термодесорбционной поверхностно-ионизационной спектроскопии, с целью выявления закономерности влияния увеличения степени покрытия поверхности на температуру максимума, ток максимума и на форму термодесорбционных поверхностно-ионизационных спектров органических соединений /2/.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Раджабов А.Ш., Рахманов Г.Т., Расулев У.Х. Поверхностная ионизация атомов Cs и молекул триэтиламина в области пороговых температур. ДАН РУз, Т4, 2015 г., стр. 81 – 85.
2. Rasulev U.Kh., Iskhakova S.S., et al., Inter. Jour. of Ion Mob. Spec. 4 (2), 121 (2001).

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ПОРОГОВЫХ ТЕМПЕРАТУР ПОВЕРХНОСТНОЙ ИОНИЗАЦИИ МОЛЕКУЛ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

А.Ш. Раджабов, Д.Т. Усманов

Институт Ионно-плазменных и лазерных технологии Академии
Наук республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан.

К настоящему времени, на основе явления поверхностной ионизации разработаны многочисленные методы по изучению закономерностей взаимодействия многоатомных молекул органических соединений с поверхностью нагретого твердого тела /1/. Но, при этом практически совершенно не изученной остается ПВИ многоатомных молекул в области пороговых температур ионизации, когда при понижении температуры эмиттера наблюдается резкое уменьшение тока ионов, вызванное, например в случае ПВИ легкоионизируемых атомов влиянием увеличения степени покрытия поверхности θ эмиттера адсорбатом на работу выхода эмиттера $\varphi(\theta)$, а также на теплоту десорбции ионов $I^+(\theta)$ и атомов $I^0(\theta)$ /1/.

Экспериментальные исследования ПВИ молекул в пороговых областях температур ионизации показали, что их закономерность имеет более сложный характер, относительно в случай атомных частиц /2/. Установлен, что при ПВИ молекул, кроме выше указанных зависимостей от θ термоэмиссионных характеристик систем адсорбент - адсорбат, имеется и зависимость от θ констант скоростей гетерогенных химических реакции $K(\theta)$. Отсюда пороговую область ПВИ можно разделить на две вида: порог обусловленный зависимостями $I^+(\theta)$ и $I^0(\theta)$, а также порог обусловленный гетерогенными химическими реакциями $K(\theta)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rasulev U.Kh, and Zandberg E.Ya. Progress in Surface Science 1988, 28 (3/4), 181-412.
2. Раджабов А.Ш., Рахманов Г.Т., Расулев У.Х. Поверхностная ионизация атомов Cs и молекул триэтиламина в области пороговых температур. ДАН РУз, Т4, 2015 г., стр. 81 – 85.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ
 ГЕТЕРОГЕННЫХ РЕАКЦИЙ ДИССОЦИАЦИИ МОЛЕКУЛ
 МЕТОДОМ ТЕРМОДЕСОРБИЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТНО-
 ИОНИЗАЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

А.Ш. Раджабов, У.Х.Расулев

Институт Ионно-плазменных и лазерных технологии Академии
 Наук республики Узбекистан, г. Ташкент, Узбекистан.

Анализ закономерностей процессов в термодесорбционной поверхностно-ионизационной (ТДПИ) спектроскопии /1/ показал возможность применения данного метода для определения не только коэффициента поверхностной ионизации частиц β , а также констант скоростей их термодесорбции K , но и констант скорости реакции диссоциации молекул K^d /2/.

В данной работе моделированы процессы в ТДПИ спектроскопии для случая щелочно-галогидных солей, на основе чего получены следующие связи между параметрами сублимации этих веществ и гетерогенными процессами на поверхности поверхностно-ионизационного эмиттера

$$\frac{\gamma \hbar}{k \left(T_{\text{des}}^{\text{max}} \right)^2} \ln \left[\frac{e \eta \beta n_0}{Q_0 + Q_0 - I_{\text{max}} \left(\frac{1}{K} + \frac{1}{K^d} \right)} \right] = \frac{k T_{\text{des}}^{\text{max}}}{q} \exp \left(- \frac{q}{k T_{\text{des}}^{\text{max}}} \right),$$

где I_{max} и $T_{\text{des}}^{\text{max}}$ – ток ионов и температура максимума спектра, соответственно, Q_{max} – заряд десорбированных ионов с поверхности ПВИ эмиттера до максимума спектра, n^0 – число молекул на испарителе, η – коэффициент использования веществ, Q_0 – полный заряд площади спектра, q – теплота сублимации, γ – скорость увеличения температуры испарителя, \hbar – и k – постоянные Планка и Больцмана, e – заряд электрона.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Rasulev U.Kh., Iskhakova S.S., et al., Inter. Jour. of Ion Mob. Spec. 4 (2), 121 (2001).
2. Назаров Э.Г., Расулев У.Х., Нестационарные процессы поверхностной ионизации, Ташкент Фан (1991), С. 204.

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ КИНЕТИКИ ГЕТЕРОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕРМОДЕСОРБЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТНО- ИОНИЗАЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

А.Ш. Раджабов, А.С. Халматов

Институт Ионно-плазменных и лазерных технологий Академии
Наук республики Узбекистан, Ташкент.

Термодесорбционная поверхностно-ионизационная (ТДПИ) спектроскопия является высокочувствительным и селективным методом обнаружения и анализа физиологически активных органических соединений в атмосфере воздуха /1/. Особенность данного метода заключается в том, что он объединяет в себе закономерностей термодесорбционной спектроскопии, а также закономерностей нестационарных процессов поверхностной ионизации. К настоящему времени вопрос о закономерности этих суммарных процессов остается открытым. Данная работа посвящена математическому моделированию кинетики гетерогенных процессов в термодесорбционной поверхностно-ионизационной спектроскопии для органических веществ. Анализ показало, что температура максимума, форма и интенсивность термодесорбционных поверхностно-ионизационных спектров органических веществ зависит от кинетики взаимодействия молекул с поверхностью поверхностно-ионизационного эмиттера. Выявлены некоторые закономерности этих зависимостей. На их основе получены выражения для определения теплоты сублимации веществ:

$$kT_{des}^{max} \ln \left[\frac{Q_0}{I_{sum}^{max}} \frac{kT_{des}^{max}}{\hbar} \right] = q + \frac{k^3 T_{des}^{max^4}}{rq\hbar} \exp \left[-\frac{q}{kT_{des}^{max}} \right],$$

где I_{sum}^{max} – и T_{des}^{max} – ток и температура максимума ТДПИ спектра, Q_0 – полный заряд площади спектра, q – теплота сублимации, r_0 – скорость развертки температуры испарителя; \hbar – и k – постоянные Планка и Больцмана.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Rasulev U.Kh., Iskhakova S.S., et al., Inter. Jour. of Ion Mob. Spec. 4 (2), 121 (2001).

ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР, Si
СОЗДАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ CaF₂

С.Б.Донаев, Б.Е. Умирзаков, А.К.Ташатов

Ташкентский государственный технический университет

В данной работе впервые изучены состав, структура и физические свойства наноразмерных фаз Si с толщиной $\leq 1-2$ нм, созданные на поверхности CaF₂ методом сверхвысоковакуумного осаждения.

Толщина пленок Si на поверхности подложек варьировалась в пределах $\theta \approx 1-10$ монослоев. Для получения эпитаксиальных структур после каждого цикла напыления проводился прогрев до определённой температуры в течение 30 мин. При $\theta = 1$ формируется нанокристаллические фазы Si с диаметрами $d \approx 10-15$ нм, а расстояния между их центрами составляют 50 -70 нм, при $\theta = 8$ поверхностные размеры фаз увеличиваются до 30-50 нм, а их высота h составляет 1.5-2 нм а при $\theta = 10$ формируется сплошная пленка. При $\theta = 10$ на ДБЭ картине появляются рефлексы 7×7 , характерные для монокристаллических образцов Si(111) [1]. Можно полагать, что рост Si происходит эпитаксиально.

С ростом θ от 1-5 монослоев, размеры фаз и степень покрытия поверхности CaF₂ атомами Si монотонно увеличиваются, в частности, при $\theta \approx 3$ поверхностные диаметры наночастиц составляют 20-25 нм, а их высота $h=1-1,2$ нм. По-видимому, начиная с $\theta \approx 5$ наряду с некоторым увеличением размеров имеющихся фаз, начинают появляться новые фазы. Следовательно, d фаз изменяется в широком пределе: от ~ 30 до 50 нм. При $\theta \approx 8$ монослоев края соседних фаз (островков) Si начинают перекрываться друг с другом и формируется пленка с неравномерной толщиной. При $\theta \approx 10$ монослоев формируется однородная сплошная эпитаксиальная пленка с толщиной 1,5-2,0 нм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Umirzakov B.E., Donaev S.B. On the Creation of Ordered Nuclei by Ion Bombardment for Obtaining Nanoscale Si Structures on the Surface of CaF₂ Films // Journal of Surface Investigation, 2017, Vol. 11, No. 4, pp. 746–748.

ЭМИССИОННЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА Pd-Ba, АКТИВИРОВАННОГО ЛАЗЕРНЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ

С.Б.Донаев, Б.Е.Умирзаков

Ташкентский государственный технический университет

Данная работа посвящена сравнительному анализу эмиссионных свойств сплавов Pd-Ba (Ba – 1,5 ат.%), активированных температурным прогревом и лазерной обработкой.

Анализ результатов ОЭС, снятых после каждого цикла обработки показали, что как в процессе термической, так и лазерной обработки наряду с очисткой поверхности от загрязнений происходит диффузия атомов Ba к поверхности, вследствие чего изменяется состав и, соответственно, эмиссионные свойства поверхности Pd-Ba. В случае прогрева при относительно низких температурах ($T \leq 600$ K), когда на поверхности Pd-Ba содержится значительное количество примесных атомов, а диффузия Ba к поверхности еще мала, вторично-эмиссионные характеристики поверхности меняются незначительно. Высокотемпературный прогрев ($T \geq 1000$ K) приводит к резкому снижению концентрации примесных атомов и увеличению в поверхностных слоях относительной концентрации атомов Ba, что способствует существенному увеличению σ_m и уменьшению $e\phi$.

Сравнительный анализ показал, что в условиях высокого вакуума лазерная активация приводит к большому увеличению σ_m , чем в случае температурной активации. Это объясняется интенсивным удалением примесных атомов кислорода, углерода и серы под действием лазерных лучей. Определены оптимальные режимы лазерной активации. Показано что, активированные сплавы Pd-Ba выдерживают значительные температурные нагрузки ($T \approx 700$ K) в течение 450-500 часов. Дальнейшее увеличение времени прогрева приводит к появлению дефектных участков, обогащенных атомами кислорода, углерода и серы.

РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ПЕРОВСКИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЯЧЕЕК С УЧАСТИЕМ АТОМОВ ЙОДА

Б.Л.Оксенгендлер¹, Н.Р.Ашуров¹, С.Е.Максимов¹, Ж.Т.Азимов¹,
В.Ю.Соколов¹, О.В.Карпова²

¹Институт химии и физики полимеров Академии Наук Республики
Узбекистан, г. Ташкент, Узбекистан;

²Туринский политехнический университет в г. Ташкенте,
г. Ташкент, Узбекистан

Вопросы стабильности солнечных ячеек на основе перовскитов /1/ занимают особое место среди проблем их создания. При рассмотрении в /2/ механизмов радиационной деградации перовскитов было показано, что вследствие процессов упругого двухступенчатого дефектообразования наличие лёгких атомов водорода в органической части перовскитов значительно снижает порог образования дефектов E_p при облучении лёгкими заряженными частицами, включая электроны. В настоящей работе нами теоретически изучено влияние процессов перезарядки упруго выбитых атомов йода на развитие дальнейшей цепочки процессов дефектообразования. Показано, что наличие процессов перезарядки непосредственно влияет на величину поляризационных эффектов (Рис.1). Это приводит к изменению размеров зоны неустойчивости, что, в свою очередь, существенно влияет на вероятность процессов рекомбинации выбитого атома йода и образовавшейся вакансии.

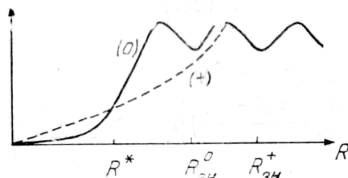


Рис.1. Роль перехода Ландау-Зинера /3/: R_{3H}^0 - зона неустойчивости нейтрала, R_{3H}^+ - заряда.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. N.R.Ashurov, B.L.Oksengendler, S.E.Maksimov et al. //Modern Electr. Mater., 2017, V.3, №1, P.1-25.
2. B.L.Oksengendler, N.R.Ashurov, S.E.Maksimov, M.I.Akhmedov, I.N.Nurgaliev. //Appl. Solar Energy, 2017, V.53, №4, P.326–333.
3. М.А.Заковская, М.А.Каримов и др. Физические свойства облучённого кремния. Ташкент: Фан. 1987. 148 с.

УГЛОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВТОРИЧНО ИОННОЙ ЭМИССИИ
МОНОКРИСТАЛЛА GaAs ПРИ БОМБАРДИРОВКЕ
КЛАСТЕРНЫМИ ИОНАМИ Vi_m^+

Ш.Дж. Ахунов, С.Н. Морозов, У.Х. Расулев

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз,
100125 Ташкент, Узбекистан

Использование кластерных ионов в качестве первичных для SIMS вызывает интерес в связи с перспективами улучшения характеристик данного метода для анализа полупроводников и органических материалов по схеме “cluster-SIMS ” и “cluster-SIMS-molecule”[1,2].

Получены масс-спектры угловой зависимости вторичной ионной эмиссии и энергетические распределения вторичных ионов при различных углах бомбардировки монокристалла GaAs кластерными ионами Vi_m^+ ($m=1-5$) в диапазоне энергий 2-12 кэВ. Выход кластерных ионов галлия неаддитивно возрастал с ростом количества атомов в бомбардирующих кластерных ионах и прошел через оптимум при увеличении угла бомбардировки. В энергетических спектрах вторичных ионов галлия Ga^+ , Ga_2^+ обнаружена квазитепловая компонента, которая указывала на образование режима тепловых пиков при кластерной бомбардировке. При бомбардировке ионами Bi_2^+ - Bi_5^+ квазитепловая компонента в выходе атомарных ионов Ga^+ достигала 35 - 75 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jacquet D., Le Beyec Y. // Nucl. Instrum. and Methods. B. 2002. V. 193. P. 227.
2. Van Stipdonk M.J. // TOF-SIMS: Surface Analysis by Mass Spectrometry / Ed. Vickerman J.C., Brigs D. Huddersfield: IM Publ. and Surface Spectra, 2001. P. 309.

ИСТОЧНИКИ ИОНОВ МЕТАЛЛФТАЛОЦИАНИНА МЕДИ

Ш.Дж. Ахунов, С.Н. Морозов, У.Х. Расулев

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий им У.А. Арифова АН РУз, Ташкент, Узбекистан,

Применение кластерных и молекулярных бомбардирующих ионов в SIMS приводит к резкому увеличению чувствительности метода особенно при анализе органических материалов. Для этих целей подходящими органическими молекулами являются фталоцианины, которые имеют значительный атомный вес (575 а.е), весьма устойчивы и перспективны для различных технических приложений.

Разработан и изготовлен источник ионов $PcCu^+$ работающий на принципе ионизации электронным ударом ЭУ и на принципе поверхностной ионизации ПИ. ЭУ источник имеет аксиально-симметричную конструкцию и состоит из кольцевого катода эмиттера электронов и цилиндрической анодно-ионизационной камеры, на дне которой располагался образец фталоцианина меди $PcCu$. Масс-спектр ионов на выходе источника контролировался с помощью масс-спектрометра МИ1201. Наибольшую интенсивность в спектре имели молекулярные ионы фталоцианина меди $PcCu^+$ которые имели близкое к тепловому энергетическое распределение. Интересной особенностью спектров было присутствие двухзарядных ионов $PcCu^{++}$ которые имели значительную интенсивность. Высокая эффективность ионизации молекулярных ионов и узкое энергетическое распределение указывают на перспективность данного источника для применения в исследовательских и аналитических работах. А также использование источника ионов фталоцианинов в разработке ионного микрозонда на этой основе.

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ
НАНОСИСТЕМЫ Si/NiSi₂/Si (111)

Д.А. Ташмухамедова, А.К. Ташатов, Н. Мустафаева,
А.А. Абдуваитов, М.Т. Нормурадов

Ташкентский государственный технический университет,
г. Ташкент, Узбекистан

Системы типа Si/MeSi₂/Si имеют перспективы для создания новых приборов микро-, нано- и оптоэлектроники. Для получения многослойных гетероструктур широко используются методы молекулярно-лучевой эпитаксии и ионной имплантации. В данной работе NiSi₂ получены методом имплантации ионов Ni в Si (111) в сочетании с отжигом. Исследования проводились с использованием методов оже-электронной спектроскопии, ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии, дифракции быстрых электронов и растровой электронной микроскопии. Энергия ионов составляла $E_0 = 3$ кэВ и доза – $D = D_{\text{нас.}} = 6 \cdot 10^{16}$ см⁻². После прогрева при $T = 900$ К формировалась сплошная пленка NiSi₂ (111) с толщиной ~ 50 Å. В ней отсутствует зародышеобразование, имеется реконструкция поверхности, и сверхструктурные перестройки типа (2 x n). После прогрева при $T = 950$ К пленка имеет однородную зеркальную поверхность без заметного фасетирования. Затем на поверхность NiSi₂ (111) осаждаются атомы Si с толщиной ~ 100 Å. После прогрева при $T = 850 - 900$ К образовались сплошная поликристаллическая пленка Si. При $T = 950 - 1000$ К начинает формироваться монокристаллическая пленка. Однако при этом начинает увеличиваться интенсивность взаимодиффузии атомов в приграничной области Si/NiSi₂, а при более высоких температурах образуется островковая пленка. Результаты УФЭС показали, что плотность состояния валентных электронов нанопленки Si/NiSi₂ заметно отличается от плотности состояния массивных пленок.

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ Va^+ НА СОСТАВ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА Mo И MoO_3

Г.Х. Аллаярова, Ж.Ш. Содикжанов, Р.М. Ёркулов,
А.У. Хужаниязова, Д.А. Ташмухамедова

Ташкентский государственный технический университет,
г. Ташкент, Узбекистан

Работа посвящена изучению влияния ионной имплантации Va^+ на состав и электронные свойства чистого и окисленного Mo . Исследования проводились при вакууме $\sim 10^{-7}$ Па с использованием методов оже-электронной спектроскопии, фотоэлектронной спектроскопии, дифракции быстрых электронов. В случае чистого Mo имплантация ионов Va^+ с $E_0 = 1$ кэВ при дозе $D = 6 \cdot 10^{16}$ см $^{-2}$ не приводила к заметному изменению положения и формы оже-пигов Mo , связанных с оже-переходом $N_{34}VV$, а в случае MoO_3 – форма и положения этих пиков существенно изменяется. Последнее объясняется разложением соединений окисла на составляющие, обогащением поверхностных слоев несвязанными атомами Va , Mo и частичным образованием соединений типа $Va + Mo + O$. После прогрева при $T = 1000$ К на поверхности формировалась пленка окисла бария (VaO) с толщиной $\sim 2 - 3$ монослоев и под этими слоями образовался нестехиометрический окисел типа $Va_xMo_{1-x}O_3$. С глубиной x немонотонно уменьшается и при $d = 60 - 80$ Å C_{Va} приближается к нулю. Плотность состояния электронов валентной зоны и параметры энергетических зон MoO_3 после ионной имплантации резко изменяется. Прогрев этой системы до $T = 1100$ К привел к уменьшению толщины пленки VaO до ~ 1 монослоя, следовательно, значение работы выхода поверхности уменьшается до ~ 2 эВ, а значение коэффициента вторичной электронной эмиссии и квантового выхода фотоэлектронов увеличивается до $2 - 3$ раз. В работе дается анализ полученных результатов.

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ НАНОПЛЕНОК СИЛИЦИДОВ МЕТАЛЛОВ

Б.Е. Умирзаков, Х.Х. Болтаев, Д.М. Мурадкабилов,
С.Т. Гулямова, Д.А. Ташмухамедова

Ташкентский государственный технический университет,
г. Ташкент, Узбекистан

В работе с использованием методов ОЭС, РЭМ, УФЭС и ДБЭ изучены параметры энергетических зон и кристаллической решетки силицидов NiSi_2 , BaSi_2 и CoSi_2 , полученных на поверхности Si ионной имплантацией и последующим отжигом. Результаты экспериментальных исследований сведены в таблицу.

Силициды	d, Å	Параметры кристаллической решетки		Параметры энергетических зон		
		тип	a, Å	E_v , эВ	E_g , эВ	χ_s , эВ
Si		куб.	5,43	5,1	1,1	4,0
NiSi_2	30	куб.	6,2	4,0	0,7	3,3
BaSi_2	50	куб.	5,42	4,0	0,5	3,5
CoSi_2	50	куб.	5,4	4,9	0,6	4,3

Из таблицы видно, что все силициды имеют кубическую решетку. Образование силицидов металлов во всех случаях сопровождается резким сужением ширины запрещенной зоны и некоторым уменьшением величины сродства к электрону. Все эти пленки являются относительно кремния гетероструктурными. При этом ширина запрещенной зоны этих силицидов существенно не отличаются друг от друга. Однако, уровень Ферми в случае BaSi_2 локализован вблизи валентной зоны, а в случае NiSi_2 и CoSi_2 уровень Ферми располагается на уровне потолка валентной зоны. Из последнего следует, что силицид никеля NiSi_2 является вырожденным полупроводником с дырочной проводимостью и обладает очень низким удельным сопротивлением.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОСПРЕЙНАЯ ИОНИЗАЦИЯ ПЕПТИДОВ ПРИ ВЫСОКОМ ВАКУУМЕ

Д.Т. Усманов, Ш.Дж. Ахунов, Б.Ш. Касимов

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий, АН РУз,
г. Ташкент, Узбекистан

Работа посвящена исследованию механизма последовательной ионизации смесей пептидов (грамицидин С и инсулин) малых масс в вакуумной электроспрейной ионизации (ЭСИ) в высоком вакууме используя простой вакуумный электроспрейный ионизационный источник, разработанный для этих целей [1]. Эксперименты проводились на базе статического магнитного масс-спектрометра МИ-1201 модернизированного для вакуумного ЭСИ.

Грамицидин С и инсулин разбавленный в чистом этаноле и в воде добавлен в электроспрейный раствор (вода и этанол с соотношением 75:25). Концентрация смесей пептидов в электроспрейном растворе составляла 10^{-5} моль. Получены масс-спектры смесей пептидов грамицидина С и инсулина и зависимости от приложенного высокого напряжения электроспрейного эмиттера. Результаты показали, что последовательная ЭСИ обнаруживается для грамицидина С и инсулина.

В работе обсуждаются механизмы последовательной ЭСИ пептидов грамицидина С и инсулина в высоком вакууме, а также влияние высокого напряжения на их последовательную ионизацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ш.Дж. Ахунов, Д.Т.Усманов // Тезисы докладов XLVIII международной Тулиновской конференции по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. М.: «Университетская книга», 2018, с. 113.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ОКИСЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ

У.Б.Шаропов^{1,2)}, Б.Г.Атабаев¹⁾, Р.Джаббарганов¹⁾,
И.Мирзахмедов²⁾, Ф.Худайкулов²⁾, Ш.Абдукаримов²⁾

¹⁾ Институт Ионно-Плазменных и Лазерных Технологий АН
РУз, г. Ташкент, Узбекистан

²⁾ Ташкентский Государственный Технический Университет
им. Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

Исследовано влияние электронного облучения на окисление поверхности кремния методом ВИМС [1] и спектроскопии полного тока [2].

При исследовании кинетики окисления поверхности кремневых пластин было обнаружено, что, если поверхность кремния полностью окислена $\text{SiO}_2\text{-Si}$, то при облучении электронами зарядка поверхности не наблюдается. Кажется, нехватка кислорода на поверхности $\text{SiO}_x\text{-Si}$ сопровождается захватом электронов на бо́тающиеся связи решетки кремния.

Также на поверхности оксида кремния обнаружено существование Р_б-центра (трех координированный атом кремния) методом спектроскопии полного тока. При адсорбции кислорода на поверхности оксида кремния её интенсивность снижается значительно.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Шаропов У.Б., Атабаев Б.Г., // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 2016. №2. с.1.
2. Шаропов У.Б., Атабаев Б.Г., // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 2013. №2. с.108.

МИГРАЦИЯ МЕЖДОУЗЕЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА НА ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ

У.Б. Шаропов^{1,2)}, Б.Г. Атабаев¹⁾, Р. Джаббарганов¹⁾,
И. Мирзахмедов²⁾, Ф. Худайкулов²⁾, Ш. Абдукаримов²⁾

¹⁾ Институт Ионно-Плазменных и Лазерных Технологий АН РУз,
г. Ташкент, Узбекистан

²⁾ Ташкентский Государственный Технический Университет им.
Ислама Каримова, г. Ташкент, Узбекистан

Исследовано влияние температуры на миграцию междоузельных дефектов углерода и кислорода на поверхности кремния методом ВИМС [1] и СПТ [2].

При высоких температурах отжига кремниевых пластин выше 600°C междоузельный углерод выходит из объема на поверхность, но ниже этой температуры углерод на поверхности наблюдается малой концентрацией.

При температурах отжига 400°C наблюдается образование тонкой окисной пленки на поверхности кремния, выше 800°C начинается удаление окиси с поверхности кремния, но полное удаление окиси с поверхности невозможно даже при температурах отжига 1000°C. Показано, после очистки в вакууме 10⁻⁹ Торр, поверхность кремния снова начинает окисляться в течении несколько минут (10 мин).

Только облучение ионами цезия с последующим отжигом (при температуре 800°C) образца приводит к получению атомарно чистой поверхности кремния на несколько минут в зависимости от давления остаточных газов вакуума. Но при этих температурах на поверхности образуются сильные связи углерода и кремния. Облучение ионами цезия не даёт возможности образованию окиси на кремнии за счет травления поверхности.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Шаропов У.Б., Атабаев Б.Г., // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 2016. №2. с.1.
2. Шаропов У.Б., Атабаев Б.Г., // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования 2013. №2. с.108.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОНИКНОВЕНИЯ АТОМОВ АРГОНА
ВНУТРЬ ФУЛЛЕРЕНА-60 И ФУЛЛЕРЕНА-70

И.Д. Ядгаров¹⁾, В.Г. Стельмах¹⁾, А.А. Джурахалов²⁾,
Х.И. Жаббаров³⁾

¹⁾Институт ионно-плазменных и лазерных технологий,
г. Ташкент, Узбекистан

²⁾University of Antwerp, Antwerp, Belgium

³⁾Ташкентский университет информационных технологий,
г. Ташкент, Узбекистан

Молекулярные модели фуллера-60 и фуллера-70, состоящие из 60 и 70 атомов углерода соответственно с надлежащим пространственным расположением, строились компьютерным моделированием с последовательными процессами дамплирования (введения сил взаимодействия при $T=0$ К) и термализации полученных дамплированных структур; в результате чего модели этих фуллеренов «разогрели» до 300 К. Для описания межатомного углеродного взаимодействия во всех расчетах использовался потенциал Бреннера второго поколения (REBO), который хорошо описывает углеродные структуры [1].

После получения молекулярных моделей фуллера-60 и фуллера-70 моделировалось падение атомов аргона с разными энергиями на эти модели фуллеренов; межатомное взаимодействие аргона с углеродом выбиралось в форме потенциала Леннарда-Джонса. Получены и обсуждаются кинетические энергии, необходимые атомам аргона для проникновения внутрь фуллера-60 и фуллера-70.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brenner D.W., Shenderova O.A., Harrison J.A., Stuart S.J., Ni B., Sinnott S.B., //J. Phys: Condens. Matter, 2002, №14, С. 783.

ОЦЕНКА ПОЛОЖЕНИЯ МАКСИМУМОВ ПЛОТНОСТИ СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ СОСТОЯНИИ В ПЛЕНКЕ CdTe

Ё.С.Эргашов¹⁾, Б.Е.Умирзаков¹⁾

¹⁾Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

В данной работе методом снятия спектры вторичных электронов в области малых энергии первичных электронов ($E_p=5-10$ кэВ) оценены положения максимумов плотности свободных электронных состояний в зоне проводимости (вблизи уровня вакуума) пленок CdTe.

На рис.1 приведены спектры $N(E_2)$ снятие при $E_p=5$ эВ, для чистого CdTe и CdTe со субмонослойной ($\theta \approx 0,3$) пленкой Cs. E_2 – энергия вторичных электронов. Нуль на оси E_2 соответствует уровню вакуума пленки CdTe. Из рис.1 видно, что после напыления Cs выход истинно-вторичных электронов в вакуум увеличивается, а начало в спектре смещается в сторону меньших энергии на $\sim 2,6$ эВ, то есть потенциальный барьер (средство к электрону χ) уменьшается на 2,6 эВ. На этой части спектра обнаруживается особенности при энергиях $E_{c1} = -1$ и $E_{c2} = -1,9$ эВ (относительно E_v при энергиях $E_{c1}=3,5$ и $E_{c2}=4,4$ эВ). Положения этих особенностей соответствуют максимумам плотности электронных состояний в зоне проводимости. Увеличивая толщины пленки Cs до 0,5-0,6 монослоев можно уменьшить χ примерно на 3 - 3,2 эВ. Однако начиная с $\theta \sim 0,4-0,5$ монослоев в спектре появляются особенности, связанные с адатомами Cs.

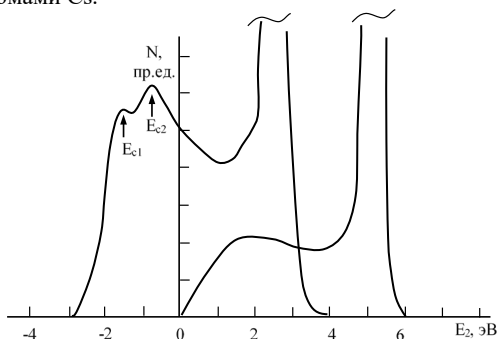


Рис. 1. Спектры $N(E_2)$, снятые при $E_p=5$ эВ, для чистого CdTe и CdTe со субмонослойной ($\theta \approx 0,2$) пленкой Cs.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОТОКА КИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ НА НАНОСТРУКТУРНЫЕ ПОЛИИМИДНЫЕ КОМПОЗИТЫ

В.Н. Черник¹⁾, Л.С. Новиков¹⁾, Е.Н. Воронина¹⁾,
А.В. Кононенко¹⁾, О.А.Серенко²⁾, У.С.Андропова²⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

¹⁾ИНЭОС РАН, Москва, Россия

Введение наноструктурных компонентов в полимерные композитные материалы применяется для улучшения их физико-химических свойств и повышения устойчивости к воздействию экстремальных факторов внешней среды в объектах современной техники, в частности, на внешних поверхностях космических аппаратов. В данной работе при воздействии ускоренного до 20-30 эВ потока кислородной плазмы исследуются полиимидные (ПИ) нанокомпозиты (НК), содержащие атомы Si. Матричным полимером служат термостойкие, органорастворимые сополимерные ПИ (СПИ); а прекурсорами наночастиц, формирующихся в объеме с размером < 14 нм, являются металлоалкоксисило-ксаны, различающиеся центральным атомом (Cr, Hf, Nb). Концентрация прекурсоров составляла 3 и 14 мас. %.

В таблице приведены измеренные значения коэффициента Y эрозии в ед. 10^{-24} г/атом О у НК с разными прекурсорами

%	СПИ	ПИ	Nb	Hf	Cr
14	5,4	4,3	0,30	0,33	0,54
3			0,75	0,55	1,32

Анализ полученных результатов показывает, что введение кремнийсодержащих наночастиц в полимерные цепи приводит к снижению Y более чем на порядок по сравнению с чистым СПИ, причем эрозия снижается при увеличении концентрации прекурсора. Данный эффект объясняется образованием под действием О на поверхности защитного слоя, содержащего соединения О-Si-O, препятствующего окислению нижележащих слоев СПИ. По мере увеличения флюенса О наблюдается уменьшение Y у НК при неизменном Y у СПИ. Это вызвано деструкцией с последующим уносом органической компоненты и обогащением поверхностного слоя пассивными к О соединениями О-Si-O. В докладе приведены зависимости Y от флюенса О для различных матриц и прекурсоров.

ВОЗМОЖНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ 10 КЭВ С ПОМОЩЬЮ НАНОКАПИЛЛЯРОВ В ПЛЕНКЕ ПЭТ

К.А. Вохмянина¹⁾, В.С. Сотникова¹⁾, А.А. Каплий¹⁾,
А.С. Кубанкин^{1,2)}

- ¹⁾ Международная научно-образовательная лаборатория
радиационной физики НИУ «БелГУ», г. Белгород, Россия
²⁾ Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН (ФИАН),
г. Москва, Россия

Возможность управления пучками положительных ионов Ne^{7+} с помощью пленки ПЭТ со сформированными в ней нанокapиллярами была продемонстрирована в экспериментальной работе /1/. Для описания наблюдаемого эффекта авторами указанной работы был введен термин «гайдинг». Позднее гайдинг-эффект наблюдался для других типов ионов с различными энергиями /2/. Подобные эксперименты также проводились с электронами с энергией до 1 кэВ. Результаты выполненных работ не позволили однозначно утверждать о существовании эффективного гайдинг-эффекта для нанокapилляров, при котором большая часть электронов пучка не теряет энергию при прохождении через пленку ПЭТ.

В настоящей работе проведены экспериментальные исследования гайдинг-эффекта для электронов с энергией 10 кэВ, проходящих через капилляры с диаметрами порядка 100 нм, сформированные в пленке ПЭТ толщиной 10 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. N. Stolterfoht, J.-H. Bremer, V. Hoffmann, R. Hellhammer, D. Fink, A. Petrov, B. Sulik // Phys. Rev. Lett., 2002, 88, 133201.
2. Nikolaus Stolterfoht, Yasunori Yamazaki // Physics Reports, 2016, 629, 1–107

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Ni НАНОСТРУКТУРМ.В. Здоровец^{1,2)}, А.Л. Козловский^{1,2)}¹⁾ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан²⁾ Институт Ядерной физики, Алматы, Казахстан

В работе представлены результаты изменения структурных и проводящих свойств Ni наноструктур от типа иона и флюенса облучения. В качестве бомбардирующих пучков использовались ионы B^{2+} , Ca^{5+} , Fe^{7+} . Флюенс облучения составил 10^{10} , 10^{11} и 5×10^{11} ион/см². Установлено, что в образцов облученных ионами B^{2+} и Ca^{5+} основные структурные изменения связаны с аморфизацией или переориентацией текстуры, а для образцов облученных ионами Fe^{7+} наблюдается формирование мало интенсивных пиков характерных для соединения FeNi. Установлено, что увеличение степени кристалличности свидетельствует о положительном влиянии ионов кальция на кристаллическую структуру, которое заключается в частичном отжиге дефектов и снятии напряжений и искажений в кристаллической решетке. Незначительное снижение степени кристалличности при облучении ионами железа, может быть объяснено процессами имплантации и выбивания атомов никеля из узлов решетки, что приводит к формированию примесных включений в виде фазы FeNi, содержание которой увеличивается с флюенсом облучения. Формирование в структуре аморфных включений и частичного разрушения стенок нанотрубок под действием облучения ионами бора приводит к резкому снижению степени кристалличности и проводящих свойств нанотрубок.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАДИЕНТНЫХ СТРУКТУР ПРИ ИОННО-ЛУЧЕВОМ ПЕРЕМЕШИВАНИИ АТОМОВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОИСТЫХ СИСТЕМ

Г.А. Вершинин, А.А. Куликов

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского,
г. Омск, Россия

Одним из способов повышения прочностных характеристик изделий из металлов и сплавов является формирование в них поверхностных слоев, состоящих из интерметаллидов с зёрнами в наноразмерном интервале, в условиях одновременного осаждения атомов покрытия и ионной имплантации. В результате такого воздействия в облученных материалах формируется градиентный характер изменения структурно-фазовых характеристик (концентрации элементов и примесей, плотности дефектов и их организации, фазового состава, размеров фрагментов, субзерен и др.) по мере удаления от поверхности. В работе /1/ предложена и разработана трехкатодная система вакуумной установки (напыление и облучение в ней производится в трех разных направлениях) для получения наноструктурных топокомполитов и градиентных структур физико-механических свойств, что благоприятно влияет на триботехнические характеристики узлов трения /1/. Целью данной работы является обоснование путем компьютерного моделирования с использованием программного пакета «TRIM» формирования градиентных поверхностных слоёв при ионно-лучевом перемешивании в условиях ионной имплантации. Продемонстрировано, что формирование в приповерхностных слоях металлов и сплавов пространственно - неоднородных слоев элементного и фазового составов зависит как от вида и режимов облучения, так и от структурных особенностей материалов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гринберг П.Б., Коротаяев Д.Н., Полещенко К.Н., Суриков В.И. // Вестник СибАДИ. 2015, вып. 3(43), с.39-45.

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ НА СТРУКТУРУ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЕНОК

А.А. Лазарева¹⁾, А.Я. Виноградов²⁾, К.В. Карабешкин¹⁾,
А.И. Титов¹⁾, П.А. Карасёв¹⁾,

¹⁾ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого, Санкт-Петербург, Россия

²⁾ Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе, Санкт-
Петербург, Россия

Алмазоподобные пленки, за счет того, что в их состав входят одновременно sp^3 - и sp^2 -гибридизованные связи между атомами углерода, обладают высокой твердостью, износостойкостью и биологической совместимостью, что, в частности, позволяет использовать их в медицине в качестве покрытий для биоимплантов. Свойства тонких приповерхностных слоев можно направленно изменять путем облучения ускоренными ионами.

Ранее было показано [1], что при облучении алмазоподобных пленок с ростом дозы, уменьшалась доля sp^2 -связей, пропорционально росла доля sp^3 -связей внутренние механические напряжение уменьшались, и от сжимающих становились растягивающими и выходили на насыщение.

В данной работе, пленки алмазоподобного углерода осаждались на кристаллические кремниевые подложки методом высокочастотного плазмо-химического осаждения из метана, а затем облучались ионами P^+ и PF_4^+ , с энергией 2.1 кэВ.а.е.м. Были измерены спектры комбинационного рассеяния облученных образцов с лазерным возбуждением на длинах волн от 244 до 780 нм, а также рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. В докладе будет представлен комплексный анализ воздействия облучения атомарными и молекулярными ионами на свойства алмазоподобных пленок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Karaseov P.A., Podsvirov O.A., Karabeshkin K.V. et al. //Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B. 2010. V. 268. P. 3107.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ПАРОПРОНИЦАЕМОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
ВЕЩЕСТВА С ОДНОРОДНОЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

Э. Г. Никонов, М. Поповичова¹⁾

Объединённый институт ядерных исследований, РФ, 141980,
г. Дубна Московской области, ул. Жолио-Кюри, 6, +74962164722,

¹⁾ Университет г. Прешова, Словакия, 080 01, г. Прешов,
ул. Конштантинова, 16, +421948034426,

Одной из самых важных характеристик пористого вещества является проницаемость по отношению к газам и жидкостям. В зависимости от значений величины проницаемости пористое вещество по-разному может взаимодействовать с протекающими через это вещество газами и жидкостями. Значительный практический интерес вызывают исследования взаимодействия водяного пара с материалами с равномерно распределёнными порами, каковыми являются большинство строительных, конструкционных, фильтрующих и защитных материалов. Поскольку в большинстве практически важных случаев пористая среда с достаточной точностью может быть представлена в виде структуры с равномерно распределёнными порами, результаты исследований индивидуальной поры могут быть использованы для анализа пористой среды в целом [1,2]. В данной работе проведено исследование зависимости проницаемости индивидуальной цилиндрической поры от радиуса, длины поры и характеристик процесса взаимодействия молекул воды со стенками поры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Suman, R. & Ruth, D. *Transp Porous Med* (1993) 12: 185. <https://doi.org/10.1007/BF00616979>.
2. Lugo-Méndez, H.D., Valdés-Parada, F.J., Porter, M.L. et al. *Transp Porous Med* (2015) 107: 683. <https://doi.org/10.1007/s11242-015-0462-4>

He ION IRRADIATION INDUCED EFFECTS IN CNT-BASED FILTERS

Emad M. Elsehly¹⁾, N.G. Chechenin²⁾, H.A. Motaweh³⁾

¹⁾ Damanhour University, Egypt

²⁾ SINP MSU, Russia

Recent experiments on ion irradiation of carbon nanotubes have revealed a wealth of intriguing phenomena. It is shown in the report that disorder produced by ion beam irradiation can enhance the functionality of the carbon nanotubes. The filters of pressed multiwalled carbon nanotubes (MWNTs) were irradiated by He⁺ ions of the energy E=80 keV with the fluence 2×10^{16} ion/cm². The removal of manganese from aqueous solutions by using pristine and ion beam irradiated MWNTs filters was studied as a function of pH, initial concentration of manganese in aqueous solution, MWNT mass and contact time. The filters before and after filtration were characterized by Raman (RS) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) techniques to investigate the deposition content in the filter and defect formation in the MWNTs. The irradiated samples showed an enhancement of removal efficiency of manganese up to 97.5% for 10 ppm Mn concentration, suggesting that irradiated MWNT filter is a better Mn adsorbent from aqueous solutions than the pristine one. Radiation-induced chemical functionalization of MWNTs due to ion beam irradiation, suggesting that complexation between the irradiated MWNTs and manganese ions is another mechanism. This conclusion is supported by EDS and RS and is correlated with a larger disorder in the irradiated samples as follows from RS. The study demonstrates that ion beam irradiation is a promising tool to enhance the filtration efficiency of MWNT filters.

REFERENCES

1. Emad M. Elsehly, et al. Morphological and structural modifications of multiwalled carbon nanotubes by electron beam irradiation, Material research express, 2016, Vol. 3, 105013.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ
РАДИАЛЬНЫМИ ПУЧКАМИ ИОНОВ Ar^+ и Xe^+ с ШИРОКИМ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СПЕКТРОМ

Д.А. Сафонов, Е.Л. Корневский, Н.В. Волков

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия

Ионное легирование изделий из сплавов циркония требует применения методов, обеспечивающих равномерное распределение внедренных атомов по глубине относительно линии поверхности. В ряде случаев представляется целесообразным проводить облучение пучком ионов с широким энергетическим спектром (отношение ширины энергетического спектра ΔE к величине средней энергии $\langle E \rangle$ ионов в пучке $\sigma=10-50\%$), например, для получения в матрице распределения внедренных атомов близкое к прямоугольному.

Целью данной работы было изучение влияния энергии и дозы излучения на эффективность модификации приповерхностного слоя поликристаллической циркониевой подложки атомами Al, Cr пленок, которые были введены методом ионного перемешивания под воздействием пучков ионов Ar^+ и Xe^+ с широким энергетическим спектром. Показано, что глубина проникновения X_m линейно зависит от дозы излучения в диапазоне значений $\Phi=(0,5-10)10^{18}$ ион/см², а распределение внедренных атомов пленок $C(x)$ имеет несколько максимумов, которые связаны с особенностями развития каскадов смещений и радиационно-стимулированных процессов. Например, первый максимум соответствует глубине пробега ионов со средней энергией $x(\langle E \rangle)$. Второй максимум находится в диапазоне ионов с максимальной энергией $x(E_{\text{max}})$, а появление третьего обусловлено радиационно-стимулированными процессами, в том числе распределением механических напряжений по глубине, взаимодействием внедренных атомов друг с другом и атомами подложки, наличием и распределением точечных дефектов).

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИССИПАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ ИНЕРТНЫХ АТОМОВ В НЕХИРАЛЬНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ

Н.В. Максютя¹⁾, В.И. Высоцкий¹⁾, С.В. Ефименко¹⁾,
Е.В. Мартыш¹⁾, Д.Н. Максютя¹⁾, А.С. Сабиров²⁾

¹⁾КНУ имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

²⁾ЧГУ имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

В данной работе, являющейся продолжением работы [1], изучается влияние валентных электронов колеблющихся атомов углерода нехиральных углеродных нанотрубок (УНТ) на процесс каналированного движения атомов инертных элементов (в частности, атомов аргона, криптона и ксенона). Как и в работе [1], рассчитываются плотности вероятностей $P(\varepsilon, z)$ локализации этих нейтральных атомов с поперечной энергией ε на расстоянии z от входа в канал УНТ с помощью следующего уравнения диффузии:

$$\partial P(\varepsilon, z) / \partial z = \partial \left[D(\varepsilon) \partial P(\varepsilon, z) / \partial \varepsilon \right] / 2 \partial \varepsilon \quad [2].$$

С помощью этих функций $P(\varepsilon, z)$ вычисляются длины деканализирований, рассчитываются пространственные распределения рассматриваемых нейтральных атомов инертных элементов в нехиральных УНТ, а также производятся сравнения вкладов в эти распределения за счет рассматриваемого механизма и за счет когерентных возбуждений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Максютя Н.В., Высоцкий В.И., Ефименко С.В., Мартыш Е.В., Максютя Д.Н., Сабиров А.С. // Тез. докл. XLVIII между. Тулиновской конф. по физике взаимодей. заряж. частиц с крист. / Под ред. проф. М.И. Панасюка. – М.: Университетская книга, 2018. – С. 9.
2. Опуки Е.-Х. Взаимодействие заряженных частиц с твердыми телами. – М.: Мир, 1985, 280 с.

БЛИСТЕРООБРАЗОВАНИЕ В ПЛЕНКАХ НИТРИДОВ
ЦИРКОНИЯ, АЛЮМИНИЯ И ХРОМА, ОБЛУЧЕННЫХ
ИОНАМИ ГЕЛИЯ

В.В. Углов^{1,2)}, Г. Абади³⁾, С.В. Злоцкий¹⁾, И.А. Солодухин¹⁾,
А.А. Малашевич¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

²⁾Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

³⁾Институт Ф³, Университет Пуатье, г. Пуатье, Франция

Работа посвящена исследованию процессов блистерообразования в моноситридных пленках ZrN, AlN и CrN, облученных ионами He. Пленки моноситридов формировались методом реактивного магнетронного распыления мишеней из Zr, Al и Cr при температуре 350°C. Методом рентгеноструктурного анализа и растровой электронной микроскопии исследованы микроструктурные особенности в моноситридных пленках после облучения ионами He (энергия 40 кэВ и дозы до $1,1 \cdot 10^{18}$ см⁻²).

Облучение ионами гелия до дозы $2 \cdot 10^{17}$ см⁻² не выявило эрозии поверхности в моноситридных пленках. Обнаружено, что увеличение дозы облучения ионами He до $3 \cdot 10^{17}$ см⁻² приводит к образованию блистеров в пленке AlN. Диаметр блистеров составляет 2,5 мкм, а поверхностная плотность – 56%. Для пленки ZrN формирование блистеров происходит при дозе $3 \cdot 10^{17}$ см⁻², а для пленки CrN при $7 \cdot 10^{17}$ см⁻². При этом диаметр блистеров для ZrN составляет 1-1,5 мкм, а для CrN – 4-8 мкм.

В работе обсуждаются механизмы эрозии поверхности моноситридных пленок на основе нитридов циркония, алюминия и хрома при облучении ионами He.

СТОЙКОСТЬ К ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ ОКИСЛЕНИЮ
МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ZrN/SiN_x И CrN/SiN_x ,
СФОРМИРОВАННЫХ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

И.А. Солодухин¹⁾, Г. Абади²⁾, В.В. Углов¹⁾, С.В. Злоцкий¹⁾,
А.А. Малашевич¹⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

²⁾ Институт Prime, Университет Пуатье, г. Пуатье, Франция

Покрытия ZrN/SiN_x и CrN/SiN_x были сформированы методом магнетронного осаждения последовательным распылением мишеней Zr (Cr) и Si_3N_4 при варьировании толщины индивидуального слоя от 2 до 10 нм при температуре подложки 300 °С.

Рентгеновская дифрактометрия свидетельствует о том, что многослойные покрытия ZrN/SiN_x и CrN/SiN_x состоят из нанокристаллических слоёв ZrN (CrN) с преимущественной ориентацией (002) и аморфных слоёв SiN_x , четко разделенных между собой. Параметр решетки фазы нитрида металла для пленок ZrN/SiN_x и CrN/SiN_x больше, чем для монолитических слоев ZrN и CrN, соответственно, и он увеличивается при уменьшении отношения толщины элементарного слоя ZrN (CrN) к толщине элементарного слоя SiN_x , что может быть вызвано наличием больших сжимающих напряжений.

Многослойные покрытия ZrN/SiN_x и CrN/SiN_x обладают большей стойкостью к высокотемпературному окислению (в интервале температур 400-950 °С) по сравнению с покрытиями ZrN и CrN. Причем эта стойкость повышается при уменьшении отношения толщины элементарного слоя ZrN (CrN) к толщине элементарного слоя SiN_x , а также при увеличении количества слоёв в пленке. В целом, покрытия CrN/SiN_x более стабильны в условиях высокотемпературного окисления, чем покрытия ZrN/SiN_x .

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АРГОНОВЫХ КЛАСТЕРОВ С
ПОВЕРХНОСТЬЮ ТИТАНА

В.В. Сироткин^{1,2)}

¹⁾ГНЦ РФ – ФЭИ, г. Обнинск, Россия

²⁾ИИПТМ РАН, г. Черногоровка, Россия

Наноструктурирование с помощью Gas Cluster Ion Beam (GCIB) и Accelerated Neutral Atom Beam (ANAB) значительно повышает скорость пролиферации клеток остеобласта на поверхности титановых имплантатов /1, 2/. С целью исследования и оптимизации создаваемого в ходе такой обработки нанорельефа проведено молекулярно-динамическое моделирование соударений ускоренных аргоновых кластеров с поверхностью титана. Изучена зависимость структуры и размеров возникающих на поверхности повреждений от размеров кластеров, их энергии и угла падения. При этом рассмотрено воздействие как кластерных ионов, входящих в состав GCIB, так и нейтральных кластеров, формирующихся при генерации ANAB /3/.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России. Соглашение № 14.579.21.0157. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57918X0157.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yamada I., Khoury J. Cluster Ion Beam Processing: Review of Current and Prospective Applications // MRS Proc. Cambridge University Press, 2011, v. 1354, p. mrs11-1354-ii03-01.
2. Kirkpatrick A., Kirkpatrick S., Walsh M., Chau S., Mack M., Harrison S., Svrluga R., Khoury J. Investigation of accelerated neutral atom beams created from gas cluster ion beams // Nucl. Instr. and Meth. B, 2013, v. 307, p. 281.
3. Sirotkin V.V. Molecular dynamic analysis of collision-induced fragmentation of accelerated argon cluster ions // J. Pharm. Sci. Res., 2018, v. 10, № 4, p. 933.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСКОРЕННЫХ АТОМОВ АРГОНА С
ПОВЕРХНОСТЬЮ ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА

В.В. Сироткин^{1,2)}

¹⁾РТУ МИРЭА, Москва, Россия

²⁾ИИТМ РАН, г. Черноголовка, Россия

Рассмотрен процесс столкновения атомов аргона, имеющих энергию от 20 эВ до 100 эВ, с подложкой из полиэфирэфиркетона (ПЭЭК). Целью исследования была проверка предположения о том, что одиночные атомы аргона, являющиеся одной из компонент Accelerated Neutral Atom Beam (ANAB) /1/, могут существенно менять структуру химических связей на поверхности этого пластика, тем самым влияя на его биоактивность.

Результаты моделирования показали, что воздействие атомов аргона даже с энергиями, не превышающими 40 эВ, может вызывать разрыв значительного числа связей С-О в эфирных и С-С в кетонных группах макромолекул ПЭЭК. Возникшие при этом на поверхности пластика свободные радикалы при взаимодействии с соответствующей атмосферой могут преобразовываться в гидроксильные и карбоксильные группы. Появление большого количества именно таких групп на поверхности ПЭЭК после ее обработки ANAB наблюдалось экспериментально /2/.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России. Соглашение № 14.574.21.0136. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57417X0136.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sirotkin V.V. Molecular dynamic analysis of collision-induced fragmentation of accelerated argon cluster ions // J. Pharm. Sci. Res., 2018, v. 10, № 4, p. 933.
2. Khoury J., Maxwell M., Cherian R.E., Bachand J., Kurz A.C., Walsh M., Assad M., Svrluga R.C. Enhanced bioactivity and osseointegration of PEEK with accelerated neutral atom beam technology // J. Biomed. Mater. Res. - Part B Appl. Biomater., 2017, v. 105, № 3, p. 531.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК СЛАБОТОЧНОГО ГАЗОВОГО
РАЗРЯДА ПРИ НАЛИЧИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ НА
ПОВЕРХНОСТИ КАТОДА

В.И. Кристя, Мьо Ти Ха

Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, г. Калуга, Россия

Для улучшения эмиссионных свойств катодов газоразрядных приборов на их поверхности часто формируют диэлектрические оксидные пленки. В разряде, вследствие бомбардировки катода ионами, происходит накопление на поверхности пленки положительных зарядов. В результате, в ней возникает электрическое поле, достаточное для появления полевой эмиссии электронов из металлической подложки электрода в пленку, что обеспечивает увеличение эффективного коэффициента эмиссии катода /1/. Однако влияние этого фактора на характеристики разряда изучено недостаточно.

В данной работе построена модель слабоочного газового разряда при наличии на катоде тонкой диэлектрической пленки и рассчитана его вольт-амперная характеристика. Показано, что при толщине пленки порядка 10 нм она является падающей и может обуславливать нестабильность разряда, наблюдавшуюся экспериментально в /2/.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и правительства Калужской области (проект 18-42-400001).

ЛИТЕРАТУРА

1. Bondarenko G.G., Kristya V.I., Savichkin D.O. // Vacuum, 2018, V. 149, P. 114.
2. Гуторов К.М., Визгалов И.В., Маркина Е.А., Курнаев В.А. // Известия РАН. Серия физическая, 2010, Т. 74, № 2, С. 208.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ИОНОВ И АТОМОВ У ПОВЕРХНОСТИ КАТОДА С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЛЕНКОЙ И ЕГО РАСПЫЛЕНИЯ В ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ В СМЕСИ АРГОН-РТУТЬ

Д.О. Савичкин, М.Р. Фишер, В.И. Крестя

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, г. Калуга, Россия

В ряде типов газоразрядных осветительных ламп в качестве рабочей среды используется смесь аргона с парами ртути, состав которой зависит от температуры. Влияние данного фактора на перенос частиц и кинетику межчастичных взаимодействий в слаботочном разряде в смеси аргон-ртуть исследовано в [1]. Зависимость же энергий ионов и быстрых атомов от температуры смеси в таком разряде ранее не изучалось.

В данной работе построена численная модель разряда в смеси аргон-ртуть при наличии на поверхности катода тонкой диэлектрической пленки, позволяющей улучшить его эмиссионные свойства [2]. В ней движение ионов и образующихся при их столкновениях с атомами аргона быстрых атомов проводится с использованием метода Монте-Карло. Оценено влияние диэлектрической пленки и температуры на характеристики разряда, энергетические спектры бомбардирующих катод частиц и его распыление.

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания «Организация проведения научных исследований» Минобрнауки РФ в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Проект 3.8408.2017/6.7) при финансовой поддержке РФФИ и правительства Калужской области (проект 18-42-400001).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко Г.Г., Дубинина М.С., Фишер М.Р., Крестя В.И. // Известия вузов. Физика, 2017, Т. 60, № 12, С. 48.
2. Bondarenko G.G., Kristya V.I., Savichkin D.O. // Vacuum, 2018, V. 149, P. 114.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ-ДЕСОРБЦИИ
ВОДОРОДА ТИТАНОВЫМ СПЛАВОМ ВТ1-0 И
ЦИРКОНИЕВЫМ СПЛАВОМ Э110

М.Н. Бабихина, В.Н. Кудияров, Т.Л. Мурашкина, Р.С. Лаптев,
М.С. Сыртанов, А.В. Курочкин

Национальный исследовательский
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Сплавы на основе титана и циркония находят широкое применение в различных областях, таких как медицина, химическая и нефтегазовая промышленность, а также ядерная энергетика. При этом в результате различных технологических процессов изготовления сплавов и использования их в агрессивных средах происходит проникновение водорода в объем материала, что приводит к разрушению титановых и циркониевых сплавов. Разрушение металлов из-за водородного охрупчивания происходит, в частности, под действием образования гидридных фаз, которые изменяют физико-химические свойства, ухудшают механические характеристики конструкционных материалов и вызывают гидридное растрескивание. В сплавах водород также может находиться в растворенном состоянии, либо захвачен дефектами и неоднородностями кристаллической решетки. Для предотвращения водородного охрупчивания металлов важно представлять процессы взаимодействия водорода с металлами, формирования гидридов, основы определения состояния и количества накопленного водорода. В настоящей работе проведено исследование накопления и распределения водорода в циркониевом сплаве Э110 и в технически чистом титановом сплаве ВТ1-0 при наводороживании из газовой среды. Особое внимание уделено изучению фазовых переходов в системах титан-водород и цирконий-водород при термическом воздействии с использованием источника синхротронного излучения в специализированной лаборатории «Прецизионная дифрактометрия II» Института катализа СО РАН.

РАДИАЦИОННЫЕ ДЕФЕКТЫ В ПОЛЫХ ЧАСТИЦАХ ZnO,
ИНДУЦИРОВАННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЕМ
НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОТОНОВ

А.Н. Дудин¹⁾, В.В. Нещименко¹⁾, В.Ю. Юрина¹⁾

¹⁾ Амурский государственный университет,
г. Благовещенск, Россия

Представлены результаты физико-математического моделирования воздействия пучка низкоэнергетических протонов с частицами оксида цинка (ZnO) в программном комплексе Geant4. Проведен сравнительный анализ расчетных результатов с экспериментальными данными и расчетными данными, полученными в SRIM.

В качестве модели мишени рассмотрены частицы ZnO с размером 1000 нм, и полые частицы с толщиной стенки 50 нм. В модели и эксперименте был использован моноэнергетический пучок протонов с энергией 100 кэВ. Пороговая энергия смещения для атома цинка была выбрана 52 эВ, для кислорода – 57 эВ.

Для эксперимента были выбраны микропорошки и полые частицы ZnO микронных размеров, полученные гидротермальным методом из ацетата цинка и гидрокарбонат аммония. По спектрам наведенного поглощения на основании формулы Смакулы-Декстера была рассчитана концентрация центров поглощения и проведено сравнение с расчётными данными количества дефектов по Френкелю с помощью модифицированной формулы Кинча-Пиза. В модели проанализированы данные пробега протонов, длина свободного пробега, количество первично-выбитых атомов, удельные ионизационные и радиационные потери в полых и объемных частицах оксида цинка.

Установлено, что в полых частицах образуется на порядок меньшее количество первично-выбитых атомов, чем в объемных частицах, что обуславливает и меньшую концентрацию радиационных дефектов в полых частицах. Из расчетных данных следует, что в полых частицах ионизационные потери меньше, чем в объемных частицах, а радиационные потери наоборот больше.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТОНОВ НА ПОЛЫЕ
ЧАСТИЦЫ ОКСИДА ЦИНКАА.Н. Дудин¹⁾, В.В. Нецименко¹⁾¹⁾ Амурский государственный университет,
г. Благовещенск, Россия

Представлены результаты физико-математического моделирования воздействия пучка низкоэнергетических протонов с частицами оксида цинка (ZnO) в программном комплексе Geant4. Проведен сравнительный анализ расчетных результатов с экспериментальными данными и расчетными данными, полученными в SRIM.

В качестве модели мишени рассмотрены частицы оксида цинка с размером 1000 нм, и полые частицы с толщиной стенки 50 нм. В модели и эксперименте был использован моноэнергетический пучок протонов с энергией 100 кэВ. Пороговая энергия смещения для атома цинка была выбрана 52 эВ, для кислорода – 57 эВ.

Для эксперимента были выбраны микропорошки и полые частицы оксида цинка микронных размеров, полученные гидротермальным методом из ацетата цинка и гидрокарбонат аммония. По спектрам наведенного поглощения на основании формулы Смакулы-Декстера была рассчитана концентрация центров поглощения и проведено сравнение с расчётными данными количества дефектов по Френкелю с помощью модифицированной формулы Кинча-Пиза. В модели проанализированы данные пробега протонов, длина свободного пробега, количество первично-выбитых атомов, удельные ионизационные и радиационные потери в полых и объемных частицах оксида цинка.

Установлено, что в полых частицах образуется на порядок меньшее количество первично-выбитых атомов, чем в объемных частицах, что обуславливает и меньшую концентрацию радиационных дефектов в полых частицах. Из расчетных данных следует, что в полых частицах ионизационные потери меньше, чем в объемных частицах, а радиационные потери наоборот больше.

ЗАРЯДОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ
МДП-СТРУКТУР ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ
РАДИАЦИОННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ И СИЛЬНОПОЛЕВОЙ
ИНЖЕКЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ

Д.В. Андреев¹⁾, Г.Г. Бондаренко²⁾, В.В. Андреев¹⁾,
В.М. Масловский³⁾, А.А. Столяров¹⁾

¹⁾ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал,
г. Калуга, Россия

²⁾ Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», Москва, Россия

³⁾ МФТИ (государственный университет),
г. Долгопрудный, Московская обл., Россия

В данной работе проведено исследование воздействия α -частиц, протонов и гамма-излучения на МДП-структуры, находящиеся в режиме сильнополевой инжекции электронов в диэлектрик. Установлено, что ионизационный ток, возникающий в процессе облучения МДП-структур, находящихся в режиме сильнополевой инжекции электронов, может существенно уменьшать плотность инжекционного тока и снижать электрическое поле в диэлектрической пленке. Показано, что из анализа временной зависимости напряжения, падающего на МДП-структуре в режиме протекания постоянного тока I , можно определить величину ионизационного тока. Это явление можно использовать в сенсорах радиационных излучений, позволяющих контролировать как интенсивность радиационных излучений, так и величину интегральной поглощенной дозы ионизирующего излучения. Разработана модель процессов изменения зарядового состояния МДП-структур, находящихся в режиме одновременного воздействия радиационных излучений и сильнополевой инжекции электронов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A., Andreev D.V. // Phys. Status Solidi C. 2015. Vol.12. No. 1–2. P. 126–130.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНЖЕКЦИОННО- И
РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК
МДП-СТРУКТУР

В.В. Андреев, Д.М. Ахмелкин

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал,
г. Калуга, Россия

Данная работа посвящена исследованию влияния инжекционно- и радиационно-термической обработок на модификацию МДП-структур. Изучено влияние режимов сильнополевой туннельной инжекции электронов в подзатворный диэлектрик МДП-структур, а также влияние легирования пленки диоксида кремния фосфором, на радиационную и инжекционную стойкость образцов. Предложено для модификации подзатворного диэлектрика МДП-структур проводить инжекционно-термическую обработку, заключающуюся в сильнополевой инжекции в тонкую диэлектрическую пленку электронов заданной плотности с последующим отжигом структуры /1/. Исследовано влияние режимов инжекционно-термической обработки на модификацию МДП-структур. Показано, что процессы модификации МДП-структур, наблюдающиеся при инжекционно-термической обработке, во многом идентичны процессам, происходящим при радиационно-термической обработке. Изучено влияние режимов сильнополевой туннельной инжекции электронов в подзатворный диэлектрик МДП-структур, а также влияние легирования пленки диоксида кремния фосфором, на плотности зарядовых дефектов и их эволюцию при последующих критических режимах эксплуатации приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andreev D.V., Bondarenko G.G., Andreev V.V., Stolyarov A.A. // Key Engineering Materials. 2018. Vol. 781. P.47-52.

ВЛИЯНИЕ СОРТА ИОНОВ НА ДИНАМИЧЕСКИЙ ОТЖИГ
ИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ РАДИАЦИОННЫХ
НАРУШЕНИЙ В АЛМАЗЕ

А.М. Борисов¹⁾, В.А. Казаков²⁾, Е.С. Машкова³⁾,
М.А. Овчинников^{1,3)}, Е.А.Питиримова⁴⁾

¹⁾МАИ (НИУ), Москва, Россия;

²⁾ГНЦ - ФГУП «Центр Келдыша», Москва, Россия;

³⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

⁴⁾Физический факультет ННГУ имени Н.И. Лобачевского,
г. Нижний Новгород, Россия

Эксперименты с облучением природного алмаза ионами углерода при повышенных температурах показывают особенности динамического отжига радиационных нарушений /1,2/. В настоящей работе с целью исследования динамического отжига в синтетических (моно- и поликристаллических) алмазах проведены измерения проводимости, спектроскопии КРС, РФЭС и ДОБЭ при облучении ионами инертных газов азота и углерода с энергий 30 кэВ в интервале температур облучения от комнатной до 720°C. Сравнительные исследования показали, что во всех исследованных случаях в диапазоне температур облучения 250-500°C динамический отжиг радиационных нарушений в алмазе приводит к графитизации ионно-модифицированного слоя. При температурах облучения выше 500°C для ионов инертных газов (неона и аргона) модифицированному слою соответствует нанографитовая структура. При облучении собственными ионами, т.е. ионами углерода, в отличие от облучения примесными ионами, происходит рост и рекристаллизация фазы алмаза с тонким графитоподобным слоем на поверхности, порядка единиц нанометров при толщине модифицированного слоя десятки и сотни нм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nelson R. S., Hudson J. A., Mazey D. J., Piller R. C. // Proc. R. Soc. London A. 1983. V386. P. 211.
2. Prins J.F., Derry T.E. // Nucl. Inst. Meth. in Phys. B. 2000. V.166-167. P.364.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ОТРАЖЕННЫХ ИОНОВ
ОТ ВИДА АТОМНОГО ПОТЕНЦИАЛА

А. И. Толмачев¹⁾, Л. Форлано²⁾

¹⁾ Российский новый университет, Москва, Россия

²⁾ Университет Калабрии, Козенца, Италия

Значение коэффициента отражения при бомбардировке твердого тела ионами определяется главным образом числом частиц, обладающих малыми энергиями. Энергетическое распределение отраженных ионов при малых энергиях имеет вид

$$R(E) dE = C \left(\ln \frac{E_0}{E} \right)^{-3/2} \frac{dE}{E}, \quad E \ll E_0,$$

где E_0 и E – энергии бомбардирующих и отраженных ионов соответственно. Множитель C зависит от отношения масс $A=M_1/M_2$ иона и атома мишени, а также от вида атомного потенциала. Для случая степенного атомного потенциала приближенные значения C были найдены в [1,2]. В данной работе получены точные зависимости множителя C от отношения A для различных видов потенциалов. Теория основана на решении транспортного уравнения методом дискретных потоков, при котором интервал изменения направляющего косинуса $[-1;1]$ разбивается на N равных частей. Метод апробирован на тестовых задачах, имеющих известные аналитические решения. Оказалось, что множитель C увеличивается с ростом отношения масс A и медленно уменьшается при переходе от потенциала твердых сфер к кулоновскому потенциалу. Полученные результаты проверены с помощью программы компьютерного моделирования PAOLA [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Waldeer K. T., Urbassek H. M. // Applied Physics A, 1988, vol. 45, p. 207.
2. Tolmachev A. I. // Nuclear Instr. and Methods in Physics Research B, 1994, vol. 93, p. 415.
3. Толмачев А. И., Форлано Л. // ЖТФ, 2018, т. 88, с. 1502

АНАЛИЗ РАСПЫЛЕННЫХ И ОСАЖДЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВАКУУМНЫХ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ КАМЕР КВАДРУПОЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ

А.И. Кудюкин¹⁾, М.Н. Махмудов¹⁾, Е.Н. Моос¹⁾,
В.А. Степанов¹⁾

¹⁾ Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,
г. Рязань, Россия

На базе квадрупольных систем, включенных в технологическое оборудование, развивается метод контроля газового состава и герметичности вакуумных высоковольтных дугогасительных камер.

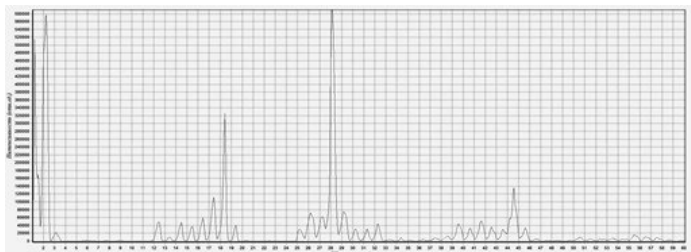


Рис.1 Спектр вакуумной камеры после прогрева до температуры
 $T=1050$ °С. Потенциал ионизатора - 70 В

В спектрах (рис. 1) имеются как ионные линии технологических газов (водород и гелий), так и линии, соответствующие диффузионным маслам типа $C_xH_y^+$ и молекулы десорбируемые со всех деталей прерывателя, а также ионы остаточного газа (CO_2^+ , H_2O^+ , N_2^+ , N^+ и их многоатомные композиции). Большая массовая доля водорода объясняется технологическим циклом производства камер, в частности, пайки и отжига в водородной печи. На протяжении всего процесса пайки и отжига в среде водорода осуществляется обезгаживание металлов и очистку от поверхностных окислов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
НАНОКЛАСТЕРОВ МЕДИ С ЭНЕРГИЕЙ 100 эВ-10 кэВ
С МЕТАЛЛАМИ

Б. Батгэрэл^{1,3)}, И.В. Пузынин¹⁾, Т.П. Пузынина¹⁾,
И.Г. Христов²⁾, Р.Д. Христова²⁾, З.К. Тухлиев¹⁾, З.А. Шарипов¹⁾

¹⁾Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

²⁾Софийский университет “Св. Климент Охридски”,
София, Болгария

³⁾Монгольский государственный университет науки и технологии,
Улан-Батор, Монголия

В работе методом молекулярной динамики проведено исследование процессов взаимодействия нанокластеров меди [1, 2] с энергиями из диапазона 100 эВ-10 кэВ с металлическими мишенями различных размеров. Получены результаты образования ударных волн в зависимости от энергии нанокластера и размера мишени. Также исследованы воздействия ударных волн для объяснения эффекта дальнего действия [3]. Проведена классификация возникающих структурных изменений в глубине мишени в зависимости от энергии нанокластера и размера мишени. Полученные результаты показывают действие ударных волн одним из возможных механизмов образования эффекта дальнего действия.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-01-00661-а и гранта Полномочного представителя Республики Болгарии в ОИЯИ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. Batgerel, S. Dimova, I. Puzynin et al. //EPJ Web Conf., 173 (2018) 06001.
2. Batgerel В., I. Puzynin, Т. Puzynina et al. //Lecture Notes in Computer Science, vol 11189. (2019)
3. Апарина Н.П., Мартыненко Ю.В. и др. // ВАНТ. Серия: Термоядерный синтез. 2007. № 3. С. 18-27.

SECONDARY ION EMISSION IN THERMAL SPIKE REGIME OF
ION BEAM SPUTTERING

Yu. Kudriavtsev, I. Guerrero, R. Asomoza
Cinvestav-IPN, Mexico DF, Mexico

Secondary ion emission during ion sputtering of a target is a physical base of the Secondary Ion Mass Spectrometry method (SIMS), widely used for elemental analysis of different materials. Up to now all investigators consider the so-called “linear cascade” sputtering regime in SIMS experiments. At the same time, the last generation of TOF-SIMS instruments is equipped with Bi and Au⁺ ion sources, working with 25-60keV ion beam energies. But the ion irradiation with so heavy (including Bi₃⁺ cluster ions) and energetic ions should be in the so-called “thermal spike” regime of sputtering [1].

In this study we realized SIMS depth profiling analysis of a set of implanted elements in GaAs crystals. SIMS analysis was performed by using a Bi₃⁺ pulsing ion beam with 30keV beam energy with a TOF-SIMS-V time-of-flight spectrometer from Ion-Tof Co. (Germany). Surface sputtering was performed by a low energy oxygen ion beam (0.5-2keV) – the so-called double beams regime of SIMS analysis. We monitored secondary positive ions, separated in a reflectron type time-of-flight spectrometer.

Experimentally found Relative Sensitivity Factors (RSF) for 11 elements we compared with ones for 8keV oxygen ion sputtering, published in the literature [2]. Surprisingly, a very small difference between two sets of RSFs was observed.

We discuss in the report possible mechanisms of secondary ion formation in thermal spikes and some peculiarities of the secondary ion formation for elements with a high ionization potential.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Samartsev A.V., Wucher A.//Appl. Surf. Sci, 2006, V.252, P.6470–6473.
2. R. G. Wilson, F. A. Stevie, and C. W. Magee, Secondary Ion Mass Spectrometry: A Practical Handbook for Depth Profiling and Bulk Impurity Analysis (Wiley, New York, 1989)

АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ
ОБРАЗЦОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОГО RBS

В.П. Афанасьев¹⁾, Д.А. Бурмистров¹⁾, А.С. Грязев¹⁾, П.С. Капля²⁾,
D. Naujoks³⁾, M. Mayer⁴⁾, О.Ю. Ридзель¹⁾, M. Sauer⁵⁾

¹⁾ НИУ «МЭИ», Москва, Россия

²⁾ Яндекс, Москва, Россия

³⁾ Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Greifswald, Germany

⁴⁾ Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Germany

⁵⁾ Vienna University of Technology, Vienna, Austria

В работе методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и спектроскопии характеристических потерь энергии электронами (ХПЭ) исследуются углеводородные покрытия, содержащие водород H и дейтерий D. Основное внимание в анализе спектров ХПЭ сосредоточено на пиках, сформированных электронами, упругоотраженными от H, D и C, что аналогично классическому RBS/1/. Т.к. потери энергии электронов, квазиупруго отраженных от изотопов водорода, составляют несколько электронвольт при зондировании электронами с энергией в несколько кэВ и попадают в область характеристических потерь энергии, то необходимо реализовать процедуру «вычитания фона». В работе обсуждаются пути реализации данной процедуры, необходимой для как можно более точного определения площадей под пиками упруго отраженных электронов.

Подробно анализируется проблема влияния многократных упругих рассеяний на сигналы ERBS многокомпонентных образцов. В рамках модели отражения от однородных образцов /2/ построена малоугловая модель формирования пиков электронов, упруго отраженных от многокомпонентных образцов. Указаны ситуации, в которых учет многократного рассеяния радикально меняет картину соотношения компонент образца по сравнению с той, что следует из приближения однократного рассеяния.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Vos, G.G. Marmitt, P.L. Grande // Surf. Interface Anal. 2016, V. 48(7), p. 415.
2. V.P. Afanas'ev, D.S. Efremenko, P.S. Kaplya // J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 2016, V. 210, p. 16.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ УСКОРЕННОЙ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИФФУЗИИ ВАКАНСИИ

Е.В. Дуда¹⁾, Г.В. Корнич²⁾

¹⁾Запорожский государственный медицинский университет,
Запорожье, Украина

²⁾Запорожский национальный технический университет, За-
порожье, Украина

Выполненомногочастичное моделирование диффузии вакансии в трехмерном кристалле алюминия методом температурно-ускоренной гипердинамики (ТУГД). ТУГД является объединением методов гипердинамики и температурно-ускоренной динамики. Для повышения достоверности результатов, использовался подход $1/l$, в котором учитывается тепловое расширение кристалла.

Исследованы зависимости ускорения моделирования в сравнении с классической молекулярной динамикой (МД) от параметров V_0 смещенных потенциалов, используемых в ТУГД (Рис. 1). Здесь $\tau = \ln(t_{MD}/t_{AND})$, где t_{MD} , t_{AND} – времена, затрачиваемые на моделирование одинаковых процессов методами МД и ТУГД, соответственно.

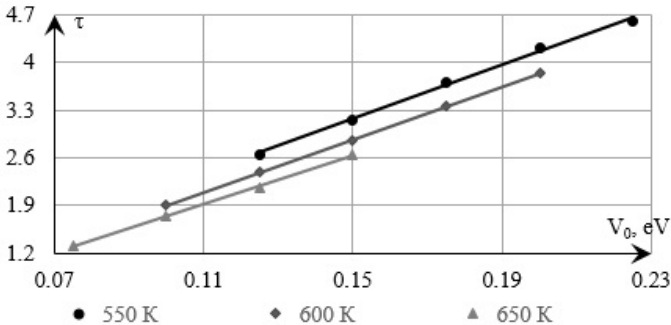


Рис. 1 Зависимость ускорения моделирования от параметра V_0 потенциала смещения

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Дуда Е.В., Корнич Г.В. // Поверхность. Рентген., нейтрон. и синхротр.исслед., 2018, №8, 102.

МЕТОД ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ СРЕДНИХ
ЭНЕРГИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СТРУКТУРЫ
ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ

С.Ж. Ниматов, Б.Е. Умирзаков, Ф.Я. Худайкулов

ТашГТУ, Ташкент, Узбекистан

В работе использован метод спектроскопии упруго рассеянных электронов основанный на регистрации спектральных I-V кривых. Для монокристаллических образцов регистрация I-V кривых осуществляется в направлении зеркального 00 – рефлекса и контролируются интенсивности брегговских пиков в диапазоне 0 - 1500 эВ. Поэтому метод обозначен как метод дифракции электронов средних энергий. (ДЭСЭ).

Отличительной особенностью метода является возможность контроля структуры приповерхностных слоев непосредственно в процессе, какого – либо воздействия. Условия регистрации спектров ДЭСЭ обеспечивали уменьшение влияния микрошероховатости поверхности при регистрации. В работе показано возможность одновременно методами ДЭСЭ и ДМЭ, контролировать процесс формирования структуры поверхности на примере исследуемых образцов Si(111) и W(110) при очистке термообработкой. От классической формы энергетической зависимости упругоотраженных электронов от аморфной, грязной поверхности спектр переходит к характерной кривой с брегговскими дифракционными пиками при практически очищенной поверхности. Оценка межплоскостных расстояний a для грани W(110) с учетом эквивалентных плоскостей показала хорошее совпадение энергетического положения дифракционных максимумов с положением их на шкале энергий в соответствии с целочисленными брегговскими порядками дифракции.

Эксперименты показали, что между основными дифракционными интенсивностями можно наблюдать небольшие максимумы дробного порядка, которые указывают на некоторое увеличение (5÷10%) межплоскостного расстояния между первым и вторым атомными слоями по сравнению с таковыми в объеме.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК НА ОСНОВЕ СПЕКТРОМЕТРИИ ЯДЕРНОГО ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ.

Н.В. Ткаченко, В.Г. Востриков, А.И. Каменских

НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Для анализа гидридов, применяемых в ядерной энергетике, требуется метод анализа, позволяющий с большой точностью определять профиль концентрации водорода с высоким разрешением по глубине анализа в металле или сплаве и при этом обладающий неразрушающим характером для последующих испытаний материалов и позволяющим изучать изделия с нанесенными защитными покрытиями. Поэтому широко распространенные методы, основанные на измерении количества водорода, вышедшего из образца при его нагреве, несмотря на высокую точность этого класса методов, не подходят для решения ряда задач ядерной энергетике.

Предлагаемые в работе методики основаны на спектрометрии ядерного обратного рассеяния (ЯОР) протонов с энергией 7.5 МэВ. Для водородосодержащих материалов показано, что из анализа спектров ЯОР неразрушающим образом способом извлекается информация о концентрации водорода и его распределении. Это оказывается возможным в силу кинематического запрета на рассеяние протонов на водороде на углы больше 90° в лабораторной системе координат. Спектры ЯОР от наводороженных материалов оказываются подобны спектрам от ненаводороженных материалов (рис.1), но отличаются по количеству рассеявшихся протонов.

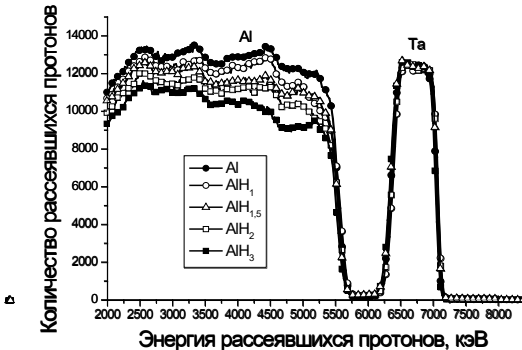


Рис. 1. Сравнение спектров ЯОР протонов от алюминиевого образца и наводороженных образцов с различным содержанием Н под фольгой Та.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований по договору № 18-32-00522\18

ПРОХОЖДЕНИЕ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ ЧЕРЕЗ
КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ ТЕКСТУРИРОВАННОГО
CVD-АЛМАЗА

О.Д. Далькаров¹, М.А. Негодаев¹, А.С. Русецкий¹, М.А. Кирсанов²,
А.С. Чепурнов³

¹Физический Институт им. П.Н. Лебедева РАН,
119991 Москва, Россия

²Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ», 115409, Москва, Россия

³Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.
Скобелевца. Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова, 119991 Москва, Россия

Исследовалось прохождение быстрых нейтронов через кристаллические структуры текстурированного CVD-алмаза. В качестве источника использовались нейтроны от DD-реакции (с энергией 2.45 МэВ) и изотопа Cf-252 (со средней энергией около 2 МэВ). Детектирование нейтронов проводилось двумя независимыми методами: пропорциональными счетчиками с наполнением He-3 и сцинтилляционным детектором с кристаллом паратерфенила. Измерение показали зависимость потока нейтронов попавшего на детектор от ориентации мишени из структуры текстурированного CVD-алмаза. Для изотропных образцов, содержащих алмаз и углерод, подобные эффекты не наблюдались. Возможное объяснение эффекта – это каналирование ионов дейтерия и нейтронов в каналах текстурированного CVD-алмаза.

Секция III

**ФИЗИКА ПРОХОЖДЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО (МНОГОКРАТНОЕ РАССЕЯНИЕ,
ОРИЕНТАЦИОННЫЕ И РЕЛЯТИВИСТСКИЕ
ЭФФЕКТЫ, ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ, ИЗМЕНЕНИЕ
ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ ЧАСТИЦ, ИЗЛУЧЕНИЕ
ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ И Т.П., ГЕНЕРАЦИЯ
ИЗЛУЧЕНИЙ)**

MEASURING SPECTRA OF TRANSITION RADIATION
PRODUCED BY 2.8 GeV ELECTRONS IN A MULTILAYER
ALUMINUM TARGET AND DIFRACTED IN A SILICON
CRYSTAL

A.V. Shchagin^{1,2}), A.S. Kubankin^{2,3}), R.M. Nazhmudinov^{2,3}),
S.V. Trofymenko^{1,4}), A.P. Potylitsyn⁵), A.S. Gogolev⁵), N.A. Filatov⁵),
G. Kube⁶), N.A. Potylitsina-Kube⁶), M. Stanitzki⁶), R. Diener⁶),
A. Novokshonov⁶)

¹)NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine

²)BelSU, Belgorod, Russia

³)P.N. Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia

⁴)V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

⁵)Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

⁶)DESY, Hamburg, Germany

X-ray transition radiation (XTR) of relativistic charged particles is a promising tool for diagnostics of sub-micrometer size beams, required for future linear colliders. XTR intensity can be significantly increased if apply a multilayer structure for its generation. Its spectrum can be monochromatized if let such XTR undergo Bragg diffraction in a crystal. In /1/ XTR by 855 MeV electrons from a multilayer periodical structure, diffracted in a silicon plate, was investigated for the purpose of its application for X-ray phase contrast imaging. In the present work we report about the experimental study of XTR generated by 2.8 GeV electrons in a target of 32 aluminum foils, diffracted on (111) plane of a silicon crystal, with the aim of applying it for the further study of its focusing by polycapillary X-ray optics. The study was performed on the Test Beam Facility at DESY. The obtained results coincide well with the theoretical estimations.

The work was partially supported by AIDA within the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 654168.

R E F E R E N C E S

1. M. El-Ghazaly, H. Backe, W. Lauth et al. // Eur. Phys. J. A, 2006, vol. 28, p. 197.

НОВАЯ МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ ПОПЕРЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЛСЭ

И.Е. Внуков¹⁾, Ю.А. Гопонов¹⁾, С.А. Лактионова¹⁾,
Р.А. Шатохин¹⁾, К. Sumitani²⁾, Y. Takabayashi²⁾

¹⁾ НИУ «БелГУ», Белгород, Россия

²⁾ SAGA Light Source, Tosu, Saga 841-0005, Japan

Для реализации методики оценки поперечных размеров пучков электронов с помощью измерения угловых распределений их когерентного рентгеновского излучения в тонком кристалле для двух отличающихся расстояний /1/, предложено использовать дифрагированное переходное излучение (ДПИ) электронов с энергией больше нескольких ГэВ, так как в этом случае угловая плотность интенсивности ДПИ существенно превышает угловую плотность параметрического рентгеновского излучения /2,3/. Показано, что минимальное значение размера пучка, определяемого с помощью предлагаемой методики, ограничивается размером пикселя используемого координатного детектора, минимальным достижимым расстоянием между кристаллом и детектором и может достигать 10-15 микрон.

Метод является модельно независимым, не требует точного знания расходимости пучка электронов и степени совершенства структуры кристалла. Методика слабо чувствительна к импульсному нагреву кристалла, если он не приводит к его разрушению, и может быть использована на интенсивных пучках линейных ускорителей для рентгеновских лазеров на свободных электронах.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Е. Внуков и др. // Поверхность, 2019, №6 DOI:10.1134/S02073528190601143.
2. Yu.A. Goponov, S.A. Laktionova, O.O. Pligina et al. //Nucl. Instrum. Methods B. 2015. V. 355. P. 150.
3. I. Chaikovska, R. Chehab, X. Artru, A.V. Shchagin //Nucl. Instrum. Methods B. 2017. V.402. P. 75.

ДИАГНОСТИКА РАСХОДИМОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА
ПО ОПТИЧЕСКОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА

М.В. Шевелев, Б.А. Алексеев, А.В. Вуколов, А.П. Потылицын

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В работе показана возможность диагностики расходимости электронного пучка по оптическому излучению Вавилова-Черенкова (ИВЧ). Вывод ИВЧ из мишени осуществляется выбором угла наклона мишени относительно пучка. При изменении угла наклона измеряется кривая качания, ширина которой зависит от углового распределения ИВЧ в мишени конечной толщины с учетом хроматической аберрации, от многократного рассеянием электронов в мишени и от начальной угловой расходимости электронного пучка. Эксперимент проводился на пучке электронов с энергией 6 МэВ, проходящих через кристаллы кварца с толщинами 0,3, 0,7 и 1 мм в выбранной геометрии, позволяющей наблюдать ИВЧ под углом 50^0 относительно направления электронного пучка. Угловое разрешение системы детектирования на основе кремниевого ФЭУ и оптоволоконна [1] составляло около 0,3 градуса. Результаты измерения расходимости ($\sigma=7,5^0$) хорошо согласуются с оценкой угла многократного рассеяния в выводном окне ускорителя и в воздухе. В отличие от диагностики электронных пучков при помощи оптического переходного излучения ОПИ [2], выход фотонов ИВЧ в нашем методе в несколько раз превышает выход ОПИ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Stuchebrov, S.G., Cherepennikov, Yu.M., Krasnykh, A.A., Miloichikova, I.A., Vukolov, A.V, (2018) Journal of Instrumentation Publishing, 13 (5)
2. A.N. Aleinik, O.V. Chefonov, B.N. Kalinin, G.A. Naumenko, A.P. Potylitsyn, G.A. Saruev, A.F. Sharafutdinov, W. Wagner, NIM in Physics Research B 201 (2003) 34–43

ИНДИКАЦИЯ РАСХОДИМОСТИ ПУЧКА
УЛЬТРАРЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ПО УГЛОВОМУ
РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ДИФРАГИРОВАННОГО ПЕРЕХОДНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ

С. В. Блажевич¹⁾, М.В. Бронникова¹⁾, А.В. Носков^{1,2)}

¹⁾Белгородский государственный университет, Белгород, Россия

²⁾Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

В рамках динамической теории когерентного излучения получено выражение для углового распределения дифрагированного переходного излучения (ДПИ) релятивистского электрона в тонкой монокристаллической пластине, усредненного по угловому распределению электронов в пучке. На основе полученного выражения предложены варианты определения параметров расходимости пучка электронов путем решения задачи минимизации специальной целевой функции, сформированной на основе углового распределения ДПИ. Проведенные расчеты демонстрируют эффективность предлагаемых алгоритмов на примере ДПИ возбуждаемого пучком релятивистских электронов в тонком кристалле алмаза.

ДИФРАГИРОВАВШЕЕ ПЕРЕХОДНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ПИТАНИЯ
КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РЕЗОНАТОРА

А.В. Щагин^{1,2}

¹ НИУ БелГУ, г. Белгород, Россия

² ННЦ ХФТИ, г. Харьков, Украина

Обычно в качестве источника питания рентгеновского резонатора рассматривается синхротронное или ондуляторное излучение [1,2]. В настоящей работе мы предлагаем применить дифрагированное переходное излучение (ДПИ) для питания рентгеновского резонатора. ДПИ с частотой Брэгга возникает при пересечении релятивистской частицей границы кристалла [3]. Резонатор заполняется ДПИ, которое производится на внутренних поверхностях кристаллических зеркал резонатора Фабри-Перо релятивистской заряженной частицей, проходящей через кристаллические зеркала резонатора. Короткие банчи частиц можно использовать для когерентного усиления рентгеновского излучения, которое накапливается в резонаторе.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Y.V. Shvyd'ko et al. High-reflectivity high-resolution X-ray crystal optics with diamonds. *Nature Physics* 6, 196–199 (2010).
2. K.-D. Liss et al. Storage of X-ray photons in a crystal resonator. *Nature* 404, 371–373 (2000).
3. I. Chaikovska, R. Chehab, X. Artru, A.V. Shchagin. Characteristic, parametric, and diffracted transition X-ray radiation for observation of accelerated particle beam profile. *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B* 402 (2017) 75–78.

ИОНИЗАЦИОННЫЕ ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ КОРОТКОЖИВУЩИХ
ЧАСТИЦ

С.В. Трофименко

ННЦ ХФТИ, ХНУ им. В.Н. Каразина, г. Харьков, Украина

При прохождении пучка заряженных частиц через тонкую мишень величина ионизационных потерь произвольной частицы пучка случайна. Функция распределения для этой величины (спектр ионизационных потерь частиц пучка) была впервые вычислена в /1/. При исследовании такого распределения в различных условиях обычно считается, что частицы почти беспрепятственно пролетают через мишень, теряя в ней лишь малую долю своей энергии. В настоящей работе рассмотрены спектры ионизационных потерь для короткоживущих частиц, которые с высокой вероятностью испытывают распад внутри мишени на вторичные частицы (на примере распада $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$). Показано, что спектр ионизационных потерь в этом случае имеет двугорбую структуру (в отличие от спектра с одним максимумом в отсутствие распада). Выведено аналитическое выражение для отношения высоты максимумов спектра ионизационных потерь в зависимости от толщины мишени и полного сечения распада первичной частицы. Показано, что такое отношение является характерным параметром спектра ионизационных потерь, и на основе его экспериментального измерения можно делать оценку полного сечения распада частицы. Обсуждается возможность применения данного метода для экспериментальной оценки длины деканалирования частиц в прямых и изогнутых кристаллах. Данная возможность обусловлена аналогией (с точки зрения влияния на спектр ионизационных потерь) между выходом частицы из режима каналирования и распадом частицы внутри мишени.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Landau L. D. // J. Phys. USSR 1944, 8, 201.

HALF-WAVE-CRYSTAL CHANNELING OF RELATIVISTIC
HEAVY IONS AT SUPER-FRS GSI/FAIR

O.V. Bogdanov¹⁾, Yu.L. Pivovarov¹⁾, T.A. Tikhfatullin¹⁾
H. Geissel²⁾, N. Kuzminchuk-Feuerstein²⁾, S. Purushothaman²⁾,
C. Scheidenberger²⁾

¹⁾Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²⁾GSI, Darmstadt, Germany

A half-wavelength crystal (HWC) is a thin crystal where a channeling particle experiences only one collision with a crystallographic plane (“mirroring” or HWC channeling) during penetration through a crystal. Few years ago, the HWC channeling was observed for 400 GeV protons at CERN-SPS /1/ and for 255-MeV electrons at the SAGA-LS Facility /2, 3/. The HWC channeling is explained by computer simulations as a sequence of specific particles trajectories governed by the one-dimensional periodic potential of crystallographic planes. The perspective atomic physics experiments (including crystal targets) with Relativistic Heavy Ion (RHI) beams are the part of the Super-FRS Experiment Collaboration program /4/.

Here, we present the results of computer simulations of HWC channeling of high-Z (¹²⁹Xe, ²⁰⁸Pb, ²³⁸U) and low-Z (p, t, d, ⁶Li, ⁹Li, ¹¹Li) RHI with kinetic energy $E_k = 300$ MeV/u passing through a (200) tungsten crystal, using the computer code BCM-2.0 /5/. Possible applications of HWC-channeling of RHI are discussed, e.g. as fragments deflectors and splitters and even as the charge Ze and mass number A (isotopes) filters.

REFERENCES

1. W. Scandale et al.// Phys. Lett. B (2014),734, 1.
2. Y.Takabayashi, Yu.L Pivovarov, T.A.Tikhfatullin // Phys. Lett. B (2015) 751, 453.
3. Y.Takabayashi, Yu.L. Pivovarov and T.A.Tikhfatullin // Phys. Lett. B (2018) 785, 347.
4. H. Geissel, O.V. Bogdanov, C. Scheidenberger, Yu.L. Pivovarov, N. Kuzminchuk-Feuerstein, E.I. Rozhkova, T.A. Tikhfatullin and the Super-FRS Experiment Collaboration. //GSI Scientific Report 2016, (2017), 179.
5. S.V. Abdrashitov et al.// NIM B (2017),402, 106.

SCATTERING OF SUB-GEV ELECTRONS IN ULTRATHIN Si
CRYSTAL AT PLANAR ALIGNMENT AND ITS RELEVANCE TO
CRYSTAL-ASSISTED 1D RAINBOW SCATTERING

Y. Takabayashi¹⁾, Yu. L. Pivovarov²⁾, T. A. Tikhfatullin²⁾

¹⁾SAGA Light Source, Tosu, Saga 841-0005, Japan

²⁾National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk 634050, Russia

Rainbow Scattering (RS) is a very specific type of scattering, which has been well known for a long time in the three-dimensional (3D) scattering of waves and particles (both classical and quantum), see e.g. /1/. In the theory of crystal rainbows (2D RS) with fast ions /1/, the key aspect is the specific dependence of the deflection angle on the impact parameter with a crystal axis. The challenge and motivation appears to answer a question – whether the 1D (one-dimensional) RS by a crystal plane in an ultrathin crystal exist? To observe 1D-RS, the first precise measurements of 255 MeV electron scattering by an ultrathin 0.58 μm Si crystal at angles of incidence less than the Lindhard critical angle between a beam and (111) plane were performed at the SAGA-LS facility. The main results are as follows /2/:

- 1) 1D-RS of relativistic 255 MeV electrons was observed for the first time.
- 2) The simulations of electron trajectories revealed the multiple-value connection (as in 3D-RS) between deflection angle and impact parameters (points of incidence into a crystal), which affects the angular distributions of scattered electrons. This connection is dependent on the crystal thickness L , which is the second important parameter that characterizes 1D-RS.
- 3) The comparison of the experimental and theoretical results shows a fair agreement.

REFERENCES

1. N. Nešković, S. Petrović, M. Čosić // Rainbows in Channeling of Charged Particles in Crystals and Nanotubes, Lecture Notes in Nanoscale Science and Technology, Springer, 2017.
2. Y.Takabayashi, Yu.L. Pivovarov and T.A.Tikhfatullin // Phys. Lett. B (2018) 785, 347.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТОМОВ АЗОТА С ПОВЕРХНОСТЬЮ КРИСТАЛЛА АЛЮМИНИЯ

В.С. Малышевский, Г.В. Фомин

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Показана возможность описания особенностей радужного рассеяния атомных частиц поверхностью металлических кристаллов при скользящих падениях с использованием динамического потенциала в аппроксимации Морзе. С помощью компьютерного моделирования определены параметры парного потенциала взаимодействия ускоренных нейтральных атомов азота в диапазоне энергий от 10 до 70 кэВ по наилучшему согласию расчетной зависимости радужного угла рассеяния от энергии падающих на поверхность кристалла алюминия частиц с имеющимися экспериментальными данными.

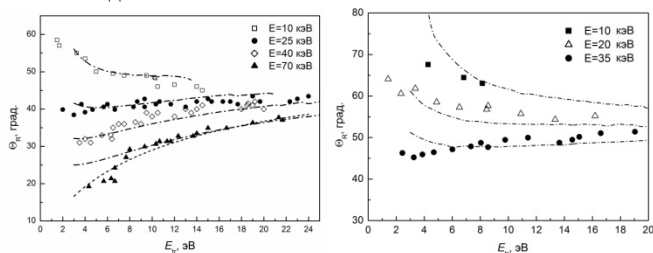


Рис.1 Зависимость радужного угла рассеяния нейтральных атомов азота от значения поперечной энергии при падении налетающих частиц с энергиями 10, 25, 40 и 70 кэВ на поверхность (001) кристалла Al вдоль осевого направления $\langle 100 \rangle$ (слева) и при падении налетающих частиц с энергиями 10, 20 и 35 кэВ на поверхность (111) кристалла Al вдоль осевого направления $\langle 1\bar{1}0 \rangle$ (справа). Символами показаны экспериментальные данные /1, 2/, результаты моделирования при таких же значениях энергии показаны штрих-пунктирными линиями.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Schuller, H. Winter. //Nucl. Inst. And Meth. In Phys. Res. **B267**, 628 (2009).
2. P. Tiwald, C. Lemell, A. Schuller, H. Winter, J. Burgdorfer.// Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. **B269**, 1221 (2011)

АНОМАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КАНАЛИРОВАНИЯ
МОДУЛИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА
В КРИСТАЛЛАХ И НАНОКАПИЛЯРАХ

В.И. Высоцкий, М.В.Высоцкий, Н.В.Максюта

Киевский национальный университет им.Т.Шевченко Киев,
Украина

Традиционно считается, что знак заряда частицы однозначно определяет характер ее движения при каналировании – электроны локализуются в пределах кристаллических плоскостей, а положительные частицы – в межплоскостном пространстве. Также считается, что эти особенности движения не зависят от продольной структуры пучка рассматриваемых частиц и остаются неизменными для одиночных частиц и модулированных пучков.

Нами впервые показано, что при определенной частоте модуляции пучка, зависящей от скорости продольного движения и частотной дисперсии атомов, образующих стенки канала, реализуется аномальный режим каналирования, при котором в центральной части плоскостного канала образуется потенциальная яма для частиц обеих знаков. Этот эффект похож на действие инвертированного оптического пинцета и связан с вытеснением квазимонохроматического электромагнитного поля пучка из объема обеих стенок канала. Его физической основой является выталкивание диэлектрика из объема переменного электромагнитного поля в том случае, если частота поля ω (в данном случае - частота модуляции пучка в лабораторной системе) будет меньше частоты ω_n одного из сильных резонансов в атомах стенок канала. При этом условии структура потенциальной ямы в центральной части канала определяется выражением

$$V(x) = \frac{1}{8\pi} \iiint \frac{d}{d\omega} \{ \omega \varepsilon(\vec{r}_n, \omega) < |E_\omega(\vec{r} - \vec{r}_n)|^2 >_{y,z} dx_n dy_n dz_n$$

Здесь x – расстояние от центра межплоскостного канала, $E_\omega(\vec{r})$ - фурье-компонента поля модулированного пучка на частоте модуляции, $\varepsilon(\vec{r}_n, \omega)$ - локальная диэлектрическая проницаемость вещества стенок канала.

ДВИЖЕНИЕ ВОЛН И ЧАСТИЦ В ПОРИСТЫХ СТРУКТУРАХ

Г.М. Филиппов¹⁾, А.С. Сабиров²⁾, В.А. Александров²⁾,
А.В. Степанов³⁾

¹⁾ Чувашский государственный педагогический университет имени
И.Я. Яковлева, Чебоксары, РФ

²⁾ Чувашский государственный университет
имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, РФ

³⁾ Чувашская государственная
сельскохозяйственная академия, г. Чебоксары, РФ

Рассматривается проникновение потока квантовых частиц через пористую структуру на основе законов квантовой механики. Специальное внимание уделяется возможности образования вихрей в потоке вероятности при прохождении как через отдельную пору в мишени, так и возможное влияние интерференционных явлений при прохождении потока через систему упорядоченных пор. Возможность вихреобразования следует из представления ротора вектора тока \vec{j} в виде векторного произведения

$$\text{rot } \vec{j} = -\frac{2\hbar}{m} [\nabla\psi_2 \times \nabla\psi_1],$$

в котором ψ_1 и ψ_2 – соответственно вещественная и мнимая части волновой функции, m и \hbar – масса частицы и постоянная Планка.

Уделяется внимание отличию закономерностей потока вероятности от потока идеальной жидкости в гидродинамике. Предполагается возможность возникновения специфического квантового трения и соответствующей вязкости в потоке вероятности.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КЛАСТЕРИЗАЦИЮ ДИСПЕРСНОГО ТОПЛИВА

Д.А. Раманова¹⁾, А.В. Степанов²⁾, В.А. Александров³⁾,
Г.М. Филиппов¹⁾

¹⁾Чувашский государственный педагогический университет имени
И.Я. Яковлева, Чебоксары, РФ

²⁾Чувашская государственная сельскохозяйственная академия,
Чебоксары, РФ

³⁾Чувашский государственный университет имени
И.Н.Ульянова, Чебоксары, РФ

Ранее одним из соавторов данной работы (Раманова Д.А.) было замечено улучшение сгораемости горючей смеси (ГС) в современных автомобилях при воздействии слабого магнитного поля на движущуюся ГС. Измерялось среднее количество расходуемого бензина на 100 километров дороги. Вместо паспортных 18.1 л. по показанию расходомера расход оказался равным 15.9 литра. Количество расходуемого бензина каждые 100 километров на уменьшалось 2.2 л.; уменьшалось соответственно и количество выделяемых выхлопных газов примерно на 4 % в расчете на 2.2 л.

Предполагалось, что данный эффект обязан процессу разрушения слабо связанных кластеров ГС и вызываемого этим разрушением увеличения эффективной реакционной площади ГС. В данной работе мы оцениваем возможность такого объяснения на основе законов классической электродинамики и молекулярно-динамического моделирования с помощью кода LAMMPS с применением потенциала ReaxFF.

ВЛИЯНИЕ ФРАГМЕНТОВ ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ НА СБОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ ПРИ ПРИХОЖДЕНИИ БЫСТРЫХ ПРОТОНОВ ЧЕРЕЗ КРЕМНИЙ

Н.В. Новиков, Н.Г. Чеченин, Т.В. Чувильская,
В.Я. Чуманов, А.А. Широкова

НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Для моделирования сбоев бортовой электроники под действием космического излучения необходимо развитие теоретических методов описания воздействия ионов на материал мишени. Взаимодействие быстрых ионов с атомами в тонкой мишени приводит к однородному по глубине распределению электрон - дырочных пар и потерь энергии иона. Вероятность столкновения иона с ядром атома на несколько порядков меньше вероятности взаимодействия с атомом. С другой стороны, в небольшой, локальной области, где произошло такое столкновение, заряженные фрагменты ядерной реакции изменяют электрические и тепловые свойства мишени по сравнению с фоном от ионно-атомных столкновений. Такие изменения могут привести к сбою в работе одного или нескольких чувствительных элементов электроники, находящихся вблизи этой области.

Прохождение протонов с энергией от 100 МэВ до 10 ГэВ через кремний описывается методом Монте Карло /1,2/. Исследуется размер области, где количество электрон дырочных пар, образующихся под действием заряженных фрагментов ядерной реакции $Si(p,x)$, превышает ионизационный фон от первичных протонов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Allison J., Amako K., Apostolakis J. et al. // NIM A, 2016, 835, 186. geant4.web.cern.ch
2. Böhlen T.T., Cerutti F., Chin M.P.W. et al. // Nuclear Data Sheets, 2014, 120, 211. www.fluka.org/fluka.php

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КВАРЦЕВЫЙ ИСТОЧНИК
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

О.О. Иващук²⁾, А.В. Щагин^{1,2)}, А.С. Кубанкин^{2,3)},
А.С. Чепурнов⁴⁾, В.Ю. Иониди⁴⁾, И.С. Никулин²⁾

¹⁾ Харьковский физико-технический институт, г. Харьков, Украина

²⁾ Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

³⁾ Физический институт имени П.Н. Лебедева, РАН,
Москва, Россия

⁴⁾ Институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина, МГУ,
Москва, Россия

Недавно, был предложен пьезоэлектрический ускоритель /1/. Пьезокерамические элементы были использованы в /1/ для генерации высокого ускоряющего потенциала. В настоящей работе мы использовали цилиндрические кристаллы кварца с осью (11), ориентированной вдоль оси цилиндра. В работе обсуждаются результаты измерений рентгеновского излучения, генерируемого ускоренными электронами в таком кварцевом ускорителе. Также обсуждаются основные свойства и перспективные применения кварцевых ускорителей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. O.O. Ivashchuk, A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, I.S. Nikulin, A.N. Oleinik, V.S. Miroshnik, V.I. Volkov. Piezoelectric Accelerator // Scientific Reports (2018) 8:16488.

FLUX PEAKING ROLE IN DD REACTION YIELD INITIATED BY
CHANNELED DEUTERONS IN DEUTERATED PD TARGET

O.D. Dalkarov¹⁾, M.A. Negodaev¹⁾, A.S. Rusetskii¹⁾, A.P. Chubenko¹⁾,
Yu.L. Pivovarov²⁾, T.A. Tukhfatullin²⁾

¹⁾ P.N. Lebedev Physical Institute RAS (LPI), 53 Leninsky Prospect,
119991, Moscow, Russia

²⁾ National Research Tomsk Polytechnic University,
30 Lenin Avenue, 634050, Tomsk, Russia

The interactions of the deuterium (D) beam with D- enriched targets are investigated in /1–2/ using the ion accelerator HELIS at the LPI. In continuation of these studies, the CVD-diamond target was replaced by deuterated Pd target, which allows another screening and channeling conditions, see for details in /3/. The neutron yield is investigated from DD reaction in deuterated Pd target, during an irradiation of its surface by 20 keV D⁺ ion beam. The measurements of the neutron flux in the D⁺ ion beam direction are performed in dependence on the target angle β with respect to the D⁺ beam axis using a multichannel detector based on He³ counters. A significant anisotropy (orientation effect) in the neutron yield is observed, it was higher by a factor of 2 at $\beta=0$ compared to that at $\beta = \pm 30^\circ$ /3/.

The orientation effect can be connected with the channeling and so-called flux-peaking effect. It was investigated by computer simulations using the BCM-2.0 code /4/. The enhanced D⁺ flux density between Pd (200) crystal planes (location of implanted D) at zero incident angle with respect to (200) Pd planes allows qualitative explanation of observed orientation effect.

REFERENCES

1. A.V. Bagulya, O. D. Dalkarov, M. A. Negodaev *et al.* Nucl. Instr. and Meth. B **355**, 340 (2015).
2. A.V. Bagulya, O. D. Dalkarov, M. A. Negodaev *et al.* Nucl. Instr. and Meth. B **402**, 243 (2017).
3. O.D. Dalkarov, M.A. Negodaev, A.S. Rusetskii *et al.* Physical Review Accelerators and Beams, 2019 (in press).
4. S.V. Abdrashitov, O.V. Bogdanov, K.B. Korotchenko *et al.* Nucl. Instrum. and Meth. B **402**, 106 (2017).

MEASUREMENT OF 1 GeV ELECTRONS ENERGY LOSS USING
AN ELECTRICALLY COOLED CdTe DETECTOR AT DESY

A.V. Shchagin^{1,2)}, A.S. Kubankin^{2,3)}, R.M. Nazhmudinov^{2,3)},
S.V. Trofymenko^{1,4)}, A.P. Potylitsyn⁵⁾, A.S. Gogolev⁵⁾,
N.A. Filatov⁵⁾, G. Kube⁶⁾, N.A. Potylitsina-Kube⁶⁾, M. Stanitzki⁶⁾,
R. Diener⁶⁾, A. Novokshonov⁶⁾

¹⁾NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine

²⁾BelSU, Belgorod, Russia

³⁾P.N. Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia

⁴⁾V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

⁵⁾TPU, Tomsk, Russia

⁶⁾DESY, Hamburg, Germany

Usually, it is flat Si detectors that are used for observation of ionization loss of relativistic charged particles (see, e.g., /1/). In the present work, we installed a standard Amptek CdTe cooled X-ray detector on the beam of relativistic electrons at Test Beam Facility of DESY /2/. The energy resolution of the detector was about 830 eV at X-ray energy 59.5 keV emitted from ²⁴¹Am. The results of measurements of ionization loss spectral distribution for 1 GeV electrons in the CdTe crystal of thickness 1 mm are presented. Properties of the observed spectrum are discussed.

The work was partially supported by AIDA within the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 654168.

REFERENCES

1. R.M. Nazhmudinov et al. // Nucl. Instrum. Methods B, 2017, vol. 391, p. 69.
2. R. Diener et al. // Nucl. Instrum. Methods A, 2019, vol. 922, p. 265.

ОРБИТАЛЬНЫЙ УГЛОВОЙ МОМЕНТ ИЗЛУЧЕНИЯ 255 МэВ
ЭЛЕКТРОНОВ ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ В ТОНКИХ
КРИСТАЛЛАХ

С.В. Абдрашитов^{1,2)}, О.В. Богданов^{1,2)},
П.О. Казинский¹⁾, Т.А. Тухфатуллин²⁾

¹⁾ Томский государственный университет, г. Томск, Россия

²⁾ Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Известно /1-4/, что излучение релятивистских электронов, двигающихся по спиральной траектории, обладает орбитальным угловым моментом (ОУМ). Так в работе /2/ экспериментально показано, что ондуляторное излучение 917 МэВ электронов содержит фотоны с энергией 99 эВ, обладающие ОУМ $\pm \hbar$.

Используя код ВСМ-2 /5/ и общую формулу вероятности излучения фотона с ОУМ классическим током /6/, рассчитаны распределения фотонов, формирующих излучение при каналировании, по величине ОУМ. Выбор энергии начального пучка электронов определён типичными энергиями современных ускорителей INFN-LNF и SAGA-LS от 155 до 255 МэВ. Показано, что излучение электронов при плоскостном каналировании также обладает ОУМ. Проведено сравнение с величиной ОУМ излучения при каналировании, рассчитанной используя квазиклассический подход /7-8/. Использование излучения релятивистских электронов при каналировании для генерации фотонов, обладающих ОУМ, позволяет получать фотоны значительно больших энергий, чем фотоны, получаемые при генерации ондуляторным излучением /2-3/.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. M. Katoh, et al., //, Sci. Rep. 2017, 7 (6130) 1.
2. J. Bahrtdt, et al., //, Phys. Rev. Lett. 2013, 111, 034801.
3. S. Sasaki, et al, //, Phys. Rev. Lett. 2008, 100, 124801.
4. E. Hemsing, et al., //, Nature Phys. 2013, 9, 549.
5. S.V. Abdrashitov, et al., //, NIMb 2017, 402, 106
6. O.V. Bogdanov, et al., //, Phys. Rev. A 2018, 97, 033837.
7. Д.Д. Иваненко, А.А. Соколов, Классическая теория поля, М: Л, Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1951, 479 с.
8. S.V. Abdrashitov, et al., //, Phys.Lett. A 2018, 382, 3141.

ПОЛНЫЙ ВЫХОД И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ
ПОЗИТРОНОВ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ КОГЕРЕНТНЫМ
ТОРМОЗНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЯМИ
10 – 50 МэВ

С.В. Абдрашитов^{1,2)}, С.Б. Дабагов^{3,4,5)},
Ю.П. Кунашенко⁶⁾, Ю.Л. Пивоваров

¹⁾Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²⁾Томский государственный университет, г. Томск, Россия

³⁾ INFN-LNF, г. Фраскати, Италия

⁴⁾ Физический институт им. П.Н.Лебедева, г. Москва, Россия

⁵⁾ НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

⁶⁾Томский государственный педагогический университет,
г. Томск, Россия

Излучение релятивистских электронов в ориентированном кристалле (радиаторе) с последующей конвертацией этого излучения в электрон-позитронные пары во второй мишени (конвертор) может выступать эффективным источником позитронов /1-2/.

Применяя подход, предложенный в /3/ и развитый в /4/, здесь мы исследуем аналогичную «гибридную» схему источника позитронов, в которой в качестве источника фотонов выступает когерентное тормозное излучение /5/ начального электронного пучка в кристалле кремния. В работе определена зависимость полного выхода и энергетического спектра позитронов от энергии начального электронного пучка в диапазоне 10÷50 МэВ. Компьютерное моделирование проведено с учётом поглощения позитронов в конверторе.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Chehab, et al., // Physics Letters B 2002, 525, 41.
2. X. Artru, et al., // Nucl. Instr. Meth. B 2008, 266, 3868.
3. V.A. Dolgikh, Yu.P. Kunashenko, and Yu.L. Pivovarov, // Nucl. Instr. Meth. B, 2003, 201, 253.
4. S. V. Abdrashitov, et al., // Nucl. Instrum. Meth. B 2017, 402, 106.
5. М. Л. Тер-Микаелян, // УФН 2001, 171, 571.

КОГЕРЕНТНОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
ГЕНЕРИРУЕМОЕ ПУЧКОМ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ
В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ В НАПРАВЛЕНИИ
ОСИ ПУЧКА

С. В. Блажевич¹⁾, Ю.А. Дрыгина¹⁾, Д.О. Шкуропат¹⁾,
А.В. Носков^{1,2)}

¹⁾Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

²⁾Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

В геометрии рассеяния Брэгга развита динамическая теория параметрического рентгеновского излучения вперед (ПРИВ), возбуждаемого пучком релятивистских электронов в периодической слоистой среде в направлении близком к направлению оси пучка. Получены выражения, описывающие спектрально-угловую плотность ПРИВ и переходного излучения (ПИ) в условиях их интерференции. Показана возможность экспериментального наблюдения ПРИВ в периодической слоистой среде, которое и еще никем не наблюдалось. Уменьшение энергии излучающих электронов приводит к уменьшению амплитуды спектрально-угловой плотности ПРИВ, однако и к существенному уменьшению фона переходного излучения, что является положительным моментом с точки зрения экспериментального наблюдения ПРИВ. Полученные в работе аналитические выражения позволяют определять оптимальные параметры эксперимента по регистрации ПРИВ, возбуждаемого пучком релятивистских электронов в мишени с периодической слоистой структурой.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ,
ВОЗБУЖДАЕМОЕ ПУЧКОМ РЕЛЯТИВИСТСКИХ
ЭЛЕКТРОНОВ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СРЕДЕ В
ГЕОМЕТРИИ РАССЕЯНИЯ БРЭГГА

С. В. Блажевич¹⁾, В.А. Бандаренко¹⁾, Р.А. Загороднюк,
О.Ю. Шевчук¹⁾, Д.О. Шкуропат¹⁾, А.В. Носков^{1,2)}

¹⁾Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

²⁾Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Развита динамическая теория когерентного рентгеновского излучения, возбуждаемого в периодической слоистой среде пучком релятивистских электронов в геометрии рассеяния Брэгга. На основе двухволнового приближения динамической теории дифракции получены выражения, описывающие спектрально-угловые и угловые распределения ПРИ, ДПИ и слагаемое, являющееся результатом их интерференции, с учетом многократного рассеяния электронов на атомах мишени. На основе полученных выражений исследована возможность проявления эффектов динамической дифракции в когерентном рентгеновском излучении. Оценено влияние асимметрии относительно поверхности мишени отражения поля электрона на спектрально-угловые характеристики ПРИ, ДПИ (и их интерференционного слагаемого) в условиях многократного рассеяния. Показано, что при уменьшении угла падения электрона на мишень при неизменном угле Брэгга, растёт ширина спектра ПРИ, что приводит к росту угловой плотности ПРИ (данный этот эффект не связан с поглощением) а также существенно растёт ширина частотной области полного внешнего отражения и амплитуда спектра ДПИ, что приводит к значительному росту угловой плотности ДПИ. Полученные аналитические выражения могут быть использованы для определения оптимальных параметров эксперимента по подтверждению предсказанных динамических эффектов.

ВЛИЯНИЕ РАЗВОРОТА ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛА НА ВЫХОД ДИФРАГИРОВАННОГО ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

И.Е. Внуков, Ю.А. Гопонов, С.А. Лактионова,
М.А. Сиднин, Р.А. Шатохин

Белгородский национальный исследовательский университет,
г. Белгород, Россия

Известно, см., например, /1,2/, что несовпадение нормали к поверхности мишени и направления электрона приводит к появлению эллиптической поляризации переходного излучения, испускаемого в переднюю полусферу. Зависимость интенсивности излучения с параллельной и перпендикулярной компонентами поляризации относительно выделенной плоскости перестает быть функцией только азимутального угла вылета фотона. Появляется дополнительная зависимость от угла разворота поверхности мишени и энергии частиц. В рамках развития методики /3/ проанализировано влияние этого эффекта на наблюдаемые угловые распределения дифрагированного переходного излучения (ДПИ). Показано, что учет изменения интенсивности излучения из-за несовпадения нормали к поверхности мишени с направлением движения электрона приводит к согласию рассчитанных и измеренных соотношений выходов параметрического рентгеновского излучения и ДПИ для условий эксперимента /4/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.М. Гарибян, Ши Ян Рентгеновское переходное излучение, Ер.: Изд. АН АрмССР, 1983 320с.
2. М.Л. Тер-Микаэлян Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях, Изд. АН АРМ ССР, Ереван, 1969, 459с.
3. S.A. Laktionova et. al //J. Phys. Conf. Ser., 2014, 517, 012020.
4. J. Freudenberger et. al// Phys. Rev. Let., 2000, V. 84, 270.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ В УГЛЕРОДЕ

Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова

НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

При рассмотрении торможения быстрых тяжелых ионов (атомный номер $Z \geq 2$) в веществе до полной остановки необходимо учитывать, что уменьшение энергии ионов по мере увеличения пройденного пути приводит к изменению их потерь энергии (Рис. 1).

Предложенная ранее [1] степенная аппроксимация зависимости неупругих потерь энергии ионов от их энергии $-\frac{dE}{dx} = S_{e\max}$, где $S_{e\max}$ – максимальная величина потерь энергии, а a и b – постоянные коэффициенты, позволяет в аналитическом виде получить зависимость потерь энергии ионов от x , а также значение x_{\max} , для которого потери энергии достигают максимальной величины.

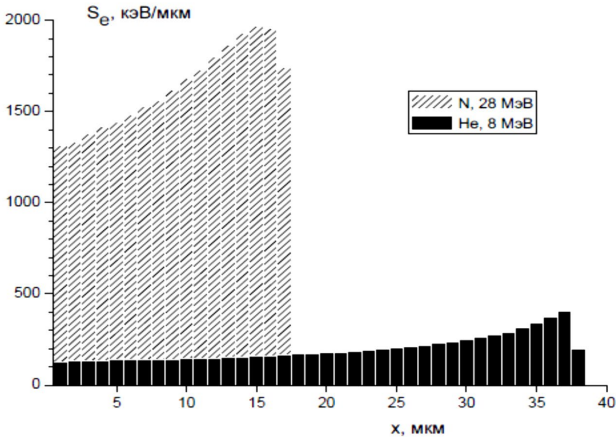


Рис. 1. Неупругие потери энергии ионов N и He с начальной энергией 1МэВ/нуклон в зависимости от пройденного пути в углероде (SRIM).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова // Поверхность, 2018, №.8, С.43

ОЦЕНКА МАКСИМУМА НЕУПРУГИХ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова

НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Важную роль в торможения быстрых тяжелых ионов (атомный номер $Z \geq 2$) играют неупругие потери энергии S_e , которые при $V > V_0$ возрастают с увеличением скорости ионов, затем достигают максимального значения, после чего убывают. Предложенная ранее аппроксимация зависимости потерь энергии от скорости ионов [1] существенно зависит от величины $S_{e \max}$. Использование приближения Бета-Блоха с учетом отличия среднего заряда иона \bar{i} от заряда его ядра Z позволило получить аналитическое выражение для $S_{e \max}$ [2], позволяющее исследовать зависимость максимума потерь энергии от заряда ядра ионов.

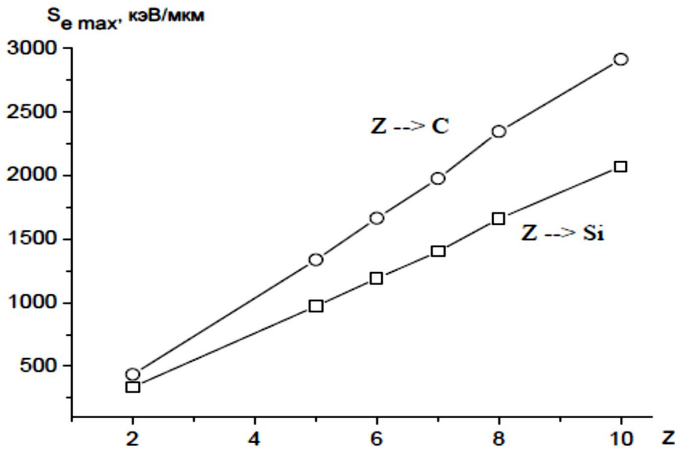


Рис. 1 Зависимость максимума неупругих потерь энергии от заряда ядра ионов (SRIM).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова // Поверхность, 2018, №8, С.34.
2. Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова // Поверхность, 2019, №4, в печати.

ОПИСАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАЗБРОСА ИЗМЕНЕНИЙ
ЭНЕРГИИ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ
ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ТОНКОЙ МИШЕНИ

Н.В. Новиков, Я.А. Теплова

НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Исследуется статистический разброс изменений энергии δE ионов с зарядом ядра $Z \geq 5$ от среднего значения энергии ионов E после прохождения твердой пленки толщиной x .

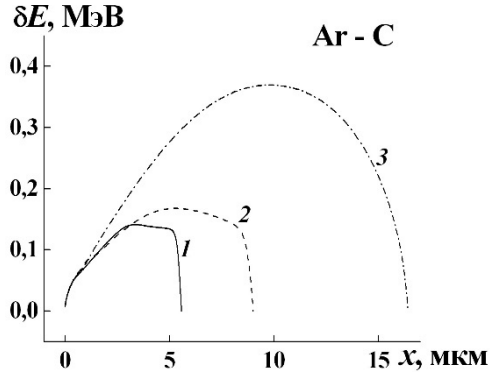


Рис. 1. Зависимость статистического разброса изменения энергии ионов аргона от толщины углеродной мишени. Результаты расчетов по программе /1/: 1 – $E_0 = 20$ МэВ; 2 – $E_0 = 40$ МэВ; 3 – $E_0 = 80$ МэВ.

Результаты расчетов $E \pm \delta E$ для ионов с начальной энергией E_0 в диапазоне от 0.1 до 10 МэВ/нуклон показывают, что статистическое отклонение энергии δE от среднего значения E возрастает с увеличением толщины x тонкой мишени и при малых x не зависит от E_0 (Рис.1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ziegler J.F. // SRIM: the Stopping and Range of Ions in Matter (www.srim.org).

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГЛОЩЕННОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ БЫСТРЫХ ПРОТОНОВ ЧЕРЕЗ КРЕМНИЙ

Н.В. Новиков, Н.Г. Чеченин

НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

В задаче описания множественности сбоев бортовой электроники (в нескольких элементах под воздействием одного иона) возникает вопрос о размере области, возмущенной прохождением космической частицы. В работе исследуется радиальная зависимость энергии E_{abs} , поглощенной в воображаемом полом цилиндра радиуса R и толщиной стенки ΔR , выделенной продуктами ядерной реакции в кремнии от протонов с энергией E_0 ($100 \text{ МэВ} \leq E_0 \leq 10 \text{ ГэВ}$)

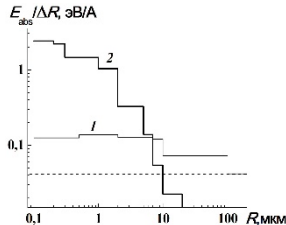


Рис. 1. Зависимость поглощенной энергии, выделенной продуктами ядерной реакции в кремнии от протонов с энергией $E_0=1 \text{ ГэВ}$ и поглощенной в цилиндрическом слое радиуса R и толщиной ΔR . Поглощенная энергия продуктов ядерной реакции: 1 – от ядер ($Z \leq 2$), e^\pm и нейтронов; 2 – от ядер ($3 \leq Z \leq 16$). Пунктир – поглощенная энергия от протонов с энергией $E_0 = 1 \text{ ГэВ}$ в слое толщиной 1 А .

Результаты расчетов методом Монте Карло [1] на рис.1 показывают, что в области небольших R потери энергии E_{abs} от продуктов ядерной реакции более чем на порядок превышают фон от первичного пучка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Allison J., Amako K., Apostolakis J. et al. // NIM A, 2016, 835, 186. geant4.web.cern.ch

ПРОБЕГИ АТОМОВ ВОДОРОДА, ДЕЙТЕРИЯ, ГЕЛИЯ
В АМОРФНОМ КРЕМНИИ И ВОЛЬФРАМЕ

Д.С. Мелузова, П.Ю. Бабенко, А.П. Шергин, А.Н. Зиновьев

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

Получены дифференциальные распределения пробегов для атомов H, D, He с энергиями в диапазоне 0.1-100 кэВ в аморфном W и Si, в случае нормального падения налетающих частиц (рис. 1). Расчеты проводились как в приближении парных соударений, так и более точным методом расчёта траекторий частиц. Показано, что результаты обоих методов хорошо согласуются между собой и с экспериментальными данными по средним пробегам для системы H-Si.

Показано, что влияние притягивающей ямы в потенциале взаимодействия налетающей частицы с атомами твёрдого тела на результаты расчётов незначительно.

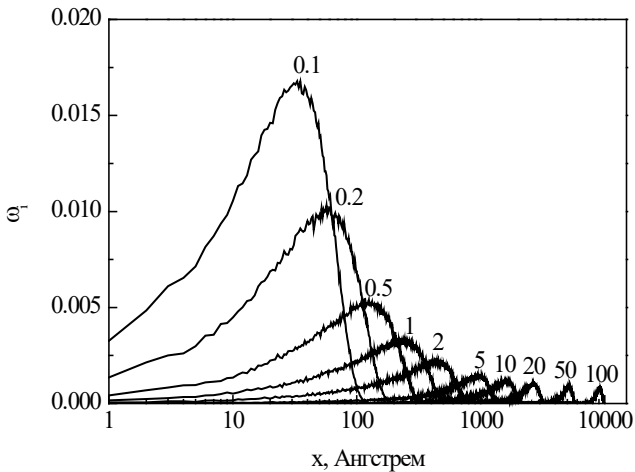


Рис.1. Дифференциальные распределения пробегов ω ; для системы H-Si в диапазоне энергий 0.1-100 кэВ

ОТРАЖЕНИЕ АТОМОВ ВОДОРОДА И ДЕЙТЕРИЯ
ОТ ПОВЕРХНОСТИ БЕРИЛЛИЯ, УГЛЕРОДА И ВОЛЬФРАМА

Д.С. Мелузова¹⁾, П.Ю. Бабенко¹⁾, А.П. Шергин¹⁾,
К. Нордлунд²⁾, А.Н. Зиновьев¹⁾

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
¹⁾ Хельсинский университет, Хельсинки, Финляндия

Расчитаны коэффициенты отражения частиц R_N при рассеянии атомов водорода и дейтерия на аморфных мишенях из бериллия, углерода и вольфрама, представляющие интерес для физики термоядерной плазмы. В случае рассеяния дейтерия на вольфраме получены данные также для поликристаллической и кристаллической мишеней.

Расчеты проводились двумя методами: путем моделирования траекторий падающих частиц и с использованием приближения парных столкновений /1, 2/.

Потенциалы взаимодействия между атомами изотопов водорода и атомами выбранных материалов рассчитывались в рамках теории функционала плотности с использованием программы DMol /3/ для выбора базиса волновых функций.

Найдена зависимость коэффициента отражения R_N от глубины потенциальной ямы. Результаты демонстрируют хорошее согласие с доступными экспериментальными данными.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Babenko P.Yu., Meluzova D.S., Shergin A.P., Zinoviev A.N. // NIMB, 2017, v.406, p.460.
2. Бабенко П.Ю., Зиновьев А.Н., Мелузова Д.С., Шергин А.П. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед., 2018, №6, с.7.
3. Zinoviev A.N., Norlund K. // NIMB, 2017, v.406, p.511.

РАССЕЯНИЕ И ПРОБЕГИ ИОНОВ ДЕЙТЕРИЯ
В КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ВОЛЬФРАМЕ

Д.С. Мелузова, П.Ю. Бабенко, А.П. Шергин, А.Н. Зиновьев

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

При расчетах коэффициента отражения R_N ионов дейтерия от кристаллического вольфрама (100) при определенных углах скольжения α , отмеченных стрелочками на рис.1, наблюдаются провалы, связанные с каналированием частиц в кристалле. Они соответствуют углам, когда $\text{tg}(\alpha) = m/n$, где m и n – небольшие целые числа. При рассеянии на поликристаллической мишени ориентационные эффекты исчезают из-за случайного выбора положения микрокристалла в пространстве.

При тех же условиях в распределениях имплантированных частиц по глубине материала появляется дополнительный максимум, соответствующий частицам, захваченным в канал.

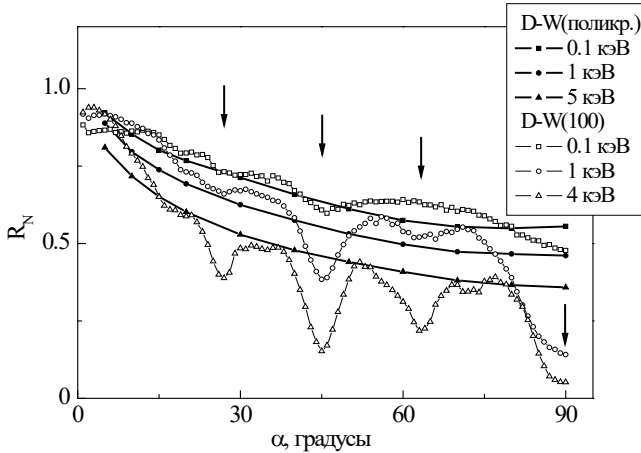


Рис.1 Коэффициент отражения частиц R_N в зависимости угла α .

При отстройке направления падения частиц от оптимального на 7° при начальной энергии 1 кэВ эта группа частиц исчезает. С ростом энергии соударения различие в пробегах для ориентированной и неориентированной мишеней увеличивается.

ИМПУЛЬСНЫЙ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ УСКОРИТЕЛЬ

О.О. Ивашук²⁾, А.В. Щагин^{1,2)}, А.С. Кубанкин^{2,3)}, А.С. Чепурнов⁴⁾

¹⁾ Харьковский физико-технический институт, г. Харьков, Украина

²⁾ Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

³⁾ Физический институт имени П.Н. Лебедева, РАН,
Москва, Россия

⁴⁾ Институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина МГУ,
Москва, Россия

Обычно, пироэлектрические ускорители базируются на пироэлектрических кристаллах [1,2] или ферроэлектрической керамики [3], работающих в квазинепрерывном режиме. Продолжительность работы ускорителя определяется продолжительностью нагрева или охлаждения пироэлектрического элемента, обычно в течении нескольких минут. В настоящей работе положительной заряд образовывается на поверхности пироэлектрического кристалла в течение изменения температуры, затем включается заземленный источник электронов. В результате, мы получаем импульсный пироэлектрический ускоритель и источник рентгеновского излучения. Также в данной работе обсуждаются свойства импульсного пироэлектрического ускорителя и источника нейтронов или источника рентгеновского излучения и достижимая импульсная мощность.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.S. Chepurnov, V.Y. Ionidi, O.O. Ivashchuk, A.S. Kubankin, A.N. Oleinik, A.V. Shchagin, / Pyroelectric neutron generator for calibration of neutrino and dark matter detectors /, Journal of Physics: Conference Series 675 (2016) 032031
2. A.S. Kubankin, A.S. Chepurnov, O.O. Ivashchuk, V.Yu. Ionidi, I.A. Kishin, A.A. Klenin, A.N. Oleinik, and A.V. Shchagin, / Optimal speed of temperature change of a crystal in a pyroelectric X-ray radiation source/, AIP Advances 8, 035207 (2018).
3. A.V. Shchagin, V.S. Miroshnik, V.I. Volkov, and A.N. Oleinik, / Ferroelectric ceramics in a pyroelectric accelerator /, Applied Physics Letters 107, 233505 (2015).

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК
РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.В. Щагин^{1,2)}, О.О. Ивашук²⁾, А.С. Кубанкин^{2,3)},
А.С. Чепурнов⁴⁾

¹⁾ Харьковский физико-технический институт, г. Харьков, Украина

²⁾ Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

³⁾ Физический институт имени П.Н. Лебедева, РАН,
Москва, Россия

Институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина, МГУ,
Москва, Россия

Недавно, в Белгородском университете был создан пироэлектрический ускоритель и генератор рентгеновского излучения, встроенный в миниатюрную вакуумную камеру, с размерами порядка 10 см. Камера откачивается с помощью внешнего насоса. Энергия пиков характеристического рентгеновского излучения может изменяться при установке соответствующей мишени в ускоритель. Такой генератор рентгеновского излучения может быть применен для энергетической калибровки рентгеновских детекторов без использования радиоактивных элементов и внешнего источника высокого напряжения.

Работа выполнялась при поддержке проектной части ГЗ в сфере научной деятельности (грант № 3.1631.2017/ПЧ).

МИНИАТЮРНЫЙ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ УСКОРИТЕЛЬ И ИСТОЧНИК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

О.О. Иващук²⁾, А.В. Щагин^{1,2)}, А.С. Кубанкин^{2,3)}, А.С. Чепурнов⁴⁾

¹⁾ Харьковский физико-технический институт, г. Харьков, Украина

²⁾ Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

³⁾ Физический институт имени П.Н. Лебедева, РАН,
Москва, Россия

Институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина, МГУ,
Москва, Россия

Недавно, в Белгородском университете был создан миниатюрный пироэлектрический ускоритель, встроенный в миниатюрную вакуумную камеру, с размерами порядка 10 см. Камера откачивается внешней системой вакуумной откачки. Энергия пиков характеристического рентгеновского излучения может изменяться при установлении соответствующей мишени в ускоритель. Данный ускоритель может быть применен для энергетической калибровки рентгеновских детекторов без использования радиоактивных элементов.

ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ УСКОРИТЕЛЬ, РАБОТАЮЩИЙ В
ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

А.В. Щагин^{1,2)}, О.О. Иващук²⁾, А.С. Кубанкин^{2,3)},
А.С. Чепурнов⁴⁾

¹⁾ ХФТИ, Харьков, Украина

²⁾ БелГУ, Белгород, Россия

³⁾ ФИАН имени П.Н. Лебедева, РАН, Москва, Россия

⁴⁾ ИИЯФ имени Д.В. Скобельцина, МГУ, Москва, Россия

Обычно, пироэлектрические ускорители базируются на пироэлектрических кристаллах /1,2/ или ферроэлектрической керамике /3/ и работают в квазинепрерывном режиме. Продолжительность работы ускорителя определяется продолжительностью нагрева или охлаждения пироэлектрического элемента, обычно в течение нескольких минут. В настоящей работе положительный заряд образуется на поверхности пироэлектрического кристалла при изменении температуры, затем включается заземленный источник электронов. В результате, мы получаем импульсный пироэлектрический ускоритель. В работе обсуждаются свойства импульсного источника нейтронов и рентгеновского излучения на базе такого ускорителя. Работа выполнялась при поддержке проектной части ГЗ в сфере научной деятельности (грант № 3.1631.2017/ПЧ).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. A.S. Chepurnov, V.Y. Ionidi, O.O. Ivashchuk, A.S. Kubankin, A.N. Oleinik, A.V. Shchagin. Pyroelectric neutron generator for calibration of neutrino and dark matter detectors // *Journal of Physics: Conference Series* 675 (2016) 032031
2. A.S. Kubankin, A.S. Chepurnov, O.O. Ivashchuk, V.Yu. Ionidi, I.A. Kishin, A.A. Klenin, A.N. Oleinik, and A.V. Shchagin. Optimal speed of temperature change of a crystal in a pyroelectric X-ray radiation source // *AIP Advances* 8, 035207 (2018).
3. A.V. Shchagin, V.S. Miroshnik, V.I. Volkov, and A.N. Oleinik. Ferroelectric ceramics in a pyroelectric accelerator // *Applied Physics Letters* 107, 233505 (2015).

КЕРАМИЧЕСКИЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ
ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО
ИЛУЧЕНИЯ В ВАКУУМЕ

А.В. Шагин^{1,2)}, В.С. Мирошник¹⁾, В.И. Волков¹⁾,
А.С. Кубанкин^{2,3)}, О.О. Иващук²⁾, А.С. Чепурнов⁴⁾

¹⁾ Харьковский физико-технический институт, г. Харьков, Украина

²⁾ Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

³⁾ Физический институт имени П.Н. Лебедева, РАН,
Москва, Россия

⁴⁾ Институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина, МГУ,
Москва, Россия

В нашей работе описаны и проанализированы экспериментальные исследования по ускорению электронов и генерации рентгеновского излучения в вакууме при работе пьезоэлектрического трансформатора. Пьезоэлектрический трансформатор работает на резонансной частоте. Электроны ускоряются от центрального высоковольтного электрода керамического пьезоэлектрического трансформатора к заземленной мишени, где они генерируют тормозное и характеристическое рентгеновского излучения в материале мишени. Возврат заряда на высоковольтном электроде обеспечивается за счет эмиссии электронов от нити накала установленной вблизи мишени. Было обнаружено, что выход рентгеновского излучения линейно возрастает с ростом давления остаточного газа в вакуумной камере в пределах двух порядков до десятков мТорр, когда возникают газовые разряды вокруг пьезоэлектрического трансформатора [1]. Также представлены возможные применения пьезоэлектрического трансформатора для генерации ускоряющего потенциала в малогабаритных ускорителях. В работе представлены последние результаты измерения спектров рентгеновского излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.V. Shchagin, V.S. Miroshnik, V.I. Volkov, A.S. Kubankin, O.O. Ivashchuk, / Ceramic Piezoelectric Transformer in Vacuum for Acceleration of Electrons and Production of X-Rays/ Materials MDPI 11 (2018) 1188.

ГЕНЕРАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСФОРМАТОРА В ВАКУУМЕ

А.В. Щагин ^{1,2)}, В.С. Мирошник ¹⁾, В.И. Волков ¹⁾, А.С. Кубанкин ^{2,3)}, О.О. Иващук ²⁾, А.С. Чепурнов ⁴⁾

¹⁾ Харьковский физико-технический институт, г. Харьков, Украина

²⁾ Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

³⁾ Физический институт имени П.Н. Лебедева, РАН,
Москва, Россия

⁴⁾ Институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина МГУ,
Москва, Россия

В нашей работе описаны и проанализированы экспериментальные исследования по ускорению электронов и генерации рентгеновского излучения при работе пьезоэлектрического трансформатора в вакууме. Пьезоэлектрический трансформатор работает на резонансной частоте. Электроны ускоряются от центрального высоковольтного электрода керамического пьезоэлектрического трансформатора к заземленной мишени, генерируя тормозное и характеристическое рентгеновское излучение в материале мишени. Возврат заряда на высоковольтном электроде обеспечивается за счет эмиссии электронов от нити накала, установленной вблизи мишени. Было обнаружено, что выход рентгеновского излучения линейно возрастает с ростом давления остаточного газа в вакуумной камере в пределах двух порядков до десятков мТорр, когда возникают газовые разряды вокруг пьезоэлектрического трансформатора [1]. Также в нашей работе представлены возможные применения пьезоэлектрического трансформатора для генерации ускоряющего потенциала в малогабаритных ускорителях. В работе представлены последние результаты измерений спектра рентгеновского излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.V. Shchagin, V.S. Miroschnik, V.I. Volkov, A.S. Kubankin, O.O. Ivashchuk, / Ceramic Piezoelectric Transformer in Vacuum for Acceleration of Electrons and Production of X-Rays/ Materials MDPI 11 (2018) 1188.

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КВАРЦОВЫЙ УСКОРИТЕЛЬ

О.О. Иващук²⁾, А.В. Шагин^{1,2)}, А.С. Кубанкин^{2,3)}, А.С. Чепурнов⁴⁾,
В.Ю. Иониди⁴⁾, И.С. Никулин²⁾

¹⁾ Харьковский физико-технический институт, г. Харьков, Украина

²⁾ Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

³⁾ Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН,
Москва, Россия

⁴⁾ Институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцина МГУ,
Москва, Россия

Недавно, был предложен пьезоэлектрический ускоритель [1]. Пьезоэлектрические элементы были использованы в [1] для генерации высокого ускоряющего потенциала. В настоящей работе мы использовали цилиндрические кристаллы кварца с осью (11), выровненной вдоль оси цилиндра. Обсуждаются результаты измерения рентгеновского излучения, генерируемого ускоренными электронами в таких кварцевых ускорителях. Также обсуждаются свойства и перспективные применения кварцевых ускорителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. O.O. Ivashchuk, A.V. Shchagin, A.S. Kubankin, I.S. Nikulin, A.N. Oleinik, V.S. Miroshnik, V.I. Volkov, / Piezoelectric Accelerator /, Scientific Reports, (2018) 8:16488.

НАБЛЮДЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ЭФФЕКТА ЧЕРЕНКОВА В ИЗЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОНОВ 5.7 МЭВ В Ве И Si

С.Р. Углов, А.В. Вуколов

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Известно, что излучение Вавилова-Черенкова генерируется заряженной частицей в среде, обладающей коэффициентом преломления $n > 1$ при условии, что скорость частицы $v > c/n$. Для некоторых веществ условие $n > 1$ может выполняться в диапазоне вакуумного ультрафиолета (ВУФ) и мягкого рентгена (МР) в узкой ($dE \sim 1 \div 2$ эВ) области спектра, вблизи краев поглощения. Экспериментально эффект Черенкова для ВУФ и МР диапазонов изучен мало и наблюдался только для мишеней из С (графит) /1/, Si, V и Ti /2 - 4/. Недавно /5/ мы сообщили о наблюдении эффекта Черенкова для Al в области L- края поглощения. В настоящем докладе представлены экспериментальные результаты об эффекте Черенкова впервые наблюдаемого в спектре излучения релятивистских электронов от Ве мишени. Эффект наблюдался для электронов с энергией 5.7 МэВ и фотонов с энергией $E_{ph} = 111$ эВ, соответствующей K-краю поглощения излучения в Ве. Кроме того, представлен экспериментальный результат наблюдения эффекта Черенкова в районе L- края поглощения для Si с $E_{ph} = 99$ эВ. Исследования проводились на выведенном пучке микротрона М – 5 (ТПУ, Томск) /6/. Спектрально-угловые свойства излучения исследовались с помощью многослойного зеркала [Mo/B⁴C]₁₀₀, расположенного в заданном фрагменте конуса излучения. Экспериментальные результаты сравниваются с расчетами, выполненными следуя работе /7/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bazylev V. A., et al., //, JETP Letters, 1981, V.34, No.3, p.97.
2. Moran M.J., et al., //, Nucl. Inst. Meth. B, 1990, V48, p.287.
3. Knulst W., et al., //, Appl. Phys. Lett., 2001, V79, N18, p.2999.
4. Knulst W., Ph.D.thesis, Technische Univ. Eindhoven, 2004.
5. Uglov S.R., et al., //, EPL, 118, (2017), p. 34002.
6. Uglov S.R., et al., //, J. Phys. Conf. Ser., 2014, 517, p.012009.
7. Пафомов В.Е. //, Труды ФИАН, 1969, Т. XLIV, с.28.

FLUX PEAKING ROLE IN DD REACTION YIELD INITIATED BY
CHANNELED DEUTERONS IN DEUTERATED PD TARGET

O.D. Dalkarov¹⁾, M.A. Negodaev¹⁾, A.S. Rusetskii¹⁾, A.P. Chubenko¹⁾,
Yu.L. Pivovarov²⁾, T.A. Tukhfatullin²⁾

¹⁾Lebedev Physical Institute RAS (LPI), 53 Leninsky Prospect, 119991,
Moscow, Russia

²⁾National Research Tomsk Polytechnic University,
30 Lenin Avenue, 634050, Tomsk, Russia

The interactions of the deuterium (D) beam with D- enriched targets are investigated in /1–2/ using the ion accelerator HELIS at the LPI. In continuation of these studies, the CVD-diamond target was replaced by deuterated Pd target, which allows another screening and channeling conditions, see for details in /3/. The neutron yield is investigated from $D + D \rightarrow n(2.45 \text{ MeV}) + {}^3\text{He}(0.8 \text{ MeV})$ reaction in deuterated Pd target, during an irradiation of its surface by 20 keV D ion beam. The measurements of the neutron flux in the D beam direction are performed in dependence on the target angle β with respect to the D beam axis using a multichannel detector based on He^3 counters. A significant anisotropy (orientation effect) in the neutron yield is observed, it was higher by a factor of 2 at $\beta=0$ compared to that at $\beta = \pm 30^\circ$ /3/.

The orientation effect can be connected with the channeling and so-called flux-peaking. It was investigated by computer simulations using the BCM-2.0 code /4/. The enhanced D flux density between Pd (200) crystal planes (location of implanted D) at zero incident angle with respect to (200) Pd planes allows qualitative explanation of observed orientation effect.

R E F E R E N C E S

1. A.V. Bagulya, O. D. Dalkarov, M. A. Negodaev *et al.* Nucl. Instr. and Meth. B **355**, 340 (2015).
2. A.V. Bagulya, O. D. Dalkarov, M. A. Negodaev *et al.* Nucl. Instr. and Meth. B **402**, 243 (2017).
3. O.D. Dalkarov, M.A. Negodaev, A.S. Rusetskii *et al.* Physical Review Accelerators and Beams, 2019 (in press).
4. S.V. Abdrashitov, O.V. Bogdanov, K.B. Korotchenko *et al.* Nucl. Instrum. and Meth. B **402**, 106 (2017).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАНАЛИРОВАНИЯ КИЛОВОЛЬТНЫХ
ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ
ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

А.Л. Сибирев¹⁾, М.Н. Шипко²⁾, М.А. Степович³⁾, А.А. Вирюс⁴⁾,
М.В. Акулова¹⁾, А.Н. Стрельников⁵⁾

⁴⁾Ивановский государственный

химико-технологический университет, г. Иваново, Россия

²⁾Ивановский государственный энергетический университет
им. В.И. Ленина, г. Иваново, Россия

³⁾Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского,
г. Калуга, Россия

⁴⁾Институт экспериментальной минералогии РАН,
г. Черноголовка, Россия

⁵⁾Ивановский государственный политехнический университет, г.
Иваново, Россия

Эффект каналирования килвольтных электронов (9 кэВ) в жидкости /1/ использован для изучения влияния слабых импульсов магнитного поля на водные растворы портландцемента. Установлена корреляция состава исходного сырья с микроструктурой, пространственным и энергетическим распределением каналированных электронов и прочностными характеристиками конечного продукта – цементного камня.

Исследования проведены при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-03-00271), РФФИ и правительства Ивановской области (проект № 18-43-370012), а также РФФИ и правительства Калужской области (проект № 18-41-400001).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Шипко М.Н., Степович М.А., Сибирев А.Л., Усольцева Н.В., Масленникова О.М., Смирнова А.И. // Известия РАН. Серия физическая, 2018, Т. 82, № 8, С. 1058-1062.

МОМЕНТ ИМПУЛЬСА И СПЕКТРАЛЬНО-ФАЗОВАЯ СТРУКТУРА ИЗЛУЧЕНИЯ СПИРАЛЬНОГО ОНДУЛЯТОРА.

В.Я. Эпп¹⁾, Ю.Г. Янц²⁾

¹⁾ Томский государственный педагогический университет,
г. Томск, Россия

²⁾ Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящее время интенсивно исследуется электромагнитное излучение, обладающее моментом импульса. В видимом диапазоне спектра такое излучение генерируется с помощью лазера. Излучение в рентгеновском диапазоне, несущее момент импульса, было получено с помощью спирального ондулятора [1]. Были предложены методы генерации излучения с моментом импульса с помощью лазера на свободных электронах [2] и аксиального канализирования заряженных частиц [3].

Орбитальный момент импульса электромагнитной волны связан с тем, что направление распространения волны не ортогонально ее фронту и волновой поверхности. В данной работе исследована структура волновой поверхности излучения частицы, движущейся по спирали и ее зависимость от частоты и номера гармоники излучения.

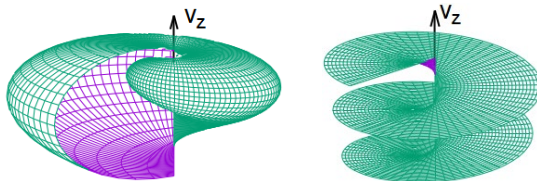


Рис.1 Волновая поверхность излучения для средней скорости частицы $V_z = 0.8$.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Bahrdt, K. Holldack, P. Kuske, R. Müller, M. Scheer, P. Schmid. Phys. Rev. Lett., 2013, 111(3):034801.
2. E. Hemsing and A. Marinelli. Phys. Rev. Lett., 2012, 109:224801.
3. V. Epp, J. Janz, M. Zotova. NIM B, 2018,436, 78-83.

РАСЧЕТ ЗОННОГО СПЕКТРА ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ
СЛАБОРЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ВДОЛЬ ГЛАВНЫХ
ОСЕЙ В КРИСТАЛЛАХ СО СТРУКТУРОЙ ЦИНКОВОЙ
ОБМАНКИ

Н.В. Максюта¹⁾, В.И. Высоцкий¹⁾, С.В. Ефименко¹⁾,
В.В. Сыщенко²⁾, А.И. Тарновский²⁾, А.Ю. Исупов³⁾

¹⁾КНУ имени Тараса Шевченко, Киев, Украина,

²⁾НИУ “БелГУ”, г. Белгород, Россия,

³⁾ЛФВЭ ОИЯИ, г. Дубна, Россия

В работе [1] на основе рассчитанного потенциала взаимодействия электронов с главными заряженными осями [110] в кристалле ZnS численно вычислялись уровни каналирования и соответствующие им волновые функции для слаборелятивистских электронов с Лоренц-факторами $\gamma = 5 \div 10$. Однако, как следует из [3], при таких небольших энергиях электронов особенно для высоковозбужденных состояний необходимо учитывать зонный характер спектра поперечных энергий. Именно этому вопросу и посвящена данная работа. На примере кристаллов ZnS, ZnSe и ZnTe рассчитываются спектры уровней поперечной энергии и соответствующие волновые функции при каналировании слаборелятивистских электронов вдоль главных осей [100], [110] и [111] как для изолированных каналов, так и с учетом периодичности кристаллических решеток.

На основе этих данных с целью сравнения вычисляются в дипольном приближении спектры каналированного излучения для обоих случаев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максюта Н.В., Высоцкий В.И., Ефименко С.В., Сыщенко В.В., Тарновский А.И., Исупов А.Ю. // Тез. докл. XLVI межд. Тулинской конф. по физике взаимод. заряж. частиц с крист. / Под ред. проф. М.И. Панасюка. – М.: Университетская книга, 2016. – С. 62.
2. Feit M.D., Fleck J.A., Jr., and Steiger A. // J. Comput. Phys., 1982, V. 47, P. 412.
3. Базылев В.А., Жеваго Н.К. Излучение быстрых частиц в веществе и во внешних полях. – М.: Наука, 1987. – 272 с.

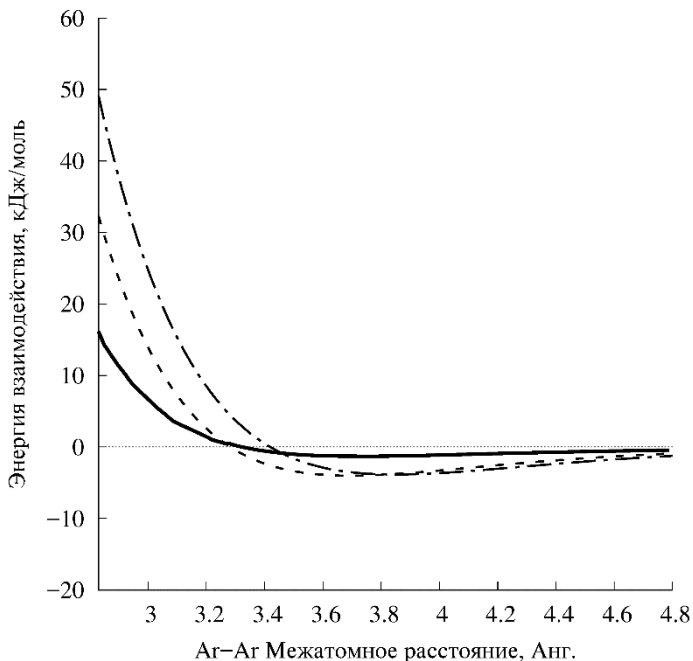
ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТОМА АРГОНА С АРГОНОМ

В.П. Кощев¹⁾, Ю.Н. Штанов²⁾

¹⁾НИУ МАИ, филиал «Стрела», г. Жуковский, Моск. обл., Россия

²⁾Филиал ТИУ в г. Сургуте, г. Сургут, Россия

На рисунке представлен результат сравнения потенциальной энергии взаимодействия для димера Ar_2 , которая обозначена сплошной линией [1] и по формуле [2] с радиусом экранирования равным $2a_{\text{T-F}}$ (штрихпунктирная линия), а $1.92a_{\text{T-F}}$ (пунктирная линия). $a_{\text{T-F}}$ – радиус экранирования Томаса–Ферми.



ЛИТЕРАТУРА

1. Mary J. Van Vleet et al. // J.Chem. Theory Comput., 2016, V.12, P. 3851.
2. Кощев В.П., Штанов Ю.Н. // ПЖТФ, 2018, Т.44, В. 13, С. 28.

КОГЕРЕНТНЫЙ ЭФФЕКТ В ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЯХ
БАНЧА ЭЛЕКТРОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

С.В. Трофименко, Н.Ф. Шульга

ННЦ ХФТИ, ХНУ им. В.Н. Каразина, г. Харьков, Украина

Величина ионизационных потерь энергии пучка заряженных частиц в веществе обычно вычисляется как сумма независимых потерь отдельных частиц, составляющих пучок. В настоящей работе показано, что для пучков (банчей) достаточно малых размеров с высокой плотностью частиц происходит существенное отклонение от данного правила. Величина ионизационных потерь таких банчей может на несколько порядков превышать упомянутую сумму. Такой эффект подобен эффекту когерентного усиления интенсивности излучения банча. Вообще говоря, для проявления рассматриваемого эффекта требуются очень высокие плотности частиц в банче. Однако условие на плотность банча значительно ослабляется, если рассматривать ионизационные потери в достаточно тонких мишенях (либо тонких приповерхностных слоях мишеней произвольной толщины), где отсутствует эффект плотности $1/\lambda$ в ионизационных потерях. В такой ситуации рассматриваемый эффект может проявляться при параметрах банчей, которые достигнуты на современных ускорителях, как например, лазер на свободных электронах European XFEL, либо планируются быть реализованы на ряде ускорителей, находящихся в процессе создания, как например, SINBAD. Данный эффект может представлять интерес для задач диагностики пучков заряженных частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fermi E. // Phys. Rev. 1940, 57, 485.

УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПУЧКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ
ПРИ МНОГОКРАТНОМ РАССЕЯНИИ В ВЕЩЕСТВЕ

Н.Н. Михеев

ЛКМ ИК РАН - филиал ФНИЦ
«Кристаллография и фотоника» РАН, г. Калуга, Россия

Представлены результаты использования статистической модели многократного рассеяния /1,2/ для описания двумерного распределения заряженных частиц моноэнергетического пучка по углу θ отклонения их от начального направления после прохождения пленки вещества заданной толщины и нормальном падении на поверхность образца. Получена новая универсальная функция $F(\theta, \theta_p)$ для углового распределения прошедших частиц, а также новые формулы расчета наиболее вероятного угла отклонения θ_p для легких частиц (электронов) и тяжелых (протонов и ионов). Приводятся результаты всесторонней проверки полученных соотношений на основе сопоставления проведенных модельных расчетов угловых распределений с экспериментальными спектрами угловых отклонений электронов и протонов, взятых из научных публикаций. Установлено, что электроны, прошедшие тонкие пленочные мишени ($h < 0.25 l_{tr}$) представляют собой совокупность двух групп частиц, каждая из которых характеризуется своим угловым распределением. Показано хорошее соответствие между выполненными модельными расчетами и экспериментальными результатами.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Михеев Н.Н. // Известия РАН, серия физическая, 2000. Т. 64. №11. С. 2137.
2. Михеев Н.Н., Степович М.А., Юдина С.Н. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2009. №3. С. 53.

КАНАЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ В ПЕРИОДИЧЕСКИ ИЗОГНУТЫХ КРИСТАЛЛАХ АЛМАЗА

А.В. Павлов¹⁾, А.В. Король²⁾, В.К. Иванов¹⁾, А.В. Соловьев²⁾¹⁾ СПбПУ, Санкт-Петербург, Россия²⁾ MBN Research Center, Frankfurt am Main, Germany

В данной работе представлены результаты исследования процессов каналирования электронов и позитронов в прямых и периодически изогнутых кристаллах алмаза. Для получения траекторий и спектров излучения каналирующих частиц был использован вычислительный пакет MBN Explorer [1]. Параметры расчёта выбирались близкими к параметрам эксперимента на микротроне МАМІ [2]. Предсказаны новые особенности в спектрах электромагнитного излучения частиц в зависимости от амплитуды изгиба кристалла и энергии частиц (см. Рис. 1).

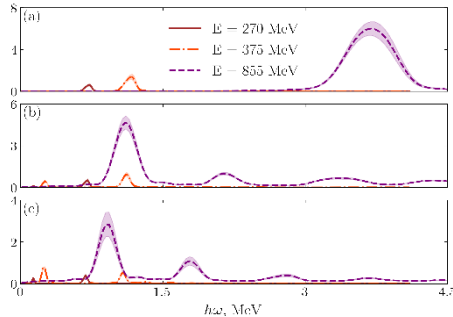


Рис.1 Спектры электромагнитного излучения позитронов, каналирующих в прямом (а) и периодически изогнутом с амплитудой изгиба (b) 2.5 Å и (c) 4.0 Å и периодом 5 мкм кристаллах алмаза.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. B. Sushko, V. G. Bezchastnov, I. A. Solov'yov, A. V. Korol, W. Greiner, A. V. Solov'yov // J. Comput. Phys., 2013, 252, 404–418.
2. H. Backe, W. Lauth // Nucl. Instrum. Meth. B, 2015, 355, 24.

О МОДЕЛИРОВАНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ НЕОСНОВНЫХ
НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА, ГЕНЕРИРОВАННЫХ ШИРОКИМ
ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАНАРНЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУРАХ

Е.В. Серегина¹⁾, В.В. Калманович²⁾, М.А. Степович²⁾

¹⁾Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Калуга, Россия

²⁾ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского», г.Калуга, Россия

Ранее /1/ изучены некоторые математические аспекты использования матричного метода и метода конечных разностей для проведения расчётов распределений неосновных носителей заряда, генерированных широким электронным пучком в многослойных полупроводниковых мишенях, обладающих планарной или цилиндрической симметрией. В настоящей работе изложены результаты использования этих методов применительно к реальным полупроводниковым объектам: модельные расчёты выполнены для параметров мишеней, характерных для материалов полупроводниковой микро- и нанoeлектроники.

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-03-00271), а также РФФИ и правительства Калужской области (проект № 18-41-400001).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Калманович В.В., Серегина Е.В., Степович М.А. // Современные методы теории функций и смежные проблемы: Материалы международной конференции «Воронежская зимняя математическая школа», Воронеж, ВГУ, 2019, с. 140-142.

ОБ ОРИЕНТАЦИОННЫХ ЭФФЕКТАХ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ
КАНАЛИРОВАНИЕМ КИЛОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В
УПОРЯДОЧЕННЫХ КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРАХ

М.А. Степович¹⁾, А.Л. Сибирев²⁾, М.Н. Шипко³⁾,
О.М. Масленникова⁴⁾, Н.В. Усольцева⁵⁾

¹⁾Калужский государственный университет
им. К.Э. Циолковского, г. Калуга, Россия

²⁾Ивановский государственный химико-технологический
университет, г. Иваново, Россия

³⁾Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина, г. Иваново, Россия

⁴⁾Центральная государственная медицинская академия Управления
делами Президента Российской Федерации, Москва, Россия

⁵⁾Ивановский государственный университет,
НИИ наноматериалов, г. Иваново, Россия

Изучены ориентационные эффекты, обусловленные каналированием низкоэнергетических (9 кэВ) электронов в водных растворах поверхностно-активного вещества (ПАВ) – цетилтриметиламмония бромистого $[(C_{16}H_{33})N(CH_3)_3]Br$ с концентрацией $(0,14...54,88) \times 10^{-3}$ моль/л до и после магнитоимпульсной обработки (МИО). Исследования выполнены в импульсном электрическом поле серийной камеры газоразрядной визуализации. Установлено, что изменение позиционного порядка в расположении мицелл ПАВ, обусловленное МИО, сопровождается изменением энергетического и углового распределения электронов, проходящих через раствор, что позволяет использовать процесс каналирования для изучения состояния биологических жидкостей.

Исследования проведены при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-03-00271), РФФИ и правительства Ивановской области (проект № 18-43-370012), а также РФФИ и правительства Калужской области (проект № 18-41-400001).

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В
ПОРОШКАХ

В.И. Алексеев^{1),2)}, А.Н. Елисеев^{1),2)}, Э.Ф. Иррибарра³⁾,
И.А. Кищин^{1),2)}, А.С. Клоев^{1),2)}, А. С. Кубанкин^{1),2)},
Р.М. Нажмудинов^{1),2)}

¹⁾Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

²⁾Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,
Москва, Россия

³⁾Национальная политехническая школа, Кито, Эквадор

Параметрическое рентгеновское излучение (ПРИ) образуется при взаимодействии ускоренных заряженных частиц со средами, обладающими периодической атомной структурой. В основном, ПРИ достаточно хорошо изучено для кристаллов, в меньшей степени для поликристаллов, и практически не изучено при взаимодействии частиц с порошками.

В работе проведены исследования ПРИ, образующегося при взаимодействии релятивистских электронов с энергией 7 МэВ с порошками алмаза и вольфрама. Показано хорошее количественное согласие экспериментальных данных с теорией, разработанной для поликристаллов, у которых отсутствует преимущественная ориентация зёрен (безтекстурные поликристаллы).

FORMATION REGION EFFECTS IN X-RAY EMISSION BY 1-6
GeV ELECTRONS

R.M. Nazhmudinov^{1,3}), S.V. Trofymenko^{2,4}), A.V. Shchagin^{1,2}),
N.F. Shul'ga^{2,4}), A.S. Kubankin^{1,3}), A.P. Potylitsyn⁵), A.S. Gogolev⁵),
N.A. Filatov⁵), G. Kube⁶), N.A. Potylitsina-Kube⁶),
M. Stanitzki⁶), R. Diener⁶), A. Novokshonov⁶)

¹)NRU «BelSU», Belgorod, Russia;

²)NSC KIPT, Kharkiv, Ukraine;

³)Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia;

⁴)Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine;

⁵)Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia;

⁶)DESY, Hamburg, Germany

The process of radiation upon a relativistic charged particle interaction with matter develops within the formation length l_F which can be macroscopically large. Within this distance from the interaction region the electromagnetic field around the particle is different from the Coulomb one being considerably suppressed. This leads to modification of the properties of radiation emitted by the particle during its further interactions with matter within l_F . In the present work we discuss two processes of X-ray emission by high-energy electrons in which the mentioned modification is manifested. Firstly, we report about the experimental study (on the test beam facility at DESY) of such effect for X-ray transition radiation in two multilayer radiators of different period. Observable suppression of TR spectrum in a small-period radiator, comparing to the large-period one, is detected. Secondly, we propose to study (on the same test beam facility) the formation region effects for the diffracted X-ray transition radiation in a downstream crystal (silicon or pyrographite) situated on various distances from an upstream beryllium target (for details see /1/). The estimations of the optimal parameters for such study are made.

R E F E R E N C E S

[1] Trofymenko S.V., Shul'ga N.F., Shchagin A.V. // Phys. Rev. Accel. Beams 2019, 22, 024501.

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА КАНАЛИРОВАНИЯ ДЕЙТРОНОВ С
ЭНЕРГИЕЙ 16-34 кэВ НА УСИЛЕНИЕ РЕАКЦИИ $D(^3\text{He},p)^4\text{He}$ В
КРИСТАЛЛЕ ZrD

В.М. Быстрицкий¹, М. Филипович², Г.Н. Дудкин³,
С.И. Кузнецов³, Ю.Л. Пивоваров³, Т.А. Тухфатуллин³

¹Объединенный институт ядерных исследований,
г. Дубна, Россия

²Университет науки и технологий, г. Краков, Польша

³Томский Политехнический Университет, г. Томск, Россия

В работе /1/ исследуется ориентационная зависимость увеличения вероятности реакции $D(D, n)^3\text{He}$, протекающей в кристалле TiD_2 при энергиях дейтронов 7–12 кэВ. При помощи компьютерного кода ВСМ-2 /2/ проведено моделирование траекторий дейтронов при (200) плоскостном каналировании в кристалле Ti , с учетом угловой расходимости пучка. Результаты расчетов качественно согласуются с недавними экспериментами, выполненными в Томском политехническом университете /3/.

Целью настоящей работы являлось исследование эффекта увеличения выхода нейтронов в реакции $D(^3\text{He}, p)^4\text{He}$ с использованием дейтерированной мишени из ZrD . Представлены результаты теоретического исследования фактора усиления реакции $D(^3\text{He}, p)^4\text{He}$ с использованием усовершенствованной модели, учитывающей импакт-параметр взаимодействия ионов He с имплантированными атомами дейтерия.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.М. Быстрицкий и др.// Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2017, 6, 1.
2. S.V. Abdrashitov et al.// Nucl. Instrum. Methods B, 2017, 402, 106.
3. V.M. Bystritsky et al. Nuclear Physics A 889, 2012, 93.

КРЕМНИЕВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ С ПЛАВНО УПРАВЛЯЕМОЙ ТОЛЩИНОЙ В КОСМИЧЕСКОМ ТЕЛЕСКОПЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

А.В. Щагин^{1,2}

¹ НИУ «БелГУ», г. Белгород, Россия

² ННЦ ХФТИ, г. Харьков, Украина

Телескопы, состоящие из стопки Si детекторов с постоянной толщиной обедненного слоя, применяются для исследования частиц в космосе /1/. В настоящей работе предлагается использовать в телескопе детекторы с плавно управляемой толщиной обедненного слоя, управляемой напряжением смещения.

Например, перед первым детектором телескопа ставят металлическую пластину для поглощения частиц с низкой энергией /1/. Вместо нее можно ставить детектор с обедненной зоной, обращенной внутрь телескопа. Регулируя напряжение смещения, можно одновременно менять как толщину обедненного слоя так и толщину поглощающего (не обедненного) слоя, заряд из которого не собирается. Таким образом, можно плавно изменять толщину поглощающего слоя, а в обедненном слое того же детектора регистрировать прошедшие частицы.

Кремниевые детекторы с управляемой толщиной мы применяли для наблюдения электронов с $E < 1$ МэВ в ХФТИ /2/ и протонов с энергией 50 ГэВ на ускорителе У70 /3/.

ЛИТЕРАТУРА

1. D.N. Baker et al. Space Science Reviews 179 (2017) 337–381.
2. A.V. Shchagin, N.F. Shul'ga, S.V. Trofymenko et al., NIM B 387 (2016) 29–33.
3. R.M. Nazhmudinov, A.S. Kubankin, A.V. Shchagin et al., NIM B 391 (2017) 69–72.

ВОЛНОВОДНО-РЕЗОНАНСНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ
РАДИАЦИОННЫХ ПОТОКОВ КАК ВОЗМОЖНАЯ ОСНОВА
МЕХАНИЗМА ПРОТЕКАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО
ЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

В.К. Егоров¹⁾, Е.В. Егоров^{1,2,3)}

¹⁾ ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия

²⁾ РУДН, Москва, Россия

³⁾ ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Россия

Низкотемпературный ядерный синтез, предсказанный академиками А.Д. Сахаровым и Я.Б. Зельдовичем, в настоящее время принято считать доказанным явлением. Наблюдаемый в экспериментах эффект не велик, но он значительно превосходит статистическую погрешность. Более того, гамма, бета и рентгеноспектральный объективный контроль фиксирует в результате выполненных экспериментальных процедур появления отсутствовавших ранее химических элементов. В то же время наблюдаемый эффект оказывается в миллионы раз меньше ожидаемого. Основная проблема данного направления исследований связан с отсутствием понимания механизма протекания процесса ядерного синтеза. В докладе предлагается возможный механизм этого процесса, основанный на том, что природа позволяет взаимодействовать независимым радиационным потокам через взаимное влияние возбужденных этими потоками однородных интерференционных полей стоячих радиационных волн. Эффект такого взаимодействия для независимых рентгеновских и оптических потоков был зарегистрирован нами экспериментально. В силу принципа корпускулярно-волнового дуализма аналогичный эффект ожидаем и для частиц с ненулевой массой покоя. Следовательно, можно считать вполне вероятным, что явление волноводно-резонансного распространения радиационных потоков может явиться базой для разработки механизма низкотемпературного ядерного синтеза.

СТРУКТУРА ОБЛАСТЕЙ РЕГУЛЯРНОГО ДВИЖЕНИЯ В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ КАНАЛИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

В.В. Сыщенко¹⁾, А.И. Тарновский¹⁾, А.Ю. Исупов²⁾,
И.И. Соловьев¹⁾

¹⁾ НИУ «БелГУ», Белгород, Россия; ²⁾ ЛФВЭ, Дубна, Россия

Движение заряженных частиц в кристалле может быть как регулярным, так и хаотическим. На квантовом уровне хаотичность проявляется в статистических свойствах массива уровней энергии. Для электронов, каналированных вблизи оси [110] кремния, эти свойства исследовались в /1/. Случай движения вблизи направления [100] представляет особый интерес /2/, так как здесь движение будет регулярным для одних начальных условий и хаотическим для других. Представлены результаты вычисления квазиклассической плотности уровней энергии электронов, а также ее доли, соответствующей областям фазового пространства, занятым регулярными траекториям (рис. 1).

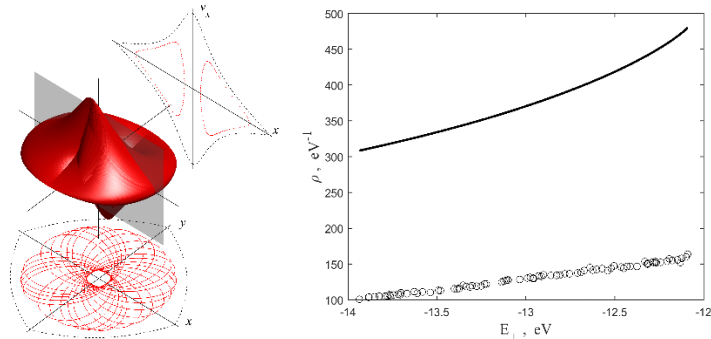


Рис. 1. Слева: проекция на трехмерное пространство (x, y, v_x) области фазового пространства, содержащей основную часть регулярных траекторий электрона с энергией продольного движения 5 ГэВ и поперечного движения -12,0885 эВ. Справа: средняя плотность уровней энергии (сплошная линия) и вкладом в нее таких областей (кружки).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шульга Н.Ф., Сыщенко В.В., Тарновский А.И., Исупов А.Ю. // Поверхность (2015) № 7, 72.
2. Berry M.V., Robnik M. // J. Phys. A (1984) 17, 2413.

РЕНТГЕНОВСКОЕ ЧЕРЕНКОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СРЕДЕ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ

В.С. Малышевский, Г.В. Фомин, М.В.Булгакова

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

Рассчитаны спектрально-угловые характеристики рентгеновского Черенковского излучения, возникающего при прохождении быстрых заряженных частиц через поглощающую среду (бериллий) конечных размеров.

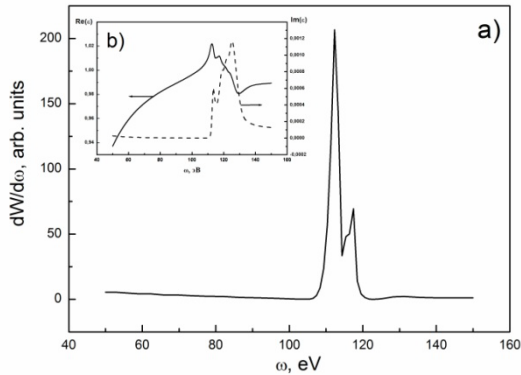


Рис.1 Спектральное распределение электромагнитного излучения в рентгеновском диапазоне частот, проинтегрированное по углам в передней полусфере вдоль направления движения частицы, в бериллиевой пластинке толщиной 1 мкм при $\gamma = 10$.

Дисперсия действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости в бериллии приведена на рис.2б. Порог излучения Вавилова-Черенкова возникает при энергии частиц, соответствующей Лоренц-фактору $\gamma > 3$. Спектральная плотность излучения Вавилова-Черенкова в рентгеновской области имеет ярко выраженный максимум шириной, примерно, 3 эВ, в области частот вблизи края К-линии поглощения (111,5 эВ). Оценка полного выхода гамма квантов дает величину 10^{-3} c^{-1} на одну частицу.

КОНВЕРСИЯ ЭНЕРГИИ УЛЬТРАРЕЛЯТИВИСТСКОГО
ЭЛЕКТРОНА В ЖЕСТКИЕ ГАММА-КВАНТЫ ПРИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ
НЕОДНОРОДНОСТЯМИ ПОТЕНЦИАЛА КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ
ОСЕЙ ИЛИ ПЛОСКОСТЕЙ.

Н.П. Калашников, А.С. Ольчак

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
115409 Москва, Каширское шоссе, 31, Россия

Взаимодействие релятивистских электронов с кристаллическими осями и плоскостями в модели каналирования традиционно описывается как движение в некотором усредненном непрерывном потенциале. Однако, реальные кристаллические оси и плоскости состоят из отдельных атомов, расположенных периодически. Взаимодействие электрона с периодическими неоднородностями потенциала может сопровождаться передачей кристаллу строго квантованных порций импульса $\Delta p_{\parallel} = 2\pi n\hbar / d$, где $n = 1, 2, 3, \dots$, а d – это период расположения неоднородностей потенциала, совпадающий с периодом кристаллической решетки при движении вдоль оси ($d = a$) или заметно его превышающий ($d = a/\Theta$) при движении вдоль кристаллической плоскости под небольшим ($\Theta \ll 1$), но все-же превышающим критический угол каналирования ($\Theta > \Theta_{\text{crit}}$) углом Θ к атомным осям, составляющим эту плоскость.

При отдаче решетке весьма немалого квантованного продольного импульса ($\Delta p_{\parallel} c = 2\pi n\hbar c / d \sim$ несколько кэВ) может (должно!) происходить испускание фотона с весьма большой (сопоставимой с начальной энергией электрона E), энергией $\hbar\omega = E(1 - m^2c^3/2E\Delta p_{\parallel} - E\Theta_{\gamma}^2/2c\Delta p_{\parallel})$, где Θ_{γ} – угол, под которым испущен фотон). Для излучения прямо вперед ($\Theta_{\gamma} \sim 0$) при начальной энергии электронов $E \sim$ ГэВ в энергию фотона при таком процессе обращается $\sim 90\%$ кинетической энергии электрона. Возможно, именно этот эффект объясняет сверхжесткое излучение от ультрарелятивистских электронов в кристалле, наблюдавшееся, в частности, в экспериментах группы Белькассеа в 1980-ые годы.

ФОТОРЕКОМБИНАЦИЯ КАНАЛИРОВАННОГО УЛЬТРАРЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОНА

Н.П. Калашников, А.С. Ольчак

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
115409 Москва, Каширское шоссе, 31, Россия

Исследуется процесс фоторекомбинации каналированных электронов высоких энергий. Рассмотрено дифференциальное сечение фоторекомбинации электрона с излучением фотона $\hbar\omega$ и переходом электрона в каналированное состояние с энергией поперечного движения $\epsilon_{\perp n}$. В докладе предлагается для рассмотрения процесса фоторекомбинации использовать так называемую сопутствующую систему координат (ССК), движущуюся параллельно оси каналирования со скоростью, равной продольной компоненте скорости каналированных частиц $V = \frac{p_{\parallel} c^2}{E}$. В такой сопутствующей системе координат поперечное движение частицы, влетающей в монокристалл под углом, не превышающем критический угол Линдхарда $\theta_L \sim \sqrt{U_0/E}$ (где U_0 - эффективная глубина усредненного потенциала каналирования, $E \gg mc^2$ - релятивистская энергия падающих частиц) может рассматриваться как нерелятивистское вплоть до очень высоких энергий падающих частиц (до $E \sim 10^{11}$ эВ для лептонов). Нерелятивистский характер поперечного движения каналированного электрона в ССК позволяет использовать известные результаты атомной физики. В частности, рассматривается процесс фоторекомбинации каналированных (радиационная рекомбинация) частиц, являющимся обратным процессом по отношению к фотоэлектрическому эффекту, т.е. предлагаются вычисления поперечного сечения радиационной рекомбинации электрона при взаимодействии с атомом, которая сопровождается излучением фотона.

ОСОБЕННОСТИ ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОЙ ЭВОЛЮЦИИ
КАНАЛИРУЕМЫХ ЧАСТИЦ В ПРЕДЕЛАХ КАЖДОГО
КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КАНАЛА

В.И. Высоцкий, М.В. Высоцкий

Киевский национальный университет
им. Т. Шевченко Киев, Украина

В работе рассмотрено влияние интерференции собственных функций ψ_n , соответствующих разным уровням энергии каналированного движения, на эволюцию состояния частиц в пределах каждого канала. Впервые показано, что следствием этой интерференции является продольно-периодическое перераспределение максимумов области локализации каналируемых частиц

$$|\psi(x, z)|^2 = \sum_{n,m} c_n c_m^* \psi_n(x) \psi_m^*(x) \exp\{i(p_n - p_m)z/\hbar\} = \\ \sum_{n,m} c_n c_m^* \psi_n(x) \psi_m^*(x) \exp\{i(\varepsilon_n - \varepsilon_m)z/\hbar c\}$$

в сечении канала (по отношению к стенкам и оси канала). Здесь ε_n и C_n - энергия конкретного уровня каналирования и амплитуда его заселения на входе канала, γ - Лоренц-фактор каналируемой частицы. В параболическом канале величина продольного периода определяется выражением $L_z = 2\pi\hbar c \sqrt{\gamma^2 - 1}/|\varepsilon_n - \varepsilon_{n\pm 1}|$. Этот результат приводит к продольно-периодической модуляции радиационных эффектов, связанных с взаимодействием каналируемых частиц с атомами, образующими стенки канала (в частности, к периодической локализации мест тормозного излучения и кулоновского возбуждения ядер этих атомов). Такие процессы можно идентифицировать, например, по испусканию тормозного или гамма-излучений в направлении дифракции $\theta = n\lambda/2L_z$ по отношению к оси канала. Область реализации эффектов, связанных с пространственной эволюцией каналируемых частиц, вызванных явлениями интерференции, ограничена длиной деканалирования, наличие которого приводит к утрате взаимной когерентности разных собственных состояний.

Секция 4

**МОДИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ
СЛОЕВ ИОННЫМИ И ЭЛЕКТРОННЫМИ
ПУЧКАМИ (ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ И РАДИАЦИОННО-
ИНДУЦИРОВАННЫЕ ЭФФЕКТЫ, ДИАГНОСТИКА).**

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИМПЛАНТАЦИИ Fe-57 В МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ Ta

В.А. Андрианов¹⁾, К.А. Бедельбекова²⁾, А.Н. Озерной²⁾,
М.Ф. Верещака²⁾, И.А. Манакова²⁾, А.С.Дегтярёва³⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

³⁾ КазНИТУ им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Развитие атомной и термоядерной энергетики ставит перед материаловедами задачи создания новых конструкционных материалов. Изучение вопросов радиационной стойкости в условиях реакторного облучения удобно проводить посредством имплантации атомов на ускорителях заряженных частиц.

В настоящей работе методами мессбауэровской спектроскопии, рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии исследованы фольги тантала, подвергнутые облучению ионами ⁵⁷Fe с энергией 1 МэВ на ускорителе тяжелых ионов в Институте Ядерной Физики (г. Алматы). Флюенс ионного потока составил 5×10^{16} ион/см².

Профиль концентрации ионов ⁵⁷Fe, а также концентрация вакансий в мишени были рассчитаны с помощью программы SRIM. Мессбауэровские исследования проводились в геометрии на пропускание (МС), а также регистрацией электронов конверсии с облученной поверхности материала (КЭМС).

Изменения в кристаллической структуре Ta после облучения регистрировали на дифрактометре D8 Advance фирмы BRUKER с использованием медного монохроматора. В результате облучения параметры кристаллической решетки Ta несколько уменьшились, что указывает на образование твердых растворов замещения Ta (Fe).

Мессбауэровские спектры представляли собой суперпозицию уширенной одиночной линии и квадрупольного дублета меньшей интенсивности. Анализ данных проводится с учетом возможных положений атомов Fe в радиационно-модифицированной решетке Ta

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И
ЭЛЕКТРО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗА ПОСЛЕ
ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ O^+ И Ar^+

И. К. Аверкиев^{1,2)}, О. Р. Бакиева¹⁾, А. А. Колотов¹⁾,
Ф. З. Гильмутдинов¹⁾

1) УдмФИЦ УрО РАН, г. Ижевск, Россия

2) ФГБОУ ВО УдГУ, г. Ижевск, Россия

Проведена серия экспериментов по облучению поверхности железа ионами кислорода и аргона в импульсно-периодическом режиме с энергией падающих ионов 30 кэВ и с дозой облучения 10^{17} ион/см².

Проведены электрохимические исследования, результаты которых показали, что облучение поверхности железа ионами кислорода, приводит к повышению коррозионных свойств железа. Исследование изменений, возникших в результате ионной модификации, проводилось методами рентгено-фотоэлектронной спектроскопии, атомно-силовой микроскопии, Оже-спектроскопии и XAFS- подобным методом анализа тонких структур энергетических потерь электронов (EELFS – Extended Energy Loss Fine Structure).

Методами рентгено-фотоэлектронной спектроскопии и Оже-спектроскопии проведено исследование изменений в типе химической связи, атомной структуре и состава поверхности ионно-модифицированных образцов железа. Методами атомно-силовой микроскопии было показано, что в результате облучения рельеф поверхности значительно меняется в отличие от поверхности исходного железа. Исследование локальной атомной структуры проведено с помощью анализа спектров тонкой структуры энергетических потерь электронов EELFS. Получены экспериментальные $M_{2,3}$ EELFS спектры железа и К EELFS спектры кислорода до и после ионного воздействия. Определены параметры локальной атомной структуры (парциальные межатомные расстояния, координационные числа, параметры тепловой дисперсии атомов) исследуемых объектов.

Работа выполнена по паяну НИР № гос. Регистрации АААА-А17-117022250040-0

СТРУКТУРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ЦИНКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ
МОЩНОГО ИОННОГО ПУЧКАТ.В. Панова¹⁾, В.С. Ковивчак¹⁾, С.А. Панов²⁾¹⁾Омский государственный университет
им. Ф.М. Достоевского, г. Омск, Россия²⁾Московский государственный университет технологий и
управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), Москва, Россия

Облучение мощным ионным пучком наносекундной длительности обеспечивает быстрый ввод энергии в металлы. При этом в поверхностном слое металла резко возрастает температура (вплоть до температуры кипения), происходит генерация полей напряжений и ударных волн. Это вызывает структурные превращения и пластическую деформацию, которые могут приводить как к улучшению физико-механических характеристик металла, так и к образованию трещин в зоне образующихся кратеров. Большой научный и практический интерес представляет изучение поведения металлов в таких экстремальных условиях.

В настоящей работе в качестве модельного металла был выбран цинк, имеющий температуру плавления 419 °С градусов, и достаточно интенсивно испаряющийся уже из твердой фазы. Облучение проводилось протон-углеродным пучком (30% H⁺ +70% C⁺, E ~ 200 кэВ, j ≤ 150 А/см², τ=60 нсек) при варьировании числа импульсов и плотности ионного тока. Поверхность облученного цинка исследовали с помощью растровой электронной микроскопии и рентгеновской дифракции. Установлено, что облучение с высокой плотностью тока пучка приводит к структурной перестройке в поверхностном слое цинка и образованию волнообразной структуры на его поверхности. Обнаружено расщепление пика (110). Обсуждаются возможные механизмы наблюдаемых структурных превращений и роль режимов облучения в формировании поверхностного рельефа.

МОРФОЛОГИЯ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА
AMg2M, МОДИФИЦИРОВАННОГО ОСАЖДЕНИЕМ Mo, Ti В
УСЛОВИЯХ ИОННОГО АССИСТИРОВАНИЯ

О.Г. Бобровиц¹⁾, С.М. Барайшук²⁾

¹⁾Белорусский государственный
технологический университет, Минск, Беларусь

²⁾Белорусский государственный аграрный
технический университет, Минск, Беларусь

В данной работе изучали закономерности смачивания и микротвердость поверхности алюминиевого сплава AMg2M, модифицированного осаждением молибдена, титана в условиях ассиствирования ионами Mo⁺, Ti⁺, соответственно. Осаждение покрытия проводили при ускоряющем напряжении $U = 3, 6, 9, 12, 15$ кВ для ионов Mo⁺, Ti⁺ и интегральных потоках ионов $1,1 \cdot 10^{17} - 2,1 \cdot 10^{17}$ см⁻². Морфология поверхности исходных и модифицированных образцов изучалась, используя атомно-силовую микроскопию в контактном режиме (атомно-силовой микроскоп NT-206), микротвердость с помощью прибора MVDМ8, а смачивание дистиллированной водой определяли по равновесному краевому углу Θ смачивания (РКУС).

Средняя шероховатость исходного образца сплава AMg2M составляла 34,3 нм и снижалась до 7,8 нм для ассиствирющих ионов Mo⁺ и до 14,4 нм для ионов Ti⁺ при ускоряющем напряжении $U = 12$ кВ. При внедрении сравнимых доз ионов молибдена и титана в образцы сплава с увеличением ускоряющего напряжения значения РКУС также увеличиваются. Исходная поверхность сплава была гидрофильной ($\Theta = 64,8^\circ$) и оставалась гидрофильной после модифицирования при $U = 3$ и 6 кВ для ионов Mo⁺ и при всех ускоряющих напряжениях для ионов Ti⁺. После модифицирования сплава при $U = 9, 12, 15$ кВ для ассиствирющих ионов Mo⁺ поверхность стала гидрофобной и значение РКУС увеличилось до $\Theta = 98,1^\circ$ при $U = 15$ кВ. Увеличение относительного изменения микротвердости на 13-14% наблюдается при осаждении Mo-покрытий при $U = 9$ кВ и Ti-покрытий при $U = 3$ кВ при малых нагрузках на индентор.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСЛОКАЦИОННОЙ
ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В КРЕМНИИ ПРИ ВАРИАЦИИ
ПАРАМЕТРОВ ИОННОГО СИНТЕЗА

Д.С. Королев¹⁾, А.Н. Терещенко^{1,2)}, А.А. Никольская¹⁾, А.Н. Михайлов¹⁾, А.И. Белов¹⁾, Д.И. Тетельбаум¹⁾

¹⁾ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

²⁾ ИФТТ РАН, Черноголовка, Россия

Развитие современных систем обработки и передачи данных сдерживается отсутствием оптоэлектронных схем, создаваемых с использованием кремниевой технологии. Основной проблемой создания таких систем является отсутствие эффективного источника света, излучающего на коммуникационной длине волны 1.5 мкм. Одним из возможных решений этой проблемы может быть использование дислокационной люминесценции (ДЛ), излучение основной спектральной линии D1 которой находится в требуемом диапазоне. Наиболее эффективным способом создания таких излучательных центров является имплантация ионов Si^+ в кремний с последующим отжигом. В работе изучено влияние режимов ионного синтеза, таких как доза ионов, энергия, плотность тока ионов, а также вариация условий отжига, на спектры ДЛ. Показана эффективность дополнительного облучения ионами различных примесей, в частности, для ионов бора продемонстрировано уменьшение температурного гашения интенсивности ДЛ при вариации условий облучения, последующего отжига и дополнительного внешнего геттерирования. Оптимизация условий ионного синтеза позволила получить структуры с ДЛ, сохраняющейся до температур, близких к комнатной.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания (№ 16.2737.2017/4.6), а также частично при поддержке РФФИ (№ 17-02-01070) и стипендии Президента РФ (СП-1147.2018.3).

ИЗМЕРЕНИЕ ПОСЛОЙНОГО СОСТАВА БЕРИЛЛИЯ, ИМПЛАНТИРОВАННОГО ДЕЙТЕРИЕМ, МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.П. Афанасьев¹⁾, Ю.Н. Бодиско¹⁾, Д.А. Бурмистров¹⁾,
Д.Е. Грабовский¹⁾, А.С. Грязев¹⁾, П.С. Капля²⁾

¹⁾НИУ «МЭИ», Москва, Россия

²⁾Яндекс, Москва, Россия

Интерес к изучению процессов взаимодействия бериллия с изотопами водорода связан с тем, что Ве выбран в качестве материала, обращённого к плазме в термоядерных реакторах. В работе показаны возможности электронной спектроскопии определять профиль дейтерия D в Ве как в нанометровом масштабе в приповерхностной области на основе спектроскопии пиков упруго отражённых электронов (СПУОЭ), так и в микронном масштабе на глубинах порядка проективного пробега D в Ве на основе спектроскопии отражённых электронов (СОЭ).

Ионы D были имплантированы с ускоряющим напряжением 3 кВ. Энергетические спектры отражённых электронов измерялись в области малых потерь энергии с целью зафиксировать пики электронов, упругоотражённых от ядер Ве и D. СПУОЭ позволяет определить относительные концентрации D и Ве в области глубин $\sim l_{in}$ (свободного пробега электронов при неупругом рассеянии). Максимальная концентрация D должна наблюдаться на глубине проективного пробега ионов дейтерия R_{pr} . Профиль залегания D в Ве можно оценить, зная R_{pr} и пробеговой страгглинг/1/. Величина R_{pr} в рассматриваемых условиях ~ 700 нм, а l_{in} (при $E_e \approx 5$ кэВ) ≈ 9 нм. Измерения профиля D на данных глубинах можно выполнить на основе СОЭ /2/.

Работа была выполнена в рамках госзадания № 3/1414/2017 ПЧ.

ЛИТЕРАТУРА

1. H.H. Andersen, J.F. Ziegler. Hydrogen – Stopping Powers and Ranges in All Elements. New York, Pergamon Press, 1977, 315 p.
2. V.P. Afanas'ev, D. Naujoks // Zeitschrift für Physik B. Condensed Matter, 1991, V. 84, p. 397.

НАКОПЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ И АМОРФИЗАЦИЯ ПРИ ИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ КРЕМНИЯ

Е.В. Окулич¹⁾, Д.И.Тетельбаум¹⁾, В.И. Окулич²⁾¹⁾ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия²⁾ НИУ филиал РАНХиГС, Нижний Новгород, Россия

Несмотря на большое число работ, посвященных проблеме имплантационного дефектообразования в кремнии, сохранил свою актуальность упрощенный подход, базирующийся на учете небольшого количества вторичных процессов с учетом компонентов пар Френкеля (КПФ) и позволяющий анализировать влияние различных режимов облучения с единой точки зрения. Такой подход наиболее приемлем для относительно легких ионов, когда преобладающими первичными дефектами в основном являются пары Френкеля.

В [1] с использованием созданного авторами программного комплекса детально исследована кинетика накопления точечных дефектов в Si при облучении ионами He^+ , B^+ , N^+ , Ne^+ и Si^+ в зависимости от дозы облучения (10^{12} - 10^{15} см²), плотности ионного тока (0,2-10 мкА/см²), температуры (100-500 К) для двух наиболее типичных значениях энергии ионов 50 и 100 кэВ.

В рамках ключевого предположения о том, что аморфизация подложки происходит при достижении некоторой критической концентрации точечных дефектов были проведены расчеты дозы аморфизации для ионов в зависимости от указанных выше параметров процесса ионной имплантации. Также исследовано влияние пороговой энергии смещения атома кремния из узла кристаллической решётки кремния на результат расчета.

Проведено сравнение экспериментальных данных с результатами расчета, на основании чего сделан вывод о применимости использованной методики расчета дефектообразования и аморфизации в Si.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е.В. Окулич, В.И. Окулич, Д.И. Тетельбаум // ФТП, 2018, т.52, вып. 9, с. 967-972.

ПРОЦЕССЫ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В AlN В РЕЗУЛЬТАТЕ
ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ He²⁺А.Л. Козловский¹⁾, Т.М. Гладких¹⁾, М.В. Здоровец¹⁾¹⁾ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан

В работе представлены результаты проведенных исследований по изучению процессов дефектообразования, радиационной стойкости, изменения проводящих и изоляционных характеристик керамик AlN под действием облучения ионами He²⁺ с энергией 40 кэВ. Флюенс облучения составил от 10¹⁵ до 5x10¹⁷ ион/см². С применением метода рентгеноструктурного анализа установлено, что увеличение флюенса облучения приводит к снижению интенсивностей дифракционных пиков и изменению формы линий, что свидетельствует об увеличении концентрации искажений и напряжений в кристаллической структуре. Изменение концентрации деформации в структуре обусловлено увеличением содержания внедренного гелия и образованием каскадов вторичных дефектов и вакансий. При больших флюенсах облучения (выше 10¹⁷ ион/см²) на дифрактограммах наблюдается формирование гало, характерного для рентгеноаморфных или сильно разупорядоченных примесных включений и формированию в приповерхностном слое сферических включений, средний размер которых варьируется от 50 до 100 нм. Снижение сопротивления и теплопроводности в результате облучения и формирования гелиевых включений в структуре свидетельствует о деградации структурных характеристик, а также снижению радиационной стойкости, которое обусловлено падением прочностных характеристик.

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ
ИОНАМИ ГЕЛИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ НИТРИДОВ АЛЮМИНИЯ И
КРЕМНИЯ

А.В. Кабышев, Ф.В. Конусов, В.В. Сохорева,
С.К. Павлов, В.А. Тарбоков, Г.Е. Ремнев

НИТПУ, Томск, Россия

Повышение радиационной стойкости (РС) электронных приборов стимулирует изучение электронных свойств и радиационных дефектов (РД) в составляющих их материалах при радиационно-термическом воздействии. Высокой РС обладают такие широкозонные материалы, как нитриды алюминия AlN, кремния Si₃N₄, а также и тройное соединение Al-Si-N, реализуемое как покрытие с нанокристаллической структурой [1]. Целью работы является исследование РС многослойных покрытий (МСП) из тонких слоев (5–50 нм) с-AlN и а-Si₃N₄, осажденных на стекло и на Siреактивным магнетронным распылением, посредством облучения ионами гелия с энергией 28 МэВ на циклотроне и для сравнения ионами углерода 250 кэВ в режиме коротко-импульсной имплантации. Определены характеристики локальных оптических центров до и после облучения, установлена вероятная природа РД. РД идентифицированы как точечные собственные дефекты, присущие с-AlN и а-Si₃N₄. Накопление РД в слоях а-Si₃N₄ преобладало над таковым в слоях с-AlN за счет процессов диффузии дефектов в аморфные слои и вторичного дефектообразования в них. Изменения оптических свойств позволили заключить о высокой РС МСП. Основными причинами РС к облучению ионами гелия и углерода явились высокая концентрация ростовых дефектов, сильное их взаимодействие и ширина запрещенной зоны нитридов. МСП на Siподложке обладали более высокой РС по сравнению с такими же покрытиями на стекле.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Musil J., Remnev G., Legostaev V., et al., Surf. Coat. Techn., 2016, V.307, P.1112.

ИНЖЕНЕРИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ ВОДОРОДНОМ ПЕРЕНОСЕ
СЛОЕВ КРЕМНИЯ

М.А. Ильницкий, А.В. Шереметьев, В.А. Антонов, В.П. Попов

ИФП СО РАН им.А.В.Ржанова, г. Новосибирск, Россия

Целевое управление взаимодействием внедренной примеси с дефектами в кристаллах лежит в основе многих аналитических и технологических методов [1,2]. Одним из таких методов является перенос кристаллических слоёв на подложки с несогласованными решетками скалыванием водородом. В [2] был предложен способ трехкратного снижения дозы внедренного водорода, необходимой для переноса слоя кремния, за счет имплантации трети флюенса по нормали и остальной дозы под углом 32° для совмещения пробега R_p протонов, падающих под углом, с максимумом R_d дефектов при нормальном падении пучка протонов. В нашей работе моделированием методом МК торможения протонов с энергией 60 и 6.25кэВ с учетом каналирования в обоих пакетах SRIM-2013 и Sentaurus показано, что углы для этих энергий составляют 22° и 32° , соответственно, а глубины пробега протонов в SRIM на 30-100 нм меньше, чем в Sentaurus. С наклоном пучка, эта разница уменьшается. Проверка эффекта уменьшения дозы при наклонном облучении и переносе слоя Si на выявила наблюдавшегося в [2] эффекта снижения дозы, а наоборот показала необходимость увеличения флюенса для имплантации с наклоном пластин. Объяснение полученных результатов основано на том, что помимо слабой зависимости полных профилей дефектов и водорода от угла наклона, после облучения с наклоном происходит уменьшение толщины отрываемого слоя при блистеринге, а при скалывании и переносе в сращенных парах пластин толщина скалываемого слоя не влияет на процессы взаимодействия водорода с дефектами.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. Kawai, Y. Nakasaki, T. Kanemura, T. Ishihara // J. Appl. Phys., 2018, V.123, N.16, 161425.
2. V.F. Reutov, S.N. Dmitriev, and A.G. Zaluzhnyi // Instrum. and Exper. Techn., 2018, V. 61, N.2, 313.

НАКОПЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ НАРУШЕНИЙ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ GaN ИОНАМИ ФТОРА И НЕОНА

А.И. Титов, К.В. Карабешкин, П.А. Карасев, А.И. Стручков

Санкт-Петербургский Политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург Россия

Ранее было установлено [1], что при ионном облучении GaN легкие ионы (С, О и Si) усиливают накопление разупорядочения в ходе имплантации. В то же время, нам не известны публикации, посвященные химическим эффектам при радиационном повреждении GaN при внедрении ионов фтора, хотя F - это чрезвычайно активный неметалл. Настоящая работа и посвящена исследованию накопления структурных дефектов при ионном внедрении неона и фтора в нитрид галлия и установлению роли химических эффектов при имплантации последнего.

Легированные Si эпитаксиальные слои *n*-GaN со структурой вюрцита (0001), выращенные на сапфировой подложке, облучались при RT ионами с энергией 1.3 кэВ/а.е.м. Для корректного сравнения эффективности накопления повреждений при облучении ионами F и Ne, условия бомбардировки подбирались таким образом, чтобы единственным различием были бы только химические свойства вводимых атомов. Разупорядочение измерялось методом RBS/C ионов 0.7 МэВ He⁺⁺, падающих по направлению [0001] и рассеиваемых на угол 103° для улучшения разрешения по глубине.

Показано, что химические эффекты при внедрении ионов F в GaN не влияют на ход накопления структурных нарушений по крайней мере до доз, не превышающих 20 DPA, что соответствует концентрации внедренных атомов фтора $\sim 10^{22}$ см⁻³.

Работа выполнена при поддержке РФФИ. Грант № 18-08-01213.

ЛИТЕРАТУРА

1. S.O. Kucheyev, J. S. Williams, C. Jagadish et al.// Phys. Rev. B, (2000) **62**, 7510.

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСЛОЕВ С ПОМОЩЬЮ ИОННОГО И ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Ю.А. Данилов¹⁾, Ю.А. Дудин¹⁾, Р.Н. Крюков¹⁾,
В.П. Лесников¹⁾, А.Е. Парафин²⁾, Е.А. Питиримова¹⁾

¹⁾ Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

²⁾ Институт физики микроструктур РАН,
г. Нижний Новгород, Россия

Исследованы углеродные слои, полученные импульсным лазерным распылением пирографита в вакууме. Использовали АИГ:Nd лазер с параметрами: длина волны 532 нм, длительность импульса 10-12 нс, плотность энергии 20 Дж/см². Слои осаждали на подложки i-GaAs, Si, SiO₂/Si и монокристаллического кварца. В ряде случаев использовали предварительно нанесенные в том же процессе нанометровые слои Ni или Co (катализаторы). Скорость нанесения C-слоев составила 0.1 нм/с. Варьировали температуру подложки при нанесении (от 250 до 500°C) и толщину слоев (от 2 до 90 нм). Образцы структур исследовали методами атомно-силовой микроскопии, эффекта Холла, комбинационного рассеяния света и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Последняя методика позволяет определить в C-слое до 72 % углерода в sp²-гибридном состоянии (при Co подслое). C-слои толщиной 20 нм подвергались облучению ионами азота. Чтобы практически все имплантированные атомы N попадали в C-слой, выбрана энергия молекулярных ионов N₂⁺, равная 10 кэВ. Флюэнс ионов варьировался от 10¹⁴ до 3×10¹⁵ см⁻². Слои C также были отожжены эксимерным KrF лазером с длиной волны 248 нм и длительностью импульса 30 нс. Энергия в импульсе варьировалась от 95 до 345 мДж/см². Установлено, что энергия 345 мДж/см² является избыточной, поскольку C-слой, нанесенный на кварц, испарился. В докладе анализируются изменения электрических и оптических свойств C-слоев различной толщины в результате ионного и лазерного воздействий.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-29-19137_мк.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПЛЕНОК ОСАЖДЕННЫХ ИЗ УСКОРЕННЫХ ИОНОВ C_{60} В АТМОСФЕРЕ АЗОТА.

К.В. Крайнов¹⁾, В.Е. Пуха²⁾, А.Л. Шахмин¹⁾, П.А. Карасёв¹⁾,
И.И. Ходос³⁾, Е.Н. Кабачков²⁾ Ю.А. Добровольский²⁾

¹⁾Политехнический университет Петра Великого, С.-Петербург

²⁾Институт проблем химической физики РАН, г. Черноголовка

³⁾Институт физики твердого тела РАН, г. Черноголовка

Сверхтвердые углеродные наноконкомпозиты, состоящие из нанокристаллов графита, в алмазоподобной матрице, осажденные из ускоренных ионов C_{60} обладают рядом уникальных свойств, в частности, имеют высокую биосовместимость, превосходящие трибологические свойства, которые связаны с высоким соотношением твердости и модуля Юнга/1/. Добавка азота в углеродные структуры обычно увеличивает это соотношение и улучшает их биосовместимость.

Углерод-азотные покрытия были синтезированы в камере с базовым давлением 10^{-8} Торр на Si и Ti, из пучка ускоренных ионов C_{60} при напуске N_2 до $2 \cdot 10^{-4}$ Торр. При энергии ионов C_{60} 5 кэВ, температура подложек T_s варьировалась от 20 до 400°C. Структура и химические связи покрытий исследовались ПЭМ и РФЭС, нанотвердость и модуль Юнга наноиндентированием.

По данным ПЭМ при $T_s < 200^\circ C$, структура аморфная алмазоподобная. Для графитоподобных структур $T_s \geq 200^\circ C$ наблюдаются искривленные графеновые плоскости с увеличенными межплоскостными расстояниями (до 0,44 нм). Содержание азота в поверхностных слоях по данным РФЭС не превышает 1,5%. Анализ химических связей показал не монотонное уменьшение sp^3 компоненты C1 спика с повышением T_s (при $T_s \sim 300^\circ C$ sp^2/sp^3 имеет небольшой локальный минимум). При этой же T_s наблюдается локальный максимум H ($37,5 \pm 2,7$ ГПа). На зависимости E от T_s такой максимум отсутствует. Покрытия характеризуются высоким $H/E \sim 0,16$.

ЛИТЕРАТУРА

1. O.V.Penkov, V.E. Pukha, S.L. Starikova, M. Khadem, V.V. Starikov, M.V. Maleev, D.E. Kim//Biomaterials,(2016),102, 130

ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СЛОЕВ,
ФОРМИРУЕМЫХ ИОННО-АССИСТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ
ГАДОЛИНИЯ И ПЛАТИНЫ НА УГЛЕРОДНЫЕ ПОДЛОЖКИ, С
ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕКТРОМЕТРИИ РЕЗЕРФОРДОВСКОГО
РАССЕЯНИЯ

В.В. Поплавский¹, А.В. Дорожко¹, Ф.Ф. Комаров², В.В. Пилько²

¹Белорусский государственный технологический университет
г. Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

Исследованы каталитические слои, формируемые ионно-ассистируемым осаждением (IBAD) гадолия и платины на массивный материал – стеклоглерод и специальные углеродные носители AVCarb[®] Carbon Fiber Paper P50 и Toray Carbon Fiber Paper TGP-H-060 T, предназначенные для изготовления диффузионных слоев мембранно-электродных блоков топливных элементов с полимерным мембранным электролитом, основой которых являются подвергнутые термоокислительной стабилизации и последующей карбонизации нити полиакрилонитрила. Формирование слоев проведено в режиме IBAD, при котором осаждение металла и перемешивание осаждаемого слоя с поверхностью подложки ускоренными ($U = 5$ кВ) ионами того же металла осуществляются соответственно из нейтральной фракции пара и плазмы вакуумного дугового разряда импульсного электродугового ионного источника.

С применением ускорительного комплекса AN-2500 (High Voltage Engineering Europe) измерены спектры рассеяния ионов ^4He с начальной энергией $E_0 = 1,5$ МэВ на ядрах атомов элементов в составе слоев на угол $\Theta = 170^\circ$. По данным спектрометрии резерфордского рассеяния определены: элементный состав полученных слоев, содержание элементов в слоях, а также особенности распределения осажденных металлов в слоях, сформированных на стеклоглереде и на неоднородных по структуре носителях AVCarb[®] Carbon Fiber Paper P50 и Toray Carbon Fiber Paper TGP-H-060 T. В состав слоев входят атомы осажденных металлов – гадолия и платины, компонентов подложек, а также примеси кислорода. В процессе осаждения металлов в предложенном режиме имеет место ионное перемешивание всех компонентов и формирование многокомпонентных слоев. Содержание атомов каждого из осажденных металлов в слоях составляет $\sim(1,2-2,4) \cdot 10^{16}$ см⁻²; их концентрация в максимуме распределения вблизи поверхности – несколько атомных процентов.

ВЛИЯНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ НА
ФОРМИРОВАНИЕ СЛОЕВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН НА
ПОВЕРХНОСТИ ХЛОРПОЛИМЕРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ
МОЩНОГО ИОННОГО ПУЧКА

В.С. Ковивчак^{1,2)}

¹⁾Омский государственный университет
им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия

²⁾Омский научный центр СО РАН, Омск, Россия

Перспективным материалом для массового производства недорогих гибких элементов устройств мобильной электроники является наноструктурированный углерод, слои которого формируются непосредственно на гибкой полимерной основе. Использование для формирования таких слоев мощного ионного пучка наносекундной длительности имеет большие преимущества перед импульсным лазерным излучением.

В настоящей работе для выяснения возможных механизмов роста углеродных нановолокон (УН) исследовано влияние различных каталитических добавок на формирование УН на поверхности хлорполимеров при воздействии мощного ионного пучка. В качестве каталитических добавок использованы органические и неорганические соединения железа, кобальта, никеля.

Облучение проводилось на ускорителе «Темп» ионным пучком (30% H^+ + 70% C^+ , $E \sim 200$ кэВ, $j \leq 150$ А/см², $\tau = 60$ нсек) при варьировании числа импульсов и плотности тока пучка. Установлено, что УН полученные с использованием хлоридов железа и кобальта характеризуются длиной до ~ 1 мкм и широким распределением по диаметру. Показано, что наиболее оптимальным катализатором роста УН для хлорированного поливинилхлорида является ферроцен, который обеспечивает образование УН с длиной до 10-15 мкм и узким распределением УН по диаметру. В этом случае $\sim 40\%$ волокон имеют диаметр 70-80 нм. Обсуждены возможные механизмы влияния природы катализатора на рост УН при облучении хлорполимеров мощным ионным пучком.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ В КВАРЦЕ,
ИМПЛАНТИРОВАННОМ ЦИНКОМ И ОТОЖЖЕННОМ В
КИСЛОРОДЕ

В.В. Привезенцев^{1,2)}, А.Н. Палагушкин²⁾, В.С. Куликаускас³⁾, Д.А. Киселев⁴⁾, Т.С. Ильина⁴⁾, О.С. Зилова⁵⁾,
А.А. Бурмистров⁵⁾, А.Н. Терещенко⁶⁾

¹⁾ ФНЦ «НИИСИ РАН», Москва, Россия

²⁾ ФТИАН РАН, Москва, Россия

³⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

⁴⁾ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

⁵⁾ ИФТТ РАН, Черноголовка, Московская обл., Россия

Представлены результаты синтеза наночастиц (НЧ) в кварце, имплантированном Zn и отожженном в кислороде при повышенных температурах.

Аморфные кварцевые пластины оптического класса (концентрация радикала OH^- составляла 50ppb) были имплантированы ионами $^{64}\text{Zn}^+$ с энергией 50кэВ и дозой $5 \times 10^{16}/\text{см}^2$. Во время имплантации плотность ионного тока была менее $0.5 \text{ мкА}/\text{см}^2$. Затем образцы были последовательно окислены в течение 1ч в диапазоне температур 400-900°C.

Для исследования образцов использовались методы растровой электронной и атомно-силовой микроскопии, оптического пропускания и фотолюминесценции.

Обнаружено, что после имплантации поверхность образцов становится гладкой из-за распыления, а внутри кварца образуются НЧ цинка. После отжига при 700°C поверхности образцов становится очень развитой и на ней зафиксированы Zn-содержащие НЧ. При этом на спектре фотолюминесценции образуется пик (дублет) на длине волны 370нм, обусловленный образованием фазы ZnO. Этот пик пропадает после отжига при 900°C, а образуется пик на длине волны 425нм, обусловленный образованием фазы Zn_2SiO_4 . При исследовании оптического пропускания установлено, что по мере отжигов имплантированный образец последовательно просветляется, поскольку происходит постоянный переход от фазы металлического Zn к прозрачным фазам его окислов и силицидов.

МОДИФИКАЦИЯ АТОМНОЙ И ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУР ПАЛЛАДИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВОДОРОДА: РАСЧЕТЫ ИЗ ПЕРВЫХ ПРИНЦИПОВ

Л.Ю. Немирович-Данченко^{1,2)}, Л.А. Святкин¹⁾ и И.П. Чернов¹⁾

¹⁾Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²⁾Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия

Растворение водорода значительно изменяет структуру и свойства палладия. В первую очередь, интерес представляет детальное изучение зависимости электрического сопротивления Pd от концентрации H/1,2/. На стадии поглощения водорода эта зависимость практически линейна вплоть до формирования β фазы, после чего сопротивление резко уменьшается. Для понимания такого поведения сопротивления было проведено исследование атомной и электронной структуры системы Pd-H в зависимости от концентрации водорода.

Всерасчеты выполнялись в рамках теории функционала электронной плотности методом псевдопотенциала. Установлено, что объем кристалла Pd увеличивается линейно при увеличении концентрации H. Показано, что при концентрациях до $X = \text{H/Pd} = 0,25$ атомы водорода занимают октаэдрические междуузлия, а затем энергетически выгодными становятся тетраэдрические междуузлия. Максимальная энергия связи водорода с палладием наблюдается при концентрации $X = 0,75$, при которой сопротивление палладия максимально. Также исследовано распределение электронной плотности и плотности электронных состояний системы Pd-H.

ЛИТЕРАТУРА

1. Y. Sakamoto, K. Takai, I. Takashima, M. Imada // J. Phys.: Condens. Matter, 1996, Vol. 8, p. 3399-3411.
2. А.Ф. Вяткин, В.Т. Волков, В.Г. Еременко, Ю.А. Касумов, А.С. Колчина // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2015, № 6, с. 35–40.

ИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПЕРЕВРАЩЕНИЯ В НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т

В.А. Андрианов¹⁾, А.Н. Озерной²⁾, М.Ф. Верещак²⁾,
К.А. Бедельбекова²⁾, И.А. Манакова²⁾, А.С.Дегтярёва³⁾

¹⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

³⁾ КазНИТУ им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Нержавеющие стали аустенитного класса типа 12Х18Н10Т широко используются в качестве конструкционных материалов атомных реакторов. Эксперименты, в которых радиационное воздействие на материал осуществляется на ускорителях тяжелых металлических ионов в контролируемых условиях – наиболее продуктивный путь получения модельных результатов. В настоящей работе методами эффекта Мессбауэра на конверсионных электродах (КЭМС), рентгенографии и сканирующей микроскопии исследовали фазовые превращения в аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т, вызванные имплантацией ионов ⁵⁷Fe.

Имплантацию осуществляли на электростатическом перезарядном ускорителе тяжелых ионов УКП-2-1 ИЯФ РК. Энергия ионов ⁵⁷Fe равнялась 1 МэВ, флюенс составил $5 \cdot 10^{16}$ ион/см². Рентгеноструктурный анализ, выполняли на диффрактометре D8 ADVANCE фирмы BRUKER. Элементный состав приповерхностного слоя определяли с помощью электронного микроскопа JEOL JSM-6610. Измерения мессбауэровских спектров по методике КЭМС проводили с использованием резонансного газонаполненного детектора и мессбауэровского спектрометра MS-110Em.

Рентгеновская дифракция и мессбауэровская спектроскопия показали, что имплантация ⁵⁷Fe приводит к образованию в поверхностном слое дополнительной мартенситной фазы, имеющей оцк кристаллическую структуру.

Отжиг облученных образцов приводил к восстановлению исходной аустенитной фазы.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОТОННЫХ ПУЧКОВ МэВ-ных ЭНЕРГИЙ
ДЛЯ ИНЖЕНЕРИИ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ в n-SiCВ.В.Козловский¹, А.А.Лебедев²

- ¹) Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Санкт-Петербург, Россия
- ²) Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе Российской академии наук, 194021, Санкт-Петербург, Россия

Контролируемое введение в полупроводник с помощью облучения точечных дефектов структуры (вакансия, междоузельный атом и т.д.) обычно называют *радиационное легирование*. Наряду с легированием полупроводников точечными радиационными дефектами, в последнее время широко исследуется модифицирование полупроводников за счет создания в них линейных и объемных вторичных радиационных дефектов. В англоязычной литературе модифицирование материалов за счет введения любых радиационных дефектов получило название *Radiation Defect Engineering RDE* (инженерия радиационных дефектов) /1/.

Поскольку современная полупроводниковая технология базируется, в основном, на создании структур, легированных по глубине сугубо неоднородно, то для проведения неоднородного легирования необходимо использовать такой вид радиационного воздействия, который обеспечит эффективное изменение свойств полупроводника на контролируемых глубинах. С этих позиций оптимальным является использование ускоренных легких ионов, в частности протонов, из-за их характерного профиля тормозных потерь энергии.

В настоящей работе дано систематическое изложение современного состояния исследований RDE n-SiC.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Kozlovski V.V., Abrosimova V.N. *Radiation Defect Engineering*. (World Scientific, 2005). 253p.

POROUS SEMICONDUCTORS FORMATION BY LOW ENERGY ION IMPLANTATION

Yu. Kudriavtsev, C.Salinas, A.Hernandez, R.Asozoza

Cinvestav-IPN, Mexico DF, Mexico

We have realized low energy high fluency implantations of Si, Ge, In, O, Sb and Al in GaAs, GaSb and Si crystals. Rapid Thermal Annealing (RTA) of the implanted samples was performed at the temperature varied from 450°C to 950°C, depends on material. Depth distribution of implanted elements we examined by the SIMS method. Amorphous layer formation and its re-crystallization due to RTA process were controlled by Raman spectrometry. Optical characterization of the implanted structures was performed by PL method: visible luminescence was observed for most analyzed samples. To examine the structure of a near surface implanted layer we performed a controlled ion etching of the sample surface by a low energy Ar⁺ ion beam and a structural analysis of the etched surfaces by Atomic Force Microscopy. A distinct correlation between optical luminescence and pores formation in a near surface layer was established. The size and quantity of pores depend on different experimental parameters and on the target atom and implanted ions.

We discuss in the report a model of pores formation and possible applications of such porous semiconductors in optoelectronics.

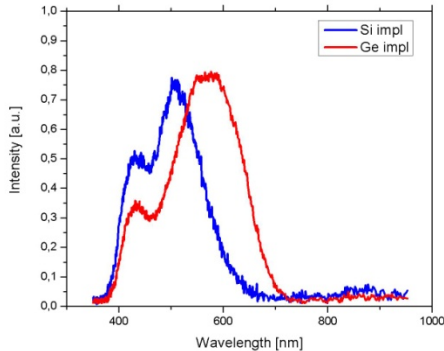


Рис.1 PL of Si and Ge implanted in GaAs

ON ARC VACUUM DISCHARGE MODIFICATION SURFACE

A.I. Kudykin, M.N. Makhmudov, E.N. Moos, V.A. Stepanov
Ryazan State University named for S. Esenin, Ryazan, Russia

Cu-Cr alloys have application in modern industry for the production of electrodes of vacuum commutating chambers. There is no information on the erosion of the surface of alloys under the conditions of the development of a vacuum arc. How the composition and morphology of the surface of the electrodes varies with multiple arc evaporation and sputtering under the action of the ion-plasma flow is not clear. An attempt is made to approximate the processes of modifying the surface of such electrode materials.

From the data on the scanning of the electrode surface elemental composition it follows that the concentration of Cr and Cu atoms is characterized by zones of increased and decreased concentration. The elemental analysis along the alloy spreading along two scanning lines shows a decrease in the concentration of Cu atoms to the fusion edge from 72% to 53.4% in the first case and from 71.7 % to 61.4% in the second. The samples were installed in the space inside the vacuum (at 10^{-4} Pa). The quadrupole mass system KMS-250 registered the composition of residual and working gases at all technology stages. In the spectra there are both lines of process gases (hydrogen and helium), and lines corresponding to diffusion-type oils of the type C_xH_y and adsorbed layers of molecules CO_2 , H_2O , nitrogen and their polyatomic compositions.

These observed adsorbed gases on all electrodes can become the initiating agent for vacuum arc formation during disconnection of the electrodes. It was revealed the molecules H_3 in residual atmosphere also.

СПЕКТРОСКОПИЯ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ
РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА,
СФОРМИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ

Подсвиров О.А.¹⁾, Сидоров А.И.²⁾, Немцев А.И.¹⁾, Назарова Д.А.¹⁾

¹⁾Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,
195251, Санкт-Петербург, Россия

²⁾Университет ИТМО, 197101, С.-Петербург, Россия

Локальное облучение электронами стекол позволяет формировать в них металлические наночастицы, оптические волноводы и люминесцентные центры [1-3]. Основными процессами, при этом являются разрыв химических связей, ионизация, полевая миграция ионов и их восстановление термализованными электронами. Радиационные дефекты, возникающие при облучении, оказывают существенное влияние на эти процессы. Целью данной работы являлось исследование закономерностей формирования радиационных дефектов в кварцевом стекле КУ-2 при локальном облучении электронами. Облучение проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа JEED-2. Энергия электронов варьировалась от 5 до 50 кэВ, доза облучения – от 20 до 100 мКл/см². Спектры комбинационного рассеяния измерялись с помощью спектрометра in Via Raman microscope (Renishaw) при комнатной температуре.

Эксперименты показали, что в облученной зоне образцов происходит существенное увеличение интенсивности рамановских полос в частотных интервалах 1000-1300 см⁻¹ и 400-650 см⁻¹. Это свидетельствует как об образовании новых структурных дефектов сетки стекла, в частности, в виде немостикового кислорода, так и об изменении структуры силоксановых колец сетки стекла.

1. Bochkareva E.S., Nikonov N.V., Podsvirov O.A., Proshnikov M.A., Sidorov A.I. // Plasmonics, 2016. V. 11, P. 241-246.
2. Ignatiev A.I., Nashchekin A.V., Nevedomskii V.M., Podsvirov O.A., Sidorov A.I., Solov'ev A.P., Usov O.A. // Techn. Phys. 2011. V. 56, P. 662–667.
3. О.А. Подсвиров, А.И. Сидоров, Д.В. Чураев. // ЖТФ, 2014. Т. 84, №11, С.96-100.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КРЕМНИЯ,
ОБЛУЧЕННОГО ФОКУСИРОВАННЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ
ГАЛЛИЯ

В.И. Бачурин, Н.С. Мелесов, Е.О. Паршин, Д.Э. Пухов, А.С.
Рудый, С.Г. Симакин, А.Б. Чурилов
Ярославский филиал Физико-технологического института им.
К.А. Валиева РАН, Ярославль, Россия

Облучение поверхности фокусированными ионными пучками галлия, использовавшееся ранее при подготовке образцов для просвечивающей электронной микроскопии, в настоящее время широко применяется для анализа отказов интегральных микросхем, формирования наноструктур на поверхности полупроводников. Процесс распыления такими пучками имеет особенности, связанные с модификацией приповерхностного слоя имплантированным галлием, осаждением распыленного материала на стенках кратеров с высоким аспектным отношением /1/ и мало изучен экспериментально.

В работе представлены результаты экспериментального изучения состава приповерхностного слоя при имплантации Si (100) ионами Ga⁺ с энергией 30 кэВ при углах падения от 0 до 80° и дозе от 10¹⁵ до 2×10¹⁷ ион/см². Облучение проводилось на установке Quanta 3D. Анализ состава приповерхностного слоя осуществлялся методами Резерфордского обратного рассеяния (K2MV) и вторично-ионной масс-спектрометрии (TOF.SIMS⁵). Получены распределения Ga в приповерхностном слое Si имплантированного при различных углах падения пучка и дозах облучения.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ЯФ ФТИАН им. К.А. Валиева РАН Минобрнауки РФ по теме № 0066-2019-0003.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.В. Румянцев, Н.И. Боргардт, Р.Л. Волков // Поверхность, 2018, № 6, с. 102-107

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ С
АТОМАМИ ЭРБИЯ В ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ
СЛОЯХ КРЕМНИЯ

К.В. Феклистов¹), А.И. Якимов¹), В.П. Попов¹), Е.О. Паршин²),
Н.С. Мелесов²), В.И. Бачурин²)

¹) Институт физики полупроводников им. А.В.Ржанова,
г. Новосибирск, Россия

²) ФТИАН РАН им. К.А. Валиева, Ярославский филиал,
г. Ярославль, Россия

В работах [1, 2] методом совместного внедрения атомов отдачи Er и O в кремнии при имплантации атомов Ag через тонкие пленки Er и SiO₂ удалось достичь высокой концентрации атомов Er и O ($\sim 5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$) в приповерхностном слое кремния толщиной около 10 нм. Было установлено, что при отжиге происходит рекристаллизация аморфизованного имплантацией Ag⁺ слоя кремния, которая приводит к формированию трехслойной структуры из оксида кремния, обогащенной кислородом фазы Er-Si-O и обедненной кислородом фазы Er-Si в глубине кремния. Установлено, что причиной низкой фотолюминесценции (ФЛ) центров Er в фазе Er-Si мог быть недостаток атомов кислорода в кремнии.

В представленной работе получено значительное усиление ФЛ в слоях Si при совместной имплантации ионов Er и O, когда доза внедренного O превышала дозу Er на 1-2 порядка и более. Сравнение спектров ФЛ после имплантации различных ионов и отжига, измеренных при низких и комнатных температурах, позволило однозначно выделить ФЛ центров Er на фоне ФЛ остаточных дефектов и определить оптимальные флюенсы ионов эрбия и кислорода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Феклистов К.В., Абрамкин Д.С., Ободников В.И., Попов В.П. // Письма в ЖТФ, 2015, т. 41, с. 52-60.
2. Feklistov K.V., Cherkov A.G., Popov V.P. // Solid State Communications, 2016, v. 242, p. 41-45.

ВЛИЯНИЕ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ В ПРОЦЕССЕ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА ПЛЁНОК ОКСИДОВ ОЛОВА, ЦИНКА И ИТО

Е.А. Дурман, П.Н.Крылов, Р.М.Закирова, И.В.Федотова
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
Ижевск, Россия

Широкозонные полупроводниковые оксиды олова, цинка и ИТО (оксида индия, легированного оловом) обладают уникальными физическими и химическими свойствами. Область их применения постоянно увеличивается. Их используют в оптоэлектронике, при изготовлении сенсорных панелей и т.д. Следует отметить их сенсорную чувствительность к различным газам и каталитическую активность. Данные свойства коррелируют с величиной удельной поверхности, доступной для адсорбции. Управляемое изменение свойств пленок оксидов в процессе их получения является актуальной задачей.

В работе исследовано влияние ионно-лучевой обработки чередующейся процессом магнетронного напыления на структуру и свойства пленок оксидов олова, цинка и ИТО.

Показано, что ионная обработка в процессе осаждения практически не влияет на прозрачность получаемых плёнок в области слабого поглощения, приводит к незначительному сдвигу края полосы поглощения в коротковолновую область (увеличению окна прозрачности), изменению показателя преломления и увеличению коэффициента отражения в ближнем ИК диапазоне. Эти изменения сопровождаются изменениями размеров областей когерентного рассеяния, преимущественной ориентации кристаллитов, относительной плотности растущих пленок, компонентного состава и внутренних напряжений. Ионно-лучевая обработка влияет также на концентрацию основных носителей заряда и их подвижность. Изменения свойств пленок оксидов при введении ионно-лучевой обработки в процесс магнетронного напыления можно объяснить процессами, связанными с зародышеобразованием.

Исследование выполнено в рамках базовой части государственного задания № 16.7592.2017/БЧ.

ВЛИЯНИЕ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ В ПРОЦЕССЕ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА ДЕГРАДАЦИЮ СВОЙСТВ ПЛЁНОК ОКСИДОВ ОЛОВА

П.Н.Крылов, Е.А. Дурман, Р.М.Закирова,
А.С.Соломенникова, И.В.Федотова

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»
Ижевск, Россия

Пленки оксида олова можно использовать для создания различных газовых сенсоров, прозрачных электродов в оптоэлектронных устройствах и т.д. Характеристики наноструктур на их основе могут меняться в процессе естественного старения и после различных воздействий. Целью работы явилось исследование влияния ионно-лучевой обработки, чередующейся с процессом магнетронного напыления, на деградацию свойства пленок оксидов олова при длительном хранении их на воздухе.

Плѐнки SnO_2 были получены методом реактивного ВЧ магнетронного распыления металлической мишени в среде смеси аргона (90%) и кислорода (10%). В процессе осаждения подложки поочередно проходили область распыления мишени и область воздействия ионного источника. Ток ионного источника в разных партиях образцов составлял 0, 10, ... 60 мА. Температура подложек в одной серии образцов поддерживалась 200°C, во второй серии образцов стабилизация температуры не проводилась, синтез проходил при комнатной температуре. Исследования образцов проводили сразу после синтеза и через год после их хранения.

Показано, что ионно-лучевая обработка влияет на показатель преломления пленок, оптическую ширину запрещенной зоны и «хвосты Урбаха», ответственные за дефектные состояния. Выявлена зависимость изменений свойств при хранении от тока ионно-лучевой обработки. С введением ионно-лучевой обработки в процесс магнетронного нанесения деградация пленок проходила значительно медленнее.

Исследование выполнено в рамках базовой части государственного задания № 16.7592.2017/БЧ.

19 АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕГО
АВИАЦИОННОГО СПЛАВА 1421 СИСТЕМЫ Al-Mg-Li
ИОННЫМИ И ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ

И.А. Бушкевич¹⁾, Е. Wendler²⁾, В.Г. Шепелевич¹⁾

¹⁾ Белорусский госуниверситет, Минск, Беларусь,

²⁾ Университет им. Ф. Шиллера, Йена, Германия

В данной работе представлены результаты изучения влияния сверхбыстрой закалки из расплава (СБЗР) на структурно-фазовое состояние промышленного авиационного сплава 1421 системы Al-Mg-Li. С целью определения изменения микроструктуры и свойств быстрозатвердевших (БЗ) фольг сплава при термической обработке были использованы метод мгновенных ядерных реакций (МЯР), растровая электронная микроскопия (РЭМ), рентгеноспектральный микроанализ (РСМА), а также исследовано изменение микротвердости образцов при изотермическом отжиге.

Получено, что применение СБЗР позволяет получить фольги с микрокристаллической структурой, которые состоят из пересыщенного твердого раствора и первичных частиц (Sc, Zr)-содержащей фазы. С помощью метода МЯР обнаружен рост содержания Li в приповерхностной области отожженных фольг сплава 1421. Методами РЭМ и РСМА исследовано влияние температуры отжига на морфологию и размеры частиц вторых фаз. Присутствие выделений интерметаллидных фаз приводит к дисперсионному упрочнению в процессе отжига БЗ сплава, а также тормозит процессы рекристаллизации.

Результаты выполненного исследования термической стабильности материала позволяют установить диапазон рабочих температур БЗ сплава 1421 и являются вкладом в информационную базу данных для разработки ресурсосберегающих технологий производства многокомпонентных алюминиевых сплавов.

ПРОФИЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ
МЕДНЫХ ПЛЕНОК, НАПЫЛЕННЫХ НА ПОВЕРХНОСТЬ МЕ-
ТАЛЛОВ Fe, V, Ti НА УСТАНОВКЕ ПЛАЗМЕННЫЙ ФОКУС

А.А. Ерискин¹⁾, А.П. Кобзев²⁾, В.Н. Колокольцев³⁾,
П.В. Силин¹⁾, В.Я. Никулин¹⁾

¹⁾ФИАН, Москва, Россия

²⁾ОИЯИ, Дубна, Россия

³⁾ИМЕТ, Москва, Россия

Методом обратного резерфордовского рассеяния ионов He⁺с энергией 2,451 МэВ изучены профили распределения элементов O₂, H₂, Si Cu в пленках на поверхности металлов Fe, Vи Ti, напыленных на установке ПФ-4 (ФИАН) в плазмообразующем газе N₂. Установлено, что профили распределения элементов O₂, H₂, C и Si зависят от наличия оксидных пленок на поверхности металлов и плотности металлов. Глубинные профили распределения элементов O₂, H₂ и Si распределяются поглощением газов – O₂, CO₂ и паров H₂O в исходных металлических подложках. Глубина проникновения атомов C и O в Fe минимальна ~85 нм, в ванадии ~120 нм и в Ti ~180 нм; для атомов H глубина проникновения в Ti и в V составляет ~120 нм, в Fe ~90 нм. Для атомов Si глубина проникновения зависит от плотности металла и составляет соответственно для Fe (плотность 7,86 г/см³) ~85 нм, ванадия (плотность 5,96 г/см³) ~120 нм и Ti (плотность 4,51 г/см³) ~250 нм. В поверхностных слоях металлов: Fe, V и Ti наблюдается наиболее высокая концентрация атомов C и O. В оксидных пленках на поверхности Fe концентрация Si O, соответственно, составляет ~10²³ и ~10¹⁹ см⁻³. В оксидных пленках на поверхности Vи Ti концентрация атомов Si меньше и, соответственно, составляет ~5,7·10²² и ~5,3·10²² см⁻³, а концентрация атомов O ~10¹⁹ см⁻³. Послойное распределение атомов примесей под поверхностью металла отличается от традиционных методов получения пленок и может быть использовано для придания поверхности металлов особых свойств.

29СТРУКТУРА И КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК TiO₂

А.Л. Козловский¹⁾, М.В. Здоровец¹⁾

¹⁾ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Одним из наиболее перспективных материалов является диоксид титана, обладающий химической устойчивостью, прекрасными оптическими свойствами, которые являются необходимыми требованиями к композиционным материалам и покрытиям.

В работе представлены результаты получения и исследования тонких пленок на основе TiO₂ с применением метода магнетронного напыления. Установлено, что полученные образцы представляют собой поликристаллические структуры с фазой TiO₂, характерной для брукита с высокой степенью кристалличности и текстурирования. Установлено, что увеличение толщины пленок с 220 до 640 и 720 нм приводит к укрупнению кристаллитов и изменению плотности пленок, обусловленному процессами кристаллизации и нуклеации в процессе напыления. Определено, что увеличение толщины покрытий приводит к увеличению твердости и прочности, что обусловлено изменением кристаллической структуры и снижению аморфных включений. Показано, что применение тонких пленок на основе TiO₂ с заданной толщиной позволяет существенно повысить коррозионную стойкость нержавеющей стали и уменьшить скорость деградации поверхности.

ФОРМИРОВАНИЕ ГЛУБОКИХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
СЛОЕВ МЕТОДОМ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНОЙ
ВЫСОКОИНТЕНСИВНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ ТИТАНА
В СПЛАВ ЦИРКОНИЯ.

А.В. Курочкин, Е.Б. Кашкаров, А.И. Рябчиков, М.Н. Бабахина

Национальный исследовательский
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В настоящей работе для формирования глубоких модифицированных слоёв был использован метод низкоэнергетичной высокоинтенсивной имплантации ионов титана в сплав циркония [1]. Плотность ионного тока составляла 100 мА/см², энергия ионов ~3 кэВ. Были исследованы микроструктура и фазовое состояние поверхности модифицированного слоя TiZr. Было показано, что при дозе облучения $4,5 \times 10^{20}$ ион/см² формируется модифицированный слой толщиной ~10 мкм. Также было установлено, что высокоинтенсивная имплантация приводит к формированию пластинчатой микроструктуры на основе α' -ZrTi фазы с ГПУ структурой в поверхностном модифицированном слое.

Ионная обработка поверхности приводит к увеличению твердости циркониевого сплава от 2,5 ГПа до 5-6 ГПа, при этом модуль Юнга существенно не изменяется и составляет 130 ± 30 ГПа.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ryabchikov A. I. et al. High-intensity low energy titanium ion implantation into zirconium alloy // Applied Surface Science. – 2018. – Т. 439. – С. 106-112.

СТРУКТУРА И ДЕФЕКТЫ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Zr-Nb-H, ФОРМИРУЕМОГО
ОБЛУЧЕНИЕМ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

И.П. Мишин¹⁾, Е.Н. Степанова²⁾, Г.П. Грабовецкая¹⁾,
Р.С. Лаптев²⁾

¹⁾Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
г. Томск, Россия

²⁾Национальный исследовательский
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Проведены исследования формирования структуры и дефектов в приповерхностном слое сплава Zr-1 мас.% Nb с содержанием водорода 0,0016 и 0,21 мас.% (далее сплавы Zr-1Nb и Zr-1Nb-0,21H, соответственно) при облучении импульсным электронным пучком в режиме плавления.

Установлено, что в результате облучения в приповерхностном слое сплавов Zr-1Nb и Zr-1Nb-0,21H шириной 8-10 мкм формируется пластинчатая структура с размерами пакетов параллельных пластин 1-2 мкм. Ширина пластин α и α' фаз циркония в пакетах колеблется от 20 до 300 нм. В модифицированном слое обоих сплавов не наблюдаются частицы фазы β -Nb, присутствующие в основном объеме, и увеличиваются микроискажения кристаллической решетки по сравнению с исходным состоянием, что свидетельствует о росте внутренних напряжений. Особенностью модифицированного слоя сплава Zr-1Nb-0,21H является отсутствие гидридов в поверхностном слое толщиной ~ 1 мкм.

Методами позитронной спектроскопии установлено, что в результате облучения импульсным электронным пучком в приповерхностном слое сплава Zr-1Nb кроме дислокаций образуются дефекты типа «вакансия-примесь». В приповерхностном слое сплава Zr-1Nb-0,21H наряду с дислокациями и дефектами типа «вакансия-примесь» формируются сложные водород-вакансионные комплексы, отсутствующие в исходном наводороженном состоянии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 18-08-00158.

ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУР СОЗДАННЫХ
НА ПОВЕРХНОСТИ И ПРИПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Б.Е. Умирзаков, Д.А. Ташмухамедова, Ё.С. Эргашов, Д.А. Мирзаев,
Б.В. Ибрагимова, С.Б. Оромидинов

Ташкентский государственный технический университет,
г. Ташкент, Узбекистан,

Многокомпонентные и многослойные наноструктуры созданные на основе A^{IV} , $A^{III}V$ и $A^{II}V^{VI}$ в настоящее время широко используются в создании различных приборов микро-, нано- и оптоэлектроники. Одним из перспективных методов создания наноструктур на поверхности и приповерхностной области полупроводников является метод ионной имплантации. Объектом исследования в данной работе являлись пленки Si, Ge, GaAs, CdTe и CdS. Имплантация проводилась ионами металлов и кислорода. Результаты экспериментов показали, что при энергиях ионов в интервале $E_0 = 0,5 - 5$ кэВ в сочетании с отжигом позволяет получить наноструктуры на поверхности полупроводников, а в интервале $- E_0 = 20 - 30$ кэВ в приповерхностном слое в зависимости от типа иона и матрицы на глубине 25 – 30 нм. Ионная имплантация также позволяет получить двухслойные системы типа $MeSi_2/Si/MeSi_2/Si$, $CdMeTe/CdTe/CdMeTe/CdTe$. Нами также получены системы типа $SiO_2/Si/CoSi_2/Si$ (111). Для получения многослойной гетероструктуры типа $SiO_2/Si/CoSi_2/Si$ (111) сначала в Si (111) имплантировали ионы Co^+ с высокой энергией $E_0 = 25 - 30$ кэВ при дозе $D = 10^{17} \text{см}^{-2}$. После ионной имплантации поверхность и приповерхностная область Si (111) до глубины $\sim 100 - 120$ нм полностью разупорядочивается. Прогрев при $T = 900$ К приводит к кристаллизации этих слоев и в приповерхностном слое образуется эпитаксиальный слой $CoSi_2$, а на поверхности восстанавливается структура 7×7 , характерная для чистого Si (111). В дальнейшем этот же образец бомбардировали ионами O_2^+ с энергией $E_0 = 4$ кэВ при $D = 8 \cdot 10^{16} \text{см}^{-2}$. После прогрева при $T = 850$ К образовалась многослойная система $SiO_2/Si/CoSi_2/Si$ (111).

ВЛИЯНИЕ БОМБАРДИРОВКИ ИОНАМИ Ar^+ НА СПЕКТР
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНАМИ
ПЛЕНОК $SiO_2(111)$

Б.Е. Умирзаков, М.К. Рузибаева, З.А. Исаханов, Ш.И. Хамрокулов,
Р. Курбонов

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий
АН РУз им. У.А.Арифова,

В работе изучена динамика изменения спектров ХПЭЭ монокристаллической пленки SiO_2 , при аморфизации её поверхности бомбардировкой ионами инертных газов.

В энергетическом спектре электронов, отраженных от поверхности монокристаллической $SiO_2(111)$ обнаруживаются 6 максимумов с характерными потерями энергий, которые наблюдаются при энергиях: $\Delta E_1=11.5$; $\Delta E_2=14$; $\Delta E_3=16.5$; $\Delta E_4=25$; $\Delta E_5=31$ эВ, где ΔE – энергия потери электронов относительно пика упруго отраженных электронов.

При бомбардировке ионами Ar^+ с $E_0=1$ кэВ с дозой $D \approx 10^{15}$ см⁻² интенсивности этих особенности уменьшается и появляются новые особенности. При больших дозах $D \geq 10^{16}$ см⁻² все особенности характерные для SiO_2 практически исчезают, и устанавливается особенности характерные для Si. Результаты ОЭС показали, что при ионной бомбардировке происходит разделения SiO_2 на составляющие и разупорядочивание приповерхностных слоев. При $D \leq 10^{15}$ см⁻² поверхность обогащается атомами O, а при больших дозах ($D > 10^{16}$ см⁻²) происходит интенсивное испарения (а также диффузия вглубь образца) атомов кислорода, следовательно поверхностная концентрация Si увеличивается до 90 ат.%. После прогрева при $T=650-700$ К вновь формируется пленка SiO_2 , однако имеет аморфную форму. Структура спектра ХПЭЭ этой пленки отличается от структуры спектра монокристаллической пленки. В частности, в спектре аморфной пленки появляются максимумы при энергиях 3,2 и 7 эВ. Природу этих максимумов, мы связываем с переходами электронов из электронных состояний, находящихся в области запрещенной зоны.

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ КИСЛОРОДА НА СОСТАВ И СТРУКТУРЫ СВОБОДНОЙ НАНОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ Si/Cu

Исаханов З.А., Рузибаева М.К., Хамрокулов Ш.И., Ёркулов Р.М.,
Р.Курбонов, Оромиддинов С.Б.

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий
АН РУз им.У.А.Арифова

В данной работе впервые приводятся результаты исследования влияния имплантации ионов O_2^+ на состав поверхности и профиля распределения атомов по глубине системы Si/Cu(100).

Свободные пленки Si-Cu получены методом термического испарения. После прогрева этой системы на границе Si-Cu формировался слой с толщиной 5-6 нм с примерным составом Cu_2Si_3 . Перед ионной имплантацией образцы Si/Cu обезжигались при $T=700-750$ К в течении 2-3 ч. Имплантация ионов O_2^+ осуществлялась с энергией $E_0=1$ кэВ при дозе $D \approx 6 \cdot 10^{16}$ см⁻². Прогрев этой системы при $T=700-750$ К приводит к образованию на поверхности Si пленки SiO₂ толщиной $d \sim 1,5-2$ нм, следовательно, формируется четырехслойная нанопленочная система SiO₂/Si/Cu₂Si₃/Cu. В таблице приведены значения ширины запрещенной зоны нанопленок SiO₂, полученной на поверхности свободной пленки Si/Cu и толстой пленки Si, методом ионной имплантации в сочетании с отжигом.

Подложка	Энергия ионов O_2^+ , keV	T, K	Толщина пленок SiO ₂ , Å	Конц. примесей в SiO ₂ , at. %		E _g , eV
				Si	SiO, Si ₂ O	
Своб. пленка Si, $d_{Si}=40$ nm	1	700	15-20	5-6	4-5	4,1
Толстая пленка Si, $d_{Si}=1000$ nm	1	850	15-20	-	2-3	7,3
	3	900	50-60			8,9

Из таблицы видно, что наличие в пленке SiO₂ большого количества несвязанных атомов Si и нестехиометрические окислы Si существенно уменьшает ширину запрещенной зоны двуокиси кремния.

ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ ПРИ РАСПЫЛЕНИИ
ИОНАМИ

У.Б.Шаропов^{1,2)}, Б.Г.Атабаев¹⁾, Р.Джаббарганов¹⁾,
И.Мирзахмедов²⁾, Ф.Худайкулов²⁾, В.Стедьмах¹⁾

¹⁾Институт Ионно-Плазменных и Лазерных Технологий
АН РУз, Ташкент, Узбекистан

²⁾Ташкентский Государственный Технический Университет
им. Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан

Исследовано влияние массы первичного иона на образование дефектов на поверхности кремния методами ВИМС [1] и SRIM [2]. Определено что с увеличением массы бомбардирующего иона концентрация и распределение вакансий и дефектов внедрения увеличивается на поверхности, чем в объёме. Поэтому при бомбардировке легкими ионами образуется больше вакансий чем междоузельных дефектов на поверхности, из-за чего снижается порог выхода атомарных ионов. А при бомбардировке тяжелыми ионами образуется больше междоузельных дефектов чем вакансий на поверхности, из-за чего увеличивается значение порога выхода атомарных ионов и увеличивается вероятность выхода кластерных ионов. При бомбардировке легкими ионами происходит эффективная передача энергии за счет, чего на поверхности наблюдается большое распределение внедренных примесных дефектов. При бомбардировке тяжелыми ионами происходит имплантация за счет, которого на поверхности практически не наблюдается внедренных примесных дефектов, эффективная передача энергии происходит внутри объема кристалла. Но при этом на поверхности образуются очень большое количество вакансий и междоузельных дефектов, которые образуются за счет каскадов столкновения атомами решетки.

[1] Шаропов У.Б., Атабаев Б.Г., // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2016. №2. с.1.

[2] <http://www.srim.org>

51 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ РАССМОТРЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ НА СПЕКТР ВАЛЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Б.Е. Умирзаков

*Ташкентский государственный технический университет,
г. Ташкент, Узбекистан, fimet@rambler.ru*

Наноразмерные структуры, созданные на поверхности и в приповерхностной области полупроводниковых и диэлектрических пленок, имеют перспективы в создании новых приборов микро-, опто- и нанoeлектроники. Одним из методов получения нанокристаллов и нанопленок в поверхностной области материалов различной природы является метод ионной имплантации в сочетании с отжигом. Ионная имплантация сопровождается изменением физико-химического состояния поверхности: появление вакансий и межузельных атомов, внедрение или замещение легирующей примеси, появление активных центров, образование (разложение) соединений и наноразмерных структур. Эти изменения приводят к резкому изменению плотности заполненных и свободных электронных состояний в поверхностной области твердых тел, которые хорошо отражаются в спектре фотоэлектронов измеренных в ультрафиолетовой области излучения.

В данной работе мы попытались дать качественное объяснение экспериментальных результатов по ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии ионно-легированных материалов. При этом анализируются следующие случаи:

1. Влияние образования различных химических связей на появление новых пиков в спектре фотоэлектронов.
2. Влияние разупорядочения кристаллической решетки на положение основных пиков кремния и силицидов бария.
3. Влияние ионной имплантации на образование новых разрешенных состояний в запрещенной зоне.

СОСТАВ И СВОЙСТВА СИСТЕМЫ MgO/Mg

М.Б. Юсупжанова, Д.А. Ташмухамедова,
М.А. Мирджалилова, Э.А. Раббимов, Б.Е. Умирзаков

Ташкентский государственный технический университет,
г. Ташкент, Узбекистан

В работе с помощью бомбардировки магния ионами O_2^+ в сочетании с отжигом получены пленки MgO. Толщина пленок MgO лежит в пределах 40 – 100 Å. Изучены состав, электронная структура, эмиссионные и оптические свойства пленок MgO/Mg с использованием методов спектроскопии упруго отраженных медленных электронов (СУОЭ), характеристических потерь энергии электронов (СХПЭЭ) и ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС) и оже-электронной спектроскопии (ОЭС). Совместный анализ показал, что при ионной имплантации большая часть атомов кислорода (~ 70 – 80 ат.%) образуют химическую связь с атомами магния. Однако стехиометрическая окись типа MgO формируется после прогрева при $T = 800$ К в течении 1 – 2 часа.

Результаты сравнения показали, что ионная имплантация позволяет получить сверхтонкие (≤ 100 Å), однородные, с сравнительно резкой границей, с хорошей стехиометрией пленки MgO на поверхности Mg. В таблице приведены зонно-энергетические параметры пленки MgO с толщиной 150 Å.

Зонно-энергетические параметры тонких оксидных пленок

Пленка	Структура	Толщина θ , Å	Φ , эВ	ϕ , эВ	E_g , эВ	χ , эВ	Степень ионности связи, %
MgO	аморф.	150 Å	8,2	–	7,2	1	75 – 80
MgO	поликр.	150 Å	8,5	5,1	7,5	0,8	

Из таблицы видно, что ширина запрещенной зоны нанопленок MgO составляет ~ 7,2 – 7,5 эВ.

К ВОПРОСУ ПЛАЗМЕННОЙ ВАКУУМНО ДУГОВОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, И.Х. Худойкулов, Б.Р.Кахрамонов

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий. АНРУз,
Ташкент, Узбекистан

Технологическое воздействие катодной плазмой вакуумно-дугового разряда на металлическую поверхность происходит в короткоживущих (10^{-4} с) катодных пятнах с температурой 5000 К и площадью воздействия 10^{-4} см². Обработка стальной поверхности дуговым разрядом в вакууме приводит к появлению в поверхностном слое микронапряжений II рода, вызывающих искажения решетки кристаллитов порядка $(2,2-3,3) \cdot 10^{-3}$. Размер блоков мозаики при этом составляет $\sim 0,1-0,2$ мкм. Изменение тока дугового разряда практически не влияет на период решетки (величина $\Delta a/a$ остается постоянной и равной $1 \cdot 10^{-3}$), но сказывается на величине размера блоков мозаики. С повышением тока дугового разряда происходит измельчение блоков, что можно объяснить плавлением большей области поверхности стального образца при воздействии на нее дуговым разрядом в вакууме. Из-за малого времени существования катодного пятна на границе зоны воздействия возникает сильный градиент температур и происходит быстрое охлаждение расплава, приводящее к накоплению легирующих элементов. Идентичность распределения Si и C, связана, с близкими значениям коэффициентов диффузии этих элементов в феррите (при 1500°C $D_C=5,4 \cdot 10^{-5}$ см²/с, $D_{Si}=8,4 \cdot 10^{-5}$ см²/с). Распределения Cr и Mn несколько отличаются друг от друга, во-первых, из-за более высокого по сравнению с другими легирующими элементами содержания в этой стали марганца ($\sim 0,7\%$ C, менее 0,25% Cr и Si, Mn $\leq 1,6\%$) и, во-вторых, из-за гораздо более низкого, чем для углерода и кремния, коэффициента диффузии хрома (при 1500°C $D_{Cr}=8,4 \cdot 10^{-7}$ см²/с). В локальной области воздействия катодного пятна, происходит термическая обработка приповерхностного слоя с последующим интенсивным охлаждением за счет теплоотвода в объем образца, что приводит к фазовым и структурным изменениям в поверхностном слое обрабатываемого металла, изменяющем ее свойства..

ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНОВ КАТОДНОЙ ПЛАЗМЫ ВАКУУМНОЙ ДУГИ НА ТЕМПЕРАТУРУ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашурув, И.Х. Худойкулов, Б.Кахрамонов

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий. АНРУз,
Ташкент, Узбекистан

Тепловое воздействия ионов катодной плазмы на температуру поверхности осуществлялось калориметрической методикой, тепловым зондом, термопарами хромель-копель. П-импульсный разрядный ток 100 -300А, длительность импульса 1-5мс. Энергия, импульсного дугового разряда, по формуле $Q = IUt$, а энергия, поглощенная электродами и зондом, определялась

$$Q = cm \times \Delta T,$$

где, ΔT – температура нагрева электродов, регистрируемая соответствующими термопарами. Распределение энергии дугового разряда по соответствующим каналам, приведены в Таблице.

Параметры	Анод	Зонд	
U, В	36	U, В	30
Qp Дж	22.5±0.3	Qp, Дж	19.2±0.1
Qk Дж	16.2±0.3	Qk, Дж	1.55±0.1
η	0.72±0.03	η	0.08±0.02

Изучение воздействия ионов катодной плазмы вакуумной дуги осуществлялось в стационарном режиме при скорости обработки, 6 м/мин, токах разряда 150-350А, что выражено в поверхностной плотности заряд (Кл/м²) Определена поверхностная плотность заряда необходимая для нагрева образца один градус, которая составляет величину 0,238-0,257 Кл/см²град.Зная режимы обработки поверхности образца прогнозируется его температура нагрева, что важно для нанесения покрытия в едином технологическом цикле. Так, для полной очистки исследуемого образца необходимая поверхностная плотность заряда составляет 112-115 Кл/см.² Зная величину поверхностной плотности заряда необходимой для нагрева на 1С⁰, можно предвидеть, что поверхность образца нагреется до 435⁰С, что согласуется с данными проведенных исследований.

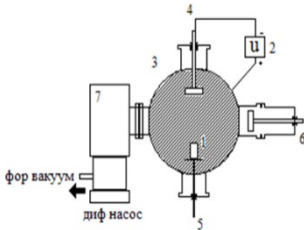
АКТИВАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЗАРЯДОВОЙ КОМПАНЕНТЫ ПЛАЗМЫ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, И.Х. Худойкулов, Б.Кахрамонов

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий. АНРУз,
Ташкент, Узбекистан

Эффективным процессом очистки, поверхности изделий перед нанесением покрытий является комплексная обработка, включающая обработку газовой плазмой с последующим нанесением функционального покрытия. Ускоренный электронно-ионный газовый позволяет, нагревать изделия до температур 600°C. очищенная и активируя поверхность. На рисунке представлена электродная система реализации активации и нагрева тлеющим разрядом. Зажигают тлеющий разряд между рабочей камерой и изделием -анодом с напряжением 300-600 В, в дальнейшем в результате работы системы вакуумирования снижают давление до 0,01-0,1 Па. Для поддержания разрядного тока повышают напряжение до 1000 - 1500В. Для поддержания постоянной величины тока разряда в этом случае увеличиваем объем занимаемого катодным слоем пространства, в котором размножаются быстрые электроны, а для этого приходится повышать разрядное напряжение U до 2-3кВ вблизи

давления погасания разряда $P = 0,01 \div 0,1$ Па. При многократном отражении от стенок концентрация быстрых электронов распределена достаточно однородно, что обеспечивает равномерность распределения плотности потока их энергии по поверхности изделия, потенциал которой близок к потенциалу плазмы. Такой потенциал имеют поверхности анода и изделий, ток в цепи, которых равен нулю. В связи с однородным и изотропным распределением быстрых электронов в камере обеспечивается повышение однородности нагрева изделий. Ток тлеющего разряда поддерживают повышением напряжения до 1000-1200В. В результате воздействия электронами, происходит очистка поверхности изделия и его нагрев.



ТОПОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК КРЕМНИЯ НА
КРЕМНИЙ И ПЛЕНОК ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ SiGe
ПОЛУЧЕННЫХ ВЫСОКОВАКУУМНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

Х.Б., Ашуров, Ш. Кучканов, С.Ж. Ниматов, С.Е. Максимов

ИИПиЛТ АН РУз, Ташкент, Узбекистан

Пленочные структуры кремний на кремний и на основе пленок твердых растворов SiGe являются перспективным материалом для создания приборов микро- и нанoeлектроники. Пленки на основе пленок твердых растворов SiGe обладают рядом преимуществ как технологического, так и эксплуатационного характера. Например, для получения пленок SiGe требуется меньшая температура процесса кристаллизации, чем даже для поликристаллического кремния. Кроме того, теплопроводность поликристаллических слоев Si-Ge в несколько раз меньше, чем поликристаллических слоев Si. Интерес к пленочным структурам на основе Si-Ge вызван также тем, что сравнительно недавно на них был обнаружен термовольтаический эффект.

На полученных плёночных структурах были проведены измерения термоэлектрических и термовольтаических характеристик.

Результаты показали, что:

-пленки, легированные Ti, имеют в основном гладкую блестящую поверхность. В ряде случаев на участках поверхности имело место локальное проявление поликристаллической структуры;

-на блестящей гладкой поверхности слоев наблюдались отдельные макровыступы различной формы: в виде четырехугольных пирамид, гладких конусообразных холмиков и винтообразных фигур роста. Какой-либо явной зависимости плотности макровыступов от степени легирования Ti не обнаружено во всем диапазоне варьирования содержания TiC14 в парогазовой смеси.

41 ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ИОННО-
МОДИФИЦИРОВАННОЙ ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБОК
СПЛАВА Zr-1%Nb НА СТРУКТУРУ МАГНЕТРОННО-
НАПЫЛЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК Cr, Fe и Ni

Д.А. Сафонов, А.С. Яшин, Н.В. Волков, Б.А. Калинин, А.А. Зимин,
Е.Л. Корневский

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия

Одним из методов повышения коррозионных свойств циркония является нанесение защитных металлических пленок, которые должны быть однородными и обладать хорошей адгезией к подложке. В связи с этим важно изучить влияние состояния внешней поверхности трубок, ее шероховатость на адгезивные свойства и структуру наносимых покрытий.

Модифицирование поверхности образцов производилось на установке ИЛУР-03 при следующих режимах: напряжение разряда 1-6 кВ, ток разряда в аргоне 1-500 мА, ток магнетронов до 500 мА при нанесении пленок Cr, Fe и Ni толщиной до 3-5 мкм, давление рабочего газа 0,1 Па. Шероховатость поверхности R_a измерялась на приборе NANOVEA ST400, состояние покрытий изучалось помощью метода FIB (прибор VERSA 3D).

Результаты исследований показывают, что структура пленок во всех случаях наследует исходный макрорельеф поверхности. При нанесении пленки на исходную поверхность (не обработанную ионным пучком) происходит растрескивание покрытия предположительно вследствие высокой величины шероховатости поверхности $R_a = 1,2 \pm 0,1$ мкм. После ионной обработки шероховатость поверхности снижается до $R_a = 0,4 \pm 0,1$ мкм. Вследствие чего улучшаются адгезивные свойства и сплошность наносимых пленок толщиной более 1 мкм. При этом величина шероховатости поверхности с пленкой не превышает $R_a = 0,5 \pm 0,1$ мкм.

СТОЙКОСТЬ К ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ ОКИСЛЕНИЮ
МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ZrN/SiN_x И CrN/SiN_x ,
СФОРМИРОВАННЫХ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

И.А. Солодухин¹⁾, Г. Абади²⁾, В.В. Углов¹⁾, С.В. Злоцкий¹⁾, А.А.
Малашевич¹⁾

¹⁾ Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²⁾ Институт Prime, Университет Пуатье, Пуатье, Франция

Покрытия ZrN/SiN_x и CrN/SiN_x были сформированы методом магнетронного осаждения последовательным распылением мишеней Zr (Cr) и Si_3N_4 при варьировании толщины индивидуального слоя от 2 до 10 нм при температуре подложки 300 °С.

Рентгеновская дифрактометрия свидетельствует о том, что многослойные покрытия ZrN/SiN_x и CrN/SiN_x состоят из нанокристаллических слоёв ZrN (CrN) с преимущественной ориентацией (002) и аморфных слоёв SiN_x , четко разделенных между собой. Параметр решетки фазы нитрида металла для пленок ZrN/SiN_x и CrN/SiN_x больше, чем для монокристаллических слоев ZrN и CrN, соответственно, и он увеличивается при уменьшении отношения толщины элементарного слоя ZrN (CrN) к толщине элементарного слоя SiN_x , что может быть вызвано наличием больших сжимающих напряжений.

Многослойные покрытия ZrN/SiN_x и CrN/SiN_x обладают большей стойкостью к высокотемпературному окислению (в интервале температур 400-950°C) по сравнению с покрытиями ZrN и CrN. Причем эта стойкость повышается при уменьшении отношения толщины элементарного слоя ZrN (CrN) к толщине элементарного слоя SiN_x , а также при увеличении количества слоёв в пленке. В целом, покрытия CrN/SiN_x более стабильны в условиях высокотемпературного окисления, чем покрытия ZrN/SiN_x .

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СПЛАВОВ
Al-Ti И Al-V МЕТОДАМИ РЕЗЕРФОРДОВСКОГО ОБРАТНОГО
РАССЕЯНИЯ И СКАНИРУЮЩЕЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ
СПЕКТРОСКОПИИ

И.И. Ташлыкова-Бушкевич¹⁾, Е. Wendler²⁾, J. Baik³⁾,
Н.-J. Shin³⁾, В.Г. Шепелевич⁴⁾

¹⁾УО «Белорусский госуниверситет информатики и радиоэлектроники», Минск, Беларусь,

²⁾Университет им. Ф. Шиллера, Йена, Германия,

³⁾Международная лаборатория синхротронного излучения ПАЛ,
Пхоханг, Корея,

⁴⁾Белорусский госуниверситет, Минск, Беларусь

Модифицирование структуры и свойств алюминиевых сплавов при гипервысоких скоростях охлаждения представляет как фундаментальный, так и практический интерес для эффективного решения актуальных проблем водородного охрупчивания материалов. В данной работе структура быстрозатвердевших фольг сплавов Al-0.6 ат. % Ti и Al-1.1 ат. % V, полученных при скорости охлаждения 10^6 К/с, исследована методами резерфордовского обратного рассеяния ускоренных ионов гелия, сканирующей фотоэлектронной спектроскопии (СФЭС), растровой электронной микроскопии рентгеноспектрального микроанализа.

Установлено неравномерное распределение титана и ванадия по поверхности фольг, а также по глубине образцов, при поверхностные области которых обеднены легирующими элементами. Впервые с помощью СФЭС в объеме фольг сплавов Al-Ti и Al-V обнаружены наноразмерные агломераты, содержащие титан и ванадий. Высокая дисперсность выделений не позволяет определить их химический состав. Полученные результаты демонстрируют, что комплексное использование методов анализа с помощью пучков ионов, электронов, а также синхротронного излучения позволяет выполнять исследование микроструктуры и состава материалов на новом уровне с субмикронным разрешением.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ПОДЛОЖКИ НА
МИКРОТОПОГРАФИЮ ТОНКИХ ПЛЕНОК
СПЛАВОВА1-Me (Me=Mn;Ni)

И.И.Ташлыкова-Бушкевич¹⁾, Ю.С. Яковенко²⁾,
Д.В. Суходольский¹⁾, Д.Р. Гагуа¹⁾

¹⁾Белорусский госуниверситет информатики
и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

²⁾УО «Минский государственный профессионально – технический
колледж легкой промышленности и бытового
обслуживания населения», Минск, Беларусь

В настоящей работе изучено влияние структуры стеклянной подложки на микротопологию поверхности металлических пленок сплавов Al-2.1 ат.% Mn и Al-1.4 ат.% Ni, полученных осаждением при ассистировании собственными ионами. Ионно-ассистированное нанесение пленок осуществлялось с использованием резонансного ионного источника вакуумной электродуговой плазмы при ускоряющем напряжении $U=3$ кВ. Исследование микроструктуры и смачиваемости тонких пленок и стеклянной подложки выполнено методами растровой электронной и атомно-силовой микроскопии, а также методом покоящейся капли. Рассмотрена зависимость шероховатости поверхности пленок от размера и объемной доли частиц микрокапельной фракции. Построение гистограмм распределения средних измеренных высот и впадин микрорельефа поверхности позволило провести количественный анализ морфологии поверхности покрытий в сравнении с исходной стеклянной подложкой. Полученные результаты обсуждаются с учетом ранее обнаруженных закономерностей формирования микроструктуры тонких пленок сплавов Al-Cr и Al-Fe [1].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ташлыкова-Бушкевич И.И., Яковенко Ю.С., Мойсейчик Е.С., Бейда А.И. // В сб. докл. VIII Междунар. науч. конф. Актуальные проблемы физики твердого тела. Минск: Ковчег, 2018. С. 170-172.

АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКИ ВОССТАНОВЛЕННОГО ОКСИДА
ГРАФЕНА МЕТОДАМИ РФЭС СПЕКТРОСКОПИИ

В.П. Афанасьев¹⁾, Г.С. Бочаров¹⁾, А.С. Грязев¹⁾, А.В. Елецкий¹⁾,
П.С. Капля²⁾, О.Ю. Ридзель¹⁾

¹⁾ НИУ «МЭИ», Москва, Россия

²⁾ Яндекс, Москва, Россия

Графен обладает уникальными физико-химическими характеристиками, что открывает широкие возможности для его применения в электронике, электрохимии, солнечной энергетике и других областях. Один из наиболее перспективных способов получения графена основан на процедуре его восстановления из оксида графена (ОГ).

В работе рассматривались образцы, термически восстановленные из ОГ при температурах отжига от 100 до 1000 °С. Представлены анализ эволюции формы энергетических спектров рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), примыкающих к пику С 1s, сравнение со спектрами многослойного графена и НОРГ. Основное внимание сосредоточено на исследовании области, определяемой многократными потерями энергии электронов на возбуждение плазменных колебаний, с целью восстановления дифференциальных сечений неупругого рассеяния электронов (как в приповерхностных слоях, так и однородном массиве, удаленном от поверхности), т.к. имеются указания на взаимнооднозначную связь сечений с аллотропной разновидностью углерода /1, 2/. Показано, что π -плазмонный пик (наличие в образце sp^2 -связей), начинает фиксироваться в спектрах при $T_0 > 200$ °С. Проводится критический анализ информации об образцах, полученной из спектров комбинационного рассеяния и спектров РФЭС.

Работа была выполнена в рамках госзадания № 3/1414/2017 ПЧ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Pauli N., Novak M., Tougaard S. // Surf.Interface Anal. 2013, v. 45, p. 811.
- 2 T. Eberlein, U. Bangert, R.R. Nair et al. // Phys. Rev. B, 2008, V. 77, P. 233406.

50 ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМОВ In И As В ПЛЕНКАХ SiO₂ В ПРОЦЕССЕ ПОСТИМПЛАНТАЦИОННОГО ОТЖИГА

И.Е. Тыщенко¹⁾, М. Voelskow²⁾, А.Н. Михайлов³⁾,
Д.И. Тетельбаум³⁾

¹⁾Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова,
г. Новосибирск, Россия

²⁾Institute of Ion-Beam Physics and Materials Research,
Dresden, Germany

³⁾Национальный исследовательский Нижегородский университет им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

Ионный синтез нанокристаллов A₃B₅ в SiO₂, обладающих свойствами, необходимыми для создания гибридных интегральных схем, имеет особенности, связанные с различием коэффициентов диффузии атомов In и As. Поэтому в настоящей работе было изучено распределение атомов In и As, имплантированных в пленки SiO₂, в зависимости от температуры последующего отжига.

Ионы As⁺ с энергией 135 кэВ дозой 1×10^{16} см⁻², затем ионы In⁺ с энергией 50 кэВ дозой 4×10^{15} см⁻² были имплантированы в пленки SiO₂ толщиной ~280 нм. Последующий отжиг проводился в потоке паров азота при температуре 800-1100 °С в течение 30 минут. Пространственное распределение атомов In и As исследовалось методом резерфордского обратного рассеяния, структурные особенности имплантированных пленок изучались методами электронной микроскопии и энерго-дисперсионной рентгеновской спектроскопии. Установлено, что после отжига при T=800-900 °С происходит сегрегация атомов As на глубине средних пробегов и формирование нанокристаллов As, которые являются стоками для атомов In. Увеличение температуры отжига до 1100 °С приводит к стоку атомов In на поверхность SiO₂. При этом происходит ускоренная диффузия As с коэффициентом $D_{As} = 3.2 \times 10^{-14}$ см²/с. Наблюдаемые особенности диффузионных свойств In и As объясняются с точки зрения их положения в матрице SiO₂.

53 ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ВОДОРОДА В МЕТАЛЛАХ
ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИИ.П. Чернов, Ю.И. Тюрин, Н.Н. Никитенков,
В.С. Сыпченко

Томский политехнический университет, г. Томск

Проведены сравнительные исследования выхода водорода (H, D) из палладия (0.9999) при линейном нагреве Pd насыщенного H, D переменным электрическим током (1 град/с), пропускаемым через образец (30-70) А·см² и термическом нагреве Pd внешней коаксиальной печью. Образцы размещались в вакуумируемых кварцевой или металлической ячейках, $P_{\text{ост}} \leq 10^{-6}$ торр. Плотность переменного тока частотой 50 Гц в нити накала печи, намотанной на кварцевую трубку, изменялась в интервале от 120 до 420 А/см². Температура образцов измерялась термопарой, выход изотопов водорода – масс-спектрометром. Температура положения максимума скорости выхода водорода и дейтерия при сравнимых скоростях нагрева образцов Pd падает в ряду: нагрев внешней электрической печью в металлической ячейке, нагрев внешней электрической печью в кварцевой ячейке, нагрев электрическим током проходящим через образцы (смещение достигает $\Delta T = 100\text{-}200^\circ\text{C}$). Под действием электромагнитного поля функция распределения электронов становится неравновесной вблизи энергии Ферми и благодаря электрон-фононным (локализованные водородные состояния) столкновениям передает существенную энергию в водородную подсистему, формируя неравновесную функцию распределения в водородной подсистеме металлов. Это способствует неравновесному движению водорода и приводит к смещению температуры максимума термогазовыделения в низкотемпературную область. Аналогичные результаты получены для Ni и Pt.

ТОПОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОСЛЕ ПЛАЗМЕННО-ИММЕРСИОННОЙ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИЗ ВАКУУМНОГО ДУГОВОГО РАЗРЯДА.

Ле Чжан¹⁾, Н.Н. Никитенков¹⁾, А.Н. Сутыгина¹⁾,
В.С. Сьпченко¹⁾.

¹⁾Томский политехнический университет, Томск, Россия

Плазменно-иммерсионная ионная имплантация (ПИИИ), как и все вакуумные ионно-плазменные технологии находят все более широкое применение, несмотря на некоторое количество необъясненных на настоящий момент явлений - «темных пятен». Одним из таких «темных пятен» являются кратеры, образующиеся на поверхности имплантируемых образцов. Мы впервые об этом заговорили в [1] после обнаружения кратеров при ПИИИ титана в нержавеющей сталь. После чего нами и другими авторами было обнаружено такие же кратеры при других сочетания «материал ПИИИ – мишень», но при условиях и параметрах эксперимента близких к нашим. Так на рис.1 приведены результаты наших последних исследований кратеров при «ПИИИ титана в сплав Zr1%Nb». Результаты АСМ позволяют оценить размеры полученных кратеров и сопоставить их с расч. этапами тех же параметров. Чему и посвящен представляемый доклад.

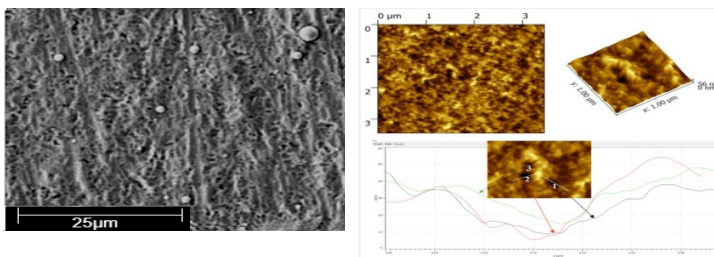


Рис.1 СЭМ- (слева) и АСМ-(справа) изображения поверхностей Zr1%Nb после ПИИИ титана с энергией 1500В.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. N.N. Nikitenkov, A.N. Sutygina, I.A.Shulepov, D.O.Sivin, E.B.Kashkarov. // IOPConf. Series: Materials Science and Engineering, **81**, (2015) 012018. doi:10.1088/1757-899X/81/1/012018

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕГМЕНТОИДНОГО
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА ПУЧКОВ
НИЗКОЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

В.П. Петухов¹⁾, М.В. Петухов²⁾, И.А. Рубинштейн¹⁾

¹⁾НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

²⁾ИП, Москва, Россия

Для регистрации низко энергичных заряженных частиц Б.В. Марьин [1] предложил разработанный им сегментоидный анализатор и провел теоретический анализ его выходных характеристик: геометрического коэффициента, функции пропускания по входным углам и по энергии. Эти анализаторы в настоящее время успешно используются в космофизических исследованиях.

Для экспериментального определения основных выходных характеристик анализатора разработан и создан стенд на базе экспериментальной вакуумной камеры UNIVEX-350 и разработана методика градуировки анализаторов. Выполнены измерения функции пропускания анализатора в зависимости от энергии электронов и углов входа. Использование этой методики позволяет не только измерять эффективность вторичных электронных умножителей при регистрации электронов в широком диапазоне энергий (0,01-20 кэВ), но и провести паспортизацию тритиевых источников электронов, используемых для градуировки спектрометрической аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марьин Б.В., Поландов А.Г. // Приборы и техника эксперимента, 2002, № 3, с. 73

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ ХЛОРПОЛИМЕРА НА
ФОРМИРОВАНИЕ СЛОЕВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОВОЛОКОН НА
ЕГО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МОЩНОГО
ИОННОГО ПУЧКА

В.С. Ковивчак^{1,2)}, А.Б. Арбузов³⁾, М.В. Тренихин^{2,3)}

¹⁾Омский государственный университет
им. Ф.М. Достоевского, Омск, Россия

²⁾Омский научный центр СО РАН, г. Омск, Россия

³⁾Институт проблем переработки углеводородов СО РАН,
г. Омск, Россия

Формирование слоев нано структурированного углерода непосредственно на поверхности промышленных полимеров представляет большой научный и практический интерес.

Целью настоящей работы является исследование влияния предварительной термообработки хлорированного поливинилхлорида с каталитической добавкой ферроцена в воздушной атмосфере на рост углеродных нановолокон при последующем воздействии мощного ионного пучка. Термообработка выполнялась в диапазоне температур 100-300° С в течении 1 часа. Облучение проводилось протон-углеродным пучком ускорителя «Темп» (30% H⁺ +70% C⁺, E ~ 200 кэВ, j ≤ 150 А/см², τ=60 нсек) при варьировании числа импульсов и плотности тока пучка.

Установлено, что предварительная термообработка в воздушной среде при температуре 150° С и выше приводит к значительному подавлению образования углеродных нановолокон на поверхности хлорированного поливинилхлорида. Длина образующихся волокон не превышает ~ 1 мкм. Обсуждены возможные механизмы влияния предварительной термообработки на рост углеродных нановолокон на поверхности хлорированного поливинилхлорида при воздействии мощного ионного пучка.

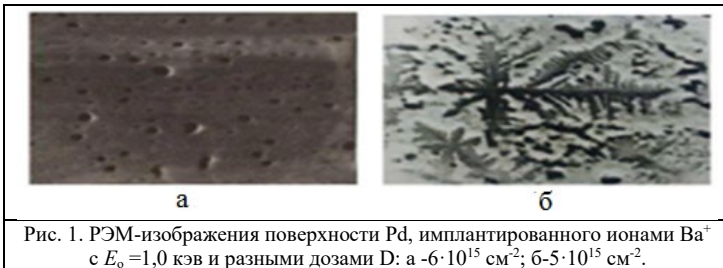
Работа выполнена при поддержке правительства Омской области и РФФИ (проект № 18-43-550009 p_a).

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР НА
 ПОВЕРХНОСТИ Pd И Pd-Ba ПРИ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКЕ

М.Т. Нормуродов, А.К. Ташатов, И.Ш. Тошпулатов, М.О. Аслонов

Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан

В данной работе приведены результаты комплексного изучения механизмов модификации особенностей образования наноразмерных ионной бомбардировке. Исследования проводились с использованием комплекса методов вторичной и фотоэлектронной спектроскопии. На рис.1 приведены РЭМ-изображения поверхности Pd, имплантированного ионами Ba^+ с $E_0 = 1,0$ кэВ разными дозами. Видно, что при дозе $D \sim 610^{14} \text{ см}^{-2}$ на поверхности Pd появляются отдельные кластерные фазы с диаметром 0,2 - 0,5 мкм (рис. а), а при $D = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ образовались кластерные фазы различной формы и размеров. В случае имплантации ионов Ba^+ с такой же энергией и дозой в Pd-Ba, наряду с кластерными фазами, образовались разветвленные линии с шириной 2-3 мкм, обогащенные атомами бария. При увеличении дозы до $6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ как в случае Pd-Ba, так и Pd появляются крупнозернистые участки с четкими гранями размерами 5-10 мкм, характерные для кристаллических пленок. Анализ спектров ОЭС позволяет предположить, что этим участкам соответствуют скопления, включающие соединения типа Pd_2Ba и PdBa . Толщина этих зерен составляет 40-50 Å.



Наиболее вероятным механизмом образования участков с кристаллической структурой под действием имплантации больших доз ионов является разогрев мишени в области теплового пика, приводящий к расплавлению материала. Очевидно, что эффективность образования квазикристаллических участков будет пропорциональна плотности выделяемой энергии в каскадной области мишени. Увеличение дозы не приводило к заметному изменению микроструктуры поверхности Pd-Ba, а наблюдались лишь перекрытие границ некоторых кластерных фаз.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИОННЫХ ПУЧКОВ

Ю.В. Балакшин¹⁾, А.В. Назаров¹⁾, Д.С. Киреев¹⁾, А.Е. Иешкин¹⁾,
А.Д. Завильгельский¹⁾, А.А. Шемухин¹⁾

¹⁾МГУ имени М.В. Ломоносова, НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына,
Москва, Россия

Облучение ионным пучком является одним из методов, активно используемым для модификации поверхности твердых тел. Ионно-пучковое распыление, т. е. удаление атомов с поверхности из-за воздействия бомбардирующих ионов или атомов, является неотъемлемой частью многочисленных методов обработки поверхности. Помимо фактического удаления материала, этот процесс эрозии поверхности часто приводит к резкому изменению топографии поверхности. При определенных условиях распыление приводит к образованию упорядоченного рельефа поверхности (складки, холмы или волны).

В работе исследовано влияние параметров облучения ионами аргона (доза, энергия) на модификацию поверхностных слоев меди и кремния при температурах мишени вблизи нуля градусов Цельсия, комнатных температурах и нагреве вплоть до 450°C. С помощью атомно-силовой микроскопией и сканирующей микроскопией изучена модификация рельефа при облучении атомарными и кластерными ионами. Результаты, полученные при комнатной температуре согласуются с расчетами, полученными с помощью метода молекулярной динамики.

В работе обсуждается возможность применения ионного облучения кластерными и атомарными ионами для контролируемого формирования рельефа.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-32-20193

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ
И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМ «ПЭТФ+TiO₂»

О.А. Алисиенок¹), И.В. Корольков²), А.Л. Козловский³), М.Д. Кутузов³), Е.Е. Шумская³), Е.Ю. Канюков⁴), Ю.В. Балакшин⁵), А.А. Кожемяко⁵), А.А. Шемухин⁵)

¹)БГТУ, Минск, Беларусь

²)ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

³)НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Беларусь

⁴)ИХНМ НАН Беларуси, Минск, Беларусь

⁵)МГУ имени М.В. Ломоносова, НИИЯФ имени Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

Промышленно выпускаемые ионно-трековые ПЭТФ-мембраны, модифицированные фотокаталитически-активным композитом на основе наночастиц диоксида титана могут рассматриваться в качестве основы для фильтрационных материалов, обеспечивающих очистку воды или воздуха от органических соединений с применением фотокатализа. Для повышения эффективности фотокатализа необходимо расширить спектральную область поглощения TiO₂, что может быть сделано посредством облучения.

Системы «ПЭТФ+TiO₂» формировались путем осаждения гидратированного диоксида титана из растворов тетрахлорида титана и их пептизации в азотной кислоте. Модификация системы «ПЭТФ+TiO₂» для смещения края поглощения проводилось за счет облучения ионами Ag с флюенсами в диапазоне 10¹¹ – 10¹⁴ см⁻².

На основании результатов структурных исследований показано, что во всех образцах регистрируется фаза TiO₂-анатазы и при увеличении флюенса облучения до значений 10¹² степень кристалличности увеличивается от 58 до 75%, после чего снижается до 67%. Изучение UV-vis спектров свидетельствует о значительном изменении спектров поглощения системы «ПЭТФ+TiO₂», природа которых, вероятно, связана с изменениями кристаллической структуры TiO₂.

ИОННО- МОДИФИЦИРОВАННЫЕ МНОГОСТЕННЫЕ
УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКИ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ
ПРИЛОЖЕНИЙ

А.В. Степанов¹⁾, А.А. Шемухин²⁾, А.В. Константинова¹⁾, А.И.
Димитриева¹⁾, А. Попов¹⁾

¹⁾ Чувашская ГСХА, г. Чебоксары, Россия

²⁾ НИИЯФ МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Дефекты в УНТ представляют собой химически активные центры, которые хорошо связывают молекулы из окружающей среды, что делает химически активную дефектную нанотрубку в целом. Переход части атомов нанотрубки из состояния с sp^2 -гибридизацией в состояние с sp^3 -гибридизацией увеличивает площадь поверхности, что влияет на трибологические, адсорбционные и емкостные свойства нанотрубки. . В данной работе представлены численные расчеты результатов взаимодействия ионов с многостенной углеродной трубкой. Расчеты проведены методом молекулярной динамики с применением пакета LAMMPS и суперкомпьютера Ломоносов [1]. Проведены экспериментальные исследования цитотосовместимости ионно-модифицированных многостенных углеродных нанотрубок для бактерий E.coli M-17.

ЛИТЕРАТУРА

1. V. Sadovnichy, A. Tikhonravov, Vl. Voevodin, V. Opanasenko "Lomonosov": Supercomputing at Moscow State University // Contemporary High Performance Computing: From Petascale toward Exascale / Vetter J. S. -- Boca Raton, USA: CRC Press, 2013. -- С. 283-307

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ДАЛЬНЕГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ В H_2O-Na^+
ГИПЕРЗВУКОВЫХ ВОЛН, ВОЗБУЖДЕННЫХ ПРИ ИОННОМ
ИЛИ СВЕТОВОМ ОБЛУЧЕНИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И ИХ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С КЛЕТОЧНОЙ МЕМБРАНОЙ

А.В. Степанов¹), Д.И. Тетельбаум²), Е.В. Курильчик²), А.И.
Димитриева¹), А.В. Константинова¹), Д.С. Юманов¹)

¹)Чувашская ГСХА, г. Чебоксары, Россия

²)ННГУ им. Н. И. Лобачевского,
г. Нижний Новгород, Россия

Исследования по влиянию миллиметровых электромагнитных волн на живые организмы, ткани привели к выводу об их важной функциональной роли. При этом генерация и распространение таких волн сопровождается акустическими колебаниями и гиперзвуковыми волнами, которые и служат действующим агентом указанного влияния. Открытым остается вопрос о механизме, обеспечивающим установленную аномально большую глубину проникновения зоны влияния облучения. Согласно предложенной модели, данный эффект (эффект-дальнодействия – ЭД) обусловлен генерацией облучаемым образцом гиперзвуковых волн, а их распространение на большие расстояния в указанной системе связано с волноводными свойствами границы раздела раствора с твердым телом.

В данной работе исследуется ЭД применительно к биологическим системам с помощью молекулярно –динамического моделирования. Расчеты проводились с применением суперкомпьютерного центра Ломоносов [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. V. Sadovnichy, A. Tikhonravov, Vl. Voevodin, V. Opanasenko "Lomonosov": Supercomputing at Moscow State University // Contemporary High Performance Computing: From Petascale toward Exascale / Vetter J. S. -- Boca Raton, USA: CRC Press, 2013. -- С. 283-307

МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК (УНТ) С
ПОМОЩЬЮ ИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

А.И. Морковкин¹⁾, Е.А. Воробьева²⁾, А.П. Евсеев^{1),2)}, А.А. Шемухин²⁾

¹⁾ Физический факультет МГУ, Москва, Россия

²⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

Ионное облучение является одним из методов для модификации многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) [1]. Модифицированные структуры из УНТ могут найти применение в качестве элементов электрохимических сенсоров благодаря большой площади поверхности, а также электрофизическим свойствам и возможности их варьирования [2].

Одним из важных параметров сенсоров является степень адсорбции анализируемой смеси воздуха на поверхности газочувствительного элемента, которая частично зависит от смачиваемости поверхности. Для изучения этого вопроса образцы спрессованных таблеток из коммерческих МУНТ Таунит-М и Таунит-МД были подвергнуты ионному облучению ионами Ar^+ с энергией 120 кэВ с дозами облучения в 10^{12} , 4×10^{14} и 2×10^{15} ион/см². Исследование смачиваемости облученных образцов проводилось методом сидячей капли с использованием дистиллированной воды, циклогексана и этиленгликоля. Для расчета значений свободной энергии поверхности использовался метод ОВРК (метод Оунса-Вендта-Рабеля-Кьельбле).

Результаты измерений и расчетов указывают на то, что ионное облучение приводит к уменьшению свободной поверхностной энергии модифицированных таким методом образцов. Так же модифицированная поверхность была исследована методами КРС и СЭМ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-72-00149.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baldo, S., Scuderi, V., Tripodi, L., La Magna, A., Leonardi, S. G., Donato, N., Neri, G., Filice, S., and Scalese, S. // 2015, J. Sens. Syst., 4, pp. 25-30.
2. Baughman R.H., Zakhidov A.A. and de Heer W.A. // 2002, Science, V. 297, pp. 787-792.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИМПЛАНТАЦИИ НА КРАЕВОЙ УГОЛ СМАЧИВАЕМОСТИ МАССИВОВ МУНТ

А.П. Евсеев^{1,2)}, Е.А. Воробьева¹⁾, Ю.В. Балакшин¹⁾,
А.А. Шемухин¹⁾

¹⁾ Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

²⁾ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия

Многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ) могут подвергаться целенаправленной структурной модификации наноразмерного масштаба: образование дефектов кристаллической структуры поверхностных графеновых слоев, присоединение к поверхности функциональных групп (функционализация), что влияет на макроскопические свойства МУНТ.

Одним из наиболее эффективных способов модификации структуры МУНТ является ионное облучение. В отличие от механических и химических воздействий ионное облучение производится в вакууме и не оставляет побочных включений. Важнейшим параметром, характеризующим результат воздействия ионного облучения на структуру МУНТ, является соотношение глубины проникновения ионов к диаметру нанотрубки.

В данной работе многостенные углеродные нанотрубки, полученные методом пиролитического осаждения из газовой фазы, облучали ионами гелия с энергией 80 кэВ в диапазоне доз от $2,5 \times 10^{15}$ до 10^{17} ион/см². Приводится исследование дефектообразования в УНТ при ионном облучении на краевой угол смачиваемости поверхности. Показано, что после облучения ионами до 0.0075 ДРА/нм образец МУНТ становится гидрофобным.

Евсеев А.П. является стипендиатом Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС», № 18-2-6-25-1.

Научное издание

Тезисы докладов XLIX международной конференции
по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами

Под общей редакцией М.И. Панасюка, Н.Г. Чеченина,
Ю.А. Ермакова

Редколлегия: А.М. Борисов, Ю.А. Ермаков, А.С. Кубанкин,
В.С. Куликаускас, Е.С. Машкова, Н.В. Новиков, В.С. Черныш,
Н.Г. Чеченин

Подписано в печать 30.04.2019.

Формат 60x90/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 14. Тираж 110 экз. Заказ № Т-1917.

Издательство «КДУ»:
тел. +7 (495) 638-57-34, www.kdu.ru