

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ  
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ИНСТИТУТА ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ  
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

# ТРУДЫ

XX МЕЖДУНАРОДНОГО СОВЕЩАНИЯ  
«РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА»

(Севастополь, 5 июля-10 июля 2010 г.)

под редакцией заслуженного деятеля науки РФ, д.ф.-м.н.,  
проф. Бондаренко Г.Г.

Москва - 2010

УДК 669  
ББК 22.38  
Р15  
ISBN 978-5-89671-009-7

Труды XX Международного совещания «Радиационная физика твёрдого тела» (Севастополь, 5 июля-10 июля 2010 г.), под редакцией заслуженного деятеля науки РФ, д.ф.-м.н., проф. Бондаренко Г.Г., М.: ГНУ «НИИ ПМТ», 2010 г., в 2-х томах; том 1, 419 с.

В рамках совещания проводилась XIV Международная школа молодых учёных «Радиационная физика твёрдого тела».

Редакционная коллегия:

д.ф.-м.н. Бондаренко Г.Г. (ответственный редактор),  
д.ф.-м.н. Крестя В.И.,  
д.т.н. Прасицкий В.В.,  
Икакова О.Е.

УДК 669.

ББК 22.38

© Издательство ГНУ «НИИ ПМТ», 2010-05-20

ISBN 978-5-89671-009-7

© Труды XX Международного совещания  
«Радиационная физика твёрдого тела»

ПРОГРАММА-СОДЕРЖАНИЕ

**Понедельник, 5 июля**

**9.00-13.00**

**Открытие совещания - Бондаренко Г.Г.**

- 1 Андриевский Р.А. «ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА НАНОМАТЕРИАЛОВ» 3
- 2 Власукова Л. А., Мильчанин О. В., Комаров Ф. Ф., Мудрый А. В. Урбанович А.И. «ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕКОВЫХ ОБЛАСТЕЙ В СЛОЯХ SiO<sub>2</sub> С НАНОКЛАСТЕРАМИ InAs МЕТОДОМ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ» 13
3. Didyk A.Yu., Wisniewski R., Wilczynska T. «DEPTH DISTRIBUTIONS OF D AND H GAS ATOMS INCLUDED INTO Pd AND DILUTED Pd-ALLOYS AT SATURATION PROCESSES AT HIGH PRESSURE CHAMBER BY ERDA MEASUREMENTS» 21
4. Семина В.К. «МОДИФИКАЦИЯ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛУЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ» 22
5. Ивченко В.А. «ПОЛЕВАЯ ИОННАЯ МИКРОСКОПИЯ НАНОПОР В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ОБЪЕМАХ ОБЛУЧЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ» 27
6. Можаровский С.М., Клепикова А.А., Гущина Н.В., Овчинников В.В., Ремнев Г.Е., Гусельников В.И. «ВОЗДЕЙСТВИЕ ИМПУЛЬСНЫХ МОЩНЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ НА МИКРОСТРУКТУРУ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ВД1» 36
7. Крючков С.В., Кухарь Е.И., Яковенко В.А. «ЭФФЕКТ УВЛЕЧЕНИЯ В ОДНОСЛОЙНОМ ГРАФЕНЕ» 43
8. Красильников В.В., Савотченко С.Е., Пархоменко А.А. «МОДЕЛЬ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО РАДИАЦИОННОГО ОХРУПЧИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОХРОМОНИКЕЛЕВОГО сплава СПЛАВА 03X20N45M4БРЦ И СТАЛИ 12X18N10Т ПОД ВЛИЯНИЕМ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ» 46

**13.00-14.00 Перерыв.**

**14.00-17.00 Секция “Радиационная физика металлов” (заседание школы молодых ученых)**

1. Стальцов М.С., Чернов И.И., Калинин Б.А., Мезина О.С., Чжи Зин 54  
У «ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ВАНАДИЯ ТИТАНОМ НА ГЕЛИЕВОЕ РАСПУХАНИЕ»

2. Образцов С.М., Конобеев Ю.В., Печенкин В.А., Соловьев В.А. 63  
«НЕЙРОСЕТЕВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРЕМНИЯ И ТИТАНА НА РАДИАЦИОННОЕ РАСПУХАНИЕ АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ»
3. Авилкина В.С., Андрианова Н.Н., Бондаренко Г.Г., Борисов А.М., Гайдар А.И., Новиков Л.С, Е Ицун, Ван Либо 68  
«ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ АРГОНА НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТИ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ»
4. Селищев П.А., Диденко Т.П. 77  
«ВЛИЯНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ВАКАНСИЙ СКОЛЬЗЯЩИМИ ДИСЛОКАЦИЯМИ НА ПЕРЕХОДНУЮ ПОЛЗУЧЕСТЬ ОБЛУЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ»
5. Москаленко Л.В., Селищев П.А. 84  
«УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ВЫДЕЛЕНИЙ ВТОРОЙ ФАЗЫ В БИНАРНЫХ СПЛАВАХ ПОД ОБЛУЧЕНИЕМ»
6. Нагорнов Ю.С. Махмуд-Ахунов Р.Ю. Светухин В.В. Голованов В.Н. 88  
«ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ПОТЕНЦИАЛА ДИОКСИДА УРАНА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ»
7. Довбня А.Н., Купленников Э.Л., Цымбал В.А., Кандыбей С.С., Стоянов А.Ф., Красильников В.В 95  
«ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ  $^{60}\text{Co}$  НА НЕЙТРОННОМ ГЕНЕРАТОРЕ»
8. НИКИТУШКИНА О.Н. 103  
«НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КРАТЕРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ УДАРАХ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ»
9. Саенко В.С., Звягина С.С., Рощина М.В. 108  
«ТЕРМОАКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ СТАЛИ 2205»
10. Кобец М.В., Селищев П.А., Слисенко В.И. 114  
«КИНЕТИКА ОБРАЗОВАНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ КЛАСТЕРОВ В МАТЕРИАЛАХ»
11. Булавин Л.А., Селищев П.А., Сысоев В.М 117  
«ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО ОБРАЗОВАНИЯ КЛАСТЕРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ»

**Вторник, 6 июля****9.00-13.00 Секция “Радиационная физика неметаллических материалов”**

1. Нолтемейер М., Кристен Дж., Поляков А.Н., Степович М.А., Хемпел Т. 118  
«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ЭКСИТОНОВ, ВОЗБУЖДАЕМОЙ В КРУГЛОЙ ОБЛАСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ НИТРИДА ГАЛЛИЯ»

2. Пилипенко В.А., Понарядов В.В., Шведов С. В., Горушко В.А., Петлицкая Т.В. «ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АКТИВНЫХ И ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ МАСШТАБИРОВАНИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ»	126
3. Гацкевич Е.И. «ДИФФУЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В Ge/Si СТРУКТУРАХ С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ В УСЛОВИЯХ НАНОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ»	134
4. Медведева И.Ф., Мурин Л.И., Литвинко А.Г., Маркевич В.П. «О ВЛИЯНИИ УСЛОВИЙ ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИИ»	140
5. Гусаков В.Е. «ФОРМИРОВАНИЕ И ДИФФУЗИЯ ВАКАНСИИ И СОБСТВЕННОГО МЕЖДОУЗЕЛЬНОГО АТОМА В КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ ПРИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ: КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ»	148
6. Литвинов В.В., Покотило Ю.М., Маркевич В.П., Петух А.Н, Ластовский С.Б. «ОБРАЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ ОЛОВО-ВАКАНСИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ КРИСТАЛЛОВ ГЕРМАНИЯ»	157
7. Ластовский С.Б., Маркевич В.П., Мурин Л.И., Литвинов В.В. «ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА СОБСТВЕННОГО МЕЖДОУЗЕЛЬНОГО АТОМА В ГЕРМАНИИ»	162
8. Суржиков А.П., Франгульян Т.С., Гынгазов С.А., Григорьев С.В. «ЭФФЕКТЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ КОРУНДО-ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ С РАЗЛИЧНОЙ ПОРИСТОСТЬЮ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИНТЕНСИВНОГО ПУЧКА НИЗКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ»	172
9. Палатников М.Н., Щербина О.Б., Фролов А.А., Макарова О.В., Сидоров Н.В. «ФОРМИРОВАНИЕ МИКРО- И НАНОСТРУКТУР В КЕРАМИЧЕСКОМ ПЕНТАОКСИДЕ ТАНТАЛА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО СВЕТОВОГО ПОТОКА»	180
10. Куликов В.Д. «ЭФФЕКТ ОЧИСТКИ ЦЕНТРОВ ЗАХВАТА ЭЛЕКТРОНАМИ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ЭЛЕКТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ»	190
11. Шамбулов Н. Б. «МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ ФЕРРИТОВ СИСТЕМЫ Co-Cu-Zn, ПОДВЕРГНУТЫХ $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИЮ»	196
12. Загорский Д.Л., Бедин С.А., Виленский А.И., Мchedlishvili Б.В. «ТРАВЛЕНИЕ ЛАТЕНТНЫХ ТРЕКОВ В ПОЛИМЕРЕ: УПРАВЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЕЙ ПОР»	202
13. Королев А.А., Козлов С.А., Штумпф С.А. «ГЕНЕРАЦИЯ ДЛИННОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ В ДИЭЛЕКТРИКЕ ПЛАЗМЫ ДВУМЯ РАЗНОЧАСТОТНЫМИ ФЕМТОСЕКУНДНЫМИ СВЕТОВЫМИ ИМПУЛЬСАМИ»	204
14. Онанко А.П., Онанко Ю.А. «ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И УЛЬТРАЗВУКА НА УКАЗАТЕЛЬНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ УПРУГО-НЕУПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК сплавов AgZn И SiO <sub>2</sub> »	212

**13.00-14.00 Перерыв.****14.00-17.00 Секция “Радиационная физика неметаллических материалов” (заседание школы молодых ученых)**

1. Попов Г.В. Шешин Е.П. Шорникова А.Л. «АВТОЭМИССИОН- 220  
НЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУЛЛЕРЕНОВ»
2. Беляев А.Е., Болтовец Н.С., Бобыль А.В., Иванов В.Н., Капитанчук 222  
Л.М., Кладько В.П., Конакова Р.В., Кудрик Я.Я., Литвин О.С., Миленин  
В.В., Новицкий С.В., Шеремет В.Н «РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В  
ОМИЧЕСКИХ И БАРЬЕРНЫХ КОНТАКТАХ К ФОСФИДУ ИНДИЯ,  
СОДЕРЖАЩИХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ И АМОРФНЫЕ ДИФ-  
ФУЗИОННЫЕ БАРЬЕРЫ»
3. Батаев М. «КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ МИКРОСПЕКТРО- 232  
СКОПИЯ (CLS) ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОТНОСТИ ДЕФЕКТОВ В МДП  
СТРУКТУРАХ Al-SiO<sub>2</sub>-Si ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ (10 keV) ИОНИЗАЦИ-  
ОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ»
4. Андреев Д.В., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Васютин Д.С., 240  
Михальков А.М. «МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИ-  
ЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА МДП-СТРУКТУРЫ В РЕЖИМЕ  
СИЛЬНОПОЛЕВОЙ ИНЖЕКЦИИ»
5. Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Васютин М.С., Корот- 248  
ков С.И. «ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕ-  
НИЙ СЕНСОРАМИ НА ОСНОВЕ СТРУКТУР МЕТАЛЛ-  
ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК»
6. Вернигоров К.Б., Алентьев А.Ю., Музафаров А.М. Новиков 256  
Л.С., Черник В.Н., Бондаренко Г.Г. «ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРО-  
ВАНИЯ АМОРФНЫМ СИЛИКАЗОЛЕМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ  
ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИИМИДА К ВОЗДЕЙСТВИЮ  
АТОМАРНОГО КИСЛОРОДА»
7. Глазов С.Ю., Мещерякова Н.Е., Федулов И.Н. «ПЛАЗМЕННЫЕ КО- 265  
ЛЕБАНИЯ В ГРАФЕНЕ С УЧЕТОМ ПЕРЕХОДОВ МЕЖДУ БЛИ-  
ЖАЙШИМИ СОСЕДЯМИ ИЗ ОДНОЙ ПОДРЕШЕТКИ»
8. Демчишин А.Б., Селищев П.А «ПЕРКОЛЯЦИЯ ТРЕКОВЫХ ОБ- 270  
ЛАСТЕЙ В ТОНКОЙ ПЛАСТИНКЕ, ОБЛУЧАЕМОЙ С ДВУХ СТО-  
РОН»
9. НАГОРНОВ Ю.С., ПЧЕЛИНЦЕВА Е.С., РАДЧЕНКО В.М., 274  
КОСТИШКО Б.М., РИСОВАНЬ В.Д. «ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНО-  
СТОЙ ЗАРЯДКИ НА МОЩНОСТЬ P-N-СТРУКТУРЫ ПОД ДЕЙСТВИ-  
ЕМ ИЗОТОПА NI-63»
10. Малышев А.В. «ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ 276  
СВОЙСТВ ЛИТИЙ-ТИТАНОВОЙ ФЕРРИТОВОЙ КЕРАМИКИ»

11. Коровицкий А.М., Захарчук Д.А., Мисюк С.Я. «ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ УРОВНЯ ФЕРМИ В ТВЕРДОМ РАСТВОРЕ $Si(Ge)$ ПРИ НАЛИЧИИ ГЛУБОКОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УРОВНЯ»	282
12. Федосов А.В., Коваль Ю.В., Захарчук Д.А., Федосов С.А., Ящинский Л.В. «ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ УРОВНЯ ФЕРМИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ АНТИМОНИДА КАДМИЯ, ЛЕГИРОВАННЫХ ТЕЛЛУРОМ, ДО И ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ»	286
13. Федосов А.В., Лунёв С.В., Федосов С.А., Захарчук Д.А. «ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ НА ПЬЕЗОПРОТИВЛЕНИЕ $n - Si$ »	291
14. Коротков В. В., Кудрявцев В.Н., Бедин С.А., Загорский Д.Л., Мчедлишвили Б.В. «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ КОБАЛЬТА В МИКРО- И НАНОПОРЫ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН»	299

### Среда, 7 июля

#### 9.00-13.00 Секция “Радиационная физика металлов”

1. Камышанченко Н.В., Кузнецов Д.П., Никулин И.С., Кунгурцев М.С., Неклюдов И.М. «ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО ТИТАНА МАРКИ ВТ1-0»	308
2. Азаренков Н.А., Кириченко В.Г., Леонов В.Н. «ВЛИЯНИЕ ИОННОГО И ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ АЛЬФА-ЖЕЛЕЗА И СТАЛЕЙ»	317
3. Искаков Б.М., Шамбулов Н.Б., Сулейменова Ж.К. «ПАРАМЕТРЫ ПОТЕНЦИАЛА МОРЗЕ ГЦК МЕТАЛЛОВ»	326
4. Якушин В.Л., Джумаев П.С., Калинин Б.А., Польский В.И., Дмитриева К.К., Емельянова О.В. «ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАКИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ, ОБРАБОТАННЫХ ПОТОКАМИ ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМЫ»	334
5. ЧЕРНОВ И.И., СТАЛЬЦОВ М.С., КАЛИН Б.А., ЧЖИ ЗИН У, БИНЮКОВА С.Ю., АГЕЕВ В.С., НИКИТИНА А.А. «ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЗАХВАТА И ВЫДЕЛЕНИЯ ГЕЛИЯ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕАКТОРНЫХ СТАЛЯХ ЭК-164, ЭП-450 И ЭП-450-ДУО»	344
6. Бинюкова С.Ю., Ганченкова М.Г. «РАСТВОРЕНИЕ ВОДОРОДА В FePd:L10»	353
7. Углов В.В., Черенда Н.Н., Шиманский В.И., Асташинский В.М., Кузьмицкий А.М. «ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ФАЗОВОГО СОСТАВА ТИТАНА, ЛЕГИРОВАННОГО ХРОМОМ И МОЛИБДЕНОМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КОМПРЕССИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ»	362
8. Ивлев Г.Д., Каспаров К.Н., Белозёрова Л.И., Гацкевич Е.И. «ТЕМПЕРАТУРА МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНОГО НАГРЕВА ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ»	369

- |  |     |
|--|-----|
| 9. Арбузов В.Л., Давлетшин А.Э. «ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОБСТВЕННЫХ МЕЖДОУЗЕЛЬНЫХ АТОМОВ С АТОМАМИ ПРИМЕСИ В СПЛАВАХ АЛЮМИНИЯ»                                       | 374 |
| 10. Данилов С.Е., Арбузов В.Л., Ляшков К.А. «ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ Al НА РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СПЛАВАХ Fe-Ni»              | 384 |
| 11. Распопова Г. А., Арбузов В.Л. «ПОВЕДЕНИЕ ВОДОРОДА В ОБЛУЧЕННЫХ МАТЕРИАЛАХ С РАЗЛИЧНОЙ ПОДВИЖНОСТЬЮ ВАКАНСИЙ»   | 392 |
| 12. Потекаев А.И., Клопотов А.А., Клопотов В.Д. «СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НИКЕЛИДА ТИТАНА ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СИЛЬНОТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ» | 400 |
| 13. Платов Ю.М., Колотов В.П., Лазоренко В.М., Товтин В.И. «ПАРАМЕТРЫ ЗАРОДЫШЕЙ ДИСЛОКАЦИОННЫХ ПЕТЕЛЬ В ОБЛУЧЕННЫХ СПЛАВАХ АЛЮМИНИЙ –МАГНИЙ И АЛЮМИНИЙ-ЦИНК» | 406 |

**13.00-14.00 Перерыв.****14.00-17.00 Секция «Физические основы радиационной технологии» (заседание школы молодых учёных)**

- |   |     |
|---|-----|
| 1. Анищик В.М., Валько Н.Г., Поляк Н.И., Алесчик И.И. «ФОРМИРОВАНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ СПЛАВОМ Zn-Ni ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ»   | 407 |
| 2. Гурин И. В, Земенко В. В, Буколов А. Н, Мазилев А. В, Гончаров И. Г, Мазилова Ю. А. «МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ»  | 410 |
| 3. Боровицкая И.В., Бондаренко Г.Г., Никулин В.Я., Гайдар А.И. «ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ НА НИКЕЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕНСИВНЫХ ПОТОКОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ»   | 418 |
| 4. Бондаренко Г.Г., Кристя В.И., Прасицкий В.В., Тай А.В., Фишер М.Р. «ПЕРЕНОС И ПЕРЕОСАЖДЕНИЕ ЭМИССИОННОГО ВЕЩЕСТВА ЭЛЕКТРОДОВ В РАЗРЯДНОЙ КОЛБЕ ДУГОВОЙ РТУТНОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ»  | 425 |
| 5. Дворецкий С.А., Долганин Ю.Н., Карпов В.В., Михайлов Н.Н., Михеев Н.Н., Муханова А.А., Поляков А.Н., Степович М.А. «РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФОТОПРИЕМНИКОВ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУР HgCdTe С БУФЕРНЫМИ СЛОЯМИ CdTe и ZnTe ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДИАПАЗОНА 3...5 МКМ» | 433 |



6. Михеев Н.Н., Степович М.А., Широкова Е.В. «ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СИММЕТРИИ ПРОЦЕССА МНОГОКРАТНОГО РАССЕЙЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ НА ФУНКЦИЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ГЛУБИНЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ЭЛЕКТРОННО-ЗОНДОВОМ АНАЛИЗЕ» 440
7. Асадчиков В.Е., Буташин А.В., Егоров А.А., Каневский В.М., Монахов И.С., Муслимов А.Э., Новоселова Е.Г., Смирнов И.С. «ФОРМИРОВАНИЕ НАНОПРОВОЛОК НА ПОВЕРХНОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ САПФИРА МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ И ТЕРМООБРАБОТКИ» 455
- 8.. Романов И.Ю «УСТАНОВКА ДЛЯ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ РАСПЛАВОВ И ТРАДИЦИОННЫХ ВИДОВ ИОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ» 447
9. Скрипин А.С «ИССЛЕДОВАНИЕ ХРОМАТИЧЕСКИХ АБЕРРАЦИЙ ПРОЕКЦИОННОЙ СХЕМЫ ЛАЗЕРНОГО КОМПЛЕКСА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ» 463
10. Калуш А.З., Федосов А.В., Фурс Т.В. «ИССЛЕДОВАНИЕ  $\beta$  - ОБЛУЧЕННЫХ ДЕТЕКТОРНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВАНИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ  $RbI_2$ » 471
11. Завьялов Д. В., Конченков В. И., Крючков С. В. «ЭФФЕКТ ВЗАИМНОГО ВЫПРЯМЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ТОКОВ В МАТЕРИАЛАХ С НЕАДДИТИВНЫМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СПЕКТРОМ» 477
12. Грач Е.П., Доронин А.Н., Саенко В.С. «СТОЙКИЕ К ЭФФЕКТАМ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ МЕТАЛЛО-ТКАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ЭКРАННО-ВАКУМНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ» 485
13. Востриков А.В. «ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА РАСТЕКАНИЯ ТОКОВ ПО ЭЛЕМЕНТАМ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ РАЗРЯДАХ» 490
14. Белик Г.А. «ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОЛИМЕРОВ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА ПЭМ-100» 498

**Четверг, 8 июля****9.00-13.00 Секция “Физические основы радиационной технологии”**

1. Кузнецов В.Е., Мазуль И.В., Саксаганский Г.Л. «Технологическое оборудование и тест-установки для ОБЛИЦОВКИ РАЗРЯДНОЙ КАМЕРЫ И ДИВЕРТОРА термоядерного реактора ИТЭР» 503

2. СУРЖИКОВ А.П., ЛЫСЕНКО Е.Н., ВАСЕНДИНА Е.А., СОКОЛОВ-СКИЙ А.Н., ВЛАСОВ В.А., ПРИТУЛОВ А.М. «ТЕРМОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОМОГЕННОСТИ ЛИТИЙ-ЦИНКОВЫХ ФЕРРИТОВ»	511
3. Маковийчук М.И. «НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ КНИ-ФЛИККЕР-ШУМОВЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ»	518
4. Анищик В.М., Валько Н.Г., Поляк Н.И. «МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПЛЕНОК Co-Ni, ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИ ОСАЖДЕННЫХ В ПОЛЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ»	526
5. Голубев О.Л. «МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОЛЕВЫХ ЭМИТТЕРОВ ИЗ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЭМИССИИ ЭЛЕКТРОНОВ И ИОНОВ»	530
6. Паршуков Л.И., Смирнов В.Н., Ващенко М.Л. «ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА В УСЛОВИЯХ КОНТРОЛИРУЕМОГО НАГРЕВА БЛИЗЛЕЖАЩИХ ОБЛАСТЕЙ»	537
7. Углов В.В., Асташинская М.В., Самцов М.П., Барна П.Б. «СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МИКРОВОЛНОВЫМ ПЛАЗМОУСИЛЕННЫМ ХИМИЧЕСКИМ ВАКУУМНЫМ ОСАЖДЕНИЕМ В АРГОН - АЦЕТИЛЕНОВОЙ ГАЗОВОЙ СМЕСИ»	541
8. Углов В.В., Барковская М.М., Ходасевич В.В., Ухов В.А. «ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Ti-Cr-N»	548
9. Турцевич А.С., Шведов С.В., Чигирь Г.Г., Ухов В.А. «ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН МЕТОДОМ ОЖЕ-СПЕКТРОСКОПИИ И ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ»	556
10. Алонцева Д.Л. «ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРЫ В ПОКРЫТИИ НА ОСНОВЕ Ni-Cr, НАНЕСЕННОМ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕЙ НА СТАЛЬНУЮ ПОДЛОЖКУ»	563
11. Мельник И.В. «МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОНОВ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ МАТЛАВ»	571

**13.00-14.00 Перерыв.****14.00-17.00 Секция «Радиационная физика неметаллических материалов»**

1. Кабышев А.В., Конусов Ф.В., Ложников С.Н., Ремнев Г.Е., Салтымаков М.С. «ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ, ОСАЖДЕННЫХ НА ДИЭЛЕКТРИКИ ИЗ АБЛЯЦИОННОЙ ПЛАЗМЫ, ФОРМИРУЕМОЙ МОЩНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ»	578
--	-----

- |  |     |
|--|-----|
| 2. Суржиков А.П., Франгульян Т.С., Лысенко Е.Н., Гынгазов С.А., Трофимова О.А. «структурное состояние литиевых ферритов с различной кислородной нестехиометрией »                                    | 587 |
| 3. Баймаханулы А., Лущик А.Ч. «СОЗДАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННОМ KCl»   | 593 |
| 4. Акишин А.И., Новиков Л.С., Черник В.Н., Бондаренко Г.Г., Гайдар А.И., Павленко В.И., Едаменко О.Д. «ВОЗДЕЙСТВИЕ КИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ НА ПОЛИМЕРНЫЕ РАДИАЦИОННО - ЗАЩИТНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ» | 598 |
| 5. Воронина Е.Н., Новиков Л.С. «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК»  | 601 |
| 6. Курбанов К.Р., Денисов Г.С., Курбанова Н.Н. «ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В ГАЛОГЕНИДНЫХ СИСТЕМАХ И ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА»  | 612 |
| 7. Макаренко Л. Ф., Коршунов Ф.П., Ластовский С.Б., Мурин Л.И., Карась В.И., Молл М. «ОБНАРУЖЕНИЕ ПАР ФРЕНКЕЛЯ И СОБСТВЕННЫХ МЕЖДОУЗЕЛЬНЫХ АТОМОВ В КРЕМНИИ p-ТИПА, ОБЛУЧЕННОМ ЭЛЕКТРОНАМИ»          | 619 |
| 8. АБДУКАДЫРОВА И.Х. «ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИИ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ОКСИДНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ»  | 626 |
| 9. Маджитова Ф.Ш., Сезонов Ю.И., Ульдин А.А., Эминов П.А. «ЭКРАНИРОВАННЫЙ КУЛОНОВСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ НАМАГНИЧЕННОЙ НАНОТРУБКИ»  | 633 |
| 10. Эминов П.А., Сезонов Ю.И., Гордеева С.В., Ульдин А.А., Пюрбеев Ю.А. «РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НА АКУСТИЧЕСКИХ ФОНАХ И ПРОВОДИМОСТЬ КВАНТОВОГО ЦИЛИНДРА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ»                             | 640 |

### Пятница, 9 июля

#### 9.00-13.00 Секция «Физические основы радиационной технологии»

- |   |     |
|---|-----|
| 1. Марченко И.Г. «ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ОТБРАКОВОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ»   | 646 |
| 2. Коршунов Ф.П., Жданович Н.Е., Гурин П.М., Гуринович В.А. «НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЯМОЙ ВАХ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ КРЕМНИЕВЫХ $n^+p$ -СТРУКТУР, ОБЛУЧЕННЫХ БЫСТРЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ » | 652 |

3. Зайцев С.В., Бабаев В.П. «МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ПАРАЗИТНЫХ ПРЕДПРОБОЙНЫХ ТОКОВ В ВАКУУМНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРОМЕЖУТКАХ» 658
4. Прокопьев Е.П. «ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ НАНООБЪЕКТОВ В ПОРИСТЫХ СИСТЕМАХ И ДЕФЕКТНЫХ МАТЕРИАЛАХ ПО МЕТОДУ УРАФ» 665
5. Углов В.В., Квасов Н.Т., Петухов Ю.А. «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ БИНАРНОГО РАСПЛАВА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ ПО РАЗМЕРАМ ДЕНДРИТОВ» 670
6. Можаровский С.М., Гущина Н.В., Овчинников В.В., Филиппов А.В. «ИЗУЧЕНИЕ РОЛИ ПЛАКИРУЮЩЕГО СЛОЯ В ИЗМЕНЕНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АМГ6 ПРИ ИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ» 678
7. . Бондаренко Г.Г., Шагаев В.В. «МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ НА МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ» 683
8. ПЕТРОВ В.С., БОНДАРЕНКО Г.Г., КОРЕНОВСКИЙ Н.Л., СТОЛЯРОВ В.Л., ГАЙДАР А.И. «ДВУХФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ТИТАН-ПАЛЛАДИЕВЫЙ ПОРИСТЫЙ ГЕТТЕР ДЛЯ ОТКАЧКИ ВОДОРОДА ИЗ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ» 686
9. Адуев Б.П., Белокуров Г.М., Гречин С.С., Пузынин А.В. «ИНИЦИИРОВАНИЕ ВЗРЫВНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ ТЕТРАНИТРОПЕНТАЭРИТРИТА ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ» 693
10. Паничкин А.В., Карпенюк А.Н., Ермеков Г.А., Кшибекова Б.Б., Жунусова С.С. «К вопросу О формировании электрических разрядов на поверхности катода в растворах  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  » 701

**13.00-14.00 Перерыв.****14.00-17.00 Секция «Радиационная физика металлов»**

1. Didyk A. Yu., Wisniewski R. «DEPTH DISTRIBUTIONS OF D+ IONS IMPLANTED WITH ENERGY 25 keV UP TO HIGH DOSES INTO Pd AND DILUTED Pd-ALLOYS AND DETERMINATION OF ITS TIME CHANGES BY ERDA METHOD» 708
2. Борисенко В.Н., Петрусенко Ю.Т., Баранков Д.Ю., Вьюгов П.Н. «ВЛИЯНИЕ НАДРАЗМЕРНЫХ ЛЕГИРУЮЩИХ АТОМОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПРОЦЕССЫ НАКОПЛЕНИЯ И ОТЖИГА РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В ЦИРКОНИИ» 709
3. Боровицкая И.В., Данелян Л.С., Затекин В.В., Иванов Л.И., Коршунов С.Н., Куликаускас В.С., Мансурова А.Н., Парамонова В.В. «СВОЙСТВА СПЛАВОВ V-Ga, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ АРГОНА, УГЛЕРОДА И АЗОТА» 716

4. Углов . В. В., Шашок А.В., Данилюк М.А. «ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ КСЕНОНА НА МАКРОНАПРЯЖЕНИЯ В НИТРИДЕ ЦИРКОНИЯ » 726
5. Углов В.В., Коваль Н.Н., Кулешов А.К., Иванов Ю.Ф., Солдатенко Е.А., Тересов А.Д. «ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В ТВЕРДОМ СПЛАВЕ Т15К6 В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СИЛЬНОТОЧНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ» 732
6. Черенда Н.Н., Углов В.В., Бибик Н.В, Асташинский В.М., Кузьмицкий А.М.. «ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МИКРОТВЕРДОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р18, МОДИФИЦИРОВАННОЙ КОМПРЕССИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ» 740
7. Бондаренко Г.Г., Якункин М.М. «СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМОВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ В СЛОИСТЫХ СИСТЕМАХ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ ИМПУЛЬСНОМ НАГРЕВЕ ИЗЛУЧЕНИЕМ ЛАЗЕРА» 746
8. Бондаренко Г.Г., Якункин М.М. «ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА В СИСТЕМЕ ПЛЕНКА-ПОДЛОЖКА» 754
9. Абдукадырова И.Х., Таджибаев Д.П. «ВЛИЯНИЕ РЕАКТОРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ АВИАЛЕЙ ТИПА АМГ-2» 764

**Суббота, 10 июля****9.00-13.00**

1. Коршунов Ф.П., Богатырев Ю.В., Ластовский С.Б., Карась В.И., Кульгачев В.И., Белоус А.И., Шведов С.В., Малышев В.С. «РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В КРЕМНИЕВЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ» 768
2. Бондаренко Г.Г., Гайдар А.И., Черник В.Н., Новиков Л.С., Смирнова Т.Н. «ДЕГРАДАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОТОКОВ КИСЛОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ» 774
3. Новиков Л.С., Милеев В.Н., Маклецов А.А., Синолиц В.В. «СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ» 785
4. Демина Е.В., Пименов В.Н., Грибков В.А., Масляев С.А., Сасиновская И.П., Дубровский А.В. «ИМИТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ТЯР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВОК "ПЛАЗМЕННЫЙ ФОКУС"» 792

5. Акишин А.И. «ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЕ НА ЛУННЫЕ И МАРСИАНСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ» 804

6. Ермаков Г.А., Паничкин А.В., Жумабекова Н.Н., Султангазиева А.Н., Кшибекова Б.Б. «ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ АЛМАЗ-ГРАФИТ-МЕТАЛЛ НА ПОВЕРХНОСТИ ПРИРОДНЫХ АЛМАЗОВ» 815

**13.00-14.00 Перерыв.**

**14.00-15.00 Обсуждение докладов.**

**15.00-15.30 Общая дискуссия.**

**15.30-16.00 Закрытие совещания.**

## ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ АМОРФНЫМ СИЛИКАЗОЛЕМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО ПОЛИИМИДА К ВОЗДЕЙСТВИЮ АТОМАРНОГО КИСЛОРОДА

Вернигоров К.Б.<sup>1</sup>, Алентьев А.Ю.<sup>1,2</sup>, Музафаров А.М.<sup>3</sup>  
Новиков Л.С.<sup>4</sup>, Черник В.Н.<sup>4</sup>, Бондаренко Г.Г.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет

<sup>2</sup> Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН

<sup>3</sup> Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

<sup>4</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ имени М.В. Ломоносова

<sup>5</sup> Научно-исследовательский институт перспективных материалов и технологий МИЭМ (ТУ)

[konstantin\\_verni@mail.ru](mailto:konstantin_verni@mail.ru)

[tel:8\(495\)9394085](tel:8(495)9394085)

### Реферат

На магнитоплазмадинамическом ускорителе кислородной плазмы, имитирующей действие АК, проведено облучение полимерных покрытий, на основе полиимида Картон Н, термопластичного полиимида (ПИ) и его модификации аморфным силиказолем СЗ (ПИ-СЗ). На основании полученных данных рассчитаны объемные коэффициенты эрозии полимеров, проведен сравнительный анализ устойчивости покрытий. Методом сканирующей электронной микроскопии исследованы изменения морфологии поверхностей полимеров после облучения.

Показано, что композиция ПИ-СЗ обладает повышенной стойкостью к АК. Установлен состав композиции ПИ-СЗ, при котором частицы силиказоля равномерно диспергированы в объеме полимера, что и объясняет повышенную устойчивость полимерно-неорганической композиции ПИ-СЗ к воздействию АК. Наименьшую устойчивость продемонстрировало покрытие на основе полиимида марки ПМ. Показано, что для всех покрытий после облучения поверхность приобретает ворсообразную морфологию, при этом для каждого из полимеров наблюдался ряд отличительных особенностей в структуре поверхности, обусловленных различиями в химическом строении исследуемых полиимидов.

### 1 Введение.

При экспонировании на низких околоземных орбитах (200-700 км) полимерные материалы подвергаются воздействию ряда экстремаль-

ных эксплуатационных факторов, вызывающих эрозию полимеров и, как результат, ухудшение физико-химических характеристик материала (механических, электрических характеристик, термической устойчивости и др.). Одним из наиболее разрушающих факторов является воздействие набегающего потока атомарного кислорода (АК) [1].

АК является основным компонентом потока частиц ионосферной плазмы. Атомы кислорода, обладающие высокой реакционной способностью, образуются в результате фотодиссоциации двухатомных молекул, инициируемой действием солнечных фотонов с длиной волны 243 нм [2]. Среднее значение плотности частиц АК на низких околоземных орбитах составляет  $10^9$  атомов/см<sup>3</sup>. При движении КЛА со скоростью 8 км/с энергия столкновения частиц АК с поверхностью КЛА составляет ~5 эВ, то есть намного выше энергии теплового движения атомов, что в итоге приводит к значительной окислительной эрозии поверхности полимерных материалов. Для большинства полимеров коэффициент эрозии к набегающему потоку АК имеет величину порядка  $10^{-24}$  г/атом О [3].

Полимерные материалы со структурой полиимидов широко используются в авиакосмической индустрии в качестве терморегулирующих покрытий солнечных батарей и других функциональных частей КЛА. При эксплуатации КЛА полиимидные покрытия наряду с другими полимерными материалами подвергаются эрозии вследствие взаимодействия с частицами АК. Так, поверхность полиимида Kapton H (торговая марка DuPont) вследствие деструкции приобретает ворсообразную морфологию, при этом происходит значительное снижение его оптических, термических и механических характеристик [4].

Одной из задач первостепенной важности является разработка эффективных способов защиты полимеров, в частности полиимидов, от воздействия АК. Защита полимеров проводится по двум направлениям: нанесение стойких тонкопленочных покрытий и модификация поверхностного слоя для повышения его устойчивости к воздействию экстремальных факторов космического пространства.

Одними из наиболее стойких оказались неорганические покрытия на основе оксидов кремния и алюминия ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и др.). Для образования защитного слоя используют различные методы тонкопленочной технологии – от покрытия лаками, до вакуумного и плазменного осаждения оксидов на субстрате. Данные покрытия снижают коэффициент эрозии защищенного полимера до уровня порядка  $10^{-26}$  г/атом О, но они обладают рядом недостатков. Поскольку слои оксидов металлов сильно отличаются от полимерной подложки по своим физико-химическим характеристикам, они имеют тенденцию к образованию микротрещин, сколов и отслаиванию от полимерной подложки, также есть вероятность возникновения микроразрушений при столкновении с частицами космической пыли. Эти процессы приводят к постепенному



снижению защитных свойств, способствуют развитию эрозии полимеров [5].

Недостатки неорганических покрытий стимулируют разработку новых методов модификации полимерных материалов, обеспечивающих повышение их устойчивости к воздействию АК и, вместе с тем, не ухудшающие исходные физико-химические (оптические, электрические, термические и др.) свойства полимеров. В настоящее время основной тенденцией в этой области является создание полимерных органо-неорганических модификаторов.

Разветвленные полиорганосилоксаны могут рассматриваться как перспективные модификаторы для полиимидов. Эти вещества имеют гибридное строение: «сердцевина» из диоксида кремния, окруженная функциональными или инертными органическими группами – что делает их совместимыми с большим числом полимеров [6]. Предполагается, что создание композитов полиимид-полиорганосилоксан сможет послужить альтернативным методом защиты полиимидных покрытий от воздействия АК.

В данной работе исследовалась устойчивость к АК термопластичного полиимида ПИ-ЛК, модифицированного аморфным силиказолем - разветвленным полиорганосилоксаном. После облучения композиций с различными концентрациями модификатора, были проведены расчеты коэффициентов эрозии к АК. Также была исследована морфология полимерных пленок до и после облучения.

## 2 Экспериментальная часть.

Исследуемыми материалами являлись пленки полиимида ПИ-ЛК (ПИ) с различной концентрацией частиц силиказоля (СЗ). Структурные формулы ПИ и СЗ представлены на рис. 1.

Композиции ПИ-СЗ изготавливались смешением в различных соотношениях 17% раствора полиамидокислоты (прекурсора полиимида) в ДМФА с 4% раствором СЗ в ТГФ. Смеси наносились на стеклянную подложку и выдерживались при температуре 160°C в течение шести часов для образования ПИ по реакции термоциклизации полиамидокислоты. В качестве образцов для исследований нами были получены пленки чистого ПИ, а также полимерные композиции ПИ-СЗ с содержанием модификатора 3 и 10% (масс.). Толщина пленок составила 50 мкм (для чистого ПИ), 22 мкм (ПИ-3% СЗ), 25 мкм (ПИ-10% СЗ).

Образцы облучались пучком кислородной плазмы, формируемым в плазменном ускорителе установки, имитирующей условия на низкой околоземной орбите, в НИИ Ядерной Физики им. Д.В. Скобельцина МГУ им. М. В. Ломоносова. Установка состоит из двух вакуумных камер. В первой установлен узел плазменного ускорителя. Эта камера соединена с камерой образцов.

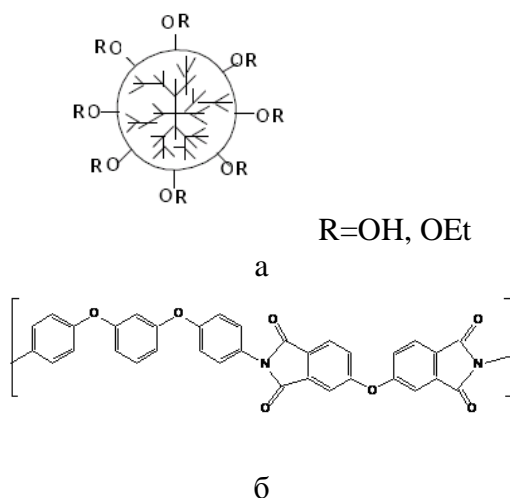


Рис.1. Структурные формулы модификатора-СЗ (а) и термопластичного полиимида-ПИ (б).

Значения энергии частиц в потоке плазмы лежали в диапазоне 20-60 эВ. Температура на поверхности образцов составляла  $\sim 120^\circ\text{C}$ .

Толщина образцов до и после облучения была измерена с точностью 1 мкм. Образцы пленок облучались кислородной плазмой в течение шести часов. Эквивалентный флюенс АК определялся по изменению толщины пленки образца свидетеля (полиимидная пленка Картон Н, DuPont), с объемным коэффициентом эрозии  $3 \cdot 10^{-24} \text{ см}^3/\text{атом О}$ :

$$F = \frac{\Delta h_K}{R_K} \quad (1)$$

где

$F$  - эквивалентный флюенс АК, атом О/см<sup>2</sup>;

$\Delta h_K$  - изменение толщины пленки Картон Н, см;

$R_K$  - коэффициент эрозии пленки Картон Н,  $3 \cdot 10^{-24} \text{ см}^3/\text{атом О}$ ;

Коэффициенты эрозии композиций ПИ-СЗ рассчитывались по формуле:

$$R = \frac{\Delta h}{F} \quad (2)$$

где

$R$  - коэффициент эрозии, см<sup>3</sup>/атом О

$\Delta h$  - изменение толщины полимерных пленок, см;

$F$  - эквивалентный флюенс АК;

Морфология поверхностей полимерных пленок до и после облучения кислородной плазмой была исследована методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопе JSM-6390; Jeol. Химический состав поверхностей после облучения был проанализирован посредством рентгеновского флуоресцентного анализа.

### 3 Результаты и их обсуждение.

После облучения потоком кислородной плазмы были рассчитаны коэффициенты эрозии исследуемых полимеров. Результаты расчетов представлены в табл.1.

Табл.1. Коэффициенты эрозии полимеров после облучения потоком кислородной плазмы.

Полимер	$\Delta h$ , мкм	R, см <sup>3</sup> /атом O
<b>Пленка Kapton H, флюенс = <math>1 \cdot 10^{21}</math> atom O/cm<sup>2</sup></b>		
Kapton H	30	$3 \cdot 10^{-24}$
<b>Исследуемые образцы</b>		
ПИ	27	$2,7 \cdot 10^{-24}$
PI-3% C3	16	$1,6 \cdot 10^{-24}$
PI-10% C3	7	$0,7 \cdot 10^{-24}$

Было установлено, что значения коэффициентов эрозии композиций ПИ-СЗ, в сравнении с чистым ПИ, понижаются с увеличением концентрации частиц СЗ в системе. Однако следует отметить, что наличие частиц СЗ понижает прозрачность полимерных пленок

Для композиции ПИ-10% СЗ значение коэффициента эрозии было на 74 % ниже, чем в случае немодифицированного ПИ. Коэффициенты эрозии чистых полиимидов (ПИ и пленки-свидетеля Kapton H), были приблизительно равны.

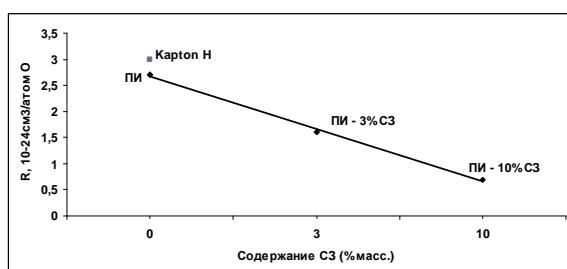


Рис. 2. Изменение значений коэффициентов эрозии исследуемых объектов.

Изображения поверхностей полимерных пленок после облучения, полученные методом СЭМ, представлены на рис. 3 и 4:

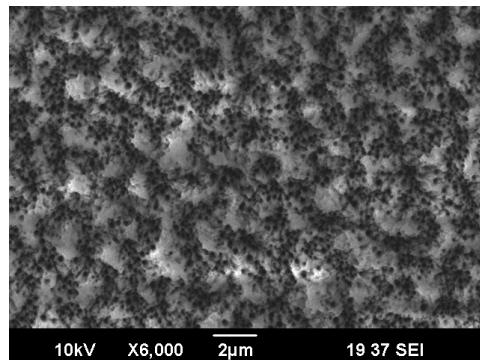


Рис. 3. СЭМ-изображение поверхности пленки Kapton H после облучения.

В случае полиимида Kapton H поверхность полимера после облучения приобретает ворсообразную морфологию (рис. 3), типичную для большинства облученных полимеров, в особенности полимеров со структурой полиимидов. Деструкция поверхностного слоя сопровождается образованием «пор» (на изображении – черные точки) – местах взаимодействия полимера с частицами кислородной плазмы. Для чистого ПИ (рис. 4а) после облучения наблюдалось сходство с морфологией пленки Kapton H (рис. 3), но деструкция поверхности была заметна в гораздо меньшей степени, что выражалось в пониженном количестве «пор», являющихся отображением мест контакта частиц кислородной плазмы с полимерной структурой. Такие различия могут, предположительно, быть объяснены различиями в химическом строении полиимидов, а также в их надмолекулярной структуре. Значения диаметров «пор» для обоих полимеров лежали в диапазоне от 160 до 200 нм.

В случае композиций ПИ-СЗ (рис. 4б, 4в) микроанализ поверхностей после облучения показал, что химическое взаимодействие компонентов полимерной композиции с частицами кислородной плазмы приводит к образованию частиц диоксида кремния (рис. 5).

Эти частицы имеют сферическую форму и средний размер ~2 мкм для композиции ПИ-3% СЗ и 5 мкм – для композиции ПИ-10% СЗ, они равномерно распределены в объеме полимерной матрицы.

Формирование этих частиц, по-видимому, происходит в результате процессов агрегации и поликонденсации между частицами модификатора СЗ, исходный размер которых составлял ~20 нм. Размер агрегатов

при этом увеличивается с увеличением концентрации СЗ в ПИ. Дальнейшее взаимодействие агрегатов с кислородной плазмой приводит к окислительной деструкции их органических фрагментов (см. рис. 1а) и образованию неорганических частиц  $\text{SiO}_2$ .

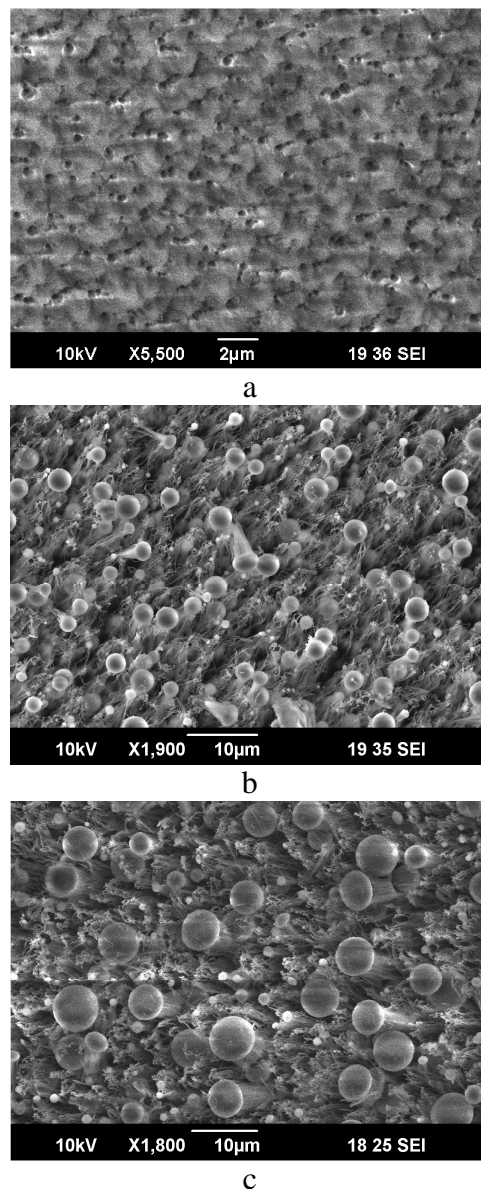


Рис.4. СЭМ-изображение поверхности ПИ (а), композиции ПИ-3% СЗ (б), композиции ПИ-10% СЗ (в) после облучения.

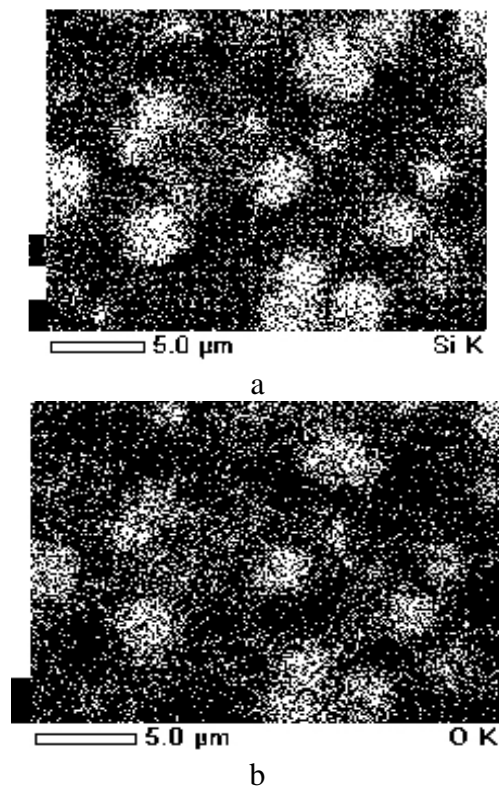


Рис. 5. Элементные карты Si (а) и O (б) участка поверхности полимерной композиции ПИ-3% СЗ после облучения кислородной плазмой.

Обладая повышенной устойчивостью к АК, частицы  $\text{SiO}_2$  экранируют нижележащий полимер от воздействия кислородной плазмы, приводя тем самым к снижению значений коэффициентов эрозии композиций ПИ-СЗ (Табл.1).

Стоит отметить, что наличие процессов агрегации и поликонденсации между частицами СЗ, ведет к ухудшению оптических характеристик полимерных пленок (прозрачность), а защитные свойства частиц модификатора реализуются не в полной мере, так как площадь защищенной поверхности уменьшается с развитием процессов агрегации и поликонденсации.

#### 4 Выводы

Приготовлены полимерные композиции ПИ-СЗ. Показано, что при введении частиц СЗ в ПИ происходит понижение коэффициента эрозии полимера к воздействию АК. Таким образом, аморфные силиказолы, могут рассматриваться как перспективные модифицирующие агенты для полимеров авиакосмического назначения, в частности поли-

имидов. Однако для минимизации процессов агрегации и поликонденсации между частицами силиказоля требуется подбор их оптимальной химической структуры, а именно строения органических групп в молекулах полимера.

**Список литературы.**

- [1] Masahito Tagawa, Kumiko Yokota, Acta Astronautica, 62, 203 (2008);
- [2] M.R. Reddy, J. Mater. Sci. 30, 281 (1995);
- [3] S. Packirisamy, D. Schwan, M.H. Litt, J. Mater. Sci. 30 (2), 308 (1995).
- [4] M. Tagawa, T. Suetom, H. Kinoshita, M. Umeno, N. Ohmae, Trans. Jpn. Soc. Aeronaut. Space Sci. 42, 40 (1999).
- [5] K.K. De Groh, B.A. Banks, J. Spacecr. Rockets 31 (4), 656 (1994).
- [6] V.V. Kazakova, E.A. Rebrov, V.B. Myakushev, JACS, 34, 503 (2000).

Труды XX Международного совещания  
«Радиационная физика твёрдого тела»  
(Севастополь, 5 июля – 10 июля 2010 г.)  
Том 1

Ответственный редактор:  
д.ф.-м.н. Бондаренко Геннадий Германович

Подписано в печать 26. 05. 2010г.  
Бумага типографская. Печать - ризография.  
Формат 70x108/16.Усл. печ.л.26,25.Уч.-изд.л. 23,625  
Тираж 70 экз. Заказ 100

Государственное научное учреждение  
«Научно исследовательский институт  
перспективных материалов и технологий»  
115054, Москва, ул. М.Пионерская, д. 12, Тел/факс (499) 235-57-13,  
235-51-05 e-mail: [niipmt@mail.ru](mailto:niipmt@mail.ru)  
Отдел оперативной полиграфии Московского государственного  
Института электроники математики (ТУ)  
113054, Москва, ул. М.Пионерская, д. 12