

Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ
СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО,
ТЕРАГЕРЦОВОГО И ОПТИЧЕСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ
МИКРО- И НАНОСТРУКТУРАМИ,
МЕТАМАТЕРИАЛАМИ И БИООБЪЕКТАМИ**

*Посвящается 70-летию Победы
в Великой Отечественной войне 1941—1945 годов*

Материалы Всероссийской научной школы-семинара

Под редакцией профессора *Д.А. Усанова*

Саратов 2015

УДК 537.5
ББК 32.85+22.3

**Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: материалы Всерос. научной школы-семинара / под ред. проф. Д. А. Усанова. – Саратов: изд-во Саратовский источник, 2015. – 192 с.: ил.
ISBN 978-5-91879-501-9**

Приведены результаты научных исследований по современным проблемам взаимодействия электромагнитного излучения с полупроводниковыми микро-, наноструктурами, метаматериалами и биообъектами и применению соответствующих физических эффектов в современной полупроводниковой микро- и наноэлектронике, в системах радиолокации, медицинской технике и устройствах неразрушающего контроля. Представлены новейшие разработки СВЧ-линий задержки, методов ближнеполевой сканирующей СВЧ-микроскопии, устройств на СВЧ фотонных кристаллах, измерителей наноперемещений, скоростей и ускорений.

Для специалистов и научных работников, занимающихся исследованиями в области твердотельной электроники, радиофизики, медицинской физики, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

Редакционная коллегия:

*Д. А. Усанов (отв. редактор), Ал. В. Скрипаль (отв. секретарь),
Б.Н. Рыгалин, В.Н. Посадский, В.С. Тяжлов*

УДК 537.5
ББК 32.85+22.3

ISBN 978-5-91879-501-9

© Саратовский источник, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА	9
<i>Д.И. Биленко, В.В. Галушка, И.В. Галушка, Д.Кочнев, И.Б. Мысенко, Д.В. Терин, И. Ягудин</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЕВ МЕЗОПОРИСТОГО КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ПОСЛЕДУЮЩИМ НАСЫЩЕНИЕМ NiSO ₄ ..	9
<i>В.П. Малиненко, П.Ф. Прокопович, О.В. Спирин</i> ОКСИДНЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ	12
<i>Л.М.Бабков, Н.А. Давыдова, И.В.Ивлиева</i> ПРОЯВЛЕНИЕ ПОЛИМОРФИЗМА, КОНФОРМАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И Н-СВЯЗИ В ИК СПЕКТРАХ САЛОЛА	14
<i>В.С. Слипокуров, М.Н. Дуб, Я.Я. Кудрик</i> МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К ВЫСОКООМНЫМ ПОЛУПРОВОДНИКАМ	18
<i>В.А. Гуртов, В.Б. Пикулев, П.Ф. Прокопович</i> ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТА «НАНОКРЕМНИЙ-НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ ЦЕЛЛЮЛОЗА»	20
<i>Д.И. Биленко, В.В. Галушка, И.В. Галушка, Д. Кочнев, И.Б. Мысенко, Д.В.Терин, И. Ягудин</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ БЕСТОКОВОГО НЕЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОВЕРХНОСТНОГО НАСЫЩЕНИЯ СУЛЬФАТОМ НИКЕЛЯ	23
<i>А.Г. Роках, М.И. Шишкин, Н.Б. Трофимова</i> ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПЛЕНОК CdS-PbS ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ..	26
<i>А.Г. Роках, М.И. Шишкин, С.Б. Вениг, В.С. Аткин</i> ОБ ОТСУТСТВИИ ОПТИЧЕСКОГО ГАШЕНИЯ ФОТОПРОВОДИМОСТИ В ПЛЕНКАХ CdS-PbS	29
<i>Ю. М. Александров, В.В. Яцышен</i> ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ БОРОНИТРИДНЫХ НАНОТРУБОК С ДЕФЕКТОМ ЗАМЕЩЕНИЯ	31
<i>П.Г. Сычев, В.Ф. Названов</i> АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ СТРУКТУР С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОНОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ (КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ)	33
<i>А.Г. Роках, Н.Б. Трофимова</i> РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СУБЛИМИРОВАННЫХ ПЛЕНОК CdS-PbS	36
<i>Д. А. Усанов, А. В. Скрипаль, Е. И. Астахов, С. Ю. Добдин</i> МНОГОЧАСТОТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ПО ВЫСШИМ СПЕКТРАЛЬНЫМ ГАРМОНИКАМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРНОГО АВТОДИНА	38
<i>А.Е. Блюштейн, А.О.Мантуров</i> МОДЕЛЬ ОПТИЧЕСКОЙ ТЕНИ СКАНИРУЮЩЕГО ДИФРАКЦИОННОГО ЭЛЕМЕНТА ТЕНЕВОГО ТОМОГРАФИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА	41
<i>О.Е. Глухова, В.В. Митрофанов, М.М. Слепченков</i> ИСТОЧНИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА БАЗЕ ГРАФЕН-ФУЛЛЕРЕНОВОГО КОМПЛЕКСА	44
<i>А.Н. Волобуев, Т.А. Антипова</i> ЭЛЕКТРОДИНАМИКА КРУГОВОГО ДИХРОИЗМА И ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ НА ЕГО ОСНОВЕ КРУГОВОГО ПОЛЯРОИДА	45

<i>С.В.Борознин, А.В.Терещук</i> СТРУКТУРА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВС ₃ НАНОТРУБ ТИПА «КРЕСЛО»	48
2. ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ И МЕТАМАТЕРИАЛЫ	50
<i>Д. А. Усанов, М. К. Мерданов, А. В. Скрипаль, Д. В. Пономарев, Е.В. Латышева</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЧ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ	50
<i>М.А. Морозова, О.В. Матвеев</i> ДИСПЕРСИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В СТРУКТУРЕ МАГНОННЫЙ КРИСТАЛЛ – СЕГНЕТОЭЛЕКТРИК – МАГНОННЫЙ КРИСТАЛЛ	55
<i>И.С. Жаркова, А.В. Маркин, С.А. Пиденко, А.А. Занищевская, И.Ю. Горячева</i> ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ	58
<i>М. А. Морозова, А.Ю. Шараевская</i> ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПРЕЩЁННЫХ ЗОН В СТРУКТУРЕ ДВУХ МАГНОННЫХ КРИСТАЛЛОВ С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ ОТНОСИТЕЛЬНО ДРУГ ДРУГА	59
<i>Е.Н. Бегинин, С.Е. Шешукова, А.В. Садовников</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПРЕЩЕННЫХ ЗОН МАГНОННОГО КРИСТАЛЛА С ПЕРИОДИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ШИРИНЫ	61
<i>С.А. Корчагин, Д.В. Терин, О.Ю. Кондратьева</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, ИМЕЮЩЕГО ВИД ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ	62
<i>В.И. Демидчик, Р.В. Корнев</i> МАТЕРИАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОМПОЗИТНЫХ СРЕД, СОДЕРЖАЩИХ ПРОВОДЯЩИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ	64
<i>Д.А.Усанов, А.Э.Постельга, Т.С.Бочкова, В.Н.Гаврилин</i> АГЛОМЕРАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ	67
<i>Н.А. Захаров, Т.В. Захарова</i> ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЧ НА РАЗМЕР И МОРФОЛОГИЮ НАНОКРИСТАЛЛОВ БИОСОВМЕСТИМОГО ГИДРОКСИАПАТИТА ПРИ СИНТЕЗЕ ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ	69
<i>О.Ю. Кондратьева, Д.В. Терин, Р.А. Сафонов, Е.М. Ревзина, Е.В. Кондратьева</i> К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ НАНОКОМПОНЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОНЯТИЯ КОПУЛЫ	72
<i>С.П. Романчук, Д.В. Терин, Е.М. Ревзина</i> ЭФФЕКТИВНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ СТАТИСТИЧЕСКОЙ СМЕСИ СФЕРОИДОВ	75
<i>К.К. Скрипаченко, С.Я. Пичхидзе</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА ФТОРПОЛИМЕРОВ	77
3. МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ	80
<i>С.В. Власкин, С.А. Дубовицкий, В.И. Петросян</i> РЕЗОНАНСНО-ВОЛНОВАЯ ТЕРАПИЯ И ДИАГНОСТИКА. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ	80
<i>Г.Г.Акчурин, Ге.Г.Акчурин, З.Х. Алибади, П.А.Тимошина</i> ДИНАМИКА ЛОКАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИК ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СЕРДЦЕ КРЫСЫ IN VIVO	83
<i>Д.А.Усанов, А.В. Скрипаль, Т.Б. Усанова, В.Б. Феклистов, С.Ю. Добдин</i> АНАЛИЗ АВТОДИННОГО СИГНАЛА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ	85
<i>И.В. Марченко, Г.С. Плотников, А.Н. Баранов, А.М. Салецкий, Т.В. Букреева</i> ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫЕ МИКРОКАПСУЛЫ С ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ В ОБОЛОЧКЕ	88

<i>Д.К. Тучина, П.А. Тимошина, О.А. Зюрюкина, А.Н. Башикатов, Э.А. Генина, В.В. Тучин</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОПТИЧЕСКОГО ПРОСВЕТЛЕНИЯ КОЖИ ЧЕЛОВЕКА IN VIVO	90
<i>В.В. Шунаев, Т.Р. Прыткова, О.Е. Глухова</i> РЕАКЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ТРАНСФЕРА В МОДИФИЦИРОВАННЫХ МУТАНТАХ ЦИТОХРОМА B562.....	93
<i>В.В. Петраш, И.Е. Никитюк, В.А. Кубасов</i> НЕИЗУЧЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ И СЛОИСТЫХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТКАНИ	96
<i>Н.И. Казадаева, А.Б. Правдин, Л.Е. Долотов, В.В. Тучин</i> ФОТООТБЕЛИВАНИЕ ДЕНТИНА В СРЕДАХ С РАЗЛИЧНЫМ ЗНАЧЕНИЕМ pH.....	98
<i>Н.В. Ткаченко, Е.В. Нарзыева, А.А. Серов, А.Б. Правдин</i> ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО АНТИОКСИДАНТА НА СТОЙКОСТЬ МЕМБРАН ЭРИТРОЦИТОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К ФОТОДИНАМИЧЕСКОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ	101
<i>А.В. Козловский, С.В. Стецюра</i> ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЕ СЛОЯ ГЛЮКОЗООКСИДАЗЫ ПРИ ЕЁ АДсорбЦИИ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ТРАНСДЮСЕР	104
<i>А.В. Неупокоева, А.Н. Малов, Ф.С. Малков, А.Ю. Самбялова, А.Ю. Дамбаева</i> ДИАГНОСТИКИ БИОЖИДКОСТЕЙ ПО КРИСТАЛЛОГРАММАМ.....	106
<i>Л.П. Ичкитидзе, Н.Ю. Шичкин</i> НАНОРАЗМЕРНЫЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ДАТЧИКАХ УЛЬТРАСЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ.....	108
<i>А.В. Неупокоева, А.Н. Малов, А.А. Вайчас</i> ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ.....	110
<i>А.А. Вайчас, А.Н. Малов, Е.А. Новикова</i> ДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ В ПРЕПАРАТАХ ЖЕЛЧИ.....	113
<i>Ю.С. Нагорнов</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МОДУЛЯ ЮНГА ЭРИТРОЦИТОВ ПОСЛЕ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ	115
<i>В.В. Бакуткин, И.В. Бакуткин В.Ф. Спирин, О.В. Фадеев, С.И. Бударина</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ ГИДРАТАЦИИ СТЕКЛОВИДНОГО ТЕЛА ГЛАЗА В КВЧ ДИАПАЗОНЕ	118
<i>О.В. Воробьева, О.Ф. Филенко, В.И. Юсупов, В.Н. Баграташвили</i> ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА <i>DAPHNIA MAGNA STRAUS</i>	120
<i>А.Д. Усанов, А.Э. Постельга, Д.Г. Верхов</i> ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ВОДНОГО РАСТВОРА СОЛИ СУЛЬФАТА МЕДИ (II).....	122
<i>Р.В. Шаймарданов</i> УСТРОЙСТВА ТРАНСУРЕТРАЛЬНОЙ МИКРОВОЛНОВОЙ ТЕРМОТЕРАПИИ ВНУТРИПОЛОСТНЫХ ОРГАНОВ.....	125
<i>А.П. Рытик, Д.А. Усанов</i> ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКОГО И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ХАРАКТЕР АВТОКОЛЕБАНИЙ РЕАКЦИИ БРИГГСА-РАУШЕРА	128
<i>Ю.М. Брумштейн</i> СРАВНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ НЕЙРОМЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПАЦИЕНТОВ В СВЯЗИ С ПРОВЕДЕНИЕМ АНЕСТЕЗИИ	131
<i>К.К. Жамова, А.Ю. Грязнов, В.Б. Бессонов, Н.Г. Староверов, Е.Д. Холопова, Р.В. Иванова, И.А. Бойко, А.В. Ободовский</i> ДОЗА ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ ПРИ МИКРОФОКУСНОЙ МАММОГРАФИИ.....	135
<i>В.В. Розанов, С.А. Шутеев, Н.Н. Сысоев, И.В. Матвейчук</i> ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ РЕЗКЕ	138
<i>Н.Г. Староверов, А.Ю. Грязнов, К.К. Жамова, Е.Д. Холопова, Р.В. Иванова, И.А. Бойко, В.Б. Бессонов, А.В. Ободовский</i> СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБРАТНО-РАССЕЯННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	140

4. ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА	142
<i>М. Saleh, Л.С. Кузьмин, Е.А. Матророва, А.В. Гордеева, А.В. Чигинев, А.Л. Панкратов, В.А. Малахов, А.С. Раевский</i> ФАЗИРОВАННЫЕ ЦЕЛЕВЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЁТКИ С РЕЗОНАНСНЫМИ БОЛОМЕТРАМИ НА ХОЛОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ.....	142
<i>Г.Г. Акчурин, Ге.Г. Акчурин</i> КОГЕРЕНТНОЕ ОПТОЭЛЕКТРОННОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ СВЧ И КВЧ КОЛЕБАНИЙ СО СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ ЧАСТОТЫ.....	144
<i>А.М. Светличный, О.А. Агеев, Е.Ю. Волков, А.С. Коломийцев, И.Л. Житяев, О.Б. Стиридонов, Р.В. Конакова, О.Б. Охрименко</i> РАБОТА ВЫХОДА ОСТРИЙНЫХ КАТОДОВ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ГРАФЕНА НА SiC.....	147
<i>А.А. Митрофанов, А.Р. Сафин, Н.Н. Удалов</i> ШИРИНА СПЕКТРАЛЬНОЙ ЛИНИИ СПИН-ТРАНСФЕРНОГО НАНООСЦИЛЛЯТОРА, СИНХРОНИЗИРОВАННОГО ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКОЙ ЧАСТОТЫ	150
<i>Г.Е. Дунаевский, И.О. Дорофеев, В.Ю. Штильной</i> СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОНСТРУКЦИЯ ДВУХПАРАМЕТРОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ НА БАЗЕ ОТКРЫТОГО СВЧ РЕЗОНАТОРА.....	153
<i>В.И. Занин, В.Б. Феклистов, Д.А. Трофимов</i> АНОМАЛЬНОЕ ОТРАЖЕНИЕ ВОЛНЫ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ С ПОЛУПРОВОДНИКОМ.....	155
<i>В.В. Суровцев, А.В. Садовников</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОПЕРЕЧНЫХ МОД ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ СПИНОВОЙ ВОЛНЫ В Г-ОБРАЗНОМ ФЕРРИТОВОМ ВОЛНОВОДЕ	157
<i>М.А. Константинова, К.В. Бубликов, А.В. Садовников</i> ОСОБЕННОСТИ ГИБРИДИЗАЦИИ ПОПЕРЕЧНЫХ МОД ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В СЛОИСТОЙ МУЛЬТИФЕРРОИДНОЙ СТРУКТУРЕ	159
<i>А.А. Грачев, С.А. Одинцов, А.В. Садовников, С.Е. Шешукова</i> РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СПИНОВЫХ ВОЛН В СВЯЗАННЫХ МУЛЬТИФЕРРОИДНЫХ СТРУКТУРАХ	161
<i>А.В. Садовников, К.В. Бубликов, Е.Н. Бегинин</i> ИССЛЕДОВАНИЕ НЕВЗАИМНЫХ СВОЙСТВ СЛОИСТОЙ МУЛЬТИФЕРРОИДНОЙ СТРУКТУРЫ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	163
<i>А.В. Садовников, Е.Н. Бегинин</i> УПРАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ СПИНОВЫХ ВОЛН В СИСТЕМЕ ЛАТЕРАЛЬНО СВЯЗАННЫХ МАГНИТНЫХ ВОЛНОВОДОВ....	164
<i>В.В. Зайцев, В.И. Занин</i> ДИСПЕРСИЯ ВОЛНОВОДНЫХ МОД ПРЯМОУГОЛЬНОГО ВОЛНОВОДА С ФРАКТАЛЬНЫМ ДИЭЛЕКТРИКОМ	165
<i>С.Г. Сучков, В.А. Николаевцев, С.С. Янкин, Д.С. Сучков, А.Ю. Павлова, Ю.А. Шатрова</i> КВАЗИПОЛЕВОЙ МЕТОД РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ	167
<i>А.Р. Сафин, П.А. Стремоухов, Н.Н. Удалов, А.Б. Устинов</i> КОМПЕНСАЦИЯ НЕИЗОХРОННОСТИ В РЕЗОНАТОРЕ С НЕЛИНЕЙНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ ПОТЕРЬ ПОД ГАРМОНИЧЕСКИМ ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ	169
5. ТЕРАГЕРЦОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	172
<i>В.Л. Вакс, А.Н. Папин, А.В. Семенова, Ю.С. Шатрова</i> ТЕРАГЕРЦЕВАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОДОБОТНОГО РЕЗОНАТОРА.....	172
<i>А.Е. Прохоров, А.А. Костина, О.А. Плехов</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРАГЕРЦОВОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБЛАСТИ КОНЦЕНТРАТОРОВ В ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ.....	175
<i>О.Е. Глухова, А.С. Колесникова, М.М. Слепченко</i> ТЕРАГЕРЦОВЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ОДНОСТЕННОЙ УГЛЕРОДНОЙ НАНОТРУБКИ ИНКАПСУЛИРОВАННОЙ ФУЛЛЕРЕНАМИ.....	176

<i>Д.А. Гомон, Е.А. Гурвиц, С.А. Андронаки, С. И. Гусев, С. Daskalaki, S. Tzortzakis, М.К. Ходзицкий</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ СТРУКТУР ОТ ВНУТРЕННЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ.....	178
<i>О.Е. Глухова, Д.А. Мельников, М.М. Слепченков</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРАУН-ЭФИРОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ МИНИАТЮРНЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ СИСТЕМ.....	180
<i>З.В. Гагкаева, Е.С. Жукова, К.А. Мотовилов, К.В. Сидорук, А.С. Тобохова, А.К. Гребенко, Л.С.Кадыров, П.И. Барзилович, В. Гриненко, М. Дрессель, В.И. Торгашев, Б.П. Горшунов</i> ТЕРАГЕРЦОВАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СВЯЗАННОЙ ВОДЫ В ПИЛЯХ ПРОВОДЯЩИХ БАКТЕРИЙ SHEWANELLA ONEIDENSIS MR-1.....	181
<i>С.И. Гусев, М.А. Боровкова, Е.А. Стрелитов, М.К. Ходзицкий</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ГЛЮКОЗЫ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРОВИ В ТГц ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ.....	182
<i>А.В. Семенова, В.Л. Вакс</i> РЕЗОНАНСНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЛЕКУЛЫ ДНК С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ В ТГц ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ.....	184
<i>В. Т. Ерофеев, В. Ф. Бондаренко</i> АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ С БИИЗОТРОПНЫМИ СФЕРИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ.....	187

2. Шур М. Современные приборы на основе арсенида-галлия. - М.:Мир. 1991. С.632.
3. Zhang Y., et al. Broadband high photoresponse from pure monolayer graphene photodetector // Nature Communications. 2013. V.4. P. 1811.
4. Акчурин Г.Г., Сучков С.Г. Возбуждение СВЧ сигнала в ПТШ с помощью лазерного излучения // Известия ВУЗ. Электроника. 1996. № 1-2. С. 99-105.
5. Пат. № 2494526 РФ. Способ получения электромагнитных колебаний в свч и квч диапазоне со сверхширокополосной перестройкой частоты / Акчурин Г.Г. опубл.10.10.2011. Бюл. 28.

РАБОТА ВЫХОДА ОСТРИЙНЫХ КАТОДОВ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК ГРАФЕНА НА SiC

*А.М. Светличный¹, О.А. Агеев¹, Е.Ю. Волков¹, А.С. Коломийцев¹,
И.Л. Житяев¹, О.Б. Спирidonov², Р.В. Конакова³, О.Б. Охрименко³*

¹Южный федеральный университет, Институт нанотехнологий,
электроники и приборостроения, г. Таганрог

² Южный Лазерный Инновационно-Технологический Центр,
г. Таганрог

³Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева Национальной академии наук Украины, г. Киев

[†]E-mail: olga@isp.kiev.ua

В настоящее время одним из перспективных направлений в использовании графена и графеноподобных материалов в автоэмиссионной электронике является создание острижных катодов на основе пленок графена на карбиде кремния. Для создания таких катодов оказалось наиболее продуктивным использовать получение графена с помощью сублимационной эпитаксии SiC [1] и современных методов нанотехнологий. Вместе с тем в связи со сложностью данных технологических процессов электрические характеристики таких острижных катодов недостаточно изучены.

Целью настоящей работы является исследование вольт-амперных характеристик (ВАХ) автоэмиссионных катодов на основе пленок графена, выращенных на сильнолегированной подложке $n^+6H-SiC$.

Пленки графена были получены методом термического разложения карбида кремния в вакууме [1]. Подложками служили сильнолегированные азотом с концентрацией примеси $\sim 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ пластины $6H-SiC$. Формирование острижных катодов нанометровых размеров производилось фокусированными ионными пучками с помощью комплекса Nova Nanolab 600.

Фотография, полученная на растровом электронном микроскопе (РЭМ), острижного катода с радиусом закругления вершины острия 40 нм показана на рис.1.

Вольт - амперные характеристики (ВАХ) макетов острижных катодов измерялись на сканирующей зондовой нанолaborатории Ntegra Vita при фикс-

сированном межэлектродном расстоянии 5 нм с использованием изготовленного вольфрамового зонда с радиусом закругления 200 нм.

На рис.2а, кривая 1 приведена ВАХ автоэмиссионный катод – зонд. Радиус закругления вершины катода 40 нм. На вставке показана рассчитанная зависимость эмитирующей поверхности катода от напряжения.

На основе геометрических размеров сформированных автокатодов и данных из ВАХ проведено моделирование распределения электрического поля между автоэмиссионным катодом и зондом. По результатам моделирования были рассчитаны напряженность электрического поля и площадь эмитирующей поверхности.

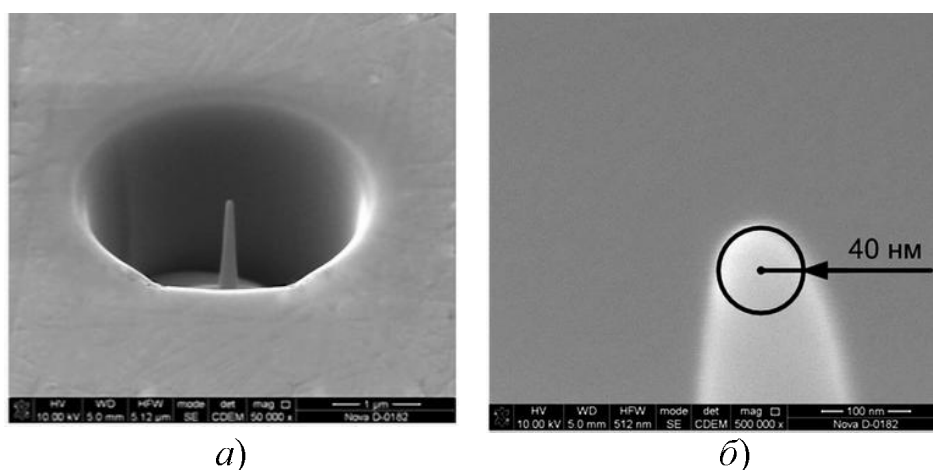


Рис. 1. РЭМ изображения полученных автоэмиссионных катодов: а) общий вид; б) изображение вершины автокатаода

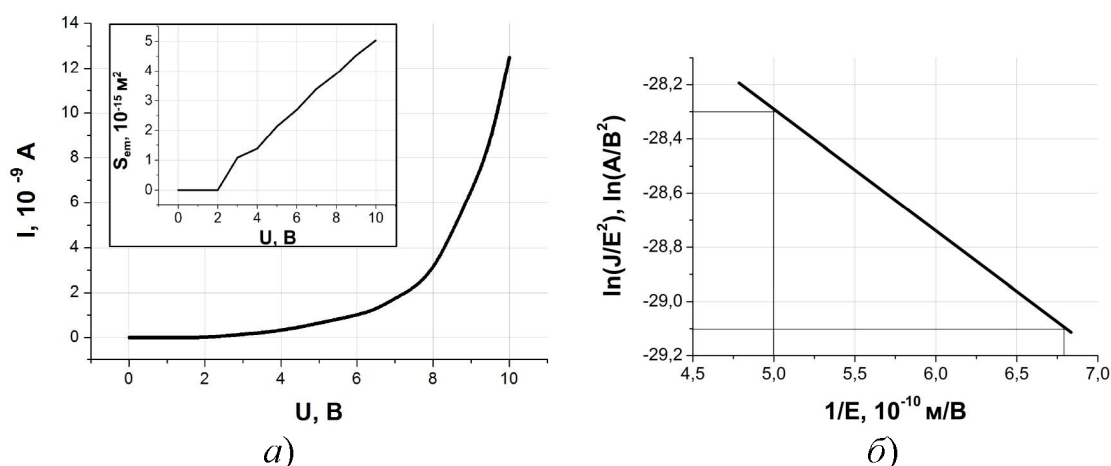


Рис. 2. а) ВАХ системы автоэмиссионный катод – зонд при межэлектродном расстоянии 5 нм. На вставке - зависимость $S=f(U)$ площади эмитирующей катода поверхности при межэлектродном расстоянии 5 нм; б) Экспериментальная вольт-амперная характеристика в координатах Фаулера-Нордгейма

На рис. 2 б приведена ВАХ, построенная в координатах Фаулера-Нордгейма $\ln\left(\frac{J}{E^2}\right) = f\left(\frac{1}{E}\right)$, для системы автоэмиссионный катод-зонд.

Видно, что полученная зависимость носит линейный характер, что справедливо для автоэлектронной эмиссии. Тогда в соответствии с уравнени-

ем Фаулера-Нордгейма, описывающим автоэлектронную эмиссию, по наклону прямой можно определить работу выхода электронов из острия катода.

В этом случае наклон прямой выражается формулой:

$$k = \operatorname{tg} \varphi = \frac{d \ln \left(\frac{J}{E^2} \right)}{d \left(\frac{1}{E} \right)} = -B \varphi^{3/2}, \text{ где } B = 6.83 \cdot 10^9 \text{ эВ}^{-3/2} \cdot \text{В} \cdot \text{м}^{-1}.$$

С учетом этой формулы и рис. 2б величина $k \approx -4.57 \cdot 10^9 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$. Тогда в соответствии с формулой $k = -B \varphi^{3/2}$, соответственно, $\varphi \approx 0.76 \text{ эВ}$.

Такая величина работы выхода электронов существенно меньше работы выхода из графена, приведенной в [2] и составляющей $\sim 4.3 \text{ эВ}$ для одного монослоя и $\sim 4.6 \text{ эВ}$ для 10 монослоев графена. Проведенная выше оценка φ из измерений ВАХ отличается и от данных по работе выхода электронов из кристаллического графита и карбида кремния [2,3]. Однако полученную в нашем эксперименте величину φ , меньшую, чем для монослоев графена, можно объяснить, если полагать, что источником автоэмиссии может быть наличие нанокластеров графена на острие катода. В пользу нанокластерной природы автоэмиссии из острийных катодов свидетельствует, как это видно из ВАХ, пороговая величина электрического поля и тока автоэлектронной эмиссии, которые в нашем эксперименте оказались существенно ниже, чем для обычных острийных катодов.

Таким образом, приведенные результаты показали, что на основе нанокластерных пленок графена, полученных на остройной поверхности сильнелегированного $n^+ \text{SiC}$ методом сублимационной эпитаксии, возможно формирование низкопороговых автоэмиссионных катодов со сравнительно низкой работой выхода электронов из покрытых графеном острийных катодов.

Библиографический список

1. Лебедев А.А., Котоусова И.С., Лаврентьев А.В., Лебедев С.П., Дементьев П.А., Петров В.Н., Смирнов А.Н., Тутков А.Н. Исследование пленок мультиграфена, получаемых на поверхности SiC методом сублимации // ФТТ. 2010. Т. 52, №4. С. 799-805.
2. Hibino H., Kageshima H., Nagase M. Epitaxial few-layer graphene: toward single crystal growth // J. Phys. D: Appl. Phys. 2010. V.43, N. 374005-1-14.
3. Фоменко В.С. Эмиссионные свойства материалов. - Справочник. Киев: Наукова думка, 1981. 339 с.