

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР А. М. ШАЛАГИН

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: Ю. Н. ЗОЛОТУХИН,
В. К. МАЛИНОВСКИЙ

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ В. П. БЕССМЕЛЬЦЕВ
Институт автоматики и электрометрии СО РАН

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. Л. АСЕЕВ	Сибирское отделение РАН
И. В. БЫЧКОВ	Институт динамики систем и теории управления СО РАН
С. Н. ВАСИЛЬЕВ	Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН
Ю. И. ЖУРАВЛЕВ	Вычислительный центр им. А. А. Дородницына РАН
В. С. КИРИЧУК	Институт автоматики и электрометрии СО РАН
Г. Н. КУЛИПАНОВ	Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН
Ю. Н. КУЛЬЧИН	Дальневосточное отделение РАН
Г. Г. МАТВИЕНКО	Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН
Е. С. НЕЖЕВЕНКО	Институт автоматики и электрометрии СО РАН
О. И. ПОТАТУРКИН	Институт автоматики и электрометрии СО РАН
В. А. СОЙФЕР	Институт систем обработки изображений РАН
А. А. СПЕКТОР	Новосибирский государственный технический университет
Ю. В. ЧУГУЙ	Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН
В. Ф. ШАБАНОВ	Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН
Ю. И. ШОКИН	Институт вычислительных технологий СО РАН

УЧРЕДИТЕЛИ ЖУРНАЛА:

Сибирское отделение РАН,
Институт автоматики и электрометрии СО РАН

Приглашённый редактор чл.-корр. РАН А. В. ДВУРЕЧЕНСКИЙ

Заведующая редакцией Р. П. ШВЕЦ

Сдано в набор 24.03.2014. Подписано в печать 26.05.2014. Формат (60 × 84) 1/8. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 13,95. Усл. кр.-отт. 11,2. Уч.-изд. л. 11,2. Тираж 170 экз. Свободная цена. Заказ № 111.
Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания
и средств массовых коммуникаций 31.05.2002.
Свидетельство ПИ № 77-12809

Адрес редакции: Институт автоматики и электрометрии СО РАН,
просп. Академика Коптюга, 1, Новосибирск 630090,
тел. 8 (383) 330-79-38, E-mail: automr@iae.nsk.su
<http://sibran.ru>

Издательство СО РАН, Морской просп., 2, Новосибирск 630090.
Отпечатано на полиграфическом участке Издательства СО РАН

© Сибирское отделение РАН,
Институт автоматики и
электрометрии СО РАН, 2014

А В Т О М Е Т Р И Я

ОСНОВАН В ЯНВАРЕ 1965 ГОДА

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

Том 50

2014

№ 3

МАЙ — ИЮНЬ

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие к тематическому выпуску «Полупроводниковые наногетероструктуры» 3

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭПИТАКСИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУР

Никифоров А. И., Тимофеев В. А., Тийс С. А., Пчеляков О. П. Формирование наногетероструктур Ge/Si и Ge/Ge_xSi_{1-x}/Si методом молекулярно-лучевой эпитаксии 5

Емельянов Е. А., Феклин Д. Ф., Путятю М. А., Семягин Б. Р., Гутаковский А. К., Селезнев В. А., Василенко А. П., Абрамкин Д. С., Пчеляков О. П., Преображенский В. В., Zhicuan N., Haiqiao N. Гетероэпитаксия плёнок A^{III}B^V на вицинальных подложках Si(001) 13

Сидоров Ю. Г., Якушев М. В., Колесников А. В. Дислокации в гетероэпитаксиальных структурах теллурида кадмия на подложках из арсенида галлия и кремния 25

Федина Л. И., Гутаковский А. К., Латышев А. В. Атомная структура протяжённых дефектов в имплантированных бором слоях кремния 34

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РОСТА, ПОЛЕЙ ДЕФОРМАЦИЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА НАНОГЕТЕРОСТРУКТУР

Новиков П. Л., Смагина Ж. В., Двуреченский А. В. Исследование формирования наностростровков германия на структурированных подложках кремния методом молекулярной динамики 41

Блошкин А. А. Межуровневые оптические переходы в квантовых ямах Si/Ge_xSi_{1-x}/Si 47

Павский К. В., Курносое М. Г., Поляков А. Ю. Инструментарий оптимизации параллельного моделирования наноструктур с квантовыми точками 56

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФОТОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУР

Степина Н. П., Вальковский В. В., Двуреченский А. В., Никифоров А. И., Moers J., Gruetzmacher D. Мезоскопические структуры с квантовыми точками Ge в Si для однофотонных детекторов 62

Володин В. А. Электрон-фононное взаимодействие и комбинационное рассеяние света в легированных сверхрешётках GaAs/AlAs 68

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУРЫ ДЛЯ СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКИ И СПИНТРОНИКИ

Шестаков А. К., Журавлев К. С. Анализ СВЧ-потерь в гетероструктурных *pin*-диодах AlGaAs/GaAs 74

Сейфи В. А., Принц В. Я. Спектральные характеристики СВЧ- и ИК-метаматериалов с трёхмерными резонаторами 82

Кожемякина Е. В., Журавлев К. С. Влияние спиновой поляризации экситонов на энергетический спектр гетероструктур GaAs/AlGaAs.....	87
---	----

МНОГОСЛОЙНЫЕ ГЕТЕРОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Черкова С. Г., Качурин Г. А., Володин В. А., Черков А. Г., Марин Д. В., Скуратов В. А. Фазовое расслоение как основа формирования светоизлучающих нанокластеров кремния в плёнках SiO _x при облучении быстрыми тяжёлыми ионами.....	93
Небогатикова Н. А., Антонова И. В., Комонов А. И., Принц В. Я. Создание массивов квантовых точек графена и мультиграфена в матрице фторографена.....	101
Гутаковский А. К., Свешникова Л. Л., Бацанов С. А., Ерюков Н. А. Электронно-микроскопические исследования нанокристаллов CuS, сформированных в плёнках Ленгмюра — Блоджетт.....	108
Исламов Д. Р., Гриценко В. А., Ченг Ч. Х., Чин А. Механизм переноса носителей заряда в диэлектриках с высокой диэлектрической проницаемостью и основанных на них элементах резистивной памяти.....	115
Паращенко М. А., Филиппов Н. С., Кириенко В. В., Романов С. И. Электроосмотический насос на основе асимметричных кремниевых микроканальных мембран.....	121

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТЕМАТИЧЕСКОМУ ВЫПУСКУ «ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУРЫ»

Предлагаемый выпуск журнала является продолжением тематической публикации результатов междисциплинарных научных исследований (Автометрия. 2013. Т. 49, № 5), направленных на решение фундаментальных проблем в области полупроводниковых наногетероструктур с квантовыми ямами, квантовыми проволоками, квантовыми точками и их комбинациями, ориентированных на создание приборов и устройств нанофотоники, СВЧ-электроники, спинтроники, сенсорики.

Фундаментальные проблемы эпитаксии, численное моделирование процессов роста, полей деформации и энергетического спектра, фундаментальные проблемы фотонных устройств на основе полупроводниковых наногетероструктур, СВЧ-электроники и спинтроники, многослойные гетерофазные электронные материалы — это комплекс проблем, вклад в решение которых вносят результаты работ, включённых в тематический выпуск предлагаемого издания.

Современная полупроводниковая электроника базируется главным образом на кремнии. Кремний является материалом № 1 в производстве микросхем и устройств на их базе: компьютеры, навигационные системы и системы связи, цифровое телевидение, мобильные телефоны, солнечная энергетика, силовая электроника. Стремительное развитие полупроводниковой электроники, основанное на востребованности производимых изделий в массовом масштабе, обеспечило устойчивую модернизацию современной кремниевой технологии, уровень которой в настоящее время значительно превышает уровень технологий других полупроводниковых материалов. Именно поэтому для расширения спектра необходимых функциональных возможностей проводятся работы по сращиванию кремния с другими материалами с последующим использованием достижений кремниевой технологии.

В данном выпуске приводятся работы по гетероэпитаксии GaAs, CdTe/ZnTe и Ge на кремнии. Методом молекулярно-лучевой эпитаксии плёнки GaAs можно выращивать либо непосредственно на поверхности кремния, либо через переходные слои, например GaP/Si. Привлекательность фосфида галлия обусловлена тем, что постоянная его кристаллической решётки близка к постоянной решётки кремния. Это позволяет разделить задачу зарождения эпитаксиального слоя полярного полупроводника GaP на неполярном Si и задачу перехода от постоянной решётки Si к постоянной решётки GaAs (Е. А. Емельянов, О. П. Пчеляков, В. В. Преображенский и др.). Выявлены механизмы зарождения на начальных стадиях формирования гетероэпитаксиальных структур CdTe/ZnTe/Si(301) и CdTe/ZnTe/GaAs(301) в методе молекулярно-лучевой эпитаксии, обеспечивающие снижение плотности прорастающих дислокаций (Ю. Г. Сидоров и др.). Методом дифракции быстрых электронов и сканирующей электронной микроскопии, построена кинетическая диаграмма роста Ge на Si. Определены энергии активации, соответствующие переходу от двумерного к трёхмерному росту плёнки Ge (А. И. Никифоров и др.).

Одна из приоритетных задач физики низкоразмерных систем — создание пространственно упорядоченных ансамблей полупроводниковых квантовых точек. Эффективным путём решения проблемы неоднородного распределения квантовых точек по размерам и их случайного пространственного распределения является создание мест преимущественного зарождения при последующей гетероэпитаксии. Результаты на базе метода молекулярной динамики позволили описать механизм атомной диффузии на структурированной поверхности (П. Л. Новиков и др.). Разработан инструментарий (модели, алгоритмы и программное обеспечение) оптимизации выполнения параллельных программ на мультиархитектурных распределённых вычислительных системах (К. В. Павский и др.).