МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В Е С Т Н И К
ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ОБЩЕНАУЧНЫЙ ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 285 Январь 2005

Серия «Физика»

Свидетельства о регистрации: бумажный вариант № 018694, электронный вариант № 018693
выданы Госкомпечати РФ 14 апреля 1999 г.
ISSN: печатный вариант – 1561-7793; электронный вариант – 1561-803X
от 20 апреля 1999 г. Международного Центра ISSN (Париж)

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК,
посвященный 50-летию организации в ТГУ научного и образовательного направлений по физике полупроводников

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 2

ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАУЧНОГО И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЙ

Вяткин А.П., Кривов М.А., Лаврентьева Л.Г. История организации и становления научного направления по физике полупроводников в Томском университете и Сибирском физико-техническом институте 3
Романова И.Д. Научно-исследовательскому институту полупроводниковых приборов 40 лет 13
Лаврентьева Л.Г., Ивонин И.В. Основные этапы развития научного направления по эпитаксии полупроводников в СФТИ 17
Воеводин В.Г. Лаборатория полупроводникового материаловедения СФТИ 24
Хлудков С.С. Становление и развитие лаборатории физики полупроводников 28
Вяткин А.П., Вилисов А.А. Развитие физико-технологических основ создания полупроводниковых приборов 33
Войцеховский А.В., Коханенко А.П. Высокочувствительные приемники оптического излучения 39
Мокроусов Г.М. Физико-химические аспекты электронного материаловедения 43
Войцеховский А.В., Гаман В.И., Гермогенов В.П., Ивонин И.В., Лаврентьева Л.Г., Мокроусов Г.М. Подготовка специалистов в области физики и техники полупроводников в Томском госуниверситете 47

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ (ОБЗОРЫ)

Караваев Г.Ф., Гриняев С.Н., Чернышов В.Н. Исследование электронных процессов в наноструктурах 53
Воеводин В.Г., Чалдышев В.А. Исследование тройных полупроводников $A^2B^4C_2^5$ 63
Лаврентьева Л.Г., Вилисова М.Д., Ивонин И.В. Газофазовая эпитаксия арсенида галлия 74
Хлудков С.С. Диффузия примесей в арсениде галлия, диффузионные структуры и приборы 84
Брудный В.Н. Радиационные эффекты в полупроводниках 95
Гермогенов В.П. От сплавных контактов к эпитаксиальным гетероструктурам 103
Гаман В.И. Электронные процессы в полупроводниковых диодах и структурах металл – диэлектрик – полупроводник 112
Вяткин А.П., Максимова Н.К., Филонов Н.Г. Электрофизические свойства структур с барьером Шоттки на GaAs 121
Божков В.Г., Лукаш В.С. Полупроводниковые СВЧ-приборы 129
Криворотов Н.П., Изаак Т.И., Ромась Л.М., Свинолупов Ю.Г., Щеголь С.С. Микроэлектронные сенсоры давления 139
Вилисов А.А. Светоизлучающие диоды 148
Толбанов О.П. Детекторы ионизирующих излучений на основе компенсированного арсенида галлия 155
Войцеховский А.В., Несмелов С.Н. Фотоэлектрические инфракрасные детекторы с управляемой спектральной характеристикой 164

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 172

РЕФЕРАТЫ СТАТЕЙ НА РУССКОМ И АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКАХ 174

В.Г. Воеводин

ЛАБОРАТОРИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ СФТИ

В мае этого года лаборатория полупроводникового материаловедения (ЛПМ) Сибирского физико-технического института отметила свой двадцатилетний юбилей. Она была создана в мае 1984 г. на базе трёх лабораторий: физики полупроводников, люминесценции и химико-технологической. Основным направлением деятельности лаборатории все эти годы являлось создание физико-химических основ технологии сложных полупроводников.

Объектами теоретических и экспериментальных исследований, проводимых в ЛПМ, являлись сложные полупроводники типа $A^2B^4C_2^5$ (A^2 – Cd, Zn, B^4 – Sn, Ge, Si, C^5 – As, P), $A^1B^3C_2^6$ (A^1 – Ag, B^3 – Ga, C^6 – Se, S), а также соединения Tl_3AsSe_3, $HgGa_2S_4$, $TlGaSe_2$, $A_3^3B^4C_5^7$ (A^3 – Tl, B^4 – Pb, C^7 – Cl, Br), $A_3^1B^5C_3^6$ (A^1 – Ag, B^5 – Sb, As, C^6 – S) и GaSe. Объединяющей особенностью и достоинством данных полупроводников является способность большинства из них служить основой нелинейно-оптических элементов и в качестве компонентов лазерных систем широко применяться везде, где требуются обладающие высокими технологическими и эксплуатационными параметрами источники когерентного излучения ИК-диапазона, от оборонной промышленности до медицины и сельского хозяйства.

Наибольших успехов в плане выращивания, характеризации и использования полупровдниковых кристаллов сотрудники ЛПМ достигли для соединений:

- дифосфида цинка-германия ($ZnGeP_2$);
- диарсенида кадмия-германия ($CdGeAs_2$);
- ортоселеноарсенида таллия (Tl_3AsSe_3);
- диселенида таллия-галлия ($TlGaSe_2$) и
- селенида галлия (GaSe).

Данные кристаллы обнаружили свои наиболее уникальные качества в связи с развитием как фундаментальных исследований в области нелинейной оптики, так и прикладных направлений, призванных разработать конечные элементы для практических целей. Благодаря высоким значениям нелинейной восприимчивости и лучевой прочности, широким диапазонам температурного, спектрального и углового синхронизма, монокристаллы этих соединений относятся к наиболее перспективным нелинейным оптическим материалам для среднего ИК-диапазона, затребованным в таких областях лазерной физики и техники, как атмосферный газоанализ, медицинская диагностика и лечение, научное приборостроение, оптическая связь, оптическая обработка и хранение информации, подводная связь и телевидение, разделение изотопов и др. Параметрические преобразователи на основе этих кристаллов характеризуются высокими техническими и эксплуатационными параметрами, в т.ч. нежесткими требованиями к юстировке, вибрации и стабилизации температуры [1].

Возможности успешного практического использования решающим образом определяются достижениями в области технологии получения монокристаллов высокого оптического качества.

Сотрудники лаборатории полупроводникового материаловедения, 1985 г.

Первый ряд слева направо: И.И. Мосина, Н.Л. Батурина, зав. лаб. д. ф.-м. н. В.Г. Воеводин, М.А. Петров, И.М. Винокурцева, М.П. Фурман; второй ряд: М.А. Иванова, С.А. Березная, О.П. Горбачёва, Н.И. Сидельникова, к. ф.-м. н. П.Е. Рамазанов, к. ф.-м. н. В.В. Нуварьева, Т.А. Давыдова, д. ф.-м. н. О.В. Воеводина; третий ряд: к. ф.-м. н. А.Н. Морозов, к. ф.-м. н. А.И. Грибенюков, к. ф.-м. н. Г.Т. Вилисов, З.В. Коротченко, Г.Д. Ахметбеков, Ю. М. Канурин

Базовые характеристики получаемых в ЛПМ нелинейно-оптических полупроводников

Материал	GaSe	$ZnGeP_2$	$CdGeAs_2$	Tl_3AsSe_3
Коэффициент поглощения α, $см^{-1}$ На длинах волн в диапазоне прозрачности, мкм	≤ 0,1 0,7 – 18	≤ 0,2 ≤ 0,1 0,2 2,1 2,5 – 8 10	≤ 0,2 2,5 – 16	≤ 0,1 2 – 17
Размеры монокристаллов - диаметр, мм - длина, мм	 60 150	 35 150	 20 60	 40 80
Размеры нелинейно-оптических элементов, мм × мм × мм	≤ 20 × 20 × 50	≤ 15 × 15 × 25	≤ 10 × 10 × 15	(слитки)

Разработанные в лаборатории технологии производства монокристаллов большого размера с малыми оптическими потерями, методики оптимизации размеров и ориентации, технологии обработки поверхности оптических элементов позволяют реализовать широкий набор высокоэффективных генераторов гармоник и комбинационных частот импульсного и непрерывного излучения CO_2-, CO-, NH_3-, YAG:Ho-, YAG:Er- и других лазеров. Базовые характеристики основных, получаемых в ЛПМ нелинейно-оптических полупроводников приведены в таблице.

В 1986 – 1988 гг., по инициативе академика В.Е. Зуева сотрудники ЛПМ разработанную технологию получения одного из выращиваемых в лаборатории тройных нелинейно-оптических кристаллов – дифосфида цинка-германия $ZnGeP_2$ – продублировали и поставили в СКБ «Оптика» (ныне ИОМ СО РАН).

В 1997 г. сотрудниками лаборатории полупроводникового материаловедения Сибирского физико-технического института создан «Научно-исследовательский центр – Авангардные технологии оптических материалов» («НИЦ-АТОМ»), основным видом деятельности которого является создание нелинейно-оптических элементов, используемых для создания современных лазерных систем ИК-диапазона. Деятельность Центра является результатом использования высоких технологий, разработанных сотрудниками лаборатории с учетом самых современных достижений ведущих мировых центров в этой области, и в первую очередь – томской школы полупроводникового материаловедения.

В настоящее время лаборатория полупроводникового материаловедения СФТИ в партнерстве с «НИЦ-АТОМ» занимает ведущие позиции в области создания нелинейно-оптических кристаллов. Большинство последних научно-исследовательских работ, выполняемых (большей частью, к сожалению, зарубежными исследователями) в области преобразования частоты излучения ИК-лазеров в $ZnGeP_2$ и GaSe, проводятся с использованием нелинейно-оптических кристаллов, изготовленных коллективом сотрудников лаборатории.

Создаваемые в ЛПМ элементы являются уникальными по своим характеристикам и объективно признаются исследователями и экспертами лучшими среди мировых аналогов.

Высокое качество выращиваемых материалов и изготавливаемых элементов обеспечивается, в первую очередь, высоким уровнем собственных исследовательских работ по материаловедению нелинейно-оптических кристаллов, наличием разработанного математического обеспечения и комплекса программ для моделирования и оптимизации как технологических процессов, так и процессов преобразования частоты лазерного излучения в нелинейно-оптических кристаллах, а также планарных волноводах на их основе. С участием сотрудников ЛПМ вышло в свет около 250 научных публикаций в различных отечественных и зарубежных изданиях. СФТИ является собственником большого пакета «know-how», авторских свидетельств и патентов, полученных д.ф.-м.н. В.Г. Воеводиным с сотрудниками. Около ста докладов было сделано на всесоюзных и международных конференциях, семинарах, симпозиумах, школах с участием сотрудников лаборатории. Лаборатория неоднократно являлась участником и лауреатом различных международных, всесоюзных и региональных выставок. Так, за экспонаты лаборатории полупроводникового материаловедения, представленные на ВДНХ СССР, сотрудники ЛПМ были отмечены медалями «За успехи в народном хозяйстве СССР» и «Лауреат ВДНХ СССР».

В 1998 г. «НИЦ-АТОМ» был награжден Дипломом Министерства внешнеэкономических связей России «Лучший российский экспортер 1998 года», а в 2003 г. признан победителем в Томском областном конкурсе «Лучший участник внешнеэкономической деятельности».

Как уже было отмечено, помимо выпуска наукоемкой и высокотехнологичной продукции для использования в прикладных устройствах в ЛПМ продолжаются фундаментальные исследования свойств сложных полупроводников, ведутся работы по характеризации получаемых кристаллов, измерению и анализу их свойств с целью продвижения дальнейших исследований по улучшению качества уже выращиваемых [2 – 17] и по созданию новых материалов [18 – 27]. Так, в последнее время были выполнены теоретические и экспериментальные работы по оптимизации параметров технологии получения и легирования кристаллов $ZnGeP_2$ газофазным методом химических транспортных реакций [14], в результате выполнения которых получены монокристаллы $ZnGeP_2$ массой до 24 г.

С выходом на передовой рубеж мировой науки такой отрасли электроники, как спинтроника (магнитоэлектроника) сотрудники лаборатории активно включились в работу по созданию и исследованию нового класса материалов – магнитных полупроводников. Бурное развитие отрасли стимулировалось, в первую очередь, полученной возможностью упаковки беспрецедентно большого количества информации на каждом квадратном миллиметре кристалла за счёт эксплуатации такого квантового свойства электрона, как спин. Впоследствии возникла мысль добавить к возможностям ферромагнитов возможности полупроводников, то есть использовать одновременно свойства спина и заряда электрона в одном материале. Новая многофункциональная электроника сможет объединить логику, память, коммуникации на одном чипе, будет обладать такими уникальными возможностями, которые трудно себе представить.

Для своего решения задача создания нового класса материалов требовала ответа на множество вопросов. Как экономичным способом объединить ферромагнитный металл и полупроводник в интегральной схеме? Как создать полупроводник, который будет ферромагнитными при комнатной температуре? Как долго может спин-ток сохранять свою поляризацию в полупроводнике? Что случится со спин-током на границе между различными полупроводниками?

Для ответа на эти и другие вопросы в ЛПМ с использованием различных технологических приёмов были созданы и исследованы объёмные монокристаллы $Zn_xMn_{1-x}GeP_2$ и структуры – ферромагнитный слой $Zn_xMn_{1-x}GeP_2$ на немагнитной подложке $ZnGeP_2$. К настоящему моменту результаты исследований полученных в лаборатории образцов представлены на пяти международных конференциях и отражены в десяти публикациях [18 – 27]. Результаты подтверждают преимущество магнитных полупроводников на основе тройных кристаллов $A^2B^4C^5_2$ по сравнению с ферромагнитами на основе A^3B^5 и A^2B^6 .

Также в последнее время в лаборатории был выполнен большой цикл работ по исследованию возможностей кардинального улучшения параметров и эксплуатационных характеристик кристаллов селенида галлия, в том числе и путем легирования его изовалентными примесями [2, 15 – 17]]. Помимо того, что GaSe относится к числу лучших нелинейно-оптических кристаллов (широкий диапазон прозрачности, малое поглощение, значительная нелинейная восприимчивость, высокие лучевая прочность и коэффициент качества), можно упомянуть также о том, что сотрудничающими с лабораторией полупроводникового материаловедения исследователями [28], из Lehigh University и Air Force Research Laboratory, США был создан на основе GaSe, полученного в ЛПМ, компактный источник терагерцевого излучения с диапазоном перестройки более 5 ТГц, высокой устойчивостью и высокой пиковой мощностью (69,4 Вт на длине волны 196 мкм). Перспективность использования терагерцевого излучения определяется его уникальной способностью проникать через материалы, непрозрачные для видимого и инфракрасного излучения, например, через туман, ткани, пластмассу, дерево, керамику и даже несколько сантиметров кирпича. В свете объявленной по всему миру борьбы с терроризмом представляет несомненный интерес создание оборудования, «видящего» оружие под одеждой и способного обнаруживать и классифицировать неизвестные порошки, запечатанные внутри подозрительных конвертов, преобразователей изображения, способных «видеть» при плохой погоде; спектроскопов для анализа структуры новых веществ, в том числе и наркотических. Способ, которым терагерцевые волны взаимодействуют с живой материей, делают их весьма перспективным для биомедицинских приложений. Это еще раз подчеркивает актуальность результатов выполненной в ЛПМ работы по улучшению качества и эксплуатационных характеристик нелинейно-оптических элементов на GaSe, являющихся главной функциональной частью вышеупомянутого источника терагерцевого излучения.

Как в области магнитной электроники, так и в других областях своей деятельности сотрудники ЛПМ активно развивают практику проведения совместных с сотрудниками других отечественных и зарубежных научных центров исследований. На базе полученных в ЛПМ образцов отечественные и зарубежные лаборатории с использованием своих установок и возможностей изучают свойства полученных в ЛПМ сложных полупроводниковых материалов, определяют практические пути реализации наблюдаемых в них новых эффектов и решают вопросы модернизации элементной базы нелинейной оптики, полупроводниковой электроники в целом.

В число стран, с исследователями которых имеют научные связи сотрудники лаборатории полупроводникового материаловедения СФТИ, входят Германия, Австрия, Франция, Великобритания, Норвегия, США, Канада, Турция, Япония, Китай, Индия и другие.

Результатом таких общих исследований являются совместные публикации [2 – 5, 16 – 23], совместное участие в международных научных конференциях [16 – 23], семинарах и выставках, командировки сотрудников ЛПМ для работы в ведущих исследовательских центрах мира.

В свою очередь, зарубежные контакты приводят к дальнейшему укреплению репутации Сибирского физико-технического института как одного из лидеров в области материаловедения сложных нелинейно-оптических полупроводниковых кристаллов, к расширению пакета заказов и приглашений к сотрудничеству. Кроме того, важным результатом такой деятельности является получение международных грантов, то есть прямые инвестиции в развитие томского научного сообщества и СФТИ в частности.

Сибирский физико-технический институт в 1999 – 2004 гг. благодаря деятельности лаборатории полупроводникового материаловедения выполнил два гранта Международного научно-технического центра, направленных на исследование дальнейших возможностей кардинального улучшения качества и эксплуатационных параметров кристаллов для применения в прикладной нелинейной оптике («Исследование возможности получения полуизолирующих кристаллов $CdGeAs_2$ путем легирования глубокими примесями» и «Монокристаллы селенида галлия: выращивание и легирование изовалентными примесями»). Были успешно выполнены гранты от Министерства образования Российской Федерации по Межвузовской научно-технической программе «Конверсия и высокие технологии. 1997 – 2000 годы» (Научное направление «Новые материалы и химические продукты»), грант INTAS «Mid infrared laser nonlinear spectroscopy», грант Минобразования РФ «Разработка физико-химических основ и оптимизация технологии получения крупных монокристаллов сложного состава и нелинейно-оптических элементов на их основе для лазерных систем среднего ИК-диапазона». Совместно с сотрудниками факультета неорганической химии МГУ в 2001 – 2002 гг. были проведены исследования по гранту РФФИ «Управление нестехиометрией неорганических соединений с помощью химических транспортных реакций», направленные на решение одной из фундаментальных проблем неорганической химии – развития новых методов синтеза соединений с заданными свойствами.

Надежной основой для планирования дальнейшей деятельности коллектива ЛПМ является большой научно-технический задел в области материаловедения анизотропных оптических кристаллов, полученный за последние годы. В процессе дальнейшей деятельности планируется продолжить существующее в данный момент сотрудничество с отечественными и зарубежными партнерами. Целью этих контактов является, прежде всего, увеличение возможностей изучения свойств получаемых в ЛПМ кристаллов, расширение числа доступных методик их исследования, а также, возможно, интеграция в производственные технологические линии фирм – изготовителей лазерной техники. Лаборатория является активным участником проектов и переговоров, связанных с организацией совместного малосерийного производства новейших лазерных устройств как потенциальный лидер среди поставщиков комплектующих изделий.

В заключение можно подчеркнуть, что на протяжении всего двадцатилетнего периода существования лаборатории полупроводникового материаловедения СФТИ ее сотрудники тесно сочетают фундаментальность в постановке и глубине проработке поставленных задач с их практической направленностью. Все решаемые научные задачи исходят из интересов и потребностей прикладного использования результатов. Все полученные в ходе выполнения докторских и кандидатских диссертаций научные результаты имеют своё практическое воплощение в виде уникальных полупроводниковых, нелинейно-оптических и магнитных кристаллов, волноводных структур на их основе и созданных с их использованием готовых к применению устройств различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андреев Ю.М., Воеводин В.Г. и др.* Лидарные системы и их оптико-электронные элементы. Томск.: Изд-во ИОА СО РАН, 2004. 525 с.
2. *Voevodin V.G., Voevodina O.V., Bereznaya S.A., et al.* Large single crystals of Gallium Selenide: Growing, Doping by In and characterization // Optical Materials. 2004. V. 26. P. 495 – 499.
3. *Voevodin V.G., Voevodina O.V., Bereznaya S.A., et al.* Doping of ternary compounds $CdGeAs_2$ and $CdSnAs_4$ by impurities of I, II and III groups // Journal of Physics and Chemistry of Solids. 2003. V. 64. Issues 9 – 10. P. 1755 – 1760.
4. *Voevodin V.G., Voevodina O.V., Bereznaja S.A. a.o.* Annealing of some II-IV-V_2 crystals in the vapor of volatile constituents // MRS Proceedings. 2002. V. 692. P. 265 – 274.
5. *Voevodin V.G., Voevodina O.V., Morozov A.N.* Research of domain structure of $ZnSnC_2^5$-compounds // Japan. J. Appl. Phys. 2000. V. 39. Suppl. 39-1. P. 52 – 53.
6. *Voevodin V.G., Voevodina O.V., Bereznaja S.A., et al.* Behavior of copper in $CdGeAs_2$ crystals // MRS Proceedings. 2002. V. 719. P. 475 – 480.
7. *Voevodin V.G., Leontieva O.V.* The simulation of phase matched three-frequency mode interaction in nonlinear optical waveguides // Japan. J. Appl. Phys. 2000. V. 39. Suppl. 39-1. P. 347 – 348.
8. *Voevodin V.G., Grinyaev S.N.* Deep levels of antisite defects clusters in $ZnGeP_2$ // MRS Proceedings. 2002. V. 677. P. AA4.6.1 – AA4.6.6.
9. *Voevodin V.G., Grinyaev S.N., Voevodina O.V.* Nonstoichiometry and point defects in nonlinear optical crystals $A^2B^4C_2^5$ // Materials Science in Semiconductor Processing. 2003. V. 6. P. 385 – 388.
10. *Воеводин В.Г., Гриняев С.Н.* Анализ остаточного оптического поглощения в ближней ИК-области в кристаллах $ZnGeP_2$ // Современные проблемы физики и высокие технологии. Томск, 2003. С. 67 – 68.
11. *Voevodin V.G., Voevodina O.V.* Disorder defects modelling for some ternary crystals // MRS Proceedings. 2002. V. 677. P. AA4.20.1 –AA4.20.6.
12. *Voevodin V.G., Voevodina O.V.* Ternary compounds $A^2B^4C_2^5$ and $A^1B^3C_2^6$: Frencel defects concentration // Japan. J. Appl. Phys. 2000. V. 39. Suppl. 39-1. P. 402 – 403.
13. *Voevodin V.G., Voevodina O.V.* II-IV-V_2 and I-III-VI_2 nonlinear optical crystals for mid-IR-range: Schottky defects concentration // Proc. of SPIE. 1999. V. 3890. P. 75 – 81.
14. *Voevodin V.G., Voevodina O.V., Bereznaya S.A., et al.* Large single crystals of Gallium Selenide: Growing, Doping by In and characterization //Abstract Book of 3rd International Symposium on Laser and NLO Materials (July 20 – 24, 2003, Keystone, Colorado). P. 162.
15. *Воеводин В.Г., Березная С.А., Коротченко З.В. и др.* Влияние легирования алюминием на оптические и электрофизические свойства селенида галлия // Современные проблемы физики и высокие технологии. Томск, 2003. С. 94 – 97.
16. *Voevodin V.G., Voevodina O.V., Bereznaya S.A., et al.* Properties of gallium selenide doped with sulfur // Abstract Book of 2004 MRS fall meeting (November 29 – December 3, 2004, Boston, MA).
17. *Воеводин В.Г., Березная С.А., Воеводина О.В. и др.* Получение монокристаллов $ZnGeP_2$ методом ХТР в системе $ZnGeP_2$ – $ZnCl_2$ – P // Современные проблемы физики и высокие технологии. Томск, 2003. С. 148 – 151.
18. *Medvedkin G.A., Hirose K., Ishibashi T., et al.* Magnetization effect in $ZnGeP_2$-Mn chalcopyrite system // Extended Abstracts of 48th Spring Meeting, 2001 by Japan Society of Applied Physics. Tokyo, Japan, March 28 – 31. No. 3. P. 1321, 30a-ZB-2.
19. *Medvedkin G.A., Hirose K., Ishibashi T., et al.* New magnetic material in $ZnGeP_2$-Mn chalcopyrite system // Int. Conf. on Crystal Growth ICCG-13/ICVG-11. Kyoto, Japan, 30 July – 4 August 2001. P. 73 – 74.
20. *Medvedkin G.A., Hirose K., Ishibashi T., et al.* New magnetic material in $ZnGeP_2$-Mn chalcopyrite system // J. Cryst. Growth. 2002. V. 236. P. 609 – 612.
21. *Medvedkin G.A., Goloshchapov S.I., Voevodin V.G., et al.* Novel spintronic materials based on ferromagnetic semiconductor chalcopyrites // 11th Int. Symp. «Nanostructures: Physics and Technology». St. Petersburg, Russia, June 23 – 28, 2003. P. NT.16p1 – NT.16p3.
22. *Baranov P.G., Goloshchapov S.I., Medvedkin G.A., Voevodin V.G.* Detection of magnetic resonance signal with anomalous dispersion and two types of isolated manganese centers in the chalcopyrite crystal (Zn, Mn) GeP_2 // JETP Letters. 2003. V. 77. No. 10. P. 582 – 586.
23. *Баранов П.Г., Голощапов С.И., Медведкин Г.А., Воеводин В.Г.* Обнаружение сигналов магнитного резонанса с аномальной дисперсией и двух типов изолированных центров марганца в кристаллах халькопирита (Zn, Mn) GeP_2 // Письма в ЖЭТФ. 2003. Т. 77. № 10. С. 686 – 690.
24. *Medvedkin G.A., Goloshchapov S.I., Baranov P.G., et al.* Point defects and clusters in ferromagnetic chalcopyrites // Book of Abstr. of the 14-th International Conference on Ternary and Multinary Compounds. Denver, Colorado, USA. September – October, 2004.
25. *Gehlhoff W., Azamat D., Hoffmann A., and Voevodin V.G.* The Inequivalence of the two Mn-on-Zn Sites and the Formation of Mn-Mn Pairs in $ZnGeP_2$ // Book of Abstr. of the 14-th International Conference on Ternary and Multinary Compounds. Denver, Colorado, USA. September – October, 2004.
26. *Medvedkin G. A. and Voevodin V. G.* Magnetic phenomena in nonlinear optical crystals $ZnGeP_2$ // To be published in JOSA.
27. *Baranov P.G., Goloshchapov S.I., Medvedkin G.A, et al.* Giant electron spin echo of ferromagnetic ordered manganese nano-clusters in (Zn, Mn) GeP_2 crystals // 12th Int. Symp. «Nanostructures: Physics and Technology». St. Petersburg, Russia, June 21 – 25, 2004.
28. *Shi W., Ding Y.L., Fernelius N.C., Vodopyanov K.L.* Efficient tunable and coherent 0,18 – 5,27 THz source based on GaSe crystal // Optics Lett. 2002. V. 27. No. 16. P. 1454 – 1457.