

**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
---	------------

СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЛАБОРАТОРИИ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №04-02-17486)

Предыстория лаборатории физики полупроводников начинается с организации в 1954 г. в СФТИ лаборатории полупроводников. Заслуга в организации полупроводникового направления в Томске (лаборатории в СФТИ и кафедры в ТГУ) принадлежит В.А. Преснову и М.А. Кривову. Автор данной статьи с 1957 по 1965 г. работал в лаборатории полупроводников СФТИ в качестве дипломника, аспиранта, научного сотрудника под непосредственным руководством В.А. Преснова. Тематика работ была связана с исследованием нового перспективного полупроводникового материала арсенида галлия и включала вопросы кристаллизации GaAs, диффузии примесей, формирования и исследования $p-n$ -переходов в GaAs и в дальнейшем приборов: диодов и биполярных транзисторов. К 1964 г. были детально исследованы закономерности диффузии в GaAs ряда акцепторных и донорных примесей с мелкими энергетическими уровнями, изучены свойства $p-n$ -переходов [1]. Большой вклад в эту работу внесли студенты-дипломники, а затем научные сотрудники Э.И. Андриевский, В.И. Гришин, Т.Т. Лаврищев, С.В. Машнин, А.М. Палкин, работавшие под руководством автора. В 1964 г. в Томске был открыт НИИ полупроводниковых приборов – первый в стране отраслевой институт союзного значения, предназначенный для разработки приборов на основе арсенида галлия, в который в 1965 г. по приглашению директора НИИПП В.А. Преснова перешли на работу С.С. Хлудков (на должность нач. отдела), С.В. Машнин (на должность нач. лаборатории) и Т.Т. Лаврищев, продолжившие исследования, начатые в СФТИ.

Лаборатория физики полупроводников СФТИ (ЛФП) была создана в 1973 г. в составе отдела физики полупроводников. Из прежней лаборатории полупроводников в нее вошли группа физических исследований и группа кристаллизации. Заведующим ЛФП был назначен С.С. Хлудков, научным руководителем – М.А. Кривов. На эту должность С.С. Хлудков перешел по приглашению М.А. Кривова и А.П. Вяткина из НИИПП, где был нач. лаборатории, занимавшейся исследованием и разработкой полупроводниковых структур с глубокими центрами.

После организации ЛФП сразу же стали формироваться новые исследовательские группы и их тематика. К началу 1975 г. функционировало шесть научно-исследовательских групп. Их руководителями были: к. ф.-м. н. С.С. Хлудков, к. ф.-м. н. Е.В. Малисова, к. ф.-м. н. С.В. Малянов, к. ф.-м. н. В.Н. Брудный, Г.Ф. Вайдеров, В.Г. Воеводин. В группу С.С. Хлудкова входили: О.П. Толбанов, Л.В. Каплинская, Н.В. Чалдышева; в группу Е.В. Малисовой – Э.Н. Мельченко, Е.А. Попова, И.В. Каменская; в группу С.В. Малянова – А.И. Гордиенко, В.Г. Мелев, Г.А. Захарова, Г.А. Бабченко; в группу В.Н. Брудного – Д.Л. Будницкий, А.И. Потапов; в группу Г.Ф. Вайдера – В.В. Крыгин, В.Н. Климов, Я.И. Отман, О.М. Никифоров, А.И. Молчанов, Н.А. Флегонтов; в группу В.Г. Воеводина – А.И. Грибенюков, О.В. Воеводина, Г.Е. Ткаченко, Т.В. Ведерникова, В.С. Морозов, А.Н. Морозов, Г.М. Головин.

Группа С.С. Хлудкова занималась изучением закономерностей диффузионного легирования арсенида галлия примесями с глубокими энергетическими



Коллектив лаборатории физики полупроводников, 1974 г.

Сидят слева направо: Г.Ф. Вайдеров, О.В. Воеводина, Е.А. Попова, С.С. Хлудков, М.А. Кривов, Э.Н. Мельченко, Е.В. Малисова; стоят: А.И. Молчанов, Д.Л. Будницкий, Я.И. Отман, Пылкова Л., В.Г. Мелев, В.В. Крыгин, В.Н. Брудный, Т.В. Ведерникова, А.И. Гордиенко, В.С. Морозов, В.Г. Воеводин, Г. Петухова, Н.А. Флегонтов, Л.И. Кадочигова, А.И. Грибенюков, ?, Г.Е. Ткаченко



Коллектив лаборатории, 2004 г.

Сидят слева направо: Г.С. Югова, О.Б. Корецкая, С.С. Хлудков, Э.Г. Хамматова, О.П. Толбанов; стоят: А.Н. Зарубин, Д.Ю. Мокеев, В.А. Новиков, И.А. Прудаев, Д.Л. Будницкий, И.В. Пономарев, С.Н. Рябков, М.В. Биматов, М.С. Скакунов, Л.С. Окаевич

уровнями, созданием приборных структур нового типа (GaAs $\pi - v - n$ -структур) и разработкой приборов на их основе – лавинных S -диодов.

В группе Е.В. Малисовой проводились исследования электрофизических и фотоэлектрических характеристик GaAs, легированного в процессе диффузии примесями переходных металлов (Cu Mn), создающими центры со сравнительно невысокой энергией активации ($\sim 0,1E_g$) с целью использования данного материала для фотоприемников среднего ИК-диапазона. Исследовались также свойства термоакцептированного GaAs и GaAs, легированного амфотерными примесями.

Группа С.В. Малянова занималась исследованием и разработкой полупроводниковых фотоприемников. Работа велась совместно с отделом электроники под руководством А.С. Петрова. Однако вскоре С.В. Малянов перешел на кафедру полупроводников ТГУ, где работает и сейчас (долгое время был деканом РФФ). Сотрудники группы перешли на другую тематику.

Группа В.Н. Брудного сосредоточила внимание на радиационной физике полупроводников сложного состава типа $A^{III}B^V$ и $A^{II}B^{IV}C^V_2$. Основное внимание было уделено исследованию электрофизических свойств материалов, подвергнутых высоким дозам облучения различными высокоэнергетическими частицами, и установлению предельных параметров полупроводников.

В группе Г.Ф. Вайдерова занимались изучением синтеза и кристаллизации GaAs и соединений $A^{II}B^{IV}C^V_2$. Позднее все внимание было уделено созда-

нию методик и аппаратуры выращивания монокристаллов GaAs под влиянием магнитного поля, что позволило получать монокристаллы GaAs с высокой степенью однородности. Отметим, что установка по выращиванию GaAs в магнитном поле экспонировалась на ВДНХ, а ее авторы Г.Ф. Вайдеров и А.И. Молчанов были награждены медалями.

Группой В.Г. Воеводина были завершены исследования полупроводников элементарного состава и начаты исследования тройных полупроводников типа $A^{II}B^{IV}C^V_2$. Работа носила комплексный характер, включая синтез и выращивание кристаллов, изучение электрофизических и оптических свойств материала и заканчивая практическим применением – созданием оптических элементов для частотного преобразования в ИК области спектра.

Таким образом, в ЛФП развивались следующие научные направления: по радиационной физике полупроводников сложного состава; по исследованию тройных полупроводников типа $A^{II}B^{IV}C^V_2$; по исследованию процесса кристаллизации GaAs; по исследованию GaAs с глубокими центрами и приборов на его основе. То, что исследования по всем направлениям проводились успешно, говорит и тот факт, что по этой тематике было защищено пять докторских диссертаций: С.С. Хлудковым (1989), В.Н. Брудным (1993), О.П. Толбановым (1999), О.В. Воеводиной (2002), В.Г. Воеводиным (2003). Кандидатские диссертации защитили: В.Г. Мелев (1978), А.И. Грибенюков (1983), Д.Л. Будницкий (1987), А.И. Потапов (1999), М.В. Ардышев (2000).



М.А. Кривов с руководителями групп ЛФП, 1975 г.
Слева направо: С.С. Хлудков, В.Г. Воеводин, В.Н. Брудный, С.В. Малянов, Е.В. Малисова

Общая численность сотрудников лаборатории в период 1973 – 1983 гг. составляла 32 – 35 человек, в 1984 г. сократилась до 22 человек (за счет выделения группы В.Г. Воеводина в самостоятельную лабораторию) и на этом уровне сохранялась до 1989 г. В первой половине 90-х гг. из лаборатории ушли Е.В. Малисова (в связи с уходом на пенсию) и ряд молодых научных сотрудников. В.Н. Брудный после защиты докторской диссертации стал заведующим отделом физики полупроводников. С 1991 г. по настоящее время численность сотрудников лаборатории поддерживается на уровне 15 – 16 человек. После реорганизации отдела физики полупроводников в 1995 г. ЛФП вошла в состав отдела физики полупроводниковых приборов (зав. отделом с 1995 по 2003 г. С.С. Хлудков, с 2003 г. – О.П. Толбанов). До 2000 г. зав. ЛФП был С.С. Хлудков, с 2000 по 2003 г. – О.П. Толбанов, с 2003 г. – А.В. Тяжев.

С начала 90-х гг. все работы в ЛФП проводятся в рамках одного научного направления, связанного с исследованием GaAs с глубокими примесными центрами, созданием структур и приборов на его основе. Численность сотрудников этого направления постоянно увеличивалась главным образом за счет поступления молодых сотрудников: Э.Г. Хамматовой, Г.С. Юговой, О.Б. Мищенко (Корецкой), А.В. Корецкого, П.Ю. Белобородова, А.В. Голикова, А.И. Госсена, Л.С. Окаевич, А.В. Тяжева, М.В. Ардышева, в последнее время – Д.Ю. Мокеева, М.В. Биматова, А.Н. Зарубина, И.А. Прудаева. Ряд сотрудников перешли из других групп лаборатории (А.И. Потапов, Д.Л. Будницкий, А.И. Гордиенко, В.А. Новиков, Г.Ф. Вайдеров) или из других подразделений СФТИ (Г.М. Цепелев, В.Е. Степанов).

Далее остановлюсь подробнее на истории развития научно-технического направления «Полупроводниковые структуры и приборы с глубокими центрами».

Исследования по диффузии в GaAs примесей с глубокими энергетическими уровнями были начаты автором данной статьи еще до 1964 г. в лаборатории полупроводников СФТИ, где были изготовлены первые структуры на GaAs с глубокими центрами, которые позднее получили название $\pi - v - n$ -структур. Эти результаты явились основой дальнейших работ [2].

Исследования GaAs с глубокими уровнями в период с 1964 по 1969 г., начатые в СФТИ и продолженные в НИИПП, носили чисто поисковый характер. Позднее в отделе № 40 НИИПП по инициативе С.С. Хлудкова была создана лаборатория, в состав которой вошли: Л.П. Иванов, Д.Д. Каримбаев, М.Е. Коренман, В.Г. Лахтикова, Л.К. Тарасова, О.П. Толбанов, Г.М. Фукс (нач. лаборатории С.С. Хлудков). Перед коллективом лаборатории стояла задача разработки технологии изготовления GaAs-структур с глубокими центрами и выяснения возможности создания на их основе как традиционных, так и новых типов приборов. С этого времени ведутся систематические плановые работы по исследованию и разработке GaAs-структур с глубокими центрами и созданию приборов на их основе.

Период с октября 1973 до начала 90-х гг. характеризуется согласованной и плодотворной работой двух коллективов: лаборатории НИИПП (нач. лаборатории Г.Л. Приходько) и ЛФП СФТИ (где ведущим исполнителем данной работы был О.П. Толбанов) по исследованию GaAs-структур и разработке приборов (лавинных S -диодов). Научным руководителем данного направления являлся С.С. Хлудков. На этом этапе осуществлялось проведение НИР, ОКР и освоение промышленного выпуска лавинных S -диодов, были продолжены исследования и разработки GaAs-структур с глубокими центрами и принципиально новых приборов. В результате были разработаны и внедрены в производство (на заводе НИИПП) серия лавинных S -диодов: АА 732, АА 742, 3АД801, АД530. Был соз-

дан лавинный S -диод с управляющим электродом и целая серия новых приборных структур. Основным методом изготовления структур оставался диффузионный метод. Однако наряду с диффузионной технологией структур разработана газозаводная технология (основные исполнители Г.М. Иконникова и М.Д. Вилисова в СФТИ и Н.А. Чернов в НИИПП) и жидкофазовая технология (Ю.Б. Болховитянов и С.И. Чикичев в ИФП, Новосибирск и В.П. Орлов в НИИПП). Это результат плодотворного сотрудничества коллектива ЛФП СФТИ с коллективами соответствующих лабораторий НИИПП, лаборатории эпитаксиальных структур СФТИ и лаборатории Института физики полупроводников СО АН. О новизне полученных нами научно-технических результатов свидетельствуют большое число публикаций в престижных журналах и докладов на представительных конференциях, а также большое количество авторских свидетельств на изобретения, полученных авторами комплексного коллектива (около полсотни авторских свидетельств на приборы на основе структур с глубокими центрами, способы их изготовления и применение). Таким образом, была разработана технология изготовления приборных $\pi - \nu - n$ -структур, изготовлены опытные образцы $\pi - \nu - n$ -структур и приборов – лавинных S -диодов, быстродействие которых на 3 – 4 порядка превышает быстродействие инжекционных S -диодов. По совокупности основных параметров (длительности переднего фронта и амплитуды формируемых импульсов) арсенидогаллиевые лавинные S -диоды превосходят известные аналоги [3, 4].



Профессора Т.Д. Джафаров, Б.И. Болтакс (г. Ленинград), авторы монографий по диффузии в полупроводниках, и С.С. Хлудков. 4-е Всесоюзное совещание по исследованию арсенида галлия, г. Томск, 1978 г.

Следует отметить, что исследования и разработки по данному направлению проводились не только по планам Минобразования (госбюджетное финансирование). Наши работы были поддержаны рядом учреж-

дений, а S -диоды испытаны во многих организациях страны: в ВНИИ оптико-физических измерений (г. Москва), филиале Института атомной энергии им. И.В. Курчатова (г. Троицк Московской области), Институте Арктики и Антарктики АН СССР (г. Ленинград), ИОФАН СССР (г. Москва), многих вузах, а также институтах Минрадиопрома, Минатома. Благодаря использованию лавинных S -диодов, в перечисленных организациях была разработана уникальная электронная аппаратура. Разработки для указанных организаций проводились по хозяйственным, что обеспечивало финансирование лабораторий. Отметим, что в период 1973 – 1989 гг. финансирование состояло на одну треть из средств госбюджета и на две трети от хоз. договоров.

В начале 90-х гг. несмотря на успех в исследованиях и практических разработках, большой научно-технический задел для дальнейших технических разработок практически все работы по S -диодам были свернуты. Это произошло, прежде всего, из-за полного прекращения финансирования, обусловленного общим состоянием дел в стране. Однако исследования GaAs-структур с глубокими центрами были продолжены. Было начато изучение возможности их использования для новых применений: фотоприемников и детекторов высокоэнергетического ионизирующего излучения [5].

Исследования и разработки фотоприемников на основе GaAs с глубокими центрами и фотоприемных устройств были проведены в 1989 – 1992 гг. по техническому заданию и финансовой поддержке ЦНИИ машиностроения (г. Королев Московской области). Созданы фотоприемные устройства широкого спектрального диапазона, включая видимую область и ультрафиолетовый диапазон. Основной вклад в эти исследования и разработки внесли Д.Л. Будницкий, О.П. Толбанов и А.В. Корецкий. В это же время намечалось использование GaAs-структур с глубокими центрами для создания детекторов высокоэнергетических излучений. Перспективность исследования и разработки полупроводниковых детекторов на основе наших GaAs-структур стала ясна после консультаций с сотрудниками НИИ ядерной физики (г. Томск и г. Новосибирск) и Института физики высоких энергий – ИФВЭ (г. Протвино Московской области). Инициаторами проведения этих работ явились А.И. Потапов и О.П. Толбанов. В начале 90-х гг. в СФТИ были изготовлены первые образцы единичных, а затем координатночувствительных полосковых детекторов на основе GaAs $\pi - \nu - n$ -структур, сформированных в процессе диффузии хрома в n -GaAs. Детекторные характеристики первых образцов, измеренные в ИФВЭ в лаборатории А.П. Воробьева, оказались многообещающими. Большое значение имело и то обстоятельство, что полученные результаты сразу были представлены на ближайшей ежегодной Европейской конференции по GaAs-детекторам [7] и вызвали большой интерес участников, в том числе у руководителя Европейской программы по GaAs-детекторам Центра европейских ядерных исследований (ЦЕРН) профессора К.М. Смита (зав. кафедрой университета г. Глазго). Интерес К.М. Смита к нашим работам был вызван не только благодаря высоким параметрам на-

ших детекторов, а в значительной мере благодаря тому, что детекторы были изготовлены на нетрадиционных структурах, а именно GaAs-диффузионных $\pi - \nu - n$ -структурах, в отличие от $p - i - n$ -структур на основе ростового полуизолирующего GaAs, используемых практически всеми разработчиками детекторов в Западной Европе. К.М. Смит дважды посетил Томск (июнь 1993 г. и август 1995 г.), второй раз – вместе с профессором Карло дель Папа из университета Удина (Италия). В итоге были получены гранты Международной организации Интас на разработку GaAs-радиационностойких детекторов (№ 93-3430 и № 93-3430 ext «Development of high radiation detectors in GaAs») на период 1993 – 1996 гг. Работу выполняли коллективы из четырех организаций (ИФВЭ, СФТИ, Университет Глазго, Университет Удина), в целом работой руководил К.М. Смит, от ИФВЭ – А.П. Воробьев, от СФТИ – С.С. Хлудков, от Университета Удина – Карло дель Папа. Некоторые исполнители данной работы были включены в число исполнителей программы по GaAs-детекторам ЦЕРНа – программа RD 8 (RD 8 Collaboration, which is developing GaAs detectors for Large Hadron Collider at CERN), в том числе от коллектива СФТИ в RD 8 были включены Д.Л. Будницкий, В.Е. Степанов, О.П. Толбанов, С.С. Хлудков. Из 17 институтов – участниц RD8 из разных стран мира от России были включены ИФВЭ и СФТИ. С 1997 г. работа по созданию детекторов на основе GaAs-структур с глубокими центрами проводилась по грантам Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №97-02-16241, №00-02-17930 и № 04-02-17486 – руководитель С.С. Хлудков и инно-№ 02-02-08110 – руководитель О.П. Толбанов), а также по грантам и программам Минобразования и Минатома. Итогом работы по грантам ИНТАС, РФФИ и программам Минобразования явилось создание радиационностойких координатночувствительных GaAs-детекторов полоскового типа на основе барьерных $\pi - \nu - n$ -структур GaAs:Cr.

Следует отметить, что наши результаты, начиная с 1961 г. [6], регулярно докладывались на всесоюзных конференциях (в том числе на конференциях по исследованию GaAs, проходивших в Томске), а начиная с 1992 г. докладывались и получили признание на Международных конференциях «Детекторы на GaAs и сопутствующих соединениях» и «Детекторы отображения». Первые результаты на этих конференциях были представлены А.П. Воробьевым [7], а с 1996 г. наши сотрудники сами регулярно выступали на этих

конференциях, проходивших в городах Глазго, Удина, Прага, Амстердам, Фрайбург, Рига и других. Первым выступил О.П. Толбанов, позднее многие сотрудники (чаще других А.В. Тяжев). Делегация томичей включала иногда до 6 человек.

С декабря 1999 г. по май 2003 г. работа коллектива ЛФП проводилась по проекту Международного научно-технического центра (МНТЦ) №1107-99 «Системы с арсенидогаллиевыми детекторами для диагностики X-лучами малых доз». Подготовкой и согласованием проекта занимались А.П. Воробьев и О.П. Толбанов, важную роль сыграла поддержка профессора К.М. Смита на заключительном этапе согласования данного проекта. Исполнителями проекта стали коллективы из ИФВЭ, СФТИ и НИИПП, коллаборатором от Европейского сообщества – Университет Глазго (К.М. Смит). МНТЦ утвердил основных исполнителей и назначил руководителей: руководителем проекта в целом был А.П. Воробьев, от СФТИ – С.С. Хлудков. Большой коллектив исполнителей из трех организаций работал с большой отдачей. Координацию работ всех трех коллективов, наряду с А.П. Воробьевым, осуществлял О.П. Толбанов. Результаты работы изложены в обстоятельном научно-техническом отчете. Итогом работы явилось создание координатночувствительных детекторов рентгеновского и гамма-излучения, прежде всего медицинского спектра энергий. Основой детектора явились GaAs-структуры, легированные хромом в процессе диффузии, а также в процессе жидкофазной и газофазной эпитаксии. По всем основным параметрам разработанные в Томске детекторы на основе GaAs:Cr существенно превосходят детекторы на основе нелегированного, полуизолирующего GaAs, изготавливаемые в ряде организаций Западной Европы. Разработаны и изготовлены образцы координатных детекторов как полоскового, так и матричного типов с высоким пространственным разрешением, высокой эффективностью сбора заряда и большой активной областью. На основе разработанных GaAs-детекторов созданы медицинские системы для визуализации изображений в рентгеновских лучах с хорошим пространственным разрешением и значительно меньшими дозовыми нагрузками на пациента по сравнению с функционирующими в настоящее время рентгеновскими аппаратами и гамма-камерами. Есть первый опыт создания на основе разработанных детекторов высокочувствительных, надежных систем безопасности и аппаратов промышленной томографии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хлудков С.С. Диффузия примесей в арсениде галлия, диффузионные структуры и приборы // Наст. вып. С. 85 – 95.
2. Хлудков С.С. Арсенидгаллиевые структуры с глубокими примесными центрами и приборы на их основе (история возникновения, становления и развития, основные результаты) // Сб. «40 лет НИИПП». Томск: Изд-во «Красное знамя», 2004.
3. Хлудков С.С. Арсенидгаллиевые лавинные S-диоды // Изв. вузов. Физика. 1983. № 10. С. 67 – 88.
4. Каримбаев Д.Д., Корецкий А.В., Павлов Ю.Д. и др. Разработка GaAs-диодов и их применение в схемах импульсной техники // Электронная промышленность. 1993. № 9. С. 62 – 70.
5. Хлудков С.С., Толбанов О.П., Будницкий Д.Л. Арсенидгаллиевые структуры с глубокими центрами и детекторы ионизирующих излучений на их основе // Изв. вузов. Физика. 1998. С. 39 – 43.
6. Преснов В.А., Вяткин А.П., Новотный С.И. и др. Исследование выпрямляющих свойств арсенида галлия // Тез. докл. совещ. по электронно-дырочным переходам в полупроводниках. Ташкент: ТашГУ, 1961. С. 25; Сб.: Электронно-дырочные переходы в полупроводниках. Ташкент: Изд-во АН Уз. ССР, 1962. С. 259 – 265.
7. Chmil V.B., Sergeev V.A., Vorobiev A.P., et al. // Proc. of the 6th European Simp. on Semicond. Detectors. Milano, Italy, Febr. 1992. С. 24 – 26.