

**Проект SfP–973799 Semiconductors Программы НАТО
“Наука для Мира”. Цели и задачи**

L.K.J.Vandamme^{NPD)}

*Eindhoven University of Technology, Department of Electrical Engineering,
EH 5.15, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands*

А.В.Якимов^{PPD)}

*Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского
проспект Гагарина 23, Нижний Новгород 603950, Россия*

Приводятся сведения о целях и задачах Проекта SfP–973799 Semiconductors: “Разработка радиационно стойких полупроводниковых приборов для систем связи и прецизионных измерений с использованием шумового анализа”, – выполняемого в рамках Программы “Наука для Мира” Отделения Науки НАТО. Дается краткая сводка результатов, полученных с момента начала работы над Проектом. Формулируются ближайшие задачи.

Использованные сокращения

BEF	–бельгийские франки
LD	–лазерный диод
LED	–светодиод
NPD	–руководитель Проекта натовской Страны–Партнера
PPD	–руководитель Проекта не–натовской Страны–Партнера
QD	–квантовая точка
QSS	–квантово–размерная структура
QW	–квантовая яма
RTP	–радиационный технологический процесс
TUE	–Технологический университет Эйнховена
НИГУ	–Нижегородский государственный университет

1. Решаемая Проблема и планируемые результаты

Целью Проекта является снижение шумов, повышение надежности и радиационной стойкости микроволновых и оптических приборов на основе полупроводниковых гомо– и гетеро–структур, в том числе с квантово–размерными слоями (диодов, транзисторов и других).

Решение указанной задачи необходимо для создания полупроводниковых приборов, предназначенных для использования в системах связи, прецизионных измерений и мониторинга окружающей среды.

Одной из важнейших областей использования таких приборов являются системы, работающие при воздействии вредных внешних факторов: на атомных электростанциях и системах спутниковой связи.

^{NPD)} Phone: +31.40.247 3242; Fax: +31.40.243 0712; E-mail: L.K.J.Vandamme@ele.tue.nl

^{PPD)} Тел.: +7-8312-656153; Fax: +7-8312-656416; E-mail: yakimov@rf.unn.runnet.ru

Радиация может изменять структуру полупроводниковых материалов. Важный подход, предназначенный для создания надежных малошумящих радиационно стойких приборов, заключается в адаптации существующих неразрушающих методов для контроля внутренних дефектов.

В связи с этим особую роль играет разработка полупроводниковых приборов на основе сложных полупроводниковых соединений A^3B^5 (*GaAs*, *InGaAs*, *InP* и др.), характеризующихся малыми временами жизни неосновных носителей тока и, следовательно, более высокой радиационной стойкостью по сравнению с элементарными полупроводниками (*Si* и *Ge*).

В последние годы активно развивается технология производства полупроводниковых лазерных диодов (LD) на структурах типа *InGaP/GaAs/InGaAs* в которых в качестве активной области используются квантовые ямы (QW) *InGaAs/GaAs*, что позволило значительно улучшить параметры этих полупроводниковых приборов (например, уменьшить пороговый ток). Сравнительно большая выходная мощность излучения LD при небольших размерах делает их перспективными для применения в системах связи.

В настоящее время предпринимаются попытки изготовления лазерных диодов с использованием в качестве активной области одного или нескольких слоев самоорганизованных квантовых точек (QD). Предсказана высокая температурная стабильность и более высокая радиационная стойкость полупроводниковых приборов с квантовыми точками по сравнению с приборами на основе квантовых ям. Последнее связано с тем, что в случае структуры с QW рекомбинационные центры сильно влияют на время жизни, так как экситон локализован только в направлении роста, перпендикулярном плоскости квантово-размерного слоя, он может диффундировать в плоскости и рекомбинировать на дефектах. В то же время экситон, сформированный в QD, локализован во всех направлениях и стабилен относительно рекомбинационных процессов вне QD. Предположение о более высокой радиационной стойкости приборов на квантовых точках частично подтверждается экспериментами по влиянию экспонирования полупроводниковых структур в газовой плазме.

Однако до сих пор мало изучены процессы образования дефектов в этих структурах и приборах под действием радиационных и других воздействий, а также влияние дефектов на технические и эксплуатационные характеристики этих приборов, что не позволяет прогнозировать поведение приборов в условиях повышенной радиации и выработать рекомендации по повышению их радиационной стойкости.

Для модификации полупроводниковых приборов, с целью повышения их надежности и радиационной стойкости, предполагается использовать радиационные технологические процессы (RTP) – ионное легирование, облучение различными видами излучений (оптическими, ИК, рентгеном, гамма-излучением). Это может привести к направленной, положительной целевой модификации свойств материала.

Одним из основных RTP является облучение протонами и последующее геттерирование – процесс релаксации дефектно-примесных комплексов путем диффузии и/или рекомбинации при внешнем (обычно радиационном) воздействии.

На всех этапах проектирования, исследования характеристик материалов и отработки технологии предполагается использовать оригинальные программные продукты.

2. Цели Проекта

Снижение электрических шумов, повышение надежности и радиационной стойкости микроволновых и оптических приборов на полупроводниковых гомо- и гетеро-структурах (диодов, транзисторов и других), предназначенных для использования в системах связи, прецизионных измерений и мониторинга окружающей среды.

- Прогнозирование надежности и радиационной стойкости прибора путем адаптации существующих неразрушающих методов для контроля внутренних дефектов.
- Выработка рекомендаций по модификации структуры приборов, работающих при воздействии вредных внешних факторов (например, на атомных электростанциях, в системах спутниковой связи), с целью улучшения эксплуатационных параметров приборов и, особенно, надежности и радиационной стойкости.

3. Этапы. Отчеты и График

Согласно требованиям Руководства программы НАТО “Наука для Мира” [1], отчеты по финансируемым проектам должны издаваться по истечении каждых полных шести месяцев.

Отчетные полугодия определены следующим образом:

1 ноября – 30 апреля; 1 мая – 31 октября.

Финансирование проектов осуществляется каждые шесть месяцев (с учетом полученных результатов) путем издания Наградных Писем. Первое Наградное Письмо по настоящему проекту было издано 3 ноября 1999 года. Соответственно, первое полное полугодие работы над Проектом завершилось 31 октября 2000 года, второе – 30 апреля 2001 года. Это привело к следующей конкретизации календарного плана работ по проекту.

Этап 1 (1-й год. Месяцы 1–3. Срок завершения – 31 июля 2000 года)

- 1.1. Теоретические исследования: Подготовка обзора на тему “Образование дефектов в полупроводниках при различных радиационных воздействиях. Связь дефектной структуры, электрических шумов, электрофизических, фотоэлектрических и люминесцентных свойств квантово-размерных структур”.
- 1.2. Адаптация существующих экспериментальных установок в Н.Новгороде и Эйнховене, и программного обеспечения, для неразрушающего контроля дефектов в микро, нано- и квантово-размерных структурах.
- 1.3. Обучение молодых ученых в Н.Новгороде.

Этап 2 (1-й год. Месяцы 4–6. Срок завершения – 31 октября 2000 года)

- 2.1. Теоретические исследования: Анализ влияния газовой плазмы на фотоэлектрические и люминесцентные свойства квантово-размерных структур.
- 2.2. Модификация установок **NPD** и **PPD** для улучшения чувствительности, разрешающей способности и динамического диапазона электрических и оптических измерений.
- 2.3. Предварительные эксперименты. Исследование фотоэлектрических и люминесцентных свойств квантово-размерных структур, обработанных в газовой плазме.
- 2.4. Теоретический и экспериментальный анализ влияния нейтронного и протонного воздействия на фоточувствительные и высокочастотные свойства диодов Шоттки.
- 2.5. Обучение молодых ученых в Н.Новгороде.
- 2.6. 1-й Промежуточный Отчет.

Этап 3 (1-й год. Месяцы 7–9. Срок завершения – 31 января 2001 года)

- 3.1. Теоретические исследования: Анализ влияния дефектов, образующихся при ионной имплантации, на фотоэлектрические и люминесцентные свойства структур с квантовыми ямами и квантовыми точками.
- 3.2. Теоретический и экспериментальный анализ влияния нейтронного и протонного воздействия на фоточувствительные и высокочастотные свойства полевых транзисторов Шоттки.
- 3.3. Модификация установок **NPD** и **PPD** для обеспечения неразрушающего контроля дефектов, вызванных различными воздействиями на исследуемые структуры.
- 3.4. Предварительные эксперименты. Исследование фотоэлектрических и люминесцентных свойств квантово-размерных структур, подвергнутых ионной имплантации.
- 3.5. 1-й Рабочий Семинар группы **PPD** с представителями Конечных Пользователей.

Этап 4 (1-й год. Месяцы 10–12. Срок завершения – 30 апреля 2001 года)

- 4.1. Теоретические исследования: Анализ люминесцентных свойств LEDs с квантовыми точками *InAs/GaAs*.
- 4.2. Теоретический и экспериментальный анализ влияния нейтронного и протонного воздействия на фоточувствительные и высокочастотные свойства полевого транзистора с доменом Ганна.
- 4.3. Совместные эксперименты (с обучением молодых российских ученых) в группе **NPD**. Проверка методов неразрушающего контроля дефектов, вызванных различными воздействиями на исследуемые структуры.
- 4.4. Издание материалов 1-го Рабочего Семинара группы **PPD** с представителями Конечных Пользователей и их распространение среди родственных групп.
- 4.1. 2-й Промежуточный Отчет.

Труды 1-го совещания по проекту НАТО SfP-973799 Semiconductors. Нижний Новгород, 2001

Этап 5 (2-й год. Месяцы 1–3. Срок завершения – 31 июля 2001 года)

- 5.1. Теоретические исследования: Анализ люминесцентных свойств LEDs с квантовыми точками *InAs/GaAs*.
- 5.2. Изготовление полевого транзистора с баллистическим режимом движения носителей заряда Конечным Пользователем 3. Изготовление светоизлучающих диодов с квантовыми точками *InAs/GaAs* в Группе **PPD**.
- 5.3. Обучение молодых ученых в Н.Новгороде. Исследование люминесцентных свойств светоизлучающих диодов с квантовыми точками *InAs/GaAs*.

Этап 6 (2-й год. Месяцы 4–6. Срок завершения – 31 октября 2001 года)

- 6.1. Теоретические исследования влияния нейтронного и протонного облучения на баллистический режим движения носителей заряда в *GaAs*.
- 6.2. Совместные эксперименты в группе **NPD**. Исследование метода измерения электрических шумов для выявления дефектов в полупроводниковых структурах.
- 6.3. Изготовление модифицированных структур–прототипов Конечным Пользователем 3.
- 6.4. Исследование физических характеристик и стабильности прототипов твердотельных приборов. Разработка, изготовление и исследование свойств лазерных диодов на основе гетероструктур с квантовыми точками *InAs/GaAs*.
- 6.5. Обучение молодых российских ученых в Эйндховене и в Н.Новгороде.
- 6.6. 3-й Промежуточный Отчет.

Этап 7 (2-й год. Месяцы 7–9. Срок завершения – 31 января 2002 года)

- 7.1. Теоретические исследования и обработка экспериментальных данных Этапа 6.
- 7.2. Исследование физических характеристик и стабильности прототипов твердотельных приборов в группе **PPD**.
- 7.3. Эксперименты группы **PPD** совместно с Конечными Пользователями. Экспериментальные исследования влияния нейтронного и протонного облучения на баллистический режим движения носителей заряда в *GaAs*.
- 7.4. 2-й Рабочий Семинар группы **PPD** с представителями Конечных Пользователей.
- 7.5. Издание материалов 2-го Рабочего Семинара группы **PPD** с представителями Конечных Пользователей и их распространение среди родственных групп.

Этап 8 (2-й год. Месяцы 10–12. Срок завершения – 30 апреля 2002 года)

- 8.1. Теоретические исследования: Моделирование функционирования интегральной схемы (фотодиод + усилитель на основе полевого транзистора) и разработка технологии ее создания с использованием RTP.
- 8.2. Исследование физических характеристик и стабильности прототипов твердотельных приборов в группе **PPD**.
- 8.3. Изготовление модифицированных структур-прототипов Конечным Пользователем 3 и исследование их характеристик.
- 8.4. Эксперименты группы **PPD** совместно с Конечными Пользователями. Определение характеристик модифицированных структур-прототипов.
- 8.5. 4-й Промежуточный Отчет.

Этап 9 (3-й год. Месяцы 1–3. Срок завершения – 31 июля 2002 года)

- 9.1. Теоретические исследования и обработка экспериментальных данных Этапа 8.
- 9.2. Модификация установок **NPD** и **PPD** с целью прогнозирования радиационной стойкости и стабильности полупроводниковых структур.
- 9.3. Изготовление модифицированных структур-прототипов Конечным пользователем 3 и исследование их характеристик. Изготовление интегральной схемы (фотодиод + усилитель на основе полевого транзистора) и экспериментальная апробация RTP Конечным Пользователем.
- 9.4. Обучение молодых ученых в Н.Новгороде.

Этап 10 (3-й год. Месяцы 4–6. Срок завершения – 31 октября 2002 года)

- 10.1. Теоретические исследования: Анализ влияния дефектов, вызванных облучением квантово-размерных структур квантами высоких энергий, на эффективность фотолюминесценции и фотоэлектрическую чувствительность.
- 10.2. Совместные эксперименты в Эйндховене. Выявление и идентификация дефектов в полупроводниковых структурах методом анализа электрических шумов.
- 10.3. Анализ работы структур-прототипов в составе контрольно-измерительных систем.
- 10.4. Измерение характеристик интегральной схемы (фотодиод + усилитель на основе полевого транзистора).
- 10.5. Обучение молодых российских ученых в Эйндховене и в Н.Новгороде. Изучение образования дефектов в квантово-размерных структурах при облучении квантами высоких энергий методами фотолюминесценции и фотоэлектрической чувствительности.
- 10.6. 3-й Рабочий Семинар группы **PPD** с представителями Конечных Пользователей.
- 10.7. 5-й Промежуточный Отчет.

Этап 11 (3-й год. Месяцы 7–9. Срок завершения – 31 января 2003 года)

- 11.1. Теоретические исследования и обработка экспериментальных данных Этапа 10.
- 11.2. Компьютерный анализ результатов измерений характеристик интегральной схемы (фотодиод + усилитель на основе полевого транзистора).
- 11.3. Анализ работы структур-прототипов в составе контрольно-измерительных систем.
- 11.4. Эксперименты группы **PPD** совместно с Конечными Пользователями. Изучение влияния радиационных воздействий на свойства полупроводниковых лазерных диодов.
- 11.5. Издание материалов 3-го Рабочего Семинара группы PPD с представителями Конечных Пользователей и их распространение среди родственных групп.
- 11.6. Выработка научно-технических рекомендаций по изготовлению и применению модифицированных твердотельных приборов; использование модифицированных приборов в аппаратуре, разрабатываемой и изготавливаемой Конечными Пользователями; публикация научных результатов и их внедрение в учебный процесс в Нижегородском государственном университете.

Этап 12 (3-й год. Месяцы 10–12. Срок завершения – 30 апреля 2003 года)

- 12.1. Критический анализ полученных результатов всеми участниками и Конечными Пользователями.
- 12.2. Выработка научно-технических рекомендаций по изготовлению и применению модифицированных твердотельных приборов; использование модифицированных приборов в аппаратуре, разрабатываемой и изготавливаемой Конечными Пользователями; публикация научных результатов и их внедрение в учебный процесс в Нижегородском государственном университете.
- 12.3. Итоговый Отчет.

Основные действия, этапы и отчеты иллюстрируются диаграммой (см. Табл. 1).

Примечание. Возможно изменение порядка выполнения заданий, указанных в содержании Этапов, вследствие специфики учебного процесса в Нижегородском госуниверситете.

Этапы. Отчеты и График: **SfP-973799** Таблица 1
Дата Отчета: **30.04.2001**

Задания / Месяцы	1-й год				2-й год				3-й год			
	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12	1-3	4-6	7-9	10-12
1 Теоретич. исследования												
2 Эксперим. исследования												
2.1 Модиф. установок												
2.2 Предварит. эксперименты												
2.3 Совместные эксперименты												
3 Работа с прототипами												
3.1 Изготовление прототипов												
3.2 Анализ прототипов												
3.3 Модификация прототипов												
3.4 Анализ работы в системах												
4 Обучение молодых ученых												
5 Работа с Пользователями												
5.1 Совместные эксперименты												
5.2 Совещания, семинары												
5.3 Применение результатов												
Результаты				< Труды 1-го Совещания	< FET's и LEDs	< Модифиц. структуры	< Труды 2-го Совещания	< Рекон. по структурам	< Модифиц. структуры	< Использование в системах	< Труды 3-го Совещания	< Использ. приборов
Отчеты		1-й		2-й		3-й		4-й		5-й		Итог.

План: Выполнено:

4. Организация и управление

Принципиальные задания со-руководителей Проекта и других ключевых членов, включая Конечных Пользователей, показаны в Табл. 2.

Таблица 2

	Имя участника, месторасположение (город, страна)	Место работы (организация, компания)	Задание в проекте
1	Проф. L.K.J.Vandamme, Eindhoven, The Netherlands	Эйндховенский технологический университет	NPD ; Координация исследований; разработка методов шумовой диагностики; обеспечение обучения в Группе NPD .
2	Проф. А.В.Якимов, Н.Новгород, Россия	ННГУ	PPD ; координация исследований; разработка методов шумовой диагностики; организация совещаний и участие в них; поездки в группу NPD .
3	Проф. Г.А.Максимов, Н.Новгород, Россия	ННГУ	Координация исследований и разработок LDs и QSS и участие в них, организация рабочих совещаний и участие в них.
4	Проф. И.А.Карпович, Н.Новгород, Россия	ННГУ	Исследование радиационной стойкости QSS's методом фотоэлектрической спектроскопии.
5	Проф. В.К.Киселев, Н.Новгород, Россия	ННГУ	Исследование процессов старения фотодиодов при радиационном воздействии.
6	Д-р Н.В.Байдусь, Н.Новгород, Россия	ННГУ	Фотолюминесцентная спектроскопия QSS's.
7	Д-р С.В.Оболенский, Н.Новгород, Россия	ННГУ	Исследование процессов деградации в <i>n-GaAs</i> при радиационном воздействии.
8	Д-р А.А.Беляев, Н.Новгород, Россия	ЗАО "Время-Ч", Конечный Пользователь 1	Регулярные обсуждения с Группой PPD , и использование произведенных устройств в собственных изделиях.
9	Д-р Б.А.Сахаров, Н.Новгород, Россия	ЗАО "Время-Ч", Конечный Пользователь 1	Регулярные обсуждения с Группой PPD , и использование произведенных устройств в собственных изделиях.
10	Г-н А.Н.Качемцев, Н.Новгород, Россия	НИИИС, Конечный Пользователь 2	Радиационная обработка и тестирование приборов, регулярные обсуждения с Группой PPD , использование приборов в собственных изделиях.
11	Д-р В.Д.Скупов, Н.Новгород, Россия	НИИИС, Конечный Пользователь 2	Разработка RTP (геттерирование, обработка протонами и гамма - квантами).
12	Г-н А.Г.Фефелов, Н.Новгород, Россия	Салют, Конечный Пользователь 3	Производство приборов - прототипов и предоставление их (бесплатно) Группе PPD , измерение DC/AC характеристик и высокочастотных шумов, регулярные обсуждения с Группой PPD , использование приборов в собственных изделиях.
13	Д-р М.А.Китаев, Н.Новгород, Россия	Салют, Конечный Пользователь 3	Производство приборов - прототипов и предоставление их (бесплатно) Группе PPD , измерение DC/AC характеристик и высокочастотных шумов, регулярные обсуждения с Группой PPD , использование приборов в собственных изделиях.

5. Видимость Проекта SfP

В Нижегородском государственном университете создан WWW сайт [2]: “Радиационно стойкие полупроводниковые приборы для систем связи и прецизионных измерений. Разработка с использованием шумового анализа. NATO, Project SfP-973799 Semiconductors” для оперативного отражения решаемых задач и получаемых результатов. Сайт создан на двух языках: русском и английском. Выбор языковой версии осуществляется через главную страницу.

Адрес главной страницы сайта:

<http://www.rf.unn.runnet.ru/NATO/index.html>

Основная работа по созданию сайта выполнена молодым ученым Г-ном А.Ю.Виценко.

6. Критерии Успеха

6.1. Таблица Критериев Успеха

Данная Таблица является исключительно важным отчетным документом, поскольку в ней содержатся Критерии, понятные для каждого Эксперта НАТО, не являющегося специалистом в рассматриваемой узкой научной области (см. Табл. 3).

Ниже приводятся пояснения к разделам Таблицы Критериев успеха.

6.2. Авторские свидетельства (патенты) на изобретения

Список патентов, полученных в рамках Проекта, со ссылкой на поддержку НАТО, Проект SfP-973799 Полупроводники.

1. В.К.Киселев, С.В.Оболенский, В.Д.Скупов. “Способ контроля структурного совершенства монокристаллических полупроводниковых пластин”. Патент Российской Федерации №2156520.

Формула изобретения: Способ контроля структурного совершенства монокристаллических полупроводниковых пластин, включающий механическое шлифование, полирование и химическое полирование поверхности контролируемой стороны пластин, измерение структурно-чувствительного параметра материала и облучение пластин легкими частицами с энергией 0.5–5МэВ до изменения измеряемого параметра, отличающийся тем, что облучение пластин проводят с противоположной контролируемой стороны, которую до облучения механически шлифуют и / или полируют и формируют структурно нарушенный слой толщиной не менее пробега внедряемых частиц.

Таблица 3

Номер Проекта: SfP-973799
 Дата Отчета: 30 апреля 2001
 Год исполнения Проекта: 1

Краткое название Проекта: SfP-Semiconductors
 Длительность Проекта: 11/1999 – 04/2003

Критерии Успеха, одобренные заседанием Группы Управления SfP: 23 сентября 1999	%	Критерии Успеха: Достижения на 30.04.2001	%
<i>В терминах научного воздействия развиваемых методов</i>			
1. Если к окончанию Проекта Конечные Пользователи улучшат собственные разработки и технологические процессы для 3 типов приборов при помощи результатов Проекта. Улучшение означает здесь уменьшение коэффициента шума в 2 раза и увеличение оценки срока службы прибора на 50%.	3×15=45	1. Нет достижений	0
2. Если в течение двух лет после окончания Проекта Конечные пользователи начнут производство и продажу модифицированных полупроводниковых приборов 2 типов.	15	2. Нет достижений	0
3. Если к окончанию Проекта будет получено 2 авторских свидетельства (патента) на изобретения по разработкам, выполненным в рамках Проекта.	10	3. Получен 1 патент на изобретение по разработкам, выполненным в рамках Проекта	5
4. Если к окончанию Проекта будет опубликовано в международных журналах или доложено на международных конференциях 12 статей или докладов по проблемам, решенным в Проекте.	10	4. На международных конференциях сделано 4 доклада, 4 доклада приняты. В международных журналах опубликованы 2 статьи.	6
<i>В терминах подготовки молодых ученых</i>			
5. Если в течение двух лет после завершения Проекта не менее трех молодых ученых, вовлеченных в выполнение Проекта, защитят кандидатские диссертации.	10	5. Успешно защищена одна кандидатская диссертация (Н.В.Демарина)	3
6. Если в течение года после завершения Проекта не менее шести молодых ученых, вовлеченных в выполнение Проекта, получат работу в вузе или промышленности по похожей тематике.	10	6. Д-р Н.В.Демарина получила работу в Нижегородском государственном университете	2
ВСЕГО:	100%	ВСЕГО:	16%

6.3. Публикации в международных журналах, доклады на международных конференциях

Список научных публикаций, выполненных в рамках Проекта, со ссылкой на поддержку НАТО, Проект SfP-973799 Полупроводники.

- [1] **Макаров С.В.**^{у)}, **Медведев С.Ю.**, **Якимов А.В.** “Корреляция между интенсивностями спектральных компонент 1/f шума”. Известия ВУЗов. Радиофизика. 2000. Т.43, №11. С.1016–1023.
- [2] **B.N.Zvonkov, I.A.Karpovich, N.V.Baidus, D.O.Filatov, S.V.Morozov**^{у)}, and **Yu.Yu.Gushina**. “Surfactant effect of bismuth in the MOVPE growth of the InAs quantum dots on GaAs”. *Nanotechnology* 2000, 11, P.221–226.
- [3] **Оболенский С.В.**, **Китаев М.А.**³⁾ “Исследование процессов генерации в баллистическом полевом транзисторе”. *Микроэлектроника*, 2001, Т.30, №1, С.7–12.
- [4] **Перов М.Ю.**^{у)}, **Медведев С.Ю.**, **Якимов А.В.** “Влияние БПФ на оценку спектра сигнала. Эффективная разрядность гармонического сигнала”. 36-й Международный семинар “*Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах*” 20–23 ноября 2000 года, МНТОРЭиС им. А.С.Попова, МЭИ, Москва.
- [5] **Козлов А.К.**^{у)}, **Якимов А.В.** “Влияние флуктуационных процессов на стабильность частоты водородного стандарта”. 36-й Международный семинар “*Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах*” 20–23 ноября 2000 года, МНТОРЭиС им. А.С.Попова, МЭИ, Москва.
- [6] **Demarina N.V.** “Influence of high energy radiation on transport characteristics of semiconductor materials and devices. Simulation by Monte Carlo method”. Report at the seminar by Prof. K.Renk in *Institut für Angewandte und Experimentelle Physik, Universität Regensburg, Germany, December 2000*.
- [7] **I.A.Karpovich, S.B.Levichev**^{у)}, **A.V.Zdoroveishev**^{у)}, **N.V.Baidus, B.N.Zvonkov, V.A.Perevoshikov, D.O.Filatov**. “Investigation of the buried InAs/GaAs quantum dots by SPM combined with selective chemical etching”. Proceedings of International Conference Probe Microscopy – 2001. Nizhni Novgorod, 25 February – 01 March 2001.
- [8] **A.A.Belyaev**¹⁾, **B.A.Sakharov**¹⁾; **A.K.Kozlov**^{у)}, and **A.V.Yakimov**. “The influence of the main noise sources on frequency stability of the quantum frequency standard”. The report is accepted for the presentation at *ICNF-2001*, USA, Florida, October 22–25, 2001.
- [9] **A.V.Belyakov**^{у)}, and **A.V.Yakimov**. “The ADC-transformation of probability characteristics of Gaussian noise”. The report is accepted for the presentation at *ICNF-2001*, USA, Florida, October 22–25, 2001.

^{у)} Молодой ученый

³⁾ Конечный Пользователь 3.

¹⁾ Конечный Пользователь 1.

- [10] **S.V.Makarov**^{*)}, **S.Yu.Medvedev**, and **A.V.Yakimov**. “The comparative analysis of methods of the 1/f noise non-Gaussianity test”. The report is accepted for the presentation at *ICNF-2001*, USA, Florida, October 22–25, 2001.
- [11] **S.Yu.Medvedev**, **M.Yu.Perov**^{*)}, and **A.V.Yakimov**. “The influence of ADC and FFT on the spectrum estimation”. The report is accepted for the presentation at *ICNF-2001*, USA, Florida, October 22–25, 2001.

В этом списке отражено участие молодых ученых.

В течение первого полугодия в группе PPD к работе над Проектом было привлечено 20 молодых ученых из Нижегородского государственного университета им. Н.И.Лобачевского и ЗАО “Время-Ч” (Конечный Пользователь 1), во втором полугодии – 21.

6.4. Список защищенных диссертаций

Список защищенных диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, выполненных в рамках Проекта, со ссылкой на поддержку НАТО, Проект SfP-973799 Полупроводники.

1. Демарина Н.В. “Электронный транспорт в *GaAs* структурах при радиационном воздействии”. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.– Нижний Новгород, Нижегородский государственный университет, 20 июня 2000 г. (на русском языке).

7. Сводка результатов

В течение первого года работы по Проекту (к 30 апреля 2001 года) получены следующие основные результаты.

- Модифицированы методы неразрушающего контроля дефектов в полупроводниковых структурах. Создана установка для исследования дефектов в структуре полевых транзисторов. Впервые выполнено измерение биспектра низкочастотного шума *GaAs* эпитаксиальных пленок, изготовленных в TUE.
- Развита методика легирования полупроводниковых слоев висмутом. Это позволяет значительно улучшить оптические свойства лазерных гетероструктур.
- Разработаны новые методы исследования наноструктур: атомно-силовая микроскопия скрытых под покровным слоем квантовых точек; фотоэлектрическая спектроскопия гетероструктур с самоорганизованными квантовыми точками в системе полупроводник/электролит.
- Впервые применен метод Монте-Карло для моделирования процессов переноса носителей заряда в полупроводниковых структурах на основе *GaAs* с радиационными дефектами.
- Теоретически и экспериментально исследован электронный перенос в нанометровых *n-GaAs* структурах. Показано, что производство приборов, основанных на высокоэнергетических электронах, позволит улучшить радиационную стойкость.
- Исследованы основные особенности возникновения нанокластеров радиационных дефектов в канале баллистического *GaAs* ПТШ с V-образным затвором (рабочая длина затвора 30 нм), подвергаемого нейтронной бомбардировке.

Бюджет НАТО: 9,600,000 BEF

Национальный вклад: 8,000,000 BEF

Платежи из фондов НАТО (к 30 апреля 2001 года): 3,767,608 BEF

8. Ближайшие задачи

В целом, работа над Проектом идет в соответствии с одобренным планом. В дополнение к плану можно сформулировать следующим ближайшие задачи, стоящие перед группами NPD и PPD.

- 1) Проведение совместных экспериментов в группе **NPD** (с участием молодых ученых) согласно плану Этапов 4 и 6.
- 2) Обучение молодых ученых с целью написания диссертации и подготовки для работы в вузе или промышленности по похожей тематике.
- 3) Расширение “Видимости Проекта” за счет научных публикаций и докладов на научных конференциях (со ссылкой на поддержку НАТО), использования других средств массовой информации.

Литература

- [1] NATO Science for Peace Sub-Programme Project Management Handbook. January 2001. <http://www.nato.int/science/sfp/management/main.html>
- [2] WWW сайт “Радиационно стойкие полупроводниковые приборы для систем связи и прецизионных измерений. Разработка с использованием шумового анализа. NATO, Project SfP-973799 Semiconductors”.
<http://www.rf.unn.runnet.ru/NATO/index.html>