



На правах рукописи

КОРОТКОВ ДМИТРИЙ ПАВЛОВИЧ

**ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ВТСП БОЛОМЕТРА И НА БАЗЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ**

Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем
управления

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Автор:

05 ДЕК 2008

Москва – 2008 г.

Диссертация выполнена в Московском инженерно-физическом институте
(государственном университете)

Научный руководитель кандидат физико-математических наук,
доцент Антоненко С.В.

Официальные оппоненты доктор технических наук Федосеев В.И.

кандидат технических наук,
доцент Краснюк А.А.

Ведущая организация Российский научный центр "Курчатовский институт"
Институт сверхпроводимости и физики твёрдого тела

Защита состоится «22» декабря 2008 г. в 15:00 на заседании диссертационного совета
Д212.130.02 по адресу:
115409 Москва, Каширское шоссе, д. 31, тел. 324-84-98, 323-91-67.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИФИ.

Автореферат разослан 21 ноября 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор



Скоробогатов С.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность диссертации

Опτικο-электронные системы – важнейшее направление высокопроизводительных систем управления и вычислительной техники. В настоящее время оптическая связь — это род электросвязи, передача и прием сигналов любого вида электросвязи в оптическом диапазоне электромагнитных волн. Анализ факторов, определяющих условия функционирования и преимуществ оптических систем связи и управления (ОССУ) и построенных на открытых оптических каналах обмена информацией, позволяет сформулировать основные направления их внедрения:

- в качестве абонентских линий и линий привязки;
- на внутриобъектовых и соединительных линиях;
- для образования сетки линий в локальных вычислительных сетях;
- в качестве релейных вставок в волоконно-оптические системы передачи (например, при преодолении водных преград и т. п.);
- для связи между ретрансляторами на летно-подъемных средствах (ЛПС);
- для связи между ретрансляторами на ЛПС и космических аппаратах (КА);
- для связи между ретрансляторами на КА;
- на линиях ЛПС (КА) - подводный объект;
- для связи между кораблями флота (в первую очередь, военно-морского).

Хотя оптические методы передачи информации исследовались достаточно давно, существенный интерес в этой области наместился около 15 лет назад. Так, фирма GTE разработала оборудование для ОССУ между самолетами в воздухе. При демонстрации ОССУ обеспечивалась высококачественная связь с помощью оптических присмопередающих устройств, установленных у иллюминаторов самолетов. Также прошла проверку система наведения и автоматического сопровождения оптических антенн. В качестве преимуществ данного варианта применения ОССУ отмечались малый вес оборудования, более высокая безопасность и защита информации по сравнению с радиосвязью, более высокая устойчивость к воздействию помех.

На флоте ведутся исследования по разработке оптических линий «надводный корабль — ЛПС» и «надводный корабль — надводный корабль» дальностью до 60 км.

Также прорабатывается проект высокоскоростной оптической передачи информации с геостационарных спутников на высоколетящие ЛПС, между ЛПС и с них на подводные аппараты в погруженном состоянии. В этом направлении ведутся три крупные разработки космических оптических линий связи в Западной Европе (проект SILEX — Semiconductor Laser Intersatellite Link Experiment), Японии и США.

Рядом английских фирм разработаны портативные переносные станции оптической связи на полупроводниковых лазерах для передачи речевой и цифровой информации между наземными абонентами на дальности прямой видимости. Атмосферные ОССУ применяются, прежде всего, для обмена данными между ЭВМ при организации локальных сетей, когда проводную сеть прокладывать невозможно или нецелесообразно.

В нашей стране на НПО «Заря» был освоен выпуск подобных ОССУ, которые, кроме того, применялись для цифрового обмена информацией между абонентами, для проводки судов и наведения самолетов, а также в охранной сигнализации.

Основными элементами оконечной аппаратуры оптического линейного тракта являются передающие (ПОМ) и приемные (ПРОМ) оптоэлектронные модули. В ПОМ чаще всего используются полупроводниковые лазеры (для ОССУ также твердотельные, газовые и другие лазеры), а в ПРОМ—фотоэлектрические полупроводниковые приемники излучения, фотоэлектронные умножители, болометры и др.

Помимо использования традиционных полупроводниковых фотоприемников, в последнее время начали использовать сверхпроводниковые болометры. Известно, что широкое применение в создании терагерцовых резонаторов, датчиков малого теплового излучения, датчиков магнитного поля широкое применение нашли высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП). Однако о возможности использования ВТСП в системах связи

ИК диапазона публикации появились только в последнее время. К преимуществам ВТСП приемников можно отнести их относительно высокую рабочую температуру, высокую вольт - ваттную чувствительность, низкую чувствительность к засветкам, перегревам, радиационному облучению и электромагнитным импульсам, которые способны вывести из строя обычные полупроводниковые приемники.

Эти преимущества делают перспективным применение оптических каналов связи и управления с передающими элементами на основе лазеров и приемниками на основе ВТСП болометров в системах связи, требующих повышенной защищенности информации и сохраняющих работоспособность после воздействия облучения, возможных перегревов, тепловых ударов ЭМИ и т.п.

Одна из серьезных проблем в применении ВТСП болометров – криогенные температуры в районе 80 К может быть решена применением современного криооборудования или холодильников работающих на основе эффекта Пельтье. Современные криосистемы могут быть переносными или размещены на подвижных системах связи.

Поэтому актуальной является задача исследования возможности использования ВТСП болометров для построения ОССУ и особенностей построения мобильных систем.

Цель и задачи диссертации

Целью диссертации является экспериментальное исследование воздействия оптических импульсов малой скважности на ВТСП болометр, как основы новой элементной базы микроэлектроники, направленное на создание широкодиапазонной стационарной оптической системы связи и управления, а также построение носимой беспроводной системы связи и управления оптического диапазона на полупроводниковой элементной базе.

Для достижения поставленной цели в диссертации были решены следующие задачи:

1. Исследованы болометрические и шумовые свойства ВТСП болометра Bi-Sr-Ca-Cu-O под воздействием оптических импульсов лазера при азотных температурах и определен максимально возможный частотный диапазон принимаемого сигнала, а также осуществлен выбор лазерного передающего модуля и проведена его модернизация;

2. Создана система связи и управления оптического диапазона для передачи речевого сигнала с приемным элементом на основе ВТСП болометра Bi-Sr-Ca-Cu-O;

3. Разработаны электронные схемы, позволяющие создать носимую беспроводную OCCУ на основе полупроводниковой элементной базы;

4. Собраны и испытаны носимый приемо-передающий модуль и стационарный приемо-передающий модуль мобильной OCCУ для голосового управления.

Научная новизна диссертации

1. Впервые исследованы шумовые свойства ВТСП болометра Bi-Sr-Ca-Cu-O и болометрический отклик при импульсном воздействии лазера малой скважности. Отмечено, что при 77 К наблюдается преобладание низкочастотного шума спектральной плотности 1/Г вплоть до 20 Гц.

2. Предложен оригинальный метод использования диодов с накоплением заряда для формирования прямоугольных импульсов тока накачки полупроводниковых инжекционных лазеров для создания OCCУ.

4. Разработана и испытана первая в мире широкополосная оптическая система связи и управления с приемным элементом на основе ВТСП болометра. Новизна подтверждена патентом.

5. Спроектирована и реализована уникальная беспроводная носимая ОССУ на основе полупроводниковой элементной базы, состоящая из носимого в шлемофоне модуля приемопередатчика и стационарного приемопередающего модуля.

Практическая значимость диссертации

Показана принципиальная возможность создания ОССУ с приемным элементом в виде сверхпроводникового болометра Bi-Sr-Ca-Cu-O. Исследование его болометрических свойств и собственных шумов при низких температурах определило рамки возможного применения различных устройств с приемниками модулированного импульсного излучения на основе болометров Bi-Sr-Ca-Cu-O.

Применение диодов с накоплением заряда обеспечит возможность кодирования информации, передаваемой в системах использующих полупроводниковые инжекционные лазеры.

Разработанная и созданная ОССУ на основе стандартных полупроводниковых элементов с носимым в шлемофоне модулем приемопередатчика и стационарным модулем может найти широкое применение для внутриобъектовых систем связи и управления.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Методики и результаты исследования свойств болометра Bi-Sr-Ca-Cu-O.
2. Экспериментальные методы формирования компактной схемы генератора импульсов тока для накачки лазерного диода, позволившая создавать импульсы тока 100 А, длительностью 100 нс с перестраиваемой частотой до 10 кГц для работы ОССУ.
3. Широкодиапазонная стационарная оптическая система связи и управления с приемным элементом на основе ВТСП болометра.

4. Носимая беспроводная система связи и управления оптического диапазона на основе полупроводниковой элементной базы.

Апробация результатов диссертации

Основные результаты диссертации были представлены на следующих конференциях: ВНКСФ-3 и 4, Екатеринбург, 1995 и 1996 г.; III Международная научно-техническая конференция "Лазеры в науке, технике, медицине", Пушкинские горы 1997 г., "Научные сессии МИФИ- 1999, 2000, 2001, 2002, 2006, 2007, 2008 г."; 32 Всероссийское совещание по физике низких температур (НТ32)", Казань 2000 г.; "Электроника и информатика - XXI век, третья Международная научно-техническая конференция", Москва, МИЭТ, 2000 г.; "Электроника, микро и наноэлектроника "2-ая научно-техническая конференция", Суздаль, 2000 г., Первая международная конференция "Фундаментальные проблемы высокотемпературной сверхпроводимости ФПС'04" Москва – Звенигород, 18-22.10.2004, Научная конференция «Исследования в области физики конденсированных сред и сверхпроводимости» РИЦ «Курчатовский институт» 11-13.04.2006, 34 совещание по физике низких температур (НТ-34)", Ростов н/Д, 26-30.09.2006.

Публикации

Все результаты диссертации представлены в 30 научных публикациях и защищены патентом.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и списка литературы, включающего 65 наименований. Содержание диссертации изложено на 128 страницах машинописного текста, включая 45 рисунков и 4 таблицы к основному тексту.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность диссертации и ее место в науке и технике, сформулированы цели и задачи исследований, приведена общая характеристика диссертации, определена научная новизна и практическая ценность результатов диссертации. Представлены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору литературы по ряду направлений: проводится анализ возможных путей создания оптических систем связи и управления, рассматриваются проблемы создания ОССУ на основе ВТСП болометра, проблемы создания носимой ОССУ на основе полупроводниковой элементной базы.

Во второй главе рассматривается разработка ОССУ с примесным элементом на основе ВТСП болометра Bi-Sr-Ca-Cu-O. На первом этапе необходимо было исследовать свойства болометра (частотные характеристики, шумовые характеристики, чувствительность). Для исследований использовался оптический криостат с медным хвостовиком, на который устанавливался болометр. Болометр представлял собой пленку Bi-Sr-Ca-Cu-O на подложке MgO с 4 нанесенными контактами. На пленке был вырезан методом лазерного скрайбирования меандр площадью $1,1 \times 1,1 \text{ мм}^2$, 11 периодов, ширина реза 5 мкм. Болометрический отклик снимался с болометра по четырехконтактной схеме. Схема экспериментального стенда приведена на рис. 1.

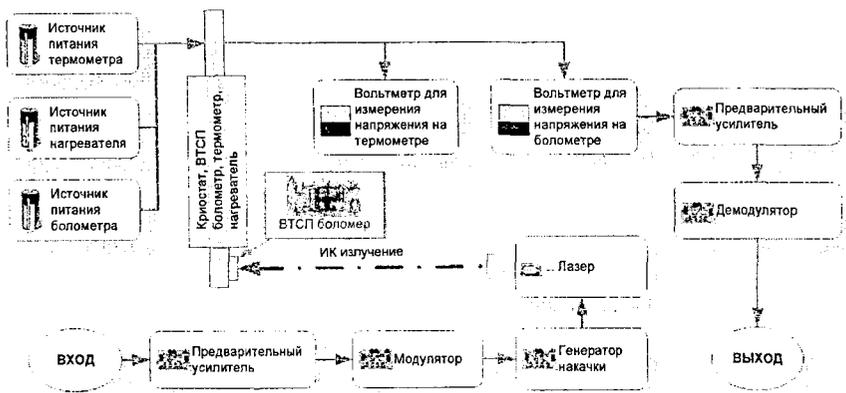


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

Сверхпроводящий переход болометра соответствовал критической температуре $T_c=84,25$ К с шириной сверхпроводящего перехода $\Delta T_c=3$ К и сопротивлением в нормальном состоянии 1 кОм.

Оциллограммы болометрического отклика (рис. 2) наглядно продемонстрировали, что реальный частотный диапазон, который определяется перекрыванием откликов, (временем релаксации болометра) в нашем случае ограничивается 20 кГц сверху, чего вполне достаточно для передачи речевого сигнала.

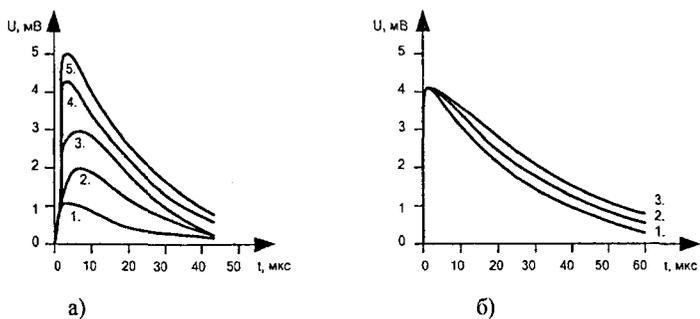


Рис. 2. Оциллограммы напряжения на образце:
 а) при температуре термостата $T = 84$ К при различных токах: 1) 3 мА; 2) 0,5 мА; 3) 2,5 мА; 4) 1,5 мА; 5) 2 мА;
 б) при температуре термостата $T = 78$ К в случае стабилизации рабочей точки только по току: 1) 15 мА; 2) 17 мА; 3) 19 мА

На основе полученных результатов был апробирован композитный метод установки рабочей точки болометра (середины сверхпроводящего перехода). Он включал в себя предварительную стабилизацию по температуре с помощью нагревателя хвостовика оптического криостата с тонкой настройкой с помощью рабочего тока, которая проводится непосредственно исходя из величины сигнала на осциллографе (достижение максимального).

На болометре наблюдали отклик на рассеянное излучение лазера. Оценка вольт-ваттной чувствительности с учетом геометрических параметров расходимости луча лазера дала величину до 20 В/Вт.

Для установления значений температуры болометра при импульсном изменении лучистой мощности лазера была решена задача нестационарной теплопроводности:

$$(ср) \frac{\partial t_i(x, \tau)}{\partial \tau} = \lambda_i \frac{\partial^2 t_i(x, \tau)}{\partial x^2}; \quad (1)$$

$$0 < x < x_i, \quad \tau > 0.$$

В этом уравнении i относится к клеящему компаунду материала подложки и сверхпроводящей пленке. На границах между материалами сшиваются температуры и тепловые потоки. Начальное условие:

$$t(x, 0) = t_0; \quad (2)$$

$$0 < x < x_i, \quad \tau > 0,$$

где t_0 – температура термостата, l_0 – сумма толщин клея, подложки и пленки.

Граничные условия:

$$t(0, \tau) = t_0; \quad (3)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(l_0, \tau)}{\partial r} = q(\tau);$$

$$\tau > 0.$$

Первое граничное условие соответствует постоянной температуре термостата, второе условие описывает передачу потока тепла от импульсного лазера к сверхпроводящей подложке. Следует отметить, что поскольку в данном случае важна

только среднеинтегральная температура тонкой сверхпроводящей подложки, то закон поглощения падающего излучения Бугера-Ламберта был заменен простым граничным условием второго рода. Кроме того, пренебрегаем потерями тепла за счет излучения с поверхности пленки. Ввиду неопределенности контактных термических сопротивлений, они не учитывались, а достоверность расчета проверялась на основе имеющихся экспериментальных данных. Задача нестационарной теплопроводности решалась численно в системе Flex PDE 5.09. Конечным результатом расчета являлись общий подогрев сверхпроводящей пленки и ее максимальная температура отклика. Подобные расчеты позволяют оценить быстродействие болометра и учесть особенности его отклика в проводимых исследованиях.

С помощью платы оцифровки ЦАП-АЦП были измерены шумы болометра при температуре жидкого азота и рассчитаны Фурье-преобразования шумов. Отмечено преобладание низкочастотного шума вида $1/f$. Именно этот шум ограничивает обнаружительные способности болометра в низкочастотной части спектра. В отличие от низкочастотных шумов болометров Y-Ba-Cu-O, в нашем случае он ограничен частотой 15 Гц, тогда как у Y-Ba-Cu-O он присутствует до 100 Гц.

Для формирования прямоугольных импульсов тока накачки полупроводниковых инжекционных лазеров малых, средних и больших мощностей (более 30 кВт) было предложено использование диодов с накоплением заряда (в частности, для лазера ИЛШИ-110).

Работа диода в качестве формирующего элемента основана на явлении накопления и рассасывания неосновных носителей заряда в базе диода. При протекании прямого тока $I_{пр}$ через диод происходит накопление заряда в базе. При подаче на диод обратного напряжения происходит рассасывание избыточных носителей, и высокая проводимость будет сохраняться в течение времени t_1 (фаза сохранения тока) за счет накопленного ранее заряда неосновных носителей.

Для построения генераторов накачки инжекционных лазеров перспективным является использование сверхбыстродействующих тиристоров в качестве ключевых элементов и диодов с накоплением заряда в качестве формирующих элементов. Схема такого генератора приведена на рис. 3.

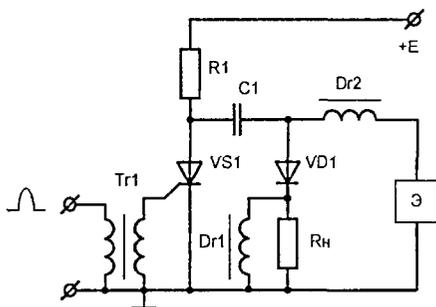


Рис. 3. Схема генератора накачки инжекционных лазеров на основе сверхбыстродействующего тиристора в качестве ключевого элемента и диода с накоплением заряда в качестве формирующего элемента

Прямой ток диода с накоплением заряда обеспечивается источником тока Э (через развязывающие цепи Dr1, Dr2). Подача запирающего напряжения на диод VD1 осуществляется сверхбыстродействующим тиристором VS1 (например, типа 2У220А). Импульс обратного тока диода поступает в нагрузку R_н.

Применение такого диода с накоплением заряда позволяет создать надежные, малогабаритные и дешевые генераторы накачки полупроводниковых инжекционных лазеров большой мощности с прямоугольной формой импульсов тока накачки. Применение диодов с накоплением заряда обеспечивает кардинальное упрощение схемы и возможность кодирования информации, передаваемой в системах, использующих полупроводниковые инжекционные лазеры.

На основе предложенного метода был разработан образец генератора накачки полупроводникового лазерного диода ИЛПИ-110. Он позволял обеспечивать управляемое от внешнего генератора формирование последовательности 100 нс импульсов мощностью 100 Вт с динамически перестраиваемой частотой в диапазоне от 1 до 10 кГц.

С помощью этого лазера была исследована зависимость болометрического отклика от частоты поступающего сигнала в диапазоне до 10 кГц. Обнаружено, что величина

отклика не зависит от частоты сигнала. Независимость величины отклика от частоты следования лазерных импульсов позволила применить для передачи речевого сигнала метод частотно-фазовой модуляции.

В результате работы была создана рабочая модель линии связи ИК-диапазона, способная передавать разборчивый речевой сигнал.

Третья глава посвящена разработке носимой ОССУ ИК диапазона на основе полупроводниковой элементной базы. В задачах управления подвижными произвольно ориентированными объектами или связи между персоналом возникает необходимость использования беспроводных оптических КС с повышенной дальностью приемопередачи. Существующие носимые системы плохо адаптированы к использованию в сложных условиях. Предлагаемое решение этой проблемы было направлено на создание мобильной асинхронной системы связи (МАСС) для голосового управления.

Разработка дуплексного приемо-передающего устройства ИК-диапазона включала в себя несколько этапов работы: создание носимой приемо-передающей системы, которая могла быть размещена в головном уборе (в шлеме) и приемопередающего устройства, которое могло быть размещено стационарно и соединено с аппаратурой внутренней связи объекта. Разработанная система должна осуществлять беспроводную помехоустойчивую связь в оптическом диапазоне между человеком и аппаратурой внутриобъектовой связи. Таким образом, линия связи разбивается на два модуля: носимый и стационарный.

Структурно схема одного канала данной линии связи содержит передатчик и приемник. В состав передатчика входит: предварительный усилитель, модулятор, токовый ключ, излучатели. Приемник включает в себя: предварительный усилитель, демодулятор, усилитель мощности, фотоприемники.

Носимый модуль состоит из низкочастотного блока, в котором смонтированы платы микрофонного усилителя, модулятора (передающая часть схемы), демодулятора,

усилителя мощности (приемная часть схемы) и блока питания с токовым ключом для питания излучателей, в котором находятся четыре элемента питания.

Угол расхождения луча отдельного излучателя составляет 120° . Взаимное расположение излучателей позволяет в плоскости расположения излучателей полностью перекрыть угол в 360° . При этом, уже на расстоянии в 10 см от излучающего блока сигнал передается одновременно тремя отдельными излучающими элементами. Дальность передачи при диаграмме в 360° составляет до 12 м.

Соединение приемо-передающего устройства с электронным блоком и блоком питания осуществляется тремя экранированными проводами. По одному из них подается питание от предусилителя с напряжением 9 В, по второму - модулированный сильноточный сигнал на излучатели, по третьему - сигнал от приемного блока.

Были проведены испытания этой беспроводной помехоустойчивой внутриобъектовой ОССУ. Испытания на дальность устойчивой связи дуплексного приемо-передающего устройства показали, что диаграмма направленности излучения одинаковая при наличии помех от ламп на основе люминофоров, ламп накаливания, рассеянного солнечного, а также смешанного излучения. Максимальное расстояние устойчивой связи устройства в помещении до 8 м. В темноте на открытом пространстве максимальное расстояние устойчивой связи возможно до 15 м. Связь может осуществляться по всем направлениям кроме направлений непосредственно закрытых шлемофоном (в случае носимого устройства) и непосредственно закрытых стационарным приемо-передающим устройством (в случае стационарного модуля).

Испытания на определение разборчивости речевого сигнала, дуплексного приемо-передающего устройства ОССУ при различных температурных условиях показали, что в диапазоне расстояний 0,5...7 м разборчивость речевого сигнала больше 97%, что удовлетворяет стандартам телефонной связи.

Испытания на определение работоспособности дуплексного присмо-передающего устройства ОССУ в различных температурных условиях таковы: данная система работает в диапазоне температур от -10°C до $+30^{\circ}\text{C}$.

Испытания на определение частотной характеристики работы дуплексного присмо-передающего устройства ОССУ показали, что рабочий диапазон частот дуплексного приемо-передающего устройства: 60 Гц...3 кГц.

Таким образом, предложено решение задачи организации мобильной связи операторов для голосового управления на основе беспроводной ОССУ с круговой диаграммой направленности и повышенной дальностью приемапередачи.

В заключении приведены основные результаты диссертации:

В исследованиях, составляющих предмет данной диссертации сформировано и развито перспективное направление прикладной физики сверхпроводимости – построение систем связи и управления с приемным элементом на основе ВТСП болометров.

Сформированы и решены основные задачи по исследованию физических закономерностей, лежащие в основе передачи информационных сигналов по оптическому каналу с приемным элементом на базе ВТСП болометра.

Основной научный результат

Исследованы болометрические и шумовые свойства болометра Bi-Sr-Ca-Cu-O при импульсном воздействии лазера. Из характера полученных болометрических откликов определена максимальная частота не перекрывающихся детектируемых импульсов: 10...20 Гц. Получены значения вольт-ваттной чувствительности $S \approx 20 \text{ В/Вт}$, порога чувствительности $\Phi \approx 5 \times 10^{-10} \text{ Вт/Гц}^{1/2}$ и амплитуды собственных шумов $(U_{ш})_{\text{max}} \sim 0,7 \text{ мкВ}$. Измерены собственные шумы болометра при комнатной температуре и температуре кипения жидкого азота $(U_{ш})_{\text{max}} \sim 0,7 \text{ мкВ}$. При снижении температуры отмечалось резкое уменьшение шумов (примерно в 30 раз). Исследована спектральная плотность шумов

ВТСП болометра при различных температурах. Отмечено, что при 77 К наблюдается преобладание низкочастотного шума спектральной плотности $1/\Gamma$ в диапазоне до 20 Гц.

Основной теоретический результат

Решена задача нестационарной теплопроводности для установления значений температуры болометра, при импульсном изменении лучистой мощности лазера. Показано, что учет закона Бугера-Ламберта не оказывает существенного влияния на величину времени релаксации. Также отмечено, что влияние термического сопротивления на средненнтегральную температуру незначительно.

Основной практический результат

На практике создана и запатентована ОССУ с приемным элементом в виде сверхпроводящего болометра Bi-Sr-Ca-Cu-O. Исследование его болометрических свойств и собственных шумов при низких температурах очертило рамки возможного применения различных устройств с приемниками модулированного импульсного излучения на основе болометров Bi-Sr-Ca-Cu-O.

Частные практические результаты

На основе предложенного метода использования диода с накоплением заряда разработан генератор импульсов тока для накачки лазерного диода ИЛПИ-110. Генератор обеспечивает формирование импульсов тока 100 А, длительностью 100 нс с перестраиваемой частотой до 10 кГц. Данный образец обладает существенно лучшими характеристиками, чем промышленный генератор импульсов накачки лазера ГИТ-11.

Показано, что применение диодов с накоплением заряда позволяет кардинально упростить схему, и обеспечивает возможность кодирования информации, передаваемой в системах, использующих полупроводниковые инжекционные лазеры.

Разработанная и созданная ОССУ на основе стандартных полупроводниковых элементов с носимым в шлемофоне модулем приемопередатчика и стационарным

модулем может найти широкое применение для внутриобъектовых систем связи и управления.

Список публикаций по теме диссертации

1. Антоненко С.В., Коротков Д.П. Разработка модулятора для системы связи на основе лазера и сверхпроводящего болометра.// ВНКСФ-3: Тез. докл. - Екатеринбург, 1995. С. 106-107.
2. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Исследование интегрального отклика болометра Bi-Sr-Ca-Cu-O на расфокусированное излучение полупроводникового инфракрасного лазера // ВНКСФ-4: Тез. докл. - Екатеринбург, 1996. С. 60-61.
3. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Исследование отклика Bi-Sr-Ca-Cu-O на излучение полупроводникового лазера ИК диапазона // III Международная научно-техническая конференция "Лазеры в науке, технике, медицине": Тез. докл. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. С. 211-212.
4. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Шумовые характеристики ВТСП болометра для лазерной системы связи ИК диапазона // III Международная научно-техническая конференция "Лазеры в науке, технике, медицине": Тез. докл. - М. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. С. 213-214.
5. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Исследование болометрического отклика и шумовых характеристик ВТСП болометра Bi-Sr-Ca-Cu-O на импульсное излучение ИК лазера для использования болометра в качестве приемного элемента линий ИК связи // Научная сессия МИФИ-99: Тез. докл. - М.: МИФИ, 1999. Т. 3. С. 18-19.
6. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Приготовление пленок $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ для детектирования импульсного ИК излучения по переднему

- фронту болометрического отклика // Научная сессия МИФИ-99: Тез. докл. - М.: МИФИ, 1999. Т. 3. С. 22-23.
7. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Модель отклика высокотемпературного сверхпроводящего болометра на произвольную последовательность оптических импульсов // Научная сессия МИФИ-99: Тез. докл. - М.: МИФИ, 1999. Т. 3. С. 24-25.
 8. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Исследование свойств болометра $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ при изотермическом режиме работы // Научная сессия МИФИ-2000: Тез. докл. - М.: МИФИ, 2000. Т. 4. С. 102-104.
 9. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Установка для исследования процессов отклика болометра $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ при воздействии импульсов ИК лазера с постоянной мощностью и переменной скважностью при помощи оптического штока // Инженерная физика. – 2000. - № 4. - С. 55-57.
 10. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Исследование отклика ВТСП болометра $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{7-x}$ при воздействии импульсов ИК лазера малой скважности // 32 Всероссийское совещание по физике низких температур (НТ32). Секция SC: Сверхпроводимость: Тез. докл. – Казань, 2000. С. 191-192.
 11. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Исследование возможности детектирования оптических лазерных импульсов малой скважности с помощью сверхпроводящего болометра на основе Bi-Sr-Ca-Cu-O // Электроника, микро- и нанoeлектроника. 2-я научно-техническая конференция МИФИ: Тез. докл. - Москва, 2000. С.184-186.
 12. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Исследование отклика ВТСП болометра BbSnCaSbO , на твердой подложке на импульсы ИК лазера постоянной мощности и переменной скважности // Письма в ЖТФ. – 2001. – Т. 27. – Вып. № 16. - С. 85 – 89.

13. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Разработка макета открытой оптической связи с приемным элементом на основе ВТСП болометра // 32 Всероссийское совещание по физике низких температур (НТЗ2). Секция SC: Сверхпроводимость: Тез. докл. – Казань, 2000. С. 193-194.
14. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Использование ВТСП болометра на основе пленок Bi-Sr-Ca-Cu-O в системе открытой оптической связи // Электроника и информатика - XXI век. Третья Международная научно-техническая конференция: Тез. докл. – М. МИЭТ, 2000. С. 120-121.
15. Пат. 2154909 РФ, Система оптической связи / Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Заявл. № 99107107 от 30.03.1999. - № 23.
16. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Разработка системы оптической связи инфракрасного диапазона с использованием приемного элемента на основе высокотемпературного сверхпроводящего болометра Bi-Sr-Ca-Cu-O // Препринт: М.: МИФИ, 2000. – 004-2000. – 32 с.
17. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Макет линии открытой оптической связи с приемным элементом на основе ВТСП болометра // Электроника, микро- и нанoeлектроника. 2-я научно-техническая конференция: Тез. докл. - М.: МИФИ, 2000. С.187-189.
18. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Разработка макетного образца оптического канала связи с приемным элементом на основе ВТСП болометра // Научная сессия МИФИ - 2001: Тез. докл. – М., 2001. Т. 4. С. 124-125.
19. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Помехоустойчивый оптический канал управления на основе сверхпроводящего болометра // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2001. - № 6. - С. 44-46.

20. Антоненко С.В., Коротков Д.П. Применение диодов с накоплением заряда в генераторах накачки // Научная сессия МИФИ-2001: Тез. докл. – М., 2001. Т. 4. С. 134-135.
21. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Носимая система внутренней оптической связи // Электроника, микро- и наноэлектроника. 2-я научно-техническая конференция МИФИ: Тез. докл. - Москва, 2000. С.190-192.
22. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Мобильная асинхронная система связи операторов для голосового управления // Научная сессия МИФИ - 2001: Тез. докл. - М.: МИФИ, 2001. Т. 4. С. 126-127.
23. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Мобильная асинхронная система связи операторов для голосового управления // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2001. – № 5. – С. 44-45.
24. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Определение тепловой проводимости между углеродной пленкой и подложкой // Научная сессия МИФИ - 2002: Тез. докл. - М.: МИФИ, 2002. Т. 4. С. 110-111.
25. Антоненко С.В., Брызгунов К.В., Коротков Д.П. Оптическая система связи и управления на основе ВТСП болометра // В сборнике расширенных тезисов: Первая международная конференция “Фундаментальные проблемы высокотемпературной сверхпроводимости ФПС'04”. - Москва – Звенигород, 2004. С. 260-261.
26. Антоненко С.В., Коротков Д.П., Марапетян А.С. Разработка макетного образца оптического канала связи с приемным элементом на основе ВТСП болометра // Труды 34 совещания по физике низких температур (НТ-34). – Ростов н/Д, 2006. Т. 2. С. 118.

27. Антопенко С.В., Коротков Д.П. Решение задачи нестационарной теплопроводности ВТСП болометра в модели оптического канала связи // Научная сессия МИФИ-2007: Тез. докл. - М.: МИФИ, 2007. Т. 4. С. 189-190.
28. Антопенко С.В., Коротков Д.П. Разработка макетного образца оптического канала связи с приемным элементом на основе ВТСП болометра // Известия РАН. Серия физическая. 2007. - Т. 71. - № 8. - С. 23.
29. Экспериментальные исследования тепловой релаксации ВТСП болометра / С.В. Антопенко, Д.П. Коротков, А.С. Майрапетян, В.С. Харитонов // Научная сессия МИФИ-2008: Тез. докл. - М.: МИФИ, 2008. Т. 1. С. 59-60.
30. Использование диодов с накоплением заряда для создания компактного генератора накачки полупроводниковых инжекционных лазеров / Д.П. Коротков // Инженерная физика. – 2008. - № 5. - С. 43-46.

Подписано в печать 19.11.2008 г.

Печать трафаретная

Заказ № 1265

Тираж: 100 экз.

Типография «11-й ФОРМАТ»

ИНН 7726330900

115230, Москва, Варшавское ш., 36

(499) 788-78-56

www.autoreferat.ru