

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)

Юридический адрес: набережная реки Мойки,
д. 61, литера А, Санкт-Петербург, 191186

Почтовый адрес: пр. Большевиков, д. 22, корп. 1,
Санкт-Петербург, 193232
Тел. (812) 3263156, Факс: (812) 3263159
<http://sut.ru>
E-mail: rector@sut.ru
ОКПО 01179934 ОГРН 1027809197635
ИНН 7808004760 КПП 784001001
ОКТМО 40909000

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,
д-р техн. наук, с.н.с.



Шестаков

Александр Викторович

2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» на диссертацию Смирнова Константина Яковлевича на тему «Фотоприемные устройства коротковолнового инфракрасного диапазона с фотокатодом на основе гетероструктур InP/InGaAs/InP»

Диссертация «Фотоприемные устройства коротковолнового инфракрасного диапазона с фотокатодом на основе гетероструктур InP/InGaAs/InP» выполнена на кафедре фотоники и линий связи.

В период подготовки диссертации соискатель Смирнов Константин Яковлевич работал в ООО "Ниеншанц-Автоматика" в секторе промышленных компьютеров в должности менеджера по продукту; обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича" на кафедре фотоники и линий связи.

В 2016 г. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» с присвоением квалификации

магистра по направлению «11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

Документ о сдаче кандидатских экзаменов выдан в 2021 г. Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича".

Научный руководитель – Давыдов Вадим Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича", кафедра фотоники и линий связи, профессор кафедры.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Личное участие соискателя состоит в том, что все основные научные результаты диссертации, выносимые на защиту, получены автором лично, а именно:

1. Методика получения высокой степени чистоты поверхности полупроводниковых структур на основе InP, включающая в себя химическое травление и низкотемпературный вакуумный отжиг.

2. Метод оценки быстродействия и коэффициента усиления первичных фотоэлектронов в области подложки линейного массива pin-диодов.

3. Метод параллельной оценки чувствительности гибридного фотоэлектронного прибора с InP/InGaAs/InP фотокатодом и линейным массивом pin-диодов в качестве преобразователя фотоэлектронов.

Достоверность результатов подтверждается соответствием теоретического анализа на основе известного математического аппарата, программ численного моделирования и экспериментальных результатов. Полученные результаты и сделанные на их основании выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертационной работе, опубликованы автором в 18 статьях в рецензируемых научных журналах и неоднократно обсуждались на 17 международных конференциях.

Научная новизна результатов состоит в том, что полученные в ходе выполнения исследований результаты позволили сформировать новую эффективную фотокатодную структуру, чувствительную к излучению в

коротковолновом инфракрасном диапазоне. Предложена новая методика получения атомарно чистой поверхности фотокатодных структур посредством совмещения методов химического травления и вакуумного отжига. Обоснована перспективность использования фотокатодной гетероструктуры InP/InGaAs/InP в качестве основной части неохлаждаемых фотоприемных систем коротковолнового инфракрасного диапазона.

Практическая значимость полученных результатов заключается в следующем: разработана и реализована конструкция прибора с фотокатодом для коротковолнового ИК диапазона для фотоприёмного устройства, позволяющего решать задачи событийной осведомленности и наблюдения объектов в реальном времени с возможностью цифрового вывода информации; внедрены новые оригинальные технические решения в конструкцию фотодетектора, обеспечивающие внутреннее усиление в приборе первичных фотоэлектронов (на 2 порядка и более); предложенная конструкция кардинально отличается от существующих отечественных инфракрасных приборов в составе электронно-оптического преобразователя, который сочленен посредством волоконной оптики с матричным фоточувствительным ПЗС; на макете фотодетектора с линейным массивом рiп-диодов в качестве преобразователя фотоэлектронов было получено значительное для неохлаждаемых ИК приборов быстродействие в совокупности с высокой чувствительностью (менее 10 нс); реализована конструкция фотокатода для коротковолнового инфракрасного диапазона на основе гетероструктуры InP/InGaAs/InP с показателями максимальной квантовой эффективности более 5% в режиме непрерывного облучения; разработаны и реализованы на экспериментальном стенде новые методики измерений параметров фотоэлектронных гибридных приборов с InP/InGaAs/InP гетероструктурами.

Ценность научных работ соискателя состоит в том, что рассмотренные в диссертации и публикациях вопросы имеют в настоящее время большое фундаментальное и практическое значение в сфере исследования фоточувствительных материалов, чувствительных в спектральном диапазоне 0,9–1,7 мкм. Результаты работы крайне полезны для решения широкого спектра практических задач, связанных с атмосферным наблюдением объектов в условиях слабой и нулевой видимости, а также могут быть использованы в ходе конструирования новой научно-исследовательской аппаратуры. Представленные

методы и технологические решения могут быть использованы для проектирования и исследования характеристик фотоприемных устройств на основе внешнего фотоэффекта широкого назначения, чувствительных как в коротковолновом инфракрасном диапазоне, так и в альтернативных спектральных диапазонах, включая ультрафиолетовый и видимый.

Материалы диссертации соискателя с необходимой полнотой изложены в 23 работах общим объемом 8,2 п.л., авторский вклад составляет 4,5 п.л. Из них опубликованы: 4 – в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК при Минобрнауки России; 14 – в изданиях, включенных в международные базы цитирования; 1 результат интеллектуальной деятельности; 4 – в других научных изданиях и материалах конференций.

Основные публикации по теме диссертации с личным вкладом соискателя:

– из перечня рецензируемых научных изданий (перечень ВАК):

1. Смирнов К.Я. Гибридный многоканальный фотоприемник для спектрального диапазона 1-1,6 мкм / М.Р. Айнбунд, Д.Л. Глебов, В.В. Забродский, Е.Е. Левина, Д.Е. Миронов, А.В. Николаев, А.В. Пашук, К.Я. Смирнов, В.М. Фролов // Прикладная физика. 2018. № 6. С. 54-59.

Личный вклад: разработаны и реализованы методы измерений гибридного многоканального фотоприемного устройства с КВИК фотокатодом.

2. Смирнов К.Я. Гибридные высокочувствительные цифровые телевизионные приборы для УФ и ИК спектральных диапазонов / М.Р. Айнбунд, А.В. Гарбуз, А.А. Дементьев, Е.Е. Левина, Д.Е. Миронов, А.В. Пашук, К.Я. Смирнов, О.В. Чернова // Успехи прикладной физики. 2018. № 6(6). С. 514-517.

3. Смирнов К.Я. Оптический метод контроля состояния текущих сред с низкой прозрачностью и крупными включениями / В.В. Давыдов, Н.М. Гребеникова, К.Я. Смирнов // Измерительная техника. 2019. № 6. С. 37-43.

Личный вклад: разработана схема регистрации оптического сигнала с помощью линейного массива диодов.

4. Смирнов К.Я. Метод определения дефектов на внутренних стенках трубопровода по распределению скорости текущей жидкости / В.В. Давыдов, С.В. Кружалов, Н.М. Гребеникова, К.Я. Смирнов // Измерительная техника. 2018. № 4. С. 33-39.

Личный вклад: разработана схема регистрации оптического сигнала с помощью линейного массива диодов и аналого-цифрового преобразования полученных результатов.

– включенных в издания международных баз цитирования:

5. Smirnov K.J. High sensitive InP emitter for InP/InGaAs heterostructures / Smirnov K.J., Medzakovski V.I., Davydov V.V., Vysoczky M.G., Glagolev S.F. // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 917(6). P. 062019.

Личный вклад: разработан метод очистки полупроводниковых структур на основе InP.

6. Smirnov K.J. Spectral characteristics of InP photocathode with a surface grid electrode / Myazin N.S., Smirnov K.J., Davydov V.V., Logunov S.E. // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 929(1). P. 012080.

Личный вклад: разработаны методы оценки и получены результаты спектральных характеристик образцов полупроводниковых структур на основе InP.

7. Smirnov K.J. The universal optical method for condition control of flowing medium / Grebenikova N.M., Smirnov K.J., Artemiev V.V., Davydov V.V. and Kruzhalov S.V. // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1038(1). P. 012089.

Личный вклад: разработана схема регистрации оптического сигнала с помощью линейного массива диодов.

8. Smirnov K.J. The development of a new method for making justified decisions by municipal authorities in the management of territories on the basis of the results of the environmental express-control of the state of various media / Rukin E. V., Moroz A. V., Smirnov K. J., Davydov V. V., Yushkova V. V. // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 245. P. 12002.

Личный вклад: разработана концепция оценки параметров изменения свойств текучих материалов на основе оптического неразрушающего контроля и регистрации флуктуаций сигнала с помощью диодных массивов.

9. Smirnov K.J. Features of monitoring the state of the liquid medium by refractometer / Grebenikova N.M., Smirnov K.J., Davydov V.V., Rud V.Yu., Artemiev V.V. // Journal Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1135(1). P. 012055.

Личный вклад: оценена перспективность использования рефрактометра в качестве альтернативы диодным массивам в системе оценки физических свойств текучей жидкости.

10. Smirnov K.J. Development of methods for results reliability raise during the diagnosis of a person's condition by pulse oximeter / Grevtseva A.S., Smirnov K.J., Davydov V.V., Rud' V.Yu. // Journal Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1135(1). P. 012056.

Личный вклад: предложена методика оценки состояния человека с помощью оптических методов и использования фотоприемных устройств широкого спектрального диапазона.

11. Smirnov K.J. Photocathodes for near infrared range devices based on InP/InGaAs heterostructures / Smirnov K.J., Davydov V.V., Glagolev S.F., Rodygina N.S., Ivanova N.V. // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1038(1). P. 012102.

Личный вклад: разработана конструкция и оценены параметры фотокатода на основе InP/InGaAs/InP гетероструктур для гибридных фотоэлектронных приборов.

12. Smirnov K.J. Temperature investigations of InP/InGaAs based photocathodes / Smirnov K.J., Davydov V.V., Tushavin G.V., Glagolev S.F. // Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech 2018). 2018. Vol. 209. P. 11.

Личный вклад: Проведены температурные исследования фотокатода на основе InP/InGaAs/InP гетероструктур для гибридных фотоэлектронных приборов.

13. Smirnov K.J. High speed near-infrared range sensor based on InP/InGaAs heterostructures / Smirnov K.J., Davydov V.V., Tushavin G.V., Glagolev S.F. // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1124(2). P. 022014.

Личный вклад: Разработана конструкция высокоскоростного сенсора на основе InP/InGaAs/InP гетероструктур и линейного массива pin-диодов.

14. Smirnov K.J. The optical method for condition control of flowing medium. / Grebenikova N.M., Smirnov K.J., Davydov V.V., Rud' V.Yu. // Journal Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1124(1). P. 041011.

Личный вклад: разработана схема регистрации оптического сигнала с помощью линейного массива диодов.

15. Smirnov K.J. Features of optical signals processing for monitoring the state of the flowing liquid medium with a refractometer / Grebenikova, N.M., Davydov, V.V., Smirnov, K.J. // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1368(2). P. 022057.

Личный вклад: оценена перспективность использования рефрактометра в качестве альтернативы диодным массивам в системе оценки физических свойств текучей жидкости.

16. Smirnov K.J. Method of assessment the degree of reliability of the pulse wave image in the rapid diagnosis of the human condition / Grevtseva, A.S., Smirnov, K.J., Greshnevikov, K.V., Davydov V.V., Rud, V.Yu., Glinushkin, A.P. // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1368(2). P. 022072.

Личный вклад: предложена методика оценки состояния человека с помощью оптических методов и использования фотоприемных устройств широкого спектрального диапазона.

17. Smirnov K.J. InP/InGaAs photocathode for hybrid SWIR photodetectors / Smirnov, K.J., Davydov, V.V., Batov, Y.V. // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1368(2). P. 022073.

Личный вклад: рассмотрена схема применения InP/InGaAs/InP фотокатодных гетероструктур в качестве основного элемента высокоскоростных детекторов КВИК диапазона.

18. Smirnov K.J. Charge-coupled Device with Integrated Electron Multiplication for Low Light Level Imaging / Dyumin, V., Smirnov, K., Davydov, V., Myazin, N. // 2019 Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics. 2019. № 8906868. P. 308-310.

Личный вклад: рассмотрены схемы построения фотоприемных устройств ближнего ИК диапазона для работы в условиях слабой и нулевой видимости.

– результаты интеллектуальной деятельности:

19. Айнбунд М.Р., Пашук А.В., Андреева Е.Б., Смирнов К.Я., Чернова О.В. Фотокатод повышенной чувствительности и способ его изготовления. Патент 2685541 RU; заявитель и патентообладатель АО ЦНИИ «Электрон». – № 2018109314; заявл. 23.04.2018; опубл. 22.04.2019.

Личный вклад: разработана и реализована схема получения высокой степени квантовой эффективности на фотокатодах широкого спектрального диапазона.

– в других изданиях и материалах конференций:

20. Смирнов К.Я. Фотоприемные устройства ближнего инфракрасного диапазона для различных инфокоммуникационных систем // VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция "актуальные проблемы

инфотелекоммуникаций в науке и образовании": сб. науч. ст. в 4-х т. – СПб.: СПбГУТ, 2018. – С. 638-642.

21. Smirnov K.J. InP/InGaAs SWIR photodetector for remote sensing systems / K.J. Smirnov, V.V. Davydov, A.V. Moroz, V. Yu. Rud // Международная конференция по астрофизике для молодых ученых. Сборник трудов конференции. – 2019. – С. 49-54.

Личный вклад: разработана схема применения разработанного гибридного фотоэлектронного прибора с InP/InGaAs/InP гетероструктурой в системах мониторинга Земной поверхности.

22. Смирнов К.Я. Высокоэффективный фотоэмиттер на основе фосфида индия для фотокатода InP/InGaAs / К.Я. Смирнов, В.И. Медзаковский // Сборник тезисов и докладов XXIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных по фундаментальным наукам «Ломоносов – 2017». – 2017. – С. 686-687.

Личный вклад: Рассмотрены свойства и влияние InP эмиттера на квантовую эффективность гетероструктуры InP/InGaAs/InP.

23. Смирнов К.Я. Фотокатод на основе гетероструктур InP/InGaAs для фоточувствительных сенсоров ближнего инфракрасного диапазона // Сборник тезисов и докладов XXIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных по фундаментальным наукам «Ломоносов – 2018». – 2018 – С. 331-332.

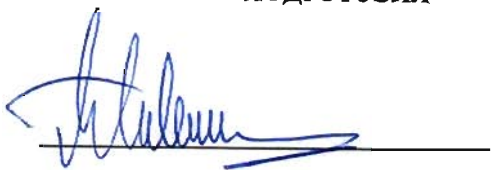
Диссертация «Фотоприемные устройства коротковолнового инфракрасного диапазона с фотокатодом на основе гетероструктур InP/InGaAs/InP» соответствует требованиям, установленным п. 14 «Положения о присуждении ученых степеней» и научной специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики, отрасль науки – технические науки. Диссертация соответствует пунктам 2 и 5 паспорта научной специальности 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики.

Диссертация «Фотоприемные устройства коротковолнового инфракрасного диапазона с фотокатодом на основе гетероструктур InP/InGaAs/InP» Смирнова Константина Яковлевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.2. Приборы и методы экспериментальной физики.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры фотоники и линий связи. Присутствовало на заседании 17 чел. Результаты голосования: «за» – 8 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 5 от 24 декабря 2021 г.

Заключение утверждено на заседании научно-технического совета СПбГУТ. Результаты голосования: «за» – 15 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 75 от 09 февраля 2022 г.

Заключение подготовил



Лившиц Александр Иосифович,
д-р физ.-мат. наук, профессор,
кафедра физики,
профессор кафедры

Заключение оформил



Аникевич Елена Александровна, канд. техн. наук,
отдел Организации научно-исследовательской
работы и интеллектуальной собственности,
начальник отдела