

О Т З Ы В

официального оппонента д.ф.-м.н. КУЗНЕЦОВА В.В. на диссертационную работу Коновалова Глеба Георгиевича «Создание и исследование высокоэффективных быстродействующих фотодиодов для средней ИК-области спектра (2-5 мкм) на основе узкозонных гетероструктур АЗВ5», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Логика развития современной базы оптоэлектроники всё больше смещает центр фундаментальных и прикладных интересов в область гетероструктур, обладающих потенциально ценными свойствами.

В этой связи создание быстродействующих приемников излучения в средней ИК-области спектра на диапазон 2-5 мкм обосновывает постановку задач, направленных как на исследование фотоэлектрических свойств фотоприемных гетероструктур, так и на повышение их функциональной эффективности. Конструирование быстродействующих приемников ИК излучения с высокой квантовой эффективностью и низким уровнем шумов позволит расширить диапазон приборов экологического мониторинга окружающей среды, разработать вопросы медицинской диагностики в безопасном для зрения диапазоне, сделать перспективный шаг по разработке систем высокоскоростной передачи данных в открытом атмосферном канале. Подобная постановка исследовательской задачи представляется нам современной и важной.

НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЙ И НАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Главные новые научные результаты, полученные диссертантом, можно сформулировать в виде следующих положений:

- Высокое быстродействие фотодиодов на основе изопериодной гетероструктуры GaSb/GaInAsSb/GaAlAsSb обусловлено малым временем заряда-разряда барьерной емкости прибора за счет конструктивных особенностей *p-i-n* фотодиода.

- Лавинное умножение фототока в фотодиоде на основе наногетероструктуры $n\text{-GaSb/AlAsSb/InAsSb/AlAsSb}/p\text{-GaSb}$ с глубокой квантовой ямой $\text{Al(As)Sb/InAsSb/Al(As)Sb}$ в активной области обусловлено ударной ионизацией электронов в зоне проводимости между потенциальным барьером AlSb и первым электронным уровнем квантовой ямы.
- Высокое быстродействие фотодиодов получено за счет добавления глубоких квантовых ям на гетерогранице в гетероструктурах, что снижает их удельную электрическую ёмкость и плотность темнового тока.

Переходя к общей оценке работы считаем необходимым отметить следующее.

Автором проведен квалифицированный анализ результатов работ предшественников, что позволило выбрать правильное направление исследований.

Критически рассмотрены достижения в области создания сверхбыстродействующих фотоприёмников и предложено использовать гетероструктуры $\text{GaSb/GaInAsSb/GaAlAsSb}$ для создания фотодиодов, которые показали рекордное быстродействие 50-100 пс наряду с высокой квантовой эффективностью 0.6-0.7.

Вызывает удовлетворение детальные исследования физических факторов, влияющих на быстродействие фотодиода со структурой $p-i-n$. Подробно проанализированы ёмкостные эквиваленты меза-фотодиодов с чувствительными площадками размером 100 мкм и 50 мкм, благодаря чему удалось исключить влияние ёмкостной компоненты контактной мезы в фотодиоде с разделёнными (чувствительной и контактной) мезами.

Весьма интересен новаторский способ увеличения квантовой фоточувствительности для фотодиодов с граничной длиной волны 4.8 мкм. Автор показал, что создание не просто отражающей поверхности от тыльной стороны фотодиодного чипа, а с изменяющейся кривизной, образованной вытравленными полусферами позволяет существенно увеличить квантовую чувствительность в 1.5-1.7 раз, благодаря изменению направления излучения внутри фотодиодного чипа. Такой способ улучшения характеристик фотодиодов автору удалось запатентовать, что подтверждает новизну и оригинальность полученных результатов.

Отметим и обнаруженное автором явление умножения фототока в фотодиоде на основе наногетероструктуры n -GaSb/AlAsSb/InAsSb/AlAsSb/ p -GaSb с глубокой квантовой ямой Al(As)Sb/InAsSb/Al(As)Sb в активной области, которое м.б. связано с явлением ударной ионизации электронов в зоне проводимости между потенциальным барьером AlSb и первым электронным уровнем квантовой ямы.

СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЙ.

Обоснованность выводов и заключений диссертанта основывается на корректной постановке задачи, методической проработке порядка и последовательности исследований. Тщательное описание применяемых методов исследований не вызывает нареканий. Сюда следует отнести описание технологии создания фотодиодов, использование апробированных исследовательских методик в виде вольт-амперных, вольт-фарадных, спектральных характеристик фотодиодов, сканирующей зондовой микроскопии и проч. Не вызывает сомнений истолкование результатов спектральных, микроскопических и электрических измерений с обнаруженными эффектами, обуславливающими быстроедействие созданных фотодиодов.

В качестве пожеланий и вопросов укажем следующее.

К сожалению в работе не приводятся сведения по дефектности гетероструктуры InAs/InAs_{0.94}Sb_{0.06}/InAsSbP/InAs_{0.88}Sb_{0.12}/InAsSbP, обусловленной взаимной аккомодацией их периодов решеток за счет упругих смещений атомов из своих равновесных положений.

Кроме того, автором не в полной мере применена методика исследования быстроедействия фотодиодов, изложенная им самим в главе 2.

ЗНАЧИМОСТЬ ДЛЯ НАУКИ И ПРАКТИКИ ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ ДИССЕРТАНТА

Проблемы, затронутые автором, тесно связаны с применением их в области современных высоких технологий. В представленной работе сделан серьезный шаг на пути к расширению номенклатуры фотодиодов спектрального диапазона

2-5 мкм на основе наногетероструктур соединений A^3B^5 с квантовыми ямами для экологического мониторинга, медицинской диагностики, информационных сетей и проч.

Результаты диссертационной работы представляют интерес для использования в учреждениях РАН, на предприятиях электронной промышленности, также для организаций, специализирующихся на создании и применении приборов полупроводниковой оптоэлектроники: ФГУП «НИИ «Полюс» (Москва), ФГУП «НПО» Орион» (Москва) и др.

СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫМ К ДИССЕРТАЦИЯМ

Оценивая работу в целом, можно сказать, что она представляет собой законченное научное исследование; методы исследования современны и соответствуют поставленной задаче. Конкретное личное участие автора в работе заключается в создании и исследовании высокоэффективных быстродействующих фотодиодов для средней ИК-области спектра на основе узкозонных гетероструктур A^3B^5 и твердых растворов на их основе, последующей интерпретации экспериментальных данных, выявлении закономерностей и формулировке основных результатов.

Основные положения диссертации доложены на 9 международных, всероссийских и региональных конференциях конференциях, опубликованы в 9 статьях рецензируемых журналов, все из списка, рекомендованного ВАК РФ. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Диссертация Коновалова Г.Г. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны быстродействующие фотоприёмники инфракрасного излучения (2-5 мкм) на основе объёмных и квантоворазмерных гетероструктур узкозонных полупроводниковых соединений A^3B^5 и твердых растворов на их основе.

Считаю, что диссертационная работа Коновалова Глеба Георгиевича «Создание и исследование высокоэффективных быстродействующих фотодиодов для средней ИК-области спектра (2-5 мкм) на основе узкозонных гетероструктур A^3B^5 », удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в «Положении о порядке присуждения ученых степеней», утвержденных правительством Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013

г (пп. 9 – 14), а ее автор Коновалов Глеб Георгиевич заслуживает присуждения
искомой степени по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Официальный оппонент – доктор
физико-математических наук, профессор
кафедры физической химии Санкт-Петербургского
государственного электротехнического университета

КУЗНЕЦОВ В.В.

197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

тел. +7 (812) 346-17-23

факс: +7 (812) 346-27-58

E-mail: vkuznetsov@inbox.ru

<http://www.eltech.ru/>

Подпись Кузнецова В.В. "ЗАВЕЩАЮ"
Начальник ОДС



Русыева Т. Л.