

Отзыв

официального оппонента на диссертацию

Лысака Владимира Валерьевича

«Разработка элементов сверхкоротких оптических соединений с учетом динамических процессов и транспорта носителей в микрорезонаторах и наноструктурах»

на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям

01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики

01.04.10 – физика полупроводников.

Диссертационная работа Лысака В. В. посвящена теоретическому исследованию процессов переноса носителей заряда, генерации фотонов в многослойных квантово-размерных полупроводниковых структурах и распространения оптического сигнала через оптические каналы, а также формированию новых принципов построения эффективных источников и приемников оптического излучения для высокоскоростных сверхкоротких оптических соединений (СКОС).

Актуальность темы диссертации связана с современным уровнем развития технологий, позволяющих выращивать и структурировать с очень высокой точностью устройства с многослойными материалами различного состава, такие как вертикально излучающие лазеры и резонансные фотодиоды. Появление принципиально новых структур способствовало развитию крайне перспективного рынка применения высокоскоростных элементов оптических соединений с низкими затратами энергии, которые в других условиях не реализуются. В связи с этим, актуальными являются как теоретические исследования эффектов неравномерного распределения носителей заряда в сложных нано- и

микроструктурах, так и анализ их практического применения в системах связи нового поколения.

Научная и практическая значимость результатов диссертации заключается в том, что разработанные методы позволили на практике осуществить моделирование процессов, протекающих в быстродействующих оптоэлектронных приборах. Предложены методы оптимизации геометрических параметров элементов СКОС с улучшенными динамическими характеристиками. Проведен систематический анализ основных характеристик полупроводниковых лазеров, оптических усилителей и фотодиодов с квантово-размерной активной областью.

Полученные в работе результаты **достоверны** и обоснованы. **Научная новизна** и содержание работы полностью отражены в автореферате и публикациях автора в высокорейтинговых отечественных и зарубежных научных изданиях.

Диссертация состоит из шести разделов, заключения, списка использованных источников из 191 наименования, приложения и примечания. Полный объем работы составляет 282 страницы, диссертация содержит 99 рисунков и 11 таблиц.

В разделе 1 кратко освещено современное состояние проблемы, сформулирована цель исследования, обоснована актуальность проведения теоретических исследований, охарактеризована научная новизна и приведены выносимые на защиту положения.

В разделе 2 проведен обзор современного состояния и перспективных направлений сверхкоротких оптических соединений и элементов систем передачи данных следующего поколения.

В разделе 3 приведена математическая постановка задачи моделирования вертикально излучающего лазера с внутрирезонаторными контактами (ВИЛВК) и анализ физических явлений, связанных с неравномерным распределением

носителей заряда по структуре лазера с учетом внедрения оксидного окна, а также механизмов управления величиной оптического усиления и сопротивления приборов. В результате показано, что, применяя оптимальные геометрические параметры структуры, можно добиться существенного увеличения скоростных характеристик прибора.

В разделе 4 приведена математическая постановка задачи моделирования резонансного фотодиода (РФД). Показано, что, если поместить тонкий поглощающий слой в резонатор Фабри-Перо, зеркала многократно отражают входящий оптический сигнал внутри резонатора и, тем самым, повышают чувствительность прибора при сохранении его скоростных качеств. В результате определено оптимальное значение пар распределенного Брэгговского отражателя, при котором получалась максимальная квантовая эффективность фотодиода, а также представлены новые методы спектрального совмещения длин волн лазера и детектора.

В разделе 5 приводятся результаты анализа модели полупроводникового усилителя на основе многослойной квантово-размерной структуры с различными по составу активными областями. Автором представлены методы определения значения физических параметров из экспериментальных характеристик или более сложных моделей, описывающих подробно тот или иной физический процесс в отдельности. В результате была сформулирована комплексная модель лазерной системы обработки сверхкоротких импульсов, учитывающая процессы переноса носителей, динамику температуры носителей в каждой квантовой яме и динамику распространения сверхкоротких импульсов в активном волноводе, включая внутризонные эффекты, такие как разогрев носителей и поглощение свободными носителями, при различных параметрах материалов и различных длинах волн оптического возмущения.

В разделе 6 приводятся результаты приборной апробации ВИЛВК, РФД и полупроводникового усилителя, а также методы интеграции этих элементов на одной подложке. Совпадение теоретических и экспериментальных данных подтверждает правильность описания вышеприведенных моделей динамических процессов и полученных с их помощью оценок основных параметров разрабатываемых приборов.

В заключении приводится сводка основных полученных результатов и выводы по диссертации в целом.

Основные результаты диссертации опубликованы в 45 статьях в профильных научных изданиях и рецензируемых зарубежных журналах и сборниках (в т. ч. 33 публикации в изданиях из Перечня ВАК). Апробация работы была проведена на более чем 30 международных и всероссийских отраслевых конференциях и семинарах. Публикации отражают основные положения работы и позволяют подтвердить личный вклад В.В. Лысака, который принимал активное участие в формулировании цели, задач и проведении теоретических исследований, а также обработке результатов экспериментов, в рамках разработанных им моделей.

В качестве недостатков работы можно отметить следующие:

1. В тексте диссертации недостаточно подробно объяснено, чем обусловлен практический интерес к использованию оптических усилителей в сверхкоротких оптических соединениях.
2. На стр. 207, 6 - 9 строки снизу указано, что темновой ток прибора диаметром 80 мкм составляет 30,3 пА, и далее сказано: «Это намного ниже, чем темновой ток коммерческих p-i-n ФД [149]». Это же предложение вынесено и в вывод №24 к главе 6 (стр. 243, 14 строка сверху). В то же время в статье, упомянутой под ссылкой [149],

отсутствует какая-либо информация о темновых токах коммерческих р-і-п ФД. Для удобства восприятия материала было бы полезно прямо в тексте диссертации привести сравнительные данные о темновых токах коммерческих р-і-п ФД, тем более, что полученный автором результат намного лучше.

3. На стр. 210, 10 строка снизу указано, что «Значение емкости РФД выше стандартных фотоприемников вследствие меньшей длины переноса носителей». Это же предложение вынесено и в вывод №25 к разделу 6 (стр. 243, 17 строка сверху). Во-первых, фраза неудачно сформулирована, а, во-вторых, в тексте диссертации отсутствуют данные по значениям емкости стандартных фотоприемников, и нет возможности оценить, насколько хуже полученный автором результат.
4. В разделе 6 отсутствует подробное сопоставление экспериментальных данных с результатами моделирования влияния геометрических параметров вертикально излучающих лазеров на их динамические характеристики.
5. В тексте диссертации имеется несколько неточностей и опечаток, в частности:
 - а. на стр. 35 отсутствует какой-либо текст;
 - б. на стр. 59, 7 строка сверху, указано, что «Активная область состоит из трех 70 Å $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ квантовых ям», тогда как на рис. 3.4 показаны только 2 квантовые ямы;
 - в. на стр. 61, 14 стр. снизу не указан номер рисунка, на который идет ссылка;
 - г. на стр. 104, 4 стр. сверху, вместо «оптический сигнал», должно быть «электрический сигнал»;
 - е. на стр. 157, уравнение 5.46 не пропечатано;

- f. на стр. 196, 10 стр. сверху, вместо «(8,2 Вт и 3,9 Вт, соответственно)» должно быть «(8,2 мВт и 3,9 мВт, соответственно)»;
- g. на стр. 236, 1 строка сверху, стр. 242, 1 строка снизу и стр. 243, 1 строка сверху, вместо «(9 Вт и 7 Вт)» должно быть «(8,2 мВт и 3,9 мВт)»;

Указанные недостатки не снижают ценность работы и не затрагивают основного содержания диссертации.

Резюмируя сказанное, можно констатировать, что диссертация Лысака В.В. выполнена на высоком научном уровне. В ней содержатся новые подходы к разработке перспективных элементов систем сверхкоротких оптических соединений и выявлены общие закономерности управления физическими явлениями в неравномерной структуре прибора для улучшения динамических характеристик практических устройств телекоммуникационных систем нового поколения. Важным достоинством работы является то, что большинство теоретических результатов уже нашли экспериментальное подтверждение.

Диссертационная работа Лысака В.В. по форме и содержанию соответствует положениям «Разработка методов математической обработки экспериментальных результатов. Моделирование физических явлений и процессов» специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики и «Электронный транспорт в полупроводниках и композиционных полупроводниковых структурах» и «Моделирование свойств и физических явлений в полупроводниках и структурах, технологических процессов и полупроводниковых приборов.» специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, публикации отражают основные результаты работы.

Таким образом, диссертация Лысака В.В. является научно-квалификационной работой. Автором, на основании выполненных исследований, разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Внедрение этих результатов вносит значительный вклад в развитие страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент

Тер-Мартиросян Александр Леонович

доктор технических наук, генеральный директор

АО Полупроводниковые приборы

Адрес: 194156, Санкт-Петербург, а/я 29

тел. +7(812)294-2532

факс +7(812)703-1526

e-mail: ter@atcsd.ru



12.05.2017г