



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»))

В диссертационный совет 34.01.02
при ФТИ им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук

Отзыв

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора, профессора высшей инженерно-физической школы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого Фирсова Дмитрия Анатольевича на диссертационную работу **Соболевой Ольги Сергеевны** "Мощные полупроводниковые низковольтные лазер-тиристоры на основе гетероструктур AlGaAs/GaAs", представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.11 - «Физика полупроводников»

Актуальность. Важным направлением развития физики и технологии полупроводниковых инжекционных лазеров является разработка мощных источников излучения. Мощность излучения лазерного диода определяется током накачки, в связи с этим в состав традиционной лазерной системы неизбежно входит источник импульсного тока. Наличие такого внешнего источника тока требует решения задачи его согласования с нелинейной низкоомной нагрузкой, в результате габариты и стоимость лазерной системы увеличиваются, а достижение высокой эффективности затрудняется. В связи с этим актуальной задачей является развитие новых подходов к конструированию мощных полупроводниковых лазеров. Одним из таких подходов является интеграция лазерного источника и мощного тиристорного ключа в одной гетероструктуре, предложенная некоторое время тому назад. Оптимизация таких приборов, направленная на повышение их мощности и эффективности, требует разработки адекватной модели и моделирования статических и динамических электрооптических характеристик лазер-тиристора. Диссертация О.С. Соболевой посвящена решению именно этих вопросов, что определяет ее несомненную актуальность.

Новизна результатов. В работе получен ряд новых научных результатов. Приведу лишь некоторые из них, представляющиеся мне наиболее важными и интересными.

Работа является, в основном, теоретической, поэтому к важным результатам следует отнести, в первую очередь, разработку одномерной модели лазер-тиристора на основе гетероструктуры AlGaAs/GaAs с квантовой ямой InGaAs. В данной модели лазер-тиристор рассматривается как оптопара "лазерный диод-фототранзистор". Модель учитывает процессы ударной ионизации, эффекты транспорта носителей заряда в сильных электрических полях, оптическую

обратную связь и пороговый характер лазерной генерации. С использованием данной модели получены все основные результаты данной работы.

На основе разработанной модели выполнено моделирование статических и динамических электрооптических характеристик лазер-тиристоров. Показана важность процессов ударной ионизации для увеличения скорости включения прибора, при этом большое влияние на работу прибора имеют и другие факторы, такие как фотогенерация, перераспределение электрического поля и формирование доменов электрического поля.

Выполнено моделирование физических процессов для различных конструкций лазер-тиристоров, различающихся профилями легирования и положением области объемного заряда. На этой основе определены оптимальные профили и уровни легирования, необходимые для генерации импульсов заданной мощности и длительности.

Достоверность и степень обоснованности основных результатов работы не вызывают сомнений. В части теоретического исследования достоверность результатов подтверждается их соответствием результатам экспериментальных измерений пиковой оптической мощности лазер-тиристоров. Достоверность результатов моделирования также определяется использованием экспериментальных данных по оптической обратной связи. Измеренные спектры поглощения, необходимые для моделирования, хорошо согласуются с данными литературных источников. В экспериментальной части работы используются современные методы исследования, результаты не противоречат имеющимся литературным данным.

Научная и практическая значимость работы высока и несомненна. Она частично отражена в предыдущих разделах отзыва. Модель лазер-тиристора, разработанная в диссертации для конкретной гетероструктуры, может быть использована для других типов структур. Особо хотелось бы отметить экспериментальные результаты, полученные для оптимизированной конструкции лазер-тиристора. В этом случае продемонстрирована возможность генерации лазерных импульсов мощностью 55 Вт при длительности импульса порядка 100 нс и 8 Вт при длительности импульса 10 нс, что является рекордными значениями для лазер-тиристоров.

Замечания и вопросы.

1. На схематическом изображении лазер-тиристора в диссертации (рис. 4 и 5) показано, что разрядная емкость включена в цепь источника питания последовательно с прибором. Насколько это корректно?

2. При моделировании в качестве функции распределения электронов по состояниям использовалась функция распределения Ферми-Дирака. Учитывался ли при этом разогрев носителей заряда в сильном электрическом поле?

3. В исследуемых структурах присутствуют слои GaAs в сильном электрическом поле. Учитывалась ли в расчетах возможность возникновения ганновских доменов?

4. По-видимому, все расчеты были выполнены в предположении одиночных импульсов. Каким образом частота повторения импульсов может влиять на работу прибора? Существуют ли ограничения по частоте повторения?

5. В диссертации присутствует заметное число опечаток и стилистических погрешностей.

Указанные замечания не являются принципиальными и не влияют на общую высокую оценку работы.

Оценивая диссертацию в целом, следует отметить высокий научно-методический уровень выполнения работы, большой объем проведенных модельных расчетов, новизну полученных результатов. Работа является цельным и законченным исследованием. Несомненно, эта работа открывает новые перспективы дальнейшего исследования мощных полупроводниковых лазер-тиристоров и будет способствовать дальнейшему повышению их эффективности.

Автореферат и опубликованные статьи правильно и достаточно полно отражают содержание диссертации. Результаты работы были представлены на ведущих российских и международных конференциях и опубликованы в ведущих научных журналах.

Таким образом, диссертационная работа Соболевой Ольги Сергеевны "Мощные полупроводниковые низковольтные лазер-тиристоры на основе гетероструктур AlGaAs/GaAs" по своей актуальности, научной новизне, достоверности и практической значимости результатов соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук» (от 20.12.2021), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а она сама заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 - "Физика полупроводников" (в соответствии с приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.02.2021 N 118).

Профессор высшей инженерно-физической школы,
профессор, доктор физ.-мат. наук

Дмитрий Анатольевич Фирсов

03.10.2022

Контактные данные:

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

E-mail: dmfir@rphf.spbstu.ru

Тел: +7-921-798-8231