

В диссертационный совет Д 002.205.02  
при ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН  
Санкт-Петербург, 194021,  
ул. Политехническая, д. 26

### **ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации **ЦАЦУЛЬНИКОВА Андрея Федоровича**  
«Светоизлучающие III-N гетероструктуры с трехмерной локализацией  
носителей заряда», представленной на соискание ученой степени доктора  
физико-математических наук по специальности  
01.04.10 – физика полупроводников

Работа Цацульникова А.Ф. посвящена исследованию эпитаксиальных гетероструктур на основе нитридов III-группы и оптимизации характеристик светодиодных структур, изготавливаемых на их основе. Актуальность темы обусловлена широким применением полупроводников на основе нитридов в системы освещения, для создания биомедицинских УФ-источников, для создания СВЧ-транзисторов. Большая ширина запрещенной зоны этих соединений позволяет реализовать излучение в требуемых спектральных диапазонах, а также позволяет увеличить напряжение пробоя, достичь больших значений энергии локализации носителей заряда и т.д. В то же время, получение высококачественного эпитаксиального материала затруднено ростом на неродных подложках и большим рассогласованием постоянных решеток слоев, формирующих приборную гетероструктуру. Это предъявляет жесткие требования к технологии синтеза.

Фундаментальный аспект работы связан с использованием в активной области массивов островков с трехмерной локализацией носителей заряда – квантовых точек. Высокую значимость имеет продемонстрированная в работе взаимосвязь увеличения эффективности излучения с трехмерной локализацией. Полученные в работе результаты подтверждают выводы, сделанные ранее на основе изучения квантовых точек InAs/GaAs, о том, что глубокая трехмерная локализация подавляет латеральную диффузию носителей заряда, не позволяя им приблизиться к центрам безызлучательной рекомбинации. Эти результаты открывают также перспективы создания микроизлучателей на основе нитридов.

Важным как с научной, так и с практической точки зрения результатом, на мой взгляд, является демонстрация возможности формирования нитридных гетероструктур в режиме субмонослойного осаждения. Этот метод показал свою эффективность для управления свойствами структур и, в конечном счете, улучшения характеристик приборов. Ранее он применялся в отношении арсенидных гетероструктур, а для нитридов, насколько нам известно, впервые был продемонстрирован в работах автора диссертации.

Замечание или, скорее, пожелание, возникшее по материалам диссертации, следующее. Автором обсуждается возможность создания источников света, излучающих одновременно на нескольких длинах волн, за счет применения нескольких отличающихся по химическому составу активных областей. Предпринимались ли попытки промоделировать протекание тока и захвата носителей в таких структурах с целью объяснения темпов излучательной рекомбинации электронно-дырочных пар в более коротковолновой и более длинноволновой активной области в зависимости от конструкции структуры, величины тока накачки, температуры?

Автореферат диссертации написан хорошим языком и характеризуется ясностью изложения обширного материала. Выносимые на защиту положения подкреплены представленными в работе экспериментальными результатами и, где это возможно, обоснованы теоретическими выкладками. У автора много работ в реферируемых журналах, в том числе Phys Rev B, Appl Phys Lett, и обширный список конференций, на которых работа прошла апробацию.

Насколько можно судить по автореферату, диссертационная работа характеризуется высоким научно-методическим уровнем и, **удовлетворяет** требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников. Считаю, что Цацульников Андрей Федорович **заслуживает** присвоения искомой ученой степени.

д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН \_\_\_\_\_

Жуков Алексей Евгеньевич

« 24 » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Проректор по науке,  
заведующий лабораторией Н

Санкт-Петербургского национального исследовательского Академического университета РАН

Санкт-Петербург, 194021, ул. Хлопина д. 8 корп. 3 лит. А  
тел. +7 (812) 4486980, e-mail: zhukov@spbau.ru