

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Зиновьева Романа Александровича,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
«Исследование дефектов в GaN светодиодах»  
01.04.10 – физика полупроводников.

Светодиоды на основе соединений III-N используются при освещении помещений, в качестве индикаторов, а также в биологии и медицине, в системах безопасности. При этом ультрафиолетовые, зеленые и особенно синие светодиоды находят наиболее широкое применение. Характерным признаком нитридных соединений является достаточно большая плотность дефектов структуры в ростовом материале, а следствием отсутствия «родных» подложек является высокая плотность дислокаций в таких структурах. Ростовые дефекты, как и дислокации существенным образом влияют на вольтамперные характеристики и эффективность излучения светодиодов, а также процессы их деградации при использовании. При этом данные о дефектах структуры в нитридах, их природе и параметрах в значительной степени противоречивы и во многих случаях имеют предположительный характер.

В работе исследованы структуры InGaN/GaN с множественными квантовыми ямами (МКЯ), их внешняя квантовая эффективность и ее деградация при больших плотностях прямых токов, а также влияние структурных дефектов, в том числе дефектов создаваемых с помощью электронного облучения, на параметры исследуемых светодиодов. При исследованиях использовались методы адмиттанс-спектроскопии, емкостной и оптической релаксационной спектроскопии глубоких уровней (РСГУ). В процессе выполнения работы автором были адаптированы стандартные методы спектроскопии глубоких уровней в светодиодных структурах и разделены ловушки в КЯ и барьерах; сопоставлены глубокие центры в барьерах GaN и КЯ на основе твердых растворов InGaN различного состава. Оценено влияние внедрения наночастиц SiO<sub>2</sub> и облучения светодиодных структур высокоэнергетическими электронами на рекомбинационные процессы в активной области структур. Такие исследования дефектов в нитридных светодиодах являются актуальными и своевременными.

Исследовательская работа выполнена на высоком метрологическом уровне, ее результаты представляют интерес при практической эксплуатации светодиодов в условиях высоких температур, электрических стрессов и воздействии высокоэнергетической радиации, а также при оптимизации технологических процессов выращивания светоизлучающих структур InGaN/GaN с МКЯ. Достоверность полученных

результатов диссертационной работы подтверждается использованием современного оборудования и аттестованных методик исследований, значительным количеством экспериментальных данных и применением статических методов обработки результатов исследований, сопоставлением полученных данных с результатами других авторов.

Исходя из содержания автореферата, можно заключить, что диссертационная работа представляет собой исследование, результаты и выводы которого обоснованы и опираются на существующую научно методологическую и метрологическую базу. Достоверность полученных результатов подтверждается публикациями ВАК (8) и обсуждениями результатов исследований на научных конференциях.

К незначительным замечаниям по автореферату можно отнести не всегда расшифрованные сокращения, которые должны выставляться в начале текста, не определенный термин «чистый» GaN. Кроме того, в разделе «Научная Новизна» написано «исследованы дефекты в «....светодиодов.....и p-GaN с помощью процедуры выравнивания относительно уровня вакуума». Здесь явно не хватает словосочетания «их уровней» относительно уровня вакуума.

Данные замечания не влияют на результаты выполненных исследований. Считаю, что диссертационная работа Зиновьева Романа Александровича соответствует требованиям Положения ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» о порядке присуждения ученой степен кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников.

 Брудный Валентин Натанович  
09. 09. 2020 г.

доктор-физико-математических наук, профессор  
профессор кафедры физики полупроводников физического факультета  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»  
634050 г. Томск, пр. Ленина 36  
[brudnyi@mail.tsu.ru](mailto:brudnyi@mail.tsu.ru); 8-9069514072

Подпись В.Н. Брудного заверяю:

Ученый секретарь ФГАОУ ВО «НИ ТГУ»

Сазонтова Наталья Анатольевна

