

## ОТЗЫВ

на автореферат Александия Луизы Аратовны «Изучение спектров глубоких центров в синих и зелёных светодиодах на основе III-nitrides, их влияния на характеристики, эффектов наноструктурирования», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 Физика полупроводников.

Диссертация Луизы Аратовны Александия посвящена исследованию спектров глубоких центров в синих и зелёных светоизлучающих диодах (СД) на основе нитридов III группы, а также изучению влияния этих центров на характеристики этих излучающих приборов. С одной стороны, эта работа **актуальна** в связи с растущей ролью оптоэлектронных устройств на основе GaN в различных приложениях, включая твёрдотельное освещение, автомобильное освещение и дисплейные технологии. С другой стороны, дефекты, формирующиеся в нитридных гетероструктурах, не сильно зависят от того, где такие структуры планируется применить. В равной степени результаты, представленные в диссертации, относятся и к другим областям применения, включая мощные и высокотемпературные электронные приборы, фотоприёмники, датчики и т. д.

Исследование Л. А. Александия, представленное в её диссертационной работе, является весьма своевременным ещё и потому, что оно относится к вопросам надежности и эффективности светодиодов на основе GaN – основным с позиции долговременной стратегии внедрения экономичного твёрдотельного освещения в повседневную жизнь.

В диссертационной работе Л. А. Александия получен ряд результатов, обладающих, на мой взгляд, несомненной **научной новизной**, а именно:

1. Убедительно показано, что в дополнение к повышению эффективности излучения синие и зелёные светодиоды с подслоем InAlN обладают повышенной радиационной стойкостью по сравнению с теми, которые не имеют такого подслоя, что значительно влияет на их эксплуатационную стабильность и время жизни.
2. Показано, что наличие InAlN подслоя в структуре нитридных светодиодов приводит, в том числе, к уменьшению степени компенсации Mg акцепторов в p-GaN контактном слое, расположенном сверху относительно остальных эпитаксиальных слоёв приборной гетероструктуры.
3. Показано, что набор глубоких центров, идентифицируемых в обычных нитридных светодиодах большого размера и в нитридных микро-светодиодах отличается, что позволяет ассоциировать дополнительные глубокие центры с поверхностными, отвечающими за поверхностную рекомбинацию носителей, как правило понижающую эффективность микро-светодиодов по сравнению с приборами большого размера.

**Практическая значимость** диссертационной работы Л. А. Александия определяется несколькими факторами. Во-первых, в этой работе удалось идентифицировать новые практически значимые аспекты влияния InAlN подслоя на характеристики светодиодов: повышенную радиационную стойкость и степень компенсации акцепторов в p-GaN контактных слоях. Во-вторых, в работе собрана важная экспериментальная информация о глубоких центрах в нитридных излучающих структурах, их влиянии на характеристики приборов, а также элементах конструкции



приборной структуры, позволяющих это влияние контролировать. И, наконец, в работе идентифицированы глубокие центры в микро-светодиодах, которые могут быть ассоциированы с поверхностными состояниями, ответственными за поверхностную безизлучательную рекомбинацию носителей.

**Достоверность результатов**, представленных в диссертация Л. А. Алексанян, обеспечивается благодаря продвинутому методологическому подходу, апробированному ранее на разнообразных объектах современной полупроводниковой технологии, включая нитридные полупроводники и структуры на их основе, применением современного оборудования, а также хорошим соответствием полученных данных известным из открытой литературы.

В качестве не столько **замечания**, сколько пожелания хочется отметить следующее. В цикле опубликованных работ Н. Гранжана из EPFL был предложен сценарий влияния глубоких центров на эффективность синих нитридных светодиодов. Согласно этому сценарию, вакансии азота, генерирующиеся в буферном и контактном слоях светодиодной структуры испытывают сегрегацию на ростовой поверхности, переносятся вместе с ней в процессе роста приборной структуры и захватываются достаточно эффективно In-содержащими слоями. В этом плане, роль InAlN подслоя, равно как и подслоев иной конструкции, состоит в фильтрации этих вакансий азота, прежде чем они достигнут активной области светодиода, состоящей, как правило, из нескольких InGaN квантовых ям. Такого рода предложенного качественного сценария явно не хватает для объяснения влияния InAlN подслоя на радиационную стойкость светодиодов, а также для интерпретации наблюдаемой повышенной степени компенсации Mg акцепторов в верхних p-GaN контактных слоях светодиодных структур, не имеющих соответствующего подслоя.

В целом диссертационная работа Л. А. Алексанян выполнена на высоком научном уровне, и в ней получен ряд важных, новых и практически значимых результатов. Считаю, что диссертационная работа «Изучение спектров глубоких центров в синих и зеленых светодиодах на основе III-nitrides», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, соответствует всем необходимым требованиям ВАК, а сама Луиза Араратовна вполне заслуживает присвоения ей искомой ученой степени.

Ведущий специалист ООО «Софт-Импакт»  
Кандидат физ.-мат. наук Карпов Сергей Юрьевич



15 ноября 2024г.

Адрес: 194044, Санкт-Петербург, Россия Большой Сампсониевский пр., 64 литера «Е», офис 603  
Телефон: +7(911) 944-3005

Адрес электронной почты: [sergey.karpov@str-soft.com](mailto:sergey.karpov@str-soft.com)

Подпись ректора Картова С.Ю. заверяю.



Милаева В.Н., Технический директор  
ООО «Софт-Импакт»