

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Рожавской Марии Михайловны

"СИНТЕЗ III-N МИКРО- И НАНОСТРУКТУР МЕТОДОМ МОГФЭ НА ПОДЛОЖКАХ САПФИРА И КРЕМНИЯ",

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.10-физика полупроводников.

Диссертационная работа Марии Михайловны Рожавской посвящена развитию технологии газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений для выращивания микро- и наноструктур на основе нитридов III-ей группы. Данная проблема важна как для анализа возможности расширения области применения МОГФЭ, так и для исследования свойств выращиваемых слоев и структур.

Актуальность работы определяется необходимостью развития новых подходов к синтезу нитридных гетероструктур, отличающихся от традиционных методов эпитаксии, осуществляемых на подложках сапфира в полярном направлении, направлением роста и использованием альтернативных подложек. Понятно, что такое расширение возможностей технологии невозможно без апробации различного подхода к синтезу структур и анализа их свойств. Решению именно этих задач и посвящена диссертация.

Научная новизна работы обусловлена дальнейшим развитием трех известных подходов к росту микро- и наноструктур нитридов III-ей группы, включающих в себя планарный рост, селективную эпитаксию и рост нитевидных кристаллов. Несмотря на то, что принципиальная возможность использования упомянутых приемов продемонстрирована ранее другими авторами, исследования, проведенные Марией Михайловной, расширяют понимание области применения, преимущества и недостатки каждого из упомянутых подходов, предлагают новые методы синтеза.

Выделяя конкретные новые результаты, нельзя не отметить принципиально новый способ синтеза наноструктур на основе нитрида галлия на подложках сапфира, заключающийся в использовании нанопленки титана. Автором работы показана возможность использования такого способа синтеза для получения вискерообразных правильных гексагональных форм,

ориентированных строго параллельно гексагональной оси. Продемонстрированная скорость роста (до 800 мкм/ч) на порядок превосходит скорость роста, достигнутую другими авторами при росте нитридных наноструктур. Другим, не менее важным научным результатом, является демонстрация возможности синтеза светодиодной структуры с InGaN/GaN квантовыми ямами на подложке кремния (111) с нанесенным на нее нанослоем карбида кремния. Полученный результат стал возможным благодаря предпринятому в работе анализу по выявлению параметров слоя карбида кремния, которые являются наиболее критичными для дальнейшей эпитаксии нитридов, а также оптимизации зародышевого и буферного слоев AlN/AlGaN.

Практическая значимость работы состоит в открывающихся перспективах применения методов синтеза микро- и наноструктур, развитых в диссертации.

Детальное исследование селективного роста на a-GaN выявило влияние разориентации окна в маске на характер роста полосков. Показано, что при помощи выбора направления окна в маске можно управлять такими параметрами, как скорость латерального роста, направление быстрого роста, характер срастания полосков. Продемонстрирована возможность одинарного ELOG процесса на таких подложках для всех ориентаций окна в маске за исключением точного *c*- направления. Для полосков, ориентированных под углом 45° к направлению (0001), реализована концепция двойного перекрестного ELOG-процесса, которая заключается в том, что второй слой полосков располагается под углом к первому. Предложенная технология позволяет снизить долю дефектного материала в конечном планарном слое без необходимости совмещения при фотолитографии.

Особый интерес представляет разработанная в ходе выполнения диссертационной работы технология выращивания светодиодных гетероструктур, излучающих в синем диапазоне. Такие структуры были получены автором на подложках SiC/Si с использованием буферных слоев AlN, AlGaN с 30% содержанием алюминия и AlGaN с переменным содержанием алюминия.

Достоверность полученных результатов подтверждается:

- Большим объемом экспериментальных результатов;

- Широким разнообразием типов изучавшихся объектов;
- Шириной круга использованных в работе методик исследования;
- Внутренней непротиворечивостью новых результатов;
- Публикацией результатов работы большим количеством статей в рецензируемых журналах и их апробацией на хорошо известных представительных конференциях, как Российских, так и международных. Особо хочется подчеркнуть, большое количество научных коллективов, представленных соавторами в публикациях соискателя, что, безусловно, свидетельствует об актуальности решаемых задач и способностях автора диссертационной работы к организации и проведению совместных научных исследований.

Диссертация производит впечатление большого научного исследования. Результаты представляются актуальными, новыми, достоверными и практически значимыми. Работа носит вполне завершённый характер, содержание автореферата соответствует основным идеям и выводам диссертации.

По работе необходимо сделать следующие замечания

1. Представляется, что положение №1, выносимое на защиту, сформулированное как «разориентация полосковых окон... изменяет огранку и анизотропию скоростей роста» является недостаточно четким и требует уточнения относительно того каким именно образом меняется форма растущего кристалла и каково соотношение скоростей роста при ориентации полосковых окон отличных от низкоиндексных направлений.

2. В разделе 3.6 диссертационной работы обсуждается эволюция формы полосков в процессе селективного роста. В частности высказывается предположение о существовании режимов роста, в которых форма полосков не меняется со временем. Было бы интересно понять, были ли выявлены в проведенных экспериментах соответствующие режимы и каковы были формы полосков в уже проведенных условиях при дальнейшем увеличении длительности процесса роста, наблюдались ли «стационарные» формы полосков при значительном увеличении длительности процесса.

3. В разделе 4.1.2, посвященном росту нанокристаллов с использованием режима с альтернативной подачей прекурсоров, недостаточно подробно описаны условия роста, используемые при пульсирующей эпитаксии.

4. Представляется несколько недостаточным анализ многочисленных результатов, полученных в рамках выполнения работы. Такой анализ мог бы включать в себя сравнительный анализ данных, полученных автором, с данными других исследователей с одной стороны, а также расширенные выводы, сформулированные автором на основе измерения характеристик выращиваемых структур. Отсутствие таких выводов особенно обидно ввиду того, что сами измерения параметров (спектры фото-, электро- и катодолюминисценции, измерение вольт-амперных характеристик и т.д.) были проведены и соответствующие результаты представлены в работе.

Дополнительно, можно отметить два малозначительных замечания

1. Представляется, что стиль языка, используемого в некоторых утверждениях автора, не соответствует стилю научной работы. Например, «линейное изменение условий роста», «большинство светодиодов растится», «источники металлоорганических соединений подаются», «зависимость огранки от величины поверхностного покрытия», «индий эффективно собирает атомы галлия».

2. Текст работы содержит орфографические ошибки, см. например, «экспериментт, проведенные на установке, ...» (см. стр. 15), «кристаллистов» (см. стр. 32), «давление управляется испарителем, расположенном после источника» (см. стр. 42), «нагрев подложкадержателя» (см. стр. 44), «полдски» вместо *полоски* (см. стр. 86). Встречаются в работе также синтаксические ошибки, в основном, связанные с отсутствием запятых: вторая фраза во 2-ом абзаце на стр. 23, первая фраза 3-го абзаца на стр. 26, последняя фраза на стр. 63 и др.

В заключение необходимо отметить, что хотя вышеперечисленные замечания несколько затрудняют восприятие работы, они не носят принципиального характера.

На мой взгляд, по актуальности темы, новизне и достоверности полученных результатов диссертационная работа **Марии Михайловны Рожавской** соответствует критериям, предъявляемым к кандидатской диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным Постановлением Правительства «о порядке присуждения ученых степеней» от 24 сентября 2013 года №842, а сама она достойна присуждения искомой степени.

к.ф.-м.н.,

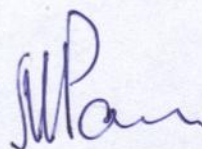
руководитель отдела ООО «Софт-Импакт»

ООО "Софт-Импакт"

пр. Энгельса, 27, а/я 83

Санкт-Петербург, Россия, 194156

mark.ramm@str-soft.com



Рамм Марк Спиридонович

Подпись Рамма М.С. заверяю

Финансовый директор ООО «Софт-Импакт»



Е.Н. Шалаева