

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы М. М. Рожавской, "Синтез III-N микро- и наноструктур методом МОГФЭ на подложках сапфира и кремния", представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

В последние годы в качестве альтернативы традиционному планарному подходу начинает развиваться технология изготовления и исследования свойства и характеристики излучающих приборов на основе нитридов III-группы, выполненных в виде наностержней. Такие структуры с принципиально трёхмерной геометрией имеют существенные потенциальные преимущества: возможность получения бездислокационного материала в активных областях приборов, более эффективное снятие упругих напряжений, возникающих из рассогласования постоянных кристаллической решётки отдельных слоёв структуры, за счёт влияния свободной поверхности и возможность заметного увеличения площади активной области, приходящейся на единичную площадь подложки (в традиционных планарных структурах они совпадают). Одной из проблем создания такого рода структур является малая изученность технологии их эпитаксиального выращивания. Данная проблема тесно связана с проблемой селективной эпитаксии, поскольку и в том и другом случае важными оказывается различие в кинетике эпитаксиального роста на различных кристаллических гранях, а также диффузионный перенос вещества вдоль ростовой поверхности. В этой связи тема диссертационной работы М. М. Рожавской является несомненно актуальной.

Первое, что бросается в глаза при чтении автореферата диссертации, это – обилие фактологического материала, накопленного в процессе проведённых исследований. С одной стороны, это чрезвычайно важно для научного сообщества, традиционно находящегося в условиях дефицита экспериментальной информации о механизмах роста микро- и нанокристаллов методом МОС-гидридной эпитаксии и их связи с ростовыми условиями, включая не только температуру и давление в реакторе, но также и состав несущего газа. С другой стороны, представленный фактологический материал свидетельствует о весьма большом объёме работы, проделанной М. М. Рожавской за сравнительно короткий период времени (всего за два года, судя по 9 публикациям в реферируемых научных журналах).

Результаты диссертационной работы М. М. Рожавской, представленные в автореферате ценны как с научной, так и с практической точки зрения. Несомненной новизной обладают найденные зависимости свойств выращиваемых наностержней по механизму пар-жидкость-твёрдое тело от добавки индия в капли золота, являющимся традиционным катализатором. Безусловно новым результатом является возможность получения совершенных нанокристаллов GaN с помощью тонкой титановой плёнки. В отсутствие качественных объёмных кристаллов GaN, такие нанокристаллы могут послужить в качестве нового стандарта различных физических свойств (например, спектров люминесценции материала в отсутствие упругих напряжений, постоянных кристаллической решётки и т. д.). Весьма важными для понимания процессов роста и практических применений являются результаты систематического исследования селективной МОС-гидридной эпитаксии GaN, включающей как ориентацию полосков, так и влияние состава газовой фазы на их форму или, что то же самое, на скорости роста отдельных граней. Показано, что кинетикой селективного роста можно управ-

лять, варьируя состав азотно-водородной смеси, используемой в качестве несущего газа. Наконец, чрезвычайно важным практическим результатом является предложенный в работе метод двойного бокового перекрёстного разращивания, который может дать заметное снижение плотности проникающих дислокаций в приборных эпитаксиальных структурах.

Отдельно следует отметить ряд прикладных результатов, прямо вытекающих из ранее проведённых М. М. Рожавской исследований процесса роста. Так, например, изучение селективной эпитаксии GaN заканчивается демонстрацией возможности выращивания InGaN/GaN светодиодной структуры на боковых гранях полоска, что может послужить основой для разработки многоцветных светодиодов, излучающих свет с различными длинами волн. Разработка перекрёстного бокового разращивания сопровождается демонстрацией выращенной гетероструктуры зелёного светодиода с повышенной эффективностью, что косвенно указывает на понижение плотности дефектов за счёт применения двойного разращивания. И, наконец, апробация нового типа темплейтов, представляющих собой слой SiC, сформированный на кремниевой подложке, безусловно важна для активно развивающегося сегодня направления – выращивания светодиодных и транзисторных нитридных гетероструктур на кремниевых подложках большого диаметра.

В качестве замечания хочу отметить следующее. Хотя повышенная эффективность светодиодной структуры, выращенной на слоях с двойным перекрёстным разращиванием и свидетельствует о понижении плотности дефектов, было бы всё же уместным привести в автореферате прямые данные по плотности проникающих дислокаций в таких слоях, полученные либо методом ямок травления, либо с помощью рентгеновской характеристики.

Данное замечание ни коим образом не снижает общего весьма положительного впечатления от автореферата диссертационной работы М. М. Рожавской, которая представляется выполненной на высоком научном уровне и содержащей много новых и практически важных результатов. Считаю, что М. М. Рожавская несомненно заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Ведущий специалист  
ООО "Софт-Импакт",  
к.ф.-м.н.  
а/я 83, пр. Энгельса 27  
E-mail: sergey.karpov@str-soft.com  
тел. +7 911 944 3005

(С. Ю. Карпов)

Подпись руки Карпова С. Ю. заверяю:  
финансовый директор  
ООО "Софт-Импакт"



(Е. Н. Шалаева)