

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Усова Сергея Олеговича “Гетероструктуры для светодиодов видимого диапазона и транзисторов с высокой подвижностью электронов на основе квантоворазмерных слоев InGaN, InAlN и короткопериодных сверхрешеток InGaN/GaN”, представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук.

Диссертационная работа Усова Сергея Олеговича посвящена развитию технологии формирования  $A_3$ -нитридов методом ГФЭ МОС и её одной из самых проблемных областей – формированию In-содержащих гетероструктур для оптических и СВЧ применений. Существующие на данный момент технологические трудности при синтезе слоёв InAlGaN не позволяют  $A_3$ -нитридам перекрыть весь видимый диапазон и препятствуют созданию НЕМТ транзисторов на основе гетероперехода GaN/InAlN альтернативного широко используемому гетеропереходу GaN/AlGaN. Дальнейшее развитие  $A_3$ -нитридной технологии невозможно без проведения обширных и комплексных исследований, наподобие данной работы. В работе продемонстрирован широкий спектр технологических приёмов, способных препятствовать процессам фазового распада и формированию дефектов, позволяя светоизлучающим приборам на основе InAlGaN двигаться в сторону больших длин волн, и демонстрируя возможность создания новых для  $A_3$ -нитридной технологии гетеропереходов GaN/InAlN, имеющих перспективу занять своё место в СВЧ устройствах.

В ходе выполнения диссертационной работы были исследованы нетривиальные технологические приёмы такие как: использование водорода во время роста InGaN методом ГФЭ МОС и субмонослойный режим эпитаксиального роста InGaN, позволившие определить оптимальные условия роста слоёв InAlN методом ГФЭ МОС с целью формировать однородные по распределению индия слои. Среди наиболее интересных и практически значимых результатов работы, хотелось бы отметить следующее: 1. Продemonстрирована возможность реализации коэффициента отражения распределенных брэгговских отражателей более 99% для диапазона длин волн 460-610нм. 2. Получены InAlN/AlN/GaN НЕМТ транзисторы с током насыщения 1600мА/мм и крутизной 200мС/мм. 3. На основе композитной InGaN/GaN/InAlN гетероструктуры реализовано излучение длинной волны 620нм. 4. На дихромных монокристаллических белых светодиодах выполненных с использованием гетероструктур InGaN достигнуты рекордные показатели: ВКЭ излучения ~10%; светоотдача 15-20лм/Вт; цветовая температура 9500-10000К.

Основные результаты работы доложены и обсуждены на отечественных и международных конференциях, опубликованы в ведущих физических журналах в России и за рубежом.

В качестве замечаний к автореферату хочется отметить, что из автореферата не ясна природа явления подавления формирования In-обогащенных островков InGaN в присутствии водорода в реакторе во время роста, не обсуждается механизм изменения структурных свойств островков InAlN при варьировании толщины осажденного слоя, в автореферате отсутствуют данные об электрофизических параметрах двумерного газа, на основе которого получены впечатляющие характеристики НЕМТ транзистора.

Указанные замечания не умаляют высокой научной ценности работы. В целом, диссертационная работа Усова С.О. представляет собой обширное законченное исследование, выполнена на высоком научном уровне и полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Усов Сергей Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Ведущий научный сотрудник Института физики полупроводников им. А.В Ржанова СО РАН,  
д.ф.-м.н. Журавлев К. С.

Старший инженер Института физики полупроводников им. А.В Ржанова СО РАН,  
Малин Т.В.

Подписи Журавлева К. С. и Т.В.Малина удостоверяю

Ученый секретарь Института физики полупроводников им. А.В Ржанова СО РАН  
к.ф.-м.н.

Аржанникова С.А.