

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Нечаева Дмитрия Валерьевича**

«Плазменно-активированная молекулярно-пучковая эпитаксия гетероструктур (Al,Ga)N/c-Al₂O₃ для оптоэлектронных приборов среднего ультрафиолетового диапазона ($\lambda < 300$ нм)», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Диссертационная работа Нечаева Д.В. посвящена актуальному и востребованному направлению ультрафиолетовой (УФ) оптоэлектроники на основе соединений (Al,Ga)N. Цель диссертационной работы соискателя состояла как в решении различных фундаментальных и технологических проблем, неизбежно возникающих при гетероэпитаксиальном росте этих соединений на рассогласованных подложках, так и в демонстрации возможностей технологии плазменно-активированной молекулярно-пучковой эпитаксии для изготовления опытных образцов фотоприемных и светоизлучающих приборов УФ диапазона. Полученные результаты, несомненно, имеют важное практическое значение в различных областях промышленности, поскольку продемонстрированные образцы выращивались на коммерчески доступных подложках с-сапфира, рабочая площадь которых может составлять 6 дюймов.

Для достижения требуемых выходных характеристик УФ приборов соискателем были разработаны методы повышения структурного качества буферных слоев AlN/c-сапфир. На начальных стадиях роста зародышевых зерен AlN для этого применялась методика эпитаксии с повышенной подвижностью адатомов, позволяющая формировать крупнозернистую морфологию поверхности с минимальной генерацией прорастающих дислокаций (ПД). А во время роста буферных слоев AlN фильтрация ПД осуществлялась на основе разработанного оригинального метода введения ультратонких вставок GaN, на которых происходило отклонение ПД от вертикальной оси вплоть до их переориентации в латеральную плоскость. Исследование кинетики роста бинарных и тройных соединений привело к развитию импульсного метода температурно-модулированной эпитаксии для формирования слоев AlGaN в сильных Ga-обогащенных условиях с отсутствием кластеров металла на поверхности и шероховатостью ~ 0.4 нм. Также следует отметить, что соискателем был развит алгоритм анализа картин дифракции отраженных быстрых электронов для количественной оценки изменения a -постоянной решетки в нитридных гетероструктурах. В заключительной главе продемонстрированы опытные образцы основных типов УФ фотоприемных и светоизлучающих приборов, полученных на основе разработанных методик. В ней также

приведены результаты исследования поляризационного *p*-легирования и метода субмонослойной дискретной эпитаксии, позволяющего формировать квантовые ямы с высокой степенью локализации носителей заряда. В результате был представлен опытный образец УФ светодиода с пиком излучения на $\lambda=270-275$ нм, а также гетероструктуры для стимулированного излучения с оптической накачкой на длинах волн от 258 до 290 нм с пороговыми плотностями накачки от 480 до 150 кВт/см² соответственно. Для получения более мощного спонтанного УФ излучения соискателем были проведены исследования гетероструктур с внешней электронной накачкой на основе AlGaIn. Максимум выходной мощности в 150 мВт был достигнут только в гетероструктурах AlN с монослоями GaN в импульсном режиме работы и эффективностью 0.75%.

Достоверность результатов не вызывает сомнений, поскольку они не раз докладывались на различных российских и международных конференциях, а также опубликованы в рецензируемых журналах.

К недостатку работы можно отнести следующее: в ряде иллюстраций автореферата характеристики полученных гетероструктур указаны в относительных единицах, что несколько затрудняет их сопоставление с мировыми результатами.

Указанный недостаток не снижает ценность диссертационной работы, а ее автор, Нечаев Дмитрий Валерьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

доктор физ.-мат. наук,

Заместитель директора по научной работе НТЦ микроэлектроники РАН

Цацульников Андрей Федорович

Подпись _____

Адрес: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26

тел. +7(812)297-3182

e-mail: andrew@beam.ioffe.ru