

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу Вергелеса П.С. **"Исследование методами растровой электронной микроскопии пленок и гетероструктур на основе нитрида галлия"**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 - твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Вергелес Павел Сергеевич работает в лаборатории локальной диагностики полупроводниковых материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук на протяжении последних 9 лет после окончания Московского физико-технического института. За время работы Павел Сергеевич стал высококлассным специалистом в области диагностики полупроводниковых материалов и структур. Он освоил ряд методов растровой электронной микроскопии, научился эффективно использовать эти методы и обрабатывать полученные результаты. За годы работы Павел Сергеевич приобрел большой опыт проведения экспериментальных исследований. Так, его дипломная работа была посвящена исследованию ИК фотоприемников на основе узкозонных полупроводников, в настоящей работе исследуются структуры на основе GaN и, кроме того, у него опубликованы работы по исследованию других полупроводниковых материалов. Павел Сергеевич хорошо ориентируется в литературе в своей области исследований. Он неоднократно представлял полученные результаты на Российских конференциях, в том числе и в устных докладах.

Основным направлением исследований П.С. Вергелеса является экспериментальное исследование локальных электрических свойств пленок GaN и структур на его основе, свойств протяженных дефектов в таких структурах и влияния облучения электронами с низкой энергией на эти свойства. Актуальность такой работы определяется, как практической важностью таких исследований, так и фундаментальными проблемами, связанными с развитием методов диагностики структур с субмикронной диффузионной длиной, а также с исследованием механизмов влияния электронов подпороговых энергий на электрические и оптические свойства полупроводниковых материалов и структур. Первая проблема связана с тем, что в структурах на основе GaN диффузионная длина существенно

ниже, чем в традиционных материалах микроэлектроники, и в большинстве случаев меньше характерных размеров области генерации, что не только приводит к особенностям формирования изображения протяженных дефектов в режиме наведенного тока, но и заставляет критически пересмотреть применимость предложенных ранее методов измерения диффузионной длины методами РЭМ. Вторая проблема определяется тем, что для многих полупроводниковых материалов облучение электронами с энергией, намного меньшей пороговой для рождения собственных точечных дефектов, приводит к существенному изменению их свойств. В большинстве случаев, в том числе и для структур на основе GaN, механизмы этого явления до конца не выяснены. Исследованию этих проблем и посвящена диссертационная работа. Результаты, полученные в работе, имеют огромное значение, как для развития методов диагностики, так и для понимания механизмов влияния облучения электронами низких энергий на свойства полупроводниковых материалов, а также механизмов деградации таких материалов.

В работе измерены локальные электрические характеристики в отдельных областях латерально зарощенных пленок на основе нитрида галлия. Установлено, что эффективные концентрации доноров в областях вертикального и бокового роста латерально зарощенных пленок различаются не менее, чем в 2 раза, что демонстрирует различие вероятности встраивания легирующей примеси в различные плоскости роста слоев GaN. Проведены измерения локальных значений диффузионной длины неосновных носителей заряда и эффективной концентрации доноров в голубых светоизлучающих структурах на основе множественных квантовых ям InGaN/GaN в областях размером порядка 1 мкм методом наведенного тока. Продемонстрирована возможность визуализации каналов утечек в активной области светоизлучающих структур. Показано, что при воздействии облучения низкоэнергетичным электронным пучком на светоизлучающие структуры с МКЯ на основе InGaN/GaN в спектрах излучения квантовых ям возникают новые более интенсивные линии свечения, смещенные в синюю область относительно исходной линии излучения. При этом положение исходной линии излучения сохраняется и ее интенсивность практически не меняется, что свидетельствует о локальном характере изменений, происходящих в активном слое структуры. В качестве основного механизма влияния облучения электронным пучком на исследуемые структуры рассматривается стимулированная облучением релаксация напряжений в квантовых ямах InGaN. Исследованы особенности рекомбинационно-ускоренного скольжения дислокаций в GaN.

Квалификация П.С. Вергелеса подтверждается высоким уровнем научных публикаций. Только по теме диссертации опубликовано 26 статей в российских и международных научных журналах, включенных в перечень ВАК. К настоящему времени он сформировался как квалифицированный научный сотрудник, способный формулировать и решать актуальные научные задачи. Считаю, что уровень научной работы не только отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 - твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах, но и существенно превышает их, а ее автор – П.С. Вергелес - безусловно заслуживает присуждения искомой степени.

Главный научный сотрудник ИПТМ РАН  
доктор физ.-мат. наук, проф.

Е.Б. Якимов

Подпись Якимова Е.Б. **ЗАВЕРЯЮ**

Ученый секретарь ИПТМ РАН  
канд. физ.-мат. наук



Феклисова О.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Института проблем  
технологии микроэлектроники и особых материалов Российской академии наук  
Тел. 8(49652)44182  
E-mail: yakimov@iptm.ru

142432, г. Черноголовка, ул. Акадкмика Осипьяна, 6