

УДК 537.9

DOI: 10.17223/00213411/64/5/9

Е.Р. БУРМИСТРОВ¹, Л.П. АВАКЯНЦ¹, М.М. АФАНАСОВА²

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РЕЛАКСАЦИЯ ДВУМЕРНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ InGaN/GaN

Исследован механизм пьезоэлектрического рассеяния носителей заряда в гетероструктурах InGaN/AlGaIn/GaN с одной заполненной подзоной размерного квантования. Создана математическая модель, с помощью которой можно оценить кинетические параметры двумерного электронного газа в изучаемой структуре. Результаты проведенного расчета матричных потенциалов рассеяния продемонстрировали достоверность и состоятельность на используемой модели промышленных светодиодных гетероструктур с квантовыми ямами InGaN/GaN. Показано, что механические напряжения в слоях InGaN/GaN приводят к неравномерному распределению суммарного электрического поля вдоль активного слоя. Установлено, что время релаксации, ограничивающее подвижность двумерного электронного газа при пьезоэлектрическом рассеянии, $\sim 10^{-9}$ с.

Ключевые слова: квантовая яма, механические напряжения, гетероструктура, транспортное время, двумерный электронный газ, рассеяние.

Введение

Современные гетероструктуры InGaN/AlGaIn/GaN широко используются в полупроводниковой электронике при изготовлении высокочастотных устройств, таких, как СВЧ-детекторы, сверхъяркие светодиоды и лазерные диоды [1, 2]. Подобный интерес к соединениям на основе элементов III группы обусловлен тем, что данные полупроводниковые структуры обладают широкой запрещенной зоной, величину которой можно изменять, варьируя концентрацию In в барьерном слое InGaIn. Указанные особенности делают возможным формирование транзисторов и монолитных схем на основе гетероструктур InGaIn/AlGaIn/GaN с высокими мощностными и частотными характеристиками (>10 Вт/мм) [2].

В данной работе изучаются образцы, выращенные методами газовой эпитаксии при пониженном давлении. Чувствительность данной технологии к наличию загрязнений и примесей в процессе послойного осаждения продуктов химических реакций требует соблюдения технологического режима: непрерывный нагрев формируемого образца до высоких температур в условиях высокого вакуума. Вследствие этого, в барьерной области GaIn образуется легированный индием дельта-слой, который влияет на проводимость электронов двумерного электронного газа (2ДЭГ) [3]. Вышеизложенные особенности привели к необходимости учета дельта-слоя в ходе исследования квантово-динамических параметров 2ДЭГ в активной области InGaIn, среди которых наиболее важными, определяющими предельные характеристики приборов на основе гетероструктур InGaIn/AlGaIn/GaN, являются концентрация и подвижность электронов 2ДЭГ в активном слое.

В рассматриваемых эпитаксиальных гетероструктурах квантовые ямы (КЯ) достаточно узкие с шириной $L = 4$ нм. Данная особенность приводит к необходимости учета механизма рассеяния 2ДЭГ на шероховатостях в условиях приложенного электрического поля. Дополнительные исследования гетероструктур InGaIn/GaN методами сканирующей атомно-силовой микроскопии позволили установить, что максимальная величина неоднородностей, возникающих в процессе эпитаксиального роста на гетерогранице, составляет $d/3$, где d – характерная толщина моноатомного слоя GaIn. Из этого следует, что механизмом рассеяния 2ДЭГ на шероховатостях гетерограницы InGaIn/GaN можно пренебречь, учитывая его незначительный вклад в общий канал релаксации.

Вследствие наличия внутренних механических напряжений в слоях гексагональной структуры GaIn на гетерогранице InGaIn/GaN возникают пьезоэлектрические поля. Стоит отметить, что сами по себе пьезоэлектрические поля не являются источниками рассеяния двумерных носителей, так как тесно связаны с узлами кристаллической решетки барьера GaIn и имеют периодическое пространственное распределение. Исследования показывают [3], что в совокупности с дефектами гетерограницы InGaIn/GaN пьезоэлектрические поля могут приводить к ограничению подвижности 2ДЭГ и рассматриваться в рамках одного из каналов релаксации. Встроенные механические напряжения между слоями InGaIn/GaN приводят к искажению потенциального рельефа гетерост-

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>