

## Объемный GaN: примеси и локализованные состояния

Ю. А. Шафир<sup>1</sup>, С. Н. Родин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт Петербургский государственный политехнический университет,  
Санкт-Петербург, Россия  
эл. почта: [julieshafir@gmail.com](mailto:julieshafir@gmail.com)

<sup>2</sup> ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия  
тел: (812) 292-79-41, эл. почта: [s\\_rodin77@mail.ru](mailto:s_rodin77@mail.ru)

В последние годы произошел значительный прогресс в технологии и приборных применениях нитридных полупроводников. Стал актуальным вопрос об их более широком использовании, в частности в прецизионных детекторных структурах. Базисом для создания этих структур является кристаллически совершенный нитрид галлия, нитридные слои высокой чистоты, обладающие безупречными оптическими характеристиками. Кроме того, такие слои способны значительно улучшить параметры нитридных СВЧ-транзисторов на быстрых электронах, завоевывающих свое неординарное место на рынке сотовой и спутниковой связи, беспроводного Интернета, в радарх и системах радиопротиводействия. Перспективы связаны с увеличением насыщенной скорости электронов, уменьшением теплового сопротивления в сверхчистом материале, так как канал двумерного электронного газа формируется обычно в слое нелегированного полупроводника. Также малое количество посторонних примесей и дислокаций в подложечных структурах непосредственно влияет на улучшение параметров лазерных и светодиодных структур. Особенностью роста нитридов методом хлоридной газофазной эпитаксии (ХГФЭ) является использование простых неорганических веществ, которые относительно легко поддаются очистке и являются доступными в виде материалов сверхвысокой степени чистоты. Также и химия процесса синтеза практически исключает загрязнение растущего слоя продуктами реакции. В ростовых системах ХГФЭ применяются такие конструкционные материалы и технология процесса, которые позволяют достичь выдающихся результатов по росту чистого арсенида галлия (GaAs), концентрация примесей в котором составляет  $Nd+Na < 10^{15} \text{ см}^{-3}$  [2]. Таким образом, можно надеяться на значительный прогресс и в получении нитридных слоев высокой чистоты.

Для исследования слоев GaN, полученных методом ХГФЭ, были изучены спектры поглощения, фотолюминесценции, рентгеновской флуоресценции. Данные рентгеновской флуоресценции, полученные на установке XP-1Apt M, показали что объемные (>100 мкм) слои нитрида галлия практически не содержат желе-

за и других металлических примесей. Повышенная концентрация железа наблюдается в слоях на расстоянии 2-5 мкм от подложки и наиболее вероятно связана с его диффузионным проникновением из подложечной тэмплейт-структуры. На этих толщинах также обнаруживаются следы алюминия, что предположительно связано с его диффузией из подложечной структуры, содержащей AlN-слои или, что менее вероятно, из подложки  $Al_2O_3$ . Фотолюминесцентные исследования при  $T=77K$  показывают высокую интенсивность линии экситона, полуширина и положение линии свидетельствуют о высоком структурном совершенстве и низком уровне напряжений в объемных слоях. Во всех спектрах ФЛ присутствует полоса донорно-акцепторной рекомбинации, интенсивность которой в объемных слоях значительно меньше интенсивности экситонного пика, а в тонких слоях (2 мкм) больше на целый порядок. Спектры поглощения слоев нитрида галлия демонстрируют, что плотность локализованных состояний в глубине запрещенной зоны ( $E < 3$  эВ) крайне мала как в объемном слое, так и в тонких слоях. Интересные результаты дает оценка ширины запрещенной зоны по линеаризованным спектрам поглощения образцов. Для объемного GaN получено значение  $E_g \sim 3,37$  эВ (при  $T=300$  K), что хорошо коррелирует с данными фотолюминесцентных исследований. В тонких слоях наблюдается отклонение полученных значений в сторону меньших энергий (3,25 эВ). Это связывается с высокой плотностью локализованных состояний у границ запрещенной зоны, что в спектрах фотолюминесценции отражается в виде интенсивной полосы донорно-акцепторной рекомбинации.

#### **Литература**

1. М. В. Ботнарюк, Ю. В. Жилиев и др., ПЖТФ, 30, 25 (2004).