Фазовый 2D-3D переход на поверхности (0001) тонкого слоя GaNМансуров В.Г.¹, Галицын Ю.Г.¹, Малин Т.В.¹, Милахин Д.С.¹, Конфедератова К.А.¹, Журавлев К.С.^{1,2}, Лебедок Е.В.³, Разумец Е.А.³¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2³ Государственное научно-производственное объединение «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», 220072, Беларусь, Минск, пр. Независимости, 68

DOI 10.34077/Semicond2019-115

Формирование квантовых точек (КТ) при эпитаксиальном росте обычно осуществляется с помощью ростовой моды Странского-Крастанова. Нетривиальный эффект наблюдается при формировании GaN КТ на поверхности AlN(0001) методом аммиачной МЛЭ. Эффект состоит в следующем: после выращивания ультратонкого двумерного слоя GaN на подложке AlN(0001), система остается двумерной при сохранении ростового потока аммиака. Однако если поток аммиака перекрывается, происходит спонтанное образование трехмерных (3D) островков GaN. Подобный эффект прерывания потока аммиака изучался в ряде работ, обзор которых дан в статье [1]. Однако этот 2D-3D переход изучался только в зависимости от температуры, а роль давления аммиака не учитывалась. При этом считалось, что существенную роль в 2D-3D переходе при прерывании потока аммиака играет релаксация упругих напряжений в слое GaN, а образование 3D островков объяснялось как устранение кинетических затруднений для диффузии компонентов, и даже предполагалась миграция Ga-N пар атомов к центрам кристаллизации 3D островков.

В настоящей работе детально исследовался спонтанный 2D-3D переход (другими словами, фазовый переход) на поверхности тонкого слоя нитрида галлия GaN/AlN(0001) в зависимости от температуры поверхности и давления аммиака. Экспериментально показано, что при увеличении температуры поверхности (при данном давлении аммиака) или при повышении давления аммиака (при данной температуре поверхности) равновесная концентрация 3D островков понижается. Показано также, что данный фазовый переход является обратимым 2D $\leftrightarrow$ 3D переходом.

С нашей точки зрения, такой переход следует описывать как зависимость степени заполнения поверхности 3D островками (θ) от температуры поверхности (T) и давления аммиака (P), то есть на основе уравнения состояния $\theta=f(P,T)$. Тогда, прерывание потока аммиака является предельным случаем вариации давления. Уменьшение давления аммиака над поверхностью, в том числе прерывание потока, приводит к изменению состава поверхности, а именно к обогащению поверхности галлием, то есть к увеличению химического потенциала атомов галлия. При этом поверхностная энергия будет увеличиваться, и последующая ее релаксация (т.е. уменьшение поверхностной энергии) происходит за счет изменения морфологического состояния поверхности, то есть образования 3D островков. Концентрация 3D островков будет определяться, так называемой, фугативностью z , где $z=(2\pi mkT/h^2)^{3/2}\exp(\mu(P,T)/kT)$. Уравнение состояния фазового перехода в данной работе рассматривается в рамках модели решеточного газа, которая успешно применялась при анализе различных систем, например, зародышеобразования при гомоэпитаксии на поверхности GaAs(001) [2,3], или при образовании КТ InAs/GaAs(001) [4]. В нашем случае используется трехпараметрическая изотерма решеточного газа для получения уравнения состояния $\theta=f(P,T)$, которая была разработана ранее [3,4].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 17-02-00947, 18-52-00008)

[1] Damilano B, Brault J, Massies, J. *Appl. Phys.*; **118**, 024304. (2015)

[2] V.P.LaBella, Z. Ding, D.W.Bullock, C.Emery, P.M.Thibado, *Int. J. Mod. Phys. B*, **15**,2301 (2001)

[3] Ю.Г. Галицын, Д.В. Дмитриев, В.Г. Мансуров и др. *Письма в ЖЭТФ*, **86**, 553 (2007).

[4] Yu. G. Galitsyn; A. A. Lyamkina; S. P. Moshchenko et al., in: *Self-assembly of Nanostructures*, edited by S. Belucci, *The INFN Lectures*, Springer, **3**, chap. 3 (2012).