

САМООРГАНИЗАЦИЯ АНСАМБЛЯ КВАНТОВЫХ КОЛЕЦ GaAs ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ ПРИ КАПЕЛЬНОЙ ЭПИТАКСИИ

***И.С. Васильевский, А.Н. Виниченко, Ю.Д. Сибирмовский,
Н.И. Каргин, М.Н. Стриханов***

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, г. Москва, Каширское шоссе, дом 31, e-mail: ivasilevskii@mail.ru

Многообразие квантовых объектов, получаемых при помощи самоорганизации, постоянно растет. Так, при помощи капельной эпитаксии примерно 5 лет назад начали создавать новые типы квазиуменьных нанобъектов - квантовые кольца, двойные кольца и точки [1]. Отличительной особенностью капельной эпитаксии является то, что в основе формирования нанобъектов лежит не механическая деформация, как в структурах с самоорганизующимися квантовыми точками по типу Странски-Крастанова, а процессы диффузии и кристаллизации. Ансамбли квантовых колец интересны в связи с применением в оптоэлектронике, квантовой электронике, как элементы кубитов для будущих квантовых компьютеров.

Задачей данной работы было изучить особенности формирования ансамблей КК большой поверхностной плотности в зависимости от условий кристаллизации - температуры подложки и давления мышьяка. Образцы были выращены в НОЦ "Нанотехнологии" НИЯУ МИФИ на установке Riber Compact 21. Вентильный источник мышьяка позволил резко снижать давление на 4-5 порядков в процессе нанесения капель Ga, а затем подать необходимое давление As для кристаллизации квантовых колец. Образцы имели одинаковое количество осажденного металлического Ga (5 МС), но температура кристаллизации составляла от 180°C до 300°C.

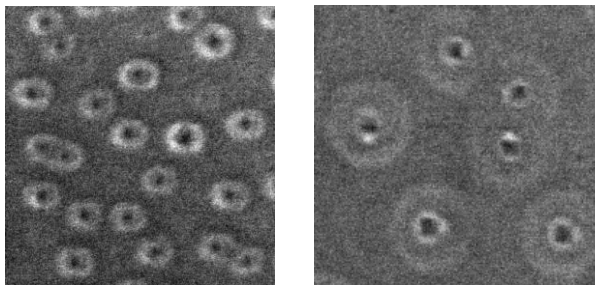


Рис. 1. РЭМ изображения поверхности образцов R1 и R3 (400×400 нм)

На форму и размер КК влияет как температура формирования, так и давление мышьяка, вследствие конкуренции процессов фронт поверхностной диффузии адатомов и кристаллизации.

При формировании КК важную роль играет соотношение длины диффузии и расстояния между кольцами, что вызывает эффекты сращивания границ и формирования цепочек КК. В полученных образцах осаждалось большое количество галлия (~6 МС), и плотность КК была такова, что 4-7% КК являлись объединенными. Была опробована методика роста с заравниванием слоя КК защитным широкозонным слоем $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$. Для удобства исследования морфологии ансамбля КК при заданных режимах формирования ростовая последовательность была повторена также и на поверхности.

Морфология ансамбля КК исследовалась при помощи РЭМ высокого разрешения Raith 150TWO, на пределе возможности регистрации контраста изображения. Изображения статистически анализировались при помощи компьютерной программы. Некоторые параметры роста и полученного ансамбля КК приведены в Табл. 1.

Плотность полученного ансамбля КК для обр. №2 составляла $1,5 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$. У образца 2 значительно больше выражена анизотропия формы КК, чем у обр. 3 с большим радиусом КК. Причем, дисперсия размера крупных КК заметно больше, чем для КК малого диаметра. Средний диаметр КК образца 3 составлял 50 нм, при этом формировались широкие концентрические КК.

Таблица 1.

Ростовые и структурные параметры образцов с квантовыми кольцами

№	Тип	Т форм. °C	Р As, Торр	Плотность КК, 10^{10} см^{-2}	Диаметр КК		Дисперс. диаметра σ , нм (%)
					внешн., нм	внутр., нм	
2	одио чн.	220	1.3×10^{-5}	1.6	55	48	3 (5.5)
3	двойн.	180	5.5×10^{-6}	0,37	142	52	6 (4.2%)

Полученные данные позволяют считать, что в МИФИ успешно реализована технология капельной эпитаксии ансамблей квантовых колец, не уступающих мировому уровню. Далее будет проводиться исследование процессов формирования ансамбля КК в зависимости от термодинамических и кинетических параметров роста.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП НИЯУ МИФИ.

Литература

1. Watanabe K, Koguchi N and Gotoh Y; Japan. J. Appl. Phys. 39 L79 (2000)