

Рост наноструктур по механизму Фольмера–Вебера

Коханенко А.П., Лозовой К.А., Дирко В.В., Войцеховский А.В.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, 634050, пр. Ленина, 36*

Особый интерес представляет рост наноструктур в режиме Фольмера–Вебера. Именно в этом режиме были получены nanoостровки с рекордно высокой плотностью до 10^{12} – 10^{13} см⁻² и размерами меньше 10 нм [1, 2]. Однако до сих пор закономерности формирования и последующего роста nanoостроек по механизму Фольмера–Вебера исследованы слабо.

В настоящей работе описаны основные особенности эпитаксиального зарождения и роста квантовых точек германия на оксидированной поверхности кремния. На этой поверхности реализуется механизм роста, принципиально отличный от случая чистой поверхности кремния, – по Фольмеру–Веберу, без образования смачивающего слоя [3].

Построена кинетическая модель зарождения и роста трехмерных островков по механизму Фольмера–Вебера, основанная на общей теории нуклеации Зельдовича. Рассматриваются островки в форме шарового сегмента, так как именно такая форма наблюдается экспериментально. Выражение для изменения свободной энергии при нуклеации островка учитывает три конкурирующие между собой фактора, влияющие на формирование островка: изменение поверхностной энергии, релаксацию упругих напряжений и уменьшение притяжения атомов к подложке. Немонотонный характер поведения функции свободной энергии объясняется первоначальным увеличением поверхностной энергии границы островка и последующим уменьшением в энергии упругих напряжений [4].

В работе рассчитаны равновесная и критическая толщина двумерного смачивающего слоя, при которой наблюдается переход от двумерного к островковому росту. Получены временные зависимости скорости зарождения и поверхностной плотности островков для технологически важных температур и скоростей роста. Определена временная эволюция функции распределения островков по размерам для различных условий синтеза. Приводятся зависимости среднего размера и поверхностной плотности квантовых точек германия на окисленной поверхности кремния от температуры и скорости роста. Как и для случая роста германиевых островков на чистой поверхности кремния, средний размер нанокластеров на поверхности оксида кремния уменьшается с ростом скорости осаждения и уменьшением температуры роста. Поверхностная же плотность островков, напротив, увеличивается с ростом скорости осаждения и уменьшением температуры.

Разработанная модель позволяет оценить не только равновесные параметры системы квантовых точек (их средний размер и поверхностную плотность), но и

принципиально неравновесные, такие как скорость зарождения островков, функцию распределения островков по размерам и ее эволюцию во времени. Предложенная теоретическая модель может быть легко перенесена и на другие материальные системы, в которых реализуется рост островков по механизму Фольмера–Вебера.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № 0721-2020-0048.

[1] А.И. Нукифоров и др., *ФТТ*, **46**, 80 (2004).

[2] А.А. Shklyayev et al., *Physics – Uspekhi*, **51**, 133 (2008).

[3] J.E. Prieto et al., *Surf. Sci.*, **664**, 172 (2017).

[4] K. A. Lozovoy et al., *Crystal Growth Des.*, **19**, 7015 (2019).