Кинетические модели роста наноструктур по механизмам Франка–ван дер Мерве, Фольмера–Вебера и Странского–Крастанова

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

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

DOI 10.34077/Semicond2019-111

Двумерные материалы привлекают повышенное внимание исследователей последние несколько лет в связи с их экзотическими электронными и оптическими свойствами, обусловленными практически нулевой запрещенной зоной и малостью эффективных масс [1]. Это приводит, например, к очень высокой подвижности носителей заряда, в результате чего уже реализован быстродействующий полевой транзистор на основе силицена, работающий при комнатной температуре [2]. Кроме того, при определенных условиях в этих материалах проявляется квантовый спиновый эффект Холла при температурах значительно выше температуры жидкого азота и они являются топологическими изоляторами и высокотемпературными сверхпроводниками. Уникальные свойства 2D-материалов делают возможным создание на их основе совершенно новых типов приборов: топологических транзисторов, высокочувствительных газовых сенсоров, энергоемких источников питания, термоэлектрических генераторов, квантовых компьютеров [3].

Наноструктуры на основе квантовых точек (структуры с нульмерным электронным газом) могут также использоваться в оптоэлектронике и фотонике, например, для создания фотодетекторов, солнечных элементов и светоизлучающих устройств. Подобные устройства составляют основу новейшей элементной базы электронных приборов контроля и автоматизации производства, оптических систем передачи информации и применяются во множестве отраслей промышленности: от военной сферы до гражданских нужд, в энергетике и медицине, в телекоммуникациях и строительстве [4].

Основным методом синтеза 2D- и 0D-структур является их самопроизвольное формирование из неравновесных гетероэпитаксиальных систем в процессе молекулярно-лучевой эпитаксии. Для всевозможных применений в нано- и оптоэлектронике нового поколения необходимо создавать двумерные кристаллы и квантовые точки с различными свойствами, которые определяются такими параметрами, как толщина и шероховатость 2D-слоев, распределение напряжений, наличие или отсутствие различных дефектов, распределение по размерам и поверхностная плотность наноструктур.

В данной работе с единых позиций рассматривается все три возможных режима роста эпитаксиальных слоев и квантовых точек: по механизмам Франка–ван дер Мерве, Фольмера–Вебера и Странского–Крастанова. Рассматриваются основные особенности послойного роста смачивающего слоя и условия перехода от двумерного к трехмерному росту в указанных режимах. Кроме того, рассматривается зарождение и рост трехмерных наноструктур в различных материальных системах. При этом используется обобщенная кинетическая теория формирования двумерных слоев и квантовых точек, основанная на общей теории нуклеации Зельдовича. Проводится сравнение особенностей роста низкоразмерных структур в различных режимах с экспериментом. Указаны способы управления свойствами получаемых двумерных и нульмерных структур. Разработанные теоретические модели роста 2D-материалов и квантовых точек могут быть использованы при разработке и создании различных приборов наноэлектроники и нанофотоники, таких как быстродействующие транзисторы, газовые сенсоры, светоизлучающие устройства, фотодетекторы и солнечные элементы.

[1] F. Matusalem et al., *Sci. Rep.*, **7**, 15700 (2017).

[2] L. Tao et al., *Nat. Nanotechnol.*, **10**, 227 (2015).

[3] M. Liao et al., *Nat. Phys.*, **14**, 344 (2018).

[4] S. Wirths et al., *Progr. Cryst. Growth and Characteriz. Mater.*, **62**, 1 (2016).