Особенности начальной стадии гетероэпитаксии слоев кремния на германии при их выращивании из гидридов кремния

Орлов Л.К.², Ивина Н.Л.¹

¹ ИФМ РАН, 603950, Нижний Новгород, ГСП-105

² РАНХиГС, 603950, Нижний Новгород пр. Гагарина, 46

DOI 10.34077/Semicond2019-105

Среди обсуждаемых гетерокомпозиций одними из наиболее привлекательных являются псевдоморфные Si/Ge гетерокомпозиции с толщинами слоев Si и Ge от нескольких монослоев до нескольких нанометров. Исследования особенностей применения атомно-слоевой эпитаксии для выращивания планарных Ge/Si структур показали, однако, срыв механизма слоевого роста пленок уже на толщинах порядка нескольких монослоев и формирование на поверхности массива островков. Поэтому внимание исследователей было сосредоточено в основном на характеристиках гетероструктур с двумерными массивами чаще всего германиевых, изредка кремниевых, квантовых точек, выращиваемых из атомарных пучков в высоком вакууме. Методы химической эпитаксии применительно к системе Ge/Si использовались, главным образом, с целью поиска условий выращивания плоскостных напряженных гетероструктур для транзисторной электроники. Предотвращение срыва механизма слоевого роста и выращивание как тонких слоев Ge на Si, так и тонких слоев Si на Ge в установках с гидридными источниками обеспечивалось применением низких ($< 450^\circ\text{C}$) температур в присутствии поверхностного водорода. В связи с исследованиями механизма роста квантовых точек Ge на поверхности Si в предыдущие годы активно изучалась начальная стадия гетероэпитаксии напряженных «сжатием в плоскости» слоев Ge на Si. Для ряда приложений интерес представляют также характеристики начальной стадии роста напряженных «растяжением в плоскости» слоев Si на Ge. В связи с этим значительный интерес вызывает характер зависимости скорости осаждения из гидридов пленок Si и Ge не только от температуры ростового процесса, но и от толщины наращиваемого слоя. Изучение морфологии поверхности и кристаллической структуры Si (Ge) пленок разной толщины на начальной стадии гетероэпитаксии позволяет не только проследить возможную смену механизма роста и изучить особенности 2D-3D морфологического перехода, но и проанализировать влияние каталитических свойств подстилающего Ge (Si) слоя на процессы поверхностного распада молекул гидридов, участвующих в эпитаксиальном процессе.

Нами проанализированы зависимости скорости роста слоев Si (Ge), осаждаемых гидридным методом на Ge (Si) поверхность, от их толщины на начальной стадии гетероэпитаксии. Для слоев Si, растущих на Ge при повышенном давлении водорода, продемонстрирован слоевой характер роста Si слоев при повышенных (до 650°C) температурах. Обнаружено влияние на скорость роста пленки Si подложки Ge в пределах 10 наращиваемых монослоев Si. На основании данных технологических экспериментов проведен расчет кинетических коэффициентов, ответственных за скорости протекания основных физико-химических процессов, связанных с взаимодействием молекулярных пучков гидридов с ростовой поверхностью. Анализ вероятности захвата и скоростей пиролиза адсорбируемых молекул гидрида Si (Ge) на поверхностях Ge (Si) показал зависимость их поведения от толщины наращиваемого слоя. Из сопоставления полученных при росте слоя Si на Ge результатов обнаружено, что поверхность Ge по отношению к молекулам силана обладает более высокими адсорбционной и каталитической способностями, нежели поверхность Si. По отношению к молекулам гидридов Ge более высокими адсорбционными и каталитическими характеристиками соответственно обладает поверхность Si [1].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-42-520062.

[1] Л.К. Орлов, Н.Л. Ивина, В.А. Боженкин. // ФТП. 2019. Т.53. № 7. С.995.