Кинетика двумерно-островкового зарождения при субмонослойном осаждении Si и Ge на атомно-чистую поверхность Si(111) и с поверхностными фазами, индуцированными оловом

Петров А.С.¹, Рогило Д.И.¹, Щеглов Д.В.¹, Латышев А.В.^{1,2}

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

DOI 10.34077/Semicond2019-79

Возможность применения структур на основе твёрдых растворов Si–Ge–Sn в области микро- и фотоэлектроники определяет повышенный интерес к этим материалам [1,2]. Для формирования структурно совершенных границ раздела в данной эпитаксиальной системе требуется глубокое понимание фундаментальных процессов, определяющих зарождение и рост слоёв твёрдого раствора. Актуальными являются вопросы, связанные с изменением кинетики двумерно-островкового (2D) зарождения в процессе осаждения Si и Ge на поверхность Si(111)-(7×7) при повышенных температурах, особенно в присутствии поверхностных фаз, индуцированных осаждением атомарных слоёв Sn.

Методами *in situ* сверхвысоковакуумной отражательной электронной (СВВ ОЭМ) и *ex situ* атомно-силовой микроскопии исследованы процессы зарождения 2D островков на широких террасах (размерами более 10 мкм) и вблизи атомных ступеней на поверхности Si(111)-(7×7) на начальных стадиях осаждения Ge и Si. Измерены зависимости концентрации 2D островков, зародившихся в центральных областях террас, и ширины зоны обеднения по 2D островкам вблизи атомных ступеней от скорости осаждения и температуры подложки в интервале 500–750 °C. На основе анализа ширины зоны обеднения показано, что из-за изначально высокой концентрации изломов ступеней, являющихся эффективными стоками для адсорбированных на поверхности частиц, кинетика зарождения 2D островков вблизи ступеней на ранних стадиях осаждения Si и Ge лимитирована исключительно поверхностной диффузией. Для зарождения 2D островков в центре широких террас при эпитаксиальном росте Ge/Si(111)-(7×7), в отличие от роста Si/Si(111)-(7×7) [3], также показана диффузионно-лимитированная кинетика роста, обеспечиваемая пренебрежимо малым энергетическим барьером на встраивание в край 2D островка. Установлено, что в процессе осаждения Ge и Si на поверхность Si(111)-(7×7) при температурах выше 500 °C, Ge–Si и Si нанокластеры, состоящие из 7–8 атомов [4], являются основными частицами, осуществляющими массоперенос, тогда как при низких температурах основными частицами являются адатомы. Впервые получена оценка энергии активации диффузии Ge–Si нанокластеров — 1.3–1.4 эВ. В рамках атомистической теории скоростей зародышеобразования [5] определено, что критический зародыш 2D островка вблизи ступеней (для роста Ge и Si) и в центре широких террас (для роста Ge) состоит из ≥ 18 нанокластеров.

При осаждении Sn на атомно-чистую поверхность Si(111) при температурах ниже 830 °C формируются примесно-индуцированные фазы ($\sqrt{3} \times \sqrt{3}$), ($2\sqrt{3} \times 2\sqrt{3}$) или (1×1) в зависимости от температуры и покрытия Sn [6]. В докладе будет проанализировано влияние этих поверхностных фаз на кинетику двумерно-островкового зарождения на широких террасах при осаждении Si и Ge.

Исследование роста на чистой поверхности Si(111) проведено при поддержке РФФИ (грант № 16-02-00518), в присутствии поверхностных фаз, индуцированных Sn, — при поддержке РНФ (грант № 19-72-30023). Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Наноструктуры».

[1] S. Wirths et al., *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.*, **62**, 183 (2016).

[2] J.-N. Aqua et al., *Phys. Rep.*, **522**, 59 (2013).

[3] D.I. Rogilo et al., *Phys. Rev. Lett.*, **111**, 036105-1 (2013).

[4] B. Voigtländer, *Surf. Sci. Rep.*, **43**, 127 (2001).

[5] J.A. Venables, *Philos. Mag.*, **27**, 697 (1973).

[6] T. Ichikawa, *Surf. Sci.*, **140**, 37 (1984).