Влияние потока Si на фазовый переход $(7\times 7)\rightarrow(1\times 1)$ на поверхности Si (111)

Мансуров В.Г.¹, Галицын Ю.Г.¹, Малин Т.В.¹, Милахин Д.С.¹, Журавлев К.С.^{1,2}

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

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

DOI 10.34077/Semicond2019-114

Поверхность кремния и, в частности, поверхность Si(111), по настоящее время является важнейшей для электронной технологии. Хорошо известно, что чистая поверхность Si(111) имеет реконструкцию (7×7) , а при повышении температуры поверхности до температур около 1120 К (830-850°C) происходит фазовый структурный переход $(7\times 7)\rightarrow(1\times 1)$. Предполагается, что причиной фазового перехода (ФП) $(7\times 7)\rightarrow(1\times 1)$ является увеличение концентрации избыточных подвижных адатомов кремния от 0.08 Мсл до 0.2 Мсл при увеличении температуры поверхности выше 850°C. На высокотемпературной структуре (1×1) концентрация подвижных адатомов кремния выше на 0.12 Мсл, чем на структуре (7×7) , что было обнаружено при сравнении количества неупорядоченных островков Si, наблюдаемых на структуре (7×7) методом СТМ, после резкого охлаждения поверхности от 900°C и 600°C до достаточно низких температур (так называемый, quenching) [1]. Поэтому под внешним потоком кремния будет происходить понижение температуры перехода T_c , другими словами внешний поток стабилизирует неупорядоченную фазу (1×1) . В работе [2] сдвиг температуры оценен как $\Delta T = -3$ К при малом ростовом потоке кремния 4.4×10^{12} атомов/(см² с), а в работе [3] предполагалось, что сдвиг может оказаться больше, вплоть до 30 К, при увеличении потока кремния до 4×10^{13} атомов/(см²*с). Однако прямых измерений сдвига температуры перехода под потоком кремния проведено не было.

В настоящей работе исследован ФП $(7\times 7)\rightarrow(1\times 1)$ без потока кремния и под воздействием потока кремния методом дифракции быстрых электронов. Давление в потоке кремния, т.е. измеренное вакуумметром на месте образца, составляло 4×10^{-10} Торр, что эквивалентно потоку $1-1.5\times 10^{13}$ атомов/(см²*с).

На Рис. 1 представлено поведение интенсивности дробного RHEED рефлекса $(0\ 3/7)$ при переходе $(7\times 7)\rightarrow(1\times 1)$. Совпадение прямого и обратного хода кривой изменения интенсивности, а также увеличение ширины рефлекса вблизи критической точки, свидетельствуют о непрерывности ФП с критической температурой $T_c=1135$ К (862 С). Видно, что при воздействии потока кремния (Рис.2) на поверхность кривая фазового перехода сдвигается в область более низких температур, сдвиг составляет 10-12°C. Мы полагаем, что эффект может быть объяснен отталкиванием адатомов кремния, что приводит к снижению эффективного взаимодействия, которое обеспечивает энергетический выигрыш при формировании (7×7) .

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 17-02-00947, 18-52-00008).

[1] Y.N.Yang, E.D.Williams, *Phys. Rev. Lett.*, **72**, 1862 (1994).

[2] J.B.Hannon, J.Tersoff, M.C.Reuter, R.M.Tromp, *Phys. Rev. Lett.*, **89**, 266103 (2002).

[3] A.Fissel, A.R.Chaudhuri et al, *Front. Mater. Sci.*, **9**, 141 (2015)

Рис.1. –Поведение интенсивности и ширины дробного рефлекса $(0\ 3/7)$ в картинах ДБЭО при $(7\times 7)\rightarrow(1\times 1)$.

Рис.2. – Изменение поведения интенсивности дробного рефлекса $(0\ 3/7)$ при переходе $(7\times 7)\rightarrow(1\times 1)$ под потоком Si.