Исследование эффекта перемешивания и релаксации напряжений в структурах Ge/Si с массивами низкотемпературных квантовых точек

Сторожевых М.С.¹, Арапкина Л.В.¹, Новиков С.М.², Уваров О.В.¹, Юрьев В.А.¹

¹ ИОФ РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова, 38

² МФТИ, 141701, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9

DOI 10.34077/Semicond2019-181

Гетероструктуры Ge/Si с плотными массивами эпитаксиальных квантовых точек (КТ) Ge были исследованы методами комбинационного рассеяния света (КРС) и просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения (ПЭМ ВР). Предметом исследования является механизм релаксации напряжений в структурах Ge/Si с КТ, выращенными методом МЛЭ при температурах ~360°C, а также влияние параметров роста КТ

(толщина напыляемого слоя Ge и количество слоев) и разделительных слоев Si (толщина и температура роста) на состав квантовых точек и прилегающих к ним слоев Si. ПЭМ-изображения структур с КТ были проанализированы с использованием метода “peak pairs” [1]. Над слоем КТ наблюдается область шириной 2–5 моноатомных слоев с параметром решетки, большим чем у ненапряженного Si в направлении роста [001] и соответствующим ненапряженному Si в направлении [110]. Так как у кристаллической решетки Si нет причин испытывать деформацию растяжения в

направлении [001], мы предполагаем, что наблюдаемая область имеет смешанный состав $\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ и при этом сжата в направлении [110]. На спектрах КРС (рис. 1) обнаружено значительное уширение пика [2] в области 301–302 cm^{-1} , соответствующего совпадающим по частоте линиям Si и Ge, в структурах с температурой роста разделительных слоев Si 530°C, по сравнению с чистым Si и Ge. Это уширение связано со смещением линии Ge в сторону большего волнового числа, которое вызвано напряжением сжатия в слоях КТ ввиду большего параметра решетки Ge. В структурах с температурой роста разделительных слоев Si 360°C наблюдается 2 четких пика в области 302 cm^{-1} и 313 cm^{-1} , что связано с большим смещением линии Ge и говорит о более напряженном Ge в слоях КТ. При этом, линия Si-Ge в области 420 cm^{-1} сильнее выражена в структурах с большей температурой роста разделительных слоев Si. Это говорит о большей степени перемешивания Si и Ge в этих структурах, а меньшее смещение линии Ge подтверждает предположение о релаксации напряжений в области смешанного состава.

Таким образом, напряжения, возникающие при гетеропереходе Ge–Si, в значительной степени релаксируют за счёт сжатия области смешанного состава в направлении [110]. В отсутствие этой области в структурах с низкой температурой роста разделительных слоев Si слои КТ более напряженные.

[1] P.L. Galindo et al., *Ultramicroscopy* 107, 1186 (2007).

[2] P.H. Tan et al., *Phys. Rev. B* 68, 125302 (2003).

Рис. 1. Спектры КРС структур со слоями КТ Ge и различной температурой роста слоев Si в сравнении с чистым Si.