

Вицинальные и дислокационные моноатомные ступени на атомно-гладких поверхностях GaAs(001)

В.Л. Альперович^{1,2,*}, И.О. Ахундов^{1,2}, Н.С. Рудая¹, А.С. Ярошевич¹, Д.М. Казанцев¹,
Н.Л. Шварц^{1,3}, Е.Е. Родякина^{1,2}, А.С. Кожухов¹, А.В. Латышев^{1,2}, А.С. Терехов¹

¹ Институт физики полупроводников СО РАН, просп. Лаврентьева, 13, Новосибирск, 630090

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

³ Новосибирский государственный технический университет, просп. К. Маркса, 20, Новосибирск, 630073

* alper@isp.nsc.ru

Экспериментально изучено формирование сетки прямолинейных моноатомных ступеней на поверхности GaAs(001), обусловленных введением 60-градусных дислокаций при релаксации термомеханических напряжений в гетероструктурах GaAs/AlGaAs на стеклянных подложках. Введение дислокаций подтверждается появлением темных линий в топограммах интенсивности фотолюминесценции. Обсуждаются возможные механизмы формирования дислокационных ступеней и их взаимодействие с вицинальными ступенями.

В работах [1,2] предложена и реализована методика получения поверхностей GaAs(001) с регулярными атомно-гладкими террасами, разделенными вицинальными ступенями моноатомной высоты (~ 0.3 нм), путем отжига в условиях, близких к равновесию между кристаллом и парами мышьяка и галлия. При отжиге гетероструктур GaAs/AlGaAs, приваренных на стеклянные подложки, на поверхности GaAs, наряду с вицинальными ступенями, наблюдалось формирование сетки ортогональных прямолинейных моноатомных ступеней, обусловленных введением дислокаций при релаксации термомеханических напряжений [3]. Данная работа посвящена выяснению механизмов формирования дислокационных ступеней и их взаимодействия с вицинальными ступенями.

Методика эксперимента

Двойная гетероструктура AlGaAs/GaAs/AlGaAs, выращенная на GaAs(001) подложке, приваривалась к стеклянному диску методом диффузионной сварки. Подложка GaAs и стопорный слой AlGaAs удалялись селективным химическим травлением. При термическом выглаживании поверхности GaAs равновесие с парами Ga и As обеспечивалось присутствием насыщенного раствора-расплава мышьяка в галлии. Морфология поверхности изучалась методом атомно-силовой микроскопии (АСМ). Введение дислокаций контролировалось по появлению темных линий в топограммах интенсивности фотолюминесценции (ФЛ).

Результаты и обсуждение

На рис. 1(а-е) показаны АСМ-изображения поверхности GaAs(001) структуры GaAs/AlGaAs, приваренной на стекло, измеренные до и после отжига при различных температурах. Видно, что в результате отжигов на исходно разупорядоченной поверхности наряду с криволинейными вицинальными ступенями моноатомной высоты (~ 0.3 нм) [1,2] формируется ортогональная сетка прямолинейных моноатомных ступеней. Такая "cross-hatch"-картина типична для гетероэпитаксиальных систем, в которых происходит релаксация механических напряжений путём введения дислокаций несоответствия. В нашем случае наиболее вероятной причиной возникновения прямолинейных ступеней также является рождение в гетероструктуре 60-градусных дислокаций при релаксации термомеханических напряжений. Следует отметить, что при гетероэпитаксиальном росте на подложках с несогласованными постоянными решетки, наблюдается, как правило, грубый "cross-hatch"-рельеф с характерной высотой, много большей постоянной решетки. В данной работе, благодаря гладкости поверхности GaAs/AlGaAs-структур, впервые отчетливо наблюдалась сетка дислокационных ступеней моноатомной высоты. Это подтверждается рис. 1f и 1g: видно, что как вицинальные, так и дислокационные ступени имеют одну и ту же высоту, равную приблизительно 0.3 нм, что соответствует, с точностью до ошибки измерений, толщине Ga-As-бислоя в направлении GaAs(001).