

05;06;12

Особенности деформирования гетероструктур Ge–GaAs при действии сосредоточенной нагрузки

© И.Е. Марончук, С.Р. Сороколет, И.И. Марончук

Херсонский государственный технический университет

Поступило в Редакцию 5 декабря 1997 г.

Описан новый, ранее не наблюдавшийся эффект. Исследование данного эффекта позволит глубже понять процессы деформирования гетероструктуры и явления, происходящие на гетерогранице.

Деформирование гетероструктур зависит от объемных свойств материалов, образующих гетероструктуру, их геометрических размеров и структурного совершенства [1]. Однако влияние остаточных напряжений и дислокаций несоответствия, возникающих на гетерогранице, изучены недостаточно.

В качестве объекта исследований выбрана гетероструктура Ge–GaAs, которая имеет достаточно большую величину остаточных механических напряжений и плотность дислокаций несоответствия на гетерогранице.

Выращивание гетероструктур осуществлялось в открытом йодидном газотранспортном процессе [2] на подложках монокристаллического арсенида галлия с ориентацией (001) при температуре йода 90°C. Скорость потока водорода, очищенного через палладиевый фильтр, составляла $4 \cdot 10^{-3}$ м/с. Полученные эпитаксиальные слои германия имели толщину 5–10 μm и совершенную морфологию поверхности.

Микроиндентирование образцов осуществляли пирамидой Виккерса на приборе МИ 280.003, предназначенном для контроля хрупкости материалов. Нагрузка на индентор составляла 50–150 г. Прибор оборудован печью для проведения испытаний при повышенных до 400°C температурах. При исследовании динамики движения дислокаций индентирование осуществлялось двумя методиками: 1) при комнатной температуре с последующим высокотемпературным отжигом и 2) при повышенных температурах ($150^\circ\text{C} < T < 300^\circ\text{C}$). Второй метод использовался редко из-за хаотичного распределения дислокационных ансамблей в

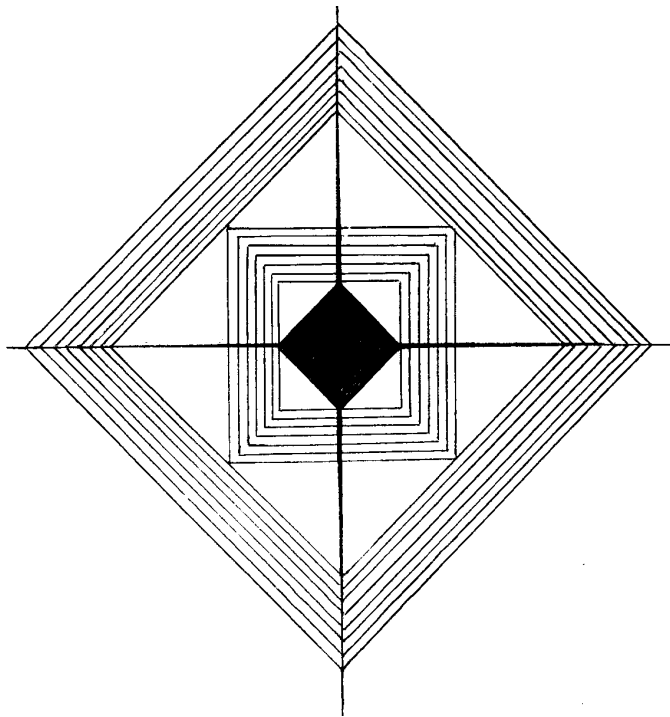


Рис. 1. Система линий скольжения около отпечатка при вдавливании индентора в грань (001) гетероструктуры Ge-GaAs.

области деформаций. Для выяснения особенностей динамики движения дислокаций под действием сосредоточенной нагрузки использовалось высокотемпературное травление в парах йода индентированной поверхности образца. Суть методики заключалась в следующем. В кварцевый реактор помещались гетероструктуры Ge-GaAs, предварительно индентированные при температуре 50–80°C. Травление образцов осуществлялось в течение пяти минут при температурах 200–500°C в потоке водорода, очищенного через палладиевый фильтр, и переносящего пары йода из источника, нагретого до 80–120°C. Полученные дислокационные розетки исследовались с помощью металлографического микроскопа МИИ-9.

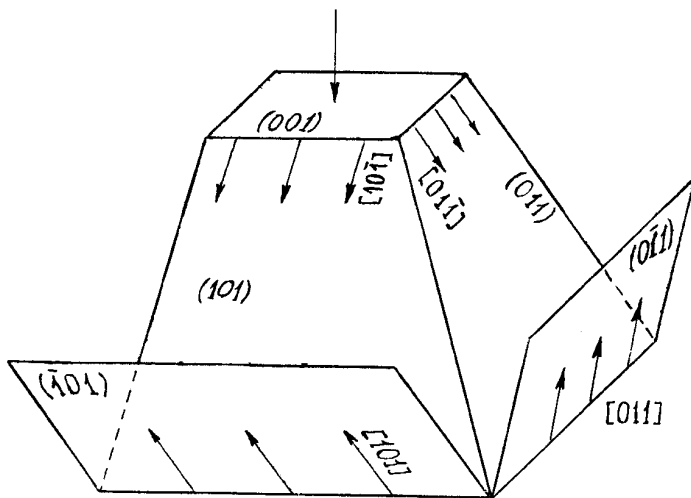


Рис. 2. Схема первоначальной деформации гетероструктуры Ge-GaAs.

Исследования деформированных областей, возникающих при индентировании образца при комнатной температуре и прошедшего термическую обработку в парах йода при температуре 600 К, показали наличие двух систем линий скольжения около отпечатка (рис. 1). Первая система линий скольжения образовывала систему квадратов, стороны которых параллельны диагоналям индентора и совпадают с направлением $[100]$ эпитаксиальной структуры. Вторая система квадратов ориентирована по направлению $[110]$ и составляла с первой системой квадратов угол в 45° . При отклонении ориентации индентора от кристаллографических направлений картина линий скольжения сохранялась, хотя четкость в их выявлении была различной.

Так как характерные закономерности, наблюдавшиеся при исследовании объемного распределения дислокаций возле отпечатков, являются общими для различной ориентации пирамидальных инденторов относительно кристаллографических направлений образца, то можно предположить, что эти закономерности связаны с особенностями напряженного состояния в гетероструктуре, возникающего при действии сосредоточенной силы.

Наблюдаемые на рис. 1 системы линий скольжения могут быть объяснены выходом на поверхность дислокационных петель, образующихся при работе Франка–Рида в вершине отпечатка. При действии сосредоточенной нагрузки на грань (001) первоначальное развитие деформации происходит в глубь структуры по плоскостям $(011)_{45}$ и $(101)_{45}$, расположенным к плоскости (001) под углом в 45° , а по плоскостям $(\bar{1}01)$ и $(0\bar{1}1)$ дислокационные петли выдавливаются вверх (рис. 2). Разворот системы линий скольжения происходит, по-видимому, при достижении гетерограницы. В связи с тем что барьер Пайерлса в арсениде галлия меньше, чем в германии, дислокации несоответствия на гетерогранице распределяются в арсениде галлия по (011) и (101), упрочняя арсенид галлия в этих плоскостях вблизи гетерограницы. В этой связи под действием сосредоточенной нагрузки развитие деформации происходит в глубь структуры в арсениде галлия вблизи гетерограницы не по плоскостям $(011)_{45}$ и $(101)_{45}$, а по плоскостям (111), а испускаемые объемным источником Франка–Рида дислокации распространяются к поверхности гетероструктуры по плоскостям $(\bar{1}\bar{1}1)$.

Расстояние между крайними полосами скольжения в малой системе квадратов характеризует расстояние между дном отпечатка и гетерограницей, что позволяет из известных значений размеров диагоналей отпечатка и его глубины и размера большего квадрата в первой системе определить толщину эпитаксиального слоя. Рассчитанная из экспериментальных значений толщина эпитаксиального слоя соответствовала с точностью до ошибки измерений толщине эпитаксиального слоя, определенной на сколе структуры с помощью микроскопа МИИ-9. Такое соответствие расчетных и экспериментальных значений толщины эпитаксиального слоя подтверждает справедливость предложенной выше модели образования дислокационной розетки.

Список литературы

- [1] Мильвидский М.Г., Освенский В.Б. Структурные дефекты в эпитаксиальных слоях полупроводников. М.: Металлургия, 1985.
- [2] Марончук И.Е. и др. // Процессы роста и синтеза полупроводниковых кристаллов и пленок: Сб. Ч. 2. Новосибирск: Наука, 1975. С. 281.