

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СПЕКТРЫ ОПТИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ НА ЧИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ GaAs (110)

*В.Л.Берковиц, Л.Ф.Иванцов, В.А.Киселев,
И.В.Макаренко, Т.А.Минашвили, В.И.Сафаров*

Впервые зарегистрирована поляризация оптических переходов на чистой поверхности GaAs (110) при 300 и 1,8 К. Показано, что два перехода с энергиями 2,62 и 2,83 эВ происходят с участием поверхностных состояний, а линии 3,04 и 3,27 эВ соответствуют объемным E_1 и $E_1 + \Delta_1$ переходам.

В настоящей работе благодаря применению модуляционной техники и низких температур получен детальный спектр оптических переходов на чистой поверхности скола GaAs (110). Два перехода, имеющие преимущественную поляризацию вдоль направления $[\bar{1}10]$, интерпретированы, как связанные с поверхностными состояниями. Кроме того, обнаружено, что в спектре поверхности проявляются объемные переходы E_1 и $E_1 + \Delta_1$, у которых интенсивность, поляризация и форма линии сильно зависят от состояния поверхности.

Поверхностные оптические переходы регистрировались до сих пор почти исключительно методом дифференциального отражения, который предусматривает сравнение спектров отражения, последовательно записанных от чистой, а затем от окисленной поверхности. Именно таким способом было выполнено первоначальное наблюдение оптических переходов на поверхности GaAs (110)¹. Мы использовали поляризационный метод, заключающийся в исследовании поляризационной зависимости оптического отражения от поверхности. Преимуществом является то, что для получения спектра нет необходимости проводить окисление и спектр регистрируется непосредственно от чистой поверхности.

Поверхность скола (110) арсенида галлия сохраняет симметрию соответствующей плоскости объема² и имеет вид цепочек атомов, вытянутых вдоль направления $[\bar{1}10]$ (рис. 1). Поверхностные состояния формируются из оборванных связей атомов Ga и As. Можно ожидать, что оптические переходы соответствуют переносу заряда преимущественно вдоль цепочки и поэтому будут поляризованы вдоль направления $[\bar{1}10]$ на поверхности. Отметим что оптические переходы в объеме, где имеет место кубическая симметрия, не должны обладать поляризацией.

В наших экспериментах образцы кристаллов GaAs скалывались в высоком вакууме ($\sim 10^{-8}$ Па) при комнатной температуре, либо в жидком гелии. Линейная поляризация нормально падающего на плоскость скола светового луча модулировалась между двумя взаимно перпендикулярными направлениями, совпадающими с осями $[\bar{1}10]$ и $[001]$ кристалла. Отраженное излучение регистрировалось ФЭУ с последующей обычной процедурой синхронного детектирования. Выделенный поляризационный сигнал нормировался на общий

световой поток, и регистрируемой величиной являлось отношение

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R_{\parallel} - R_{\perp}}{R_{\parallel}}$$

где R_{\parallel} и R_{\perp} — коэффициенты отражения света с линейной поляризацией вдоль осей $[\bar{1}10]$ и $[001]$ соответственно.

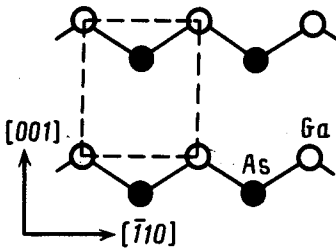


Рис. 1

Рис. 1. Расположение атомов на поверхности (110) арсенида галлия. Пунктиром показана элементарная ячейка

Рис. 2. Поляризационные спектры отражения поверхности скола GaAs (110): а, б — комнатная температура; в, г — 1,8 К. а, в — чистая поверхность; б, г — окисленная поверхность. Штриховыми линиями показаны результаты расчета в предположении расщепления объемных переходов E_1 и $E_1 + \Delta_1$

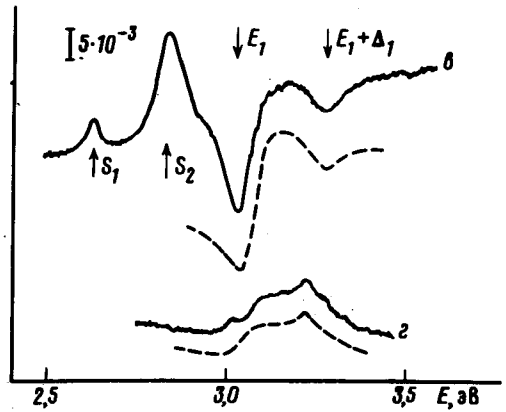
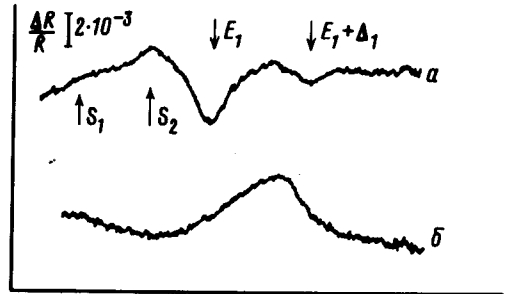


Рис. 2

На рис. 2 представлены полученные таким образом поляризационные спектры отражения чистой и окисленной поверхностей скола GaAs (110) при комнатной и гелиевой температурах. Общий вид спектров в целом одинаков при этих температурах. Понижение температуры вызывает сужение линий, возрастание их амплитуд и некоторое смещение в сторону больших энергий. Коротковолновая пара линий присутствует в спектрах как чистой, так и окисленной поверхности. Спектральное положение линий с очень хорошей точностью совпадает с известными значениями энергий объемных переходов E_1 и $E_1 + \Delta_1$ в направлении Λ трехмерной зоны Бриллюэна³.

Пара линий S_1 и S_2 с положениями 2,62 и 2,83 ($\pm 0,01$) эВ и полушириной 0,05 и 0,08 эВ соответственно лежат в области энергий, где нет каких-либо особенностей, связанных с переходами в объеме. При окислении поверхности обе линии исчезают, что позволяет с уверенностью соотнести их с переходами с участием поверхностных состояний. Для линий S_1 и S_2 величина $\Delta R/R$ положительна, так что переходы с участием поверхностных состояний имеют преимущественную поляризацию вдоль оси второго порядка $[\bar{1}10]$.

Опубликованный в¹ спектр поверхности GaAs (110) был получен при комнатной температуре методом дифференциального отражения и содержал три пика с энергиями примерно 2,8, 3,1 и 3,6 эВ, которые были все приписаны переходам между поверхностными состояниями. В наших спектрах мы не наблюдали каких-либо особенностей в области 3,6 эВ. Пик 2,8 эВ примерно совпадает с наблюдаемой нами линией S_2 . На область же 3,1 эВ приходятся отчетливо видимые в наших спектрах коротковолновые линии, которые мы связываем с переходами E_1 и $E_1 + \Delta_1$ в объеме. В пользу такой интерпретации коротковолновых линий сви-

детельствует также то, что их форма как на чистой, так и на окисленной поверхностях может быть воспроизведена с помощью простых трансформаций кривой абсолютного отражения. Теоретические кривые на рис. 2 были рассчитаны в рамках модели параллельных зон в направлении Λ . Принималось, что объемные переходы расщеплены на два в соответствии с двумя неэквивалентными по отношению к поверхности (110) наборами направлений Λ . Для случая чистой и окисленной поверхностей были выбраны разные по величине и знаку расщепления переходов. Подробно эти результаты будут представлены в отдельной публикации.

Проявление объемных переходов в поляризационных спектрах поверхности кубического кристалла является фактом, который требует специального изучения. Возможно, это объясняется тем влиянием, которое чистая или окисленная поверхность оказывает на близлежащие слои объема. Во всяком случае, присутствие объемных переходов необходимо учитывать при анализе спектров поверхности в области выше края собственного поглощения кристалла.

Литература

1. Chiaradia P., Chiarotti G., Ciccacci F., Memeo R., Nannarone S., Sassaroli P., Selci S. J. Phys. Soc. Japan, 1980, 49, Suppl. A, 1109.
2. Kahn A. Surf. Sci. Reports, 1983, 3, 240.
3. Cardona M., Schaklee K.L., Pollak F.H. Phys. Rev., 1967, 154, 69, 696; Aspnes D.E., Atudna A.A. Phys. Rev. B, 1973, 7, 4605.