

06.3  
©1994

## РАСЩЕПЛЕНИЕ ПИКОВ В СПЕКТРАХ ЭЛЕКТРООТРАЖЕНИЯ ГЕТЕРОСИСТЕМЫ ПОЛУПРОВОДНИК–СОБСТВЕННЫЙ ОКСИД

*Е.Ф. Венгер, Т.Я. Горбач, Л.А. Матвеева,  
С.В. Свечников*

Впервые экспериментально обнаружено эквидистантное расщепление пиков в спектрах электроотражения (ЭО) гетеросистем  $As_2O_3-GaAs$  и  $SiO_2-Si$ , полученных в условиях "химической эпитаксии" при комнатной температуре.

Система  $As_2O_3-GaAs$  формировалась при анизотропном химическом травлении (АХТ)  $GaAs\{100\}$ , легированного теллуром до концентрации  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-1}$  в растворе  $HNO_3:H_2O=1:1$  или  $HNO_3$  в течение 1–30 с. Система  $SiO_2-Si$  создавалась при АХТ  $Si100$ , легированного фосфором до концентрации  $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-1}$ , в растворе  $HF:HNO_3=20:1$  в течение 1–30 мин. АХТ приводило к появлению микрорельефа дендритной морфологии, на поверхности которого образовывался собственный оксид кристаллической фазы: для  $GaAs$  — кубическая модификация  $As_2O_3$  — арсенолит <sup>[1]</sup>, для  $Si$  — диоксид кремния разновидности кристобалита <sup>[2]</sup>. Толщина собственного оксида составляла 0.1–0.3 мкм в зависимости от продолжительности АХТ и могла быть удалена в 10% водном растворе  $KOH$  для  $GaAs$  и в  $HF:H_2O=1:1$  для  $Si$ . Высота микрорельефа варьировалась в пределах от 0.01 до 10 мкм.

Спектроскопия ЭО проводилась при комнатной температуре электролитическим методом (электролит 0.1 N  $KCl$ ) с использованием слабополевого эффекта ЭО <sup>[3]</sup> в области энергетических переходов  $E_0, E_0 + \Delta_0, E_1, E_1 + \Delta_1$  для  $GaAs$  и  $E_0, E'$  для  $Si$ .

На рис. 1 приведены спектры ЭО АХТ поверхности  $GaAs$ . Кривые 1, 2, 3 соответствуют спектрам ЭО исходного плоского  $GaAs$ , микрорельефной системы  $As_2O_3-GaAs$  и микрорельефного (после удаления оксида)  $GaAs$ . На рис. 2 представлены аналогичные данные для АХТ  $Si$ . Обращают на себя внимание следующие особенности спектров ЭО в системе с оксидом (кривые 2 на рис. 1 и 2).

1. Расщепление пиков ЭО на одну и ту же величину (100 мэВ для  $GaAs$  и 40 мэВ для  $Si$ ).

2. Инверсия полярности сигнала ЭО в области переходов  $E_0, E_0 + \Delta_0, E'$ .

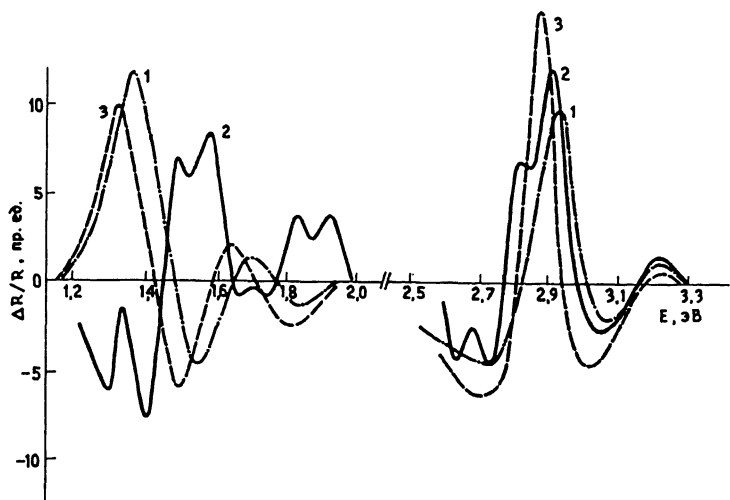


Рис. 1. Спектры электроотражения арсенида галлия: 1 — исходного, 2 — в системе  $As_2O_3-GaAs$ , 3 — после удаления оксида.

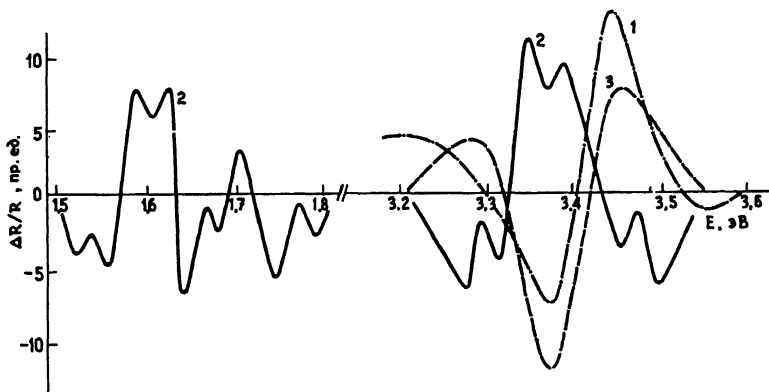


Рис. 2. Спектры электроотражения кремния: 1 — исходного, 2 — в системе  $SiO_2-Si$ , 3 — после удаления оксида.

3. Изменение энергетического положения пиков — смещение в сторону больших энергий.

4. Существенное уменьшение Лоренцевского параметра уширения, т. е. рассеяния носителей заряда.

5. Появление сигнала ЭО в энергетической области 1.5–1.8 эВ для  $SiO_2-Si$ .

Удаление оксида приводило к исчезновению расщепления пиков, восстановлению полярности сигналов ЭО, исчезновению сигнала в области 1.5–1.8 эВ, дальнейшему умень-

шению параметра уширения (в 1.5–1.2 раза в сравнении с плоским образцом) и сдвигу пиков ЭО в сторону меньших энергий.

Из изложенного следует, что наличие межфазных границ раздела на микрорельефной поверхности приводит к качественно новой структуре с только ей присущими физическими свойствами.

В [4] было обнаружено появление энергетического зазора между зонами легких и тяжелых дырок в гетероэпитаксиальных пленках Ge (система Ge–GaAs) под действием внутренних механических напряжений, что проявлялось в расщеплении пиков ЭО для переходов в центре зоны Бриллюэна. Однако расщепление пиков ЭО для других энергетических переходов, наблюдаемое в данной работе, не объясняется снятием вырождения в валентной зоне при  $K = 0$  в рамках деформационного эффекта. Согласно [5], при наличии оси анизотропии и приложении электрического поля параллельно оси в слоистых системах возможно расщепление каждой критической точки зоны Бриллюэна на одну и ту же величину, равную удвоенной энергии межфазного взаимодействия. Эквидистантное расщепление пиков ЭО в нашем эксперименте может быть объяснено в рамках модели [5], если предположить на границе раздела полупроводник — собственный кристаллический оксид наличие напряженного упорядоченного переходного слоя, который может обеспечить анизотропию в направлении, перпендикулярном границе раздела.

Так как собственный кристаллический оксид получен “химической эпитаксией” при комнатной температуре, термическая компонента внутренних механических напряжений в гетеросистемах  $As_2O_3$ –GaAs и  $SiO_2$ –Si отсутствует. Однако в процессе роста оксида в пленке и подложке возникают собственные механические напряжения из-за различия параметров решетки. Появление механических напряжений на поверхности GaAs и Si в области границы раздела подтверждают высокоэнергетические сдвиги пиков ЭО. Они вызваны увеличением энергии переходов под действием упругой деформации растяжения, хотя параметр решетки подложки превышает параметр решетки оксида.

Смена полярности сигналов ЭО при переходе от исходной поверхности к окисленной происходит в результате перестройки системы поверхностных электронных состояний и вызванного этим эффекта заполнения зон. На окисленной поверхности характерно положительное значение поверхностного потенциала, т. е. поверхность обогащена основными носителями заряда. Полярность сигнала ЭО исходного образца и после удаления оксида соответствова-

ла электронному типу проводимости (истощающий потенциал). О высоком совершенстве неплюской границы раздела полупроводник-собственный кристаллический оксид свидетельствует уменьшение рассеяния носителей заряда. При АХТ на микрорельефе образуются естественные "границы" монокристалла, и на границе минимизируются технологические дефекты. Т. е. при образовании собственного кристаллического оксида путем "химической эпитаксии" полупроводник растворяется в нем с залечиванием дефектов границы раздела. В результате отсутствует резкий переход от одной фазы к другой. Между ними существует переходный слой упорядоченный и напряженный, который, по-видимому, приводит к появлению анизотропии в направлении, перпендикулярном границе раздела. Существование такого упорядоченного слоя подтверждает изменение ширины запрещенной зоны при послойном травлении микрорельефной морфологии после удаления оксида. Наличие переходного слоя в системе полупроводник — собственный кристаллический оксид при приложении электрического поля приводит к изменению зонной структуры — расщеплению всех критических точек зоны Бриллюэна на две с равным расстоянием между ними.

Таким образом, экспериментально наблюдаемое предсказанное в [5] расщепление пиков в спектрах ЭО связано не с деформационным снятием вырождения валентной зоны под действием внутренних механических напряжений в гетеросистеме, а с межфазным взаимодействием на границе раздела полупроводник — кристаллический оксид. Энергия межфазного взаимодействия, определенная по этому расщеплению, равна его половине и составляет 50 мэВ для GaAs и 20 мэВ для Si.

Интерес к системам  $As_2O_3$ -GaAs состоит в возможности управляемости фоточувствительностью, а к  $SiO_2$ -Si в получении фотолюминесценции в видимой области спектра при комнатной температуре [1,2].

## Список литературы

- [1] Горбач Т.Я., Свечников С.В. // УФЖ. 1987. Т. 31. В. 7. С. 1110–1113.
- [2] Gorbach T.Ya., Rudko G.Yu., Smertenko P.S., Svechnikov S.V., Valakh M.Ya. // Appl. Phys. A 1993. V. 57. N 6. P. 544–547.
- [3] Кардона М. Модуляционная спектроскопия. М.: Мир, 1972. 416 с.
- [4] Матвеева Л.А. // ФТП. 1971. Т. 5. В. 11. С. 2207–2209.
- [5] Sasaki Y., Hamaguchi C., Moritani A., Nokaí J. // J. Phys. Soc. Jap. 1974. V. 36. N 1. P. 179–186.

Институт физики полупроводников  
Киев, Украина

Поступило в Редакцию  
21 января 1994 г.

---