

СПЕКТРЫ ЭЛЕКТРООТРАЖЕНИЯ GeS В ОБЛАСТИ 1,6-3 эВ

И. П. Акимченко, Г. К. Расулова

УДК 621.315.592

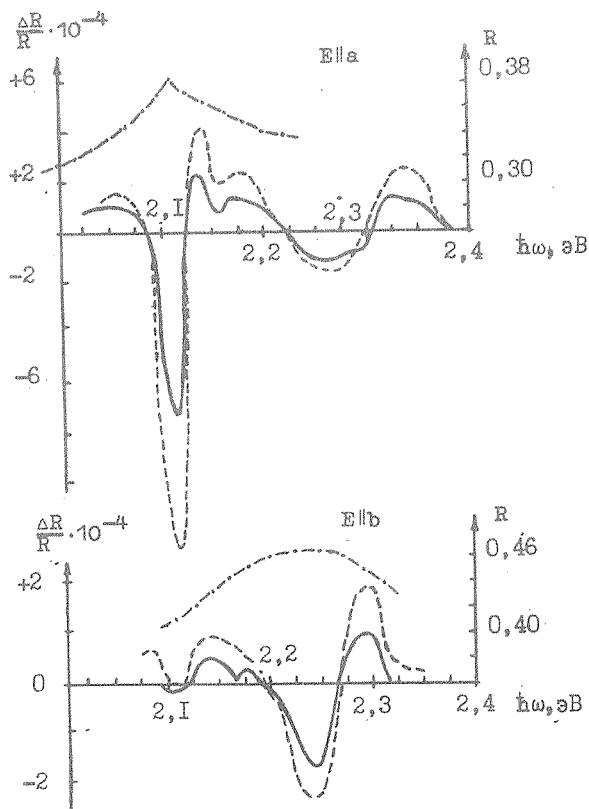
Исследован спектр электроотражения GeS в поляризованном свете в области 1,6 - 3 эВ при 110 К. Показано, что все наблюдаемые переходы оптически анизотропны и определены их энергии.

В настоящее время имеется небольшое количество теоретических и экспериментальных работ, касающихся исследований зонной структуры слоистого полупроводникового соединения GeS. Из результатов измерений оптического поглощения и отражения в широком интервале длин волны следует, что край фундаментального поглощения оптически анизотропен и характер его зависит от ориентации электрического вектора световой волны по отношению к направлениям кристалла \bar{a} , \bar{b} и \bar{c} (ось \bar{c} направлена перпендикулярно плоскости слоев). Установлено, что для $\bar{E}||\bar{a}$ и $\bar{E}||\bar{c}$ переход является прямым разрешенным, а для $\bar{E}||\bar{b}$ - прямым запрещенным /1/. В спектрах отражения, исследовавшихся в работах /2,3,4/, наблюдались особенности, обусловленные междузонными переходами за краем фундаментального поглощения. Между тем, показано /5/, что в области энергий 1,7 - 4,5 эВ, продифференцированные спектры отражения ($dR/d\lambda$) слабо зависят от поляризации и имеют одинаковые структурные особенности при практически одинаковых энергиях фотонов.

Цель настоящей работы было изучение методом электроотражения (ЭО) в поляризованном свете зонной структуры монокристаллического GeS.

Измерения спектров отражения и ЭО проводились при температурах 300 и 110 К в поляризованном свете, в интервале 1,6 - 3 эВ, на образцах толщиной 100 мкм, зеркальная поверхность которых получалась за счет отслаивания. Свет падал на образец под углом 60°

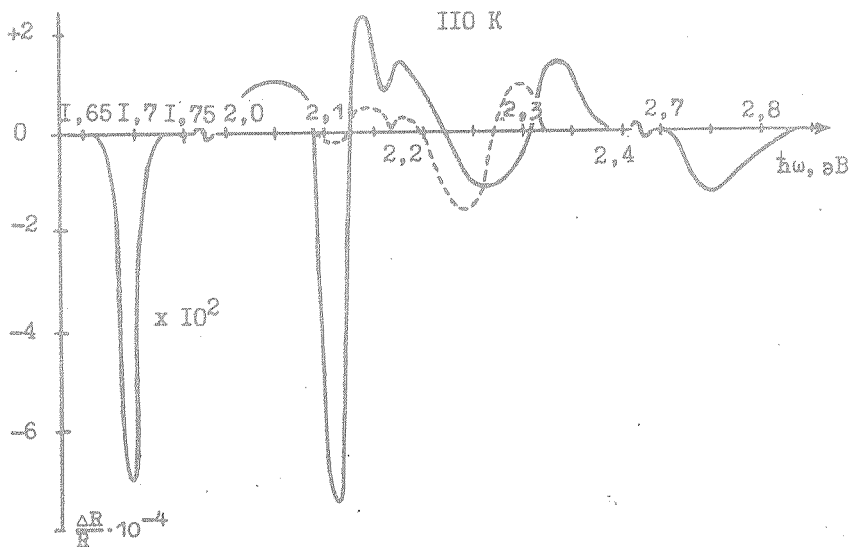
к нормали к поверхности образца. Спектры ЭО снимались стандартным методом конденсатора при частоте модуляции электрическим полем 430 Гц. Отраженный сигнал регистрировался ФЭУ-79 и записывался методом синхронного детектирования. Спектральная ширина щели при измерениях спектров ЭО составляла не более 5 мэВ.



Р и с. 1. Спектр электроотражения GeS при 110 К для двух поляриза-
ций: ЭИа - сплошная линия, ЭИб - штриховая

На рис. 1 представлен спектр ЭО, полученный при 110 К в об-
ласти энергий 1,6 - 3 эВ, из которого следует, что в данной спек-
тральной области наблюдаются три группы линий. Первый интенсивный

отрицательный пик $E_0 = 1,694$ эВ наблюдается при поляризации $\vec{E} \parallel \vec{a}$ и соответствует краю фундаментального поглощения (прямые разрешенные переходы). При $\vec{E} \parallel \vec{b}$ сигнал ЭО в этой области энергий отсутствует. При энергиях 2,0 - 2,4 эВ наблюдается структура, величина сигналов которой на два порядка меньше первой, длинноволновой. Из рисунка следует, что спектры в области 2,0 - 2,4 эВ, полученные при различных поляризациях, отличаются друг от друга как по величине сигналов ЭО, так и по энергетическому положению отрицательных максимумов: при $\vec{E} \parallel \vec{a}$ (сплошная линия на рис. 1) наблюдается узкая линия с максимумом при энергии $E_1 = 2,113$ эВ с сопровождающими ее осцилляциями, а при $\vec{E} \parallel \vec{b}$ (штриховая линия) - широкий пик, максимум которого расположен при энергии $E_1' = 2,245$ эВ. Обозначения для энергий E_0, E_1, E_1' соответствуют принятым в работах /4,5/.



Р и с. 2. Спектры ЭО в области 2,0 - 2,4 эВ при $T = 110$ К и двух значениях модулирующего поля $U_1 = 1$ кВ (сплошная линия); $U_2 = 1,6$ кВ (штриховая линия); а) $\vec{E} \parallel \vec{a}$, б) $\vec{E} \parallel \vec{b}$. Штрихпунктирной линией изображены спектры отражения R для обеих поляризаций (шкала справа)

На рис. 2 представлены спектры ЭО, полученные в области 2,0 - 2,4 эВ для двух значений модулирующего поля при 110 К для поляризации $\vec{E} \parallel \vec{a}$ (а), и $\vec{E} \parallel \vec{b}$ (б). Штрих-пунктирной линией построены спектры отражения, снимавшиеся одновременно. Из рисунка следует, что особенности в спектрах отражения для $\vec{E} \parallel \vec{a}$ и $\vec{E} \parallel \vec{b}$ совпадают по энергии с положением отрицательных максимумов ЭО. Кроме того, с ростом приложенного поля происходит смещение осцилляции, в то время как положение максимумов при $E_1 = 2,113$ эВ ($\vec{E} \parallel \vec{a}$) и $E_1' \sim 2,245$ эВ ($\vec{E} \parallel \vec{b}$) остается неизменным. Третий коротковолновый пик с энергией $E_2 = 2,75$ эВ также оптически анизотропен - сигнал ЭО регистрируется лишь при $\vec{E} \parallel \vec{a}$. С ростом приложенного поля положение максимума не меняется. В спектре отражения также наблюдается особенность при энергии 2,74 эВ.

Известно, что пики в спектрах ЭО соответствуют энергетическим переходам между валентной зоной и зоной проводимости в точках симметрии или вдоль линий симметрии. Следовательно, сигналы ЭО при энергиях 2,113 эВ ($\vec{E} \parallel \vec{a}$), 2,245 эВ ($\vec{E} \parallel \vec{b}$) и 2,75 эВ ($\vec{E} \parallel \vec{a}$) можно связать с междузонными оптическими переходами.

Существование переходов в области 2,0 - 2,2 эВ предсказывалось теоретически /6/. Экспериментально при 300 К и при поляризации $\vec{E} \parallel \vec{a}$ наблюдались особенности в спектрах отражения при энергиях 2,1 эВ /2/, 2,2 эВ /3/, 2,0 эВ /4/, 2,05 эВ /5/; при $\vec{E} \parallel \vec{b}$ - 2,1 эВ /4,5/. На основании теоретически рассчитанной зонной диаграммы /6/ вдоль линий симметрии λ и Δ , соответствующих направлениям \vec{a} и \vec{b} кристалла, особенности при 2 эВ ($\vec{E} \parallel \vec{a}$) можно связать с междузонными переходами вдоль линии $\lambda_4 - \lambda_4$, либо с переходами в точке $\Gamma_6 - \Gamma_3$. Однако вид особенности в спектрах отражения позволяет предположить, что данные переходы связаны скорее с переходами в седловую точку. В таком случае переход с энергией 2,113 эВ при 110 К можно идентифицировать как переход типа $\lambda_4 - \lambda_4$. Та же теоретическая модель позволяет сделать вывод о том, что переход при 2,245 эВ ($\vec{E} \parallel \vec{b}$) является переходом типа $\Delta_2 - \Delta_3$.

Получить спектры ЭО при 300 К в области 2 - 3 эВ не удалось, однако были сняты спектры λ -модуляции и отражения при $\vec{E} \parallel \vec{a}$, в которых обнаружен максимум при энергии 2,028 эВ. Сравнение спектров ЭО (110 К) и λ -модуляции (300 К) показало, что с понижением температуры происходит увеличение энергии перехода с температурным коэффициентом $dE_1/dT = -4,4 \cdot 10^{-4}$ эВ/К, который близок по величине

к температурному коэффициенту, соответствующему фундаментальному краю поглощения $dE_0/dT = -4,7 \cdot 10^{-4}$ эВ/К /7/.

Что касается высокоэнергетического перехода, то в работах /2,5/ при 300 К и \bar{E}_{IIa} наблюдались переходы при энергиях 2,76 эВ и 2,8 эВ. При \bar{E}_{IIb} в работах /4,5/ обнаружены переходы при энергиях 2,68 и 2,7 эВ.

В нашей работе показано, что переход в этой области происходит при энергии 2,75 эВ (110 К), является анизотропным и его можно приписать переходам вдоль линий симметрии λ .

Таким образом, исследование спектров ЗО и отражения монокристаллического GeS в области 1,6 - 3 эВ позволило:

1. Уточнить энергию междузонных переходов за краем фундаментального поглощения.

2. Показать, что все наблюдаемые при $T = 110$ К переходы за краем фундаментального поглощения оптически анизотропны.

3. Определить температурный коэффициент перехода E_T .

Поступила в редакцию

22 апреля 1980 г.

Л и т е р а т у р а

1. J. D. Wiley, A. Breitschwert, E. Schonherr, Sol. St. Commun., 17, 355 (1975).
2. I. Gregora, B. Veličky, M. Zvetova, J. Phys. Chem. Solids, 37, 785 (1976).
3. R. Eymard, A. Otto, Phys. Rev., B16, 1616 (1977).
4. J. D. Wiley, W. J. Buckel, W. Braun, Phys. Rev., B14, 697 (1976).
5. J. D. Wiley, G. W. Fehrenbach, Phys. Rev., B18, 2963 (1978).
6. T. Grandke, L. Ley, Phys. Rev., B16, 832 (1977).
7. И. П. Акимченко, М. Заветова, Г. К. Расулова, Труды III республиканского colloquium по модуляционной спектроскопии полупроводников и диэлектриков, Сухуми, 1979 г.