

ЭКСИТОНЫ В ГЛУБИНЕ СОБСТВЕННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ TlGaSe_2

Г.И.Абуталыбов, Э.Ю.Салаев

Установлено, что впервые обнаруженная линия поглощения в глубине собственного поглощения $E_B = 2,3804$ эВ при $T = 1,8$ К обусловлена образованием прямых свободных экситонов в Γ точке центра зоны Бриллюэна, а резкое изменение коэффициента поглощения с исчезновением пика экситонного поглощения B при $T = 105$ К объясняется структурным фазовым переходом в монокристаллах TlGaSe_2 .

В последнее время возрос интерес к вопросу о существовании экситонов в глубине собственного поглощения и проявлении их в оптических спектрах полупроводников. Как известно, для исследований спектров поглощения в глубине собственного поглощения требуются очень тонкие кристаллы, которые не всегда удается получить. Большая анизотропия химических связей, слоистых монокристаллов TlGaSe_2 значительно упрощает технологию получения тонких монокристаллических пленок достаточно больших размеров с высококачественными естественными поверхностями. С другой стороны, этот материал особенно благоприятен для наблюдения экситонов в глубине собственного поглощения, так как коэффициент поглощения выше основного края имеет небольшое значение [$\sim 300 \text{ см}^{-1}$] по сравнению с монокристаллами $A^{\text{III}}B^{\text{VI}}$ ¹ и $A^{\text{III}}B^{\text{V}}$ ². Поэтому представляет интерес проведение оптических исследований с целью получения информации об экситонных состояниях в глубине собственного поглощения в малоизученных слоистых полупроводниковых соединениях группы $A^{\text{III}}B^{\text{III}}C_2^{\text{VI}}$ — TlGaSe_2 в широкой области температур.

Кристаллическая структура TlGaSe_2 подробно изучена авторами ^{3, 4}. По данным Хана ³, слоистые монокристаллы TlGaSe_2 кристаллизуются в моноклинной структуре с пространственной группой C_2^4 . Его спектр поглощения вблизи края основного поглощения исследовался в ряде работ ⁵⁻⁷.

В настоящей работе, впервые проведены исследования спектрального распределения коэффициента поглощения монокристаллов TlGaSe_2 в глубине собственного поглощения в интервале температур $1,8 - 110$ К.

Исследуемые монокристаллы TlGaSe_2 были выращены методом Бриджмена — Стокбаргера. Кристаллы обладали слоистой структурой, проводимостью p -типа и имели удельное сопротивление $10^8 - 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ при комнатной температуре. В эксперименте использовались стеклянные и металлические криостаты, снабженные системой стабилизации температуры для исследований в интервале температур $1,8 \div 4,2$ и $6 \div 110$ К соответственно. Спектры регистрировались фотоэлектрическим способом с помощью спектрометра ДФС-12. Для снятия спектров пропускания монокристалла TlGaSe_2 в глубине собственного поглощения мы использовали тонкие образцы толщиной $d \approx 2 \div 10 \text{ мкм}$, отщепленные от монокристаллов из массивного слитка. Толщины образцов определялись на микроскопе и из анализа интерференционной картины пропускания.

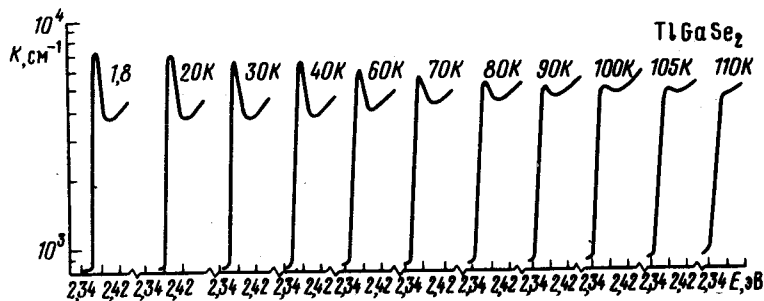


Рис. 1. Спектры поглощения монокристаллов TlGaSe_2 в глубине собственного поглощения, зарегистрированные при падении не поляризованного света перпендикулярно плоскости слоя в интервале температур $T = 1,8 \div 110$ К

На рис. 1 представлены спектры поглощения в глубине собственного поглощения TlGaSe_2 , зарегистрированные при падении неполяризованного света перпендикулярно плоскости слоя в интервале температур $T = 1,8 \div 110$ К. В исследуемой области наблюдается пик в спектре поглощения при $E_B = 2,3804$ эВ при $T = 1,8$ К. Из рисунка видно, что с понижением температуры структура спектра становится более резкой и смещается в сторону больших энергий, т. е. $\Delta E/\Delta T$ имеет вид характерный для большинства слоистых полупроводников $A^{III}B^{VI}$. В таблице приводятся энергетические положения линии поглощения в интервале температур $1,8 \div 110$ К.

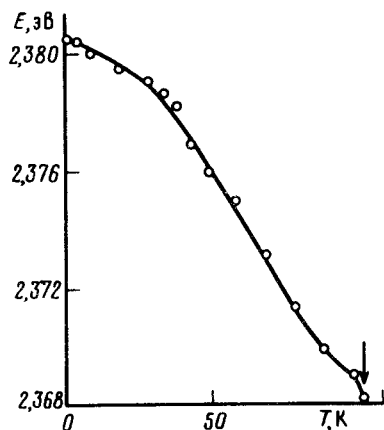


Рис. 2. Температурная зависимость энергетического положения прямой экситонной линии B в монокристаллах TlGaSe_2 .

Отметим, что температурный коэффициент энергетического положения экситонной линии в глубине собственного поглощения отличается от температурного коэффициента энергетического положения краевой прямой экситонной линии поглощения. На рис. 2 проведена температурная зависимость энергетического положения прямой экситонной линии B в монокристаллах TlGaSe_2 .

Из температурного сдвига экситонного пика в глубине собственного поглощения определяем:

$$\frac{\Delta E_B}{\Delta T} = - 1,23 \cdot 10^{-4} \text{ эВ/град.}$$

Эта линия более чувствительна к изменениям температуры и исчезает при 105 К (но в виде плато остается), в то время как линия вблизи края фундаментального поглощения наблюдается до 210 К в виде пика.

По сравнению с полушириной линии главного экситонного пика у основного края поглощения ($\sim 0,025$ эВ, при 1,8 К), полуширина линии B в глубине собственного поглощения меньше ($\sim 0,013$ эВ, при 1,8 К).

Таким образом, время жизни экситонов в глубине собственного поглощения примерно вдвое больше, что может быть связано с его динамической стабильностью.

На основании результатов исследований температурных зависимостей, данных о полуширине наблюдаемой особенности, а также используя предварительные расчеты зонной структуры монокристаллов TlGaSe_2 , следует предположить, что наблюдаемая линия B в глубине собственного поглощения связана с образованием электронно-дырочных пар в точке Γ центра зоны Бриллюэна.

Интересно заметить, что резкое изменение коэффициента поглощения и исчезновение пика экситонного

Энергетические положения линий поглощения B в монокристаллах TlGaSe_2 .

T (К)	E_B (эВ)
1,8	2,3804
5,0	2,3803
10	2,3799
20	2,3794
30	2,3790
35	2,3785
40	2,3781
45	2,3767
50	2,3758
60	2,3749
70	2,3731
80	2,3713
90	2,3699
100	2,3690
105	2,3681
110	2,3667

поглощения B происходит в интервале температур $105 \div 110$ К (рис. 2). Учитывая данные работ ^{8, 9} о существовании фазового перехода в монокристаллах $TlGaSe_2$, можно предположить, что указанные зависимости связаны со структурным фазовым переходом, приводящим к флуктуациям кристаллической решетки и, обуславливающим таким образом, увеличение экситон-фононного взаимодействия.

В заключение авторы выражают благодарность В.К.Субашиеву, Ф.И.Гашимзаде, Е.Л.Ивченко за большую помощь при обсуждении результатов.

Литература

1. *Shüiter M., Camassel J., Kohn S., Veitchovsky J.P., Shen Y.R., Cohen M.L.*, Optical properties of GaS_xSe_{1-x} mixed. Phys. Rev., 1976, **13B**, 3534.
2. Оптические свойства полупроводников (полупроводниковые соединения типа $A^{III}B^V$ (под редакцией Р.Уиллардсона и А.Бира. М.: Мир, 1970, с. 224.
3. *Müller D., Poltman E.E., Hahn H.E.* Zur structur ternärer chalkogenido des talliums mit aliminium gallium and indium. Zs. Naturforsch, 1974, **29B**, 117.
4. *Isaacs I., Hofkins R.H.* Crustal Growth, Sumetry and physical properties of Gallium Disulphide, $TlGaS_2$. J. Crys. Growth, 1975, **29**, 121.
5. *Абдуллаева С.Г., Мамедов Н.Т.* Оптические свойства монокристаллов $TlGaS_{2x}Se_{2(1-x)}$ вблизи края поглощения. Препринт ИФАН Азерб. ССР, 1980, №81, с. 3.
6. *Абдуллаева С.Г., Беленкий Г.Л., Мамедов Н.Т.* Экситонные состояния в слоистых полупроводниках $TlGaS_{2x}Se_{2(1-x)}$. ФТП, 1981, **15**, 943.
7. *Бахышев А.Э., Лебедев А.А., Халафов З.Д., Якобсон М.А.* Исследование оптических и фотоэлектрических свойств кристаллов $TlGaSe_2$. ФТП, 1975, **9**, 1548.
8. *Волков А.А., Гончаров Ю.Г., Козлов Г.В., Лебедев С.П., Прохоров А.М., Алиев Р.А., Аллахвердиев К.Р.* Мягкая сегнетоэлектрическая мода в кристалле $TlGaSe_2$. Письма в ЖЭТФ, 1983, **37**, 517.
9. *Абдуллаева С.Г., Абдуллаев А.М., Мамедов Н.Т.* Теплоемкость кристаллов $TlGaS_2$ и $TlGaSe_2$ при низких температурах. ФТТ, 1984, **26**, 618.

Поступила в редакцию

7 января 1985 г

После переработки

10 апреля 1985 г.

Институт физики

Академии наук Азербайджанской ССР