

Письма в ЖЭТФ, том 12, стр. 139 – 141

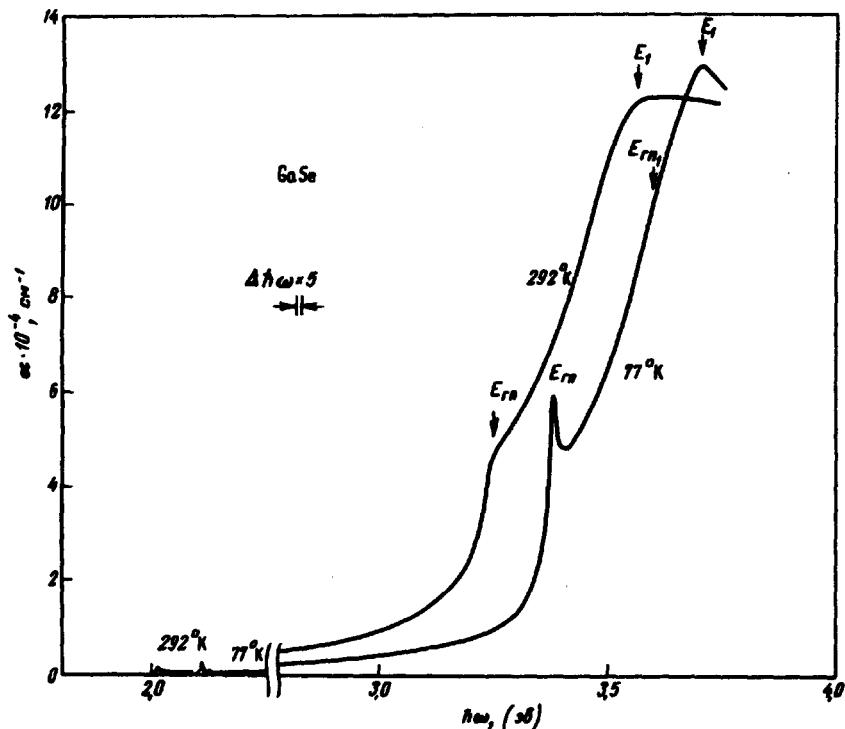
5 августа 1970 г.

ПРЯМОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ ЭКСИТОНОВ

B.K. Субашев, Ле Хак Бин

Филлипс [1] предположил, что электроны и дырки могут связываться в экситоны не только при энергиях близких к энергиям абсолютных экстремумов, но и вблизи седловых точек M_1 и M_2 . Такие экситоны Филлипс назвал экситонами седловых точек (гиперболическими экситонами.) Филлипс считал, что существуют

вование гиперболических экситонов может привести к появлению ясной структуры вблизи точек M_1 в оптических спектрах. Велицкий, Сак [2] и Кейн [3] нашли, что кулоновские эффекты в седловых критических точках M_1 должны ярко проявиться в оптических спектрах. Дюк и Сегал [4], с другой стороны, теоретически оспаривали существование гиперболических экситонов. Измеряя пропускание тонких образцов антимонида индия и теллурида кадмия при низких температурах, Кардона и Харбеке [5] обнаружили структуру, которую они приписали экситонной природе перехода $L_3 \rightarrow L_1$. Сравнивая коэффициент поглощения выше энергий первого экситонного пика с формулой Эллиота [6] для разрешенных прямых переходов, они получили энергии связи экситона 0,04 и 0,035 эВ для InSb и CdTe соответственно. Но, как указали Марпл и Эренрайх [7], возможно и другое объяснение структуры. Шакли, Роу и Кардона [8] из дифференциального спектра отражения InSb вблизи критической точки M_1 утверждали существование гиперболических экситонов в этом материале. Очевидно проблема о возможности существования связанных состояний вблизи седловых точек и об их проявлении в оптических спектрах до сих пор еще окончательно не решена.



Спектры поглощения GaSe выше края основного поглощения

В настоящей работе мы приводим четкое доказательство в пользу существования гиперболических экситонов на примере GaSe.

GaSe представляет собой гексагональную слоистую структуру. Его спектр поглощения вблизи края основного поглощения исследовался в ряде работ [9].

Этот материал особенно благоприятен для наблюдения гиперболических экситонов, так как в нем поглощение выше основного края небольшое и слоистая структура приводит к четкому выявлению критических точек.

Для измерения пропускания GaSe в области большого поглощения мы использовали тонкие образцы (1 мкм и 0,55 мкм), отщепленные от кристаллов GaSe.

Толщины образцов определялись из анализа интерференционной картины спектров пропускания. На рисунке показаны спектры поглощения GaSe при комнатной температуре и при 77°К. При 77°К ясно видны пик в поглощении при $(3,378 \pm 0,002)$ эв и седловая точка M_1 при $(3,696 \pm 0,002)$ эв. Можно заметить полную аналогию экспериментальной кривой с видом теоретической кривой, данной Филипсом [1] в случае гиперболических экситонов. Пик сильно зависит от температуры. При 292°К он исчезает и остается крутой подъем на кривой поглощения. Такая сильная температурная зависимость служит одним из доказательств того, что пик связан с экситонами. Гиперболический характер этих экситонов следует из того, что он образуется вблизи критической точки типа M_1 . Последнее подтверждается ходом кривой поглощения, полученной нами, и зависимостью коэффициента отражения в этой области от энергий, а также согласуется с теоретически рассчитанной зонной структурой для GaSe [9]. Энергия связи экситона равна $0,318 \pm 0,006$ эв (77°К).

Из смещения спектров по температуре определяем :

$$\Delta E_{\text{ГП}} / \Delta T = -5,9 \cdot 10^{-4} \text{ эв/град} \quad \text{и} \quad \Delta E_1 / \Delta T = -5,9 \cdot 10^{-4} \text{ эв/град},$$

что согласуется с результатом Ахундова и др. [10], полученным из спектра отражения.

По сравнению с полушириной линии главного экситонного пика у основного края поглощения ($\Gamma \approx 0,01$ эв, при 77°К) полуширина линии экситона у M_1 больше ($\Gamma \approx 0,02$ эв.).

Таким образом, время жизни гиперболических экситонов примерно вдвое меньше, что может быть связано с его динамической нестабильностью.

Интересно отметить заметное уменьшение быстроты роста a вблизи $\hbar\nu = 3,6$ эв при 77°К. Естественно предположить, что оно связано с возбужденным состоянием $E_{\text{ГП1}}$ гиперболических экситонов.

Авторы весьма признательны Л.С.Чертковой за измерение толщины образцов и помочь при оформлении работы.

Институт полупроводников
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22 июня 1970 г.

Литература

- [1] J.C.Phillips. Solid State Physics, 18, 55, 1966. (см. перевод: Дж. Филипс. Оптические спектры твердых тел в области собственного поглощения. Изд. Мир, 1968.)
- [2] B.Velicky, J.Sak. Phys. Stat. Solidi, 16, 147, 1966.
- [3] E.O.Kane. Phys. Rev., 130, 852, 1969.
- [4] C.B.Duke, B.Segall. Phys. Rev. Lett., 17, 19, 1966.
- [5] M.Cardona, G.Harbeke. Phys. Rev. Lett., 3, 90, 1962; J.Appl. Phys., 35, 913, 1964.
- [6] R.J.Elliott. Phys. Rev., 108, 1384, 1957.
- [7] D.T.Marple, H.Ehreinreich. Phys. Rev. Lett., 8, 97, 1962.
- [8] K.L.Shaklee, J.E.Rowe, M.Cardona. Phys. Rev., 174, 828, 1968.
- [9] H.Kamimura, K.Nakao. J. Phys. Soc. Japan, 24, 1313, 1968.
- [10] G.A.Akhundov, N.A.Gasanova, M.A.Nizametdinova. Phys. Stat. Solidi, 15, K109, 1966.