

ИЗОТОПИЧЕСКОЕ СМЕЩЕНИЕ ЭКСИТОННЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ ПОГЛОЩЕНИЯ Cu_2O

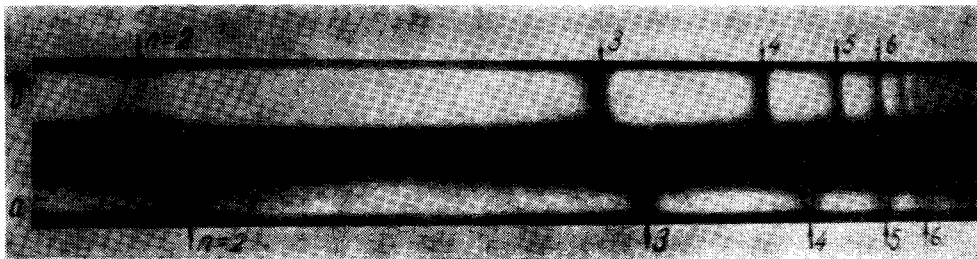
Ф.И.Крейнгольд, К.Ф.Лидер, Л.Е.Соловьев

Обнаружено смещение экситонных серий при изотопическом замещении кислорода в кристаллах закиси меди. Явление интерпретируется на основе поляронной модели.

Изотопическое замещение широко применяется при исследовании колебательных спектров кристаллов. В последнее время изотопозамещение

успешно использовалось при изучении электронных экситонных зон в молекулярных кристаллах [1]. В кристаллах полупроводников замещение изотопов проводилось для определения природы примесных центров [2, 3].

В настоящей работе приводятся результаты исследования влияния изотопозамещения на экситонный спектр кристаллов закиси меди. Мы обнаружили, что при полной замене кислорода O^{16} на O^{18} происходит смещение всех линий экситонного поглощения. Линии поглощения желтой и зеленой экситонных серий смещаются одинаково. Сдвиг происходит в коротковолновую сторону спектра и равен $\Delta E = 18 \text{ см}^{-1}$. Энергия изотопического смещения в интервале температур 4,2 – 77К для этих серий не зависит от температуры.



Спектр поглощения желтой экситонной серии в кристаллах Cu_2O : *a* – 50%-ное замещение O^{18} ; *b* – кристалл с естественным содержанием изотопа кислорода

Одновременно с изотопическим сдвигом экситонных линий мы измеряли изменение энергии продольного оптического фонона ($\hbar\omega_{LO} = 660 \text{ см}^{-1}$). В замещенном кристалле энергия фонона уменьшалась на $\Delta\hbar\omega_{LO} = 25 \text{ см}^{-1}$. При замещении около 50% атомов (рисунок) кислорода изотопический сдвиг экситонных серий был равен 12 см^{-1} . Кристаллы с 50%-ным замещением выращивались методом гидротермального синтеза, и на этих кристаллах удалось измерить смещение линий экситонных серий, находящихся вблизи зон разрешенных переходов (голубая и синяя серии). По величине при $T = 77\text{K}$ смещение оказалось в пределах точности опыта таким же, как для желтой и зеленой серии, но направленным в противоположную длинноволновую сторону. При $T = 4,2\text{K}$ наблюдается лишь незначительное смещение.

Обнаруженное нами смещение экситонных серий велико и его нельзя объяснить изотопическим сдвигом атомных уровней. Тем более, что экситоны образованы из носителей тех зон, которые "построены", в основном, из уровней меди. Обращает на себя внимание тот факт, что постоянные Ридберга при изотопическом сдвиге никаких изменений не претерпевают (для желтой серии с точностью до $0,5 \text{ см}^{-1}$). Поэтому можно ожидать, что основной причиной смещения при изотопическом замещении является изменение электрон-фононного взаимодействия.

Величину электрон-фононного взаимодействия в кристалле закиси меди можно оценить, если воспользоваться моделью полярона "большого ра-

диуса". Постоянная полярной связи a для Cu_2O при $\epsilon_0 = 7,5$; $\epsilon_\infty = 6,25$; $m_e = m_0$; $\omega_{LO} = 1,54 \cdot 10^{13}$ сек примерно равняется 0,3. Тогда энергия полярной связи $E = -a\hbar\omega_{LO} = 220 \text{ см}^{-1}$, а изменение энергии связи составит 12 см^{-1} , что очень близко к наблюдаемому нами значению сдвига для запрещенных переходов. В рамках полярной модели возникают трудности при объяснении обратного сдвига экситонов разрешенных серий. Для того, чтобы удовлетворить опыту, мы должны предположить существование других механизмов, приводящих к смещению, например, взаимодействие с акустическими фононами. В пользу такого предположения свидетельствует значительная чувствительность разрешенных зон к деформации кристалла и температурная зависимость изотопного смещения.

Изотопический сдвиг можно связать с температурной зависимостью ширины запрещенной зоны. Для этого воспользуемся результатами работы [4], в которой дана теория изотопического смещения бесфононных линий при оптическом переходе в примесных центрах. Величина изотопического смещения должна быть, согласно [4], пропорциональна температурному смещению зоны основной решетки при высокой тем-

пературе $\left(\gamma = \frac{\partial E_G}{\partial kT} \Big|_{HT} \right)$ и обусловлена одновременным изменением

энергии нулевых колебаний примесного атома и силовых постоянных основной решетки. По-видимому, при изотопическом замещении основных атомов кристалла величина сдвига должна быть также пропорциональна γ , относительному изменению массы изотопа $\Delta M/M$ и изменению энергии нулевых колебаний. Соответствующие оценки в нашем случае дают разумные значения смещения. Для более полного выяснения механизмов спектрального смещения экситонных уровней при изотопозамещении необходимы дополнительные эксперименты, связанные с изотопическим замещением атомов меди.

В заключение следует отметить, что изотопические смещения достаточно велики, их легко измерять и поэтому метод замещения изотопов на основной решетке может с успехом быть использован при исследовании электрон-фононного взаимодействия.

Ленинградский
государственный университет
им. А.А.Жданова

Поступила в редакцию
4 апреля 1976 г.

Литература

- [1] V.L.Broude, E.J.Rashba, E.F.Sheka. Phys. Stat. Sol., 19, 395, 1967.
- [2] T.N.Morgan, B.Welber, R.N.Bhargava. Phys. Rev., 166, 751, 1968.
- [3] D.G.Thomas, J.J.Hopfield. Phys. Rev., 150, 680, 1966.
- [4] V.Heine, C.H.Henry., Phys. Rev., B11, 3795, 1975.