

Член-корреспондент АН СССР Е. Ф. ГРОСС, Б. П. ЗАХАРЧЕНЯ и Н. М. РЕЙНОВ
ТОНКАЯ СТРУКТУРА ЛИНИЙ СЕРИИ ЭКСИТОНА В КРИСТАЛЛЕ ЗАКИСИ МЕДИ

В спектре поглощения кристалла закиси меди при температуре жидкого гелия ($4,2^\circ\text{K}$), кроме первой (желтой) серии экситона, наблюдаются ⁽¹⁾ новые линии, расположенные между членами серии. На спектрограмме можно было заметить несколько таких линий. Из них 7 наиболее интенсивных мы смогли промерить. Кроме того, при $4,2^\circ\text{K}$ мы заметили намеки на тонкую структуру членов желтой серии экситона.

Для того чтобы яснее выявить структуру членов серии экситона, мы предприняли исследования кристалла Cu_2O со спектрографом с дифракционной решеткой, дающим большую дисперсию. Кроме того, мы охладили кристалл Cu_2O до еще более низких температур, которые можно достичь испарением жидкого гелия при низких давлениях.

При температуре $1,3^\circ\text{K}$, когда линии спектра экситона становятся еще более узкими, мы смогли установить с несомненностью новый факт — тонкую структуру первых членов желтой серии экситона. Об этих наблюдениях мы уже кратко сообщали в одной из наших предыдущих статей ⁽²⁾. Здесь мы хотим более подробно

Таблица 1
Расстояния между компонентами тонкой структуры членов первой (желтой) серии экситонов

Порядковый № линии k	Δ_1		Δ_2	
	Å	см ⁻¹	Å	см ⁻¹
2	3,3	9,9	3,5	10,5
3	1,7	5,1	1,5	4,5
4	1,0	3,0	0,9	2,7
5	—	—	0,6	1,8

остановиться на этих исследованиях, а также на других результатах, обнаруженных нами в Cu_2O при $1,3^\circ\text{K}$.

Мы смогли наблюдать сложное строение первых четырех членов желтой серии экситона, начиная со второго. Линии $K-2$, $K-3$ и $K-4$ оказались состоящими из трех компонент и имели вид узких триплетов. Две коротковолновые компоненты триплета более интенсивны, чем

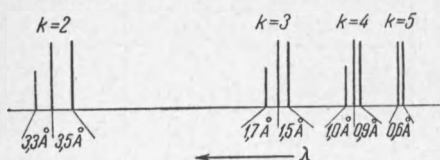


Рис. 1. Схема тонкой структуры линий желтой серии экситона в кристалле Cu_2O

третья, длинноволновая. У линии $K-5$ мы могли заметить только две компоненты (дублет), соответствующие, повидимому, коротковолновым компонентам других членов серии. Наиболее ясно тонкая структура обнаруживается на линии $K-3$.

На рис. 1 показана схема тонкой структуры линий экситона. В табл. 1 приведены расстояния между длинноволновыми Δ_1 и коротковолновыми Δ_2 компонентами триплетов. Как видно из табл. 1, величины Δ убывают обратно пропорционально k^2 — квадратом квантовых чисел.

При $T = 1,3^\circ\text{K}$, благодаря сужению линий и очень сильному ослаблению сплошного спектра, мы смогли хорошо наблюдать высшие члены желтой серии экситона вблизи границы серии до 9-го члена серии включительно. На рис. 2 а (на вклейке) приведена спектрограмма желтой серии

экситона при $T=1,3^\circ\text{K}$. С нею сопоставлена спектрограмма той же серии при температуре жидкого азота ($T=77,3^\circ\text{K}$) *, полученная с той же пластинкой Si_2O толщиной 160 μ (рис. 2 б).

Из спектрограмм рис. 2 видно, как сильно ослабляется при переходе от $T=77,3^\circ\text{K}$ к $T=1,3^\circ\text{K}$ сплошной спектр, налагающийся на серию. Кроме того из сравнения спектрограмм рис. 2 видно, насколько сужаются линии экситона при температуре $1,3^\circ\text{K}$.

Таблица 2

Положение членов первой (желтой) серии экситонов при $T=1,3^\circ\text{K}$

Порядк. № линии k	Наблюденные значения		Вычисленные значения		
	длины волн λ_k в $\text{\AA}$	частоты ν_k в см^{-1}	энергия в эв	длины волн λ_k в $\text{\AA}$	частоты ν_k в см^{-1}
1	6095,0	16406,8	2,0335	5968,5	16754,7
2	5769,9	17331,3	2,1481	5769,4	17332,8
3	5734,5	17438,3	2,1613	5734,0	17439,9
4	5721,7	17477,3	2,1661	5721,7	17477,3
5	5716,1	17494,4	2,1683	5716,0	17494,7
6	5712,8	17504,5	2,1695	5712,9	17504,1
7	5711,0	17510,0	2,1702	5711,1	17509,8
8	5709,9	17513,4	2,1706	5709,8	17513,5
9	5709,1	17515,8	2,1709	5709,0	17516,0
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
∞	—	—	—	5705,9	17525,5

В табл. 2 приведены измерения наблюдаемых нами членов желтой серии экситона при $T=1,3^\circ\text{K}$. Измерения относятся к серединам линий серии, без учета их тонкой структуры (табл. 1), т. е. отвечают некоторым средним значениям — «центрам тяжести» компонент тонкой струк-

Таблица 3

Первая (желтая) и вторая (зеленая) серии экситонов при $T=4,2^\circ\text{K}$

Порядк. № линии k	Желтая серия			Зеленая серия		
	длины волн λ_k в $\text{\AA}$	энергия в эв	частоты ν_k в см^{-1}	длины волн λ_k в $\text{\AA}$	энергия в эв	частоты ν_k в см^{-1}
1	6095,8	2,0332	16404,7	5817	2,131	17191
2	5770,8	2,1477	17328,6	5469	2,266	18285
3	5735,0	2,1611	17436,8	5419	2,287	18454
4	5722,8	2,1657	17473,9	5402	2,294	18512
5	5716,8	2,1618	17492,3	5394	2,298	18539
6	5713,1	2,1694	17503,6	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
∞	5706,6	2,1719	17523,3	5380	2,303	18587

туры. Частота всех линий серии, кроме первого члена, очень хорошо удовлетворяет серийной формуле водородоподобного атома:

$$\nu_k = 17525,5 - \frac{770,8}{k^2}; \quad k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. \quad (1)$$

* В недавно опубликованном сообщении (3) французские авторы С. Никитин, Г. Перни и М. Зискинд повторили при температуре жидкого азота ($T=77,3^\circ\text{K}$) наши опыты (4, 5) и подтвердили результаты, полученные нами для желтой и зеленой серий линий поглощения в кристалле Si_2O .

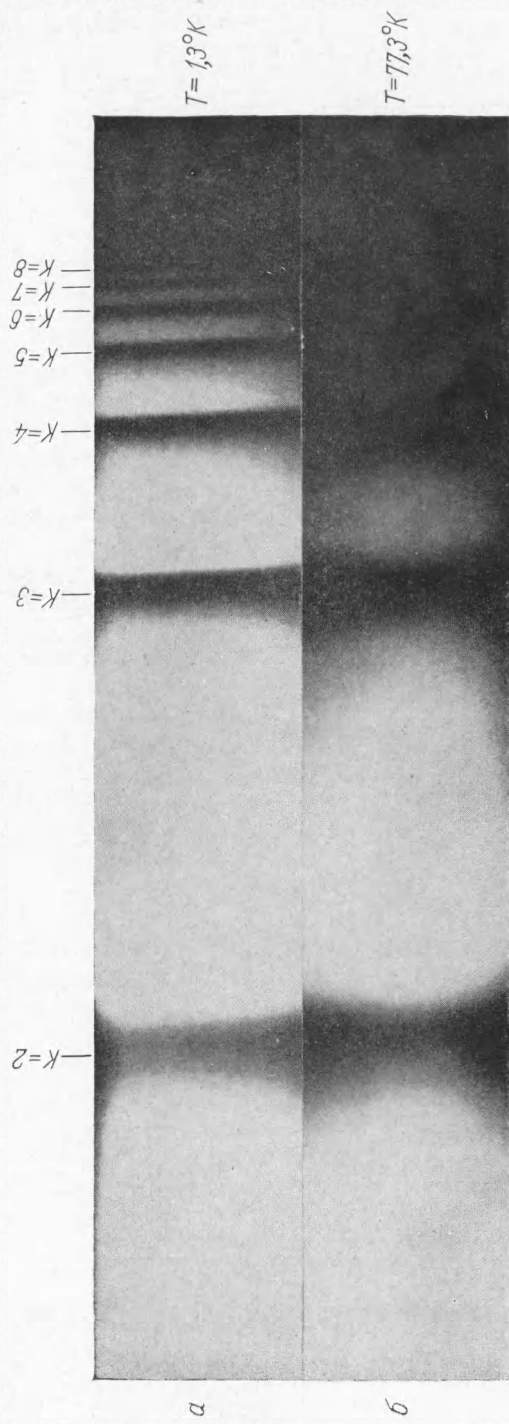


Рис. 2. Желтая серия экситона кристалла Cu_2O : *a* — при температуре 13°K ; *б* — при температуре $77,3^{\circ}\text{K}$

В табл. 3 для сравнения с данными табл. 2 приведены измерения членов желтой серии при $T = 4,2^\circ\text{K}$ *. Здесь же приведены измерения для зеленой серии, которые нами не были опубликованы ранее.

Частоты линий как желтой, так и зеленой серий при $T = 4,2^\circ\text{K}$, кроме первых членов, хорошо удовлетворяют водородоподобной сериальной зависимости:

$$\begin{aligned} \text{для желтой серии: } \nu_k &= 17523,3 - \frac{780,7}{k^2}, \quad k = 1, 2, 3, \dots; \\ \text{для зеленой серии: } \nu_k &= 18587 - \frac{1200}{k^2}, \quad k = 1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (2)$$

Как видно из табл. 2 и 3, члены желтой серии смещаются очень мало при понижении температуры от $T = 4,2^\circ\text{K}$ до $T = 1,3^\circ\text{K}$. Однако снижение температуры здесь заметно уменьшает ширину линий и интенсивность сплошного фона. Это позволило нам обнаружить еще новые линии, расположенные между членами серии $k-4$ и $k-5$ и между $k-5$ и $k-6$, сверх тех линий, которые мы наблюдали при $T = 4,2^\circ\text{K}$. Кроме того, из-за сужения линий при $T = 1,3^\circ\text{K}$ некоторые из наблюдаемых нами ранее ⁽¹⁾ линий между членами желтой серии распались при $T = 1,3^\circ\text{K}$ на несколько очень узких тонких линий.

Все наблюдаемые нами при $T = 4,2^\circ\text{K}$ и при $T = 1,3^\circ\text{K}$ линии, расположенные между членами желтой серии экситона, сопоставлены в табл. 4.

В области первого члена серии ($k-1$) при температуре жидкого гелия мы заметили слабую неясно выраженную линию при $\lambda = 6039 \text{ \AA}$ (2,0523 эв). Однако этот результат требует дальнейшего изучения.

Как показывают наши исследования эффекта Штарка у желтой серии экситона ^(2, 6), линии, наблюдающиеся (см. табл. 4) между членами серии экситона при температуре жидкого гелия, появляются и при температуре жидкого азота под влиянием электрического поля и усиливаются в интенсивности при возрастании поля.

Они могут быть отнесены к «запрещенным» электронным переходам, появляющимся под влиянием поля.

В настоящее время еще трудно дать определенное толкование уровням энергии, между которыми происходят такие запрещенные переходы электронов. Здесь возможны разные предположения. Возможно, что существование этих уровней обусловлено неполной водородоподобностью энергетической схемы экситона, что должно было бы привести к снятию вырождения относительно квантового числа l и появлению новых уров-

Таблица 4

Длины волн новых линий поглощения в Cu_2O при $T = 4,2^\circ\text{K}$ и $T = 1,3^\circ\text{K}$

$T = 4,2^\circ\text{K}$		$T = 1,3^\circ\text{K}$	
длины волн в $\text{\AA}$	частоты в см^{-1}	длины волн в $\text{\AA}$	частоты в см^{-1}
5758,7	17365,0	5758,8	17367,1
5753,2	17381,6	5752,5	17383,7
5746,3	17402,5	5745,1	17406,1
5731,8	17446,5	5731,8	17446,5
5729,0	17455,0	{ 5729,5	17453,5
		{ 5728,0	17458,1
		{ 5727,3	17460,2
		{ 5726,5	17462,7
5726,5	17462,7	{ 5726,0	17464,2
		{ 5725,4	17466,0
		{ 5719,3	17484,7
5719,8	17483,1	{ 5718,1	17488,3
		{ 5714,7	17498,7
		{ 5713,9	17501,2

* Опубликованные нами ⁽¹⁾ ранее данные для положений членов желтой серии при $T = 4,2^\circ\text{K}$ из-за недостаточного охлаждения кристалла относятся, как было нами выяснено, не к $T = 4,2^\circ\text{K}$, а к более высокой температуре кристалла Cu_2O . Числа в последней строке табл. 3, относящиеся к значениям $k = \infty$, получены из формулы (2).

ней в энергетической схеме экситона. Отступления от водородоподобности экситона, повидимому, действительно существуют. На это указывает сильное отклонение первого члена желтой серии экситона от сериальной зависимости водородоподобного атома ⁽⁴⁾. Появление новых запрещенных линий в спектре нужно связывать тогда с нарушениями правил отбора: $\Delta l = \pm 1$.

Ленинградский физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступило

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. Ф. Гросс, Б. П. Захарченя, Н. М. Рейнов, ДАН, 92, № 2, 265 (1953).
² Е. Ф. Гросс, Б. П. Захарченя, Н. М. Рейнов, ДАН, 97, № 1 (1954).
³ S. Nikitine, G. Perny, M. Sieskind, C. R., 238, 67 (1954). ⁴ Е. Ф. Гросс, Н. А. Каррыев, ДАН, 84, № 3, 471 (1952). ⁵ Е. Ф. Гросс, Б. П. Захарченя, ДАН, 90, № 5 (1953). ⁶ Е. Ф. Гросс, Б. П. Захарченя, Н. М. Рейнов, ДАН, 97, № 2 (1954).