

Член-корреспондент АН СССР Е. Ф. ГРОСС, Б. П. ЗАХАРЧЕНЯ и Н. М. РЕЙНОВ

ЭФФЕКТЫ ШТАРКА И ЗЕЕМАНА У ЭКСИТОНОВ КРИСТАЛЛА ЗАКИСИ МЕДИ

Как уже сообщалось ранее (^{1,2}), в спектре поглощения кристалла закиси меди при температуре жидкого азота ($t = -196^\circ\text{C}$) наблюдаются две водородоподобные серии линий поглощения в желтой и зеленой частях спектра, происхождение которых нужно связывать с существованием экситонов в кристалле Cu_2O .

При температуре жидкого гелия были обнаружены (³) новые линии. При $t = 1,3^\circ\text{K}$ мы обнаружили новый факт — тонкую структуру членов первой (желтой) серии экситона. Линии серии оказались узкими триплетами с расстояниями Δ между компонентами, выраженными в Å: 3,3 и 3,5 для $k = 2$; 1,7 и 1,5 для $k = 3$; 1,0 и 0,9 для $k = 4$. В настоящем сообщении мы описываем новые опыты, поставленные нами с целью более глубокого изучения обнаруженных явлений.

Хорошо известно, что расщепление линий атомных спектров в магнитном и электрическом полях оказывает большую помощь при анализе спектров. Поэтому мы предприняли исследования воздействия электрических и магнитных полей на линии экситонных серий в закиси меди*. Эти исследования, интересные сами по себе, могли подтвердить отождествление (^{1,2}) водородоподобных серий линий поглощения в кристалле Cu_2O с оптическим спектром экситона. Кроме того, они могли помочь, как мы полагали, интерпретации новых линий, обнаруженных нами при температуре жидкого гелия (³).

Уровни энергии экситона подобны уровням энергии в атоме водорода. Поэтому можно было ожидать, что влияние электрического поля на спектр экситона будет значительно сильнее, чем магнитного, в соответствии с тем, что расщепление линий спектра водорода в эффекте Штарка очень велико и в десятки раз больше, чем в эффекте Зеемана.

В первой стадии наших опытов мы вели исследования на желтой серии экситона при температуре жидкого азота ($t = -196^\circ\text{C}$). Для изучения эффекта Штарка мы пользовались двумя источниками напряжения 20 и 70 кв, которые при помощи электродов прикладывались к пластинкам Cu_2O . Для изучения эффекта Зеемана в нашем распоряжении был большой электромагнит, позволивший вести исследования при полях до 28 000 эрст.

Изучение поведения линий поглощения экситона в электрическом и магнитном полях велось при помощи призменного спектрографа с дисперсией в желтой части спектра 7 Å/мм.

Э ф ф е к т Ш т а р к а. Постоянная Ридберга в спектре экситона очень мала — в 140 раз меньше, чем для спектра атома водорода (¹). Однако обнаружение на опыте расщепления Штарка у линий экситона в кристалле Cu_2O все же возможно вследствие того, что радиусы орбит электрона у экситона в ϵ раз больше, чем в атоме водорода (ϵ — ди-

* Об этих исследованиях было сообщено одним из нас в докладе об экситонах, прочитанном в Академии наук 3 февраля 1953 г. в Ленинграде.

электрическая постоянная кристалла; для Cu_2O $\epsilon \cong 10$). Чем больше диаметр электронной орбиты в электрическом поле, тем больше разность потенциалов между противоположными точками орбиты. Поэтому расщепление уровней экситона в эффекте Штарка должно быть приблизительно в 10 раз больше, чем у атома водорода. В силу этого сильное уменьшение расщепления Штарка в Cu_2O из-за малой величины постоянной Ридберга должно быть частично скомпенсировано увеличением расщепления, вызванного большими размерами орбит экситона.

При наложении электрического поля на кристалл закиси меди мы действительно обнаружили новые явления, приводящие к очень большим изменениям в спектре экситона.

В пластинках Cu_2O , с которыми мы работали, нам удалось проследить влияние электрического поля на 5 членах желтой серии экситона ($k = 1, 2, 3, 4, 5$). Наибольшие изменения претерпевают высшие члены серии с квантовыми числами $k = 5, 4$ и 3 . Влияние электрического поля обнаруживается сначала только на линии $k = 5$, которое делается заметным уже при сравнительно слабых полях (приблизительно 5 кв/см). По мере возрастания электрического поля линия $k = 5$ серии экситона сначала расширяется, а затем, приблизительно при 6 кв/см, становится заметным ее расщепление на 3 компоненты. При большем поле уже становится заметным расширение линии $k = 4$, и между членами серии $k = 4$ и $k = 5$ появляется новая линия, которая соответствует линии $k' = 4$, появляющейся в спектре экситона при температуре жидкого гелия ⁽³⁾. Далее, при увеличении поля приблизительно до 8 кв/см, линия $k = 4$ расщепляется на 2 компоненты, образующие триплет вместе с возрастающей в интенсивности с полем линией $k' = 4$. Расстояние между компонентами триплета возрастает с увеличением приложенного поля. При этом компоненты триплета расширяются с увеличением поля.

При возрастании поля в интервале 8—10 кв/см между членами серии $k = 3$ и $k = 4$ появляются еще 3 новые линии, которые соответствуют линиям $k' = 3$, $k'' = 3$ и $k''' = 3$, также обнаруженным нами при температуре жидкого гелия ⁽³⁾.

Дальнейшее возрастание электрического поля приводит к очень большим изменениям в спектре экситона. Линии $k'' = 3$ и $k''' = 3$ возрастают в интенсивности и при увеличении поля, расширяясь, отодвигаются вместе от линии $k = 3$ серии экситона в фиолетовую часть спектра. Линия $k = 3$, наоборот, по мере возрастания поля смещается в красную часть спектра и, расширяясь, сливается с широкой полосой, появляющейся с длинноволновой стороны от линии $k = 3$ и возрастающей в интенсивности с полем. Эта полоса по положению в спектре соответствует линиям $k' = 2$ и $k'' = 2$, наблюдающимся в жидком гелии ⁽³⁾. Одновременно с этой полосой при возрастании поля между членами серии экситона $k = 3$ и $k = 2$ появляется еще одна хорошо наблюдаемая широкая новая линия, которая соответствует линии $k''' = 2$, наблюдающейся в жидком гелии ⁽³⁾.

Нам удалось заметить только небольшое расширение и заметное ослабление в интенсивности члена серии $k = 2$ под влиянием электрического поля порядка 20—25 кв/см. Даже при максимальных полях порядка 50 кв/см, применяемых в наших опытах, мы не могли заметить каких-либо изменений у первого члена серии экситона $k = 1$, несмотря на его исключительную узость.

Одновременно с вышеуказанными изменениями в спектре экситона при постепенном возрастании электрического поля мы обнаружили очень интересное явление. По мере возрастания электрического поля высшие члены серии экситона, расщепляясь на компоненты, расширяются и вместе со своими спутниками (новыми линиями) слабеют в интенсивности и исчезают: сначала член серии $k = 5$; затем, при большем поле, $k = 4$; затем, при еще большем поле $k = 3$. Одновременно при постепенном

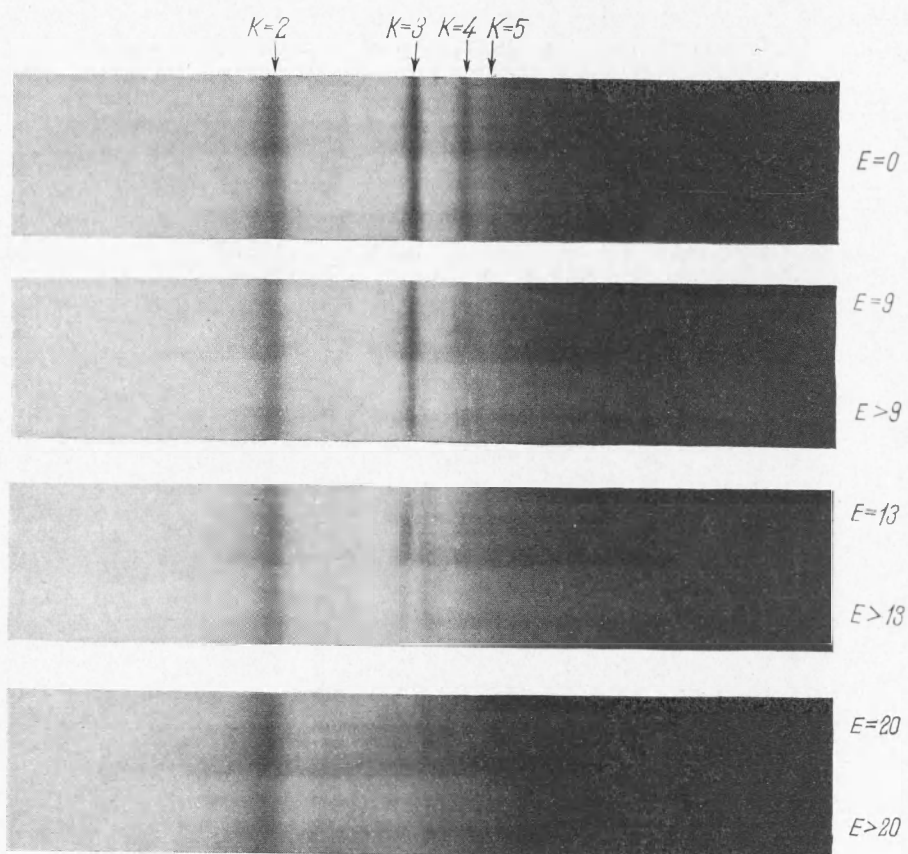


Рис. 2. Эффект Штарка в спектре поглощения желтой серии экситона в кристалле Si_2O при различных электрических полях E в кв/см

исчезновении каждого члена серии со стороны границы серии надвигается сплошной спектр на место исчезнувших компонент расщепленного полем члена серии. Нам удавалось наблюдать, что при достаточно сильных полях от серии экситона оставались практически только два первых члена: $k=1$ и $k=2$, причем линия $k=2$ заметно ослаблялась в интенсивности.

Изменения в спектре экситона, происходящие под влиянием возрастающего электрического поля, наблюдавшиеся нами, графически представлены на рис. 1. На рис. 2 приведены спектрограммы эффекта Штарка в спектре экситона кристалла Cu_2O , на которых видны расширение и расщепление на отдельные компоненты членов серии экситона, появление новых линий и постепенное исчезновение высших членов серии экситона при увеличении электрического поля.

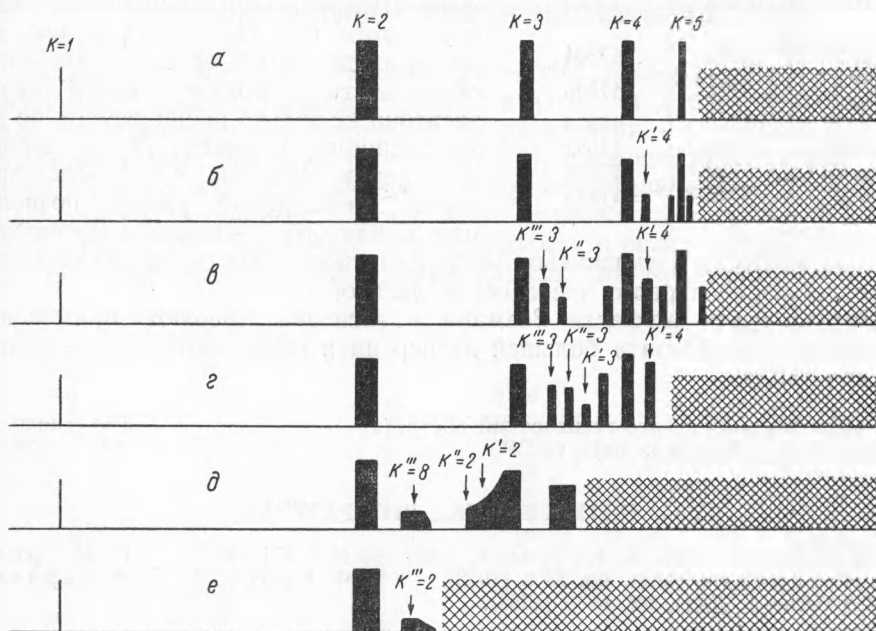


Рис. 1. Схема эффекта Штарка в спектре экситона при различных электрических полях. а — $E=0$; б — 6 кв/см; в — 8 кв/см; г — 11 кв/см; д — 14 кв/см; е — $E=21$ кв/см

В табл. 1 приведены все наблюдавшиеся нами в жидком азоте новые линии, появляющиеся и усиливающиеся в электрическом поле.

«Новыми» линиями мы называем здесь те 7 линий, которые появляются и при отсутствии внешнего электрического поля при глубоком охлаждении кристалла до температуры жидкого гелия ⁽³⁾. Хотя длины волн этих линий в жидком азоте и жидком гелии из-за неодинаковости температур различны, но их расположение относительно членов серии в обоих случаях одинаково, что не оставляет сомнений в их тождественности.

Новые линии мы рассматриваем как «запрещенные» линии, возникающие вследствие появления «запрещенных» переходов между уровнями экситона в кристалле Cu_2O под влиянием электрического поля. Исчезновение высших членов серии экситона под влиянием электрического поля мы связываем с вырыванием электрона полем с уровней экситона у границы серии (ионизация экситона электрическим полем).

Мы исследовали также состояние поляризации линий экситона в электрическом поле. Опыты показали, что в спектре экситона в электри-

ческом поле наблюдаются, как обычно в явлении Штарка, и компоненты, поляризованные параллельно полю (π -компоненты), и компоненты, поляризованные перпендикулярно полю (σ -компоненты). Так, линия $k''' = 3$ поляризована параллельно полю, а линия $k'' = 3$ поляризована перпендикулярно полю. Наблюдается также различная картина расщепления для π - и σ -компонент у члена серии $k = 4$.

Таблица 1

Запрещенные линии, появляющиеся в спектре экситона в электрическом поле при $t = -196^\circ\text{C}$

Обозначения линий согласно (*)	Длины волн λ в Å	Частоты ν_k в cm^{-1}
$k''' = 2$	5779	17304
$k'' = 2$	} 5771	17328
$k' = 2$		
$k''' = 3$	5755	17376
$k'' = 3$	5753	17382
$k' = 3$	5750	17391
$k' = 4$	5742	17415

поля на экситон. В указанных магнитных полях мы обнаружили заметное расширение первого члена серии экситона.

Исследования эффекта Зеемана у экситона требуют применения спектрального аппарата большей дисперсии и более глубокого охлаждения кристалла.

Ленинградский физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступило
10 V 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. Ф. Гросс, Н. А. Каррыев, ДАН, 84, № 3, 471 (1952). ² Е. Ф. Гросс, Б. П. Захарченя, ДАН, 90, № 5 (1953). ³ Е. Ф. Гросс, Б. П. Захарченя, Н. М. Рейнов, ДАН, 92, № 2 (1953).