

ТЕМПЕРАТУРНОЕ И МАГНЕТОПОЛЕВОЕ СМЕЩЕНИЕ ДЛИННОВОЛНОВОГО КРАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В HgCr_2Se_4

И.К.Большых, Г.Н.Север

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова
Поступило в Редакцию 19 июля 1994 г.

Среди магнитных полупроводников соединение HgCr_2Se_4 — наиболее перспективный материал для новых применений в технике, благодаря сильной связи его оптических, электрических [1] и фотоэлектрических свойств [2,3] с магнитным состоянием. В настоящей работе изучалось влияние магнитного упорядочения на длинноволновый край фотоэлектрических эффектов (ФЭЭ). Исследовались спектральные зависимости фотопроводимости (ФП) и фотоэдс (ФЭДС) в области края оптического поглощения при различных температурах (92–293 К) и магнитном поле $H = 0$ и 8 кОе. Ранее [4] в HgCr_2Se_4 было обнаружено красное смещение спектров ФП при понижении температуры, для ФЭДС такие данные отсутствуют. Влияние внешнего магнитного поля на спектры ФП и ФЭДС вообще не изучалось. В опытах использовались высокоомные, близкие к стехиометрии, монокристаллические образцы HgCr_2Se_4 [5].

Спектральные исследования ФЭЭ с HgCr_2Se_4 показали наличие гигантского красного смещения как с понижением температуры, так и в магнитном поле. На рис. 1 приведены зависимости ФП для $T = 113$ и 107 К при $H = 0$ и для $T = 113$ К при $H = 8$ кОе. Значение ФП в максимуме принято за единицу. Хорошо видно наличие большого сдвига спектров ФП с уменьшением T и в поле H . При $H = 8$ кОе происходит примерно такое же смещение спектра, как и при понижении температуры на ~ 7 К. Поскольку максимум ФП расположен в области края оптического поглощения [6], исследования ФП могут быть использованы для изучения особенностей края, связанных с магнитным упорядочением. В отличие от ФП максимум ФЭДС расположен в области сильного поглощения, что является характерным для ФЭДС, имеющих диффузионную природу, в веществах с малой диффузионной длиной носителей тока.

Результаты исследований спектральных зависимостей ФП и ФЭДС обрабатывались с целью получения данных о температурном и магнетополовом смещении. Для характеристики величины энергетического смещения при исследовании ФП была выбрана энергия, при которой ФП уменьшается вдвое от своего максимального значения и которая может быть сопоставлена с шириной запрещенной зоны E_g . В случае ФЭДС была взята энергия края, полученная экстраполяцией участков первоначального роста ФЭДС на ось $h\nu$. На рис. 2 приведены полученные результаты, а также данные о крае оптического поглощения [6]. Видна хорошая корреляция между данными о длинноволновом крае ФЭЭ и о коэффициенте поглощения света k . При понижении T

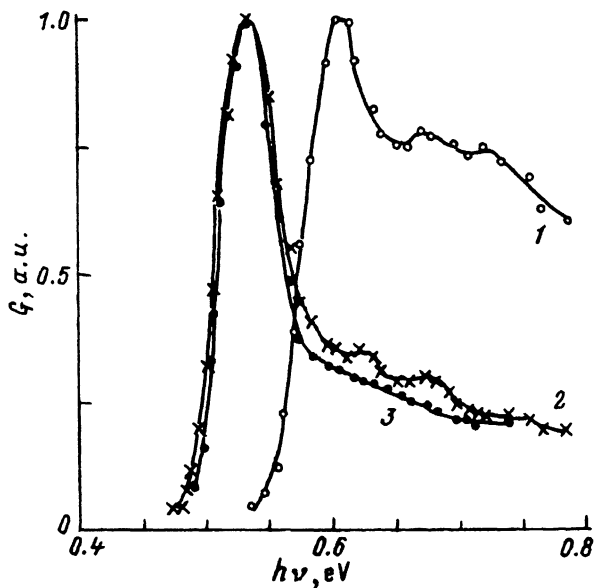


Рис. 1. Спектральная зависимость ФП — $G(h\nu)$ для $T = 113$ (1), 107 К (2) при $H = 0$ и для $T = 113$ К в магнитном поле $H = 8$ кОе (3).

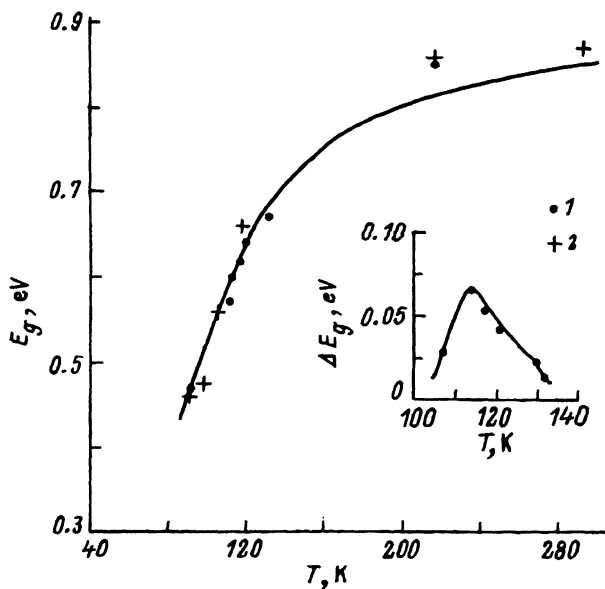


Рис. 2. Температурное смещение ширины запрещенной зоны E_g соединения HgCr_2Se_4 по данным ФП (1) и ФЭДС (2).

Сплошная линия — красное смещение края оптического поглощения [6]. На вставке — магнетополовое смещение $\Delta E_g = E_{gH} - E_{g0}$ в поле $H = 8$ кОе в районе T_c (по данным ФП).

от 293 до 92 К край ФЭДС смещается на ~ 0.37 eV. Красное смещение спектров ФЭЭ и поглощения свидетельствует о сильном влиянии магнитного упорядочения на зонную структуру данного соединения. Причем характерно, что оно наблюдается не только в области ферромагнитного упорядочения, но и в парамагнитной области.

На рис. 2 показано также и магнетополовое смещение $\Delta E_g = E_{gH} - E_{g0}$, полученное из исследований ФП. Видно, что внешнее магнитное поле существенно влияет на край ФП в области магнитного фазового перехода. Так, для $H = 8$ kOe величина E_g смещается на огромную величину ~ 0.07 eV. Это изменение ширины запрещенной зоны значительно превосходит соответствующее изменение E_g в родственном соединении CdCr_2Se_4 [1] и совсем не характерно для обычных полупроводников. Оно превосходит даже наблюдавшееся ранее [7] большое смещение в соединениях типа EuX ($X = \text{O}, \text{Se}$). Длинноволновая граница ФЭДС также смещается во внешнем магнитном поле H в области T_c . Это смещение достигало ~ 0.04 eV для $H = 4$ kOe и $T = 115$ K.

Результаты хорошо коррелируют с данными работ [8] о магнетопоглощении в HgCr_2Se_4 .

Согласно [9,10], край поглощения в HgCr_2Se_4 связан с прямым переходом вблизи точки Γ из валентной зоны, образованной $4p$ -состояниями Se, в широкую зону проводимости, образованную $4s$ -состояниями Cr с примесью $6s$ -состояний Hg. Наблюдение ФП на краю оптического поглощения свидетельствует в пользу перехода между широкими зонами с большой подвижностью носителей тока. Красное смещение E_g объясняется сильным взаимодействием носителей тока, движущихся в широкой зоне проводимости, с локализованными магнитными моментами ионов Cr. Дырки движутся по немагнитным анионам. Поскольку из экспериментальных данных видно, что красное смещение велико и в парамагнитной области, можно заключить, что не только дальний, но и ближний магнитный порядок существенно влияет на энергию носителей тока. В [11] было показано, что спин электрона в области T_c подстраивается к длинноволновым флуктуациям намагниченности и энергия носителя определяется ближним порядком. Магнитное поле действует так же, как понижение температуры, способствуя магнитному упорядочению.

Таким образом, установлено, что длинноволновый край ФЭДС, так же как и край ФП, испытывает гигантское красное смещение при понижении температуры. Обнаружено смещение края ФП и ФЭДС во внешнем магнитном поле, которое составляет для изучаемого соединения, по-видимому, рекордную величину. Результаты свидетельствуют о сильном влиянии как дальнего, так и ближнего магнитного порядка на энергию носителей тока. На основе HgCr_2Se_4 возможно создание фотоприемников, управляемых внешним магнитным полем, от которого зависят не только величины ФП и ФЭДС [2,3], но и их спектральная чувствительность.

Выражаем благодарность А.А.Самохвалову, Н.М.Чеботаеву и С.В.Наумову за поддержку исследований и предоставление монокристаллических образцов.

- [1] Белов К.П., Третьяков Ю.Д., Гордеев И.В., Королева Л.И., Кеслер Я.А. Магнитные полупроводники — халькогенидные шпинели. М., 1981. 279 с.
- [2] Адушнаева Р.Ю., Север Г.Н., Наумов С.В., Чеботаев Н.М. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 7. С. 1930–1935.
- [3] Адушнаева Р.Ю., Больных И.К., Север Г.Н., Наумов С.В., Самохвалов А.А. // ФТТ. 1993. Т. 35. № 3. С. 849–851.
- [4] Wakaki M., Yamamoto K., Onari S., Arai T. // Solid State Commun. 1982. V. 43. N 12. P. 957–959.
- [5] Чеботаев Н.М., Симонова М.И., Арбузова Т.И. и др. // Изв. АН СССР. Неорг. материалы. 1985. Т. 21. № 1. С. 1468–1470.
- [6] Кунькова З.Э., Голик Л.Л., Паксеев В.Е. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 6. С. 1877–1879.
- [7] Голубков А.В., Гончарова Е.В., Жузе В.П., Логинов Г.М., Сергеева В.М., Смирнов И.А. Физические свойства халькогенидных редкоземельных элементов. Л., 1973. 304 с.
- [8] Arai T., Wakaki M., Onari S., Kudo K., Satch T., Tsushima T. // J. Phys. Soc. Japan. 1973. V. 34. N 1. P. 68–73.
- [9] Auslender M.I., Bebenin N.G. // Solid State Commun. 1989. V. 69. N 7. P. 761–764.
- [10] Голант К.М., Тугушев В.В., Юрин И.М. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 7. С. 2100.
- [11] Нагаев Э.Л. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 2. С. 385–392.

УДК 535.343.2;535.37

© Физика твердого тела, том 37, № 2, 1995
Solid State Physics, vol. 37, N 2, 1995

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ОРТОРОМБИЧЕСКОГО И КУБИЧЕСКОГО PbF_2

Д.Л.Алов, С.И.Рыбченко

Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Московская область
Поступило в Редакцию 27 июля 1993 г.

В работах [1–3] представлены результаты спектроскопического исследования чистых (неактивированных) кристаллов PbF_2 . Все приводимые спектры люминесценции содержат полосу в районе $E = 4.0$ eV, приписываемую катионному экситону. Вместе с тем в [2] спектр содержит полосу с $E = 2.2$ eV, а в [3] еще и с $E = 4.4$ eV. Для объяснения такого сложного спектра авторы [3] предполагают присутствие сложных комплексов с участием неконтролируемых примесей. Мы предлагаем другое объяснение получаемых результатов.

Тип структуры исследуемых в [1–3] образцов никак особо в указанных работах не оговаривался, однако известно, что при выращивании из расплава методом Бриджмена–Стокбаргера получают кристаллы кубической симметрии. При температурах ниже 310°C кубическая фаза является квазиравновесной и может происходить переход к равновесной, орторомбической, фазе [4].

Возможность такого структурного преобразования следует учитывать при анализе спектров люминесценции PbF_2 .

Нами было установлено, что фазовый переход сильно облегчается в присутствии воды. Выдержка в воде при комнатной температуре способна в течение нескольких часов полностью перевести в орторомбическую фазу кристаллы толщиной 2–3 мм. В «сухом» состоянии процесс практически не идет и в кристалле могут сосуществовать обе фазы.