

УДК 534.29

## **СВЕРХТОНКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ СУЛЬФИДА КАДМИЯ С ПРИМЕСНЫМИ МЕССБАУЭРОВСКИМИ ЯДРАМИ**

А.Г. МКРТЧЯН, Р.П. ВАРДАПЕТЯН, Э.М. АРУТЮНЯН, А.В. ХАЧАТРЯН

Институт прикладных проблем физики НАН Армении, Ереван

(Поступила в редакцию 21 января 2009 г.)

Исследовано воздействие внешних полей на сверхтонкие взаимодействия в монокристаллах сульфида кадмия, содержащих мессбауэровские примесные атомы. Выявлена зависимость сверхтонкой структуры от температуры и внешнего акустического поля. Наблюден эффект модуляции мессбауэровского излучения в монокристаллах группы АІВVI.

Эффект Мессбауэра и его различные применения в исследованиях конденсированных сред привели к быстрому развитию гамма-резонансной спектроскопии, что обусловлено ее высокими пространственно-временными характеристиками. Авторы [1] усовершенствовали гамма-резонансную спектроскопию и ввели понятие модуляционной гамма-резонансной спектроскопии, которая способствует более точному описанию сверхтонких физико-химических процессов, возникающих в конденсированной среде (релаксационные процессы, возникающие при быстротекущих физических или химических реакциях, и т.д.).

Большая часть сведений об электронной структуре примесных атомов железа в CdS получена методом ЭПР [2], где предполагается, что в CdS железо присутствует как изовалентная примесь в  $3d^6$ -конфигурации, замещая двухвалентный кадмий и образуя в середине запрещенной зоны уровень с энергией 1.2 эВ, являющийся ловушкой как для электронов, так и для дырок. Для наблюдения сигнала ЭПР  $Fe^{+2}$  переводился в  $Fe^{+3}$  ( $3d^5$ ) путем освещения образца при низких температурах [3], отжига в парах серы [4] или гамма-облучения [5]. Исследования с применением мессбауэровской спектроскопии могут дать дополнительную информацию о волновой функции примесных атомов, что, в частности, расширит возможности интерпретации спектров ЭПР.

В данной работе с применением мессбауэровской и модуляционной мессбауэровской спектроскопии экспериментально исследованы сверхтонкие взаимодействия в монокристаллах и поликристаллах группы АІВVI, содержащих примесные мессбауэровские атомы железа при наличии внешних статических температурных и дополнительных высокочастотных акустических полей.

Эксперименты проводились на монокристаллах CdS с 0.2% и 0.3%

содержанием примесных атомов железа, которые соответственно имели удельные сопротивления  $\rho > 10^9$  Ом·см и  $\rho \approx 10$  Ом·см. Образцами для исследования служили также поликристаллические мишени разной толщины.

Во время экспериментальных исследований источником гамма-квантов служил стандартный мессбауэровский источник  $\text{Co}^{57}$  в матрице хрома. Детекторы были откалиброваны для эффективной регистрации гамма-квантов с энергией  $E_\gamma = 14.4$  кэВ, а также обеспечивалась необходимая коллимация. Регистрация велась в геометрии прохождения.

Эксперименты проводились в средах сухого воздуха, азота и гелия, при которых обеспечивались, соответственно, температуры 296 К, 77 К и 4.2 К.

На рис.1 приведены зарегистрированные мессбауэровские спектры для поликристаллических мишень-поглотителей, соответственно, при температурах 296 К, 77 К и 4.2 К.

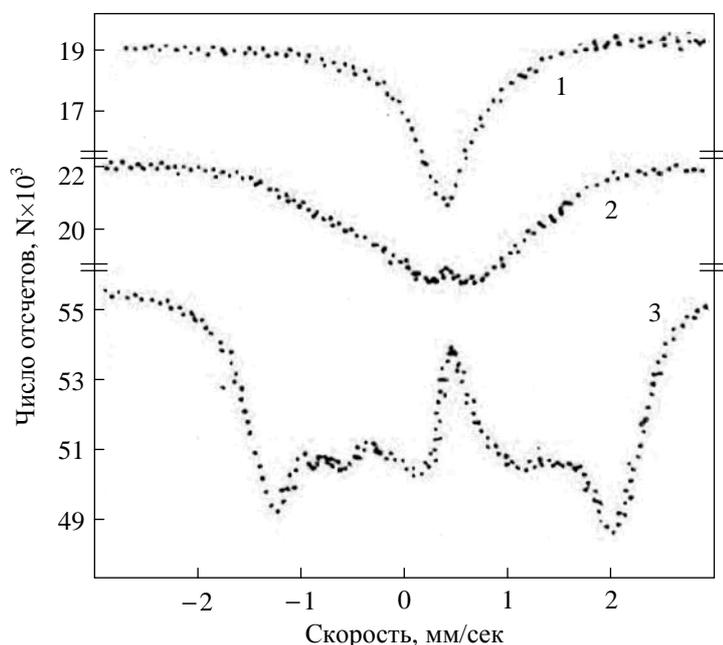


Рис.1. Мессбауэровские спектры поглощения поликристаллического  $\text{CdS}$  ( $0.3\% \text{Fe}^{57}$ ) при 296 К (1), 77 К (2), 4,2 К (3).

При комнатной температуре одиночные линии поглощения как высокоомных, так и низкоомных образцов имеют почти одинаковые значения изомерного сдвига (соответственно,  $0.93 \pm 0.02$  мм/с и  $0.94 \pm 0.02$  мм/с) относительно нитропруссиды натрия, но разные ширины –  $0.40 \pm 0.02$  мм/с и  $0.51 \pm 0.02$  мм/с. В среде азота изомерные сдвиги увеличиваются до  $1.04 \pm 0.02$  мм/с и резонансные линии расщепляются на дублеты: для высокоомных образцов  $\Delta E = 0.28 \pm 0.03$  мм/с и для низкоомных образцов  $\Delta E = 0.43 \pm 0.03$  мм/с. С понижением температуры до 4.2 К, то есть в среде гелия, изомерные сдвиги увеличиваются до  $1.06 \pm 0.03$  мм/с. Полученные величины изомерного сдвига находятся в гранич

ной области между значениями изомерных сдвигов солей  $\text{Fe}^{+2}$  ( $1.0 \div 1.8$  мм/с) и  $\text{Fe}^{+3}$  ( $0.4 \div 0.9$  мм/с) [6], что наряду с малым значением квадрупольного расщепления свидетельствует о сильной ковалентной связи.

В мессбауэровских спектрах образцов при температуре 4.2 К обнаружена сверхтонкая структура магнитной природы. Как известно, полупроводниковые соединения АІВVI, в которых часть катионов заменена ионами примесных металлов, входят в так называемый класс полумагнитных полупроводников, обладающих интересными магнитными и оптическими свойствами. Температурная зависимость магнитной восприимчивости большинства из них при  $T > 77$  К подчиняется закону Кюри–Вейса, однако при низких температурах, например, для соединения  $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Se}$  ( $x \cong 0.1$ ), обнаружен парамагнетизм ванфлековского типа [7].

Для выяснения природы магнетизма в монокристаллических образцах низкоомного кристалла  $\text{CdS}$  (0.3%  $\text{Fe}^{57}$ ) с помощью сквид-магнитометра была измерена температурная зависимость магнитной восприимчивости в интервале температур  $4 \div 50$  К. Приведенные на рис.2 температурные зависимости  $\chi(T)$  и  $\chi^{-1}(T)$  свидетельствуют о наличии в исследованном образце ларморовского парамагнетизма.

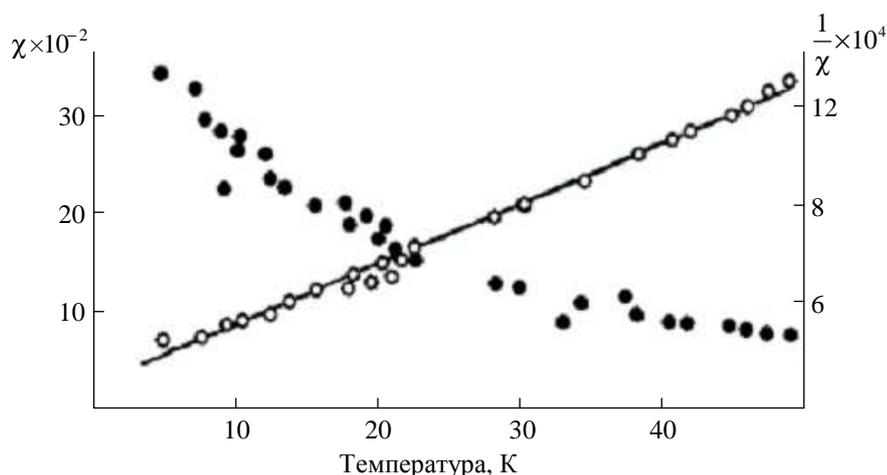


Рис.2. Температурная зависимость магнитной восприимчивости (черные точки) и обратной восприимчивости (белые точки) монокристаллического образца  $\text{CdS}$  (0.3%  $\text{Fe}^{57}$ ).

Чтобы выяснить влияние примесных атомов железа на пьезоэлектрические свойства сульфида кадмия, из высокоомного кристалла были вырезаны монокристаллические пластины толщиной 0.13 мм, перпендикулярно гексагональной оси. Акустическое поле возбуждалось путем наложения электрического поля на образец. Kontakтами служили напыленные на поверхности (001) индиевые слои. На рис.3 приведен зарегистрированный мессбауэровский спектр, где видно, что кроме основной линии, интенсивность

которой уменьшается, выделяются сателлиты, что свидетельствует об эффективном взаимодействии резонансных гамма-квантов с генерируемыми в пластине ультразвуковыми колебаниями [8,9]. Это обстоятельство, как показано в [9], может быть использовано для исследования объемных акустоэлектрических эффектов в CdS с помощью эффекта Мессбауэра.

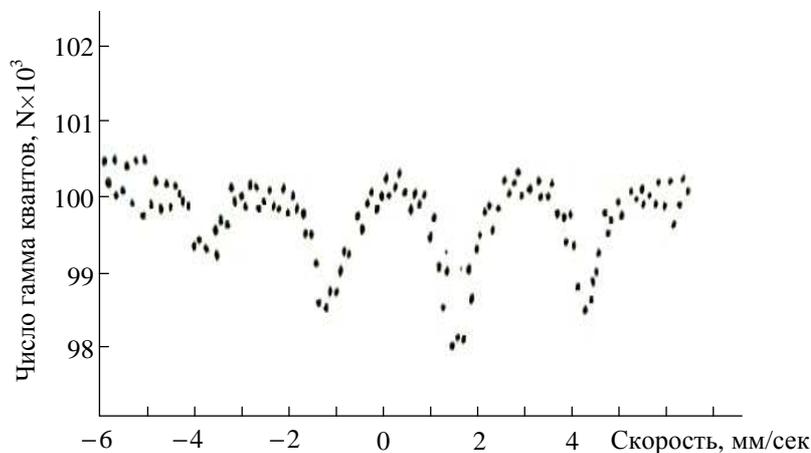


Рис.3. Мессбауэровские спектры поглощения монокристаллического CdS (0.2 % Fe<sup>57</sup>), при наличии ВЧ поля с частотой 20.316 МГц.

Чтобы выяснить, как влияет на мессбауэровский спектр постоянное электрическое поле, на пластину, описанную выше, подавали напряжение до 300 В (увеличение подаваемого напряжения приводило к пробое). Выбор этой толщины объясняется тем, что более толстые образцы почти полностью поглощают мессбауэровское излучение. Работать в геометрии рассеяния невозможно из-за малого количества примесных атомов железа в CdS, рассеянное мессбауэровское излучение от которых почти не отличается от фона. Эксперименты проводились также для поликристаллических образцов CdS. Для этого были созданы специальные кюветы, которые позволяли получать тонкий слой порошков, без каких-либо связывающих веществ. На эти образцы также подавалось напряжение. Результаты показали, что электрическое поле в интервале от 0 В до 360 В не влияет на ширину и высоту мессбауэровской линии поглощения, но влияет на скорость счета гамма-квантов, т.е. изменяется соответственно коэффициент линейного поглощения.

На рис.4 приведена зависимость скорости счета от напряжения электрического поля, время экспозиции 2 часа. Как видно из рисунка, при увеличении напряжения скорость счета падает, что означает увеличение поглощения. Как показано в работе [10], у порошкообразных (в органических биндерах) микрокристаллических фотопроводников с приложением напряжения, во-первых, заметно меняется фоточувствительность, во-вторых, система порошок–биндер поляризуется и, в-третьих, появляется эффект гистерезиса, или эффект накопле-

ния [11]. На наш взгляд, уменьшение скорости счета мессбауэровского спектра связано со вторым из эффектов.

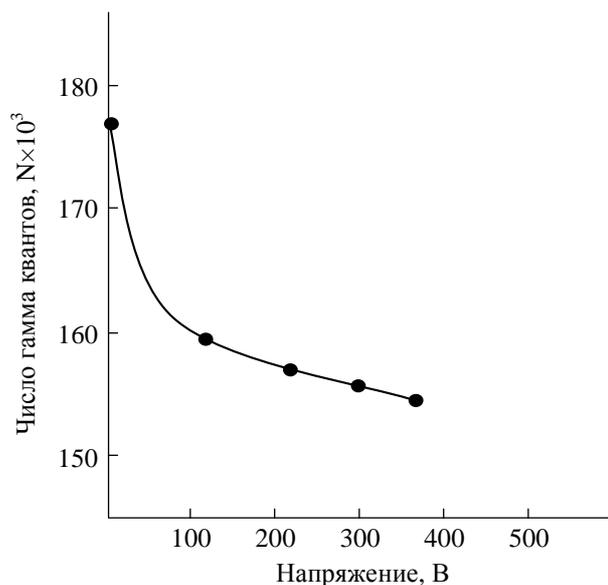


Рис. 4. Зависимость числа отсчетов гамма-квантов от напряжения электрического поля.

Таким образом, исследования сверхтонких взаимодействий в монокристаллах сульфида кадмия с примесными мессбауэровскими ядрами с помощью мессбауэровской спектроскопии дают более подробное описание быстротекущих физико-химических процессов в этих кристаллах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **А.Р.Мкртчян, А.Р.Аракелян, Г.А.Арутюнян, Л.А.Кочарян.** Письма в ЖЭТФ, **26**, 599 (1977).
2. **Р.С.Тайтл.** В кн. «Физика и химия соединений  $A_2B_6$ ». М., Мир, с.209-246, 1970.
3. **J.Lambe, C.Kikuchi.** Phys. Rev. Lett., **3**, 276 (1959).
4. **G.A.Somorjui, R.S.Title.** J. Phys. Chem, **68**, 3907 (1964).
5. **А.П.Галушка, Л.В.Белозерова, С.З.Шульга.** ВАНТ, серия физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение, **3(22)**, 51 (1982).
6. **И.Данон.** В кн. «Химические применения мессбауэровской спектроскопии». М., Мир, с.130-212, 1970.
7. **A.Lewickt, J.Spalek, A.Mycielski.** J. Phys., Chem., **20**, 2005 (1987).
8. **S.L.Ruby, D.I.Bolef.** Phys. Rev. Lett., **5**, 5 (1960).
9. **R.P.Vardapetyan, A.R.Mkrtchyan.** Sol. St. Comm., **80**, 357 (1986).
10. **R.H.Bute.** J. Appl. Phys., **31**, 2239 (1960).
11. **F.M.Nicoll.** RGA Rev., **19**, 77 (1958).

ԳԵՐՆՈՒՐԲ ՓՈԽԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ  
ԽԱՌՆՈՒՐԴԱՅԻՆ ՄՅՈՍԲԱՈՒԷՐՅԱՆ ՄԻՋՈՒԿՆԵՐ ՊԱՐՈՒՆԱԿՈՂ  
ԿԱԴՄԻՈՒՄԻ ՍՈՒԼՖԻԴԻ ՄԻԱԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ

Ա.Հ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ, Ռ.Պ. ՎԱՐԴԱՊԵՏՅԱՆ, Է.Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ա.Վ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

Կատարված է խառնուրդային մյուսբաուերյան ատոմներ պարունակող կադմիումի սուլֆիդի միաբյուրեղների գերնուրբ կառուցվածքի վրա արտաքին դաշտերի ազդեցությունների ուսումնասիրությունը: Բացահայտված է գերնուրբ կառուցվածքի կախվածությունը ջերմաստիճանից և արտաքին ակուստիկ դաշտից: Նկատված է մյուսբաուերյան ճառագայթման մոդուլացման էֆեկտը AIBVI խմբի միաբյուրեղներում:

SUPERFINE INTERACTIONS IN CADMIUM SULPHIDE SINGLE CRYSTALS DOPED  
WITH MÖSSBAUER NUCLEI

A.H. MKRTCHYAN, R.P. VARDAPETYAN, E.M. HARUTYUNYAN, A.V. KHACHATRYAN

Investigations of influence of external fields on the superfine interactions in cadmium sulfide single crystals doped with Mössbauer nuclei have been performed. The dependence of the superfine structure on the temperature and external acoustic field is revealed. The effect of modulation of the Mössbauer radiation in single crystals of the AIBVI group is observed.