

## УГЛОВАЯ И ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРА ЭПР МОНОКРИСТАЛЛОВ $Ga_2S_3$ , ЛЕГИРОВАННЫХ ЕВРОПИЕМ

**И.М. АСКЕРОВ, М.А. НИЗАМЕТДИНОВА, Х.Ф. ГАДЖИЕВ**

*Азербайджанский Инженерно-Строительный Университет,*

*Баку, ул. А. Султановой 5*

*(Поступило 05.11.95)*

В температурном диапазоне 3.7+300 К исследована угловая и температурная зависимость спектра ЭПР монокристаллов  $Ga_2S_3$ , легированных европием. При взаимно перпендикулярной ориентации магнитного поля  $\vec{H}$  и кристаллографического  $\langle 110 \rangle$ , обнаружено расщепление сверхтонкой структуры (СТС). Интенсивность спектров подчиняется закону Кюри в диапазоне температур 3.7+10К. При дальнейшем повышении температуры наблюдается уменьшение относительной интенсивности спектров ЭПР, которая связана с действием спин-решеточной релаксации.

Электронная структура примесных атомов редкоземельных элементов (РЗЭ) в полупроводниках типа  $A_2^{III}B_3^{VI}$  со структурой алмаза и цинковой обманки изучается свыше 10 лет. Известно, что в основном, в этих соединениях РЗЭ является примесью замещения [1]. Представляет интерес изучение состояния центров, образуемых РЗЭ в соединениях типа  $A_2^{III}B_3^{VI}$ , имеющих дефектную кристаллическую структуру. Высокая концентрация собственных дефектов-вакансий в этих соединениях позволяет предположить иное, по сравнению с исследованными ранее полупроводниками, поведение примеси РЗЭ [2].

Электронная конфигурация свободного атома европия  $4f^7 6s^2$ , т.е. его  $f$ -оболочка, заполнена наполовину и симметрична. По своей электронной структуре европий является аналогом марганца из  $3d$ -ряда. Известно, что  $Mn$  сохраняет внутреннюю оболочку невозмущенной, отдавая на связь только два  $S$ -электрона. Такого же поведения можно ожидать и от европия в соединении  $A_2^{III}B_3^{VI}$  [3].

Исследовались поли- и монокристаллические образцы соединений  $Ga_2S_3$ , легированных европием. При этом европий предварительно растворялся в жидком галлии при 1100°C в течение 8 ч. Содержание примеси контролировалось методами атомно-адсорбционного и рентгено-флуоресцентного анализа.

Измерение ЭПР проводилось на спектрометрах SE/X-2543 и ER-220Д фирмы "Bruker" в интервале температур 3.7+300 К.

Спектры ЭПР поликристаллических образцов  $Ga_2S_3 \langle Eu \rangle$  наблюдались во всем использованном интервале температур и практически совпадали по форме.

В температурном диапазоне 3.8+300 К исследован ЭПР монокристаллов  $Ga_2S_3$ , легированных европием. Концентрация европия при введении составляла 2.5 и 5%. Помимо ЭПР одиночных ионов  $Eu^{2+}$  и обменно-связанных пар европия, во всех исследованных кристаллах наблюдается переход с практически изотропным  $g$ -фактором, равным  $4.18 \pm 0.02$ . Переход состоит из наложенных друг на друга серий переходов сверхтонкой структуры (СТС). СТС обладает аксиальной симметрией: расщепление СТС максимально при взаимно перпендикулярной ориентации магнитного поля и кристаллографического направления  $\langle 110 \rangle$  и со-ставляет  $(22 \pm 5) Gc$  (рис.1,б). При  $H$  параллельном оси  $\langle 110 \rangle$  СТС не наблюдается (рис.1,а).

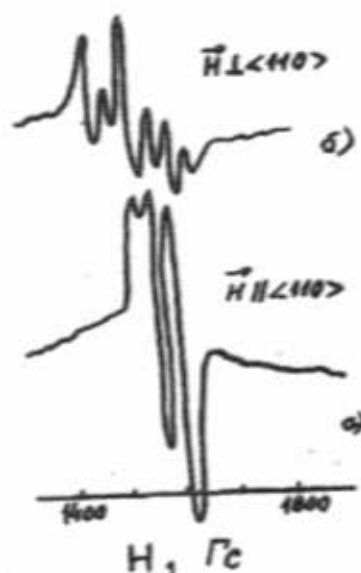


Рис.1. Спектр ЭПР в монокристаллах  $Ga_2S_3 \langle Eu \rangle$  при  $T=3.8 K$

Интенсивность сигнала подчиняется закону Кюри в диапазоне температур до 10 К. Уменьшение относительной интенсивности при дальнейшем повышении температуры образца может быть связано с действием спин-решеточной релаксации (уширение линии).

Угловая зависимость спектра ЭПР монокристалла  $Ga_2S_3$  представлена на рис.2 при температуре 3,8К, где магнитное поле расположено в плоскости  $\langle 110 \rangle$ , а угол  $\theta$  образуется направлением магнитного поля и осью, связывающей два ближайших центра  $Eu$ . Угловая зависимость  $Ga_2S_3 \langle Eu \rangle$  может быть описана гамма-тоннаном:

$$\vec{H} = DS_z^2 + g_s \beta \vec{H} S_z \sin \theta$$

где  $g_s$  - значение  $g$ -фактора, определяемое вдоль направления, где переход ЭПР разрешен,  $\beta$  - магнетон Бора,  $DS_z^2$  - симметричный тензор с компонентами  $S_z$ ;  $\vec{H}$  - напряженность магнитного поля. Расчет угловой зависимости проводился для пар, лежащих в различных плоскостях. Кроме пары, лежащей в плоскости вращения магнитного поля  $\langle 110 \rangle$ , существуют также

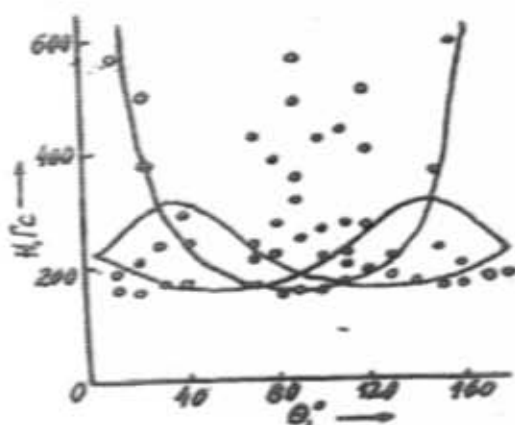


Рис.2. Угловая зависимость спектра ЭПР монокристалла  $Ga_2S_3$   $\langle Eu \rangle$ ,  $\circ$  - экспериментальные данные, сплошные кривые - теоретический расчет.

пары с осью, перпендикулярной плоскости  $\langle 110 \rangle$  и две пары плоскости  $\langle 110 \rangle$ , повернутые на  $90^\circ$  относительно друг друга. Влияние температуры на спектр ЭПР проявляется в сдвиге линий  $g$ -фактора, равного 2, и их значительном уширении с повышением температуры. Для анализа зависимости смещения переходов магнитного поля от температуры величина магнитного поля представлялась в виде полинома по температуре:

$$\bar{H} = \bar{H}_0 + AT + BT^2 + CT^3$$

В этом случае постоянный член в разложении будет давать величину магнитного поля при  $T=0$ , которая позволяет вычислить  $g$ -фактор из условия резонанса:

$$h\nu = 2g\beta H_0$$

Экстраполируя экспериментальные данные для обменного уровня с  $S_x=1$ ,  $Ga_2S_3 \langle Eu \rangle$ , и найдя численные параметры полинома при  $T=0$ , находим величины  $H_0=770$  и  $g=4,20$ . Температурная зависимость относительной интенсивности спектров монокристаллов  $Ga_2S_3$  имеет колоколообразный вид (рис.3).

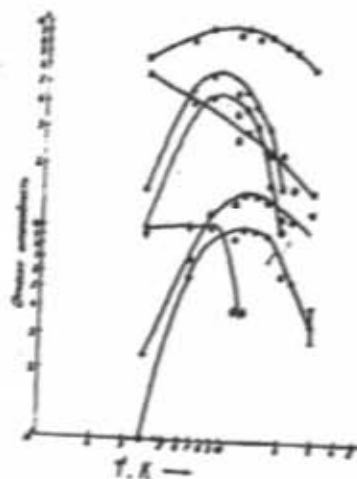


Рис.3. Температурная зависимость относительной интенсивности спектра ЭПР монокристаллов  $Ga_2S_3$   $\langle Eu \rangle$  при  $\varphi=70^\circ$ .

Экстремум функции для  $S_x=1$  приходится на значение температуры  $T=12,6$  для  $g=2$  при  $T=16,6$  К. Оценка  $g$ -фактора из температурной зависимости первого момента спектра ЭПР, влияние температуры на спектр ЭПР, его угловая зависимость позволяют утверждать, что в этом образце существуют обменно-связанные центры  $Eu^{2+}$ , характеристики которого, подобно характеристикам  $Gd^{3+}$ , приведены в [4].

[1] В.Ф. Мастеров, Л.Ф. Захарченя. ФТП, 1990, т.24, в.4, с.610-630.

[2] И.М. Аскеров, В.Ф. Кобелев, В.Ф. Мастеров, О.Б. Тагиев, К.Ф. Штильмах, Л.Ф. Лихолит. ФТП, 1989, т. 23, в. 7, с.1307.

[3] И.М. Аскеров, Ф.Ш. Айдаев, Г.К. Асланов, В.Ф. Мастеров, Б.Г. Тагиев. ФТП, 1991, т.25, в.11, с.2042-2046.

[4] Л.Ф. Захаренков, С.П. Марков, В.Ф. Мастеров, К.Ф. Штильмах. ФТП, 1985, т.19, в.10, с.1841.

İ.M. Əsgərov, M.Ə. Nizamatdinova, H.F. Hacıyev

## YEVROPİUMLA AŞQARLANMIŞ $Ga_2S_3$ MONOKRİSTALININ EPR SPEKTRLƏRİNİN BUCAQ VƏ TEMPERATUR ASILILIĞI

3,7+300 K temperatur diapazonunda yevropiumla aşqarlanmış  $Ga_2S_3$  monokristalının EPR spektrlərinin bucaq və temperatur asılılığı tədqiq edilmişdir.

$\langle 110 \rangle$  kristalloqrafik istiqaməti ilə maqnit sahəsinin qarışıqlıq perpendikulyar orientasiyası zamanı spektrin incə ifrat quruluşu (İQ) malik olması aşkar olunmuşdur. 10 K-ə qədər temperatur diapazonunda spektrin intensivliyi Kyūri qanununa tabe olur. Temperaturun sonrakı artımı zamanı spektrin nisbi intensivliyinin azalması müşahidə olunur ki, bu da spin-qəfəs relaksasiyası ilə əlaqələndirilir.

I.M. Askerov, M.A. Nizametdinova, Kh.F. Gadjiev

ANGLE AND TEMPERATURE DEPENDENCE OF EPR SPECTRUM OF  $Ga_2S_3$  MONOCRYSTAL  
DOPED BY  $Eu$

The angle and temperature dependence of EPR spectra of  $Ga_2S_3$  monocrystals doped by  $Eu$  has been investigated in the temperature range 3.7+300 K. Splitting of superfine structure of spectrum (SSS) when magnetic field is perpendicular to  $\langle 110 \rangle$  crystallographic direction has been found. The intensity of the spectra obeys Curie law in the temperature range 3.7+10 K. At further increasing of temperature the relative intensity of EPR spectra decreases, which is related to the effect of the spin-lattice relaxation.

*Редактор: Б.Г. Тазиев*