

в начальный момент значительно превышает исходный уровень ФЛ. Следовательно, во время выдержки вследствие диффузии вакансий образуются оптически активные марганцевые комплексы.

Таким образом, в механизме люминесценции ионов  $Mn^{+2}$  в  $MgF_2$  важную роль играют радиационные дефекты: образование их вблизи иона активатора при облучении или подход вследствие диффузии оказывается существенным как для рекомбинационного возбуждения иона, так и для частичного снятия запрета [7] на внутрицентровый переход в двухвалентном ионе марганца.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Ершов Н. Н., Захаров Г. М., Никитинская Т. И. и др. Опт. и спектр., 1978, т. 44, № 4, с. 740—742.
- [2] Bickton M. R., Pooley D. I. J. Phys. C, 1972, vol. 5, N 13, p. 1552—1563.
- [3] Баранов П. Г. ФТТ, 1980, т. 22, № 1, с. 229—232.
- [4] Alcalá R., Alonso P. J. J. Phys. C, 1980, vol. 13, N 32, p. 6049—6061.
- [5] Захаров Н. Г., Рейтеров В. М., Родный П. А. В кн.: VI Всес. конф. по радиационной физике и химии ионных кристаллов. Тез. докл. Рига, Ин-т физики АН ЛатвССР, 1986, ч. 1, с. 139—140.
- [6] Alonso P. J., Gonzalez J. C., Den Hartog H. W., Alcalá R. Phys. Rev. B, 1983, vol. 27, N 5, p. 2722—2729.
- [7] Yun S. J., Kappers L. A., Sibley W. A. Phys. Rev. B, 1973, vol. 8, N 2, p. 773—779.
- [8] Агафонов А. В., Головин А. В., Ершов Н. Н., Родный П. А. Изв. АН СССР. Сер. физ., 1986, т. 50, № 3, с. 544—546.
- [9] Лисицын В. Н., Яковлев В. Ю. Опт. и спектр., 1978, т. 44, № 3, с. 408—409.

Ленинградский политехнический  
институт им. М. И. Калинина  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
12 мая 1988 г.

УДК 537.624.21

Физика твердого тела, том 30, в. 12, 1988  
Solid State Physics, vol. 30, № 12, 1988

## АНОМАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СМЕЩЕНИЯ ТОЧКИ КЮРИ С ДАВЛЕНИЕМ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ АЛЮМИНИЯ И ОБЪЕМНАЯ МАГНИТОСТРИКЦИЯ В СОЕДИНЕНИЯХ $Dy(Co_{1-x}Al_x)_2$ И $Tb(Co_{1-x}Al_x)_2$

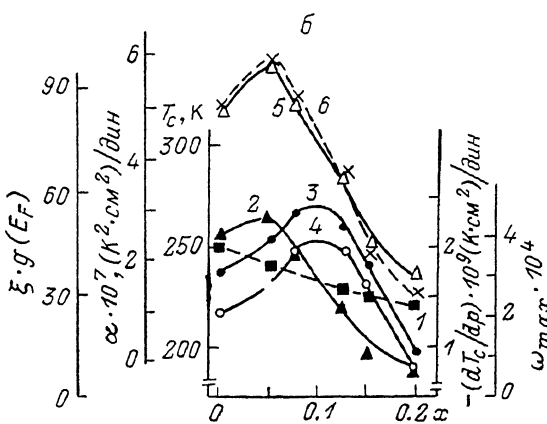
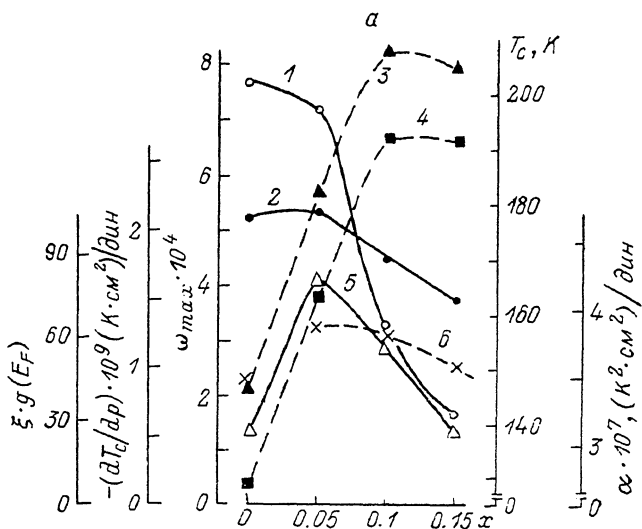
П. И. Леонтьев, А. С. Маркосян, С. А. Никитин, В. В. Снегирев

В последнее время все больший интерес исследователей привлекают интерметаллические соединения редкоземельных металлов и кобальта с кубической кристаллической решеткой типа фаз Лавеса  $RCO_2$ . В этих соединениях наряду с локализованными магнитными моментами  $4f$ -электронов редкоземельных атомов существует  $d$ -подсистема, образованная гибридизацией  $3d$ -зоны кобальта и  $5d$ -зоны редкоземельного металла и описываемая в рамках зонной модели магнетизма. Важную информацию об электронной структуре можно получить, исследуя влияние высокого давления на магнитные свойства этих соединений. Всестороннее сжатие, меняя межатомные расстояния, влияет на электронные параметры, что приводит к сильной зависимости магнитных свойств этих соединений от давления.

Нами была измерена удельная намагниченность  $\sigma$  соединений  $Dy(Co_{1-x}Al_x)_2$  и  $Tb(Co_{1-x}Al_x)_2$  в области температур 78—300 К в полях до 14 кЭ при атмосферном давлении и давлении  $10^{10}$  дин/см<sup>2</sup>. Из данных о влиянии давления на намагниченность были рассчитаны полевые и температурные зависимости производной удельной намагниченности по давлению  $d\sigma/dp$ . С помощью известной термодинамической формулы

$$(\partial I / \partial p)_H = -(\partial \omega / \partial H)_p, \quad (1)$$

где  $I$  — намагниченность, определена объемная магнитострикция  $\omega = \Delta V/V$  — изменение объема образца при включении магнитного поля. Полученные данные показали, что в  $DyCo_2$  существует громадная объемная магнитострикция вблизи точки Кюри  $T_c$ ,  $\omega_{max} \sim 0.78 \cdot 10^{-3}$  при  $H = 14$  кЭ, где происходит фазовый переход первого рода ферромагнетизм — парамагнетизм [1]. По мере увеличения концентрации алюминия в соединениях  $Dy(Co_{1-x}Al_x)_2$  наибольшее значение объемной магнитострикции



Концентрационные зависимости максимальной объемной магнитострикции  $\omega_{max}$  в поле  $H=14$  кЭ (1), смещения температуры Кюри с давлением (2), температуры Кюри  $T_c$  при атмосферном давлении (3) и давлении  $10^{10}$  дин/см<sup>2</sup> (4), параметров  $\alpha$  (5) и  $\xi \cdot g(E_F)$  (6) в соединениях  $Dy(Co_{1-x}Al_x)_2$  (а) и  $Tb(Co_{1-x}Al_x)_2$  (б).

$\omega_{max}$  при  $T=T_c$  в поле  $H=14$  кЭ резко уменьшается (см. рисунок, а, кривая 1), а сам переход приобретает черты фазового перехода второго рода, причем максимум на кривой  $\omega(T)$  при  $T=T_c$  становится менее резким. В соединениях  $Tb(Co_{1-x}Al_x)_2$ , где переход при  $T=T_c$  является фазовым переходом второго рода, величина  $\omega_{max}$  при  $T=T_c$  монотонно уменьшается при увеличении концентрации алюминия (см. рисунок, б, кривая 1).

Зависимости температуры Кюри от концентрации алюминия в соединениях  $Dy(Co_{1-x}Al_x)_2$  и  $Tb(Co_{1-x}Al_x)_2$  при атмосферном давлении и давлении  $10^{10}$  дин/см<sup>2</sup> представлены на рисунке, а и б (кривые 3 и 4). С увеличением концентрации алюминия в интервале  $0 < x < 0.1$   $T_c$  резко возрастает. Эффект резкого роста температуры Кюри в соединениях  $R(Co, Al)_2$  при увеличении концентрации алюминия наблюдался ранее [2] и

объяснялся особенностями формы кривой плотности состояний и изменением уровня Ферми при замещении кобальта алюминием.

Зависимости смещения точки Кюри с давлением  $dT_c/dp$  от концентрации алюминия в соединениях  $Dy(Co_{1-x}Al_x)_2$  и  $Tb(Co_{1-x}Al_x)_2$  представлены на рисунке, *a* и *б* (кривые 2). По мере увеличения концентрации алюминия до  $x=0.05$  величина  $-(dT_c/dp)$  сначала незначительно возрастает, а при дальнейшем замещении кобальта алюминием быстро уменьшается.

В рамках теории Стонера—Вольфарта для слабых зонных магнетиков (соединения  $RCO_2$  относят к этому классу веществ) справедливо следующее соотношение для смещения температуры Кюри с давлением [3]:

$$dT_c/dp = -\alpha/T_c. \quad (2)$$

Здесь  $\alpha$  — постоянная, зависящая от плотности состояний на уровне Ферми следующим образом [4]:

$$\alpha = 2\chi CNg(E_F)\mu_B^2 T_F, \quad (3)$$

где  $C$  — константа,  $\chi$  — сжимаемость,  $N$  — число атомов в единице объема,  $g(E_F)$  — плотность состояний на уровне Ферми,  $\mu_B$  — магнетон Бора,  $T_F$  — температура Ферми. Для систем, где существуют локализованные  $4f$ -электроны и зонные электроны, была получена [5] уточненная формула, связывающая величину  $dT_c/dp$  с параметрами обмена и электронной структуры,

$$\xi g(E_F) = \frac{5}{3} + \frac{5}{6}(\tau^2 - 1) - \frac{1}{\chi} \frac{1}{T_c} \frac{dT_c}{dp} \frac{3\tau^2 - 1}{2} - \eta. \quad (4)$$

Здесь  $\xi$  — параметр, зависящий от параметров обмена и кулоновских взаимодействий зонных электронов,  $\tau = T_c/\Theta$ ,  $\Theta$  — параметр обменного взаимодействия внутри  $3d$ -подрешетки,  $\eta = -(d \ln |I|/\chi \ln p)$ , где  $I$  — интеграл обмена между локализованными и зонными электронами. Для соединений  $DyCo_2$  и  $TbCo_2$   $\Theta = 97$  К [6],  $\chi = 0.94 \cdot 10^{-12}$  [7],  $\eta \simeq 0$  [5]. Из экспериментальных значений величин  $T_c$  и  $dT_c/dp$  по формулам (3) и (4) были рассчитаны значения  $\alpha$  и  $\xi g(E_F)$  (см. рисунок, *a* и *б*, кривые 5 и 6).

Так как при незначительном замещении кобальта алюминием все величины, кроме  $T_c$ ,  $dT_c/dp$  и  $g(E_F)$ , в формулах (3) и (4) либо не изменяются, либо меняются слабо, то из зависимости параметров  $\alpha$  и  $\xi g(E_F)$  от концентрации алюминия следует, что при добавлении алюминия вначале происходит рост плотности состояний  $g(E_F)$ , а при  $x=0.05$  начинается ее уменьшение вплоть до  $x=0.15$ . При малом замещении кобальта алюминием в соединениях  $Dy(Co_{1-x}Al_x)_2$  и  $Tb(Co_{1-x}Al_x)_2$  происходит сдвиг уровня Ферми в сторону меньших энергий, так как введение алюминия уменьшает концентрацию электронов в  $3d$ -зоне. Плотность состояний на уровне Ферми  $g(E_F)$  при этом вначале увеличивается, а затем уменьшается вследствие особенностей кривой плотности состояний вблизи уровня Ферми в соединениях  $RCO_2$  [8]. Это может быть объяснено прохождением уровня Ферми через локальный максимум кривой плотности состояний при замещении кобальта алюминием и сдвиге уровня Ферми в сторону меньших энергий.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Bloch D., Edwards D., Shimizu M., Voiron J. J. Phys. F, 1975, vol. 5, N 6, p. 1217—1226.
- [2] Александрян В. В., Белов К. П., Левитин Р. З. и др. Письма в ЖЭТФ, 1984, т. 40, № 2, с. 77—80.
- [3] Wohlfarth E. P. MKM-73, 1973, vol. 2, N 1, p. 28—35.
- [4] Wohlfarth E. P. Phys. Lett., 1969, vol. 28A, N 8, p. 569—570.
- [5] Inoue J., Shimizu M. Phys. Lett., 1984, vol. 104A, N 3, p. 166—168.
- [6] Burzo E. Sol. St. Commun., 1974, vol. 14, N 12, p. 1295—1298.
- [7] Maury R. C. R. Acad. Sci., Paris. 1970. vol. 271, N 18, p. 950—952.
- [8] Cyrot M., Lavagna M. J. Phys., 1979, vol. 40, N 8, p. 763—771.