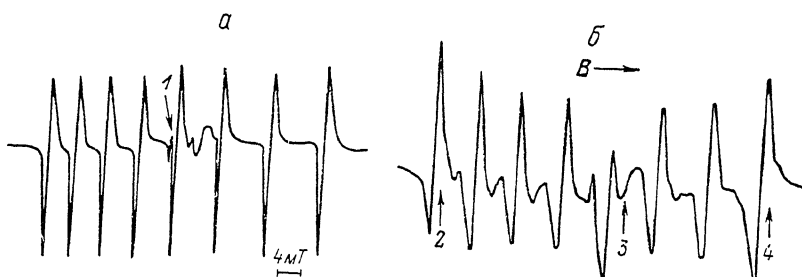


## ПАРАМАГНИТНЫЕ ЦЕНТРЫ ИОНОВ $V^{2+}$ В МОНОКРИСТАЛЛАХ $Y_3Al_5O_{12}$

Г. В. Абагян, Г. Р. Асатрян, А. А. Мирзаханян, Л. А. Оганесян,  
А. К. Петросян

Известно, что в зависимости от условий выращивания в монокристаллах иттрий-алюминиевого граната ( $Y_3Al_5O_{12}$ ) примесные ионы ванадия могут находиться в разных валентных состояниях [1]. Спектр электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) ионов  $V^{2+}$  в  $Y_3Al_5O_{12}$  впервые был измерен в X-диапазоне в [2]. Однако в этой работе не были определены значения параметров спинового гамильтониана, а также были допущены неточности при анализе величины начального расщепления между энергетическими уровнями иона  $V^{2+}$ . В настоящей работе нами приводятся результаты подробного радиоспектроскопического исследования монокристаллов  $Y_3Al_5O_{12}$ :  $V^{2+}$  в широком интервале частот.



Линии ЭПР перехода  $-1/2 \rightarrow +1/2$  ионов  $V^{2+}$  в  $Y_3Al_5O_{12}$  при 300 К и ориентации  $\theta = 0^\circ$  на частотах 9.37 (а) и 37.22 ГГц (б).

Небольшие различия интервалов между компонентами СТС спектра б обусловлены нелинейностью развертки магнитного поля спектрометра. 1 — 334.4, 2 — 1.288, 3 — 1.349, 4 — 1.371 Т.

Монокристаллы  $Y_3Al_5O_{12}$  выращивались методом вертикальной направленной кристаллизации в молибденовых контейнерах с добавлением в шихту окиси  $V_2O_5$ , причем аналогично [1] с целью получения ионов  $V^{2+}$  в шихту вводились также четырехвалентные компенсаторы ( $Si^{4+}$  или  $Zr^{4+}$ ). Концентрация ионов  $V^{2+}$  в исследованных образцах была определена методом ЭПР и составляла 0.01—0.1 ат. %.

Спектры ЭПР регистрировались при температурах 77—300 К в 3- и 8-мм диапазонах на спектрометрах РЭ-1301 и РЭ-1308, а также в области частот 22—70 ГГц на перестраиваемом ЭПР спектрометре миллиметрового диапазона, описанном в [3]. В X-диапазоне наблюдается сигнал ЭПР, характерный для ионов  $V^{2+}$  (электронная конфигурация  $3d^3$ ,  $S = 3/2$ ). В спектрах регистрируется также сигнал от иона  $Mo^{3+}$ , входящего в кристалл как неконтролируемая примесь при взаимодействии расплава с материалом контейнера при выращивании кристаллов. Из угловой зависимости спектра ЭПР, а также из числа магнитно-неэквивалентных положений следует, что двухвалентный ванадий замещает  $Al^{3+}$  в октаэдрических узлах решетки граната. Линия ЭПР внутридублетного перехода  $-1/2 \rightarrow +1/2$  (см. рисунок) в 3-см диапазоне состоит из восьми неэквидистантно расположенных компонент сверхтонкой структуры (СТС) (ядерный спин  $I = 7/2$ ). Ширина отдельных компонент СТС равна примерно 1 мГ, что обусловлено неразрешенной суперсверхтонкой структурой от ядер алюминия. Как видно из этого рисунка, в 8-мм диапазоне существенной особенностью спектра является эквидистантность компонент СТС перехода  $-1/2 \rightarrow +1/2$ . На высоких частотах регистрируются также междублетные ЭПР переходы  $\pm 1/2 \rightarrow \pm 3/2$ , ширина которых почти

на порядок больше, что приводит к «размыванию» сверхтонкой структуры. Наблюдаемые переходы хорошо описываются аксиально-симметричным спиновым гамильтонианом вида

$$\mathcal{H} = D [S_z^2 - 1/2 S(S+1)] + g_{\parallel} \beta B_z S_z + g_{\perp} \beta (B_x S_x + B_y S_y) + A_{\parallel} S_z I_z + A_{\perp} (S_x I_x + S_y I_y),$$

где обозначения общеприняты, а ось квантования  $z$  совпадает с кристаллографическим направлением  $[111]$  граната. Используя экспериментальные данные, на основе аналитических решений гамильтониана при ориентациях  $\Theta=0$  и  $90^\circ$  с помощью ЭВМ были определены следующие значения параметров:  $g_{\parallel}=g_{\perp}=1.98 \pm 0.01$ ,  $D=6.25 \pm 0.10$  ГГц,  $A_{\parallel}=0.225 \pm 0.005$  ГГц,  $A_{\perp}=0.180 \pm 0.010$  ГГц. Отметим, что величина аксиального параметра  $D$  близка к его значению для изоэлектронного иона  $\text{Cr}^{3+}$  ( $3d^3$ ) в том же кристалле [4], а положительный знак выбран по аналогии с ионами  $\text{Cr}^{3+}$  и  $\text{Mo}^{3+}$  ( $4d^3$ ) в  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ . Из расчетов следует, что неэквидистантность интервалов СТС в  $X$ -диапазоне обусловлена близкими значениями аксиального параметра и зеемановского расщепления, что приводит к сильному взаимодействию уровней  $|-1/2\rangle$  и  $|-3/2\rangle$ . По этой же причине в спектре наблюдаются «запрещенные» сверхтонкие переходы с  $|\Delta m|=1$ , интенсивность которых быстро возрастает при отклонении ориентации кристалла от  $\Theta=0^\circ$ . Подробные результаты теоретических расчетов будут опубликованы.

Как видно из рисунка, на внутридублетном переходе наблюдается значительная асимметрия линий ЭПР, что можно объяснить разбросом величины ромбического параметра спинового гамильтониана вблизи его нулевого значения [5]. На наш взгляд, большая ширина междублетных переходов обусловлена локальным механизмом компенсации заряда ионов  $\text{V}^{2+}$ , приводящим к искажению ближайшего окружения и разбросу значения аксиального параметра.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Weber M. J., Riseberg L. A. // J. Chem. Phys. 1971. V. 55. № 5. P. 2032—2038.
- [2] Карпов И. И., Гречушников Б. Н., Корягин В. Ф., Кеворков А. М., Фам За Нгм. // ДАН СССР. 1979. Т. 244. № 1. С. 74—77.
- [3] Кочарян К. Н., Мирзаханян А. А. // Изв. АН Арм.ССР, сер. физ. 1976. т. 11. № 6. С. 484—488.
- [4] Альшулер С. А., Козырев Б. М. Электронный парамагнитный резонанс соединенных элементов промежуточных групп. М.: Наука, 1972. 672 с.
- [5] Евланова Н. Ф., Корниенко Л. С., Рыбалтовский А. О. // ЖЭТФ. 1977. Т. 53. № 6. С. 1920—1925.

Институт физических исследований  
АН АрмССР  
Ашгабак

Поступило в Редакцию  
22 ноября 1988 г.

### ПЛЕНКИ $\text{Bi-Sr-Ca-Cu-O}$ , ПРИГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Ю. А. Бойков, М. П. Волков, В. А. Данилов, Б. Т. Мелех, Ю. Н. Филин

Тонкие пленки  $\text{Bi-Sr-Ca-Cu-O}$  являются интересным объектом исследования как с точки зрения изучения фундаментальных физических свойств нового класса сверхпроводящих материалов, так и в связи с перспективностью их широкого практического использования [1, 2].