

УДК 539.2:543.42

ФИЗИКА

Т. В. ГВАЛАДЗЕ, Б. Н. ГРЕЧУШНИКОВ, Д. Т. СВИРИДОВ,
В. Я. ХАЙМОВ-МАЛЬКОВ

УШИРЕНИЕ R_1 -ЛИНИЙ Cr^{3+} В РУБИНЕ С ПРИМЕСЬЮ ТИТАНА В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЕРЕХОДА $\text{Ti}^{3+} \rightarrow \text{Ti}^{4+}$

(Представлено академиком А. М. Прохоровым 19 III 1975)

В работе ⁽¹⁾ было показано, что электрические поля случайно распределенных зарядов в кристалле оказывают существенное влияние на спектральные линии э.п.р. Представляется интересным исследовать влияние таких полей на ширину оптических линий. Для этой цели были выбраны кристаллы рубина, у которых при 77° К измерялась ширина R_1 -линии Cr^{3+} в люминесценции в зависимости от концентрации и валентности изоморфной примеси титана. Последняя, в отличие от Cr^{3+} , обратимо меняет валентность с Ti^{3+} на Ti^{4+} соответственно при отжиге в вакууме и кислороде ⁽²⁾. Концентрация хрома во всех кристаллах была 0,03 вес.%, концентрация титана менялась от $2 \cdot 10^{-3}$ до $8,2 \cdot 10^{-2}$ вес. %.

Установка для измерения ширины R_1 -линий состояла из предварительного монохроматора, интерферометра Фабри — Перо, помещенного в герметический кожух, и регистрирующей фотоэлектронной системы. Оптическая длина пути между зеркалами интерферометра менялась плавным напусканьем в кожух углекислого газа. Экспериментально определенная ширина аппаратной функции равнялась примерно $0,03 \text{ см}^{-1}$ (везде, где говорится о ширине, имеется в виду полная ширина на полувысоте).

Измерения показали, что ширина R_1 -линий существенно зависит от валентности титана. Если для образцов с примесью Ti^{3+} ширина менялась примерно от 0,15 до $0,35 \text{ см}^{-1}$ (при изменении концентрации титана от $2 \cdot 10^{-3}$ до $8,2 \cdot 10^{-2}$ вес. %), то для тех же образцов после перевода титана в четырехвалентное состояние ширина менялась уже примерно от 0,2 до $0,8 \text{ см}^{-1}$. Была определена разностная ширина

$$\Delta\omega = [(\Delta\omega_1)^2 - (\Delta\omega_2)^2]^{1/2},$$

где $\Delta\omega_1$ и $\Delta\omega_2$ — ширина R_1 -линий для одного и того же кристалла соответственно при трех- и четырехвалентном состоянии примеси титана.

На рис. 1 изображена зависимость $\Delta\omega$ от концентрации титана n . По экспериментальным точкам методом наименьших квадратов проведена прямая I (в двойном логарифмическом масштабе). Эта прямая описывается степенным законом $\Delta\omega = \alpha n^\gamma$ с показателем степени $\gamma = 0,47 \pm 0,07$, α — постоянная.

Увеличение ширины R_1 -линий в результате перехода титана в четырехвалентное состояние может быть объяснено влиянием локальных электрических полей, создаваемых дополнительными зарядами $\text{Ti}^{4+}(\text{e}^+)$ и компенсирующими e^- . Эти электрические поля вызывают смещение R_1 -линий на величину

$$\delta\omega = aE_x + bE_y + cE_z, \quad (1)$$

где E — напряженность электрического поля.

Теория уширения линий за счет хаотического распределения зарядов развита в работе ⁽¹⁾, где показано, что если каждый заряд действует на положение линий по закону (1), а их средняя концентрация равна n , то

результатирующее уширение линии

$$\Delta\omega = 7,5n^{2/3}e \left(\frac{a^2}{K_x^2} + \frac{b^2}{K_y^2} + \frac{c^2}{K_z^2} \right)^{1/2}. \quad (2)$$

Как известно, для рубина диэлектрическая постоянная $K_x = K_y = 10,55$ (ось x параллельна оптической оси кристалла). Согласно работе ⁽³⁾, для рубина $b=c=0$, $a=1,14 \cdot 10^{-3}$ (в единицах CGSE). По нашим подсчетам, в работе ⁽¹⁾ неправильно вычислен интеграл V' , и поэтому в формуле (2) у нас стоит коэффициент 7,5, а не 3,75.

Построенная по формуле (2) прямая 2 на рис. 1 проходит выше экспериментальной прямой 1 и имеет несколько больший показатель степени γ (соответственно $2/3$ и $1/2$). Это расхождение может быть объяснено, по-видимому, тем, что, в отличие от схемы, принятой в работе ⁽¹⁾, распределение зарядов $Ti^{4+}(e^+)$ и компенсирующих e^- неоднородно.

Авторы выражают искреннюю благодарность акад. А. М. Прохорову за постоянный интерес к работе и полезные советы.

Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова
Академии наук СССР
Москва

Поступило
12 III 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ W. B. Mims, R. Gillen, Phys. Rev., v. 148, 438 (1966). ² Е. М. Акулиничук и др., Письма ЖЭТФ, т. 16, 336 (1972). ³ M. G. Cohen, N. Bloembergen, Phys. Rev., v. 135, A950 (1964).

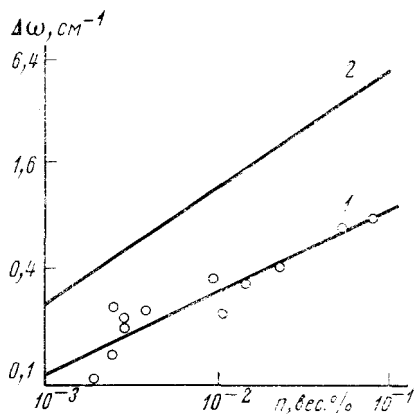


Рис. 1. Зависимость разностной ширины $\Delta\omega$ R_1 -линий от концентрации n примеси титана