

Вклейка к ст. А. А. Каплянского и др. (стр. 427)

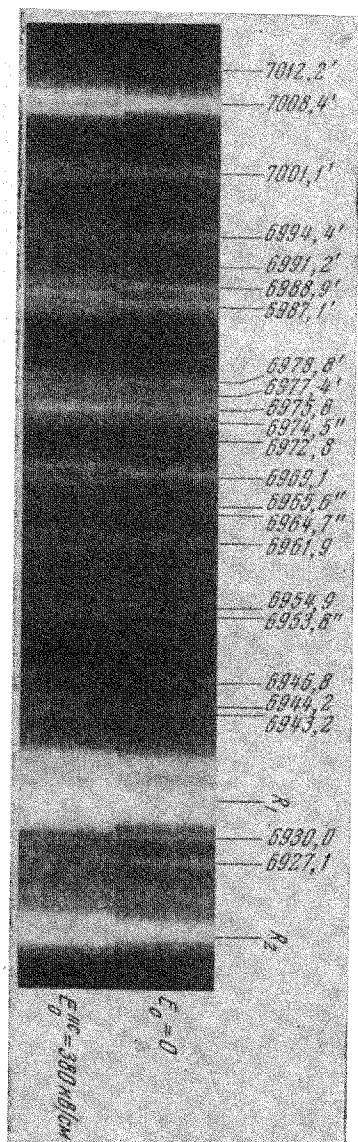


Рис. 1

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА СПЕКТРЫ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ОБМЕННО-СВЯЗАННЫХ ПАР ИОНОВ ХРОМА В РУБИНЕ

А.А.Каплянский, В.Н.Медведев, А.К.Пржевальский

В работе экспериментально исследовано влияние внешнего постоянного электрического поля на длинноволновой спектр люминесценции рубина, принадлежащий различного типа парам ионов $\text{Cr}^{3+} - \text{Cr}^{3+}$, связанных обменным взаимодействием.

В наших опытах использовались тонкие монокристаллические пластинки рубина (концентрации Cr 0,05 и 1,6%) с нанесенными на них прозрачными электродами (SnO_2). Опыты велись при 77 и 4,2°К. Спектр свечения рубина в области 690-705 мкм, наблюдаемый вдоль поля, фотографировался на дифракционном спектрографе с дисперсией $\sim 2,1 \text{ \AA/мм}$.

При наложении поля перпендикулярно оси кристалла ($E_0 \perp C$) и полях до 200 кВ/см не удалось наблюдать сколько-нибудь заметного влияния поля на спектр рубина в исследуемой области. При направлении поля вдоль оси ($E_0 \parallel C$) было обнаружено симметричное дублетное расщепление большого числа линий люминесценции хромовых пар; в то же время на некоторые другие линии пар поле $E_0 \parallel C$ заметного влияния не оказывало (рис.1, см. вклейку).

Линии так называемой N_2 -серии 7013, 7009 (N_2), 7002, 6992 \AA , которые отвечают [1,2] переходам из наименьшего возбужденного состояния $\text{Cr}^{3+}(^4A_2) - \text{Cr}^{3+}(^2E)$ "ферромагнитной" N_2 - пары на уровни ее основного состояния $\text{Cr}^{3+}(^4A_2) - \text{Cr}^{3+}(^4A_2)$ с $S = 0, 1, 2, 3$, дают при $E_0 \parallel C$ дублетное расщепление (рис.1,2). Измеренная для наиболее интенсивной линии 7009 \AA (N_2) зависимость ширины дублета Δ^{7009} от поля E_0 оказалась практически линейной (см. рис.3, где Δ^{7009} дана в функции полученной в тех же условиях ширины псевдоштарковского дублета R_2 -линии, пропорциональной E_0 [3,4]). Величина расщепления несколько различается для разных членов N_2 -серии, так $\Delta^{7002} : \Delta^{7009} = 0,85$. Дублетное расщепление установлено и для многих других линий, принадлежащих [2] излучательным переходам в ферромагнитной N_2 - паре с ее верхних возбужденных состояний (эти линии помечены на рис.1 штрихом)*. Дублетное расщепление наблюдается также на некоторых неклассифицированных линиях (рис.1).

Интенсивная линия 7041 \AA (N_1), принадлежащая [2] переходу из наименьшего возбужденного состояния $\text{Cr}^{3+}(^4A_2) - \text{Cr}^{3+}(^2E)$ "антиферро-

магнитной" N_1 -пары на уровень $S = 2$ ее основного состояния $Cr^{3+}(^4A_2) - Cr^{3+}(^4A_2)$, не дает расщепления при $E_0 \parallel C$ в полях до ~ 400 кВ/см (рис.2). Отсутствует расщепление при $E_0 \parallel C$ и у ряда других линий, отвечающих по [2] переходам с верхних излучательных подуровней антиферромагнитной N_1 -пары (помечены на рис.1 двумя штрихами), а также у нескольких неклассифицированных линий.

Из сказанного следует, что наличие или отсутствие линейного эффекта Штарка в спектрах взаимодействующих пар ионов в рубине зависит от типа пары. Наблюдаемые явления можно качественно интерпретировать с учетом [5], исходя из конкретных моделей N_1 - и N_2 -пар, предложенных на основе результатов их спектроскопического [1,2] и пьезоспектроскопического [6] исследования.

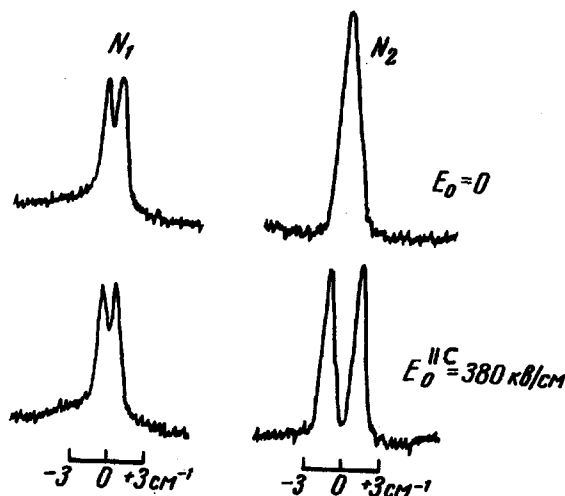


Рис.2

В работах [1,2,6] N_2 -пары отождествлены с ионами $Cr^{3+} - Cr^{3+}$, занимающими катионные узлы, являющиеся по расстоянию между ними четвертыми соседями в решетке. Оба входящих в такую пару иона Cr^{3+} находятся в местах с одинаковым знаком нечетной компоненты тригонального кристаллического поля. Приблизительно дипольный момент этой пары в основном состоянии равен удвоенному моменту одиночного иона $Cr^{3+}(^4A_2)$. В возбужденном состоянии, когда один из ионов находится в состоянии 2E , момент пары складывается из моментов Cr^{3+} в 4A_2 и 2E -состояниях. В этом приближении смещение в поле $E_0 \parallel C$ частоты перехода, определяемое разностью моментов пары в двух состояниях, равно сдвигу в электрическом поле частоты перехода $^4A_2 - ^2E$ (R -дублет) в одиночном ионе Cr^{3+} . Это смещение — из-за наличия в решетке N_2 -пар с противоположным направлением их моментов — должно привести к псевдоштарковскому [3] расщеплению линий при $E_0 \parallel C$, что и наблюдается на опыте в спектре N_2 -пар. Небольшое отличие в величине расщепления линий N_2 -пар и R -линий одиночных ионов (см. рис.3) вызвано, по-видимому, электростатическим взаимодействием

ионов в паре [5]. Отмеченное выше различие в величине псевдоштарковского расщепления разных линий N_2 -серии свидетельствует также о заметном влиянии внешнего поля на величину обменного взаимодействия в паре, определяющего относительное положение ее основных уровней $S = 0, 1, 2, 3$ и линий N_2 -серии.

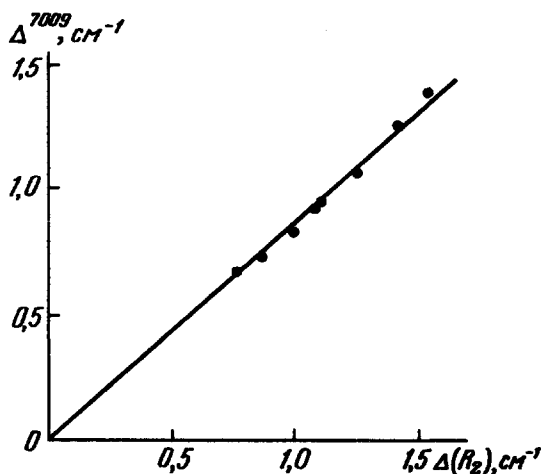


Рис.3

В предложенной в [6] модели N_1 -пар (третьи соседи) входящие в пару ионы Cr^{3+} занимают места с противоположным знаком нечетного тригонального поля. Это приводит к компенсации дипольных моментов как в основном состоянии пары, так и в ее возбужденном состоянии (из-за резонансной передачи возбуждения между ионами). Линейный сдвиг уровней в электрическом поле должен поэтому отсутствовать, что согласуется с наблюдаемым на опыте отсутствием заметного влияния поля на спектр N_1 -пар.

Таким образом, результаты проведенного исследования полностью подтверждают данную в [1,2] классификацию линий и рассмотренные в [6] модели N_1 - и N_2 -пар.** В качественном согласии с теорией [5] опыт указывает на определяющую роль соотношения направлений нечетного тригонального поля в местах расположения ионов обменно-связанной пары $\text{Cr}^{3+} - \text{Cr}^{3+}$ в поведении ее спектра в электрическом поле.***

Авторы благодарны В.И.Черепанову и А.Е.Никифорову за полезные замечания.

Литература

- [1] P.Kislink, A.L.Schawlow, M.D.Sturge. Quantum Electronics III, ed. by P.Grivet and N.Bloembergen. 1, 725, New York, 1964.
- [2] P.Kislink, W.F.Krupke. J. of. Appl. Phys., 36, 1025, 1965.
- [3] W.Kaiser, S.Sugano, D.L.Wood. Phys. Rev. Lett., 6, 605, 1961.
- [4] M.G.Cohen, N.Bloembergen. Phys. Rev., 135, A950. 1964.
- [5] А.Е.Никифоров. ФТТ, 8, 1677, 1966; ФТТ, 9, 8, 1967.
- [6] А.А.Каплянский, А.К.Пржеvusкий. ФТТ, 9, 257, 1967.

* Указанное на рис.1 положение всех линий, принадлежащих парам, измерено на образцах Al_2O_3 с 1,6% Cr и отличается от данных [2], полученных на образцах с 0,5% Cr, длинноволновым сдвигом в среднем на $\sim 0,5 \text{ \AA}$.

** Линии 6973, 6969, 6962 \AA , расщепляющиеся в поле в дублеты, образуют последовательность с интервалами, близкими к интервалам в N_2 -серии. Это позволяет предположить связь линий с переходами на уровни $S = 0,1,2$ N_2 -пары с одного из высоких излучательных уровней (14381 см^{-1}).

*** Предварительные опыты обнаружили отсутствие заметного влияния поля также на линию излучения рубина 7451 \AA , принадлежащую [6] хромовой паре вторых соседей с противоположным направлением нечетных компонент поля.