

ным требованиям $\text{Re } N > 0$ и $\text{Im } N \leq 0$. Каждое из оставленных используется для вычисления толщины (15) при обоих углах преломления. За решение принимаются значения N_0 , N_1 и $\text{Re } d$, приводящие к минимальному отклонению значений толщин, полученных для двух углов преломления. Величина $\text{Im } d$ может рассматриваться как мера влияния экспериментальных ошибок и (или) как мера отклонения модели однородного слоя от реальной структуры.

Если слой имеет значительную толщину, расчет повторяют, каждый раз увеличивая m на 1. При этом абсолютное значение $\text{Im } d$ уменьшается, а затем возрастает. Выбирается такое m и соответствующее ему $\text{Re } d$, которое приводит к минимальному $|\text{Im } d|$.

Таким образом, и в этом случае аналитический метод дает однозначное решение для всех параметров рассматриваемой системы. Естественно и в этом случае остаются обычные для эллипсометрии трудности: учет слабого поглощения, неоднозначность определения толщины толстых диэлектрических слоев и т. п. Возможен и второй полностью эквивалентный путь решения: решив уравнение (9) относительно N_0 и приравняв полученные выражения для разных углов преломления, получим уравнение четвертой степени относительно квадрата коэффициента преломления слоя N_1 .

На рис. 2 приведено сравнение ошибок в показателе преломления и толщине слоя окиси кремния на кремнии для решений, полученных классическим [3] и аналитическим методами с одинаковыми ошибками $0.5'$ в поляризационных углах Δ и ϕ .

Литература

- [1] Розенберг Г. В. Оптика тонкослойных покрытий. М., 1958, с. 570.
- [2] Швец В. А. — Опт. и спектр., 1983, т. 55, в. 3, с. 558—560.
- [3] Holmes D. A. — Appl. Opt., 1967, v. 6, N 1, p. 168.

Поступило в Редакцию 23 октября 1985 г.

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УРОВНИ ИОНА Cr^{3+} В $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$

Горбань И. С., Гуменюк А. Ф., Дегода В. Я.

При изучении механизмов передачи энергии возбуждения от основного вещества к примесному иону и при исследованиях генерационных характеристик кристаллов желательно знать все энергетические состояния примесного иона. Исследованию спектральных характеристик Cr^{3+} в иттрий-алюминиевом гранате (YAG) посвящено много работ [1-4], однако полная картина высокоэнергетических состояний отсутствует. В [1, 2] проведены теоретические расчеты положений уровней Cr^{3+} в YAG. В настоящей работе представлены результаты исследования спектров поглощения, спектров возбуждения люминесценции, фотолюминесценции и ее затухания кристаллов YAG- Cr^{3+} при температурах 85, 293 и 550 К. Исследования проводились на монокристаллических образцах, в которых оптическими методами не было обнаружено посторонних примесей. Концентрация ионов Cr^{3+} определялась по методике, предложенной в [2].

Спектры поглощения (СП) исследовались методом двух толщин в области 200—400 нм и представлены на рис. 1. При всех температурах отчетливо наблюдается максимум поглощения, связанный с переходом $^4A_2 \rightarrow ^4T_1$ [2-4]. В более коротковолновой области наблюдается сильный рост поглощения, поэтому исследования СП проводились на тонких (0.018 см) образцах. Наблюдается группа полос поглощения вплоть до энергий, соответствующих фундаментальному поглощению YAG.

Более надежная информация о принадлежности наблюдаемых полос примеси хрома может быть получена из спектров возбуждения люминесценции (СВЛ), поскольку в СП могут входить полосы поглощения неконтролируемых примесей, что реально и наблюдается. Кривые СВЛ, исправленные на распределение интенсивности в источнике возбуждения, представлены на рис. 2. Спектры фотолюминесценции (ФЛ) при возбуждении во все полосы СВЛ идентичны и совпадают со спектрами ФЛ при возбуждении в U - и Y -полосы [4-6]. Скорость затухания ФЛ также не зависит от длины волны возбуждающего

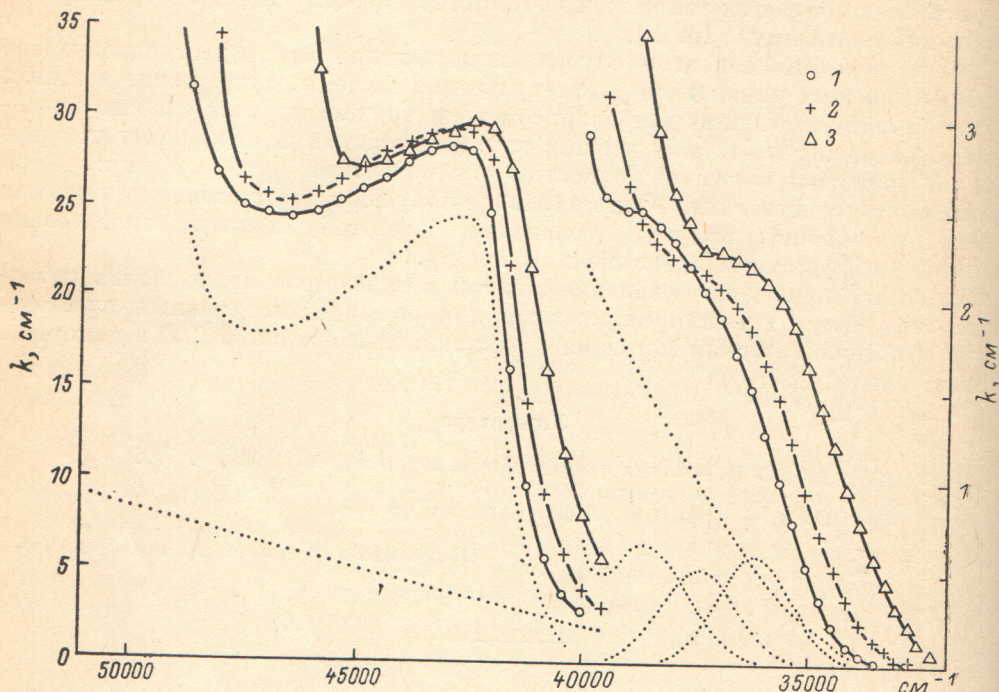


Рис. 1. Спектры поглощения $YAG-Cr^{3+}$. $C_{Cr} = 0.23$ ат%.
I, K: 1 — 85 (пунктир — компоненты разложения), 2 — 293, 3 — 550.

света и определяется временем жизни метастабильного уровня 2E . Исследования фотопроводимости показали, что фототок появляется только при $\lambda < 200$ нм. Следовательно, все полосы СВЛ обусловлены внутрицентровыми переходами в ионе Cr^{3+} .

Положения полос в СП и СВЛ совпадают достаточно хорошо, а отличие в их интенсивностях может быть объяснено разным квантовым выходом люминесценции при возбуждении в отдельные полосы поглощения. С ростом температуры положения полос смещаются в длинноволновую область и уширяются, что свидетельствует об их электронно-колебательной природе. Для спектров при 85 К была предпринята попытка разложить суммарный спектр на гауссовы компоненты. Согласно [7], электронно-колебательный переход в поглощении описывается

$$k = k_0 \frac{h\nu}{E} \exp \left[- \left(\frac{h\nu - E}{\sigma} \right)^2 \right],$$

где $h\nu$ — энергия квантов, k_0 — коэффициент поглощения полосы при $h\nu = E$.

Полоса в области 34 000—39 000 cm^{-1} является неэлементарной, и, в частности, форма ее в СП и СВЛ сильно отличается. С точностью до 1 % полоса в СВЛ раскладывается на две компоненты с $E_1 = 36\,180$, $\sigma_1 = 1160$ cm^{-1} ; $E_2 = 37\,400$, $\sigma_2 = 1200$ cm^{-1} .

При разложении кривой СП учитывалось неактивное поглощение [8]. Кроме двух полос с параметрами: $E_1 = 36\,160$, $\sigma_1 = 1150$, $k_{01} = 0.60$ cm^{-1} ; $E_2 = 37\,400$, $\sigma_2 = 1200$, $k_{02} = 0.52$ cm^{-1} , хорошо совпадающими с данными СВЛ,

выделяется дополнительная полоса поглощения с максимумом при 259 нм. Эта полоса наблюдалась ранее в кристаллах YAG, отожженных в вакууме или в атмосфере кислорода [9].

Вследствие сильного перекрытия полосы в области 40 000—50 000 см^{-1} не удалось корректно разложить на гауссовы компоненты.

Из сравнительного анализа СП и СВЛ можно выделить следующие полосы поглощения: 36 180 см^{-1} (276 нм), 37 400 см^{-1} (267 нм), 41 100 см^{-1} (243 нм), 42 600 см^{-1} (235 нм), 44 900 см^{-1} (223 нм). За исключением полосы 44 900 см^{-1} (скорее всего неэлементарной), полученные значения удовлетворительно совпадают с рассчитанными положениями уровней Cr^{3+} в кристаллическом поле YAG [2]. Расхождения могут быть объяснены сильным отклонением взаимодей-

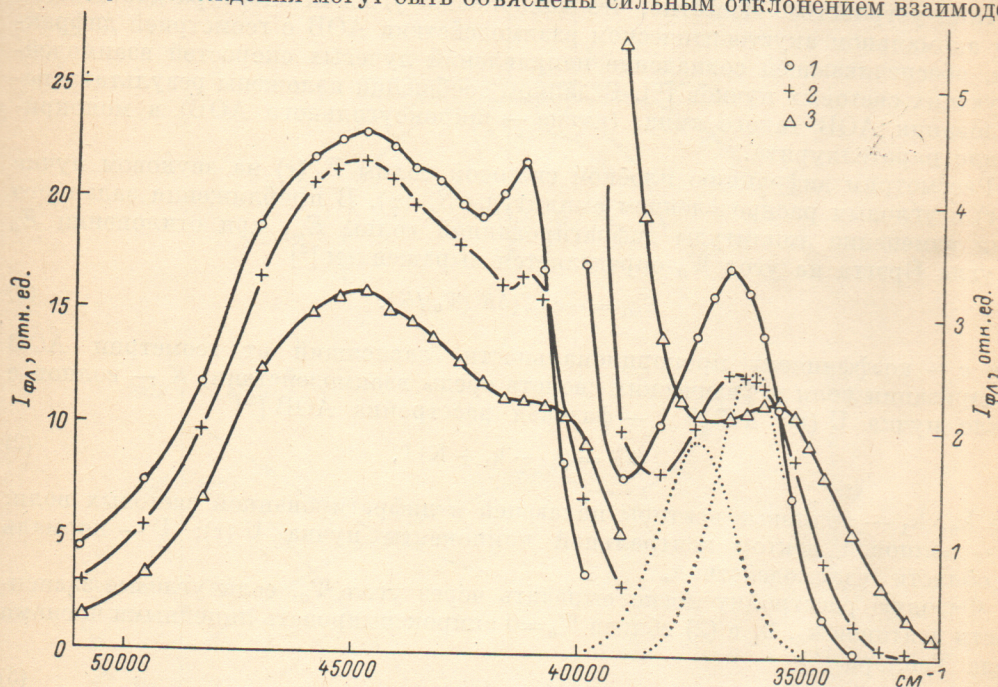


Рис. 2. Спектры возбуждения люминесценции YAG- Cr^{3+} .
Обозначения те же, что на рис. 1.

ствия высокоэнергетических состояний Cr^{3+} от тех, которые укладываются в рамки макроскопического кристаллического поля, в приближении которого проводился теоретический расчет.

Литература

- [1] Wood D. L., Ferguson J., Кнох К., Dillon J. F., Jr. — J. Chem. Phys., 1963, v. 39, N 4, p. 890—898.
- [2] Севастьянов Б. К., Свиридов Д. Т., Орехова В. П., Пастернак Л. Б., Свиридова Р. К., Веремейчик Т. Ф. — Квант. электрон., 1972, № 4 (10), с. 55—62.
- [3] McMillan R. W. — JOSA, 1977, v. 67, N 1, p. 27—31.
- [4] Azamatov Z. T., Arseniev P. A., Geraskina T. Yu., Chukischev M. V. — Phys. St. Sol. (a), 1970, v. 1, N 4, p. 801—805.
- [5] Герловин И. Я. — Опт. и спектр., 1977, т. 43, в. 5, с. 896—900.
- [6] Henry M. O., Larkin J. P., Imbusch G. F. — Proc. Roy. Irish. Acad., 1975, v. A75, N 10, p. 97—106.
- [7] Ребане К. К. Элементарная теория колебательной структуры спектров примесных центров кристаллов. М., 1968.
- [8] Горбань И. С., Гуменюк А. Ф., Дегода В. Я. — Опт. и спектр., 1985, т. 58, в. 3, с. 705—707.
- [9] Kvaril J., Kvaril Jo., Kubelka J., Kubeček V. — Czech. J. Phys. B., 1981, v. 31, N 6, p. 644—651.

Поступило в Редакцию 16 декабря 1985 г.