

## ИНДУЦИРОВАННАЯ СВЕТОМ ПОЛЯРНАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА В КРИСТАЛЛАХ РУБИНА

*С.А.Басун, А.А.Каплянский, С.П.Феофилов*

По спектрам люминесценции установлено, что в концентрированном рубине в результате интенсивного лазерного облучения возникают пространственные области (домены) сильного внутреннего электрического поля с противоположным направлением проекции поля на тригональную ось  $C_3$  кристалла, причем на образование этой полярной пространственной структуры (ППС) сильно влияет также внешнее электрическое поле.

Недавно в <sup>1</sup> было обнаружено, что интенсивное лазерное облучение концентрированного рубина при  $T = 10$  К индуцирует в его спектре дублетное расщепление линий, по виду аналогичное известному "псевдоштарковскому" расщеплению линии в однородном внешнем электрическом поле  $E \parallel C_3$  <sup>2</sup>, обусловленному противоположным сдвигом уровней ионов  $Cr^{3+}$ , занимающих в центросимметричной ( $D_{3d}$ ) решетке  $Al_2O_3$  две нецентросимметричные (группа  $C_3$ ) позиции  $A$  и  $B$ , отличающиеся инверсией. В <sup>1</sup> сделан вывод о возникновении в рубине при лазерном облучении сильного (до  $10^6$  В/см) однородного внутреннего электрического поля.

Наши исследования проводились, в основном, при  $T = 77$  К на тонких ( $\sim 0,1$  мм) монокристаллических пластинках  $\text{Al}_2\text{O}_3 : 0,5\% \text{Cr}$ , вырезанных по базисной плоскости ( $\perp C_3$ ). На обе стороны их наносились прозрачные электроды, к которым можно было прикладывать внешнее поле  $E \parallel C_3$ . Напряженность действующего электрического поля (точнее его  $z \parallel C_3$  – составляющей) в кристалле определялась по величине псевдоштарковского расщепления  $R_1$ -линии  $\bar{E} \rightarrow {}^4A_2$  в спектре люминесценции:  $\Delta\nu$  ( $\text{см}^{-1}$ ) =  $0,78 \cdot 10^{-5} |E_z|$  ( $\text{В/см}$ )<sup>3</sup>.

Луч Ar-лазера (2 Вт, линии 514,5; 501,7; 496,5; 488,0; 476,5; 457,9 нм) был направлен нормально к поверхности кристалла. Лазер работал в двух режимах: 1 – с большой плотностью мощности в луче  $I \sim 1$  кВт/см<sup>2</sup>, при которой в освещаемой области образца возникает внутреннее поле<sup>1</sup> и 2 – с малой плотностью  $\lesssim 1$  Вт/см<sup>2</sup> при которой Ar-луч служит только для возбуждения люминесценции, но не вызывает изменений в состоянии возбуждаемой области. Спектры  $R_1$ -люминесценции записывались при  $T = 77$  К в условиях 2.

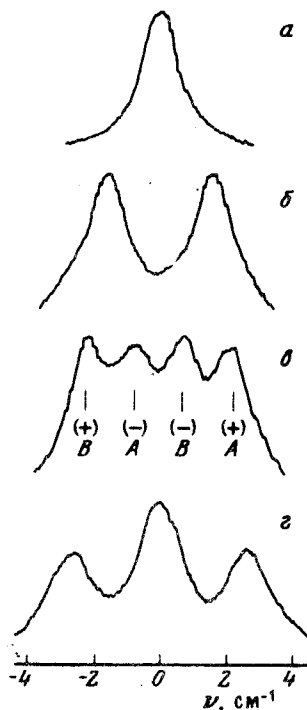


Рис. 1

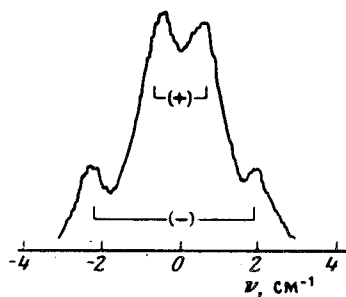


Рис. 2

Рис.1. Линия люминесценции рубина  $R_1$ : а – до лазерного облучения, б, в, г – после облучения. б –  $E = 0$ , в –  $E = 185$  кВ/см, г –  $E = 370$  кВ/см.

Рис.2. Линия  $R_1$  в спектре кристалла в нулевом внешнем поле после его облучения во внешнем поле  $E = 185$  кВ/см

При лазерном облучении образца с  $I \approx 1$  кВт/см<sup>2</sup> и в отсутствие внешнего поля ( $E_z = 0$ ) в согласии с<sup>1</sup>  $R_1$ -линия в спектре (рис. 1, а) вскоре после начала возбуждения оказывается расщепленной в симметричный дублет (рис. 1, б), причем темп роста величины  $\Delta\nu$  до ее стационарного значения  $\Delta\nu_{max} = 2,9$  см<sup>-1</sup> тем выше, чем больше  $I$ . При  $I = 1$  кВт/см<sup>2</sup> время достижения  $\Delta\nu_{max}$  составляло 10 мин. После выключения оптической накачки состояние облученной области образца, характеризуемое расщеплением  $R_1$ -линии  $\Delta\nu_{max}$  в спектре<sup>1)</sup>, сохраняется неопределенно долго как при 77 К, так и при отогреве образца до 20° С (зафиксирована сохранность до двух лет). Величина  $\Delta\nu_{max}$  соответствует наличию в образце внутреннего действующего электрического поля с  $|\mathcal{E}_z^{max}| = 370$  кВ/см.

Далее к образцу с предварительно индуцированным в нем облучением внутренним электрическим полем (дублетным расщеплением  $R_1$  в спектре) прикладывалось внешнее поле  $E_z$ . Было обнаружено, что каждая из компонент "исходного" дублета испытывает во внешнем поле симметричное линейное по  $|E_z|$  расщепление (рис. 1, в), по величине равное псевдоштарковскому<sup>3</sup>. В результате  $R_1$  представляет собой квартет, крайние компоненты ко-

<sup>1)</sup> Дублетное расщепление обнаруживают и линия  $R_2$  ( $\bar{2}A \rightarrow {}^4A_2$ ), линии поглощения  $B_1, B_2$  ( ${}^4A_2 \rightarrow {}^2T_1$ ), линия пар  $N_2$  (во внешнем поле они все обладают псевдоштарковским расщеплением<sup>2-4</sup>).

того с ростом  $|E_z|$  расходятся, а внутренние — сближаются (вплоть до их слияния — рис. 1, з).

Это прямо показывает, что в облученном кристалле имеются пространственные области ("домены"), в которых проекция внутреннего поля  $\mathcal{E}_z^{max}$  — одинаковая по абсолютной величине — имеет противоположный знак ( $\pm |\mathcal{E}_z^{max}|$ ). Внешнее поле  $E_z$  в "+" и "-" доменах оказывается параллельным, либо антипараллельным  $z$ - проекции внутреннего поля. Следовательно,  $z$ -проекция суммарного действующего поля в этих двух полярных областях различны, и  $R_1$ -излучение дает в спектре два различающихся по  $\Delta\nu$  псевдоштарковских дублета, каждый из которых отвечает  $A$  и  $B$  позициям ионов  $\text{Cr}^{3+}$  в доменах (см. идентификацию на рис. 1, е)<sup>1)</sup>. Примерно одинаковая интенсивность всех компонент квартета (рис. 1, е) свидетельствует как об одинаковом объеме областей "+" и "-", так и о близости в них средних концентраций ионов  $\text{Cr}^{3+}$  в  $A$  и  $B$  позициях.

В последующих опытах было исследовано индуцированное светом образование полярной пространственной структуры (ППС) в условиях, когда образец во время облучения находится в постоянном внешнем электрическом поле  $E_z$ . Из анализа картины расщепления  $R_1$  установлено, что интенсивное ( $I \sim 1$  кВт/см<sup>2</sup>) облучение образца при  $E_z < 370$  кВт/см =  $\mathcal{E}_z^{max}$  приводит к образованию в нем полярных областей внутреннего поля. Образованная полярная структура сохраняется после прекращения облучения (с одновременным снятием внешнего поля) и состоит из доменов двух сортов. В "+" доменах, занимающих большую часть облучаемой области образца,  $z$ -проекция внутреннего поля ориентирована по направлению внешнего поля  $E_z$ , в котором происходило облучение, и равна  $\mathcal{E}_z^+ = |\mathcal{E}_z^{max}| - |E_z|$ . В "-" доменах, занимающих меньший объем,  $z$ -проекция внутреннего поля направлена против  $E_z$  и равна  $|\mathcal{E}_z^-| = |\mathcal{E}_z^{max}| + |E_z|$ . При этом разница объемов двух полярных областей тем больше, чем выше  $|E_z|$ .  $R_1$ -линия в спектре таких образцов (рис. 2) представляет собой симметричный квартет с неравной (отражающей неодинаковость "+" и "-" объемов) интенсивностью внешних и внутренних компонент. Описанная стационарная структура возникает и в результате лазерного облучения во внешнем поле  $|E_z| < 370$  кВт/см образцов с уже имевшейся у них ППС (предварительно полученной, например, при  $E_z = 0$ ).

Лазерное облучение образцов в больших внешних полях  $E_z > 370$  кВт/см не приводит к образованию в них никакой ППС. Если же ППС была создана в образце предварительно (например, облучением при  $E_z = 0$ ), то облучение образца в поле  $E_z > 370$  кВт/см полностью уничтожает ее.

Установлено также, что образование ППС при лазерном облучении имеет место только при охлаждении облучаемого кристалла. Выше температур  $T = 130 - 140$  К эффект образования ППС при облучении отсутствует, а лазерное облучение образцов с предварительно созданной в них (при  $T = 77$  К) ППС приводит к уничтожению последней.

Из вышеприведенных результатов следует, что при интенсивном ( $I \approx 1$  кВт/см<sup>2</sup>) лазерном облучении концентрированного рубина кристалл независимо от своего исходного состояния приходит со временем в некоторое стационарное состояние, определяемое условиями, в которых происходит облучение — напряженностью внешнего поля  $E_z$ , а также температурой. При  $T < 130 - 140$  К (при  $E_z = 0$ ) или при  $0 \leq |E_z| < |\mathcal{E}_z^{max}| = 370$  кВт/см ( $T = 77$  К) стационарным является состояние с ППС, причем в последнем случае при всех  $E_z$  "стационарное" внутреннее поле в доменах устанавливается на таком уровне, что  $z$ -проекция действующего суммарного (внутреннего плюс внешнего) поля равна  $\pm |\mathcal{E}_z^{max}| = \pm 370$  кВт/см. Образовавшееся состояние с ППС метастабильно и длительно сохраняется после выключения оптической накачки как при низких температурах, так и при нагреве кри-

<sup>1)</sup> В случае триплетного расщепления (рис. 1, з) имеет место взаимная компенсация внутреннего и внешнего полей в "-" доменах, при которой  $R_1$ -линия оказывается нерасщепленной.

галла (по крайней мере до 300 К). При  $T > 130 - 140$  К ( $E_z = 0$ ) и  $E_z > 370$  кВ/см ( $T = 77$  К) стационарным является однородное состояние кристалла без ППС.

Причины возникновения ППС при лазерном облучении рубина требуют дальнейшего изучения. Важной представляется роль процессов направленного переноса заряда при двухступенчатом (через  ${}^2E$ ) оптическом возбуждении взаимодействующих ионов  $\text{Cr}^{3+}$ . В качестве ориентирующего фактора, обеспечивающего появление электрической полярности в центросимметричном кристалле, в <sup>1</sup> рассматривалась неравномерность распределения по "полярным" позициям  $A$  и  $B$  (по величине она весьма мала — см. рис. 1,  $\sigma$ ). Наряду с этим интересно исследовать также возможную роль коллективных эффектов полярного упорядочения (см., например, <sup>5</sup>), обусловленных взаимодействием электрических диполей, создаваемых при оптическом направленном переносе заряда в решетке рубина.

Авторы благодарны А.П.Леванюку, Г.Е.Пикусу, В.М.Фридкину, А.Л.Эфросу за обсуждение.

#### Литература

1. Liao P.F., Glass A.M., Humphrey L.M. Phys. Rev. B, 1980, 22, 2276.
2. Kaiser W., Sugano S., Wood D.L. Phys. Rev. Lett., 1961, 6, 605.
3. Каплянский А.А., Медведев В.Н. ФТТ, 1967, 9, 2704.
4. Каплянский А.А., Медведев В.Н., Пржеvusкий А.К. Письма в ЖЭТФ, 1967, 5, 427.
5. Fischer B., Klein M.W. Phys. Rev. Lett., 1976, 37, 756.

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
7 апреля 1983 г.