

САМОИНДУЦИРОВАННЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ В АНИЗОТРОПНЫХ КРИСТАЛЛАХ

Е. Ф. Мартынович

Выявлены механизмы самовозбуждения и условия наблюдения стационарных и нестационарных пространственно-периодических структур при взаимодействии анизотропных кристаллов с оптическим излучением.

В последние годы в науке и технике заметно расширилось применение анизотропных кристаллов. Появились новые оптические материалы, высокотемпературные сверхпроводники, лазерные среды, содержащие квантовые системы с симметрией, отличающейся от симметрии узлов кристаллической решетки. К таким квантовым системам относятся примесные и собственные дефекты с локальной компенсацией заряда, центры окраски (ЦО) и другие. Процессы взаимодействия оптического излучения с подобными кристаллами и квантовыми системами исследованы недостаточно. Не уделялось должного внимания изучению пространственных характеристик поля и вещества, которые, как выяснилось, имеют интересные особенности.

В двупреломляющих кристаллах состояние поляризации суммарной световой волны периодически изменяется с расстоянием вследствие разности скоростей собственных световых волн¹. Возбуждение поглощающих квантовых систем в этих условиях должно привести к возникновению пространственно-периодической зависимости поглощения, запасаения и излучения энергии кристаллом. Для выяснения принципиальной возможности подобного метода индуцирования периодических структур (ПС), определения условий их экспериментального наблюдения в данной работе вначале теоретически исследованы зависимости от расстояния усредненной во времени поглощенной мощности $P(r)$, интенсивности люминесценции в волновой зоне $J(r)$, концентраций поглощающих центров и других характеристик. Затем прове-

дены эксперименты с оптически одноосными кристаллами Al_2O_3 и MgF_2 , содержащими ЦО, а также для сравнения — с кристаллами Al_2O_3 , содержащими катионзамещающие ионы Ti^{3+} , Cr^{3+} и т.п. Получены следующие результаты.

1. Мощность излучения, $P(r)$, поглощенного в линейном режиме, т.е. при интенсивностях, далеких от насыщения перехода, не имеет периодических изменений с расстоянием, соответствующих периодическим изменениям состояния поляризации. В то же время для каждой отдельной ориентации дипольных моментов перехода в поглощающих центрах (1–3 на рис. 1, справа) такие изменения имеются (кривые 1–3). Однако при суммировании по всем ориентациям, допускаемым законами симметрии кристаллов, эти изменения взаимно компенсируются, так что полная поглощенная кристаллом мощность не осциллирует в пространстве. (кривая 4). Это означает, что периодичность оптического возбуждения квантовых систем в анизотропных кристаллах носит скрытый характер.

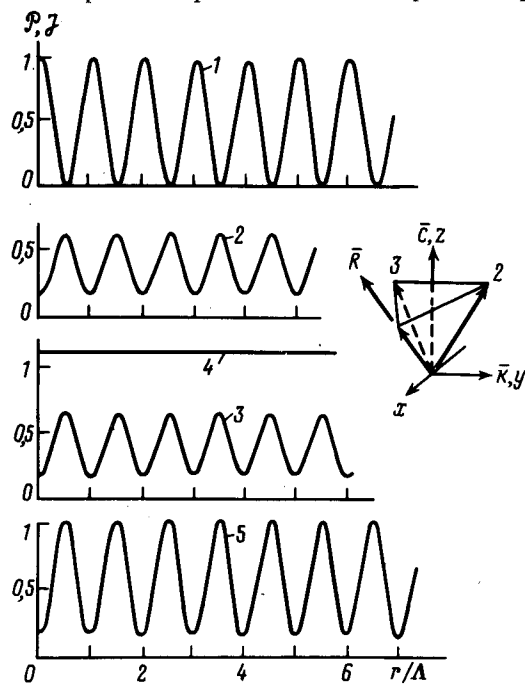


Рис. 1

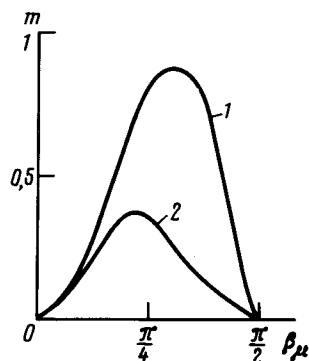


Рис. 2

Рис. 1. Зависимости от расстояния поглощенной мощности (1–4) и интенсивности люминесценции (5) при $\beta_\mu = \pi/4$, $\beta_R = \pi/4$, $\eta_R = 0$

Рис. 2. Зависимость глубины пространственной модуляции при интенсивности люминесценции от ориентации дипольного момента перехода: 1 — $\beta_R = \pi/4$, $\eta_R = 0$; 2 — $\pi/4$, π

2. Наблюдать такую периодичность удобно люминесцентным методом. Интенсивность люминесценции на расстоянии R , значительно превышающем размеры кристалла, определяется выражением

$$J(r) = \frac{3AT_1}{8\pi R^2} \sum_{i=1}^p P^{(i)} q(\beta_R, \eta_R, \beta_\mu^{(i)}, \eta_\mu^{(i)}), \quad (1)$$

где A — коэффициент Эйнштейна для спонтанного излучения, T_1 — постоянная времени диполь-решеточной релаксации, p — число возможных ориентаций центров, q — весовой множитель для i -той ориентации центров:

$$q = 1 - [\cos \beta_R \cos \beta_\mu^{(i)} + \sin \beta_R \sin \beta_\mu^{(i)} \cos(\eta_R - \eta_\mu^{(i)})]^2, \quad (2)$$

где β_R и $\beta_\mu^{(i)}$ — углы между оптической осью \bar{c} и направлениями наблюдения люминесценции

и дипольного момента перехода в i -той ориентации, соответственно, а η_R и $\eta_\mu^{(i)}$ — углы между осью x и проекциями тех же направлений на плоскость xu . Весовой множитель для различных ориентаций центров различен, поэтому при суммировании в (1) не происходит компенсации осцилляций, присущих отдельным ориентациям. Следовательно, интенсивность люминесценции в отличие от поглощенной мощности периодически изменяется с расстоянием (кривая 5).

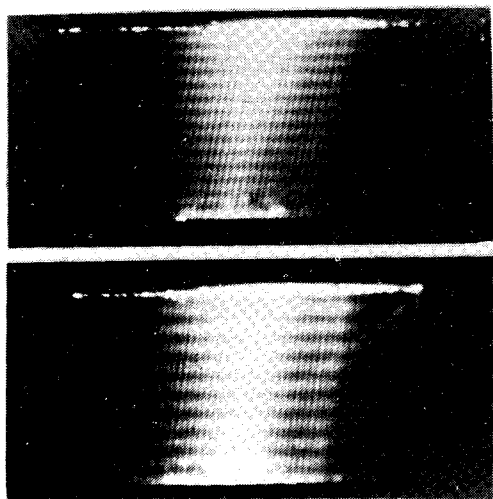


Рис. 3. ПС, наблюдаемые в люминесцентном излучении. Оптическая ось ориентирована по вертикали в плоскости листа; $\beta_k = 0,28$ (вверху) и $0,23$ рад (внизу)

3. Период осцилляций, найденный из совместного решения уравнений движения для координатных компонент дипольного момента и волнового уравнения для произвольного угла β_k между волновым вектором \mathbf{k} и оптической осью, равен

$$\Lambda = \frac{2\pi c}{\omega n_\perp} \left| 1 + \frac{\chi'_\perp}{2n_\perp^2} - n_\parallel \frac{(n_\perp^2 + \frac{n_\perp^2}{2n_\parallel^2} \chi'_\parallel) \sin^2 \beta_k + (n_\parallel^2 + \frac{n_\parallel^2}{2n_\perp^2} \chi'_\perp) \cos^2 \beta_k}{(n_\perp^2 \sin^2 \beta_k + n_\parallel^2 \cos^2 \beta_k)^{3/2}} \right|^{-1}, \quad (3)$$

где n_\perp , n_\parallel — главные показатели преломления кристалла без учета поглощающих центров, χ'_\perp , χ'_\parallel — диагональные компоненты действительной части тензора электрической восприимчивости χ поглощающих центров в системе координат, построенной на главных осях тензора диэлектрической проницаемости ϵ , ω — частота и c — скорость света в вакууме.

4. Желто-зеленая люминесценция кристаллов Al_2O_3 , содержащих центры окраски с полосой поглощения 455 нм и известной ориентацией дипольного момента перехода под углом 39 градусов к оси \bar{c} , возбуждаемая излучением гелий-кадмиевого лазера ($441,3 \text{ нм}$), представляла собой последовательность поперечных направлению возбуждения светящихся слоев. При малых углах β_k эта последовательность легко наблюдалась визуально, т.к. период Λ был достаточно большим, а при $\mathbf{k} \perp \bar{c}$ наблюдение производилось с помощью микроскопа. Аналогичная картина наблюдалась для синей люминесценции ЦО в MgF_2 (полоса поглощения 370 нм), возбуждаемой излучением азотного лазера, а также для желтой и красной люминесценции, возбуждаемой в различных образцах MgF_2 излучением гелий-кадмиевого лазера. Изменения периода осцилляций при вариации угла β_k и частоты ω соответствовали выражению (3).

5. При полностью идентичных условиях эксперимента никаких осцилляций люминесценции для кристаллов Al_2O_3 с катионзамещающими примесями не было. Это объясняется тем, что дипольные моменты переходов в подобных центрах, имеющих симметрию узлов кристаллической решетки, ориентированы либо перпендикулярно, либо параллельно оптической оси. Для таких случаев ($\beta_k = 0; \pi/2$), как следует из теоретической кривой на рис. 2, глубина модуляции интенсивности люминесценции равна нулю. Полученные результаты показывают, что

по характеристикам ПС можно определить ориентацию неизвестных центров и сделать некоторые заключения об их природе.

6. Поглощаемая кристаллом мощность начинает осциллировать с расстоянием, если путем насыщения переходов, фотовыжигания центров или другим методом изменить естественное распределение концентраций центров по ориентациям. Результат таких воздействий эквивалентен отклонению главных осей тензоров ϵ и χ , что можно рассматривать как условие возникновения осцилляций. Стационарные ПС были сформированы на фотохимически образованных ЦО, ответственных за желтую люминесценцию MgF_2 . После записи такие структуры хорошо наблюдались в виде последовательности ярко светящихся слоев кристалла, облучаемого неполяризованным светом лампы накаливания через фиолетовый светофильтр.

7. Двумерные решетки на рис. 3 сформированы на ЦО в Al_2O_3 . Горизонтальные полосы образованы за счет описанного эффекта самоиндуцирования, а вертикальные — вследствие обычной интерференции. Видно, что изменение угла падения приводит к изменению периода Λ .

Литература

1. Шубников А.В. Основы оптической кристаллографии. М.: Изд-во АН СССР, 1958, с. 164.
2. Martynovich E.F. et al. Opt. Commun., 1985, 53, 257.

Научно-исследовательский институт прикладной физики
Иркутского государственного университета

Поступила в редакцию
18 февраля 1989 г.

После переработки
5 мая 1989 г.