

05.2; 06.3; 07

© 1991

ПИРОЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ  
В ИОННЫХ КРИСТАЛЛАХ

В.Т. С о т н и к о в, В.А. Г р и ц а н

В основе электрооптического эффекта Керра (ЭК) лежит поляризация изотропных кристаллов диэлектриков под действием внешнего электрического поля, в результате которой возникает анизотропия к прохождению внешнего оптического излучения, в частности, инфракрасного (ИК). ЭК широко используется для амплитудной модуляции излучения в схемах внешних модулирующих устройств, воздействующих на уже сформировавшееся ИК-излучения. Однако в литературе отсутствуют сведения о физических принципах модуляции теплового ИК-излучения (ТИ), позволяющих реализовать схему внутреннего модулирующего устройства, основанного на ЭК и непосредственно воздействующего на сам источник ТИ. Причиной этого может быть следующее.

Известно, что ЭК максимально проявляется при низких температурах, уменьшаясь с ростом температуры, как  $1/T$  [1], и при температурах свыше 500 К уже не наблюдается или сильно ослаблен, в то время как ТИ заметно начинает возрастать именно с этих температур. При этом температурные зависимости уменьшения ЭК и возрастания ТИ имеют одну и ту же природу – возрастание хаотических колебаний ионов в узлах кристаллической решетки, но направленность их противоположная.

В настоящей работе мы сообщаем о эффекте, названном нами пироэлектрооптическим (ПЭОЭ), т.е. взаимосвязи между внешним электрическим полем и интенсивностью ТИ, испускаемого ионными кристаллами, и о возможности этого эффекта для амплитудной модуляции ТИ. Этот эффект мы регистрировали в кристаллах  $A_1V_7$ ,  $A_2V_6$ , а также в кристаллах рубина. Общие закономерности ПЭОЭ представлены на примере кристаллов йодистого цезия, активированного натрием –  $CsJ(Na)$ . Выбор объекта исследования определялся тем, что  $CsJ(Na)$  является кристаллофосфором, обладающим в интервале температур 90–450 К интенсивной термолюминесценцией (ТЛ), и представляло интерес на одном объекте в широком интервале температур проследить влияние электрического поля на два вида собственного (внутреннего) излучения – ТЛ и ТИ.

Кристаллы  $CsJ(Na)$  с концентрацией активатора  $5 \cdot 10^{-2}$  моль.% вырезались по (100) в форме дисков диаметром 30 и толщиной 3 мм, полировались и отжигались путем их нагрева до 700 К с последующим медленным охлаждением. Возбуждение образцов осуществлялось в течение 10 мин при  $T = 77$  К сплошным светом

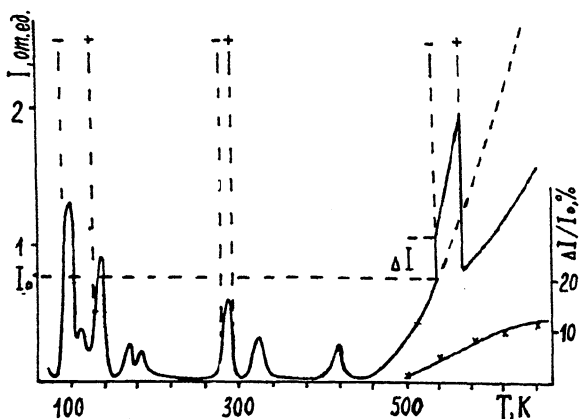


Рис. 1. Влияние электрического поля с  $E \sim 10^3$  В/см на термолюминесценцию, тепловое излучение кристаллов  $CsJ(Na)$  и температурная зависимость глубины модуляции  $\eta = \Delta I/I_0$ .

ультрафиолетового излучения от лампы ПРК-4. Для воздействия на образцы электрического поля использовалась схема, принятая в методе термостимулированного разряда конденсатора [2], в которой между тыльной стороной образца и подогревателем через слой слюды располагался плоский металлический электрод, на который от внешнего источника ЭДС подавался потенциал 350 В, а заземленная эмиттирующая поверхность являлась второй обкладкой конденсатора. Приемником ТИ и ТЛ служил ФЭУ-35А. Для уменьшения вклада рассеянного ТИ от самого подогревателя использовался коллиматор. Схема взаимного расположения образца и ФЭУ приведена в [3]. Измерения выполнены в вакууме  $10^{-4}$  Па.

На рис. 1 приведена типичная кривая ТЛ  $CsJ(Na)$  при скорости нагрева 0,3 град/с с периодическим наложением (длительностью несколько секунд) на образец электрического поля с  $E \sim 10^3$  В/см. В области температур 100–430 К наблюдаются известные для  $CsJ(Na)$  пики высвечивания при 100, 105, 135, 165, 180, 285, 320, 418 К; начиная с  $T > 475$  К, наблюдается монотонное нарастание фона, обусловленного ТИ. Как видно из этого рисунка, включение потенциала любой полярности с  $E \sim 10^3$  В/см не оказывает никакого влияния на интенсивность ТЛ, что соответствует результатам других исследований (в работах [4] было показано, что эффекты электрического поля начинают проявляться в ТЛ и радиолуминесценции кристаллов  $CsJ(Na)$  только в области сильных полей с  $E > 10^4$  В/см, при этом в пределах отдельного пика ТЛ это влияние носит монотонный характер). Однако в области температур, при которых регистрируется достаточно интенсивное ТИ ( $T \geq 500$  К), включение поля уже сказывается весьма заметно, это влияние тем сильнее, чем выше температура образца. Видно, что включение потенциала отрицательной

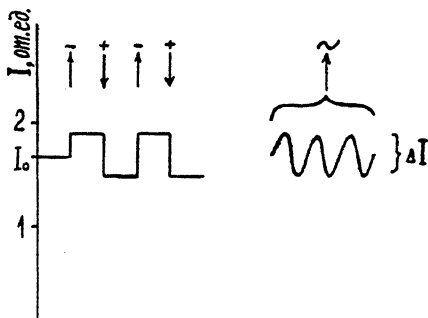


Рис. 2. Амплитудная модуляция теплового излучения кристалла  $CsJ (Na)$  знакопеременным напряжением прямоугольной и синусоидальной форм при постоянной температуре образца  $T = 600$  К.

полярности скачкообразно усиливает ТИ, а включение положительной полярности скачкообразно ее уменьшает. Эффект становится более наглядным, если на участке нарастания ТИ в какой либо точке заставить температуру. В этом случае изменение интенсивности ТИ во времени представляет собой прямую линию (рис. 2), и периодическое изменение направления поля с определенной частотой сопровождается амплитудной модуляцией ТИ с той же частотой.

Известно, что отношение амплитуды модулированного сигнала  $\Delta I$  к уровню исходного сигнала  $I_0$  называется глубиной модуляции  $\eta$ . При электрооптической или тепловой модуляции обычно  $\eta$  уменьшается с ростом температуры. Из рис. 1 следует, что в нашем случае  $\eta$  также не является постоянной величиной, но возрастает с ростом температуры. Следует отметить два важных с точки зрения эксперимента обстоятельства.

1. ТЛ кристалла  $CsJ (Na)$  ( $\lambda = 410$  нм) приходится на максимум спектральной характеристики ФЭУ-35А, в то время как ТИ ( $\lambda \approx 2$  мкм) приходится на край ее нарастания. Это различие в спектральной чувствительности ФЭУ к ТЛ и ТИ свидетельствует в пользу ПЭОЭ.

2. Исходный сигнал  $I_0$  с приемника ТИ даже при наличии коллиматора представляет собой суперпозицию излучений не только от исследуемого кристалла, на который воздействует электрическое поле, но и фона, преимущественный вклад в который дает подогреватель, расположенный за образцом. Пространственные размеры образца и подогревателя различаются, а оптические характеристики ТИ от них близки или совпадают. Однако амплитудная модуляция ТИ с использованием ПЭОЭ позволяет разделить сигналы, вызываемые объектом и фоном, и осуществить т.н. пространственную фильтрацию с КПД  $\sim 15-20\%$ , т.е. реализовать амплитудную

модуляцию, построенную по схеме внутреннего модулирующего устройства, воздействующего не на уже сформировавшееся ТИ, а на само излучающее тело.

Природу ПЭОЭ, по нашему мнению, можно объяснить следующим. Известно, что светимость абсолютно черного тела, находящегося в термодинамическом равновесии с окружающей средой, зависит от температуры как  $\sigma T^4$ , и такой внешний фактор, как электрическое поле, не может влиять на изотропность эмиссии ТИ. Однако отклонение от термодинамического равновесия и, в частности, наличие градиента температуры  $\vec{G}$  в излучающих объектах могут приводить к отклонению от известных закономерностей. В нашем случае при одностороннем нагреве кристалла  $CsJ(Na)$  с постоянной скоростью изменения температуры тыльной поверхности, находящейся в тепловом контакте с подогревателем, по толщине образца возникает  $\vec{G}$ , величина которого экспоненциально возрастает при  $T > 500$  К, что обусловлено уменьшением коэффициента теплопроводности в этой области температур. Наличие  $\vec{G}$  приводит к неравновесности фононного распределения [5], т.е. к появлению преимущественного направления колебаний ионов в узлах кристаллической решетки вдоль линии вектора  $\vec{G}$  и анизотропии эмиссии ТИ с максимумом плотности излучения в этом же направлении. Если теплоизлучающим объектом является ионный кристалл типа ШГК, то включение поля в области высоких температур, когда связь ионов с решеткой значительно ослаблена, приводит к дополнительному смещению ионов вдоль поля  $\vec{E}$ , вектор которого совпадает с линией вектора градиента температуры  $\vec{G}$ , т.е. перпендикулярно эмиттирующей поверхности. Включение отрицательного потенциала увеличивает амплитуду смещения отрицательных ионов и уменьшает амплитуду положительных. При изменении полярности приложенного потенциала — наоборот. Если учесть, что природа ТИ обусловлена не только колебаниями ионов в узлах решетки, но и тепловыми колебаниями связанных избыточных электронов, находящихся на внешних орбитах этих ионов, то корреляция между изменением ТИ и полярностью приложенного потенциала становится понятной.

Из изложенного следует, что для проявления ПЭОЭ необходимо три условия.

1. Наличие в узлах решетки ионов с противоположным знаком зарядов.
2. Наличие достаточно высоких температур, когда энергия связи ионов с решеткой значительно ослаблена.
3. Наличие градиента температуры и его совпадение с направлением внешнего электрического поля.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Горчаков В.А., Куцаенко В.В., Потопов В.Т. // Оптика и спектроскопия. 1989. Т. 67. № 3. С. 645–647.

- [2] Ждан А.Г., Сандомирский В.Б., Ожердов А.Д. // ФТП. 1968. Т. 2. В. 1. С. 11-18.
- [3] Сотников В.Т., Старжинский Н.Г. // ПТЭ. 1982. № 4. С. 248.
- [4] Григорьев В.А., Ляпидиевский В.К., Ободовский И.М., Симонов Б.Л. Сб. Монокристаллы, сцинтилляторы и органические люминофоры. Харьков, 1969. Вып. 5. С. 277-281; С. 313-315.
- [5] Зубарев Д.Н. Неравновесная статическая термодинамика. М.: Наука, 1971. 416 с.

НПО „Монокристаллреактив“,  
Харьков

Поступило в Редакцию  
7 июля 1991 г.