

УДК 621.383 : 537.226.82

Т. С. Дубровская, Е. П. Курьянович, В. В. Михневич, И. П. Потапенко,
С. Р. Сырцов, И. А. Цыбин

(Витебск)

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ ПИРОЭЛЕКТРИК — ЖИДКИЙ КРИСТАЛЛ

Представлены результаты исследования преобразователя изображения на основе структуры пироэлектрик — жидкий кристалл. Показано, что данная структура применима для диагностики ИК-лазеров. Получено изображение тест-объекта для диапазона длин волн среднего ИК-излучения.

Создание дешевых малогабаритных преобразователей изображения, чувствительных к тепловому излучению объектов ($\lambda = 10$ мкм), является важным для различных областей науки, техники и медицины. До настоящего времени успехи в данной области связаны в основном с созданием твердотельных преобразователей изображения на основе многоэлементных матричных систем [1]. Однако технология их изготовления довольно сложна, а стоимость велика. Разработанные к настоящему времени преобразователи на основе структур металл — диэлектрик — полупроводник — жидкий кристалл (МДП — ЖК) или фотополупроводник — жидкий кристалл эффективно функционируют лишь в области видимого и ближнего ИК-излучений ($\lambda = 1$ мкм) [2]. Продвижение в длинноволновую область сдерживается отсутствием подходящих материалов, чувствительных в этом диапазоне спектра, а узкозонные полупроводники типа $Cd_xHg_{1-x}Te$ трудно поддаются обработке и требуют для своей работы глубокого охлаждения, что исключает возможность применения ЖК. Поэтому необходимы поиски альтернативных путей решения проблемы. Так, в [3, 4] были исследованы характеристики «пирооптического» модулятора, основанного на совместном использовании пироэлектрического детектора и электрооптического модулятора света. Была также высказана идея использования пироэлектрика (ПЭ) в качестве материала для фоточувствительного слоя в жидкокристаллическом преобразователе [5—7]. Однако данные об экспериментальном исследовании характеристик таких преобразователей и о получении с их помощью изображения тепловых объектов в литературе отсутствуют.

В данной работе представлены результаты исследования преобразователя изображения для среднего ИК-диапазона на основе структуры пироэлектрик — жидкий кристалл (ПЭ — ЖК). Принципиальная схема такого преобразователя приведена на рис. 1.

Так как пироэлектрик не реагирует на постоянную во времени составляющую излучения, излучение от наблюдаемого объекта, сфокусированное оптической системой на поверхность пироэлектрика, должно периодически меняться. Процесс модуляции завершается образованием двумерного температурного рельефа $\Delta T(x, y)$ относительно температуры T_0 окружающей среды. Причем каждая точка изображения объекта на поверхности ПЭ адекватна потоку излучения от оптически связанной с ней точкой теплоизлучающего объекта. Изменение средней по толщине слоя температуры $\Delta T(x, y)$ приводит к образованию на пластине ПЭ рельефа нескомпенсированного заряда Q . По-

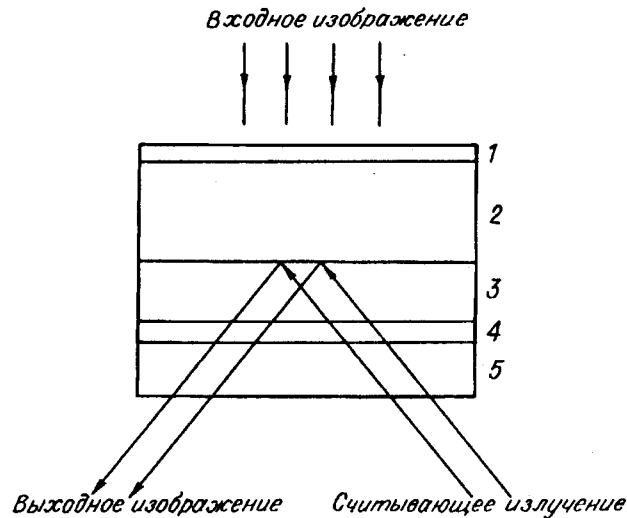


Рис. 1. Принципиальная схема преобразователя изображения:

1 — поглощающий электрод, 2 — пьезоэлектрический слой, 3 — жидкокристаллический слой, 4 — прозрачный электрод, 5 — подложка

тенциальный рельеф, возникающий на поверхности, обращенной к жидкокристаллическому слою, воспроизводит тепловое изображение объекта и приводит к изменению напряжения на слое жидкого кристалла ΔU . Это, в свою очередь, вызывает изменение его оптических свойств. В результате считывающее излучение, проходящее через слой ЖК, оказывается пространственно модулированным, т. е. происходит преобразование исходного теплового изображения в видимое глазом изображение.

Действие структуры ПЭ — ЖК в твердотельных преобразователях изображения можно рассматривать как систему двух каскадов преобразования входного оптического сигнала: $W_0 \rightarrow \Delta T \rightarrow \Delta U$ (пьезоэлектрический каскад) и $\Delta U \rightarrow W$ (ЖК-каскад). Действие ЖК-каскада в рассматриваемой структуре в принципе аналогично его работе в составе фотополупроводникового преобразователя [2]. Поэтому определяющим при оценках чувствительности структуры и нахождения величины ΔU является анализ действия пьезоэлектрического каскада. Ранее нами было показано [3], что в случае выполнения условия $2\pi ft \gg 1$ ($\tau = H/G$ — тепловая постоянная времени, H — теплоемкость пьезоэлектрического слоя, G — суммарный коэффициент теплопотерь, f — частота модуляции) и при интенсивности падающего излучения W_0 генерируемое на ЖК-слое напряжение определяется выражением

$$\Delta U = \begin{cases} \eta M_1 \rho a W_0 / d, & \omega \tau_e \ll 1, \\ \eta M_2 C_1 W_0 / \omega (C_1 + C_2), & \omega \tau_e \gg 1, \end{cases}$$

в котором $M_1 = \gamma / c_1$, $M_2 = \gamma / \epsilon \epsilon_0 c_1$ — критерии качества пьезоэлектрического материала [8], $\tau_e = R_1 (C_1 + C_2)$, d и c_1 — соответственно толщина и удельная объемная теплоемкость пьезоэлектрика. Из него следует, что для эффективного функционирования структуры, т. е. достижения максимального значения ΔU , необходимо использовать ЖК с большим значением удельного сопротивления ρ и максимально возможной толщиной ЖК-слоя (при сохранении, конечно, электрооптических характеристик структуры). С уменьшением толщины ПЭ-слоя чувствительность структуры увеличивается, достигая максимального значения при $C_1 \gg C_2$ (что на практике соответствует толщинам $d \ll 50$ мкм). Максимальная чувствительность структуры достигается при использовании в качестве материала для пьезоэлектрического слоя триглицинсульфата и триглицинфторбериллата [3]. Однако эти кристаллы относятся

к группе водорастворимых, что делает необходимым введение в структуру дополнительных защитных слоев, ухудшающих ее пороговые характеристики. К тому же кристаллы этой группы хрупки и трудно поддаются обработке. Поэтому в данной работе использовался LiTaO_3 , который, хотя и уступает по своим параметрам кристаллам триглицинсульфата, но негигроскопичен и слои из него толщиной менее 100 мкм могут быть получены достаточно большой площади ($S \geq 1 \text{ см}^2$).

Так как при низких интенсивностях падающего излучения напряжение, генерируемое ПЭ, невелико, чувствительность структуры существенным образом зависит от крутизны модуляционной характеристики ЖК-слоя. Кроме того, как отмечалось выше, ЖК должен обладать высоким удельным сопротивлением. Поэтому необходимо использование ЖК-слоев, работающих на основе ориентационных эффектов. В данной работе в качестве материала для ЖК-слоя, работающего на «твист-эффекте», использовался нематический жидкий кристалл ЖК-3251 (по классификации НИИОПИК) с добавкой холестерической фазы ($\Delta\epsilon = 10$, $\rho = 2 \cdot 10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $a = 10 \text{ мкм}$).

В качестве ориентирующих покрытий использовались тонкие пленки монокиси кремния, нанесенные методом косого напыления в вакууме. Полувольновое напряжение таких ЖК-слоев составляло $V = 0,2 \text{ В}$. На лицевую сторону пироэлектрика наносилось поглощающее покрытие, в качестве которого возможно использование тонких металлических пленок. Нами, в частности, использовались тонкие никелевые пленки (15 нм), которые, хотя и обладают несколько уменьшенным значением поглощательной способности ($\eta = 0,7$), однако прозрачны для видимого света (50—60 %), что позволяет использовать их и при работе структуры на «просвет». Отражение считывающего излучения осуществлялось от естественной границы раздела ПЭ — ЖК.

Эксперименты по получению изображения изображения тест-объекта проводились на установке, схема которой показана на рис. 2. В качестве источника ИК-излучения использовался CO_2 -лазер ($\lambda = 10,6 \text{ мкм}$, $W = 40 \text{ Вт}$). Интенсивность потока излучения задавалась ирисовой диафрагмой и оценивалась измерителем мощности. Модулированный квазипараллельный пучок излучения попал на тест-объект 3, тепловое изображение которого проецировалось на поверхность преобразователя б двухлинзовым германиевым объективом 4. Визуализация изображения осуществлялась потоком считывающего поляризованного излучения от осветителя 7. Излучение, прошедшее через поляризатор 8, отражалось от границы раздела ПЭ — ЖК и проходило через анализатор 9. Начальное смещение на ЖК-слое задавалось внешним генератором ($f_r = 1 \text{ кГц}$, $U = 3\text{—}10 \text{ В}$) и соответствовало середине вольт-контрастной характеристики структуры. Частота модуляции ИК-излучения составляла $f = 10 \text{ Гц}$.

Минимальная облученность, при которой возможно наблюдение изображения тест-объекта глазом, составляла $W_0 = (1\text{—}5) \cdot 10^{-3} \text{ Вт/см}^2$. Простран-

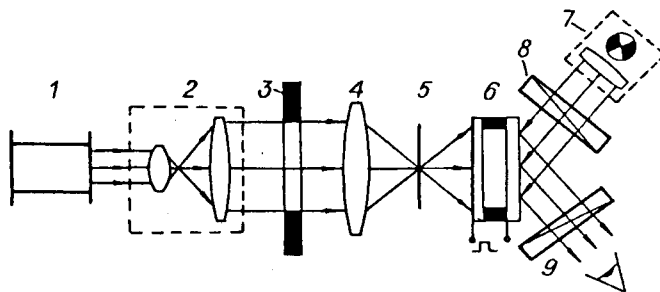


Рис. 2. Схема установки для проведения эксперимента:

1 — CO_2 -лазер, 2 — коллиматор, 3 — тест-объект, 4 — объектив, 5 — модулятор, 6 — структура ПЭ — ЖК, 7 — осветитель, 8 — поляризатор, 9 — анализатор

Рис. 3. Полученное изображение тест-объекта:
 $W_0 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/см}^2, f = 10 \text{ Гц}$

ственное разрешение структуры было при этом в пределах $R = 2\text{--}3 \text{ мм}^{-1}$, что также соответствует теоретическим оценкам. На рис. 3 представлено изображение тест-объекта, полученное при облученности $W_0 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/см}^2$. Разброс по чувствительности, наблюдаемый на эксперименте, обусловлен технологией изготовления и качеством сборки структуры.



Заключение. Проведенные в данной работе исследования подтвердили возможность создания преобразователя изображения на основе структуры ПЭ — ЖК и получения изображения при уровне облученности $W_0 = 10^{-3} \text{ Вт/см}^2$ для диапазона длин волн среднего ИК-излучения (8—14 мкм). Улучшение пороговых характеристик преобразователя возможно за счет использования как кристаллов группы триглицинсульфата (что, как отмечалось выше, технологически достаточно сложно), так и ЖК-слоев с $V = 0,1 \text{ В}$ (работающих, например, на супертвистовом эффекте). Однако в любом случае трудно надеяться на создание преобразователя с чувствительностью $\Delta T_{\min} = 1 \text{ К}$. Данная структура может найти применение в системах диагностики ИК-лазеров и при наблюдении горячих объектов, не требующих высокого пространственного разрешения. Использование преобразователей на основе структуры ПЭ — ЖК в системах наблюдения слабонагретых объектов возможно, по-видимому, лишь при введении в структуру дополнительных усилительных слоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Infrared Detectors and Arrays // SPIE.—1988.—Р. 930.
2. Васильев А. А., Касасент Д. К., Компанец И. Н., Парфенов А. В. Пространственные модуляторы света.—М.: Радио и связь, 1987.
3. Дубровская Т. С., Михневич В. В., Потапенко И. П., Сырцов С. Р. Сенситометрические характеристики модулятора света на основе структуры пироэлектрик — жидкий кристалл // Автометрия.—1991.—№ 4.
4. Turi L., Kalman P., Toth A. Pyrooptic converter, a new device for wavelength conversion of electromagnetic radiation // Ferroelectrics.—1989.—99.—Р. 239.
5. Вашурин П. В., Дергачев Д. Н., Компанец И. Н. и др. Пространственно-временной модулятор света на основе структуры «пироэлектрик — жидкий кристалл».—М., 1985.— (Препр. /ФИАН; 248).
6. Kalman P., Toth A. Pyrooptic converter based on a combination of pyroelectric and electrooptic effects // Ferroelectrics.—1987.—75.—Р. 173.
7. Петин Б. Ф. Твердотельный преобразователь изображения // Труды МВТУ.—1989.—79, № 519.
8. Лайнс М. Е., Гласс А. М. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы.—М.: Мир, 1982.

Поступила в редакцию 10 сентября 1992 г.