

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

07

Журнал технической физики, т. 61, в. 8, 1991

© 1991 г.

ОПТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫЕ ТРАНСПАРАНТЫ  
ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Ф. Л. Владимиров, Н. И. Плетнева, И. Е. Моричев, Т. О. Решетникова

Оптически управляемые транспаранты (ОУТ) находят широкое применение в системах когерентно-оптической обработки информации в качестве устройства ввода изображений [1]. Основное назначение ОУТ в подобных системах заключается в преобразовании некогерентного изображения в когерентное. В таких системах ОУТ одновременно осуществляет ввод изображения объекта и фона. В ряде случаев, когда объект перемещается относительно неподвижного фона, с целью повышения помехоустойчивости целесообразно подавлять неподвижный фон и вводить в систему (фурье-процессор либо коррелятор) изображение движущегося объекта.

Таковыми свойствами обладают известные ОУТ на основе структуры МДП—ЖК и ОУТ типа ПРИЗ [1]. ОУТ типа МДП—ЖК позволяют регистрировать объекты, движущиеся со скоростью от  $10^{-7}$  до  $10^5$  мм/с при чувствительности от  $10^{-5}$  до  $10$  Вт/см<sup>2</sup> соответственно. Для получения структуры МДП—ЖК, позволяющей выделять движущиеся объекты, необходимо формировать выпрямляющие барьеры на границе ФП, что не всегда представляется возможным.

ОУТ типа ПРИЗ обладают невысокой разрешающей способностью  $\sim 10$  пар лин./мм, максимальная регистрируемая скорость составляет 40 мм/с. Для питания ОУТ этого типа требуются напряжения порядка 3 кВ.

В настоящей работе предлагается устройство на основе структуры фотопроводник—диэлектрик—жидкий кристалл (ФП—Д—ЖК), позволяющее выделять изображение только движущихся объектов, приводятся расчеты, описывающие влияние параметров элементов на характеристики ОУТ типа ФП—Д—ЖК, а также представлены результаты экспериментального исследования характеристик ОУТ, в котором в качестве ФП использовался халькогенидный стеклообразный полупроводник системы селен—мышьяк.

Предлагаемое устройство представляет собой многослойную структуру, заключенную между двумя стеклянными подложками, на внутренние стороны которых нанесены прозрачные проводящие покрытия. На одну из подложек нанесен слой ФП (рис. 1). На слой ФП нанесен слой ФП диэлектрика. Между слоем диэлектрика и другой подложкой находится слой ЖК. Ориентация ЖК задается ориентирующими покрытиями, нанесенными на ограничивающие ЖК поверхности. Толщина слоя ЖК задается прокладками. Эквивалентная электрическая схема описанной структуры представлена на рис. 1, б.

Работает устройство следующим образом. К прозрачным электродам прикладывается напряжение  $U_0$ , что приводит к заряду емкости  $C_g$  (рис. 1, б) с постоянной времени  $\tau_r = C_g (R_x + R_\phi^2)$ . После того как емкость  $C_g$  зарядится до уровня  $U_0$ , внешний источник отключается, электроды закорачиваются и начинается разряд емкости  $C_g$  через сопротивления слоев ФП и ЖК. По мере разряда емкости  $C_g$  напряжение на слое ЖК  $U_x$  будет уменьшаться

$$U_x = \frac{U_0}{1 + \rho_x / \sigma_\phi^2} e^{-t/\tau_r}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\pi}$ ,  $\sigma_{\Phi}^T$  — проводимости ЖК и ФП (без засветки);  $p = d_{\Phi}/d_{\pi}$ ,  $d_{\Phi}$ ,  $d_{\pi}$  — толщины слоев ФП и ЖК;  $t_p$  — время разряда слоя диэлектрика.

Если в момент выключения напряжения  $U_{\pi} > U_n$  ( $U_n$  — пороговое напряжение используемого электрооптического эффекта), то в слое ЖК возникает электрооптический отклик, который будет релаксировать за время  $t_p^* = t_p^*$  ( $U_{\pi} = U_n$ ), где

$$t_p^* = -\tau_p \ln \frac{U_n}{U_0} (1 + p\sigma_{\pi}/\sigma_{\Phi}^T), \quad (2)$$

Проецирование на слой ФП нестационарного изображения после того, как начальное изображение релаксировало ( $t_p \gg t_p^*$ ), приводит к возрастанию тока разряда и, следовательно, к локальному возрастанию напряжения на слое ЖК. Максимальное значение напряжения на слое ЖК будет равно

$$U_{\pi}^M = \frac{U_0 e^{-t_p/\tau_p}}{1 + p\sigma_{\pi}/\sigma_{\Phi}^T}, \quad (3)$$

где  $\sigma_{\Phi}^c = \sigma_{\Phi}^T + aI^{\alpha}$ ;  $a$ ,  $\alpha$  — параметры ФП,  $I$  — интенсивность записывающего света.

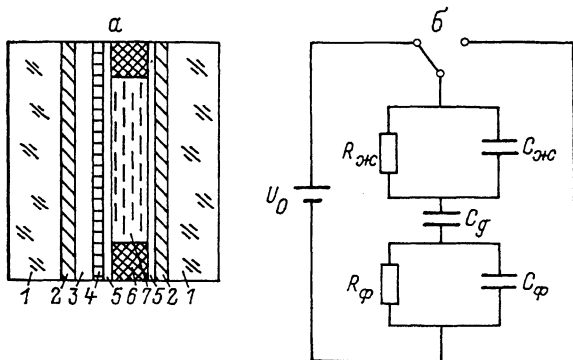


Рис. 1.

$a$  — схема оптически управляемого транспаранта на основе структуры ФП—ЖК: 1 — стеклянные подложки, 2 — прозрачные проводящие покрытия, 3 — слой ФП, 4 — дополнительный слой высокоомного полупроводника, 5 — ориентирующие покрытия, 6 — диэлектрические прокладки, 7 — слой ЖК; б — эквивалентная электрическая схема структуры ФП—Д—ЖК.

Используя зависимости (1)–(3), нетрудно проанализировать влияние параметров элементов на основные характеристики исследуемого ОУТ [2]. Так, из (3) следует, что чувствительность ОУТ  $I_n$  определяется параметрами ЖК — проводимостью  $\sigma_{\pi}$ , напряжением насыщения  $U_n$ ; параметрами ФП — темновой проводимостью  $\sigma_{\Phi}^T$ , фоточувствительностью; напряжением питания  $U_0$ , временем разряда  $t_p$  и постоянной времени  $\tau_p$

$$I_n^{\alpha} = \frac{p\sigma_{\pi}}{a \left( \frac{U_0}{U_n} e^{-t_p/\tau_p} - 1 \right)} - \frac{\sigma_{\Phi}^T}{a}. \quad (4)$$

Существенной характеристикой описываемой структуры является время существования изображения движущегося объекта  $\Delta t$ , поскольку это время определяет диапазон регистрируемых скоростей изображения объекта. Интервал времени  $\Delta t$  ограничивается временем релаксации накопленного заряда на емкости  $C_g$  с постоянной времени  $\tau_c = C_g (R_{\pi} + R_{\Phi}^c)$  ( $R_{\Phi}^c$  — сопротивление слоя ФП при засветке). Напряжение на слое ЖК будет релаксировать с той же постоянной времени

$$U_{\pi} = \frac{U_0 e^{-t_p/\tau_p} \cdot e^{-\Delta t/\tau_c}}{1 + p\sigma_{\pi}/\sigma_{\pi}^c}. \quad (5)$$

Электрооптический отклик будет иметь место в течение времени  $\Delta t^*$ , пока напряжение на слое ЖК не релаксирует до уровня порогового напряжения используемого электрооптического эффекта

$$\Delta t^* = -\frac{\tau_c}{\tau_r} t_p - \tau_c \ln \frac{U_{п}}{U_0} \left(1 + \frac{P_{эж}}{c_{\phi}^2 + aI^2}\right). \quad (6)$$

Из (5) и (6) следует, что контраст регистрируемого изображения будет зависеть от скорости перемещения изображения объекта в плоскости фотопроводника. Максимальная регистрируемая скорость будет зависеть от скорости перемещения изображения объекта в плоскости фотопроводника. Максимальная регистрируемая скорость будет определяться временем включения  $t_{вкл}$  электрооптического отклика структуры и размерами объекта  $l$

$$v_{\max} = l/t_{вкл}, \quad (7)$$

где  $t_{вкл} = -\tau_c \ln[1 - (U_{п}/U)(1 + P_{эж}/aI^2)]$ .

Для размеров объекта в плоскости ФП 0.1 мм и времен включения порядка 10 мс максимальная регистрируемая скорость составляет порядка

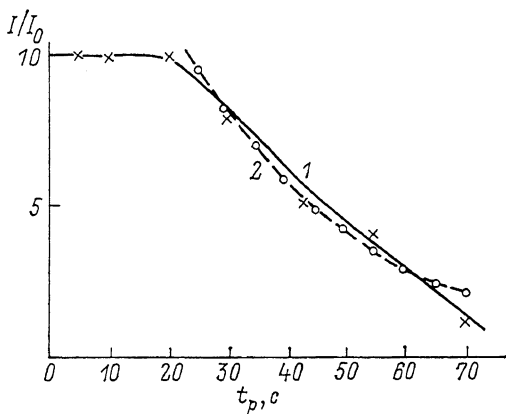


Рис. 2. Зависимость относительного электрооптического отклика от времени задержки светового импульса.

1 — экспериментальная кривая, снятая при условиях  $U=20$  В,  $v=5.1$  мм/с,  $P=2 \cdot 10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup>;

2 — теоретически рассчитанная кривая.

10 мм/с. Минимальная регистрируемая скорость будет ограничиваться временем  $\Delta t^*$ , в течение которого существует изображение,

$$v_{\min} = l/\Delta t^*.$$

Из оценок по (6) следует, что величина  $\Delta t^*$  составляет порядка 1 с. Тогда при  $l=0.1$  мм минимальная регистрируемая скорость будет составлять порядка 0.1 мм/с.

В настоящей работе исследовались характеристики ОУТ, в котором в качестве ФП использовались халькогенидные стеклообразные полупроводники системы селен—мышьяк [3], а в качестве ЖК — нематический материал с положительной анизотропией диэлектрической проницаемости ( $\Delta \epsilon = +12.0$ ,  $\Delta n = 0.22$ ,  $\Delta t = 0 - 59$  °С). Для модуляции света использовался твист-эффект. Слой диэлектрика (Д) был выполнен из чередующихся слоев сернистого цинка и фтористого магния и одновременно служил диэлектрическим зеркалом. Толщины слоев ФП, ЖК, Д составляли соответственно 1, 5, 2 мкм.

С целью проверки представленной модели, описывающей функционирование ОУТ, была исследована экспериментально и сопоставлена с теоретическими результатами зависимость относительного электрооптического отклика от времени задержки светового импульса после заряда диэлектрика. Электрооптический отклик в первом приближении линейно связан с напряжением на слое ЖК. Поэтому измерение электрооптического отклика эквивалентно измерению напряжения на слое ЖК. Из формулы (5) следует, что максимальное значение напряжения на слое ЖК экспоненциально зависит от времени задержки светового импульса  $t_p$ . Зависимость электрооптического отклика  $I/I_0$  от  $t_p$ , рассчитанная по (5) с учетом того, что  $I/I_0 \sim U_x$  ( $\tau = 30$  с), представлена на рис. 2 (кривая 1). На этом же рисунке представлена соответствующая экспериментальная зависимость. В интервале времен от 0 до 20 с  $I/I_0$  не зависит от  $t$ . Это связано с тем, что в указанном интервале напряжение на слое ЖК больше напряжения насыщения используемого электрооптического эффекта. В интервале времен от 20 до 70 с при указанных на рис. 2 параметрах структура сохраняет чувствительность к нестационарному записываемому излучению. Хорошее со-

ответствие экспериментальных и теоретических результатов в указанном интервале свидетельствует о справедливости предложенного описания структуры ФП—Д—ЖК.

В настоящей работе исследовались основные характеристики предлагаемого устройства: чувствительность, временные характеристики и разрешающая способность. Основной экспериментальной зависимостью, определяющей чувствительность устройства, является модуляционная кривая — зависимость интенсивности считывающего света от интенсивности записывающего.

Из модуляционной кривой (рис. 3) следует, что пороговая чувствительность ОУТ составляет  $2.0 \cdot 10^{-7}$  Вт/см<sup>2</sup>, а полный контраст достигается при интенсивности  $1.5 \cdot 10^{-5}$  Вт/см<sup>2</sup> в спектральной области 400—450 нм.

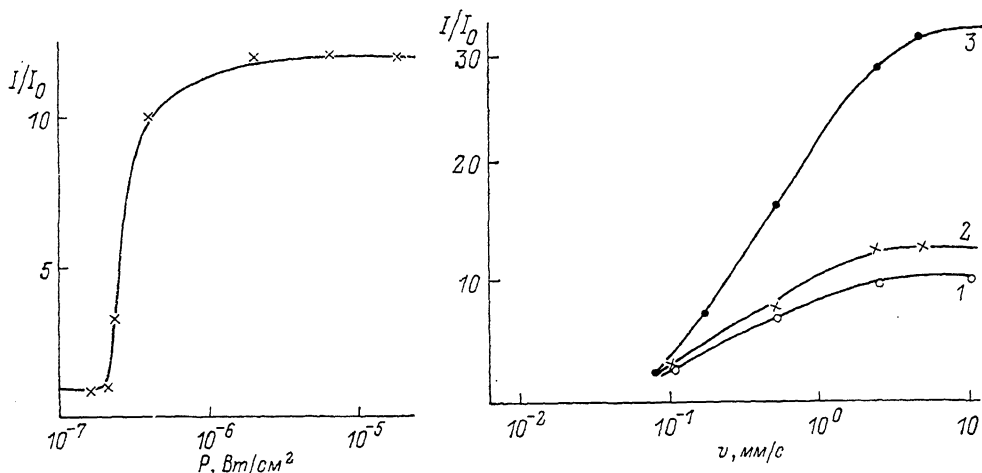


Рис. 3. Модуляционная характеристика системы ФП—Д—ЖК.

Рис. 4. Зависимость контраста изображения  $K$  от скорости перемещения изображения объекта.

$U$ , В: 1 — 14, 2 — 20, 3 — 40.

Важным параметром предлагаемого устройства является диапазон регистрируемых скоростей, для определения которого измерялась зависимость контраста изображения  $K$  от скорости перемещения изображения объекта в плоскости ФП (рис. 4). Из этих зависимостей следует, что минимальная регистрируемая скорость ( $U=14$  В;  $K=2:1$ ) составляет 0.1 мм/с и ограничивается временем релаксации напряжения на слое ЖК. Скорость перемещения изображения объекта в плоскости ФП, при которой достигается максимальный контраст, зависит от управляющего напряжения: так, при  $U=14$  В эта скорость составляет  $\sim 1.5$  мм/с, а при  $U=40$  В —  $\sim 4.5$  мм/с, что соответствует ранее полученным оценкам. Как отмечалось выше, максимальная регистрируемая скорость ограничивается временем включения структуры и составляет порядка 10 мм/с.

Разрешающая способность ОУТ определялась по стандартной методике и в диапазоне регистрируемых скоростей от 0.1 до 5 мм/с составляла порядка 17 пар лин./мм.

В заключение следует отметить, что по своим характеристикам разработанные ОУТ соответствуют требованиям ряда систем когерентно-оптической обработки информации и, по-видимому, могут в них успешно использоваться в качестве устройства ввода, выполняя при этом функцию подавления стационарного фона.

#### Список литературы

[1] Васильев А. А., Касасент Д., Компанец И. Н. и др. // Пространственные модуляторы света. М.: Радио и связь, 1987. С. 260—303.

- [2] *Владимиров Ф. Л., Моричев И. Е., Плетнева Н. И.* // Опт.-мех. пром-сть. 1985. № 5. С. 1—3.
- [3] *Владимиров Ф. Л., Моричев И. Е., Плетнева Н. И.* и др. // Опт.-мех. пром-сть. 1985. № 6. С. 6—7.

Поступило в Редакцию  
25 января 1990 г.  
В окончательной редакции  
30 ноября 1990 г.

## ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАЦИИ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МИШЕНЯХ ИМПУЛЬСНЫМИ ПРОТОННЫМИ ПУЧКАМИ

*М. Д. Бавижев, В. Л. Бурликов, С. А. Воробьев, В. Н. Забаев,  
А. В. Каргапольцев, В. И. Симанчук*

В ранее проведенных исследованиях, посвященных изучению процессов взаимодействия пучков тяжелых заряженных частиц с веществом конденсированных сред, было показано, что основными каналами трансформации энергии вплоть до энергии частиц  $< 1000$  МэВ являются ионизационные потери и упругие столкновения частиц с ядрами вещества мишени [1].

В зоне взаимодействия с веществом мишени энергия, передаваемая частицами пучка, приводит к образованию области повышенной температуры и формированию поля термоупругих динамических напряжений, разгрузка которых идет путем излучения из зоны возбуждения акустических волн. При регистрации упругих волн, генерируемых импульсными пучками заряженных частиц, наибольшее распространение получили различные типы акустических преобразователей, например пьезоэлектрические преобразователи.

Экспериментальные исследования по генерации акустических колебаний тяжелыми заряженными частицами (протоны, ионы) в основном проведены для жидких сред. Так, в рамках проекта «Дюмаид» исследовались акустические эффекты протонных пучков при их прохождении в водных мишенях [2].

В то же время мал объем исследований, посвященных изучению акустических эффектов протонных пучков, взаимодействующих с твердотельными мишенями. Кроме того, они в основном посвящены теоретическому анализу различных механизмов генерации акустических колебаний [3]. Количество же публикаций, связанных с исследованиями пространственно-временной структуры генерируемых акустических импульсов, с изучением влияния параметров пучка (длительности импульса тока, энергии частиц, геометрии пучка и т. д.), теплофизических и упругих характеристик среды на форму и амплитуду акустических импульсов, крайне ограничено. Значение всех этих величин необходимо для разработки методик диагностики параметров пучков заряженных частиц.

Для изучения особенностей формирования акустического излучения, возникающего при взаимодействии импульсного пучка протонов с твердотельными мишенями, и его пространственно-временной структуры нами были проведены экспериментальные исследования на линейном ускорителе протонов И-100 Института физики высоких энергий (г. Протвино). Исследования проводились в широком диапазоне энергий, длительности импульса и плотности тока пучка заряженных частиц. Параметры использовавшегося ускорителя протонов были следующие: энергия частиц 37,8, 72, 100 МэВ; плотность потока частиц в импульсе  $1 \cdot 10^{10}$ — $1,5 \cdot 10^{11}$  част./см<sup>2</sup>; длительность импульса тока 0,3—60 мкс.

Экспериментальная установка, использовавшаяся при проведении исследований, конструкция широкополосного детектора акустического излучения