

64 индивидуальных электрода, находящихся с обеих сторон от общего электрода. Индивидуальные электроды шириной 100 мкм расположены на расстоянии 300 мкм друг от друга. Общий электрод шириной 100 мкм нанесен на слой диэлектрика  $\text{SiO}_2$  и имеет электрический контакт с ЦТСЛ керамической пластиной только в области апертуры СК. Обе пластины совмещались таким образом, что СК размером  $100 \times 100$  мкм располагались в шахматном порядке с расстоянием между СК, равным 100 мкм. Общая емкость линейного УТ составляла 128 бит.

Первоначально для определения уменьшения взаимовлияния электрических полей соседних СК исследовался контраст линейного УТ с геометрией электродов на рис. 2, б, но без диэлектрического слоя. Кривая 4 на рис. 3 характеризует значения контраста  $K$  с учетом влияния электрических полей двух соседних СК. Наблюдаемое падение  $K$  до 24 при  $\tau = 10$  мкс по сравнению с данными кривой 2 рис. 3 вызвано уменьшением расстояния между СК с 150 до 100 мкм. Эффективность применения диэлектрического слоя представлена на кривой 5 рис. 3. При длительности управляющего импульса 100 мкс контраст линейного УТ с учетом паразитного влияния двух соседних СК составляет не менее 85.

Сложность оптической схемы для формирования щелевого светового пучка, присущую линейным УТ с квадратной апертурой СК, можно устранить при использовании транспарантов со щелевой апертурой СК [4]. При этом увеличивается оптическая эффективность устройства и за счет уменьшения влияния неоднородностей ЦТСЛ керамической пластины снижается разброс глубины модуляции света по полю линейного УТ. Исследованный в работе линейный УТ со щелевой апертурой СК имел 33 металлических электрода шириной 125 мкм и длиной 10 мм. Электроды располагались параллельно друг другу на одной стороне ЦТСЛ керамической пластины на расстоянии 125 мкм. Включение каждого из 32 СК осуществлялось при подаче разности потенциалов на два соседних электрода. Такая конструкция УТ без общего электрода несколько усложняет электронный блок управления за счет необходимости специальной кодировки управляющих сигналов на 33 электродах, однако позволяет получить более высокий оптический контраст. Увеличение контраста происходит за счет частичного экранирования электродами электрических полей соседних СК и вследствие этого снижения уровня частичного возбуждения невключенных СК.

Зависимость оптического контраста  $K$  линейного УТ со щелевой апертурой СК от длительности управляющих импульсов  $\tau$  представлена на рис. 3 (кривая б). Кривая построена для наихудшего случая, учитывающего уменьшение контраста  $K$  под действием электрических полей двух соседних включенных СК. Значения оптического контраста составили более 100 в диапазоне длительностей импульсов от  $10^{-3}$  до  $10^{-6}$  с.

В заключение авторы выражают благодарность В. И. Ковалевскому и В. Б. Залескому за работу по изготовлению управляемых транспарантов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Cutchen J. T., Harris J. O., Laguna G. R. PLZT Electrooptic Shutters: Applications.— Appl. Opt., 1975, vol. 14, N 8, p. 1866.
2. Грачева Г. Г. и др. Одномерный пространственный модулятор света на основе ЦТСЛ-керамики.— Микроэлектроника, 1978, т. 7, вып. 3, с. 279.
3. Butter C. D., Lee T. C. Thermoplastic Holographic Recording of Binary Patterns in PLZT Line Composer.— IEEE Trans. on Comput., 1975, vol. C-24, N 4, p. 402.
4. Veno K., Saku T. PLZT Spatial Light Modulator for a 1-D Hologram Memory.— Appl. Opt., 1980, vol. 19, N 1, p. 164.

*Поступило в редакцию 13 января 1981 г.*

УДК 621.378.001

А. Н. КУЗНЕЦОВ, Л. П. ПОРОХ, Б. В. УЛЬЯНОВ  
(Москва)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КРАЕВОГО ЭФФЕКТА В МАТЕРИАЛЕ ЦТСЛ ДЛЯ СОЗДАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ТРАНСПАРАНТОВ

В настоящее время одним из перспективных материалов для создания электрически управляемых транспарантов (ЭУТ) является электрооптическая керамика системы цирконата — титаната свинца, легированного лантаном (ЦТСЛ) [1]. Среди раз-

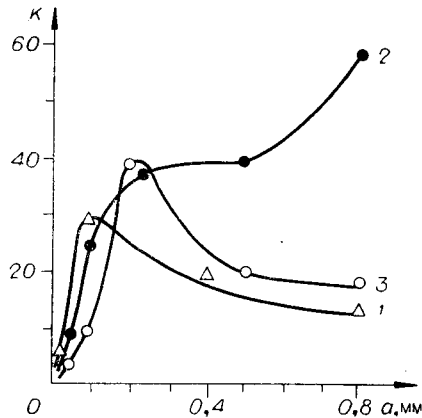


Рис. 1. Зависимость контрастности  $K$  от ширины электродов  $a$ :

1 — непрозрачные, 2 — прозрачные ( $\varphi = 45^\circ$ ), 3 — прозрачные электроды ( $\varphi = 0^\circ$ ).

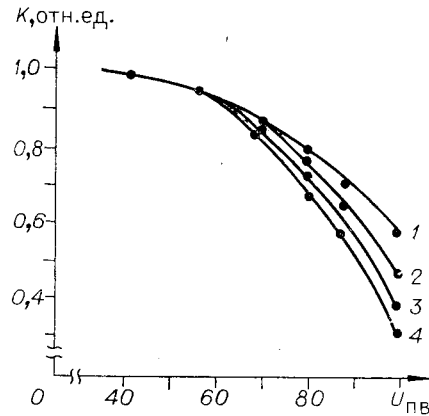


Рис. 2. Влияние эффекта накопления на контрастность  $K$  при воздействии на элемент 100 импульсов полувыборки амплитудой  $U_{пв}$  и длительностью  $\tau$ :

1 —  $\tau = 6$ , 2 —  $\tau = 8$ , 3 —  $\tau = 15$ , 4 —  $\tau = 20$  мкс.

нообразия электрооптических эффектов, используемых для модуляции оптического излучения в ЭУТ на основе ЦТСЛ, можно выделить так называемый краевой эффект, основанный на пьезоэлектрических и упругооптических свойствах данного материала [2, 3]. Конструктивно ЭУТ на основе краевого эффекта представляет собой пластину ЦТСЛ, на плоскостях которой размещены полосовые электроды, образующие матричную систему.

До сих пор исследования данных устройств ограничивались в основном изменением некоторых параметров отдельных экспериментальных образцов. Целью настоящей работы — более детальное изучение краевого эффекта, в частности выяснение влияния геометрии электродов на контрастность, обеспечиваемую ЭУТ, динамики процесса переключения элементов ЭУТ, а также эффекта накопления.

Для переключения элементов ЭУТ в данной работе использовался перевод материала из электрически поляризованного (ЭП) в термически деполяризованное (ТД) состояние и обратно. Эксперименты проводились с образцами из материала ЦТСЛ состава 8/65/35 в виде пластинок толщиной  $l = 0,2$  мм. На плоскости пластинок методом фотолитографии наносились полосовые электроды. Экспериментальная установка содержала источник монохроматического излучения (ЛГ-38 с длиной волны света  $\lambda = 0,63$  мкм), луч света которого расширялся до необходимого диаметра и проходил через скрещенные поляризатор и анализатор. Между ними размещался исследуемый образец. Изображение переключаемого элемента с помощью объектива проецировалось на входную апертуру фотоприемника (ФЭУ-68). Переключение элемента между ЭП- и ТД-состояниями проводилось по методике, описанной в [4].

Исследовалось влияние на контрастность ширины полосовых электродов, а также конфигурации отдельного электрода. При этом использовались как непрозрачные алюминиевые, так и прозрачные (пленки  $\text{In}_2\text{O}_3\text{—SnO}_2$ ) электроды. Контрастность определялась как отношение интенсивностей света, проходящего через элемент, находящийся в открытом (ЭП) и закрытом (ТД) состояниях. Результаты измерения зависимости контрастности  $K$  от ширины полосовых электродов  $a$  представлены на рис. 1. В случае непрозрачности электродов (кривая 1) для обеспечения максимальной контрастности оси поляризатора и анализатора были ориентированы параллельно электродным полосам. Как видно, в этом случае наблюдается довольно резкий максимум зависимости  $K$  от  $a$ , соответствующий ширине электрода, примерно равной толщине пластины. Максимальная величина контрастности достигала значения 30:1.

Более эффективно модуляция света осуществляется при использовании прозрачных электродов, так как в этом случае свет проходит не только вблизи, но и непосредственно через электроды. По этой же причине ориентация поляризатора и анализатора уже не является столь критичной. Измерения зависимостей  $K(a)$  проводились при двух ориентациях электродных полос и осей поляризаторов: параллельной (угол  $\varphi$  между ними равен нулю) и диагональной ( $\varphi = 45^\circ$ ). Результаты, представленные на рис. 1 (кривые 2 и 3), показывают, что, как и в случае непрозрачных электродов ( $\varphi = 0^\circ$ ), наблюдается максимум в зависимости  $K(a)$  при значениях  $l \approx a$ . Однако при  $\varphi = 45^\circ$  контрастность достигает больших величин, что, по-видимому, объясняется большей деформацией материала в областях под электродами, чем между ними.

Таблица 1

Номер элемента	1—1	2—2	3—3	4—4	1—2	1—3	1—4	2—3	2—4
Контрастность	92	66	48	20	76	56	50	48	46

Определение влияния на контрастность конфигурации электродов производилось путем их разбиения на ряд полос, разделенных промежутками. В случае прозрачных электродов они брались общей шириной  $a=0,3$  мм. При этом электрод 1 представлял собой сплошную полосу, электрод 2 — полосу с разрезом посередине шириной 0,03 мм, электрод 3 — три полосы по 0,08 мм, разделенные промежутками шириной 0,03 мм. Обозначим элемент, расположенный на пересечении двух электродов 1, как 1—1, на пересечении электродов 1 и 2, как 1—2 и т. д. Результат измерения (при  $\varphi=0^\circ$ ) контрастности представлен в табл. 1. Как видно, наибольшую контрастность при данном отношении общей ширины электродов к толщине пластины обеспечивают сплошные электроды.

В случае непрозрачных электродов разбиение их на отдельные полосы оказывается более эффективным, чем применение сплошных полосовых электродов. Это связано с тем, что свет проходит не только в областях вне электродов, но и непосредственно через область пересечения электродов между полосами. Измерения контрастности проводились на образцах с электродами следующей конфигурации: электрод 1 сплошной шириной 0,3 мм, электрод 2 со щелью посередине шириной 0,22 мм, электрод 3 — три полосы шириной по 0,03 мм, разделенные промежутками по 0,105 мм. Результаты представлены в табл. 2. Обозначения элементов здесь те же, что и в случае прозрачных электродов. Как видно из табл. 2, разбиение электродов на полосы позволяет значительно увеличить контрастность.

Как известно, в матричной системе существует так называемый кросс-эффект [5]. Кроме того, в ЭУТ на основе ЦТСЛ существует эффект накопления: материал «запоминает» промежуточные состояния поляризации, в которые он переводится при воздействии помехи. Результатом этого эффекта может быть то, что при воздействии на отдельный элемент достаточно большого числа импульсов помехи (это происходит при большой емкости ЭУТ) может произойти практически полное стирание записанной в этом элементе информации. Для исследования эффекта накопления на элемент, находящийся в выключенном ТД-состоянии, подавались импульсы напряжения, имитирующие помеху. При этом происходило просветление (частичное включение) этого элемента, что эквивалентно уменьшению контрастности. На рис. 2 для примера представлена величина контрастности при воздействии на элемент 100 импульсов помехи в зависимости от их амплитуды.

Исследования скорости переключения элемента из ЭП- в ТД-состояние с помощью переменного поля показали [4], что время переключения составляет от десятков до сотен миллисекунд. При этом более предпочтительно использование металлических электродов, так как в этом случае их омическим сопротивлением можно пренебречь и все тепло будет выделяться лишь в переключаемом элементе. Так, при величине сигнала 15 В и частоте переменного поля 10 МГц получено время переключения  $\sim 20$  мс. Таким образом, переключение из ЭП- в ТД-состояние происходит значительно медленнее, чем обратный процесс, и, кроме того, оно связано со значительными затратами энергии.

Проведенные исследования краевого эффекта в материале ЦТСЛ 8/65/35 позволяют сделать следующие выводы. Наиболее эффективно модуляция осуществляется в случае, когда ширина электродных полос близка к толщине пластины ЦТСЛ. При этом предпочтительнее использование прозрачных электродов, а в случае использования непрозрачных — их разбиение на ряд полос, разделенных промежутками, через которые может проходить излучение. Переключение отдельного элемента ЭУТ может быть произведено за время  $\sim 10^{-6}$  с при соответствующей амплитуде импульсов управляющего напряжения. Чтобы свести к минимуму уменьшение контрастности за счет действия кросс-эффекта и эффекта накопления, необходимо выбирать оптимальные соотношения между длительностью и амплитудой управляющих импульсов. Использование для стирания информации переключения материала пластины в ТД-состояние может применяться в устройствах, где время цикла записи — стирание превышает  $\sim 50$  мс. Для более быстродействующих устройств необходимо переключать элементы либо в ЭД-состояние, либо в состояние, при котором направление вектора электрической поляризации материала совпадает с направлением распространения света.

Таблица 2

Номер элемента	1—1	2—2	3—3	1—2	1—3	2—3
Контрастность	26	70	40	45	40	58

## ЛИТЕРАТУРА

1. Компанец И. Н. Управляемые транспаранты.— Зарубеж. радиоэлектроника, 1977, № 4.
2. Drake M. D. PLZT Matrix-Type Block Data Composers.— Appl. Opt., 1974, vol. 13, p. 347.
3. Климов И. И. и др. Исследования по созданию матрично-адресуемого управляемого транспаранта на основе ЦТСЛ-керамики.— Квант. электроника, 1977, т. 4, № 11.
4. Жаботинский В. А., Ульянов Б. В., Яшин Э. М. Переключение электрооптического элемента на основе сегнетокерамики ЦТСЛ высокочастотным полем.— Автотметрия, 1979, № 3.
5. Плужников В. М., Семенов В. С. Пьезокерамические твердые схемы. М.: Энергия, 1971.

Поступило в редакцию 9 апреля 1980 г.;  
окончательный вариант — 16 октября 1980 г.

УДК 621.382

В. М. ЕГОРОВ, Э. Г. КОЦОВ  
(Новосибирск)

### ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗЕЙ В ОПТИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ, ОСНОВАННЫХ НА МОДУЛЯЦИИ СВЕТОВОГО ПОТОКА

Ранее были описаны функционально полные логические элементы, в которые логические сигналы передаются по оптическим каналам связи и которые содержат электрооптический модулятор света  $M$ , фотоэлектрический преобразователь  $F$  и накопитель энергии  $C^*$ .

Функционирование элемента основано только на одном преобразовании энергии, передача информации от одной подложки к другой осуществляется путем проекции одной матрицы на другую с помощью общего для всей матрицы источника света. Указанная элементная база основывается на современной микроэлектронной технологии с введением одной новой компоненты — тонкопленочного модулятора света.

В настоящей работе рассматриваются особенности организации связей между отдельными цифровыми вычислительными устройствами, в которых обработка информации осуществляется с использованием оптических каналов. Этот вопрос не является тривиальным, поскольку волновая природа света накладывает ряд ограничений на конструкцию как отдельного элемента, так и всего устройства. В частности, протяженность оптического канала связи  $h$  (расстояние между подложками) и геометрические размеры окна модулятора  $a$  должны быть связаны следующим соотношением:  $a \geq 3\sqrt{h\lambda}$  ( $\lambda$  — длина световой волны), выполнение которого дает возможность исключить взаимное влияние соседних элементов. Из указанного соотношения и требований микроминиатюризации следует невозможность практического использования традиционных оптических устройств (линз, призм и т. п.) и в то же время необходимость уменьшения величины  $h$ , т. е. необходимость высокой плотности объемной упаковки элементов и их структурной однородности.

На рис. 1, а представлена блок-схема устройства для обработки цифровой оптической информации, состоящего из совокупности  $n$  матричных схем, нанесенных на  $n$  подложек, находящихся на минимально возможном расстоянии друг от друга. Для передачи информации без потерь с первой подложки (входного транспаранта) до  $n$ -й подложки необходимо, чтобы окно модулятора света имело линейные размеры не менее  $3\sqrt{nh_1\lambda}$  ( $h_1$  — толщина подложки). Тогда объемная плотность элементов  $N_V = 1/144 nh_1\lambda$  (в предположении, что расстояние между элементами  $4a$ ) и общее число элементов устройства при увеличении числа подложек не возрастает и равно  $L^2/144 h_1\lambda$ , где  $L$  — линейные размеры подложки (в частности, для  $h_1 = 10^{-2}$  см,  $L = 10$  см,  $\lambda = 0,6 \cdot 10^{-4}$  см,  $N_V \approx 10^6$  см $^{-3}$ ). Таким образом, увеличение функциональных возможностей устройства за счет введения каждой дополнительной матричной схемы должно сопровождаться увеличением линейных размеров подложки

\* Косцов Э. Г., Мишин А. И. Особенности построения оптических цифровых вычислительных машин.— Микроэлектроника, 1977, т. 6, вып. 2, с. 139—151.