

А. В. ГУК, В. Б. ЗАЛЕССКИЙ, Е. Г. ПАПЕРНО, В. А. ПИЛИПОВИЧ

(Минск)

**ГИБРИДНЫЕ ПВМС НА ОСНОВЕ СТРУКТУР
ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКАЯ КЕРАМИКА — МОП-ТРАНЗИСТОР**

Введение. Оптические принтеры, предназначенные для высокопроизводительного вывода из ЭВМ алфавитно-цифровой и графической информации, возникли как альтернатива механическим устройствам печати, параметры которых, в частности быстродействие, уже не удовлетворяют требованиям современных информационных систем. В основе функционирования таких приборов лежит растровый метод поэлементного синтеза световой строки в сочетании с фотоэлектрическим принципом фиксации изображения на бумаге [1]. К настоящему времени наибольшее распространение получили принтеры, в которых изображение символов на поверхности фоточувствительного слоя электрографического цилиндра формируется полупроводниковым лазером с помощью механической (зеркальной или призменной) системы развертки [2]. Параллельно с ними в последние годы начались разработки устройств, отличающихся тем, что формирование всей строки символов в них осуществляется с помощью многоканальных светоизлучающих [3] либо светомодулирующих приборов [4] без механических либо других сканирующих узлов. Одно из перспективных направлений развития подобных устройств связано с использованием для формирования символов одномерных пространственно-временных модуляторов света (ПВМС) на основе электрооптической керамики [5]. К достоинствам ПВМС такого типа в первую очередь следует отнести высокие светомодуляционные характеристики (контраст не менее 100) и быстродействие (тактовая частота построчного формирования изображений 1—100 кГц); широкий спектральный диапазон модуляции света 0,4—0,8 мкм, позволяющий согласовывать спектральные характеристики оптического изображения ПВМС с областью чувствительности серийных электрофотографических барабанов [6, 7].

Формат одномерных ПВМС, предназначенных для синтеза символов в оптическом принтере, должен соответствовать ширине печатной страницы. В результате общее число световых клапанов при разрешающей способности 10 точек/мм должно составлять более $2 \cdot 10^3$. Применение параллельных методов пространственно-временной модуляции света [6, 7], заключающихся в одновременной подаче управляющих потенциалов на все световые клапаны и требующих соответствующего количества электронных каналов управления, в данном случае невозможно.

В связи с этим представляет интерес разработка гибридных ПВМС с мультиплексным управлением, позволяющих организовать режим «динамической памяти» в электрооптическом материале, применить последовательно-параллельные методы пространственно-временной модуляции света и уменьшить число электронных каналов управления. Для организации режима «динамической памяти» схемы адресации мультиплексного ПВМС должны содержать коммутирующий элемент — МОП-транзистор, с помощью которого в процессе адресации групп световых клапанов осуществляется инжекция зарядов в область клапанов и обеспечивается длительная релаксация объемных зарядов клапанов в течение цикла адресации всего ПВМС. Целью настоящей работы является исследование мультиплексных методов пространственно-временной модуляции света в гибридных ПВМС на основе структур электрооптическая керамика — МОП-транзистор.

Анализ параметров структур электрооптический материал — МОП-транзистор. Эквивалентная схема структуры представлена на рис. 1, а [8]. Световые клапаны мультиплексного гибридного ПВМС разделены на

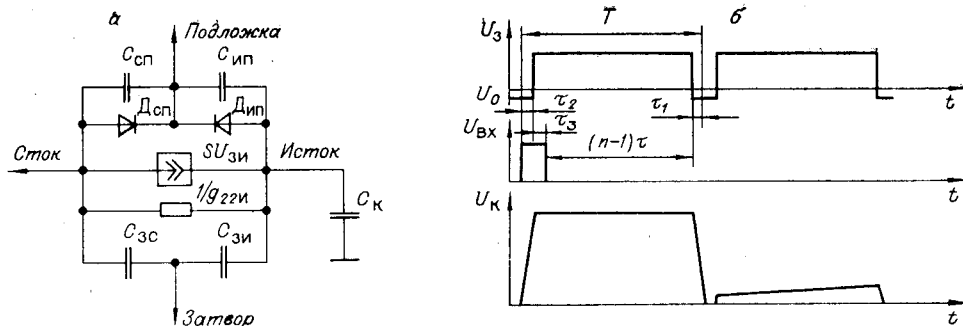


Рис. 1

жение) на их затворы. Временная диаграмма работы структуры электрооптический материал — МОП-транзистор представлена на рис. 1, б. Время адресации одной группы клапанов t включает время стирания t_1 информации, занесенной в предыдущем цикле адресации ПВМС, времена записи информации t_2 и задержки t_3 , определяемой установлением переходных процессов ($t = t_1 + t_2 + t_3$). Общий период адресации ПВМС, определяемый числом групп клапанов n , равен $T = nt$.

В процессе адресации структуры ($U_3 = -U_0$, $U_c = U_{вх}$) происходит заряд собственной емкости клапана C_k , напряжение U_k на котором находится как

$$U_k = U_{вх} \{1 - \exp[-t_2 / (C_k + C_{ип} + C_{зи}) R_0]\}. \quad (1)$$

Для запоминания информации на световом клапане необходимо поддерживать уровень входного сигнала $U_{вх}$ ($0 \leq U_{вх} \leq U_{вх}^{\max}$) на стоке МОП-транзистора в течение времени задержки t_3 , определяемой длительностью процессов восстановления сопротивления закрытого канала стока-исток. При переходе в режим запоминания информации напряжение на затворе изменяется на величину $\Delta U_3 = U_{вх}^{\max} + U_0$. При этом протекают процессы переноса заряда через емкость $C_{зи}$ и дозаряда емкостей C_k и $C_{ип}$. Вследствие этого напряжение на клапане составит величину

$$U'_k = U_k + \Delta U'_k, \quad \text{где } \Delta U'_k = \frac{C_{зи}}{C_k + C_{ип}} (U_{вх}^{\max} + U_0). \quad (2)$$

Рассмотрим режим хранения записанной информации в структуре электрооптический материал — МОП-транзистор. Стабильность хранения уровней светопропускания в течение периода адресации $(n-1)t$ остальных групп клапанов может изменяться под действием следующих факторов:

дозаряда собственной емкости клапана C_k через закрытый канал сток-исток ($U_3 = U_{вх}^{\max}$) (наихудший случай, когда в световой клапан первой группы записан логический «0» ($U_c = 0$), а в течение $(n-1)$ тактов адресации остальных групп клапанов на сток МОП-транзистора подается логическая «1» ($U_c = U_{вх}^{\max}$));

разряда емкости C_k через закрытый канал сток-исток (наихудший случай, когда в клапан первой группы записана логическая «1» ($U_c = U_{вх}^{\max}$), а в течение $(n-1)$ тактов адресации остальных групп на сток МОП-транзистора подается логический «0» ($U_c = 0$));

токов утечки по поверхности МОП-транзистора и через сопротивление клапана;

дозаряда емкости C_k через обратносмещенный диод подложка-исток ($U_3 = U_{II} = U_{ВХ}^{max}$).

Первые три механизма сколько-нибудь существенного влияния на светомодуляционные характеристики структуры не оказывают, поскольку для типичного МОП-транзистора с индуцированным каналом сопротивление полностью закрытого канала сток-исток составляет более 10^{10} Ом, сопротивление между выводами МОП-транзистора — более 10^{12} Ом [8], а сопротивление клапана (электрооптическая керамика, монокристалл) — более 10^{14} Ом.

Существенное влияние на контрастные характеристики ПВМС оказывает дозаряд емкости C_k через обратносмещенный диод подложка-исток. Изменение величины напряжения на емкости клапана C_k в течение времени хранения $(n-1)t$ определяется выражением

$$\Delta U_k'' = U_{ВХ}^{max} \{1 - \exp[-(n-1)t/(C_k + C_{ИП} + C_{ЗИ})R_{обр}]\}. \quad (3)$$

Значение $R_{обр}$, в свою очередь, зависит от напряжения $U_{ИП}$. В режиме хранения логического «0» ($U_k = 0, U_{II} = U_{ВХ}^{max}$) $R_{обр}$ имеет минимальную величину. Для других значений $0 < U_k < U_{ВХ}^{max}$ $R_{обр}$ увеличивается и соответствующее изменение светопропускания клапана, определяемое паразитным дозарядом емкости C_k , уменьшается. Таким образом, уровни с меньшим значением светопропускания оказываются менее стабильными.

В результате суммарное изменение величины напряжения на световом клапане составляет из (2) и (3)

$$\Delta U_k = \Delta U_k' + \Delta U_k''. \quad (4)$$

Изменение амплитуды записанного сигнала U_k приводит к уменьшению контраста оптического изображения. Пусть электрооптический материал имеет светомодуляционную характеристику $I(U)$, где I — интенсивность светового потока. Контраст K оптического изображения можно представить на основании (2), (3) и (4) как отношение энергий световых потоков, прошедших через клапан за время хранения информации в ПВМС, в случаях записи логических «1» и «0»:

$$K = E^{«1»}/E^{«0»} = \int_0^{(n-1)t} I(U_{ВХ}^{max}) dt \Big/ \int_0^{(n-1)t} I(\Delta U_k) dt = I(U_{ВХ}^{max}) \left[I'(\Delta U_k') + \frac{1}{(n-1)t} \int_0^{(n-1)t} I''(\Delta U_k', \Delta U_k'') dt \right], \quad (5)$$

где $I'(\Delta U_k')$ — паразитное светопропускание клапана, вызванное переносом заряда через емкость $C_{ЗИ}$ из выражения (2); $I''(\Delta U_k', \Delta U_k'')$ — паразитное светопропускание клапана, определяемое дозарядом емкости C_k через обратносмещенный диод подложка-исток из (3).

На рис. 2 представлены зависимости контраста K структур электрооптический

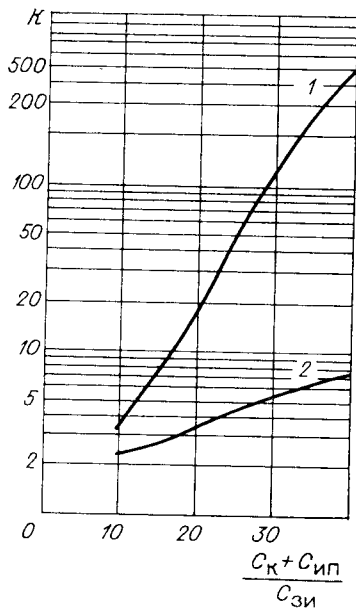


Рис. 2

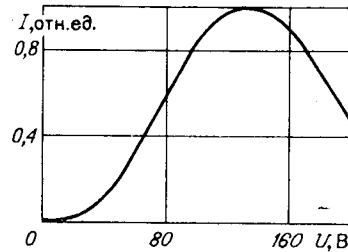


Рис. 3

материал — МОП-транзистор. Кривая 1 построена для структур на основе электрооптической керамики ЦТСЛ состава 9/65/35, а кривая 2 — монокристаллов LiNbO_3 [9]. Для модуляции света в керамике ЦТСЛ используется квадратичный электрооптический эффект (рис. 3), а в LiNbO_3 — линейный электрооптический эффект. Кривые на рис. 2 построены на основе выражения (5) с учетом параметров МОП-транзистора, приведенных ниже. Период смены информации в ПВМС выбирался равным 1 мс. Амплитуда сигнала $U_{\text{вх}}^{\text{max}}$ составляла в обоих случаях 100 В.

Из анализа результатов, приведенных на рис. 2, видно, что значения контраста K зависят от вида светомодуляционной характеристики электрооптического материала. В случае линейного электрооптического эффекта (кривая 2) процессы переноса заряда через емкость $C_{\text{зи}}$ и дозаряда собственной емкости клапана через обратносмещенный диод подложка-исток приводят к появлению паразитного заряда на световом клапане и существенному падению контраста. Даже увеличение собственной емкости клапана $C_{\text{к}}$ до 100 пФ и более (типичное значение $C_{\text{зи}}$ МОП-транзистора ~ 1 пФ) не позволяет получить контрасты более 10—20.

Представляет интерес рассмотреть возможность использования в мультиплексных гибридных ПВМС подобного типа одного из наиболее распространенных светомодулирующих материалов — жидких кристаллов. Они имеют ярко выраженную пороговую характеристику [9], однако собственная емкость жидкокристаллического клапана составляет 3—5 пФ. Соответствующее значение контраста K в этом случае по уравнению (2), (3) и (5) не превышает 2. Для повышения контраста в схеме адресации ПВМС необходимо использовать дополнительные накопительные конденсаторы [10], что, однако, приводит к существенному усложнению устройства.

Электрооптическая керамика является наиболее перспективным материалом для использования в гибридных ПВМС с мультиплексной адресацией. Высокие значения контрастов (см. кривая 1, рис. 2) обусловлены удачным сочетанием пороговых характеристик квадратичного электрооптического эффекта и значительной величины собственной емкости клапана (~ 100 пФ).

Экспериментальные результаты. Экспериментальные исследования структур электрооптическая керамика — МОП-транзистор проводились на основе 128-канального ПВМС из керамики ЦТСЛ состава 9/65/35. Для модуляции света использовался поперечный эффект наведенного двулучепреломления. Конструктивно ПВМС содержит ЦТСЛ керамическую пластину толщиной $\sim 0,2$ мм. На ее поверхности методами фотографии сформирована система металлических электродов. Ширина металлического электрода 35 мкм при шаге расположения 75 мкм. Пластина помещена между скрещенными поляроидными пленками и склеена прозрачным кремнеорганическим клеем со стеклянной подложкой. Светомодуляционная характеристика ПВМС на длине волны 0,44 мкм при частоте управляющих импульсов 1 кГц представлена на рис. 3. Контраст оптического изображения ПВМС составлял не менее 100. Собственная емкость клапана $C_{\text{к}}$ изменялась от 124 до 109 пФ в диапазоне напряжений 0—100 В.

В качестве полупроводникового материала для МОП-транзисторов с индуцированным каналом p -типа использовались кремниевые пластины КЭФ-7,5. Толщина подзатворного диэлектрика равнялась $\sim 0,4$ мкм. Выходные характеристики МОП-транзистора представлены на рис. 4. Его электрические параметры следующие: пороговое напряжение ~ 25 В, начальный ток стока 0,3 мкА при $U_{\text{си}} = 100$ В, сопротивление канала $R_0 \sim 10$ кОм, пробивные напряжения между выводами ~ 120 В, емкость $C_{\text{зи}} \sim 1$ пФ, емкость $C_{\text{ип}}$ изменялась от 6 до 2,5 пФ в диапазоне напряжений $U_{\text{ип}} = 0—100$ В.

Оциллограммы на рис. 5 иллюстрируют работу структуры электрооптическая керамика — МОП-транзистор. Масштабы по вертикали:

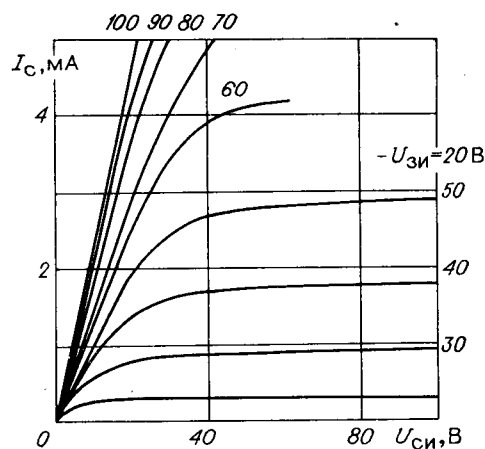


Рис. 4

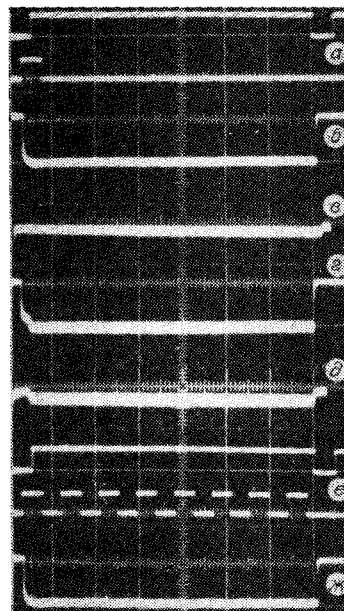


Рис. 5

a, e — 200 В/дел.; *б, г, ж* — 100 мВ/дел.; *в, д* — 5 мВ/дел., по горизонтали: *a* — *ж* — 0,5 мс/дел. На рис. 5, *a* представлены эшоры напряжений на затворе и стоке.

Рис. 5, *б* характеризует эффективность хранения записанной логической «1» ($U_{к} = U_{п} = U_{вх}^{max}$). Стабильность уровня запоминания логической «1» определяется высоким сопротивлением закрытого канала сток-исток в цепи разряда емкости $C_{к}$ и дозарядом $C_{к}$ через обратносмещенный диод исток-подложка (см. рис. 1, *a*). Влияние паразитного дозаряда емкости $C_{к}$ на контраст оптического изображения в течение времени хранения логического «0» представлено на рис. 5, *в*. Перенос заряда через емкость $C_{зи}$ согласно (2) практически не наблюдается, поскольку в данном случае $(C_{к} + C_{ип})/C_{зи} > 100$ и величина $\Delta U_{к}'$ из (2) меньше порогового значения на светомодуляционной характеристике ЦТСЛ-керамики (см. рис. 3). Наблюдаемый рост частичного светопропускания клапана в течение времени хранения информации обусловлен лишь дозарядом емкости $C_{к}$ через обратносмещенный диод исток-подложка в соответствии с выражениями (3) и (5).

Влияние переноса заряда через емкость $C_{зи}$ на светомодуляционные характеристики ПМВС представлено на осциллограммах рис. 5, *г, д*. Соотношение $(C_{к} + C_{ип})/C_{зи}$ в этом случае искусственно уменьшено до 4, что приводит к заметному изменению светопропускания при записи сигналов с амплитудами, равными $0,8U_{вх}^{max}$ (рис. 5, *г*) и $U_{вх} = 0$ (рис. 5, *д*).

Осциллограммы на рис. 5, *e, ж* (эшоры напряжений на затворе и стоке) и рис. 5, *з* ($U_{с} = U_{вх}^{max}$) иллюстрируют стабильность хранения уровня светопропускания при адресации других групп клапанов мультиплексного ПМВС.

Заклучение. В работе проведено исследование гибридных ПМВС с мультиплексным управлением на основе структур электрооптический материал — МОП-транзистор, позволяющих организовать режим «динамической памяти» уровней светопропускания световых клапанов в течение цикла адресации. Рассмотрены механизмы переноса зарядов в процессе адресации структур и их влияние на контрастные характеристики ПМВС. Проведена оценка возможности применения в структурах различных электрооптических материалов (монокристаллы $LiNbO_3$, электрооптическая керамика, жидкие кристаллы). На основании теоретических и экспериментальных исследований установлено, что использование в структурах электрооптический материал — МОП-транзистор прозрачной керамики системы ЦТСЛ, обладающей пороговой характеристикой квадратичного электрооптического эффекта и значительной величиной соб-

ственной емкости клапана, позволяет получить контраст оптического изображения не менее 100. Полученные результаты могут быть использованы при разработке одномерных ПВМС с большим (10^3 — 10^4) числом каналов модуляции света.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чепенко В. Г., Дангоvene Г. К., Баталов И. Н. Развитие электрофотографических лазерных печатающих устройств // Полиграфическая промышленность: Обзорная информация.— 1986.— Вып. 8.
2. Вуль В. А. Лазерные устройства вывода графической и алфавитно-цифровой информации из ЭВМ // Зарубеж. радиоэлектрон.— 1978.— № 5.
3. Светодиоды — конкуренты лазеров в принтерах // Электроника.— 1984.— 57, № 7.
4. Принтер с ЖК-затворами // Там же.— № 25.
5. Пилипович В. А., Гук А. В., Коленников П. И. и др. ЦТСЛ керамические одномерные ПВМС в быстродействующих оптических принтерах // Получение, исследование и применение прозрачной сегнетокерамики: Тез. докл. 3—20 Международн. семинара (Рига, 1988).— Рига, 1988.
6. Пилипович В. А., Гук А. В., Коленников П. И. и др. Линейные управляемые транспаранты на основе ЦТСЛ-керамики // Автометрия.— 1981.— № 5.
7. Пилипович В. А., Гук А. В., Малаховский В. Р. и др. Многоканальный электрооптический модулятор света на основе прозрачной керамики ЦТСЛ 9/65/35 // ПТЭ.— 1987.— № 2.
8. Полевые транзисторы. Физика, технология и применение/Под ред. С. А. Майорова: Пер. с англ.— М.: Сов. радио, 1971.
9. Васильев А. А., Касасент Д., Компанец И. Н., Парфенов А. В. Пространственные модуляторы света.— М.: Радио и связь, 1987.
10. Пилипович В. А., Гук А. В., Коленников П. И. Устройство ввода информации в голографическое ЗУ на основе мозаичного жидкокристаллического управляемого транспаранта // Автометрия.— 1979.— № 1.

Поступила в редакцию 9 января 1989 г.

УДК 535.241.13 : 681.527

А. В. ГУК
(Минск)

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ ЦТСЛ КЕРАМИЧЕСКИЕ ПВМС В УСТРОЙСТВАХ ВВОДА МНОГОГРАДАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЭВМ

Эффективность использования цифровых систем обработки изображений в значительной мере определяется тем, насколько успешно решены вопросы ввода исходных многоградационных изображений в ЭВМ. Операция ввода при этом включает в себя предварительное преобразование аналогового изображения в эквивалентный числовой массив (оцифровка изображения), который затем и обрабатывается в ЭВМ по заданной программе. Преобразование изображений в цифровой массив осуществляется в результате измерения некоторых физических характеристик, например яркости или оптической плотности.

В настоящее время создание технических средств для осуществления качественного высокопроизводительного ввода многоградационных изображений представляет собой весьма актуальную задачу. По оценкам некоторых авторов [1, 2], подобные устройства должны обеспечивать ввод в ЭВМ 10^5 дискретных точек в секунду при числе уровней квантования