

ИНТЕГРАЛЬНО-ГИБРИДНЫЕ ФОТОМАТРИЦЫ ОПТИЧЕСКИХ ЗУ

Б. Г. МАТИЕНКО

(Новосибирск)

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СТРУКТУРЫ БОЛЬШИХ ГИБРИДНО-ИНТЕГРАЛЬНЫХ ФОТОМАТРИЦ ГОЛОГРАММНЫХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Развитие вычислительной техники приводит к необходимости хранения больших объемов информации. Это стимулирует поиск новых физических и технических принципов построения запоминающих устройств (ЗУ). В настоящее время перспективы развития техники ЗУ связываются с оптическими, в первую очередь, с голограммными ЗУ. Последние удовлетворяют ряду важных технических требований: обладают большой информационной емкостью, обеспечивают быстрый доступ к хранимым данным, имеют малый объем самого носителя информации, позволяют осуществлять длительное и надежное хранение данных в виде голограмм.

К настоящему моменту в нашей стране и за рубежом созданы первые образцы оптических и голографических постоянных запоминающих устройств (ГПЗУ). Выполненные работы показали, что оптические запоминающие устройства могут найти широкое применение лишь при условии создания в промышленности ряда новых технологических процессов, обеспечивающих выпуск важнейших элементов (оптики, лазеров, дефлекторов, фотоматриц) и ряда новых материалов. Поэтому практическое использование оптических и голограммных устройств ожидается лишь начиная с 1980 г. [1].

Данная работа посвящена рассмотрению общих характеристик и структурной организации фотоматричных преобразователей «свет — код» с произвольной выборкой информации, предназначенных для использования в ГПЗУ.

Общая структурная организация фотоматричных преобразователей «свет — код». Рассмотрим устройства ГПЗУ, работа которых непосредственно связана с преобразователем «свет — код». Оптический тракт ГПЗУ на рис. 1 схематично представлен тремя элементами: лазером, двухкоординатным дефлектором и фотоносителем с голограммами. Более подробно представлен сам преобразователь «свет — код» вместе с обрамляющими его устройствами. Предполагается, что организация работы ГПЗУ в целом осуществляется от ЭВМ [2].

Собственно преобразователь «свет — код» на современном этапе развития полупроводниковой технологии представляется в виде гибридно-интегральной фотоматрицы (ГИФ) с информационной емкостью порядка 10^4 фотоприемных элементов. ГИФ содержит НК полупроводниковых кристаллов с фотоматрицами (ФМ), в каждом из которых

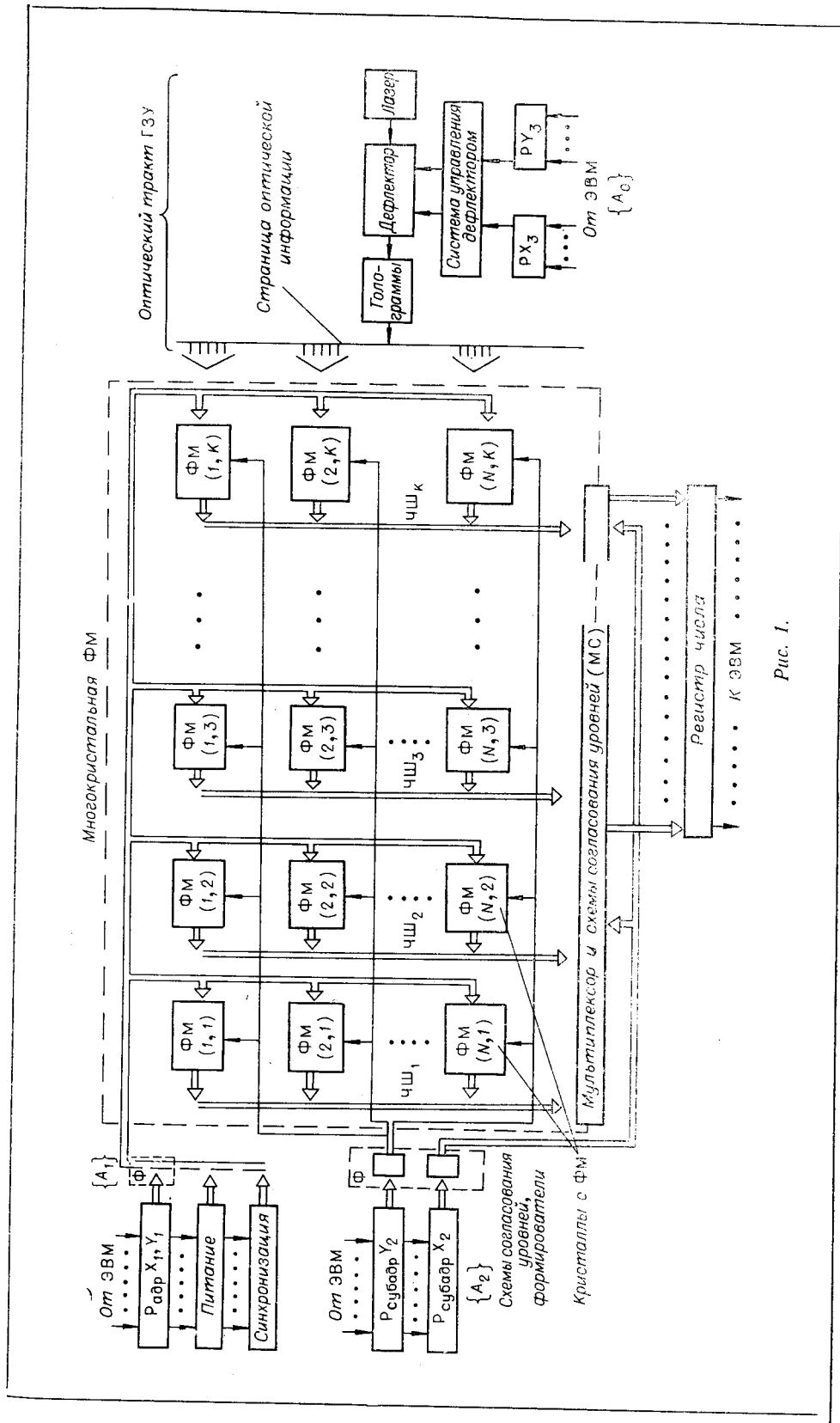


Рис. 1.

$n_x k_y$ фотоприемных элементов. Структура преобразователя однородна на уровне кристаллов и фотоприемных элементов. На кристаллах, помимо фотоприемных элементов, могут быть размещены дешифраторы, усилители считывания или другие вспомогательные обрамляющие схемы. Каждый фотоприемный элемент (ФПЭ) может включать в себя в общем случае собственно фотоприемник и схемы обрамления (усилитель, схему чтения и т. д.).

Управление работой преобразователя осуществляется с помощью системы ортогональных шин, размещенных на пассивной плате (подложке) и кристаллах. Каждый из K столбцов ГИФ объединен групповой шиной числа (ЧШ), а каждая из N строк — адресными шинами, которые дополняются иногда адресными шинами выбора строк (ВС). Выходы группы столбцов ГИФ (на рис. 1 — по три столбца) могут объединяться L мультиплексорными коммутаторами, обеспечивающими выдачу из фотоматрицы L -разрядного слова на регистр числа (РЧ), откуда информация по генерируемым ЭВМ сигналам опроса передается в ее память или в требуемый цифровой канал.

Все схемы обрамления связаны через соответствующие устройства сопряжения с ЭВМ и обеспечивают работу ГИФ в режиме записи/стирания и чтения информации в соответствии с исполняемыми машинными командами. В связи с этим схемы имеют соответствующие цифровые регистры для хранения исполняемых команд, схемы согласования уровней, выходные адресные формирователи и другие необходимые для цепей синхронизации и питания электронные схемы.

Организация работы всей системы в режимах записи, чтения или стирания записанной страницы информации осуществляется в каждый момент времени путем программной генерации в ЭВМ трех конечных множеств управляющих сигналов A_0 , A_1 и A_2 . Сигналы из множества A_0 передаются из памяти ЭВМ в регистры (PX_3 , PY_3), каждый из которых управляет работой соответствующей координаты дефлектора ГПЗУ, и определяют адрес (номер) выбираемой страницы информации (голограммы). Сигналы из конечного множества A_1 несут групповую информацию об адресе выборки (по двум или одной координатам) внутри каждого из NK кристаллов ГИФ и включают также все остальные групповые сигналы (питание, сброс, синхронизацию и т. д.). Сигналы из конечного множества A_2 являются субадресами и обеспечивают программное обращение к требуемой строке (столбцам) кристаллов ГИФ, позволяя произвести считывание требуемых цифровых кодов.

Ввиду того что машинное слово (или разрядность, принятые в соответствующем выходном цифровом канале) обычно неравно (меньше) разрядности слова, выбираемого по адресу из ГИФ, при чтении каждой строки информации может потребоваться в общем случае несколько программных коммутаций мультиплексора. Отметим, что эффективная реализация некоторых вариантов оптических схем ГПЗУ в значительной мере определяется быстродействием и возможностями программирования работы мультиплексорного коммутатора.

Конкретные наборы сигналов, входящие в множества $A_0 \div A_2$, зависят от многих факторов: конструкции, структурной организации, технологии изготовления кристаллов и ГИФ в целом, от типа используемой ЭВМ и принятых программных методов синхронизации и выборки данных. Рассмотренная на рис. 1 структурная схема дает в этом плане лишь общие представления.

Важнейшие характеристики фотоматриц. Фотоматричный преобразователь «свет — код» с произвольной выборкой информации выполняет в ГПЗУ три основных функции:

обеспечивает параллельную запись страницы цифровой оптической информации и поразрядное преобразование световых сигналов в электрические соответствующих логических уровней;

является буферным запоминающим устройством для электрических сигналов вплоть до момента стирания (сброса) хранимой страницы оптической информации;

обеспечивает неразрушающее (в том числе многократное) считывание слова по адресу в пределах записанной страницы информации.

Эти же функции, исключая возможность параллельной записи информации одновременно во все элементы, реализуются и полупроводниковыми схемами памяти. Поэтому структурная схема ГИФ (см. рис. 1) и некоторые важнейшие ее характеристики оказываются близкими к характеристикам полупроводниковой оперативной памяти.

а) Размерность (информационная емкость) фотоматриц определяется оптической схемой ГПЗУ и возможностями технологии, а также соответствует объему данных, закладываемых в одну страницу проектируемого оптического ЗУ [2].

В одном из первых зарубежных ГПЗУ [3] была использована ГИФ размерностью 64×64 элемента, в другом [4] предполагается применение гибридно-интегральной фототриггерной матрицы, содержащей 128×144 элемента.

Таким образом, информационная емкость ГИФ современных ГПЗУ составляет величину порядка 10^4 бит. Имеются мнения, что информационная емкость страницы ГПЗУ может в перспективе увеличиться до 100 кбит [1]. Однако информационная емкость фотоматриц может значительно превышать 10^4 бит не только за счет улучшения в перспективе самой техники голографии. Известны, например, оптические схемы ГПЗУ, где требуемая информационная емкость фотоматриц намного превышает фактические размеры выводимых страниц информации, в каждой из которых содержится до нескольких килобитов. Можно также ожидать применения различных многоканальных оптических схем, особенно в оптоэлектронных системах с параллельной обработкой информации на фотоматрицах.

б) Фоточувствительность преобразователей «свет — код» определяется целым рядом факторов: спектральными характеристиками фотоприемников (фотодиодов, фототранзисторов), используемыми полупроводниковыми материалами (кремний, германий и т. д.), схемотехническими и конструктивными решениями, технологией изготовления ФПЭ, электрическими режимами их работы (непосредственное считывание, накопление), способом чтения (вывода) записанной в ФПЭ оптической информации, принятым соотношением между сигналом и шумом на оптических входах и электрических выходах интегральных схем.

В ГПЗУ ФПЭ обычно работают в режиме накопления. Их фоточувствительность при некотором соотношении между сигналом и шумом на оптических входах и электрических выходах для фиксированной длины волны света удобно измерять в джоулях на квадратный сантиметр. Необходимо различать пороговую фоточувствительность отдельного ФПЭ и групповую чувствительность многоэлементных полупроводниковых или ГИФ. Последняя величина вследствие разброса характеристик ФПЭ обычно значительно ниже, чем наивысшая чувствительность, достигнутая на отдельных элементах. Имеется также существенное различие (на порядки) между пороговыми чувствительностями самого приемника и ФПЭ, полученными при его функциональных испытаниях оптическими и электрическими тестами. В последнем случае в рассмотрение включается весь тракт преобразования «свет — код», включая характеристики электрических схем (на кристалле и вне его), формирующие выходные логические сигналы требуемых уровней [5].

В качестве пояснения к некоторым высказанным выше положениям рассмотрим некоторые результаты исследования МОП-фотодиодных

ФПЭ, изготовлявшихся по одному из вариантов МНОП-технологии*. Пороговая чувствительность фотодиодов в режиме накопления оказалась порядка 10^{-11} Дж/см² (10^{-15} Дж/эл)** [6, 7]. После проведения функциональных испытаний было выяснено, что простейшие по схеме и конструкции МОП-фотодиодные ФПЭ обладают пороговой чувствительностью в $10^{-6} \div 10^{-7}$ Дж/см² [7]. ФПЭ, содержащие однокаскадный усилитель-инвертор, подтвердили чувствительность в 10^{-8} Дж/см², а чувствительность фототриггерных элементов и ФПЭ на основе дифференциальных усилителей [8] оказалась равной 10^{-9} Дж/см².

Преобразователь «свет — код», использованный в ГПЗУ фирмы „Bell Lab“, был выполнен на фототранзисторах и имел на длине волны $\lambda = 0,52$ мкм чувствительность, равную $4 \cdot 10^9$ Дж/см² ($4 \cdot 10^{-13}$ Дж/эл). Фототриггерные элементы фирмы „Siemens“ [4] обладают на длине волны в $0,647$ мкм чувствительностью в режиме накопления, равной $5 \cdot 10^{-8}$ Дж/см². Экспериментальные фотоматрицы на ПЗС-структурах, исследованные в работе [9] на длине волны $0,52$ мкм, обладают чувствительностью $(2 \div 8) 10^{-7}$ Дж/см².

Определение чувствительности ФПЭ и ГИФ — в целом достаточно сложный технически и трудоемкий процесс, однако знание этой величины необходимо для определения двух важнейших характеристик оптических ЗУ, о которых речь идет ниже.

в) *Время записи страницы оптической информации* является специфической характеристикой голограммных (оптических) ЗУ и находится в прямой зависимости от фоточувствительности элементов преобразователя «свет — код» и энергетики ГПЗУ.

Для оценки величины световой энергии, приходящейся на один фотоприемный элемент преобразователя, напомним, что на каждом однокоординатном дефлекторе может теряться до 50% световой энергии. При восстановлении голограмм, записанных на фотоносителе, потери света доходят до 97%. Кроме того, в оптическом тракте ГПЗУ имеются некоторые дополнительные потери света, например на отражение, и потери, связанные с ограниченной площадью фотоприемника [10] и др. Например, если в ГПЗУ предусматривается использование одноваттного лазера, то при учете потерь в дефлекторах и на голограммах в соответствии с приведенными выше цифрами для каждого элемента фотоматричного преобразователя 100×100 энергия на ФПЭ в световой единице составит 350 нВт. Если считать, что фотоприемником собирается лишь $30 \div 35\%$ падающей на него энергии, то реальная величина энергии на бит оказывается равной 10^{-7} Вт. Таким образом, в настоящее время потери света в оптическом тракте ГПЗУ составляют 6—7 порядков [3] и реальная мощность на бит равна $10^{-7} \div 10^{-8}$ Вт.

Время записи страницы определяется чувствительностью ФПЭ. Например, при энергии на бит, равной 10^{-7} Вт, и чувствительности ФПЭ 10^{-13} Дж/эл (10^{-9} Дж/см²) время записи равно 10^{-6} с, при чувствительности ФПЭ 10^{-11} Дж/бит — 100 мкс (10^{-4} с), что эквивалентно соответственно скорости записи информации 10 Гбит/с и 100 Мбит/с.

г) *Время выборки слова по адресу* является параметром, зависящим от характеристик схем чтения (вывода) информации фотоматрицы, электронных схем обрaмления и структурной организации кристаллов и ГИФ в целом.

Достигнутые в тех же МОП ЗУ скорости выборки информации по адресу (от 10^{-6} до $0,055 \cdot 10^{-6}$ с [11]) будут характерны и для соответ-

* У исследовавшихся ФПЭ фотодиоды имели одинаковые геометрические размеры $0,1 \times 0,1$ мм, для вывода информации использовалась двухимпульсная диаграмма чтения. Все измерения чувствительности проводились с гелий-неоновым лазером на длине волны света $\lambda = 0,63$ мкм.

** Оценка чувствительности ФПЭ иногда дается в джоулях на элемент (Дж/бит) с пересчетом на площадь фотоприемника (в данном случае площадь равна 10^{-4} см²).

ствующих типов полупроводниковых преобразователей «свет — код». При цикле чтения информации из фотоматрицы, равном 100 нс, вывод записанной страницы информации 100×100 бит при параллельной словарной организации ГИФ займет в режиме сканирования 10^{-6} с и будет осуществляться со скоростью 1 Гбит/с, что намного (до двух порядков) выше возможностей каналов передачи данных современных и ряда новых ЭВМ. ГИФ, собранные из кристаллов, выполненных по биполярной технологии, смогут обеспечить при тех же условиях скорость вывода данных свыше 10 Гбит/с.

д) *Цикл записи/чтения* является обобщенным параметром, характеризующим быстродействие всего тракта ГПЗУ, включая время выборки страницы дефлекторами, время записи и время чтения информации.

е) *Другие характеристики.* Большинство известных ФПЭ используют при работе режим накопления и динамическое хранение записанной оптической информации на емкостях, сформированных тем или иным технологическим способом. При динамическом запоминании время хранения информации может быть определено специальными тестами или оценено по плотности тока утечки. Допустимые уровни изменения напряжений за время хранения задаются исходя из конкретных характеристик проектируемого ГПЗУ и возможностей технологии.

Отметим также, что в ГИФ имеется ряд серьезных проблем, связанных с однородностью и воспроизводимостью их характеристик, с надежностью, помехоустойчивостью (по оптическим входам и электрическим каналам) и технологичностью в серийном производстве. Эти проблемы в настоящее время исследуются.

Специфичные требования к фотоматрицам. Цель данного раздела состоит в кратком рассмотрении нескольких конструктивно-технологических характеристик ГИФ, отличающих их от остальных микроэлектронных изделий.

а) *Шаг между фотоприемными элементами* задается, исходя из возможностей оптической схемы и информационной емкости ГПЗУ.

Выполненные к настоящему времени расчеты оптических схем ГПЗУ показали, что ЗУ с информационной емкостью порядка 10^7 бит могут быть выполнены при шаге между ФПЭ $0,2 \div 0,5$ мм, а ЗУ емкостью порядка 10^8 бит при шаге $0,7 \div 1,0$ мм и более*. Отношение между шагом и размером фотоприемника в каждом координатном направлении берется исходя из условия обеспечения заданной помехоустойчивости на оптических входах и обычно находится в пределах $(1,5 \div 2,5):1$. Так, в фотоматрице [3] оно равно 2,4, в фотоматрице [4] — 2,0. В исследовавшихся МОП-фотодиодных ФПЭ [6—8] это отношение равнялось $2,5:1$.

Требования к шагу между ФПЭ находятся в определенном противоречии с идеологией существующего технологического процесса изготовления интегральных схем и БИС, при котором желательна плотная упаковка компонентов на возможно меньшей площади. Соответственно традиционная техника изготовления фотошаблонов была направлена на получение высокого разрешения для относительно небольших по размерам кристаллов. В полупроводниковых фотоматрицах с большим шагом ($0,75 \div 1,0$ мм) плотность упаковки компонентов получается по кристаллу неравномерной, так как она привязана к шагу: около фотоприемников она максимальна, а между ними допускаются большие незаполненные промежутки. В то же время для обеспечения электрических и других характеристик ФПЭ предъявляются высокие требования к качеству фотошаблонов при больших размерах кристалла, что приводит к очень серьезным проблемам.

* Имеется в виду емкость ГПЗУ с неподвижным носителем, в пределах которого обеспечивается непосредственный доступ к любой хранимой странице информации.

Таблица 1

Возможные варианты реализации гибридно-интегральных фотоматриц при максимальных размерах кристаллов $5 \times 5 \text{ мм}^2$ (1) и $10 \times 10 \text{ мм}^2$ (2)

Количество ФПЭ в ГИФ	Количество ФПЭ на одном кристалле	Количество кристаллов в ГИФ	Размеры ФМ на кристаллах при шаге между фотоприемными элементами, мм^2			
			0,25	0,5	0,75	1,0
128×128	4(2×2)	4096	0,5×0,5	1×1	1,5×1,5	2×2
128×128	16(4×4)	1024	1×1	2×2	3×3	4×4(1)
132×132	36(6×6)	484	1,5×1,5	3×3	4,5×4,5(1)	6×6
128×128	64(8×8)	256	2×2	4×4(1)	6×6	8×8(2)
132×132	144(12×12)	121	3×3	6×6	9×9(2)	—
128×128	256(16×16)	64	4×4(1)	8×8(2)	—	—
144×144	576(24×24)	36	6×6	—	—	—
128×128	1024(32×32)	16	8×8(2)	—	—	—

Требование к шагу приводит также к определенному пересмотру возможных схемотехнических принципов построения ФПЭ. Например, ПЗС структуры не могут быть применены в фотоматрицах для ГЗУ в том виде, в котором они разрабатываются для задач ввода изображений [12], не говоря уже о специфичных особенностях применения ПЗС-фотоматриц большой размерности [9]. При большом шаге ввиду малых по абсолютной величине перепадов напряжений от засветки можно воспользоваться лишь некоторыми типами МОП-фотодиодных схем [13]. Табл. 1 дает представление о технологических трудностях, возникающих при проектировании МОП-фотодиодной матрицы 128×128 элементов при разных вариантах шага.

б) Точность установки кристаллов по шагу является специфичным требованием ГИФ и задается исходя из допустимых потерь оптических и электрических сигналов [10], а также возможностей технологии.

Типичное значение точности установки кристаллов в каждом координатном направлении порядка 0,1 размера фотоприемника. Сборку ГИФ с такой точностью удается обеспечить лишь для определенных вариантов шага и размеров кристаллов.

в) Коэффициент использования площади ГИФ определяется как отношение суммарной площади, занимаемой ФПЭ в ГИФ, к площади подложки, занятой под кристаллы и технологические зазоры между ними.

Данный коэффициент показывает процент потерь в емкости ГПЗУ, вызываемых применением фотоматрицы гибридной конструкции. Максимизация этого коэффициента приводит к необходимости разработки ГИФ в виде микроэлектронной аппаратуры V и VI степени интеграции [14].

Допустимые потери площади ГИФ при малом шаге ограничиваются снизу величиной порядка 50%, при большом шаге размеры кристаллов и зазоры между ними в некоторых случаях могут быть выбраны таким образом, что коэффициент использования площади практически становится равным единице.

Основные варианты структурной организации и проблема сборки фотоматриц. Представленные на рис. 2 структуры показывают возможные принципы организации ГИФ с электрическим ($S_1 - S_3$) или опти-

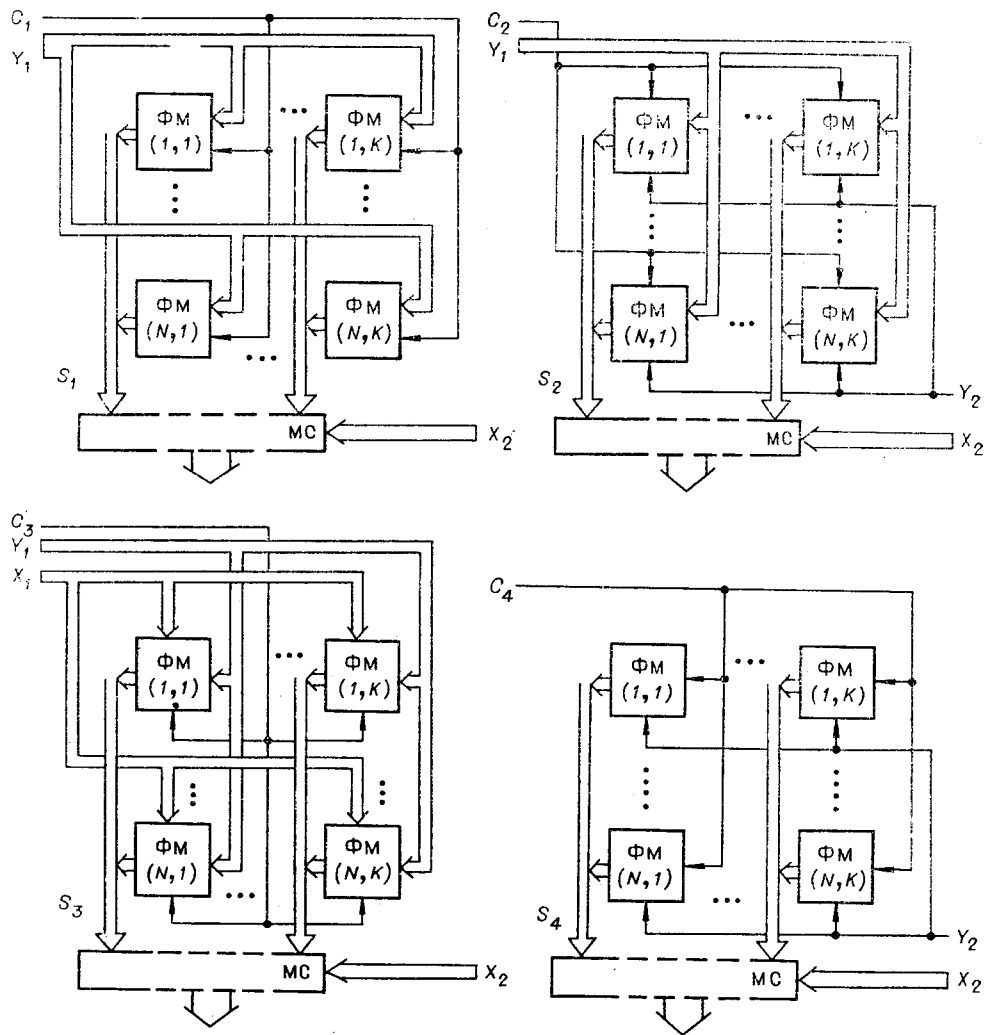


Рис. 2.

ческим (S_4) управлением произвольной выборкой информации при словарной и разрядной организациях кристаллов.

Наиболее простые по структуре — кристаллы, не содержащие каких-либо других схем, кроме ФПЭ (S_1). Выходы ФПЭ образуют на них сквозные числовые шины (ЧШ), адресные входы однокоординатного X_1 (двухкоординатного X_1Y_1) управления объединяют соответствующие входы строк (строк и столбцов) ФПЭ. Данный тип структур позволяет получить высокое быстродействие при чтении информации за счет эффективного использования внешних схем формирования адресов, но отличается большим числом межсоединений, требует наибольшего (по сравнению с другими структурами) количества внешних формирователей.

При введении на кристаллы буферных усилительных схем, изолирующих числовые шины кристаллов от ЧШ ГИФ, появляется возможность лострочного опроса строк кристаллов субадресными сигналами (Y_2) выбора строк (см. S_2). Количество внешних формирователей адресов в таких структурах сокращается за счет групповой генерации адресных сигналов (X_1 или X_1, Y_1) одновременно на все кристаллы и после-

дующего их построчного опроса (X_2, Y_2). Структуры такого типа могут иметь одно (S_2)- или двухкоординатную (S_3) выборку, содержать на кристаллах адресные дешифраторы или кольцевые регистры сдвига для выборки путем сканирования адресов. Быстродействие таких структур, как правило, ниже, чем в предыдущем случае, за счет задержек в схемах обрамления. Однако конструктивное исполнение ГИФ с такими структурами проще за счет меньшего числа соединений между кристаллами и подложкой.

В табл. 2 сравниваются ГИФ со словарной и разрядной организацией кристаллов. Количественное сравнение вариантов реализации ГИФ с разными типами структур может быть выполнено лишь при рассмотрении конкретных схмотехнических решений, когда могут быть уточнены значения входящих в табл. 2 констант.

В табл. 2 включены также фотоматричные преобразователи «свет—код» с оптическим управлением адресацией (см. S_4 на рис. 2). Оптическая генерация адресов для ГИФ может быть выполнена, например, за счет использования части хранимых голограмм [15, 16]. Применение оптического управления позволит уменьшить количество соединений между кристаллами и подложкой за счет исключения электрических адресных шин.

К настоящему времени разработаны и исследованы различные виды фотоматричных устройств, выполненных по биполярной или МОП-технологии [17, 18]. Возможно большое количество вариантов структур для каждого типа ФПЭ.

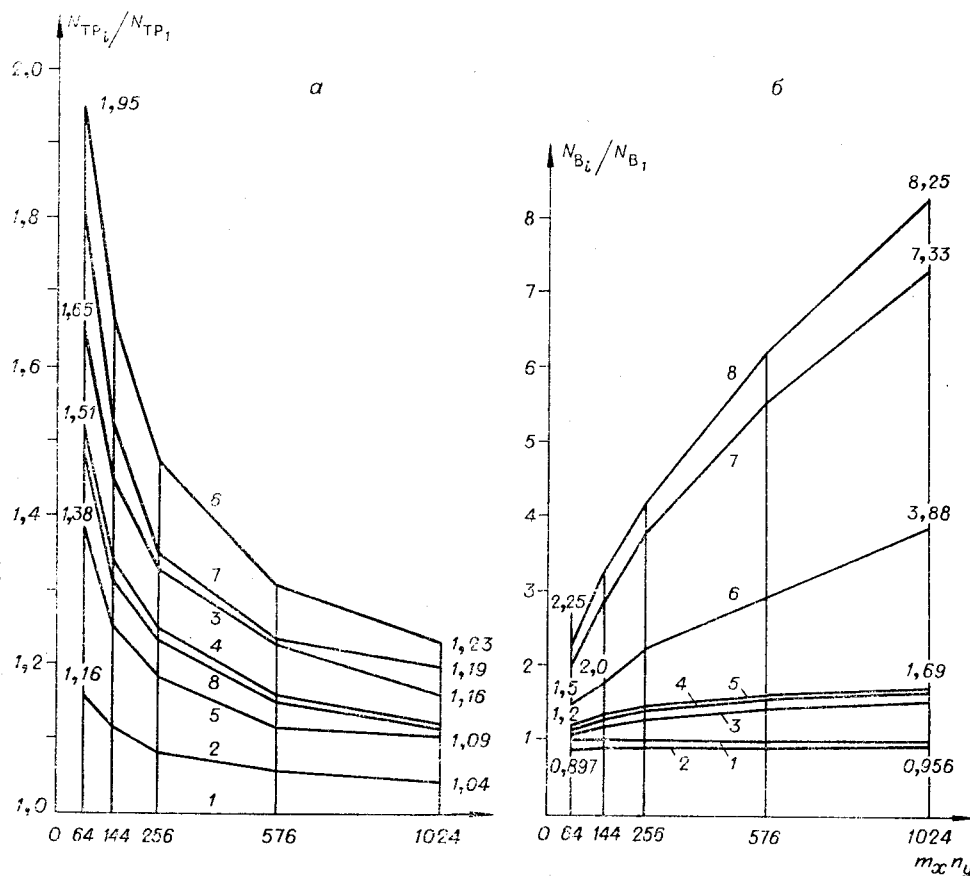


Рис. 3.

Сравнение структур фотоматриц (ФМ)

Тип структурной организации ФМ на кристаллах	Словарная организация с однокоординатной выборкой ($m_x n_y$)		Разрядная организация с двухкоординатной выборкой ($1 m_x n_y$)			
	Тип	Суммарное число		Тип	Суммарное число	
		групповых электрических сигналов	межсоединений в ГИФ (с дублированием)		групповых электрических сигналов	межсоединений в ГИФ (с дублированием)
1. ФМ без схем обрамления	S_1	$(n_y + C_1)N$	$2(m_x + n_y + C_1)NM$	—	$(n_y + C_3)N + m_x M$	$2(m_x + n_y + C_1 + 1)NM$
2. ФМ с усилителями чтения (усилителями)	S_2	$n_y + C_2 + N$	$2(m_x + n_y + C_2 + 1)NM$	S_3	$m_x + n_y + C_3 + N$	$2(m_x + n_y + C_3 + 1)NM$
3. ФМ с одно-, двухкоординатным дешифратором, усилителями (усилителями), адресным регистром (регистрами)	S_2	$\log_2 n_y [+ C_2 + N$	$2(m_x + \log_2 n_y [+ C_2 + 1)NM$	S_3	$\log_2 n_y + m_x [+ N + C_3$	$2(\log_2 n_y + m_x + n_y [+ C_3 + 1)NM$
4. ФМ с одно-, двухкоординатной выборкой сканированием и усилителями (усилителями)	S_2	$C_2 + 2$	$2(m_x + C_2 + 2)NM$	S_3	$C_3 + 4$	$2(C_3 + 5)NM$
5. ФМ с оптическим одно-, двухкоординатным дешифратором, усилителями (усилителями)	S_4	C_4	$2(C_4 + m_x + 1)NM$	S_1	C_4	$2C_4 NM$

Обозначения: N — количество строк кристаллов гибридно-интегральной фотоматрицы; M — количество столбцов кристаллов в ГИФ; m_x и n_y — размерность ФМ по x (столбцы) и y (строки); $(C_1 + C_2)$ — константы, учитывающие количество групповых сигналов питания и сброса (стирания).

На рис. 3, а, б приводятся соответственно результаты сравнения ряда вариантов реализации МОП-фотодиодных ГИФ размерностью 128×128 ФПЭ по числу транзисторов и числу межсоединений при различной структурной организации кристаллов. Для сравнения были взяты структуры со словарной ($m_x n_x$) организацией (1 — простейшая фотоматрица (ФМ) из ФПЭ с токовым выходом; 2 — простейшая ФМ из ФПЭ с двухимпульсной диаграммой чтения и буферными усилителями; 3 — ФМ с электрическим линейным дешифратором строк и буферными усилителями; 4 — ФМ с кольцевым сдвиговым регистром для выборки путем сканирования адресов и буферными усилителями; 5 — ФМ с однокоординатным линейным оптическим дешифратором и буферными усилителями) и структуры с разрядной ($1m_x n_y$) организацией (6 — ФМ с двухкоординатным линейным электрическим дешифратором и буферным усилителем; 7 — ФМ с двухкоординатным одночастотным последовательным сканированием адресов за счет использования двух кольцевых регистров; 8 — ФМ с двухкоординатным линейным оптическим дешифратором и буферным усилителем). На рис. 3, а за единицу приняты затраты в числе МОП-транзисторов ГИФ, собранных по простейшей структуре (S_1 на рис. 2), где ФПЭ предполагается выполненными по трехтранзисторной схеме с потенциальным считыванием [19]. В остальных структурах на рис. 3, а в качестве ФПЭ были приняты трехтранзисторные элементы с двухимпульсной диаграммой чтения информации и буферным усилителем [7], совместно с которым рассматривались различные по размерности ($8 \times 8 \div 32 \times 32$) варианты структур и схем управления выборкой информации (на рис. 3 эти варианты обозначены $i=2, 3, \dots, 8$). На рис. 3, б те же типы структур сравниваются между собой по суммарному числу соединений между кристаллами и подложкой. За единицу принято число межсоединений в ГИФ, собранной из простейших по своей организации кристаллов (S_1). Выигрыш в числе межсоединений при разных вариантах обрамления дается относительно затрат в упомянутой простейшей структуре.

Приведенные на рис. 3 результаты анализа ГИФ с различной структурной организацией показывают, что использование фотоматриц с оптическим управлением выборкой информации обеспечивает наименьшие относительные затраты в числе транзисторов ($N_{\text{тр}i}/N_{\text{тр}1}$) и наибольший выигрыш в числе межсоединений ($N_{\text{вы}i}/N_{\text{вы}1}$). Следует иметь в виду, что быстродействие процессов выборки информации при использовании фотоматриц с оптическими дешифраторами непосредственно зависит от уровня энергии на бит в оптических адресных массивах, а реально получаемый выигрыш в числе межсоединений — от принятого между ФПЭ шага и структурной организации кристаллов.

ЛИТЕРАТУРА

1. D. Chen, J. D. Zook. An over view of optical data storage technology.—“Proc. of the IEEE”, 1975, vol. 63, № 8, p. 1207—1230.
2. И. С. Гибин, Т. Н. Мантуш, Ю. Е. Нестерихин, Б. Н. Панков, Е. Ф. Пен, П. Е. Твердохлеб. Программируемое голограммное ЗУ с записью и считыванием информации.—«Автометрия», 1975, № 3, с. 3—12.
3. L. T. Macchia. Optical memories: a progress report.—“Laser Focus”, 1970, vol. 6, № 2, p. 35—39.
4. O. Jäntschi, U. V. Hundelshausen, I. Feigt, W. Hering. Detector matrix for a holographic memory.—“Siemens Res. & Dev. Reports”, 1973, vol. 2, № 1, p. 34—38.
5. С. И. Наймарк, В. П. Радзюкевич, М. Е. Ротштейн. Некоторые методы и аппаратные решения, используемые для испытаний фотоприемных матричных элементов.—«Автометрия», 1977, № 2, с. 71—79.
6. Р. Е. Кашлатый, Л. М. Логвинский, Е. И. Пальчиков, В. Э. Рябченко, В. Г. Цукерман. Кремниевые фотодиоды для интегральных фотоприемных матриц.—«Автометрия», 1977, № 2, с. 53—61.

7. Б. Г. Матненко, С. И. Наймарк. МОП-фотодиодный элемент для полупроводниковых преобразователей «свет — код» с двухимпульсной диаграммой чтения информации.— «Автометрия», 1977, № 2, с. 61—71.
8. С. И. Наймарк, В. М. Третьяков. Фотоприемный интегральный матричный элемент для считывания парафазного оптического кода.— «Автометрия», 1977, № 2, с. 79—85.
9. J. Thire. Matrices de photodetection a semiconductor pour lecture de memoire holographique.— "L'onde Electrique", 1972, vol. 52, № 10, p. 452—461.
10. Г. Л. Коган, Е. Ф. Пен. К вопросу выбора оптимальных геометрических параметров фотоматриц для голограммных ЗУ.— «Автометрия», 1975, № 3, с. 36—42.
11. F. Vese. N-channel MOS memories — new possibilities for microprocessor memory design.— "Microelectronics and Reliability", 1974, vol. 13, № 5, p. 387—400.
12. C. H. Sequin, E. J. Zimanu, M. E. Tompsett, F. N. Fuls. All solid — state camera for the 525-line television format.— "IEEE Journal of Solid-State Circuits", 1976, vol. SC-11, № 1, p. 115—121.
13. Р. Е. Кашлатый, А. М. Кожевникова, С. В. Кругликов, Н. А. Телицын, Е. А. Фигуровский, Г. И. Хлебникова, Л. П. Юдина. Интегрально-гибридная фотоматрица для оптических ЗУ.— «Автометрия», 1977, № 2, с. 50—53.
14. Конструирование микроэлектронной аппаратуры. Под ред. Б. Ф. Высоцкого. М., «Сов. радио», 1975.
15. В. К. Быховский, Г. А. Мирзоян. Оптическая настройка однородных процессоров.— В кн.: Вопросы кибернетики. Однородные микроэлектронные структуры. М., «Сов. радио», 1973, с. 118—123.
16. В. К. Быховский, Г. А. Мирзоян, И. В. Прангишвили, М. С. Сонин, М. А. Ускач. Проблемы оптической настройки интегральных микроэлектронных структур.— В кн.: Проблемы голографии. Вып. 2. М. Изд. МИРЭА, 1973.
17. В. И. Мошкин, А. А. Орликовский. Элементы оптоэлектронных систем обработки информации.— В кн.: Зарубежная электронная техника, № 13. М., ЦНИИ «Электроника», 1975, с. 109.
18. В. И. Мошкин, А. А. Орликовский. Элементы оптоэлектронных систем обработки информации.— В кн.: Зарубежная электронная техника, № 16. М., ЦНИИ «Электроника», 1975, с. 112.
19. S. G. Chamberlain. Photosensitivity and scanning of silicon image detector arrays.— "IEEE Journal of Solid-State Circuits", 1969, vol. SC-4, № 6, p. 333—342.

Поступила в редакцию 30 июня 1976 г.

УДК 621.383.52

**Р. Е. КАШЛАТЫЙ, А. М. КОЖЕВНИКОВА, С. В. КРУГЛИКОВ,
Н. А. ТЕЛИЦЫН, Е. А. ФИГУРОВСКИЙ,
Г. И. ХЛЕБНИКОВА, Л. П. ЮДИНА**
(Новосибирск)

ИНТЕГРАЛЬНО-ГИБРИДНАЯ ФОТОМАТРИЦА ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ЗУ

Одна из простейших ячеек матрицы для детектирования оптических сигналов — ячейка, содержащая фотодиод и ключ на МДП-транзисторе [1], где затвор МДП-транзистора соединяется с шиной считывания, а сток — с выходной шиной. Принцип работы такой матрицы заключается в регистрации импульсов тока дозаряда емкостей обратносмещенных фотодиодов, разряжающихся при освещении последних.

Принципиальная схема фрагмента описываемой матрицы приведена на рис. 1. В состав ячейки матрицы входит фотодиод Д и МДП-тетрод (Т1, Т2). Затвор транзистора Т1 МДП-тетрода соединен с шиной считывания $U_{сч i}$, а сток — с выходной шиной $U_{вых i}$. Транзистор Т2 МДП-тетрода открыт постоянным напряжением на затворе и служит для снижения паразитного влияния проходной емкости $C_{зи}$ транзистора Т1. Фотодиод ячейки, представляющий собой увеличенную область истока транзистора Т1, работает в режиме накопления заряда [2]. Контактные площадки матрицы дублируются на противоположных сторонах кристалла с целью сборки из фрагментов матриц большей емкости.