

ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

УДК 681.325 : 621.378 : 9

Е. Б. ВОЛОДИН, К. К. СВИДЗИНСКИЙ

(Москва)

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ТРАНСПАРАНТОВ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ И СВЯЗИ

Развитие оптико-электронной цифровой вычислительной техники и многоканальной оптической связи с числом каналов порядка $10^3 \dots 10^4$ в значительной мере определяется не только возможностями построения лазеров с большим сроком службы и многоволоконных кабелей, но также и трех базовых элементов: оптически управляемого транспаранта (ОУТ), электрически управляемого транспаранта (ЭУТ) и матричного фотоприемника с памятью и произвольной выборкой (МФП ЗУ) [1]. Цифровая оптическая техника оперирует «числовыми картинками» — бинарными дискретными изображениями. Количество параллельных каналов оптической обработки или передачи задается форматом числовых картин, который определяется числом элементов в ОУТ, ЭУТ и МФП ЗУ. Разработка новой элементной базы будет технически оправдана, если для нее удастся обеспечить следующие исходные параметры:

тактовую частоту $f_t = (1 \dots 10)$ МГц;

формат числовой картины $N \geq 10^4$;

усиление яркости (отношение мощности в единичном элементе числовой картины на выходе транспаранта к такой же мощности во входной картине) $G_0 \geq 20$ дБ;

мощность считывающего светового источника на один транспарант $P_0 = (0,3 \dots 3)$ Вт.

Кроме того, элементы ОУТ и МФП ЗУ должны иметь достаточно резкие пороговые передаточные характеристики по световому сигналу, обеспечивающие цифровую обработку, а элементы ЭУТ — пороговый электрический вход, допускающий адресное обращение в матрице по схеме совпадений. Для цифровой оптико-электронной техники наиболее удобным видом фотоприемника является пороговый приемник с накоплением, чувствительность которого измеряется энергией единичного светового импульса W_1 , приходящегося на один канал или элемент изображения. Согласно соотношению (3), приведенному ниже, для $P_0 = 1$ Вт и величины произведения $G_0 f_t = 10^8$ Гц требуется довольно высокая для матричного фотоприемника чувствительность ($W_1 = 10^{-13}$ Дж/бит).

Если МФП ЗУ с требуемыми параметрами недавно были разработаны как на биполярных фототиристорных структурах [2], так и на МОП-структурах [3] и могут быть изготовлены в виде БИС размером до 16 кбит, то построение быстродействующих транспарантов наталкивается на серьезные препятствия: у лучших из созданных до сих пор ОУТ и ЭУТ типа «Ферпик» [4, 5] и «Фототитус» [6] тактовую частоту

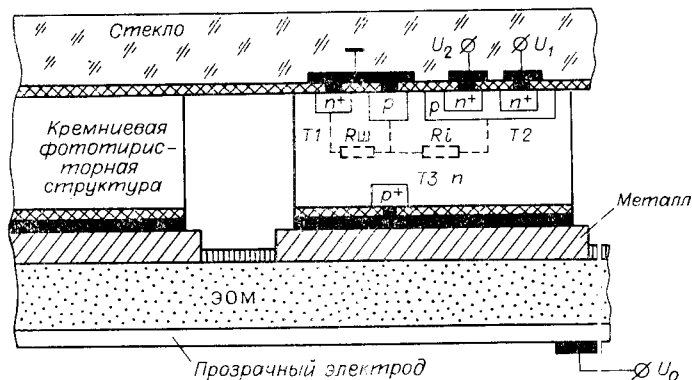


Рис. 1. Конструктивная схема ячейки ОУТ, ЭУТ и универсального транспаранта.

не удастся поднять выше нескольких килогерц вследствие значительных энергетических потерь в фотопроводниковом и электрооптическом слоях, а также из-за низкой фоточувствительности транспаранта.

Тем не менее достигнутые параметры не являются предельными [7] и могут быть существенно повышены, если однородный фотопроводниковый слой заменить токоуправляющей кремниевой интегральной схемой, а оперативную оптическую память построить по динамическому принципу действия. С этой целью была разработана конструкция интегральной ячейки для ОУТ такого типа, названная ФОМДЭП-структурой (фотоприемник — оптический модулятор — динамический элемент памяти), которая, как оказалось, обладает более широкими функциональными свойствами, чем просто ячейка ОУТ. В настоящей работе показано, что на основе модифицированной ФОМДЭП-структуры с двухэмиттерным входом может быть построен не только ОУТ, но и все остальные типы управляемых транспарантов — ЭУТ и универсальный управляемый транспарант типа «Латрикс» [7], совмещающий в едином устройстве функции ОУТ, ЭУТ и МФП ЗУ.

Устройство и принцип действия ячейки транспаранта. ФОМДЭП-структура состоит из ячейки кремниевой управляющей интегральной матрицы, соединенной со слоем электрооптического материала (ЭОМ) посредством зеркальной металлической контактной площадки. Интегральная матрица изготавливается на стеклянной подложке, которая прозрачна для управляющего света. Электрооптический слой, покрытый прозрачным электродом, является общим для всех ячеек. Схематически ФОМДЭП-структура в разрезе изображена на рис. 1. Кремниевая ячейка в значительной степени функционально интегрирована, но тем не менее в ней можно выделить поперечный транзистор Т1, коллектор которого контактирует с зеркальной площадкой, и продольный двухэмиттерный фототранзистор Т2, у которого коллектор объединен с базой транзистора Т1. Эквивалентная электрическая схема ячейки изображена на рис. 2. Транзистор Т2 служит в качестве

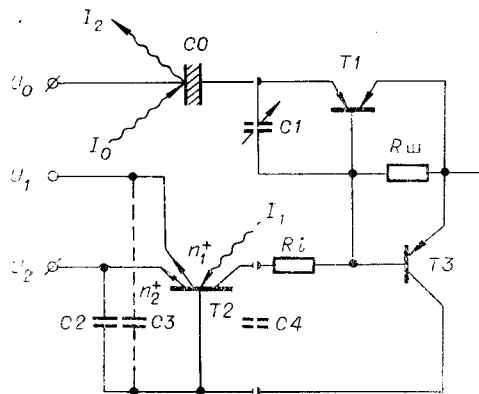


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема ФОМДЭП-структуры.

фотоприемника с усилением (фототранзистор), а также генератора тока для инжекционного управления токовым ключом Т1, через который производится зарядка и разрядка емкости С1 модулятора. При объединении в одной структуре двух транзисторов Т2 и Т3 образуется тиристор, который используется как динамический зарядово-управляемый элемент памяти, подобный элементу МФП ЗУ [2].

Ячейка работает по принципу емкостного делителя напряжения, в одном из плеч которого находится модулятор, а в другом — управляемая емкость коллекторного $p-n$ -перехода транзистора Т1.

Величина управляемого напряжения на модуляторе определяется пробоем этого перехода при обратном смещении и может составлять около 100 В. Малость джоулевых потерь в фотоуправляющем слое обеспечивается тем, что заряд переносится на емкость модулятора при напряжении $U_3 < 0,1$ В, падающем на насыщенном транзисторе Т1, а также тем, что в ячейке рекомбинирует лишь часть $1/\beta_1$ переносимого заряда, где β_1 — коэффициент усиления Т1 по току.

Напряжение переноса заряда на модулирующий слой U_3 , дающее активные потери, на три порядка меньше напряжения U_0 , управляющего модулятором. Несмотря на то, что на электрооптическом слое запасается значительная электростатическая энергия (10^4 Дж/см²), обусловленная большим значением U_0 , ее перенос при перезаписи связан с реактивной составляющей мощности, которая не выделяется в структуре.

Фототранзистор Т2 имеет большой коэффициент усиления β_2 , так что результирующее усиление ячейки (коэффициент передачи заряда от фотоприемника на модулятор) $G_i \approx \beta_1 \beta_2$ оказывается значительным ($G_i \sim 10^3$) при высоком быстродействии, определяемом главным образом временем пролета носителей ($\tau_r \sim 10^{-7}$ с) через базу транзистора Т1. Для этого ширина базы не должна превышать 20...30 мкм. Кроме того, база не должна быть слишком узкой, так как в определенных фазах цикла переключения на ней должно падать модулирующее напряжение $U_0 \sim 100$ В. Размер оптической ячейки задается зеркально-контактной площадкой к электрооптическому слою и может варьироваться практически от 30 до 300 мкм.

Оптическая оперативная память с низкой энергией цикла запись — стирание осуществляется ФОМДЭП-структурой за счет периодической регенерации заряда на емкости модулятора ячейки, который достаточно медленно разряжается через коллекторный переход транзистора Т1, имеющий обратное смещение. Такой динамический режим хранения в отличие от обычного статического дает возможность применить в транспаранте электрооптический материал без гистерезисных свойств, т. е. сегнетоэлектрик при температуре выше точки Кюри. В результате плотность энергии, рассеиваемой в цикле запись — стирание, снижается до уровня 10^{-7} Дж/см², т. е. на три порядка в сравнении со средой в сегнетоэлектрической фазе, и на четыре — пять порядков по сравнению с другими типами реверсивных оптических запоминающих сред. При использовании для модулирующего слоя недавно разработанных типов быстродействующей сегнетокерамики ЦТСЛ [8, 9] транспарант может иметь напряжение модуляции не более 40 В на 100 мкм, коэффициент модуляции не ниже 50%, чувствительность порядка 10^{-13} Дж/бит и время полного цикла (запись — считывание — стирание) — доли микро-секунды.

Режим работы ОУТ. В матрице ОУТ три подсистемы параллельных шин подсоединяют все ячейки к трем внешним выводам. Все p -эмиттеры и n -базы всех ячеек контактируют с нулевым электродом. Вторая подсистема объединяет все первые n^+ -эмиттеры тиристоров, на которые подаются управляющие импульсы U_1 . Третья подсистема соединяет вторые n^+ -эмиттеры всех ячеек, на которые подаются управляющие им-

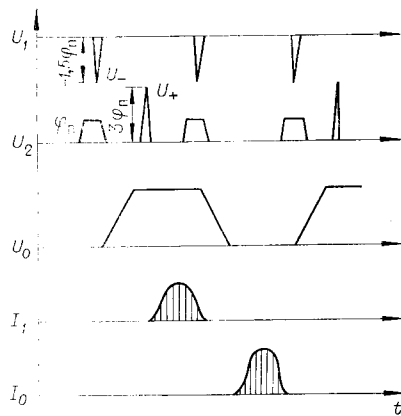


Рис. 3. Эпюры управляющих импульсов записи, стирания и считывания для ОУТ.

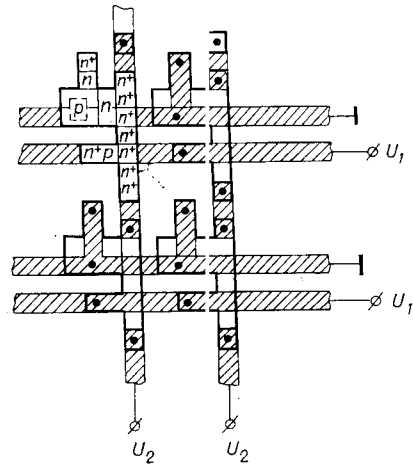


Рис. 4. Конфигурация ячеек и их соединение в матрице ЭУТ и универсального транспаранта.

пульсы U_2 . Наконец, четвертый электрод служит для подачи управляющих импульсов U_0 на прозрачный контакт к электрооптическому слою.

Модулятор ячейки переводится в заряженное (« 1_m ») или разряженное (« 0_m ») состояние, когда тиристор находится соответственно в закрытом (« 0_T ») или в открытом (« 1_T ») состоянии. В свою очередь, тиристор приводится в состояние « 0_T », когда на фотоприемное окно ячейки поступает нулевой управляющий световой сигнал $I_1(0)$, и переводится в состояние « 1_T », когда приходит единичный сигнал $I_1(1)$.

Эпюры электрических и оптических импульсов, управляющих ячейкой, изображены на рис. 3. Перед началом такта на тиристор подается короткий отпирающий отрицательный импульс $U_1 = U_-$, приводящий к инжекции электронов в n -базу, благодаря чему транзистор Т1 переходит в открытое состояние. Затем передний фронт импульса $U_0(t)$ заряжает модулятор за счет того, что из p^+ -области вытекают дырки и она приобретает заряд $-C_0U_0$. В это время переход является эмиттером транзистора Т1, который находится в режиме насыщения до тех пор, пока существует заряд дырок в n -базе. Следующий затем положительный импульс $U_2 = U_+$ заряжает барьерную емкость второго эмиттера благодаря тому, что в p -базу поступают электроны через открывающийся первый эмиттерный переход, а также через средний переход тиристора из n -базы, связанной с нулевым электродом. Задним фронтом импульса U_+ эти переходы запираются, а внесенный управляющий заряд C_0U_0 распределяется между емкостями C_2 и C_3 обратносмещенных переходов, создавая на p -базе запирающий потенциал, в результате чего тиристор переходит в состояние « 0_T ».

Управляющий световой импульс $I_1(1)$ создает дырки в коллекторном переходе и n -базе, которые уничтожают запирающий заряд, переводя тиристор в состояние « 1_T ». В неосвещенной ячейке тиристор остается в состоянии « 0_T ». Последний этап переключения ячейки состоит в разряде емкости C_0 . Для этого перед началом заднего фронта $U_0(t)$ на тиристор снова подаются импульсы U_1 и U_2 , которые открывают тиристор, если он находится в состоянии « 1_T », но не открывают, а подтверждают запирающий заряд, если тиристор находился в состоянии « 0_T ». В первом случае за счет инжекции электронов в n -базу открывается транзистор Т1, а его $p-n$ -переход с заземленным p -слоем получает смещение в прямом направлении, поставляя положительный ды-

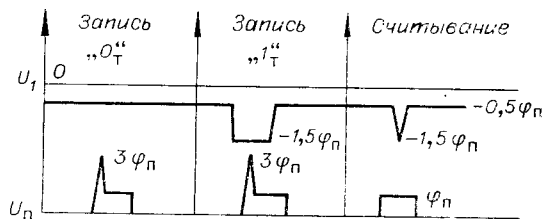


Рис. 5. Эпоуры записывающих и считывающих импульсов для ЭУТ и универсального транспаранта.

рочный ток в p^+ -слой $p-n$ -перехода, который служит теперь коллектором. Разряд емкости C_0 , как и заряд, происходит через открытый насыщенный транзистор T_1 .

Во второй половине такта происходит считывание импульсом света $I_0(t)$.

ЭУТ и универсальный транспарант.

В отличие от ОУТ ЭУТ выполняется в виде матрицы на ФОМДЭП-структурах с ортогональной системой адресных шин, которая необходима для построения электрической записи числовой картины. Это обеспечивается тем, что двухэмиттерный вход в ФОМДЭП-структуру позволяет осуществить адресное обращение к ячейке и запись управляющего заряда в тиристор по методу совпадения с полувыборкой, разработанному для МФП ЗУ на фототиристорах [2]. На рис. 4 представлен один из возможных вариантов топологии ячеек и их соединения в матрице для ЭУТ и универсального транспаранта. Второй n^+ -эмиттер делается по площади большим, чем первый, для того чтобы емкость второго эмиттерного перехода была преобладающей, как это отражено на эквивалентной схеме рис. 2. Разрядные шины подсоединяют к первым эмиттерам, имеющим по возможности минимальную площадь и емкость. Числовые шины образуются вторыми эмиттерами и металлическими перемычками между ними, благодаря чему ортогональная система адресации получается при однослойном монтаже металлических соединений.

Заряд, переводящий тиристор в состояние « 0_T », вводится через первый эмиттер на емкость C_2 второго перехода в том случае, когда на разрядную шину подано смещение $U_1 \geq -\varphi_n/2$, а на числовую шину — положительный импульс $U_2 = 3\varphi_n$, где $\varphi_n \approx 0,5$ В — напряжение включения $p-n$ -перехода рис. 5. При управлении по двум эмиттерам пороговое напряжение включения тиристора в состоянии « 1_T » равно φ_n , а в состоянии « 0 » — $2\varphi_n$. В те ячейки выбранной строки, куда необходимо записать I_n , на разрядные шины подается импульс $U_1 = 1,5\varphi_n$ совместно с импульсом $U_2 = 3\varphi_n$, в результате чего превышает порог включения в состоянии « 0_T » и тем более в состоянии « 1_T ».

После записи всего кадра следует операция перенесения зарядовых состояний на емкости модулятора, а затем оптическое считывание, которые выполняются, как и в ОУТ (см. рис. 3), с тем отличием, что световой импульс $I_1(t)$ в данном случае отсутствует и соответственно продолжительность импульса $U_0(t)$ может быть укорочена.

Благодаря наличию фотоприемных окон между шинами (см. рис. 4), матрица ЭУТ может управляться также и световыми сигналами, т. е. работать как ОУТ.

Но, кроме того, данная матрица может выполнять функции МФП ЗУ и таким образом служить в качестве универсального управляемого транспаранта. Оптическая запись числовой картины осуществляется так же, как и в ОУТ, а электрическое считывание производится по строкам. Для этого на выбранную числовую шину строки подается импульс $U_2 = \varphi_n$, а на все разрядные шины подается импульсы $U_1 = -1,5\varphi_n$, как показано на рис. 5. Указанная комбинация импульсов включает тиристоры, находящиеся в состоянии « 1_T », и на соответствующих разрядных шинах регистрируются импульсы тока. Тиристоры в ячейках выбранной строки, находящиеся в состоянии « 0_T », под действием импульсов считывания не включаются, при этом по разрядным шинам протекают незначительные емкостные токи.

Оптическое считывание. В каждой ячейке транспаранта, на которую подано модулирующее напряжение U_m , волна считывающего света, отразившись от зеркальной площадки и дважды пройдя через электрооптический слой, претерпевает поляризационную модуляцию, вследствие продольного эффекта Поггелса. Превращение поляризационной модуляции в амплитудную производится по методу скрещенных поляризаторов [10] или с помощью призмы Николя. Коэффициент модуляции транспаранта определяется соотношением

$$\eta_m(\xi) = I_2(t, \xi)/I_0(t) = 10^{-0,1\kappa_T} \sin^2 \left[\frac{\pi U_m}{U_{\lambda/2}} \xi(I_1) \right], \quad (1)$$

где $I_0(t)$ — интенсивность считывающего импульса света; $I_2(t)$ — интенсивность единичного элемента в считанном изображении; κ_T — потери считывающего света за счет экстинкции и неполного отражения от зеркала (в децибелах); $U_{\lambda/2}$ — полуволновое напряжение электрооптического материала. Функция $\xi(I_1)$ принимает значения $\xi=1$, когда на ячейку поступает сигнал $I_1(t)$, соответствующий коду 0, и $\xi=0$, когда $I_1(t)$ соответствует коду 1, так как в освещенных ячейках модулирующие конденсаторы оказываются разряженными, а заряжаются до напряжения U_m только в ячейках с нулевым освещением (ниже порогового уровня). Таким образом, ОУТ осуществляет зарядку с усилением яркости негативное преобразование числовой картины, т. е. инвертирует оптический двоичный код. Как следует из (2), для эффективной модуляции требуется, чтобы $U_m \approx 1/3 U_{\lambda/2}$, так что для электрооптических материалов с $U_{\lambda/2} \leq 300$ необходимо напряжение модуляции $U_0 \approx U_m \leq 100$ В.

Благодаря тому, что по энергиям входного и выходного световых сигналов W_1 и W_2 каждая ячейка ОУТ имеет передаточную пороговую функцию $W_2 = f(W_1)$ двоичного инвертора, ОУТ в целом осуществляет операцию ИЛИ — НЕ над числовыми картинками, которые подаются на его вход, а набор ОУТ может реализовать произвольную функцию числовых картин. Для того чтобы ОУТ выполнял операцию ИЛИ без инверсии, считывающая волна должна иметь соответствующую эллиптическую поляризацию, которая после модуляции превращается в линейную и задерживается анализатором с перпендикулярной ориентацией. Очевидно, что волна изображения от тех ячеек, где не произошло модуляции, будет пропущена анализатором с интенсивностью, определяемой формулой (2) при $\xi=1$.

Динамическая регенерация оптической памяти. Управляемые транспаранты на ФОМДЭП-структурах обладают свойством кратковременного хранения записанных на них числовых картин. Стирание информации происходит за время $\tau_p = (10^{-2} \dots 1,0)$ с вследствие термической генерации электронно-дырочных пар и утечек в обратносмещенных $p-n$ -переходах тиристора, находящегося в запертом состоянии «0 τ », и в коллекторном переходе ключа Т1, запирающем заряд на модулирующей емкости. Записанная информация может периодически регенерироваться сначала в электронной подсистеме на тиристорах, а затем в оптической подсистеме на модулирующих емкостях. Цикл регенерации не отличается от цикла переноса заряда на модулирующий слой в ОУТ, который изображен на рис. 3, с той разницей, что в нем отсутствует импульс оптической записи $I_1(t)$. Состояние ячейки «1 τ 0 m » стабильно во времени и не изменяется в такте подтверждения, так как тиристор и ключ Т1 оказываются открытыми, а импульс $U_0(t)$ сначала заряжает емкость С0, а затем разряжает ее. Состояние «0 τ 1 m » (которое релаксирует за время τ_p) подтверждается импульсами U_- и U_0 , препятствующими полной релаксации. Импульс U_- приводит к инжекции электронов в p -базу тиристора и восстанавливает часть отрица-

тельного запирающего заряда, успевшую релаксировать. Для этого амплитуда U_- подбирается больше порога отпирания тиристора в состоянии «1_т», но меньше порога в состоянии «0_т». Так как тиристор в состоянии «0_т» не включается, то ключ Т1 также оказывается запертым. Передний фронт импульса $U_0(t)$ смещает $p^+ - n$ -переход ключа Т1 в прямом направлении, что приводит к инжекции дырок в n -базу, если за время хранения произошла утечка отрицательного заряда за счет натекания дырок в p^+ -область, т. е. частичная разрядка емкости модулятора. Избыточные дырки в n -базе рекомбинируют с электронами, поставляемыми через n^+ -контакт. Задний фронт $U_0(t)$ запирает $p^+ - n$ -переход, при этом отрицательный заряд $-COU_m$ на емкости модулятора и вместе с ним состояние «1_м» окажутся восстановленными. Заметим, что при записи фрагмента числовой картины изменяемая часть ее автоматически стирается, а неизменная автоматически регенерируется в такте записи.

Оценка основных параметров. Главной характеристикой ОУТ как активного логического преобразователя, а также усилителя-ретранслятора для передачи цифровых изображений является произведение G_{of_t} коэффициента усиления оптической мощности G_c на тактовую частоту f_t импульсов формирования усиленного изображения. Коэффициент усиления определяется как отношение энергий сигналов W_2/W_1 в единичных элементах выходного и входного изображений.

Так как энергия сигнала W_2 связана с мощностью считывающего лазера P_0 соотношением

$$W_2 f_t N = \kappa \eta_m P_0, \quad (2)$$

где κ — коэффициент заполнения площади транспаранта зеркальными ячейками; η_m — коэффициент модуляции, определяемый согласно (1) при $\xi = 1$, то

$$G_{of_t} = (\kappa \eta_m P_0) / (W_1 N). \quad (3)$$

Чтобы обеспечить $G_{of_t} = 10^8$ Гц при считывающей мощности $P_0 = 1$ Вт, даже при сравнительно большом световом к. п. д. транспаранта требуется довольно высокая чувствительность. Например, если $\eta_m = 0,4$ и $\kappa = 0,25$, необходимо иметь $W_1 = 10^{-13}$ Дж/бит. Величина W_1 определяется главным образом суммарной емкостью C_Φ , на которой хранится запирающий заряд тиристора, так что

$$W_1 = C_\Phi V_s h\omega / \gamma e, \quad (4)$$

где $h\omega$ — энергия светового кванта; e — заряд электрона; γ — внутренний квантовый выход фотоприемника; V_s — запирающий потенциал. Для оценки можно положить $h\omega = 2$ Дж/Кл, $\gamma = 0,8$, $V_s = 2\varphi_n \approx 1$ В, тогда величине $W_1 = 10^{-13}$ Дж/бит соответствует $C_\Phi = 3 \cdot 10^{-14}$ Ф. Емкость фотоприемника ячейки складывается из емкости эмиттера и емкости коллектора фототранзистора Т1, которые определяются площадями и удельными емкостями соответствующих $p - n$ -переходов. Площадь коллекторного перехода задается площадью фотоприемного окна, а удельная емкость его регулируется концентрацией носителей в n -области. Ее предельно малая величина, соответствующая pin -структуре, равна (2...3) 10^{-10} Ф/см². Минимальная площадь эмиттера определяется точностью фотолитографии, т. е. наименьшей площадью фотолитографического окна (~ 10 мкм²), а удельная емкость — инжекционными свойствами эмиттера ($\sim 10^{-7}$ Ф/см²), так что минимальная емкость эмиттера составляет $\sim 10^{-14}$ Ф. Ясно, что с точки зрения получения минимальной емкости фотоприемника ячейки описанная выше двухэмиттерная ФОМДЭП-структура не является оптимальной. Для ОУТ, где важна высокая светочувствительность и не нужны два управляющих входа, целесообразно применять одноэмиттерную ячейку [8],

у которой эмиттерная емкость может быть сделана минимальной, а коллекторная должна быть сравнима с ней. Таким образом, минимальная суммарная емкость фотоприемника $C_{\phi} = 2 \cdot 10^{-14}$ Ф, а предельная чувствительность одноэмиттерного порогового фотоприемника ячейки составляет $W_1 = 10^{-13}$ Дж. Максимальная площадь фотоприемного окна, которую можно получить без снижения фоточувствительности, $S_{\phi} \approx 3 \cdot 10^{-5}$ см², что соответствует диаметру окна около 50 мкм.

В оптимальном случае размер фотоприемного окна ячейки должен быть равен или несколько больше размера зеркальной ячейки. При этом выходное изображение одного ОУТ совмещается своими элементами с фотоприемными окнами другого ОУТ в последующем каскаде. Кроме того, площадь зеркальной ячейки не может быть слишком малой, так как она ограничивается снизу тремя факторами: оптическим разрешением, обусловленным конечной толщиной электрооптического слоя, требованием теплоотвода и, наконец, требованием отсутствия пробоя между зеркальными площадками соседних ячеек. Совокупное действие этих факторов обуславливает минимальный размер зеркальной площадки (около 50 мкм) при сравнимой величине зазора, что согласуется с приведенным выше размером фотоприемного окна, соответствующим предельной фоточувствительности ячейки.

Заметим, что имеется принципиальная возможность увеличения фотоприемного окна и, следовательно, всей ячейки без потери ее фоточувствительности. Например, можно применить недавно предложенный метод разделения емкости, хранящей запирающий заряд, от емкости фоточувствительной области с помощью канального транзистора [11]. Разумеется, размер ячеек ОУТ можно увеличить за счет снижения фоточувствительности, что потребует более мощного считывающего источника. Очевидно, что такие ОУТ должны использовать некогерентные считывающие источники с мощностью порядка 10 Вт и выше в требуемом спектральном диапазоне.

Для ЭУТ трудности, связанные с получением высокой чувствительности и большой площади ячейки, отсутствуют и действуют лишь указанные выше ограничения на минимальный размер зеркальной площадки. Размещение двухэмиттерной кремниевой структуры с топологией, типа приведенной на рис. 4, допускает размер окон совмещения свыше 100 мкм² и не предъявляет к технологии изготовления особых требований. Что касается универсального транспаранта, то двухэмиттерная ячейка с топологией, типа изображенной на рис. 4, ограничивает ее фоточувствительность до уровня 10^{-12} Дж/бит. Такой транспарант, применяемый в качестве ОУТ, может иметь произведение 10^8 Гц только при некогерентном считывании.

Заключение. Разработка цифровых управляемых транспарантов по типу линейных (аналоговых) транспарантов натолкнулась на принципиальные физические ограничения, препятствующие достижению требуемого быстродействия и оптического усиления. Одно из возможных решений этой задачи состоит в применении конструкции, сочетающей электрический слой с кремниевой интегральной матрицей управляющих фоточувствительных элементов. В качестве универсальной ячейки интегральных транспарантов в данной работе рассмотрена ФОМДЭП-структура, представляющая собой новый микроэлектронный многофункциональный прибор, соединяющий в себе функции порогового фотоприемника или/и двухвходового логического элемента И, динамического элемента памяти, инжекционно-управляемого ключа, емкостного делителя напряжения и оптического модулятора отражательного типа на продольном эффекте Поккельса.

На ФОМДЭП-структуре могут быть изготовлены интегральные транспаранты всех требуемых типов с числом элементов порядка 10^4 и следующими параметрами:

ОУТ — пропускная способность порядка 10^{16} бит/с при оптическом усилении около 20 дБ и фоточувствительности в 10^{-13} Дж/бит;

ЭУТ — скорость ввода в оптический канал $\sim 10^9$ бит/с при средней световой мощности ($10^{-5} \dots 10^4$) Вт на элемент изображения;

универсальный транспарант — параметры ЭУТ и фоточувствительность $\sim 10^{-12}$ Дж/бит. Тем самым открывается принципиальная техническая возможность построения элементной базы для оптической цифровой вычислительной техники и связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свидзинский К. К. Элементная база когерентных оптических ЦВМ. — «Электрон. пром-сть», 1973, вып. 6 (20), с. 56—62.
2. Володин Е. Б., Ольховский А. В., Рычков Г. С. Интегральная матрица фотоприемников. — «Электрон. техника. Сер. 3. Микроэлектроника», 1974, вып. 3 (51), с. 49—50.
3. Акаев А., Майоров С. А., Смирнов Н. А. Голографические оперативные ЗУ, ч. II. — «Зарубеж. радиоэлектроника», 1975, № 6, с. 80—100.
4. Maldonado J. R., Anderson L. K. Strain-biased ferroelectric-photoconductor image operated in reflection mode. — «IEEE Trans.», 1971, vol. ED-18, № 9, p. 774—776.
5. Roberts H. N. Strain-biased PLZT input devices for holographic memories and optical data processing. — «Appl. Opt.», 1972, vol. 11, № 2, p. 337—405.
6. Dumont F. Optical transformer phototitulus. — «Philips Techn. Rev.», 1974, vol. 34, № 10, p. 234—287.
7. Taylor G. W., Kosonicky W. F. Ferroelectric light valve arrays for optical memories. — «IEEE Trans.», 1972, vol. SU-19, № 2, p. 81—99.
8. Landy M. J., McCarty A. E. Transmission switching characteristics of PLZT. — «Appl. Opt.», 1973, vol. 12, № 10, p. 2312—2319.
9. Гарбуз Н. Г., Жаботинский В. А., Компаней И. Н., Костина Т. М., Семочкин П. Н., Соболев А. Г., Яшин Э. М. Исследование электрооптических свойств прозрачной ЦТСЛ-керамики. — «Автоматика», 1975, № 3, с. 59—67.
10. Мари, Донжон. Монокристаллические сегнетоэлектрики и их применение в светоклапанных устройствах отображения информации. — «ГИИЭР», 1973, т. 61, № 7, с. 178—211.
11. Nordstrom R. A., Meindl J. D. The field-effect modified transistor: a high-responsivity photosensor. — «IEEE J. of Solid-State Circuits», 1972, vol. SC-7, № 5, p. 411—417.

*Поступила в редакцию 10 июня 1976 г.;
окончательный вариант — 26 ноября 1976 г.*

УДК 772.99

**А. В. АВРОРИН, Ю. К. ВОЛКОВ, Е. А. КОПЫЛОВ,
М. И. КОТЛЯЧКОВ, В. В. КУЗНЕЦОВ**

(Москва)

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ НА КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЙ В СВЧ ГОЛОГРАФИИ

Исследование поляризационных эффектов проводилось в связи с задачей повышения информативного содержания изображений, восстанавливаемых с СВЧ голограмм. В работе демонстрируется возможность использования в этих целях эффектов деполаризации электромагнитных волн при рассеянии на металлических телах. Обычно на голограмме регистрируется недеполяризованная составляющая векторного поля. Восстановленные с таких голограмм изображения составлены в основном из интенсивных бликов, обусловленных зеркальным отражением