

СРЕДЫ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ

УДК 681.325 : 621.378

Э. Г. КОСЦОВ, В. К. МАЛИНОВСКИЙ, Ю. Е. НЕСТЕРИХИН,
А. Н. ПОТАПОВ
(Новосибирск)

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ОПЕРАТИВНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ *

1. Работы последних лет показывают, что проблема создания оптоэлектронных постоянных запоминающих устройств (ПЗУ) большой емкости (10^9 — 10^{12} бит) близка к технической реализации. Значительно менее ясным выглядит вопрос об использовании оптики в оперативных системах. Ее кардинальное преимущество — возможность организации бесконтактных связей при одновременном распараллеливании каналов обработки — еще не нашло конкретных схемотехнических решений.

Считается, что узловым при создании оперативных оптоэлектронных запоминающих устройств является вопрос о носителях информации. Во многих лабораториях исследуется практически весь спектр физических эффектов, потенциально пригодных для многократного использования в циклах запись—стирание—считывание с малым временем цикла ($<10^{-7}$ с), минимальной энергоемкостью ($<10^{-3}$ Дж/см²), высоким пространственным разрешением (>1000 лин/мм).

Ниже проанализирована специфика функционирования оперативного носителя информации, предложена модель элементарной ячейки оперативной памяти и рассмотрена возможность ее реализации из дискретных элементов.

2. При записи информации световой луч воздействует на материал, изменяя его оптические свойства (коэффициент преломления, поглощение и т. д.). Энергетические затраты при этом покрываются либо за счет энергии записывающего луча, либо в значительной мере за счет внешнего источника (электрическое или магнитное поле, химические реакции и т. д.). Считывающий луч регистрирует изменение свойств материала и восстанавливает закодированную информацию.

Фактически речь идет об управлении параметрами одного светового луча (считывающего) с помощью другого (записывающего), а оперативная среда — промежуточное звено, позволяющее осуществить эффективное взаимодействие двух световых пучков. Это означает, что среда должна выполнять функции преобразователя энергии при записи и модулятора при считывании. Поскольку нерационально возлагать на записывающий луч все энергетические затраты, необходим внешний

* Работа докладывалась на Первом советско-американском симпозиуме по оптической обработке информации. Вашингтон, 1975.

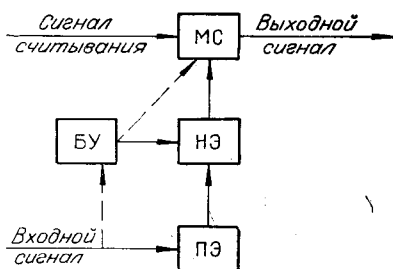


Рис. 1. Блок-схема модели ячейки оптической памяти:
 БУ — блок управления; МС — модулятор света; НЭ — накопитель энергии.

Модулятор света (МС). Из всех видов модуляции (амплитудная, частотная, фазовая) следует отдать предпочтение фазовой.

Частотная модуляция неэффективна из-за малости к.п.д. преобразования частоты света на нелинейных эффектах.

При амплитудной модуляции имеют место потери энергии в модуляторе, что накладывает ограничения на уровень или длительность сигнала считывания и приводит к проблеме отвода тепла.

В случае фазовой модуляции потери света малы, выделение энергии происходит вне материала, в анализаторе. Кроме того, как известно из теории связи, фазовая модуляция наиболее помехоустойчива [1]. Известны и хорошо изучены физические эффекты, позволяющие осуществить фазовую модуляцию (например, электрооптический эффект), а также материалы, обладающие низким полуволновым напряжением (например, $\text{Sr}_{0,25}\text{Ba}_{0,75}\text{Nb}_2\text{O}_6$).

Накопитель энергии. Из-за низкого к.п.д. преобразования энергии световой волны в форму, необходимую для осуществления изменений в материале, представляется более выгодным использовать световой поток только как носитель информации. В этом случае функции накопления (или выделения) энергии. Яркий пример — фотоматериалы. Усиление, осуществляемое за счет накопителя энергии (химическое проявление), достигает величин $\sim 10^{10}$ [2]. Для оперативных систем затруднительно подобрать обратимую химическую реакцию с большим квантовым выходом, и поэтому «химические» накопители не используются.

Создание накопителя с использованием энергии магнитного поля малоэффективно, поскольку эффекты прямого фотомагнитного преобразования ничтожны и достижимая плотность энергии, запасенной в виде магнитного поля, существенно уступает электростатической энергии.

Наиболее целесообразно, по-видимому, использование энергии электрического поля. В пользу этого утверждения можно привести ряд аргументов: легко достижима высокая плотность электростатической энергии, инициируемое светом, позволяет реализовать усиление с коэффициентом емкостного накопителя может быть сделано достаточно большим ($RC \leq 10^{-9}$ с).

Применение емкостных накопителей и освобождение запасенной энергии, инициируемое светом, позволяет реализовать усиление с коэффициентом $\sim 10^4$ — 10^6 .

Преобразователь энергии. Из приведенных ранее рассуждений следует, что преобразователь должен быть фотоэлектрическим преобразователем.

Анализ работы компонент ячейки показывает, что наилучшим образом будет функционировать система, в основу действия которой по-

источник энергии, усиливающий инициируемые светом изменения в материале до заметных величин.

С учетом сказанного элементарная ячейка оперативной среды схематично изображена на рис. 1. Подобное представление условно (принципиально возможно совмещение компонент в одном слое), но дает возможность более четко разделить физические эффекты, лежащие в основе функционирования материала.

3. Рассмотрим специфические особенности каждого элемента ячейки.

ложено регулируемое с помощью электрического поля фотоэлектрическое преобразование энергии при записи и эффекты типа электрооптических при считывании.*

4. Проведенное выше рассмотрение модели элементарной ячейки оперативной среды позволяет сконструировать ее из дискретных специализированных компонент.

Экспериментально были изучены особенности работы подобной ячейки с использованием кристалла ниобата лития в качестве модулятора и лавинного фототранзистора фотоэлектрического преобразователя. Накопителем энергии служила емкость, образованная электродами модулятора. Заряд емкости производился от внешнего источника тока через коммутатор.

Принципиальная схема ячейки показана на рис. 2, цикл ее работы состоит из следующих тактов:

1-й такт — «стирание» (заряд емкости — изменение энергетического состояния накопителя);

2-й такт — «запись» (подача светового сигнала на вход преобразователя — инициирование выделения энергии);

3-й такт — «считывание» (подача светового сигнала на вход модулятора — модуляция светового потока).

Параметры, характеризующие работу ячейки: I_0 — интенсивность считывающего светового луча, $V_{упр}$ — величина управляющего сигнала (количество накопленной энергии), Q_n — состояние памяти, t_3 — длительность времени записи, t_{xp} — время, прошедшее с момента записи до момента считывания (операцию «стирания информации» будем рассматривать как одну из операций управления). Интенсивность света на выходе ячейки $I_{вых}$ определяется состоянием памяти Q_n :

$$I_{вых} = f(Q_n);$$

в свою очередь,

$$Q_n = \varphi(V_{упр}, I_{вх}, t_3, t_{xp}).$$

Две включенные встречно ячейки образуют модель бесконечной цепочки запоминающих элементов, которая дает возможность проанализировать особенности передачи информации от элемента к элементу.

Руководствуясь теми же соображениями, которые используются при изучении логических квантователей [4], запишем систему уравне-

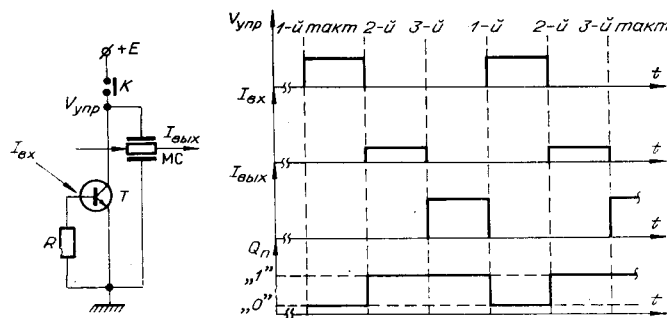


Рис. 2. Принципиальная схема ячейки оптической памяти и диаграмма ее рабочего цикла.

* Из известных в настоящее время конструкций уже нашли применение многослойные конструкции типа PROM [3]. Их работа основана на использовании электрооптического эффекта в фоточувствительных кристаллах германата и силиката висмута, роль накопителя энергии играет регулируемое с помощью внешних устройств электрическое поле.

ний, характеризующую работу указанной цепочки элементов:

$$Q_{\text{п}}^{\text{вх}} = \varphi \{f(Q_{\text{п}}^{\text{вх}}), V_{\text{упр}}, t_3, t_{\text{хр}}\};$$

$$Q_{\text{п}}^{\text{вх}} = \varphi \{f(Q_{\text{п}}^{\text{вх}}), V_{\text{упр}}, t_3, t_{\text{хр}}\}.$$

Неограниченное число циклов передачи информации из одной ячейки в другую возможно лишь при условии существования трех действительных систем уравнений совместно с уравнением, характеризующим условия касания кривых $Q_{\text{вых}} = \psi(Q_{\text{вх}})$ и $Q_{\text{вых}} = \psi^{-1}(Q_{\text{вх}})$, дает возможность определить минимальные значения $V_{\text{упр}}, I_0, t_3$.

Отметим, что значение минимальных значений параметров $V_{\text{упр}}, I_0, t_3$ может служить критерием при выборе материалов, используемых в элементах памяти.

В экспериментальной ячейке получены следующие значения основных параметров: минимальное управляющее напряжение $V_{\text{упр}} = 50$ В, минимальная интенсивность $I_0 = 3 \cdot 10^{-6}$ Вт, $t_3 = 2 \cdot 10^{-8}$ с, $t_{\text{хр}} = 10^{-3}$ с, максимальный коэффициент усиления по свету $\sim 10^3$, добротность ячейки 10^7 Дж $^{-1}$. Полуволновое напряжение использовавшегося кристалла $U_{\lambda/2} = 400$ В.

5. Необходимость использования твердотельного преобразователя энергии ограничивает размеры и плотность размещения элементов памяти величинами, характерными для современной интегральной технологии. Оценки, приведенные в работе [5], показывают, что плотность размещения элементов может достигать 10^5 см $^{-2}$.

При размерах элементов, близких к предельным, использование для модуляции света электрооптического эффекта дает возможность получить значения добротности $10^{11} - 10^{12}$ Дж $^{-1}$.

Отсюда следует, что тактовая частота функционирования оптической оперативной памяти при приведенной выше плотности размещения элементов может быть $10^6 - 10^7$ Гц, т. е. устройство, содержащее 10^8 элементов, способно обеспечить обмен информацией со скоростью $10^{14} - 10^{15}$ бит/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Харкевич. Борьба с помехами. М., «Наука», 1965.
2. К. Мизк, Т. Джеймс. Теория фотографического процесса. М., «Химия», 1973.
3. S. L. Hou, D. S. Oliver. Pockels readout optical memory using $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$. — "Appl. Phys. Lett.", 1971, vol. 18, № 8, p. 325—328.
4. Л. Лоу. Физическая реализация цифровых логических схем. — В кн.: Микромощная электроника. М., «Сов. радио», 1967.
5. Э. Г. Косцов, А. М. Мишин. Фотозлектрооптические логические элементы. — «Автоматрия», 1976, № 4, с. 28—34.

Поступила в редакцию 27 февраля 1976 г.