

Е. БАРРЕКЕТТ
(Нью-Йорк, США)

О ПЕРСПЕКТИВАХ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ*

Введение. Начиная с изобретения лазера, было предпринято множество попыток [1] использования его уникальных свойств с целью выпуска на рынок систем для оптической обработки информации. Ожидалось, что, по меньшей мере, в некоторых аспектах обработки визуальной, графической и картинной информации оптические методы будут иметь конкурентоспособный выход. К настоящему времени эти попытки имеют в лучшем случае ограниченный успех. Цель данной статьи — оценить возможности обработки информации традиционными методами и определить, где оптические методы могут играть заметную роль.

Поскольку оптические системы могут обрабатывать большое количество информации параллельно, успешными были бы применения, требующие обработки большого количества информации, представленной в визуальной форме. Область задач, где электронные методы только начинают вторжение и еще не полностью прижились, — это управление «взрывом» конторской информации. В статье производится оценка оптических методов применительно к различным элементам автоматизированных оффисов для того, чтобы определить, есть ли у них существенные преимущества по стоимости и (или) характеристикам в сравнении с развивающимися и существующими методами, могут ли они иметь существенный успех на рынке; делается вывод, что оптические методы имеют в лучшем случае незначительный шанс выхода на рынок запоминающих устройств только в конце следующего десятилетия. Однако они имеют более существенные возможности для успеха в системах связи и все основания для применения в устройствах ввода-вывода.

Область конторской (учрежденческой) информации. Объем бумаги, перерабатываемой в современном учреждении, растет с экспоненциальной скоростью. Этот взрыв конторской информации приводит к проблеме, связанной не только со стоимостью бумаги, но и с репродуцированием, распределением, хранением и поиском.

Типичный архив (картотека) может содержать от $5 \cdot 10^3$ до $2 \cdot 10^4$ документов с информационным содержанием в диапазоне от 10^4 до 10^9 бит на страницу. Например, закодированная машинописная страница содержит $(1 \div 3) \cdot 10^4$ бит, тогда как фотография или качественные графические рисунки с шестнадцатью уровнями серого цвета могут содержать более чем $3 \cdot 10^9$ бит. Таблица показывает информационное содержание страницы незакодированной информации, зарегистрированной с помощью обычных методов печати.

Как правило, набор документов в архиве содержит основные ($\sim 90\%$) кодированные (или кодируемые) страницы с малой некодированной частью. Если некодированные бинарные документы составляют только 10% от общего объема, из них 1% документов с полутонами и несколькими фотографиями ($\sim 0,1\%$), то информационное содержимое картотеки достигает $10^9 \div 10^{10}$ бит.

В организациях среднего размера или в отделениях большого предприятия несколько сотен лиц должны иметь активные картотеки емко-

* Материалы статьи частично докладывались на II Советско-американском семинаре по оптической обработке информации. Новосибирск, 1976.

Информационное содержание некодированных документов

| Способ печати | Разрешение | Двухградационное изображение | Изображение с 16 градациями яркости | Цветное изображение с 16 градациями яркости |
|-----------------------------|------------|------------------------------|-------------------------------------|---|
| Факсимильная | 50 | $1,5 \times 10^6$ | 6×10^6 | 2×10^7 |
| Электрография | 200 | $2,4 \times 10^7$ | 10^8 | 3×10^8 |
| Электронно-лучевая трубка | 300 | $5,4 \times 10^7$ | 2×10^8 | 6×10^8 |
| Глубокая печать, фотография | 600 | 2×10^8 | 10^9 | 3×10^9 |

стью до 10^{11} — 10^{12} бит информации, опирающиеся на архивные картотеки в несколько триллионов бит. Даже со сжатием данных (с учетом некоторой коррекции ошибок и детектирующих кодов для увеличения надежности) организация среднего размера должна иметь картотеки, достигающие триллиона бит. Это тот объем информации, который необходимо стараться обработать автоматически с помощью централизованной базы данных, доступ в которую осуществляется через терминалы или с помощью сети распределенных интеллектуальных рабочих станций. Возможная конфигурация офиса показана на рис. 1. Распространенные ныне обычные методы, будучи примененными для решения этой проблемы, приведут к «взрывному» увеличению количества конторских бумаг. Ожидается, что существенная экономия стоимости может быть достигнута за счет уменьшения потока бумаги и автоматизации хранения, поиска и распространения документов. В следующих разделах рассматриваются различные элементы автоматизированных информационно-обрабатывающих систем с целью определения, как и где оптические методы могут играть существенную роль, а также основные элементы, входящие в состав устройств памяти, связи и ввода-вывода.

Хранение и память. Странники оптики регулярно выступают с заявлениями, провозглашая возможность удовлетворения потребности в некоторых системах памяти. Практические успехи к настоящему времени более чем ограничены. В этом разделе рассматриваются конкурентоспособные позиции уже укрепившихся методов и делается заключение о том, что «оптические претенденты» имеют незначительный шанс догнать непрерывно движущуюся цель с улучшающимися характеристиками при быстро уменьшающейся стоимости.

1. Магнитная регистрация. Сегодня единичный дисковый пакет способен выполнять функции активной картотеки типичного состава и может работать в режиме «on line». Две катушки с лентами от системы памяти IBM 3850 имеют сравнимую емкость и обеспечивают запись/считывание в режиме «on line» при более низкой, чем в книгах, стоимости слова. Такие устройства занимают сейчас передовые позиции. Время от времени их стоимость уменьшается, а характеристики непрерывно улучшаются.

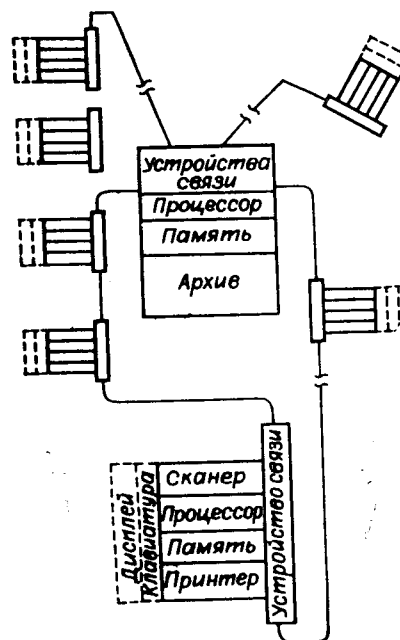


Рис. 1.

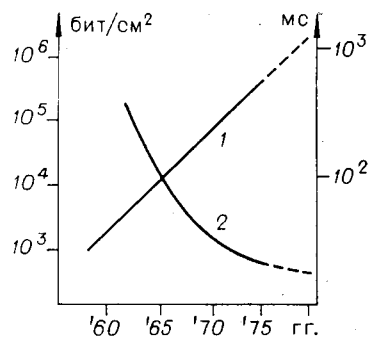


Рис. 2.

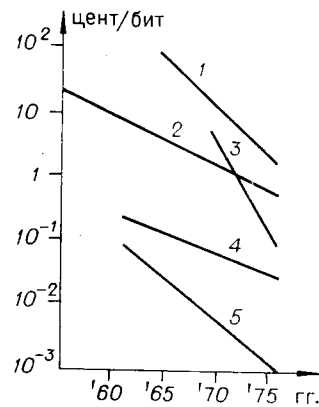


Рис. 3.

Пространственная плотность при магнитной регистрации примерно 10^6 бит/см² [2], а тенденция (рис. 2, кривая 1), позволившая увеличить плотность почти на три порядка величины за два десятилетия, тем не менее не меняется. Такие плотности достигаются за счет существенного уменьшения зазора магнитной головки, веса плавающей головки и толщины магнитной среды и приближаются к величинам, сравнимым с длиной волны видимого света [3, 4]. При таких плотностях и размерах запись и чтение осуществляются со скоростями, достигающими 50 м/с, или 200 км/ч.

Наряду с увеличением плотности записи и другими улучшениями стоимость бита при магнитной регистрации упала за десятилетие более чем на порядок величины. Это привело к росту потребления запоминающих устройств с непосредственным доступом, работающих в режиме «on line», более чем на порядок величины за то же время.

Отметим, что значительные усилия были предприняты для уменьшения стоимости устройств в основном за счет существенного повышения плотности хранения. Время выборки за прошедший период практически не улучшалось (см. рис. 2, кривая 2). Это вызвано тем, что стоимость сдерживает совершенствование механической выборки, а улучшение характеристик — недостаточно привлекательная гарантия для капиталовложений.

2. Полупроводниковая память. Несмотря на замечательные успехи, прогресс в магнитной записи затмевается достижениями в области полупроводниковой памяти, которая, заняв в последние несколько лет передовые позиции, вытесняет магнитные сердечники. Здесь также основной причиной для нововведения явилось уменьшение стоимости. Этот успех ярко иллюстрируется рис. 3. На рисунке показано падение стоимости бита информации для различных систем памяти: 1 — память на биполярных транзисторах; 2 — память на магнитных сердечниках; 3 — память на МОП структурах; 4 — дисковые устройства памяти с фиксированной головкой; 5 — дисковые устройства памяти с плавающей головкой. Цена полупроводниковой памяти падала более чем на два порядка величины за десятилетие и сохраняет тенденцию к прогрессу. Это происходит главным образом из-за двух факторов, приводящих к увеличению плотности записи: 1) улучшается конструкция устройства за счет уменьшения области разрядной ячейки при данном уровне литографии и 2) вводится высокоразрешающая литография.

Хотя прогресс в конструкции устройств [5] (рис. 4), видимо, подходит к пределу, новые идеи, такие, как возможность создания многоуровневой ПЗС памяти, могут снизить этот предел за счет размещения нескольких битов в одной ячейке. Ограничения, накладываемые длиной волны света при фотолитографии, могут быть сняты при экспонировании

нии электронным пучком [6, 7], которое уже применяется в производстве, и за счет рентгеновской литографии [7], возможности которой показаны в лаборатории. Оба новых подхода обеспечивают потенциальную возможность получения линий субмикронной толщины. С использованием электронно-лучевой литографии уже изготавливаются чипы на 8 К с шинами 1,2 мкм [8], а экспонирование рентгеновскими лучами [9] позволило создать баблы с микронными размерами.

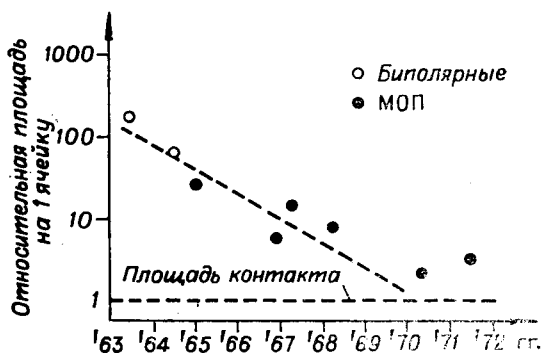


Рис. 4.

Эти и другие достижения в изготовлении полупроводниковых микросхем определяют тенденцию увеличения размеров чипов и повышения разрешения. Число битов на чипе [10] увеличивается более чем на два порядка за десятилетие, что отражается на падении цены, как указывалось ранее. Эксплуатационная стоимость полупроводниковой памяти быстро падает и определяет существенное увеличение ее потребления. Оперативная память настолько выросла сегодня, что достигла уровня дисковой памяти начала 60-х годов (емкость оперативной памяти некоторых систем достигает 10^8 бит).

3. Магнитные баблы. Магнитные баблы, которые только выходят на рынок (опытные партии), по стоимости и характеристикам занимают промежуточное положение между магнитной и полупроводниковой памятью. Их возможности, оцениваемые первыми разработчиками [11] (т. е. «Texas Instruments»), — это 10^5 бит на чип и 10^{-2} цент на бит. С развитием устройств фирмой «Rockwell» [12] емкость достигла 10^6 бит/чип. Таким образом, только появившись, баблы уже превысили емкость и плотность наиболее развитых ЗУ на ферритовых сердечниках и приближаются к ПЗС чипам. Предсказания фантастических плотностей в будущем, основанные на а) субмикронной ширине линии и б) новой конфигурации устройства, подтверждаются развитием упоминавшейся ранее литографии в рентгеновских лучах и прогрессом в организации решеток массивов баблов [3, 4].

4. Оптическая память. Несмотря на многолетние усилия многих разработчиков оптических ЗУ [1], до сих пор не разработан приемлемый промышленный вариант битовой или голографической оптической памяти.

Первоначально были созданы постоянные оптические системы памяти с емкостью 10^{12} бит. В фотоцифровой системе памяти фирмы IBM [15], разработанной в 1966 г., для записи применен электронный луч, а для считывания — электронно-лучевая трубка. Система «Unicon» фирмы «Precision Instruments» [16], разработанная в конце 60-х годов, использует лазер для записи и считывания. Однако эти системы были вытеснены магнитными системами с записью/считыванием, такими, как «Amrex Terrabit» IBM 3850 и подобными им.

В начале 70-х годов были предложены различные видеосистемы, работающие только на считывание. Сюда входят «Selectavision» фирмы RCA [17], голографический принцип которой был отвергнут из-за недостатков фоточувствительного устройства [18], «Discovision» фирмы «Philips» [19], основанная на долгоиграющей записи с очень высокой плотностью. Из перечисленных систем только последняя вышла на рынок, тогда как выход остальных откладывается на неопределенное время, и сейчас их превосходят видеоманитоны, обеспечивающие

запись и воспроизведение на магнитной ленте. Видеомагнитофоны типа «Sony Betamax» уже имеют значительный успех на рынке.

Таким образом, использование голографических [1], магнитооптических [20] и других методов хранения информации в оптических устройствах еще далеко от внедрения в практику. Знаменательно то, что преимущества, ожидаемые от высокого разрешения, обеспечиваемого оптическими ЗУ, исчезают, так как магнитная запись, полупроводниковые схемы и магнитные баблы уже достигли уровней плотности, ожидаемых для оптических ЗУ. Это стало возможным благодаря использованию электронно-лучевых методов изготовления элементов [7].

Если оптические ЗУ и выйдут на рынок, то только благодаря полному использованию преимуществ параллелизма, обеспечиваемого оптическими системами, для достижения более высоких характеристик при сравнимой стоимости. Если учесть, что в состав оптических систем входят такие дорогостоящие элементы, как лазеры, чувствительные детекторы, формирователи страниц и т. п., оптические ЗУ могут выйти на рынок только в том случае, когда их стоимость будет скомпенсирована большой емкостью устройств. Действительно, ранний, однако достаточно ограниченный успех оптических систем («Unicon» и «Mass storage» фирмы IBM), упоминавшихся выше, был достигнут потому, что они были нацелены на максимальную емкость.

Проблемы, связанные с ограниченным размером поля [21], отсутствием быстродействующих формирователей страниц [22] и эффективных реверсивных сред [23], должны быть поставлены и решены немедленно, если существующие и вновь появляющиеся конкуренты хотят внедриться в область, полностью монополизированную до них.

Связь. В автоматизированном офисе необходимо обеспечить быструю реакцию (порядка секунды) на выборку документа из банка данных и отображение его на терминал пользователя. Если документ хранится в кодированной или машинно-читаемой форме, то чрезмерных требований на связь не накладывается и задача может быть решена с помощью стандартных телефонных линий. Однако для некодируемой информации (даже с компактными данными) загрузка устройств связи становится огромной. Для бинарных документов с разрешением 200 пар лин/см потребуется полоса в несколько Мбит/с, даже при сжатии данных до 10:1. Для полутонных и цветных документов необходимая полоса достигает 100 МГц, если исключить нежелательную задержку в передаче информации из банка к терминалу. Такая полоса достижима при использовании стандартных коаксиальных кабелей, но их стоимость может оказать сдерживающее влияние.

При полосе порядка 100 МГц коаксиальные кабели, необходимые для обеспечения низкого затухания при распространении сигнала без повторителей, становятся очень дорогими. Затухание в них растет с увеличением частоты и достигает величины 150 дБ/км для кабеля RG-14 Ø 13,4 мм. Сейчас становятся доступными оптические волокна с очень низким затуханием и разрабатываются различные экспериментальные установки, использующие волоконно-оптическую связь [24].

Затухание и полоса оптических волокон [25] достигли уровней, при которых в большинстве случаев отпадает необходимость применения повторителей. В настоящее время промышленно реализуемы световоды большой длины с затуханием менее 10 дБ/км, а экспериментально [26] на участке кабеля получено затухание 2 дБ/км. Стоимость таких кабелей падает так быстро, что они становятся конкурентоспособными с коаксиальными кабелями (стоимость имеющихся в продаже световодов составляет ~25 цент/м, тогда как коаксиальный кабель, например RG-58, стоит 18 цент/м). Ожидается, что цены на них будут продолжать снижаться.

Таким образом, пункты для успешного внедрения оптической связи на рынок в следующем десятилетии представляются ясными. Положение дел со связью в существующих методах продвигается вперед намного медленнее, чем в памяти, что приводит к оптимистическим для оптики оценкам.

Ввод-вывод. Важная роль оптических устройств в устройствах ввода-вывода и терминалах систем обработки данных очевидна. Оптика начинает играть роль не только в дисплеях, но и в устройствах ввода и печатающих устройствах. Важность этой роли будет увеличиваться со временем, по мере того как ненадежные механические устройства будут заменяться оптико-электронными.

В дисплеях много лет основными были электронно-лучевые трубки [32]. В настоящее время разработаны и успешно внедряются газовые панели [33], светодиоды и жидкие кристаллы [34] и разрабатываются лазерно-адресуемые жидkokристаллические [35] и электролюминесцентные дисплеи [36]. Сегодняшние и завтрашние методы ввода-вывода, очевидно, оптические.

В печатающих устройствах, где устоялась техника ударных устройств, достигших высокого совершенства и имеющих в лучшем случае медленный прогресс, наступил период новых тенденций. Это удобный случай для наступления оптических методов. Существенное внедрение на рынок имеет электрографическое устройство IBM 3800 [37], печатающее до 13360 строк/мин (потребление бумаги почти 4 км/ч). Недавно разрекламированное электрографическое печатающее устройство «Хегох 9700» имеет даже более высокие характеристики. Фирмой «Fujitsu» [38] разработано подобное устройство для фирмы «Kanjī». Фирма «Хегох» успешно выпускает на рынок факсимильную лазерную систему «Telecopier 200» [39]. Несомненно, последуют и другие разработки.

В устройствах ввода применяется не только световое перо для дисплеев на ЭЛТ, появившееся в последнем десятилетии, но и сканеры для чтения документов, непрерывно улучшающиеся по разрешению и полю сканирования.

Сегодня выпускаются решетки из 1728 элементов (фирма «Fairchild») и пространственные матрицы из 512×320 чувствительных элементов (фирма RCA). Разработаны светолучевые дефлекторы (акусто-оптические устройства), способные обеспечить несколько сотен точек по каждой из двух координат со скоростями, составляющими несколько мегагерц. Наконец, могут быть созданы механические дефлекторы, обеспечивающие более чем 10^4 точек со скоростью 50 МГц. Возможны и более экономичные устройства, удовлетворяющие более скромным требованиям.

Заключение. Произведена оценка роли оптических устройств обработки информации на примере автоматизированной конторы (оффиса). Показано, что они нашли применение в устройствах ввода-вывода, терминальных устройствах и интенсивно внедряются в технику связи. Оптические методы оказались неконкурентоспособными в области хранения и памяти и, вероятно, не будут играть в этой области существенную роль в обозримом будущем.

Я благодарен проф. Дж. Строуку за приглашение принять участие в Советско-американском семинаре по оптической обработке информации. Это приглашение способствовало появлению настоящего обзора. Я также благодарен многим моим коллегам из ИВМ за множество полезных дискуссий и за некоторые, представленные здесь рисунки, в частности, благодарен Х. Чангу, Д. Критчлоу, Г. Фету, М. Херитаджу, А. Хогланду, Е. Лину, Р. Майеру, Е. Пугу, Л. Терману и Х. Н. Ю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rajchman J. A.—“Appl. Opt.”, 1970, vol. 9, p. 2269; See also “Appl. Opt.”, 1974, vol. 13, p. 755—924.
2. Geffon A.—“1977 Digests of the Intermag Conference”, 1977, N 6—7.
3. Kugimiya Koichi et al.—“1977 Digests of the Intermag Conference”, 1977, N 26—8.
4. Satou M. et al.—“1977 Digests of the Intermag Conference”, 1977, N 22—8.
5. Critchlow D. L.—“Computer”, 1976, vol. 9, p. 31.
6. Chang T. H. P. et al.—“Electronics”, 1977, vol. 12, p. 5.
7. Broers A. N.—“Proc. 7th Intern. Vac. Conf. & 3rd. Intern. Conf. Solid Surfaces”, 1977.
8. Yu H. N. et al.—“J. Vac. Sci. Technol.”, 1975, vol. 12, p. 1297; Chang T. H. P.—“Proc. 8th Conf. on Solid State Devices”, Tokyo, 1976, p. 9.
9. Spiller E. et al.—“Solid State Techn.”, April 1976, p. 62.
10. Terman L. M. et al.—“IEEE J. Solid State Circuits”, 1976, vol. SC-11, p. 4.
11. Nader R. A.; Singh S. K. et al.; Hayes D. J.; Bobeck A. H. et al.—“1977 Digests of the Intermag Conference”, 1977, N 21—4; 21—5; 21—6; 21—7.
12. Archer J. L.—“1977 Digests of the Intermag Conference”, 1977, N 11—1.
13. Calhoun B. A. et al.—“IBM J. Res. Dev.”, 1976, vol. 20, p. 368.
14. Lin Y. S. et al.—“1977 Digests of the Intermag Conference”, 1977, N 11—6.
15. Kuehler J. D., Kerby H. R.—“Proc. Fall Joint Computer-Conference”. N. Y., IEEE Computer Society, 1966, p. 735.
16. Gray E. E.—“Digest of Tech. Papers, Topical Meeting on Optical Storage of Digital Data”, OSA, 1973, N MA4.
17. Bartolini R. et al.—“Appl. Opt.”, 1970, vol. 9, p. 2283.
18. The RCA ‘Selectavision’ Video Disc System.—“Information Display”, 1976, vol. 12, p. 20.
19. Bulthus K. et al.—“Digest of Technical Papers”, CLEOS, OSA/IEEE, 1976, N TUA3.
20. Hunt R. P.—“IEEE Trans. Magnetics”, 1969, vol. MAG-5, p. 700; Fan G. J. and Greiner J. H.—“J. Appl. Phys.”, 1968, vol. 39, N 2, P. II, p. 1216.
21. Vander Lugt A.—“Appl. Opt.”, 1973, vol. 12, p. 1675.
22. Stewart W. et al.—“RCA Rev.”, 1973, vol. 34, p. 3; Labrunie G. et al.—“Appl. Opt.”, 1974, vol. 13, p. 749.
23. Optical Storage and Display Media.—Special issue of “RSA Rev.”, 1972, vol. 33, p. 3—310.
24. Shimada S., Shimodaira M. et al.; Jacods I. et al.—“Optical Fiber Transmission II”, OSA, 1977, N ThA4; ThA5; ThB1.
25. Keck D. B.—“Optical Fiber Transmission II”, 1977, OSA, NTuD1.
26. Marcatili E. A. J.—“Optical Fiber Transmission, Technical Digest”, OSA, 1975, N TuC4.
27. Warner A. W.; Milton A. F. et al.—“Digest of Technical Papers”, CLEA, IEEE/OSA, 1977, N 5.6; 5.7, p. 20.
28. Miller C. M.—“Optical Fiber Transmission II”, OSA, 1977, N WA3.
29. Kressel H.; Stern C. C. et al.—“Optical Fiber Transmission II”, OSA, 1977, N WB3; WB4.
30. Takahashi K. et al.—“Optical Fiber Transmission II”, OSA, 1977, N WA5.
31. Brackett C. A. et al.—“Digest of Technical Papers”, CLEOS, OSA/IEEE, 1976, N ThE7.
32. Anderson L. K.—“J. Vac. Sci. Techn.”, 1973, vol. 10, p. 761.
33. Hoen H. J.; Johnson W. E. et al.—“SID International Symposium, Digest of Technical Papers”, 1977, N 3.1; 3.2, p. 18, 20.
34. Bigelow J. E. et al.—“SID International Symposium, Digest of Technical Papers”, 1977, N 6.3, p. 62.
35. Sincerbox G. T.—“Digest of Technical Papers”, CLEA, IEEE/OSA, 1977, N 16.9, p. 80.
36. Mito S.—“SID International Symposium, Digest of Technical Papers”, 1977, N 8.1, p. 86.
37. Latta M. R. et al.—“Digest of Technical Papers”, CLEOS, OSA/IEEE, 1976, N TuD1.
38. Matsuda T. et al.—“Digest of Technical Papers”, CLEA, IEEE/OSA, 1977, N 4.4, p. 14.
39. Mrdjen P. et al.—“Digest of Technical Papers”, CLEOS, OSA/IEEE, 1976, N TuA1.

Поступила в редакцию 14 октября 1977 г.