

УДК 681.327.68:778.38 (575.2) (04)

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АКУСТООПТИЧЕСКОГО ДЕФЛЕКТОРА В СИСТЕМЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ

И.А. Аккозиев – докт. техн. наук, проф.,
А.А. Сагымбаев – докт. техн. наук, проф.,
К.А. Сагымбаева – ст. преподаватель

In this work development prospects of holographic memory system were analyzed with application of acoustooptical deflector, spatially – time modulator of light and volumetric recording carrier, and also was determined problems to be solved.

Среди систем памяти, интенсивно развивающихся в последние годы, видное место начали занимать системы оптической памяти. Достоинства этих систем по сравнению с устройствами хранения информации на традиционных носителях связаны с перспективными возможностями их использования в оптических компьютерах, которые, хотя по уровню развития и отстают существенно от ЭВМ на базе электронных компонентов, но, возможно, в будущем заменят эти ЭВМ, особенно при решении ряда специализированных задач. Вместе с тем, уже сейчас оптические носители главным образом с битовой памятью находят широкое применение в обычных серийных ЭВМ.

Дисковые оптические запоминающие устройства обычно выполняют функции внешней памяти ЭВМ. По принципам записи и считывания можно выделить три группы оптических запоминающих устройств:

- 1) постоянные запоминающие устройства, в которых информация записана заранее;
- 2) устройства, в которых на носитель однократно можно записать информацию, а считывания осуществить многократно;
- 3) устройства с реверсивным носителем, в которых как запись, так и считывания реализуются многократно.

Отметим, что во всех оптических системах памяти в качестве источника света используется лазер.

Наибольшее распространение получили запоминающие устройства первой группы. Всем известны компакт-диски, на которых осуществлена запись аудио- и видеопрограмм, программных продуктов, книг и т.п. Для считывания информации используют специальные дисководы. В связи с широким распространением персональных компьютеров с такими дисководами появились первые признаки, свидетельствующие о том, что в дальнейшем подобные устройства могут заменить носители информации на бумажной основе. Их преимущества перед книгами связаны не только с малым форматом и с высокой скоростью нахождения нужных данных, но и с тем, что в процессе чтения можно обращаться в Интернет за дополнительными сведениями.

Вторая группа оптических запоминающих устройств включает системы, созданные по технологии WORM (т.е. однократная запись и многократное считывание). Процедура записи в таком устройстве приведена на рис. 1.

К третьей группе устройств могут быть отнесены устройства, в которых используются реверсивные носители информации. Как пра-

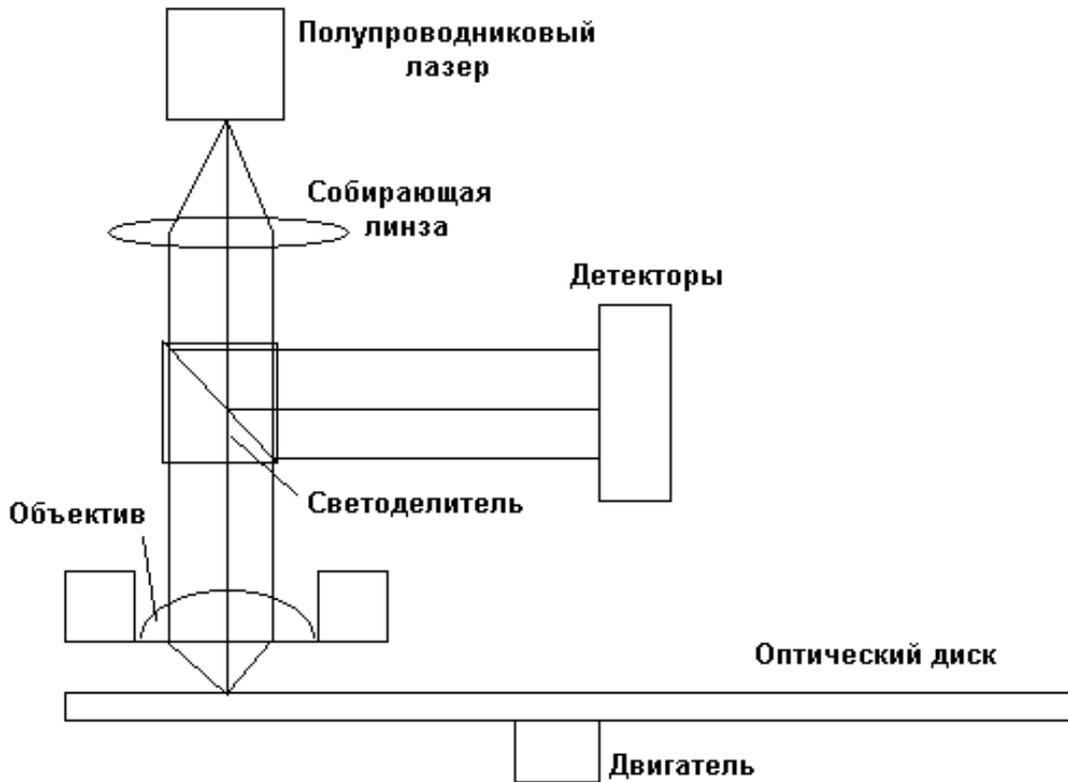


Рис. 1. Схема записи-считывания в устройстве оптической побитовой памяти по технологии WORM.

вило, технология оптической памяти в таких системах связана с эффектами поворота плоскости поляризации или фазы отраженного света в зависимости от интенсивности света, воздействующего на носитель.

Наиболее распространенными являются устройства, использующие магнитооптический эффект Керра, который состоит в повороте плоскости поляризации света под воздействием магнитного поля.

Дисковые оптические устройства хранения информации позволяют хранить информацию с большой плотностью как в цифровом, так и в аналоговом виде (до 10^{10} бит). Вместе с тем потребность в современных системах памяти такова, что необходимо обеспечивать емкость как минимум на порядок большую, одновременно добиваясь более высокой, чем у дисковых оптических систем, скорости произвольного доступа к информации, а также

меньшего времени передачи одного бита информации.

Такие задачи могут быть решены с применением голографических запоминающих устройств (ГЗУ).

Информационные характеристики голографической записи позволяют предположить, что с ее помощью можно добиться более высоких информационных характеристик систем памяти. В принципе, побитовая оптическая запись позволяет получить ту же плотность информации, что и голографическая, даже иногда большую, поскольку информационная избыточность голограмм заставляет записывать большее количество информации, чем это необходимо. Вместе с тем запись голограмм в трехмерных средах позволяет использовать также и третье измерение регистрирующей среды, что приводит к резкому увеличению объема информации, хранимого в регистри-

рующем материале заданной площади. Оценки показывают [1], что в системах объемной голографической памяти существует возможность хранения информации не менее 10^{12} бит со скоростью ее передачи 10^9 бит/с, а также с возможностью осуществления произвольной выборки за время 100 и менее микросекунд.

Впервые метод записи голограмм в объемной среде был предложен Ю.Н. Денисюком [2, 3]. Этот метод предусматривал формирование голограмм при встречном распространении объектного и опорного пучка. Почти одновременно Ван Хирден [4] рассматривал теорию и принципы построения трехмерного устройства памяти. Эта работа определила направление объемной голографической памяти на десятилетия вперед.

Для реализации хранения информации в системе голографической памяти необходимо, чтобы ГЗУ было оснащено устройствами ввода и вывода информации. Данные для хранения могут вводиться в систему как в световом, так и в несветовом виде. Общим элементом для различных ГЗУ, обеспечивающим ввод информации в устройство, является, как правило, пространственно-временной модулятор света (ПВМС) с оптической, электронной или иной адресацией [5]. ПВМС обеспечивает геометрическое выстраивание одновременно записываемых данных таким образом, чтобы их было бы удобно записывать в виде соответствующих субголограмм в каждой конкретной конфигурации ГЗУ. Кроме того, информация, вводимая в ГЗУ с помощью ПВМС, может оперативно стираться в пределах самого модулятора и сменяться новым набором данных. Это выгодно отличает ПВМС от таких стандартных средств ввода данных, как транспарант, которые требуют механической замены для ввода нового набора данных.

Развитие ПВМС насчитывает уже около 30 лет, и за это время разработано огромное количество их типов [6–8]. Можно назвать несколько десятков физических принципов, на которых основана работа ПВМС. Общим для всех этих принципов является то, что свет, проходящий через тот или иной ПВМС, претерпевает модуляцию по какому-либо параметру (амплитуде, фазе, положению плоскости поляризации) как в пространстве в пределах

апертуры прибора, так и во времени в каждой точке этой апертуры.

Применение ПВМС в ГЗУ предусматривает использование когерентного света для освещения модулятора.

Вывод информации из системы голографической памяти осуществляется путем организации доступа к ячейке памяти, содержащей необходимое данное по соответствующему адресу. Такой доступ проще всего организовать, используя ПЗМС с электронной адресацией. Такие устройства могут либо формировать пространственно-временное распределение интенсивности света в заданной плоскости в режиме управляемого транспаранта, либо управлять углом направления и интенсивностью узконаправленного пучка света.

Очевидно, для целей реализации вывода информации из устройства голографической памяти целесообразно применять второй вид ПВМС с электронной адресацией. Наиболее распространенными устройствами такого рода являются акустооптические дефлекторы (АОД) [9].

Основу АОД составляет ячейки Брэгга (см. рис.2), в которой реализуется дифракция света на акустооптических волнах в режимах Брэгга [10]. Смысл использования устройства на базе ячейки Брэгга состоит в том, что угол отклонения пучка света (вернее, его синус, но при малых углах этим можно пренебречь) пропорционален частоте электрического сигнала, подаваемого на ячейку. Таким образом, изменяя частоту, можно варьировать направление распространения дифрагированного пучка света в соответствии с задаваемым адресом.

Ячейки Брэгга, показанные схематически на рис. 2, обеспечивают отклонение пучка света лишь в одной плоскости. Для полноценной адресации 2-мерного устройства голографической памяти требуется, однако, отклонение адресующего пучка в двух направлениях, а в случае объемной голографической памяти может потребоваться дополнительное отклонение пучка, чтобы обеспечивать нужное мультиплексирование. В этом случае могут быть использованы две или более ячеек Брэгга, установленные последовательно в сочетании с соответствующими оптическими компонентами.

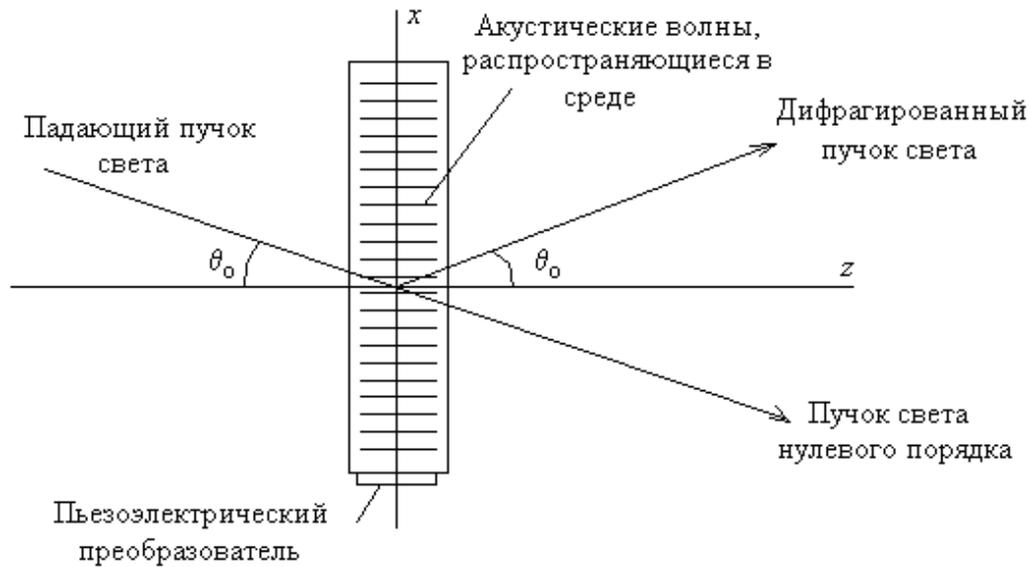


Рис. 2. Ячейка Брэгга как основа акустооптического дефлектора.

Считается, что АОД, обеспечивающий отклонение света в одном направлении, способен разрешать до несколько тысяч положений отклоненного пучка света. Угол отклонения пучка (угол Брэгга) θ_0 зависит от частоты сигнала, подаваемого на ячейку Брэгга [10]:

$$\theta_0 = f\lambda/v, \quad (1)$$

где f – частота сигнала; λ – длина волны; v – скорость звука в среде. В данном случае мы не рассматриваем изменение углов падения и отклонения света из-за преломления на границе раздела воздух – среда.

Число разрешаемых положений пучка света N , отклоненного акустооптической волной, определяется отношением полного диапазона углов отклонения $\Delta\theta$ к угловой ширине пучка света λ/d :

$$N = \Delta\theta/(\lambda/d), \quad (2)$$

где d – линейная ширина пучка света.

Из этих формул легко получить соотношение:

$$N = \Delta f(\lambda/d), \quad (3)$$

где Δf – диапазон частот сигналов, подаваемых на ячейку Брэгга. Поскольку множитель в скобках из выражения (3) представляет собой время прохождения акустической волны через световой поток $\tau = \lambda/d$ (обычно называе-

мое временной апертурой ячейки Брэгга). Таким образом, разрешение АОД может быть выражено как

$$N = \tau \Delta f. \quad (4)$$

Уравнение (4) иногда называют основным уравнением акустооптики. Отметим, что при выводе этого уравнения мы исходили из того, что разрешенными положениями считаются положения пучка света, удаленные друг от друга по углу на величину, равную угловой ширине пучка, понимаемую как λ/d . Это соответствует критерию разрешения Рэля. В этом случае за пределами рассмотрения остаются вопросы о влиянии шумов и числа передаваемых градаций на разрешение. Если вопрос о числе градаций для адресующего дефлектора можно считать несущественным, то проблема шумов остается, и для правильной оценки разрешения АОД их необходимо учитывать.

Полоса частот – важнейший параметр любого акустооптического устройства (АОУ). На ее ограничение оказывает влияние целый ряд обстоятельств, среди которых важнейшим является необходимость поддержания равенства угла падения светового пучка на акустооптический элемент и угла Брэгга.

Это обстоятельство породило целый ряд методов регулировки угла падения.

Отметим, что предельная плотность регистрируемой информации в данном случае не превышает теоретического предела хранения данных в голографической форме на двумерных фазовых носителях. Подлинный выигрыш в плотности записи и хранения информации достижим на современном уровне развития ГЗУ только при использовании мультиплексирования в объемных средах.

Применение акустооптических дефлекторов в целях мультиплексирования объемных средах рассматривается в работах [11 (схема макета на рис. 3), 12–17].

На практике измерения показали, что разрешимое частотное расстояние между соседними голограммами составляет примерно 80 кГц. В экспериментах, описанных в [17], было сохранено примерно 300 голограмм, причем максимальное отклонение дифракционной эффективности каждой голограммы от среднего значения находилось в пределах 15%.

Применение АОУ в голографии, в том числе в системах голографической памяти, может быть осуществлено для решения следующих задач:

1. Ввод информационного сигнала в голографическую систему.
2. Адресация и запись голограмм путем управления восстанавливающими и записывающими пучками.

3. Проведение дополнительной обработки массивов данных в голографической системе.

Наиболее серьезные трудности приходится преодолевать при использовании АОУ для первой задачи. Вследствие эффекта Доплера частота дифрагированного света смещается относительно частоты исходного света на величину, соответствующую частоте акустического пучка. Величина смещения зависит от частоты вводимого сигнала; следовательно, широкополосный сигнал на выходе АОУ будет представлен светом с плавно меняющейся частотой. Чтобы интерференционная картина в плоскости регистрации голограммы была стационарной, необходимо осуществить компенсацию частотного сдвига. В литературе [18–20] рассматриваются варианты полной и частичной компенсации сдвига частоты.

Авторы работы [21] использовали опорный сигнал, полоса частот которого охватывала весь диапазон частот объектного сигнала, а спектр имел гауссову форму. Применение одной и той же линзы, осуществляющей преобразование Фурье, в опорном и объектном каналах, существенно упрощает проблему юстировки схемы. Юстировка считается выполненной, если через микроскоп в плоскости, куда помещается регистрирующая среда, наблюдаются интерференционные полосы.

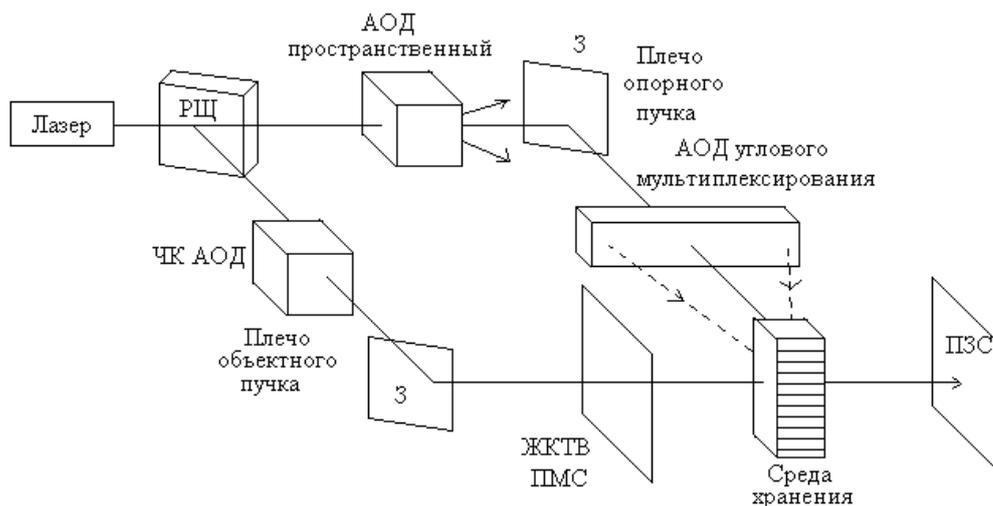


Рис. 3. Схема макета объемного ГЗУ с пространственным разделением и угловым мультиплексированием голограмм.

Смысл подачи широкополосного опорного сигнала состоит в следующем. В каждый момент времени в опорном сигнале содержатся все частоты, которые имеют место и в объектном сигнале. Это значит, что каждой составляющей спектра объектного сигнала, которую несет свет соответствующей длины волны, соответствует определенная часть опорного сигнала, которую несет свет в точности той же длины волны. Таким образом, временная когерентность опорного и объектного пучков в определенных пределах восстанавливается, и возможна запись голограмм в течение времени существования сигнала в апертуре ячейки Брэгга, т.е., десятков мкс.

Недостатком такого способа компенсации доплеровского сдвига частоты света является то, что наряду с интерференционными полосами возникает значительная постоянная составляющая по интенсивности света в плоскости регистрирующей среды. Этот недостаток в значительной мере компенсируется применением фототермопластического носителя (ФТПН) в качестве такой среды. Известно [22], что ФТПН обладают пространственно-резонансными свойствами, и низкие пространственные частоты, а тем более постоянную составляющую, фильтруют. Пространственная частота, которая является резонансной для данного ФТПН, обратно пропорциональна толщине деформируемого слоя, причем резонансная кривая довольно пологая, и в пределах спектра регистрируемого сигнала все пространственные частоты могут быть удовлетворительно зарегистрированы на ФТПН.

Таким образом, ФТПН позволяет выделить в каждой области спектра только те составляющие, которые участвуют в формировании голограмм в течение всего времени экспонирования. Эксперименты по записи и восстановлению широкополосных сигналов (например, прямоугольных импульсов заданной длительности) показали, что восстановленные сигналы хорошо совпадают с исходными сигналами [22].

Таким образом, представляется перспективным построение систем голографической памяти на основе применения акустооптического дефлектора, пространственно-временного модулятора света и объемного регистри-

рующего носителя и развитие этого направления является актуальным.

Для достижения данной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести анализ методов построения систем памяти и выбрать перспективный вариант;
- дать комплексную оценку прохождения сигнала и шума через систему голографической памяти с учетом особенностей применения акустооптических устройств и объемных носителей для регистрации голограмм;
- определить комплекс информационных параметров, позволяющий характеризовать систему голографической памяти;
- провести анализ построения систем голографической памяти с применением акустооптического дефлектора и экспериментально исследовать акустооптические дефлекторы.

Литература

1. *Psaltis D., Fai Mok.* Holographic memories // *Scientific American.* – 1995. – Vol. 273. – P. 52–58.
2. *Денисюк Ю.Н.* Об отображении оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения // *ДАН СССР.* – 1962. – Т. 44. – С. 1275–1278.
3. *Денисюк Ю.Н.* Об отображении оптических свойств объекта в волновом поле рассеянного им излучения // *Оптика и спектроскопия.* – 1963. – Т. 15. – С. 522–532.
4. *Ван Хирден П.* Теория оптического запоминающего устройства на твердом теле // *Зарубежная радиоэлектроника.* – 1964. – № 2. – С. 32–45.
5. *Акаев А.А., Гуревич С.Б., Жумалиев К.М.* Holographic memory // *Allerton Press.* – New York, 1998.
6. *Пространственные модуляторы света /* Под ред. С.Б. Гуревича. – Л: Наука, 1977.
7. *Васильев А.А., Касасент Д., Компанец И.Н., Парфенов А.В.* Пространственные модуляторы света. – М.: Радио и связь, 1987.
8. *Yu F.T.S. and Jutamulia S.* Optical signal processing, computing, and neural networks // *John Wiley & Sons.* – New York, 1992.
9. *Ли Дж.Н., Вандерлуфт Э.* Акустооптические методы обработки сигналов и вычислений // *ТИИЭР.* – 1989. – Т. 77. – № 10. – С. 158–192.

10. Корнел А. Акустооптика: Обзор основных принципов // ТИИЭР. – 1981. – Т. 69. – № 1. – С. 55–62.
11. McMichael I., Christian W., Pletcher D., Chang T.Y., Hong J. Compact holographic storage demonstrator with rapid access // *Applied Optics*. – 1996. – Vol. 35. – № 14. – P. 2375–2379.
12. Mok F., Psaltis D., Burr G. Spatial and angle multiplexed holographic random access memory // *Proceedings of the SPIE*. – 1992. – Vol. 1773. – P. 334–345.
13. d'Auria L., Huignard J.P., Slezak C., Spitz E. Experimental holographic read-write memory using 3-D storage // *Applied Optics*. – 1974. – Vol. 13. – P. 808–818.
14. Mok F., Burr G., Psaltis D. Angle and space multiplexed holographic random access memory (HRAM) // *Optical Memory and Neural Networks*. – 1994. – Vol. 3. – № 2. – P. 119–127.
15. Burr G.W., Mok F., Psaltis D. Large-scale holographic memory: experimental results // *Proceedings of the SPIE*. – 1993. – Vol. 2026. – P. 630–641.
16. Burr G., An X., Mok F., Psaltis D. Large-scale rapid access holographic memory // *Proceedings of the SPIE*. – 1995. – Vol. 2514. – P. 363–371.
17. An X., Psaltis D. Experimental characterization of angle-multiplexed holographic memory // *Optics Letters*. – 1995. – Vol. 20. – № 18. – P. 1913–1915.
18. Гуревич В.З., Крупицкий Э.И. Модуляторы света для ввода информации в устройствах оптической обработки // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1972. – № 12. – С. 49–63.
19. Косарев А.И., Соколов В.К. Пространственно-временные модуляторы света // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1974. – № 8. – С. 59–80.
20. Davenport W.B., Root W.L. An introduction to the theory of random signals and noise. – New York: McGraw Hill, 1958.
21. Sokolov V.N., Gurevich B.S., Burov P.A., Robertov A.V., Rodiontsev A.A. A new way of holographic recording and reconstruction of the wide-band signals // In: *Selected Papers on Optoelectronics and Hybrid Optical/Digital Systems for Image Processing* / S.B. Gurevich, R.S. Batchevsky and L.I. Muravsky eds. // *Proceedings of the SPIE*. – 1997. – Vol. 3238. – P. 106–113.
22. Urbach J.C. Thermoplastic hologram recording // In: *Holographic Recording Materials* // H.M. Smith ed. – Springer-Verlag, 1977. – P. 161–208.