

УДК 621.394

Б. И. СПЕКТОР, П. Е. ТВЕРДОХЛЕБ, А. В. ТРУБЕЦКОЙ,  
А. М. ЩЕРБАЧЕНКО  
(Новосибирск)

### ЛАЗЕРНОЕ МИКРОФИЛЬМИРОВАНИЕ НА ПЛЕНКАХ ХРОМА

Рост информационных потоков и интенсивное внедрение ЭВМ в процессы их обработки требуют создания все более эффективных средств вывода информации. Вывод осуществляется в двух основных формах: кодированной (читаемой машиной) и естественной (читаемой оператором). Наиболее перспективной с точки зрения плотности записи, стоимости хранения и некоторых других характеристик является система памяти типа «оптический диск», в коммерческих вариантах которой достигнуты объемы  $10^{10}$  бит на одной рабочей поверхности. Информация на диске хранится в кодированной форме и в случае необходимости может быть превращена в форму документа, пригодного для работы оператора. Для этого используются специальные аппаратно-программные средства чтения информации, ее декодирования и воспроизведения на экранах дисплеев.

Основным ограничением в технологии оптического диска при воспроизведении высокоинформативных изображений является конечное разрешение электронных дисплеев. Так, для качественного отображения машинописной страницы разрешение дисплея должно быть порядка  $10^3 \times 10^3$  элементов, а для отображения карт, топологий СБИС, конструкторской документации и т. п. —  $10^4 \times 10^4$  и более. От этого ограничения свободны системы памяти на основе микрофиш. Кроме того, согласно [1] стоимость выдачи одной страницы формата А4 с помощью микрофиш примерно в 1000 раз меньше стоимости выдачи с помощью электронных дисплеев, а при расширении ее формата увеличивается еще сильнее. Исходя из этого, интерес потребителей к системам микрофильмирования не ослабевает.

В известных СОМ-системах (Computer Output Microfilm) по ряду причин трудно достичь предельно возможных параметров уменьшения документа, поэтому конечная запись формируется в два этапа: на первом из них вывод документа из ЭВМ осуществляется с уменьшением в 10—24 раза, на втором — проводится его дальнейшее масштабное преобразование. Результирующая кратность уменьшения 150—220. Под кратностью уменьшения здесь и далее будем понимать отношение характерных размеров текста и символов с плотностью знаков не более 60 на площади  $6,45 \text{ см}^2$  при шаге знаков 2,54 мм к аналогичным размерам текста и символов микрозаписи. Основными трудностями на пути создания СОМ-систем высокой и сверхвысокой степени кратности являются: низкая чувствительность и недостаточная разрешающая способность фотоматериалов; зависимость качества изображений от стабильности «мокрого» процесса проявления; низкая термохимическая и абразивная стойкость; неоднородность и разрушение люминофоров ЭЛТ, используемых при записи; отсутствие возможности оперативного контроля результатов записи.

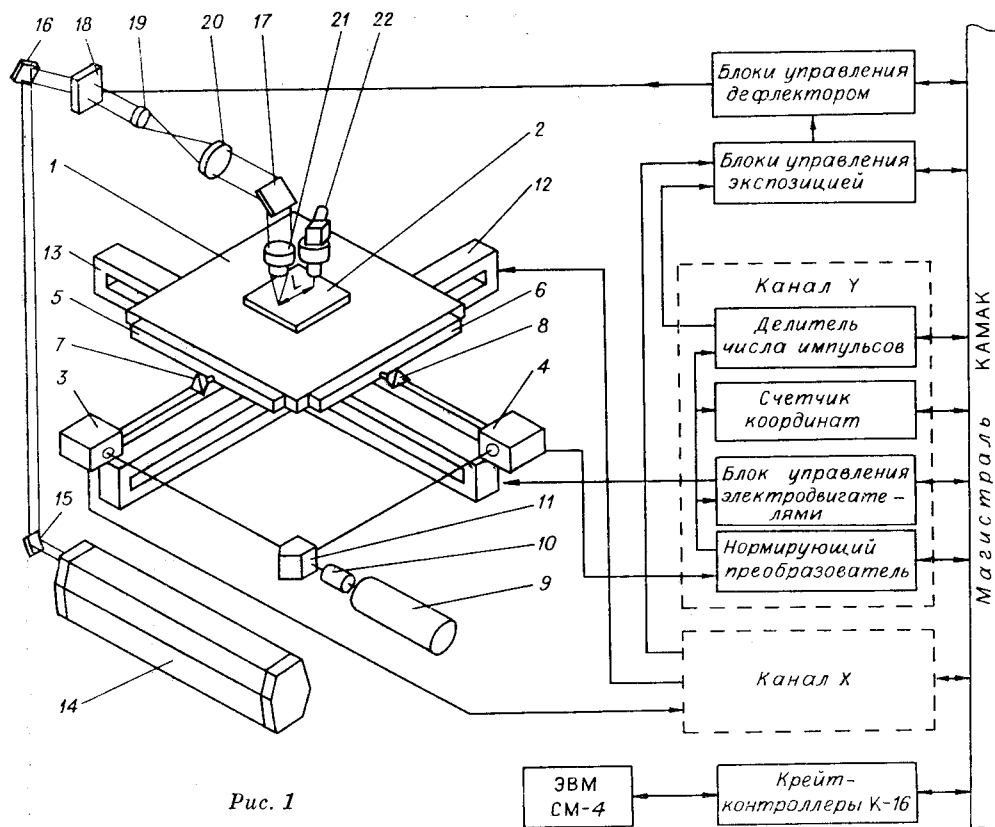


Рис. 1

Большинство этих трудностей можно преодолеть при использовании лазерной технологии микрофильмирования. Это связано главным образом с возможностями получения высоких плотностей мощности ( $\sim 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>) в сфокусированном пятне света размером  $\sim 1$  мкм и менее. Внедрению такой технологии способствуют возможности управления энергетическими и временными параметрами светового пучка, быстрой его развертки, применения нетрадиционных материалов и оперативного контроля записи в процессе ее формирования. Кроме того, в этом случае отсутствуют принципиальные ограничения на размерность записываемых изображений.

В настоящей работе приведены результаты исследования одноступенчатой лазерной технологии микрофильмирования (позитивной и негативной) с кратностью уменьшения порядка 200, включающей в себя процессы записи высокоинформативных изображений и их отображения на экране оптического терминала.

Структурная схема лазерного построителя [2] приведена на рис. 1. Здесь 1 — электромеханический стол, перемещающийся по двум взаимно перпендикулярным направлениям, на котором размещен носитель изображения 2. Выходная плоскость оптической системы модуляции, отклонения и фокусировки лазерного излучения ( $\lambda = 0,488$  мкм) 14—21 совмещена с плоскостью носителя 2. Контроль за перемещением стола осуществляется с помощью лазерных интерферометров 3, 4 относительно направляющих 5, 6, жестко связанных со столом. Вдоль рабочих плеч интерферометров на специальных каретках установлены уголкового отражатели 7, 8, механически замкнутые на направляющие 12, 13 при изменении положения стола. Элементами оптической системы интерферометра являются лазер 9, коллиматор 10, светоделитель 11. Двухкоординатный оптический дефлектор-модулятор 18 выполнен на кристаллах парателлурита [3]. Контрольно-измерительный блок 22 построителя — металлографический микроскоп с

объект-микрометром МОВ — 1—15 $\times$ , микрофотонасадкой и оптикой для смены увеличения. Он используется для оперативного контроля результатов записи и текущих измерений. Оптическая ось блока 22 смещена относительно оси системы записи; смещение программно обрабатывается за время  $\sim 1$  с с точностью  $\sim 1$  мкм, поэтому при любом увеличении область записи всегда попадает в поле зрения.

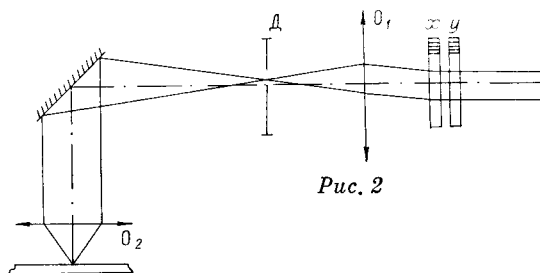


Рис. 2

Оптическая схема устройства записи включает две акустооптические ячейки, которые работают в режиме двухкоординатного дефлектора-модулятора в поле  $84 \times 84$  элемента (рис. 2). В задней фокальной плоскости установлена диафрагма (Д). В этой плоскости формируется растр точек с шагом 25 мкм. Нулевой и паразитные порядки дифракции фильтруются диафрагмой. Дифракционная эффективность дефлектора-модулятора 60%. Фокусировка излучения в плоскости носителя обеспечивается объективом  $O_2$  ( $f = 22$  мм), который находится на расстоянии 200 мм от плоскости диафрагмы вдоль оптической оси. Таким образом, объектив  $O_2$  формирует в плоскости носителя растр точек с шагом  $\sim 3$  мкм. Программное управление дефлектором осуществляется через синтезатор частот.

Требуемый масштаб растра в плоскости носителя обеспечивается путем изменения расстояния между объективом  $O_2$  и плоскостью диафрагмы и ограничивается светосилой объектива  $O_2$ . В состав лазерного фотопостроителя введен также оптический терминал с осветительной системой на основе галогенной лампы КГМ-150 и световолоконного кабеля диаметром 5 мм, проекционной системы и матового экрана  $300 \times 300$  мм<sup>2</sup>. Проекционная система оптического терминала выполнена по типу зрительной трубы Галилея. Она включает положительный и отрицательный компоненты. Положительный компонент — это один из микрообъективов, расположенных на турели с возможностью смены. При снижении увеличения проекционной системы на экран можно подавать одновременно до 9 изображений страниц. Общая длина оптического пути от носителя микроизображений до экрана не превышала 800 мм.

Лазерный построитель работает под управлением ЭВМ СМ-4, в состав которой входят процессор с диспетчером памяти, ОЗУ емкостью 96 Кслов, два НМД «Изот-1370», АЦПУ и терминалы. Программное обеспечение построителя разработано на базе операционной системы RSX-11 М (OS PB 2.0). Созданный комплекс программных средств ориентирован на освоение технологии лазерной записи буквенно-цифровой и графической информации, отладку и тестирование его основных функциональных узлов. Пакет программ системного обеспечения написан на языке MACRO-11. Он предназначен для управления системой перемещения носителя изображения и акустооптическим дефлектором-модулятором лазерного пучка. В состав пакета входят также программы СМОГ [4], часть которых адаптирована для лазерного построителя.

Поточечная лазерная запись микроизображений проводилась в двух режимах. В первом из них запись информации осуществлялась за счет программируемого перемещения носителя изображения относительно неподвижного сфокусированного лазерного пучка. Модуляция света выполнялась с помощью акустооптического дефлектора-модулятора (АОДМ). Включение модулятора в те моменты, когда носитель изображения переместится на расстояние меньше, чем половина диаметра регистрируемого пятна, обеспечивало получение линий одинаковой ширины. На рис. 3 приведено изображение страницы, записанной в режиме с 30- и 90-кратным уменьшением, а на рис. 4 показан увеличенный фрагмент той же страницы. Размеры символов микрозаписи  $24 \times 35$  мкм, ширина линий

## ЛАЗЕРНЫЙ ПОСТРОИТЕЛЬ ДИФРАКЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Б.И.Спектор, П.Е.Твердохлеб, А.М.Щербаченко  
(ИАУЭ СО АН СССР, г.Новосибирск)

Предназначен для освоения технологии лазерной  
записи на светочувствительных материалах и изготовления:

- шаблонов дифракционных элементов;
- транспарантов для бесконтактного контроля размеров;
- микроформ и микрофиш;
- шаблонов СБИС.

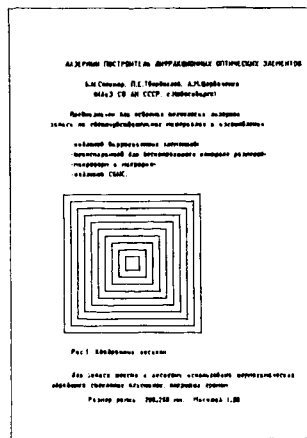


Рис.1. Страница текста

Для записи текста и аксикона использована термохимическая  
обработка стеклянных пластинок, покрытых хромом.

Размер рамки 200,280 мм. Масштаб 1,30

Рис. 3

3 мкм. Получены также записи символов с кратностью уменьшения 150—220. Однако из-за того, что время записи страницы формата А4 составляет 10—15 мин, этот режим является малоприменимым для практического применения.

Во втором режиме запись изображений осуществлялась на неподвижном носителе в режиме программируемого отклонения сфокусированного лазерного пучка. Время экспонирования носителя в каждой точке задавалось программным способом, этим же способом была скомпенсирована неравномерность дифракционной эффективности растра АОДМ.

Рис. 4

Расширение поля записи достигалось путем перемещения носителя. На рис. 5, а показана запись тестового изображения с количеством символов, эквивалентным странице машинописного текста (стандарт ISO). Запись получена с уменьшением  $\sim 200\times$ . Шаг микрорастра 3 мкм. Размер точек 1,5 мкм. Увеличенный фрагмент текста, полученного в поле акустооптического дефлектора, представлен на рис. 5, б. На приведенных рисунках точки зарегистрированы с 20—30%-ным дифракционным уширением. Поэтому даже при сохранении показанного на рис. 5, б размера точек шаг микрорастра можно довести до 1,5 мкм и менее. Это подтверждает возможность формирования символов с размерами  $\sim 5$ —7 мкм, что эквивалентно кратности уменьшения  $\sim 400$ . При использовании микрорастра, состоящего из  $5 \times 7$ -точечных элементов, среднее количество точек на символ равно 16. Следовательно, АОДМ позволяет формировать буквенно-цифровую информацию со скоростью 6—8 тыс. знаков в секунду.

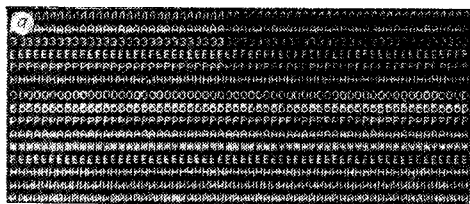
Исследованы две технологии записи: негативная и позитивная. В качестве регистрирующей среды использовались тонкие пленки хрома толщиной 50—150 нм на стеклянных подложках  $102 \times 102$  мм. Такие носители широко используются в микроэлектронной промышленности для производства фотошаблонов. Их довольно высокое качество и сравнительно низкая стоимость предопределили выбор носителя. Негативная технология записи микроизображений основана на лазерной термохимии хрома. Информационный элемент микроизображения представляет собой подвергнутый действию лазерного излучения участок (1—2 мкм<sup>2</sup>) пленки хрома. При плотности мощности  $\sim 10^6$  Вт/см<sup>2</sup> происходит локальное окисление хрома, а визуализация негативного изображения проводится путем селективного травления.

При проекции этих микроизображений на экран символы представляют собой привычные для глаза темные изображения на светлом фоне. Отметим, что полученные по такой технологии микроизображения характеризуются высокими значениями контраста — более 100/1 — и довольно высокой химической, температурной, абразивной, лучевой и радиационной стойкостью.

Недостатками негативной технологии являются сложности оперативного контроля результатов записи и наличие «мокрого» процесса селективного травления. Как правило, более предпочтительной является позитивная технология, так как рабочее изображение, полученное путем копирования на негативных фотоматериалах, будет привычным и легко воспринимаемым.

Позитивная технология записи реализована путем лазерного испарения хрома. Мощность излучения при этом превышает мощность, необходимую для термохимической записи, на 20—50% в зависимости от толщины пленки. Записи проводились на тех же носителях при относительно больших значениях толщины пленки (150 нм), что и обеспечивало указанное выше значение контраста. Достоинством этой технологии является и то, что за счет регистрации фотоприемником величины прошедшего через носитель светового потока она позволяет получать устойчиво воспроизводимые результаты записи и вести контроль дефектов носителя. Кроме того, учитывая высокую лучевую стойкость хромовых покрытий, такая технология позволяет реализовать отображение зарегистрированной информации на большом экране.

Отметим возможности размножения и копирования рассматриваемых микроформ с большой кратностью уменьшения. Хромовый носитель



проводить контактное или проекционное копирование методами оптической литографии, например, на фотопластины ВР-II и на покрытые хромом стеклянные подложки с применением фоторезистов.

Допуски по классу чистоты и дефектности для копирования текстографической информации значительно ниже тех, которые необходимы при производстве СБИС. Результирующая дефектность носителя может быть намного выше и должна лишь удовлетворить критерию читаемости (речь идет о дефектах с характерными размерами до 1—3 мкм).

Достигнутая кратность уменьшения  $\sim 200$  позволяет разместить на одной пластине размером  $102 \times 102$  мм до  $10^4$  страниц машинописного текста. При более полном использовании разрешающей способности материала и разработанных устройств записи объем документов, размещаемых на одной пластине, может быть доведен до  $4 \cdot 10^4$  страниц.

Лазерный построитель с оптическим терминалом можно рассматривать как автоматизированную информационно-поисковую систему (архив) с произвольным доступом. Архивная память реализуется на основе кассеты, размещенной на двухкоординатном столе и содержащей  $4 \times 4 = 16$  горизонтально ориентированных модулей ( $102 \times 102$  мм).

Адресная выборка страниц текста, подлежащих чтению, осуществляется электромеханической системой перемещения двухкоординатного стола. Общая емкость одной кассеты  $\sim 100\,000$  страниц текста.

Выбор произвольной страницы в поле одного модуля и отображения ее на экране оптического терминала в режиме произвольного доступа не превышает 1—2 с, а в режиме последовательного просмотра — 0,5 с.

Таким образом, лазерная технология микрофильмирования на пленках хрома позволяет:

- проводить запись микроизображений (позитив или негатив) в одноступенчатом процессе с уменьшением до 200—400;
- копировать и размножать полученные микроформы по известным и промышленно освоенным технологиям;
- осуществлять оперативный контроль записи и дефектов носителя;
- отображать микроизображения на экране оптического терминала с широкими возможностями по изменению масштаба;
- создавать долговременные страховые фонды микроизображений с высокой химической, термохимической, лучевой и радиационной стойкостью и временем хранения более ста лет.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lambair R. Entwicklungstrends für Microfilm und COM // Microdek.— Langenfeld, 1979, N 32.
2. Спектор Б. И., Твердохлеб П. Е., Трубецкой А. В., Щербаченко А. М. Лазерная запись высокоинформативных изображений // Автометрия— 1985.— № 6.
3. Пен Е. Ф., Твердохлеб П. Е., Тищенко Ю. Н., Трубецкой А. В. Акустооптический дефлектор голограммного запоминающего устройства // Оптика и спектроскопия.— 1983.— Т. 55, вып. 4.
4. Математическое обеспечение графопостроителей/Под ред. Ю. А. Кузнецова.— Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1976.

Поступила в редакцию 20 октября 1987 г.