

3. Доценко А. В., Захаров В. К., Морозов Л. В. О кинетике фотохромных процессов в стеклах в условиях немонахроматической активации.— Физика и химия стекла, 1983, № 4, с. 483.
4. Добровольская Т. Л., Доценко А. В., Захаров В. К. Кинетика фотохромных процессов в стеклах при воздействии светового излучения переменной интенсивности.— Физика и химия стекла, 1982, № 4, с. 456.
5. Marquardt C. L. On the role of copper in the darkening of silver-halide photochromic glass.— Appl. Phys. Lett., 1976, v. 28, N 4.
6. Moser F., Nail N. R., Urbak F. Optical absorption studies of the volume photolysis of large silver chloride crystals.— J. Phys. Chem. Sol., 1956, v. 9, p. 217—234.
7. Аникин А. А., Соколов А. А. Определение формы частиц фотолитического серебра по спектрам поглощения.— Автометрия, 1983, № 5, с. 28—34.
8. Аникин А. А., Малиновский В. К., Цехомский В. А. Спектральные исследования галогидосеребряных фотохромных стекол.— Автометрия, 1978, № 4, с. 65—71.
9. Gurney R. W., Mott N. F. The theory of the photolysis of silver bromide and the photographic latent image.— Proc. Roy. Soc. (London), 1938, Ser. A, v. 169, p. 151.

Поступила в редакцию 11 ноября 1985 г.

УДК 535.211

С. Г. БАЕВ, В. П. БЕССМЕЛЬЦЕВ

(Новосибирск)

ЗАПИСЬ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ РЕФРАКЦИОННЫХ ПОЛУТОНОВЫХ ТРАНСПАРАНТОВ НА ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ

Введение. Задача регистрации и архивного хранения больших массивов информации в виде изображений решается путем микрофильмирования [1]. Основной способ записи при этом — фотографическая регистрация на галогидосеребряных черно-белых и цветных фотоматериалах. Общеизвестны недостатки этих материалов: высокая стоимость, необходимость дополнительной обработки, тепловое разрушение и обесцвечивание красителей при проекции высокоинтенсивными источниками на большие экраны.

Этих недостатков лишены материалы, запись на которых осуществляется путем изменения рельефа прозрачной в видимом диапазоне пленки, — фоторезисты и фототермопластики. В [2—5] рассмотрены способы записи цветных и черно-белых изображений в виде рельефных фазовых голограмм [2] или дифракционных структур [3—5], восстанавливающих в нулевом или первом порядке дифракции черно-белые и цветные изображения.

Указанные способы регистрации являются либо многостадийными, либо требуют специально разработанных устройств считывания, что ограничивает их применение. Нами исследован метод записи линзово-растровых полутонных транспарантов, восстанавливающих изображение при проекции в обычных диапроекторах и аппаратах для чтения микрофилм. Процесс записи одноступенчатый и не требует дополнительной обработки.

Запись и считывание рефракционных транспарантов. Запись информации в исследованном нами процессе основана на эффекте теплового взаимодействия излучения CO₂-лазера с пленками прозрачных органических материалов: лавсана, оргстекла, триацетат—целлюлозы [6]. Излучение лазера мощностью 10 Вт в непрерывном режиме фокусировалось на поверхность регистрирующих материалов в пятно диаметром 150 мкм и модулировалось по длительности в пределах 10—100 мкс.

В силу неравномерного распределения интенсивности лазерного излучения и порогового характера записи на регистрирующем материале формировались в зависимости от экспозиции углубления микролинзы с диаметром от 10 до 50 мкм. Процесс считывания информации основан

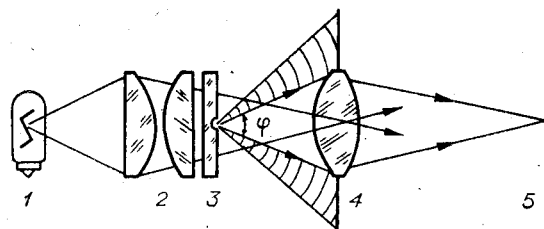


Рис. 1. Считывание рефракционного транспаранта в диапроекторе:

1 — лампа осветителя; 2 — конденсор; 3 — полимерная пленка с микролинзой; 4 — проекционный объектив; 5 — экран.

на рассеянии света микролинзами и фильтрации рассеянного света апертурой проекционного объектива.

При установке в диапроектор прозрачной пленки с микролинзой (рис. 1), имеющей относительное отверстие, близкое к $a/f \approx 1$, где a — диаметр микролинзы, f — ее фокус, лишь небольшая часть света пройдет через апертуру проекционного объектива, поскольку угловое распределение света, рассеянного микролинзой, значительно превышает угловую апертуру проекционного объектива, величина которой φ , как правило, не больше 20° . Для микролинз, записанных на материалах с показателем преломления $n \approx 1,5$, угловая апертура рассеянного излучения может достигать значений $\theta \approx 60^\circ$. Следовательно, при проекции на экран отношение освещенности изображения микролинзы к освещенности экрана для линзы с максимальным значением относительного отверстия будет равно

$$E/E_0 = \tau_n (\sin \varphi/2)^2 / (\sin \theta/2)^2 \approx 0,1, \quad (1)$$

где τ_n — коэффициент пропускания пленки.

Таким образом, микролинзы на прозрачной пленке можно рассматривать как непрозрачные части изображения с эффективным пропусканием $\tau \geq 0,1$. Полутоновые градации изображения наиболее просто могут быть реализованы методом растривания. Разбивая все изображение на растровые элементы размером d ($d \geq a$) и меняя в пределах элемента растра диаметр микролинз и их фокусное расстояние, получим для интегрального пропускания элемента растра следующее соотношение:

$$\tau_n = [s\tau + (d^2 - s)\tau_n] / d^2, \quad (2)$$

где s — площадь микролинзы; τ — эффективный коэффициент пропускания участка пленки, занятого микролинзой.

В отсутствие микролинзы пропускание растрового элемента максимально и равно τ_n , а при ее наличии уменьшается обратно пропорционально площади линзы и ее эффективному коэффициенту пропускания. При малых экспозициях линзы являются сферическими и их площадь $s = \pi a^2/4$. При увеличении экспозиции при записи в режиме скапирования максимальное время записи равно времени прохода лучом растрового элемента. Вследствие эффекта «смаза» микролинза становится астигматической и занимает всю площадь растрового элемента. Таким образом, минимальное пропускание элемента растра будет определяться эффективным пропусканием астигматической микролинзы при считывании изображения.

Экспериментальные результаты. Эксперименты по записи рефракционных транспарантов проводились на разработанном в Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР лазерном устройстве вывода информации из ЭВМ «СО₂ — Ромб» [7]. В качестве источника излучения в нем используется СО₂-лазер ЛГ-25Б мощностью 25 Вт, работающий в одномодовом режиме. Технические характеристики устройства следующие: формат выводимого изображения 13×20 см; размер элемента изображения от 12,5 до 100 мкм; точность позиционирования ± 2 мкм; скорость вывода до 60 Кбайт/с.

На рис. 2, а, б представлены микрофотографии фрагментов микролинзовых растров с шагом 50 мкм, записанных с малой и увеличенной

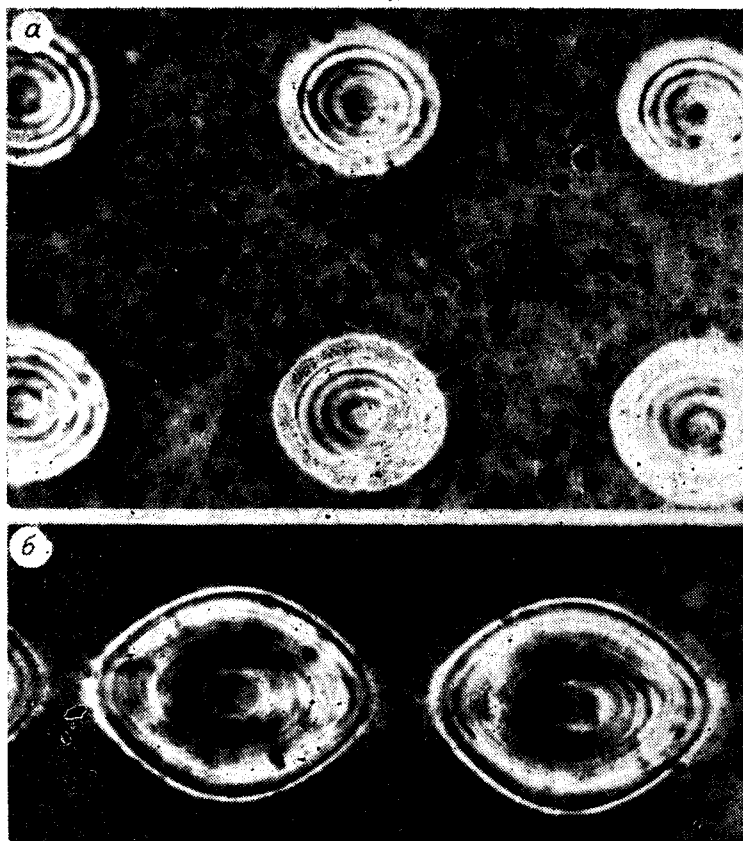


Рис. 2. Фрагменты микролинзовых растров, записанных на лавсане с шагом 50 мкм:

a — экспозиция на растровый элемент 0,6 Дж/см²; *b* — экспозиция 1 Дж/см².

экспозициями на лавсановой пленке толщиной 300 мкм. Микрофотографии получены на интерференционном микроскопе. Расстояние между соседними максимумами на интерферограммах равно $\lambda/(n-1)$, что для $\lambda = 0,5$ мкм (зеленый фильтр) и $n \approx 1,5$ соответствует изменению глубины рельефа на 1 мкм. Из рисунков видно, как с увеличением экспозиции происходит увеличение размера и кривизны микролинз, а также изменение их формы. Увеличение размера микролинз приводит к уменьшению пробельной площади растрового элемента, увеличение кривизны — к уменьшению ее эффективного коэффициента пропускания.

На рис. 3 представлены результаты фотометрирования ступенчатого линзово-растрового клина, записанного на лавсане с шагом 50 мкм. Пороговая энергия записи равна 0,5 Дж/см², а максимальная плотность $D = 0,85$. На рис. 4 приведено угловое распределение интенсивности света, рассеянного микролинзовым растром с шагом 50 мкм при освещении некогерентным источником света. Кривая 1 — угловое распределение интенсивности света осветителя, кривые 2—4 — распределение интенсивности света от микролинзового раstra при увеличении экспозиции от 0,8 до 1,3 Дж/см². Из рис. 4 видно, что с увеличением экспозиции происходит уширение углового распределения и уменьшение величины центрального пика. Это приводит к появлению полутоновых градаций при проекции изображения раstra на экран через объектив с ограничивающей апертурой. Максимальная плотность в изображении на экране, полученная в наших экспериментах, равна $0,85D$. Таким образом, для астigmaticских линз, занимающих всю площадь растрового элемента, эффективный коэффициент пропускания $\tau = 0,14$. Дальнейшего увеличения оптической плотности изображения можно добиться за счет уменьшения

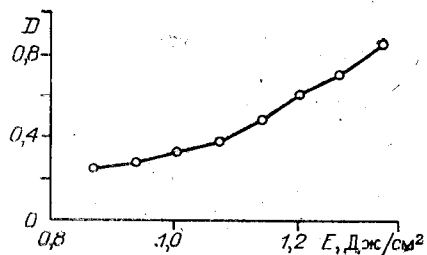


Рис. 3. Оптическая плотность растрового ступенчатого клина, записанного на лавсане с шагом 50 мкм. Микроаксиконы [8]. При этом угол преломления таких микроаксиконов должен быть значительно больше апертуры проекционного объектива, даст возможность получить эффективное пропускание, меньшее, чем для микролинз.

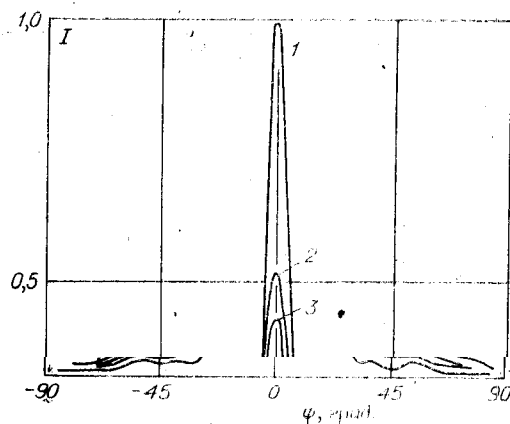


Рис. 4. Угловое распределение интенсивности света, рассеянного микролинзовыми растрами различной плотности:

1 — угловое распределение интенсивности осветителя; 2—4 — индикатрисы рассеяния света микролинзовыми растрами.

На рис. 5 приведен пример полутонового изображения, отпечатанного на фотобумаге с линзово-растрового транспаранта.

Нами также проведены эксперименты по синтезу цветных изображений при совместной проекции на экран трех цветоделенных составляющих через цветные фильтры. Аппаратно-программные возможности устройства записи позволяют одновременно записывать все три цветоделенных фрагмента 24×36 мм² с разрешением 40 лин./мм за 2 мин.

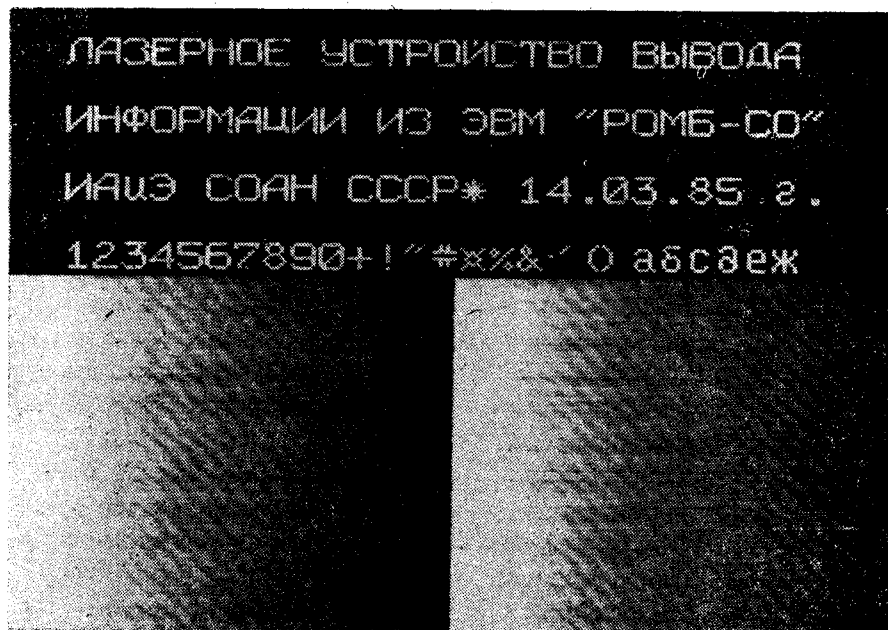


Рис. 5. Пример вывода графической и полутоновой информации на рефракционный транспарант.

ВЫВОДЫ

Эксперименты по записи излучением CO_2 -лазера рефракционных транспарантов показали возможность регистрации в реальном времени черно-белых и цветных полутонных изображений с разрешением до 80 лин./мм, контрастом до $1D$, восстанавливаемых при проекции в обычных проекционных устройствах. Разрешающая способность и контрастные характеристики таких транспарантов на сегодняшний день в 2—5 раз хуже характеристик галодосеребряных фотоматериалов для микрофильмирования [1], но могут быть существенно улучшены при уменьшении размера сфокусированного лазерного пучка в плоскости записи.

Существенными преимуществами по сравнению с галодосеребряными фотоматериалами являются низкая стоимость, отсутствие стадии обработки и поглощения света в транспаранте. Последнее обстоятельство позволит использовать исследованный метод регистрации и восстановления рефракционных транспарантов для проекции высокоинтенсивными источниками света на большие экраны в системах визуализации коллективного пользования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Средства информационной техники: Справочник.— М.: Энергия, 1980.
2. Bartolini R. et al. Embossed hologram motion pictures for television playback.— Appl. Opt., 1970, v. 9, N 10, p. 2283—2290.
3. Gale M. T. Sinusoidal relief gratings for zero-order reconstruction of black-and-white images.— Opt. Commun., 1976, v. 18, N 3, p. 292—297.
4. Кноп К. Color pictures using the zero di raction order of phase grating structures.— Opt. Commun., 1976, v. 18, N 3, p. 298—303.
5. Орловский Е. Л. Передача факсимильных изображений.— М.: Связь, 1980.
6. Алимбарашвили Н. А. и др. Новые материалы для оптической записи информации.— Тбилиси: Мецниереба, 1983.
7. Бессмельцев В. П., Гриценко Д. А., Жилевский А. И. Универсальное лазерное устройство вывода изображений в стандарте КАМАК.— В кн.: Обработка изображений и дистанционные исследования. Ч. II. Новосибирск: ВЦ СО АП СССР, НИИГАиК МВ и ССО РСФСР, 1984, с. 44—45.
8. Глузун Г. Г., Левченко Е. Б., Низьев В. Г., Сейфазов Р. Д. О механизме разрушения полимеров излучением импульсно-периодического CO_2 -лазера.— Квант. электроника, 1984, т. II, № 11, с. 2294—2300.

Поступила в редакцию 20 июля 1985 г.

УДК 621.391 : 681.3.01

**О. А. АФАНАСЬЕВА, С. М. БОРЗОВ, И. С. ГИБИН,
В. П. КОТЕНКО, И. И. РАЗУМОВА, В. Н. ХУДИК,
Л. Ф. ЧЕРНЫШЕВ, А. И. ЧЕРНЫШОВ, П. Н. ШЕЙКО**

(Новосибирск)

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ИТЕРАТИВНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЕ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Введение. Перспективным направлением развития оптических и оптико-электронных методов и средств обработки изображений является применение принципов обратной связи, имеющих фундаментальное значение при построении большинства технических систем. При этом основная проблема, которая может быть эффективно решена, состоит в реализации итерационных методов восстановления изображений в реальном или квазиреальном масштабе времени. Ввиду относительной простоты наибольшее распространение получили системы, в основе принципа дей-