

Рассмотренные системы записи и чтения успешно используются в экспериментах с голографической памятью. Включение в состав этих систем интерпретатора BASIC позволило в несколько раз ускорить их создание и отладку. Благодаря гибкости и универсальности интерпретатора легче решаются задачи развития систем и их адаптации к различным экспериментам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Виноградов В. И.** Дискретные информационные системы в научных исследованиях. М., Атомиздат, 1976.
2. **Гибин И. С., Мантуш Т. Н., Нестерихин Ю. Е., Панков Б. Н., Пен Е. Ф., Твердохлеб П. Е.** Программируемое голограммное ЗУ с записью и считыванием информации.— «Автометрия», 1975, № 3, с. 3—12.
3. **Вьюхина Н. Н., Кашеев Э. Л., Лужецкая О. А., Мантуш Т. Н., Панков Б. Н.** Система считывания страниц информации для голограммных ЗУ.— «Автометрия», 1976, № 6, с. 112—114.
4. **Sonic page composer for holographic memory.**— Пат. США № 3698794 (МКИ 602f 1/32, НКИ 350—161).
5. **Echler H.** Multifrequency acoustooptic page composers for holographic storage.— "Opt. Com.", 1975, vol. 13, N 2, p. 148.
6. **Вьюхин В. Н., Ковалев А. Е., Курочкин В. В., Юношев В. П.** Система управления акустооптическим дефлектором.— «Автометрия», 1975, № 3, с. 126—130.
7. **Мантуш Т. Н., Тарасов А. В.** Управляющая система для экспериментальных исследований ГЗУ.— «Автометрия», 1976, № 6, с. 54—60.

*Поступила в редакцию 25 мая 1978 г.;  
окончательный вариант — 8 августа 1978 г.*

УДК 621.373.826 : 772.99

**А. Н. КЛИМИН, Е. Ф. ПЕН, В. Г. РЕМЕСНИК,  
А. Б. РЫЖИКОВ, В. Г. ЦУКЕРМАН**

*(Новосибирск)*

#### РЕЛЬЕФНЫЕ ГОЛОГРАММЫ НА ПЛЕНКАХ ХСП

Практическое применение пленок халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) в ряде случаев ограничивается отсутствием в них процесса закрепления. Для того чтобы предотвратить старение голограмм при длительном их хранении или восстановлении и избежать двухволнового режима записи — восстановления голограмм, ведущего к появлению хроматических аберраций, целесообразно применять селективное растворение пленок ХСП [1, 2].

В данной работе приводятся результаты по формированию с помощью селективного травления рельефных голограмм на пленках As—S (запись и восстановление на  $\lambda=514,5$  нм) и As—Se (запись и восстановление на  $\lambda=632,8$  нм).

Пленки ХСП составов  $As_2S_3$ ,  $As_2Se_3$ ,  $As_3Se_2$  готовились вакуумным напылением и имели толщину 1,5—6 мкм. После напыления и до момента записи и травления пленки хранились в темноте при комнатной температуре.

Запись и восстановление голограмм в пленках  $As_2S_3$  осуществлялись излучением Ar-лазера ( $\lambda=514,5$  нм). Во время облучения в напылен-

ных пленках происходят фотоструктурные превращения, в результате которых меняется их растворимость. Селективное травление в пленках  $As_2S_3$  можно успешно осуществлять в таких растворителях, как щелочь, диметиламин (ДМА) и диэтиламин (ДЭА) [3]. В зависимости от типа растворителя, его концентрации и величины экспозиции наблюдается либо позитивное, либо негативное травление (т. е. быстрее травятся либо облученные, либо необлученные участки пленки). Негативное растворение пленок  $As_2S_3$  происходит в водном растворе ДЭА с концентрацией более 60%, позитивное — в ДМА с концентрацией 33% и менее. Для щелочи и водного раствора ДЭА с концентрацией < 50% характер селективного травления также позитивный, однако при экспозициях выше 10 Дж/мм<sup>2</sup> величина позитивного рельефа уменьшается; таким образом, на предварительно облученных участках можно получить негативное травление.

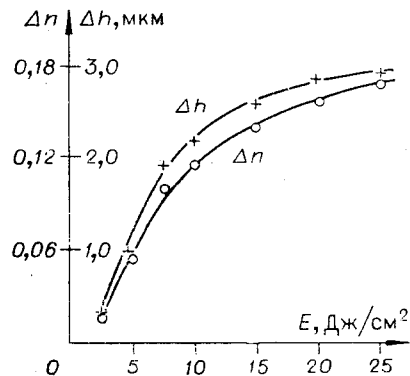
Один из основных критериев при выборе растворителя — качество поверхности образцов после растворения. Как правило, после растворения на поверхности пленок возникают рассеивающие центры, являющиеся источником шумов рассеяния рельефных голограмм. Количество и величина центров рассеяния возрастают с увеличением скорости и продолжительности растворения. Поэтому оптимальные концентрации растворителей и времена травления необходимо подбирать опытным путем. Хорошее качество поверхности получается для 0,1—0,2 Н раствора щелочи, 5—15 и 90—98%-ного раствора ДЭА, 5—10%-ного раствора ДМА при продолжительности растворения не более 150 с. При этом образцы после растворения промываются в воде, затем в спирте и быстро высушиваются. После растворения в концентрированном растворе ДЭА (90—98%-ный водный раствор) образцы следует промывать только в спирте, желательно обезвоженном.

Среди указанных растворителей наиболее селективным является ДМА. Экспозиционная зависимость высоты получаемого рельефа после травления пленки  $As_2S_3$  в ДМА приведена на рис. 1. Для практического применения этот растворитель удобен еще и тем, что высота рельефа пропорциональна величине изменения показателя преломления при облучении пленки (см. рис. 1). Это позволяет контролировать величину экспозиции и качество записываемого изображения непосредственно в процессе записи голограмм.

Как видно из экспозиционной кривой на рис. 1, селективность травления в 10%-ном ДМА настолько велика, что после 20 с травления высота рельефа достигает единиц микрон. Так как максимальная дифракционная эффективность решеток достигается при фазовом сдвиге, равном  $\pi$ , требуемая глубина гофра решетки при восстановлении голограмм на отражение  $d = \lambda/4 \approx 0,13$  мкм и при восстановлении голограммы на пропускание также  $d = \lambda/2(n-1) \approx \lambda/4 \approx 0,13$  мкм. Большой запас в глубине рельефа позволил нам при записи дифракционных решеток выбрать величину экспозиции на линейном участке экспозиционной кривой рис. 1 ( $\sim 5$  Дж/см<sup>2</sup>). Кроме того, для получения нужного рельефа удобно было уменьшить концентрацию растворителя до 5% и установить время растворения  $\sim 10$  с. Более точные условия максимума дифракционной

Рис. 1. Зависимость высоты рельефа  $\Delta h$  и изменение показателя преломления  $\Delta n$  от величины экспозиции для пленки  $As_2S_3$  толщиной 4 мкм.

Растворитель — 10%-ный ДМА, время травления — 20 с,  $\lambda = 514,5$  нм.



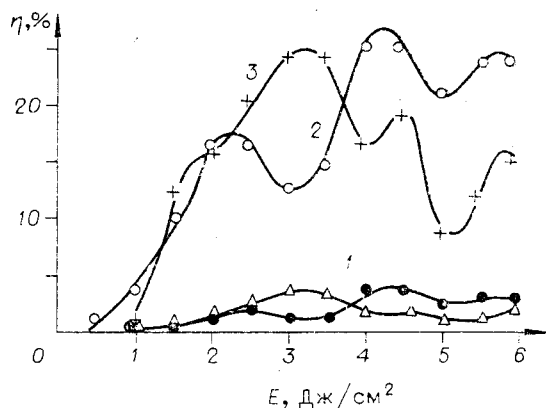


Рис. 2. Зависимость дифракционной эффективности рельефных решеток от величины экспозиции:

1 — восстановление на пропускание, время травления 7 и 10 с в 5%-ном ДМА; 2 — на отражение, решетка металлизирована, время травления 7 с в 5%-ном ДМА; 3 — то же, что и 2, время травления 10 с. Начальная толщина пленки  $As_2S_3$  6 мкм.

эффективности можно было осуществить путем изменения величины экспозиции.

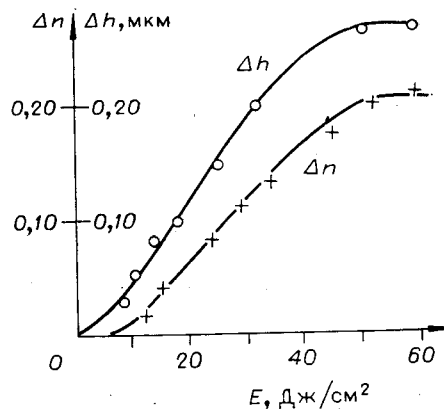
Полученные экспериментальные зависимости дифракционной эффективности

решеток от величины экспозиции приведены на рис. 2. Решетки записывались с пространственной частотой 1000 лин/мм, видность полос выбиралась близкой к 1. После селективного травления решетки можно было восстанавливать светом той же длины волны на пропускание, однако большое поглощение резко снижало величину дифракционной эффективности (кривая 1 на рис. 2). Поэтому для получения высокоэффективных голограмм целесообразно восстанавливать изображение на отражение. При этом необходимо отметить, что при длительном облучении пленок на их поверхности появляются рассеивающие центры, даже если сразу после травления их не было. Для предотвращения этого явления, а также для повышения дифракционной эффективности полученных решеток на поверхности пленок в вакууме напылялся оптически плотный слой алюминия. Зависимости дифракционных эффективностей рельефных алюминированных решеток от величины экспозиции приведены для двух продолжительностей травления (кривые 2 и 3 на рис. 2). Видно, что при более длительном травлении максимум эффективности достигается при меньших экспозициях. Наблюдаемое на рисунке отклонение экспериментальных точек от плавного хода зависимости  $\eta(E)$  объясняется нами интерференцией в пленке записывающих пучков света (различная оптическая толщина пленки возникает из-за клиновидности ее геометрической толщины и увеличения показателя преломления пленки в процессе облучения). Проверка показала, что эта интерференция сильно проявляется на толщинах 2—3 мкм и заметно ослабевает при увеличении толщин пленок из-за поглощения.

Как видно из рис. 2, дифракционная эффективность достигает максимума при экспозиции 2—4 Дж/см<sup>2</sup>. Это примерно в 10 раз меньше, чем экспозиция, при которой достигается максимальная дифракционная эффективность на пленках этой же толщины, если не применять селективное травление. Следовательно, можно считать, что селективное травление увеличивает чувствительность пленок на порядок.

Запись и восстановление рельефных голограмм на пленках системы As—Se осуществлялись излучением He-Ne-лазера ( $\lambda = 632,8$  нм). В отличие от пленок  $As_2S_3$  пленки  $As_2Se_3$  и  $As_3Se_2$  травятся в указанных выше растворителях (щелочи, ДЭА, ДМА) намного хуже и со значительно меньшей селективностью. Лучшим среди них для пленок  $As_2Se_3$  является ДМА. Характер травления пленок  $As_2Se_3$  в ДМА качественно повторяет характер травления пленок  $As_2S_3$  в ДЭА. В 10%-ном водном растворе ДМА пленки  $As_2Se_3$  травятся позитивно, а при увеличении концентрации до 33% — негативно. Максимально достигнутая нами высота рельефа для этих пленок не превышает 0,1—0,12 мкм (травление в 33%-ном ДМА в течение 60 с). Кроме того, после травления в течение

Рис. 3. Зависимость высоты рельефа  $\Delta h$  и изменения показателя преломления  $\Delta n$  от величины экспозиции для пленок  $\text{As}_3\text{Se}_2$  толщиной 3 мкм.  
Растворитель  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , время травления 20 мин.,  $\lambda = 632,8$  нм.



указанного времени качество поверхности пленки было невысоким. Поэтому, хотя максимальная дифракционная эффективность решеток достигала 15%, удовлетворительного качества рельефных голограмм на этих пленках нам получить не удалось.

Известно, что среди составов системы As — Se наиболее эффективными для оптической записи являются пленки  $\text{As}_3\text{Se}_2$  [2]. Пленки данного состава плохо растворяются в щелочи и водных растворах аминов, поэтому в качестве селективного растворителя использовался хромпик  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (рис. 3). Как видно из рисунка, высота рельефа пропорциональна изменению показателя преломления при облучении и достигает величины  $\sim 0,25$  мкм, что вполне достаточно для формирования рельефных голограмм. Качество травленной поверхности в данном случае значительно лучше, чем при травлении  $\text{As}_2\text{Se}_3$  в ДМА. Как и в предыдущих случаях, после травления пленки  $\text{As}_3\text{Se}_2$  промывались в воде и спирте, быстро высушивались и покрывались оптически плотным слоем алюминия. Дифракционная эффективность полученных таким способом рельефных решеток достигала 20% при достаточно низком уровне шумов рассеяния.

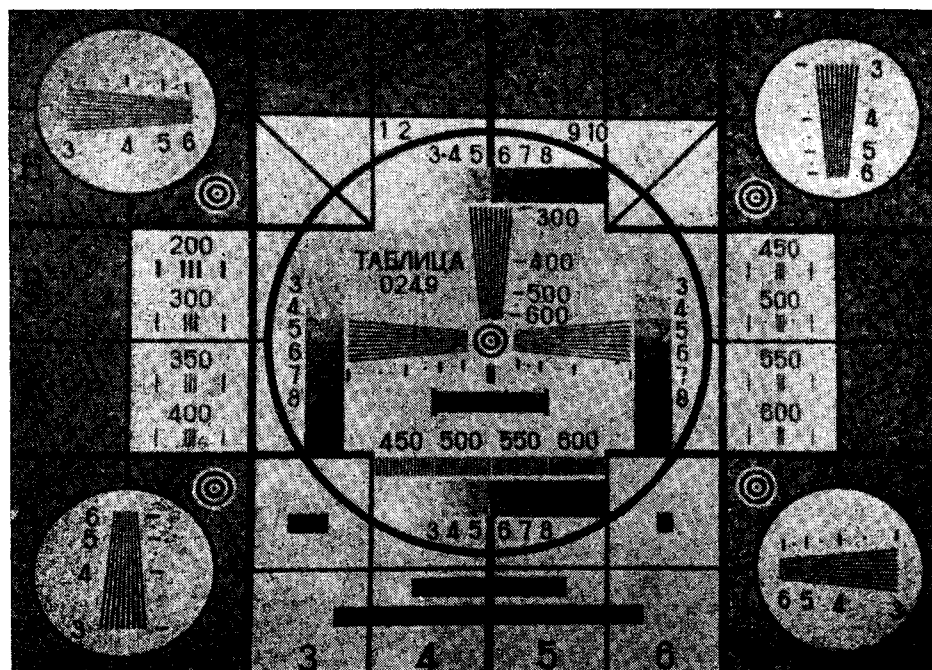


Рис. 4. Изображение, восстановленное с рельефной металлизированной голограммы.

Описанная методика формирования рельефных голограмм может быть применена, например, в голограммных ЗУ документального типа с отображением восстановленного изображения на рассеивающий проекторный экран. В этом случае для обеспечения необходимой яркости изображения требуется высокая плотность мощности восстанавливающего пучка лазера.

На рис. 4 показано изображение, восстановленное с рельефной отражательной голограммы, полученной с помощью селективного травления пленки  $As_2S_3$ . В качестве объекта записи использовано позитивное изображение телевизионной тест-таблицы 0249 размером  $24 \times 36$  мм. Запись фурье-голограмм производилась с использованием специальной фазовой маски ( $625 \times 625$  элементов, 6 уровней фазы)\* для выравнивания освещенности предметного пучка в плоскости голограммы и объектива «Гелиос-40» ( $f = 85$  мм,  $1:1,5$ ). Диаметр голограммы составлял 1,75 мм. Благодаря металлизированию голограмма допускала длительное неразрушающее считывание излучением аргонового лазера с плотностью мощности примерно  $10$  Вт/см<sup>2</sup>. Отметим, что голограмма на фотоматериале при такой плотности мощности уже разрушается. Дифракционная эффективность голограммы составляла 10%. Видно, что качество восстановленного изображения хорошее. Разрешение  $\sim 500$  лин/кадр, 5 градаций полутона, нелинейное искажение отсутствует, небольшой спекл-шум обусловлен светорассеянием голограммы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Keneman S. A. Surface relief holograms in evaporated arsenic trisulfide films.— "Thin Solid Films", 1974, vol. 21, N 2, p. 28.
2. Gurevich S. B., Ilyashenko N. N., Kolomiets V. T., Lubin V. M., Shilo V. P. Photostimulated changes of optical properties and structure of amorphous Se — As films.— "Phys. Stat. Solidi (a)", 1974, vol. 26, p. k127.
3. Климин А. Н., Короткевич М. Н., Кузнецов В. И., Шеронов М. А., Цукерман В. Г. Действие синхротронного рентгеновского излучения на оптические свойства халькогенидных стеклообразных полупроводников.— Препринт, № 72—24, Новосибирск, изд. ИЯФ СО АН СССР, 1977.

Поступила в редакцию 25 мая 1978 г.;  
окончательный вариант — 20 июля 1978 г.

---

\* Фазовая маска изготовлена ИАиЭ СО АН СССР совместно с ИФП СО АН СССР.