

Краткие сообщения

06;07;12

Исследование процессов получения голограммных дифракционных решеток на основе слоев As_2S_3

© С.А. Костюкевич,¹ П.Е. Шепелявый,¹ П.Ф. Романенко,¹ И.В. Твердохлеб²¹ Институт физики и полупроводников НАН Украины,
03028 Киев, Украина² Национальный университет им. Т. Шевченко,
03125 Киев, Украина
e-mail: spe@isp.kiev.ua

(Поступило в Редакцию 28 января 2002 г.)

Приводятся результаты исследований процессов формирования голограммных дифракционных решеток на основе слоев As_2S_3 . С помощью микроскопа атомных сил исследована форма профиля штрихов получаемых решеток в зависимости от величины экспозиции. Проведено измерение спектральных зависимостей их дифракционной эффективности и проанализирована их связь с формой рельефа поверхности решеток.

Введение

Для изготовления голограммных дифракционных решеток (ГДР) широкое применение находят неорганические фоторезисты [1]. К ним относятся и аморфные слои халькогенидных стекол (ХС), типичными представителями которых являются сульфид мышьяка (As_2S_3) и селенид мышьяка (As_2Se_3). Использование ХС в качестве высоко разрешающих неорганических резистов основано на эффекте фотостимулированного изменения растворимости пленок ХС, полученных термовакuumным напылением, в селективных травителях [2]. В ряде работ [3–6] исследовались процессы получения ГДР на слоях As_2Se_3 , которые обладают широкой областью спектральной чувствительности, включающей УФ, видимую и ближнюю ИК области. В меньшей степени исследовались процессы формирования ГДР на слоях As_2S_3 [7]. Тем не менее интерес к этим слоям не уменьшается, так как они имеют свои преимущества, например, при записи ГДР с помощью гелий-кадмиевого (He-Cd) лазера. Существенное значение при формировании рельефа ГДР имеет качество селективного травления слоя ХС после экспонирования. Для неорганического фоторезиста на основе слоя As_2S_3 авторами разработан селективный безводный органический травитель [8], обеспечивающий высококачественное негативное травление. В настоящей работе приведены результаты исследования процессов формирования ГДР на слоях As_2S_3 с использованием разработанного травителя. В частности, была использована зависимость дифракционной эффективности (ДЭ), а также формы профиля штрихов ГДР от величины экспозиции. Полученные результаты дают возможность оптимизировать режим экспонирования слоя As_2S_3 с целью получения высокоэффективных ГДР с синусоидальным профилем штрихов.

Экспериментальная часть

Опытный образец для записи ГДР готовился методом последовательного термического напыления в вакууме при остаточном давлении $2 \cdot 10^{-3}$ Па на оптически полированную стеклянную подложку слоев Cr и As_2S_3 , толщины которых составляли 80 и 1000 nm соответственно. Экспонирование слоя As_2S_3 осуществлялось на голографической установке, в которой использовался метод деления амплитуды световой волны. Для получения интерференционной картины, пространственная частота которой составляла 1200 nm^{-1} , использовалось излучение He-Cd лазера с длиной волны $\lambda = 0.441 \mu\text{m}$. Для разных участков слоя фоторезиста значения величин экспозиции H выбирались равными 20, 40, 80, 150 и 300 mJ/cm^2 . После экспонирования проводилась химическая обработка в безводном органическом травителе [8], в котором происходило селективное растворение неэкспонированных участков слоя As_2S_3 (т.е. негативное травление). В результате такой обработки в нем была сформирована рельефно-фазовая решетка, профиль поверхности которой отображает распределение величины экспозиции в фоторезистивном слое. В зависимости от условий экспонирования образуются симметричные решетки с различной глубиной модуляции h/d (где h — глубина рельефа, d — период решетки), имеющие синусоидальную, близкую к синусоидальной или циклоидальную форму профиля штрихов. Для увеличения отражающей способности полученных решеток они покрывались слоем Al толщиной $\sim 100 \text{ nm}$.

Спектральные зависимости дифракционной эффективности $\eta(\lambda)$ ГДР измеряли в схеме, близкой к схеме Литтрова: угол между падающим и дифрагированным пучками составлял $\sim 10^\circ$. Измерение $\eta(\lambda)$ проводили в спектральном диапазоне 400–800 nm в поляризованном свете (S -поляризации, т.е. для случая, когда электриче-

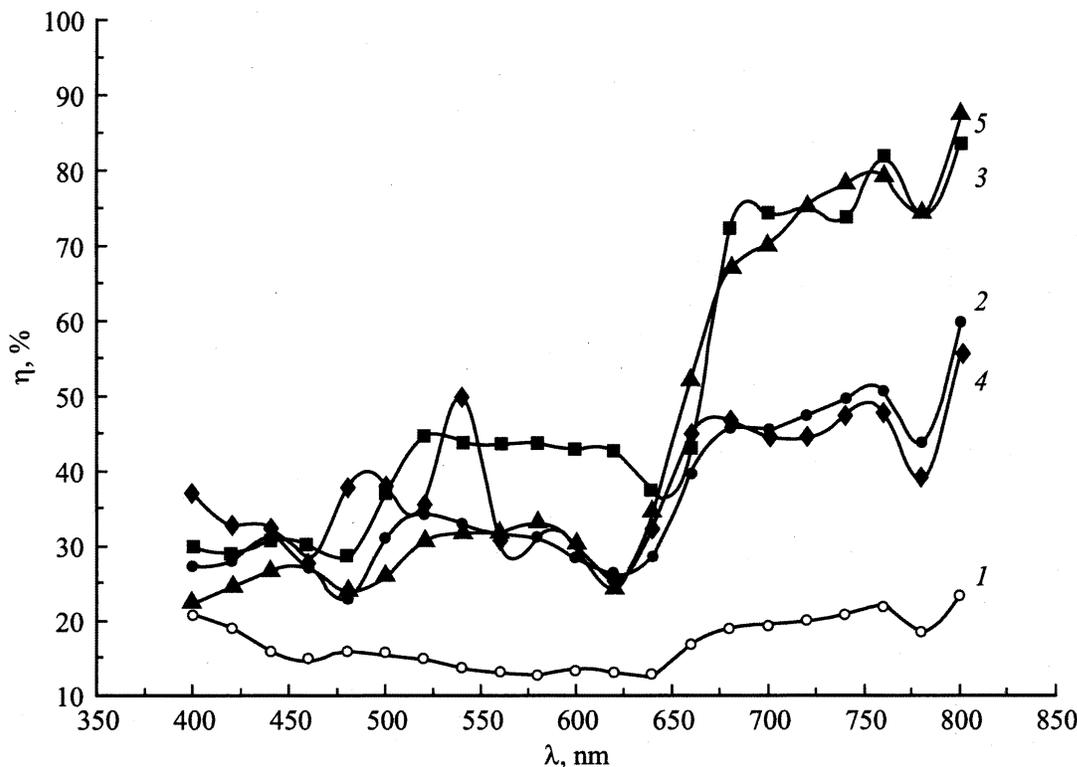


Рис. 1. Спектральные зависимости дифракционной эффективности голограммных решеток $\eta(\lambda)$, записанных на слое As_2S_3 .

ский вектор падающей волны перпендикулярен штрихам решетки).

Топография поверхности и форма профиля штрихов решеток исследовались при помощи микроскопа атомных сил Dimension 3000 Scanning Probe Microscope фирмы Digital Instruments.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены спектральные зависимости дифракционной эффективности голограммных решеток $\eta(\lambda)$, записанных на слое As_2S_3 при различных экспозициях H : 20, 40, 80, 150 и 300 mJ/cm^2 (кривые 1–5 соответственно). В спектральном диапазоне 625–650 нм наблюдается аномалия, связанная с перераспределением энергии между порядками. Затем с уменьшением длины волны λ имеет место некоторое возрастание η , достигающее максимума при $\lambda = 520\text{--}530 \text{ nm}$. При $\lambda = 475 \text{ nm}$ наблюдается еще одна аномалия, за которой следует некоторый рост η и достигается значение $\sim 30\text{--}35\%$. Следует особо выделить кривую 4 ($H = 150 \text{ mJ/cm}^2$), для которой в значительной степени характерен ахроматизм дифракционной эффективности ($\eta = 40\text{--}45\%$) в довольно широком спектральном диапазоне $\lambda = 520\text{--}760 \text{ nm}$. Из рис. 1 видно, что наиболее высокие значения $\eta \approx 80\%$ для диапазона $\lambda = 675\text{--}800 \text{ nm}$ получены при экспозиции $H = 80$ и 300 mJ/cm^2 (кривые 3 и 5 соответственно).

На рис. 2 приведены зависимости дифракционной эффективности ГДР от экспозиции, полученные из рис. 1 для различных длин волн: 400, 440, 500, 600, 700 и 800 nm (кривые 1–6 соответственно). Для длин волн 600, 700 и 800 nm при $H = 80\text{--}85 \text{ mJ/cm}^2$ наблюдаются максимальные значения дифракционной эффективности, с увеличением экспозиции они уменьшаются, достигая минимума при $H = 175\text{--}220 \text{ mJ/cm}^2$, затем значения η опять возрастают. Большой интерес представляет значение дифракционной эффективности в области первого максимума, где η достигает значений $\approx 70\text{--}80\%$. Из рис. 2 видно, что оптимальными являются экспозиции, выбранные из интервала $H = 75\text{--}100 \text{ mJ/cm}^2$, что находится в согласии с выводами, сделанными выше на основании рис. 1 (кривая 3). Чтобы сопоставить оптические характеристики решеток с различной формой профиля штриха, воспользуемся рис. 3, на котором показаны топографии штрихов и их формы профиля, полученные с помощью микроскопа атомных сил. Проведем сопоставление крайних случаев для 20 mJ/cm^2 (рис. 3, а) и для 300 mJ/cm^2 (рис. 3, с). При малых экспозициях глубина профиля относительно невелика, а ширины выступов и впадин штрихов отличаются незначительно и профиль штрихов близок к синусоидальному. Это приводит к тому, что решетка, записанная при $H = 20 \text{ mJ/cm}^2$, имеет низкие значения η во всем исследуемом спектральном интервале. При больших значениях экспозиции ($H = 300 \text{ mJ/cm}^2$) профиль штрихов претерпевает изменения, он трансформи-

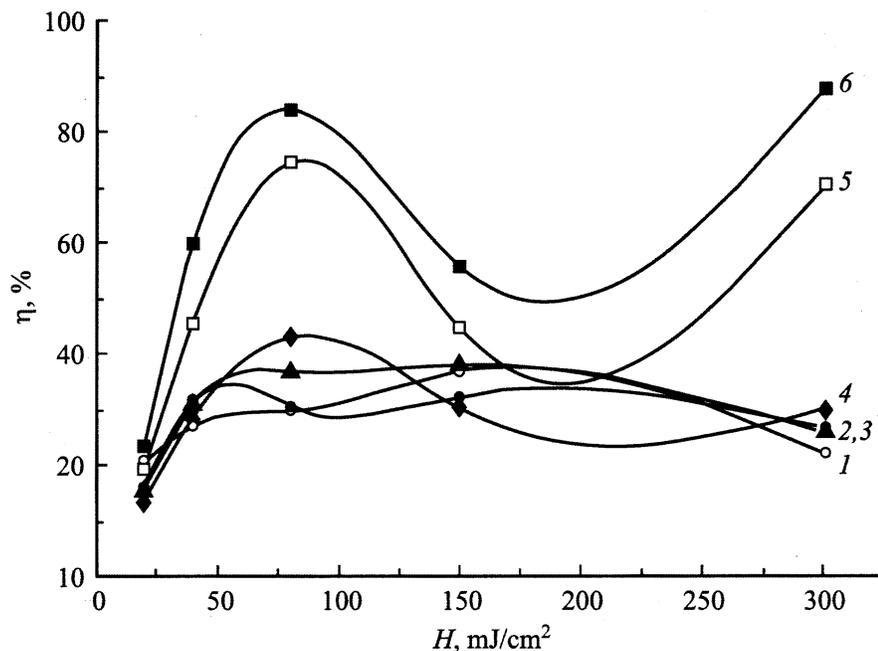


Рис. 2. Зависимости дифракционной эффективности ГДР от экспозиции (данные взяты из рис. 1).

руется и становится циклоидальным с широкими почти плоскими вершинами, а также с глубокими и узкими впадинами. Что касается промежуточных экспозиций,

то они вписываются в общую картину: с увеличением экспозиции имеют место округление вершин, сужение и углубление впадин. Таким образом, наиболее приемлемой экспозицией для получения на слое As_2S_3 высокоэффективной ГДР с синусоидальным профилем штрихов является $H = 80 \text{ mJ/cm}^2$. Что же касается экспозиции 300 mJ/cm^2 (кривая 5), то, хотя для нее и достигнуты высокие значения η , данный режим экспонирования является слишком энергоемким. Кроме того, циклоидальная форма профиля штрихов не позволяет использовать такую ГДР для процессов копирования, поскольку в этом случае нельзя достичь идентичности решетки-оригинала и ее копии.

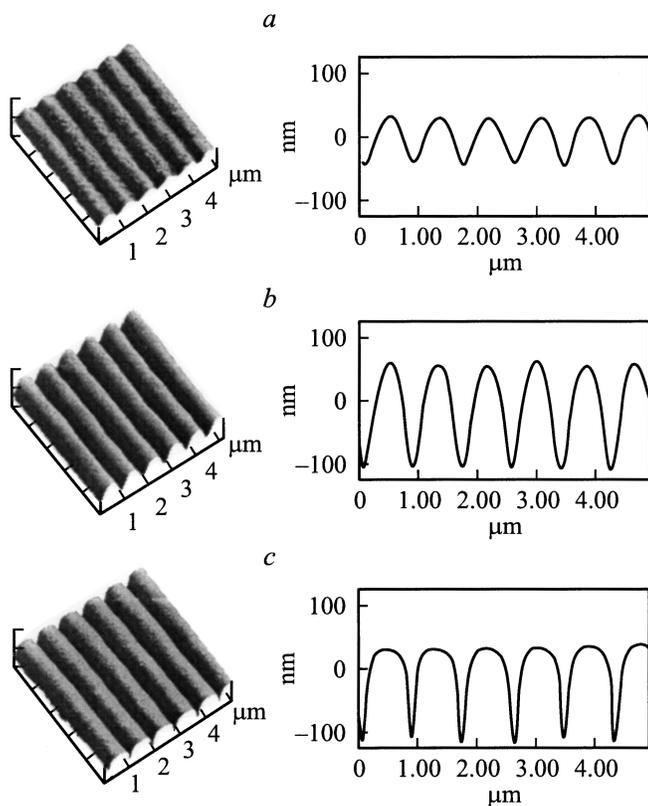


Рис. 3. Топография и форма профиля штрихов ГДР. $H, \text{ mJ/cm}^2$: а — 20, б — 80, с — 300.

Заключение

Основные результаты, приведенные в данной работе могут быть суммированы следующим образом.

1. Для формирования высокоэффективных ГДР с помощью неорганического фоторезиста на основе слоев As_2S_3 при экспонировании He-Cd лазером величину экспозиции необходимо выбирать из интервала $50\text{--}100 \text{ mJ/cm}^2$. Полученные решетки при этом в диапазоне длин волн $\lambda = 675\text{--}800 \text{ nm}$ имеют значения дифракционной эффективности $\eta > 70\%$.

2. В зависимости от величины экспозиции форма профиля штрихов изменяется от синусоидальной при малых экспозициях ($H = 20 \text{ mJ/cm}^2$) или близкой к синусоидальной для средних значений ($H = 50\text{--}100 \text{ mJ/cm}^2$) до циклоидальной при больших экспозициях ($H = 150\text{--}300 \text{ mJ/cm}^2$).

Список литературы

- [1] *Hatley M.C.* Diffraction Grating. London: Academic Press, 1982.
- [2] *Коломиец Б.Т., Любин В.М., Шило В.П.* // Физика и химия стекла. 1978. С. 351–357.
- [3] *Indutnyi I.Z., Robur I.I., Romanenko P.F., Stronski A.V.* // Proc. SPIE. 1991. Vol. 1555. P. 248–257.
- [4] *Indutnyi I.Z., Stronski A.V., Kostioukevitch S.A.* et al. // Optical Engineering. 1995. Vol. 34. P. 1030–1039.
- [5] *Романенко П.Ф., Робур И.И., Стронский А.В.* // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. 1994. Вып. 27. С. 47–50.
- [6] *Романенко П.Ф., Сопинский Н.В., Индутный И.З.* и др. // Журнал прикладной спектроскопии. 1999. Т. 66. С. 587–590.
- [7] *Герке Р.Р., Михайлов М.Д., Юсупов И.Ю., Яковук О.А.* // Гологр. опт. элементы и системы / Под ред. Ю.Н. Денисюка. Л.: Наука, 1994. С. 84–90.
- [8] *Венгер Е.Ф., Костюкевич С.А., Шепелявый П.Е.* и др. // Патент Российской Федерации. № 2165902. БИ. 2001. № 12.