

Разрешающая способность неорганического халькогенидного резиста при записи голограмм

М. Д. Михайлов^{1,2}, А. В. Белых^{1,3}, И. Ю. Юсупов³

¹ АО НПО Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

³ ООО Хологрэйт, Санкт-Петербург, Россия

Обобщена информация о возможностях халькогенидного фоторезиста при записи на нем рельефно-фазовых голограмм и его перспективах. Несовпадение экспериментально получаемой и ожидаемой формы рельефа дифракционных структур обусловлено диффузией возбужденных электронных состояний из облучаемых областей в необлучаемые. Наличие данного эффекта позволяет записывать голограммы на многослойных структурах, состоящих из последовательности халькогенидных слоев разного состава и, соответственно, разной фоточувствительности. Используя специфику свойств халькогенидного фоторезиста, можно получать многослойные рельефные структуры, дающие цветные изображения в нулевом порядке дифракции.

Ключевые слова: Фоточувствительные пленки, Сульфид мышьяка, Селенид мышьяка, Дифракционные решетки, Рельефно-фазовые голограммы

Цитирование: Михайлов, М. Д. Разрешающая способность неорганического халькогенидного резиста при записи голограмм / М. Д. Михайлов, А. В. Белых, И. Ю. Юсупов // HOLOEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 313–315.

В настоящем докладе мы впервые систематизируем накопленную информацию о свойствах халькогенидных фоторезистов с целью показать возможности материала и его перспективы. Величина фоточувствительности халькогенидных слоев зависит от длины волны: чем меньше длина волны, тем фоточувствительность выше. Например, у пленок состава $As_{36}S_{44}Se_{20}$ при изменении длины волны от 442 до 488 нм коэффициент поглощения уменьшается в 2,5 раза и примерно во столько же раз уменьшается рабочая экспозиция изменяется от 75–100 мДж/см² до 150–200 мДж/см².

Исторически одним из преимуществ халькогенидных фоторезистов считалась их высокая разрешающая способность. Действительно, запись как плоских, так и вогнутых дифракционных решеток с частотой от 600 до 3600 линий/мм позволяет получать решетки, удовлетворяющие всем требованиям к решеткам для спектральных приборов. На рис. 1 слева приведен рассчитанный на основе данных по скорости травления и ее зависимости от экспозиции профиль для решетки с частотой 1200 линий/мм, Справа приведен экспериментальный профиль (халькогенидный слой покрыт слоем алюминия толщиной 200 нм).

Аккуратные измерения зависимости скорости травления пленок от глубины показывают, что изменения скорости растворения происходят на глубинах, значительно превосходящих глубины, до которых распространяется свет при экспонировании (рис. 2).

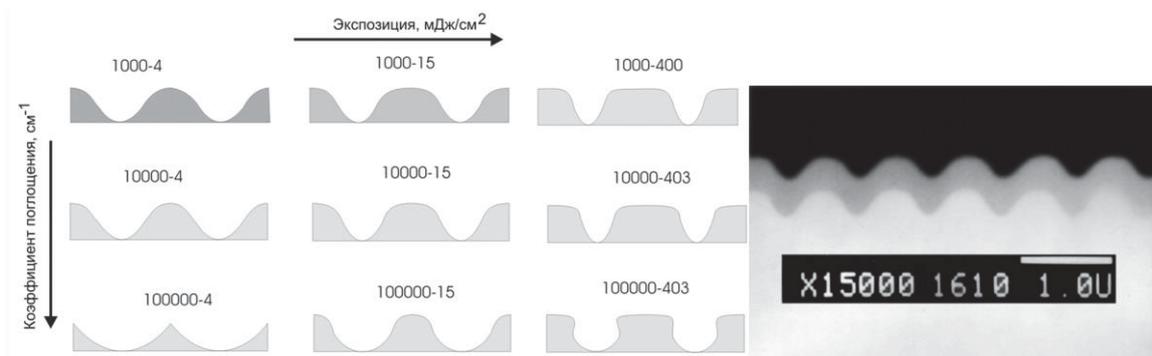


Рис. 1. Расчетный и экспериментальный профиль решетки с частотой 1200 линий/мм.

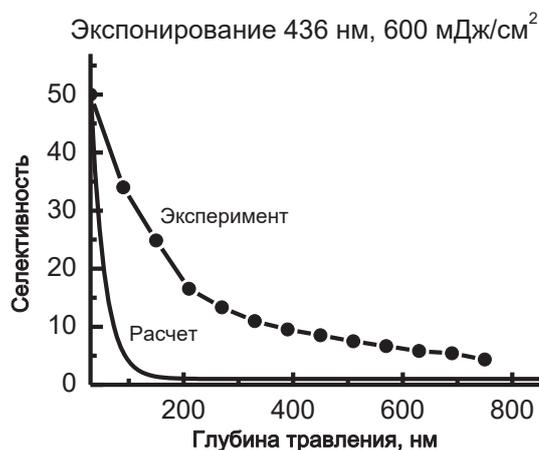


Рис. 2. Зависимость селективности травления пленок $As_{39}S_{61}$ от глубины при экспонировании светом с длиной волны 436 нм

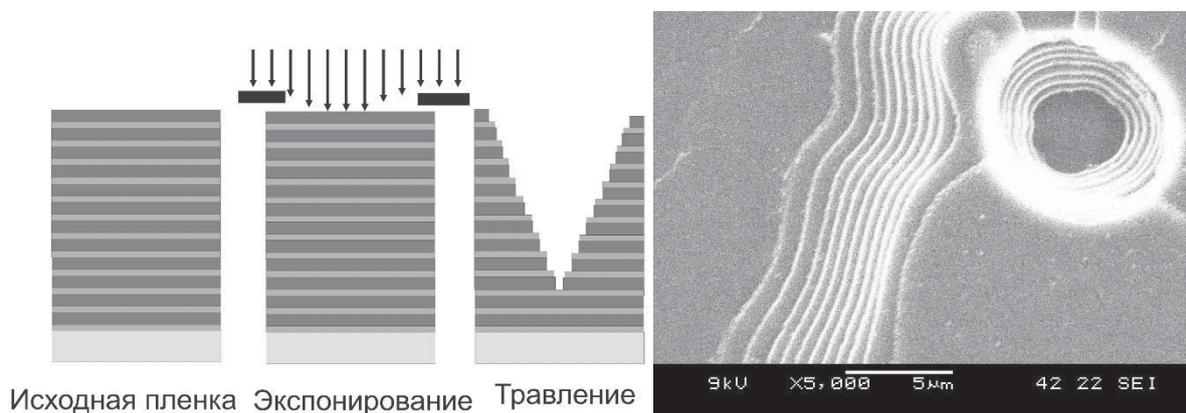


Рис. 3. Схема экспонирования и травления многослойных структур и экспериментально полученная дифракционная структура

Мы полагаем, что наблюдающиеся эффекты связаны с полупроводниковыми свойствами халькогенидных слоев. При экспонировании в слое происходит генерация электронно-

дырочных пар, которые далее диффундируют в не экспонируемые области. Оценки показывают, что для того, чтобы объяснить наблюдаемые величины расстояний, коэффициент амбиполярной диффузии должен быть порядка 10^{-10} – 10^{-11} см·с, что хорошо согласуется с известными данными по дрейфовой подвижности носителей заряда в материалах данного класса.

Перенос возбуждения из одного халькогенидного слоя в другой позволяет экспонировать многослойные структуры. Для этого тонкие слои, поглощающие, чередуются с более толстыми слоями прозрачного материала. При экспонировании такой структуры фотоструктурные превращения происходят во всех слоях — в тонких слоях за счет поглощения света, а в толстых – за счет переноса возбуждения. Схема эксперимента приведена на рис. 3, там же показан результат экспонирования и последующего травления. Структура, изображенная на рис. 3, характеризуется максимумом отражения на длине волны, равной удвоенной толщине пары слоев. Эта структура аналогична известной «ацтек» структуре. Ее важным достоинством является тиражируемость рельефа с помощью фотополимерных композиций.

Таким образом, аморфные халькогенидные пленки являются к настоящему времени фоточувствительными материалами, степень изученности которых позволяет использовать их как в серийном производстве, так и в научных экспериментах. Их недостатки, в т.ч. токсичность (в большей степени связанная с предубеждениями, чем с реальностью) компенсируются их технологическими преимуществами, перечисленными в данном докладе.

Resolution ability of inorganic chalcogenide resist for hologram recording

M.D. Mikhailov^{1,2}, A.V. Belykh^{1,3}, I.Yu. Yusupov³

¹ S. I. Vavilov's State Optical Institute, Saint-Petersburg, Russia

² Peter the Great Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia

³ Holograte Ltd. Saint-Petersburg, Russia

Information about chalcogenide photoresist as a medium for the recording of relief-phase holograms is given. There is a difference of calculated relief shape and obtained experimentally. This difference can be explained by diffusion of the excited electronic state from the irradiated area to non-irradiated. This effect lets us to record holograms into multilayer structures, which are constructed from chalcogenide layers with different composition and photosensitivity. As an example, we can obtain multilayer relief structures, that give color images in zero diffraction order.

Keywords: Photosensitive films, Arsenic sulfide, Arsenic selenide, Diffraction gratings, Relief phase holograms.