

## Исследование влияния зарядки халькогенидных стеклообразных полупроводников в коронном разряде на образование наложенных голографических дифракционных решеток

© А.М. Настас, М.С. Иову, Г.М. Тридух, А.М. Присакар

Институт прикладной физики АН Молдавии,  
MD-2028 Кишинев, Молдавия  
e-mail: nastas\_a@usm.md; nastas\_am@rambler.ru

(Поступило в Редакцию 6 мая 2014 г.)

Исследована оптическая запись двух наложенных голографических решеток, которые были записаны в поле коронного разряда в структуре Ni-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. Показано, что использование коронного разряда при записи в структуре Ni-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> позволяет увеличить голографическую чувствительность этой структуры и дифракционную эффективность зарегистрированных решеток в несколько раз. Установлено, что при записи двух наложенных решеток поверхностный рельеф, полученный в результате химического травления голографических решеток, при записи которых использовался коронный разряд, является более однородным и отличается большей глубиной модуляции толщины поверхностного рельефа.

### Введение

Сегодня интерес к регистрирующим средам связан с возможностью получения в них различных дифракционных оптических элементов (ДОЭ) как синтезированных, так и аналоговых голографических оптических элементов. Это связано прежде всего с их использованием в защитных голографических технологиях, в различных компактных измерительных и визуализирующих оптико-электронных системах, в системах оперативной голографической записи и архивации, а также в изобразительной голографии. Отдельно следует выделить интерес к регистрирующим средам, связанный с их использованием в оптической литографии. Среди регистрирующих сред, которые успешно могут быть использованы и уже используются в этих областях, а также учитывая, потенциальную возможность использования в нанополитографии [1], выделяются тонкие пленки халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) [2].

Процессы регистрации оптической информации в структурах на базе ХСП, несмотря на их давнюю историю, довольно интенсивно исследуются и сегодня, например, в работах [3–5]. Наиболее востребованы способы записи в тонких пленках ХСП за счет фотоструктурных превращений (ФСП) и фотодиффузии металла (ФДМ) в структуре металл-ХСП. К их достоинству следует отнести прежде всего высокое разрешение (вплоть до нескольких нанометров [2]) и возможность трансформации изображения за счет травления в рельефно-фазовое.

В работе [6] было установлено, что при экспонировании структуры Ni-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> с одновременной ее зарядкой в поле коронного разряда происходит дополнительное (по сравнению с ФСП без коронного разряда) увеличение изменения коэффициента пропускания и показателя преломления. В [7] показано, что использование коронного разряда позволяет увеличить светочувствительность

тонкопленочной структуры Ni-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> и дифракционную эффективность голографических дифракционных решеток (ГДР), сформированных непосредственно в результате записи в пленке ХСП. После химического травления этих голографических решеток дифракционная эффективность и глубина полученных рельефно-фазовых голографических дифракционных решеток выше у образцов, которые были получены в поле коронного разряда [7]. Однако в этих работах не было исследовано влияние коронного разряда при многократном экспонировании различными интерференционными картинками (один из методов получения поверхностного периодического рельефа ДОЭ [2]) на особенности рельефа в пленках ХСП.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния поля коронного разряда на формирование двух наложенных голографических дифракционных решеток при записи в тонкопленочных структурах Ni-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>.

### Методика получения и исследования образцов

Образцы для исследований получали методом последовательного термического испарения в вакууме при остаточном давлении  $\sim 10^{-3}$  Па на стеклянную подложку Ni, а затем As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>. Толщина полупрозрачного металлического слоя, который при зарядке в поле коронного разряда служил одним из электродов, составляла 40 нм, а толщина полупроводниковых слоев составляла 1 мкм.

Исследование процесса записи голографических интерференционных решеток на тонкослойных структурах металл-ХСП проводилось с одновременной их зарядкой в поле коронного разряда (7.5 кВ). При таком способе зарядки поверхность ХСП в неэкспонированных участках приобретает потенциал, равный нескольким сотням Вольт [8]. При этом в некристаллическом высокоомном

полупроводнике создается электрическое поле высокой напряженностью вплоть до  $10^6$  V/cm.

В структуре Ni-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> записывались как одиночные, так и ортогонально направленные двойные наложенные ГДР с периодом  $\Lambda = 0.5 \mu\text{m}$ . Голографическая запись проводилась на длине волны  $\lambda = 0.488 \mu\text{m}$  (Ar-лазер), суммарная мощность регистрируемого изображения была равна 0.64 mW, мощности в обоих плечах были одинаковы. С помощью химического травления в водном растворе щелочи КОН были сформированы рельефные наложенные дифракционные решетки.

Измерение дифракционной эффективности  $\eta$  производилось неактивным для данных тонкопленочных структур лазерным лучом с длиной волны  $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$  (ЛГН-208А). Измерение дифракционной эффективности (ДЭ) проводилось в прошедшем свете при падении лазерного луча под углом  $\theta = 30^\circ$  к поверхности ХСП. ДЭ определяли как отношение интенсивности света в первом дифракционном максимуме к интенсивности света прошедшего через неэкспонированный участок используемого образца. Такое определение дифракционной эффективности позволяло исключить влияние поглощения и рассеяния в тонкослойных слоях структуры металл-полупроводник восстанавливающего луча.

Травление производилось в водном растворе неорганической (КОН) щелочи. С помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) и атомного силового микроскопа (АСМ) исследовалась поверхность рельефно-фазовых наложенных дифракционных решеток, периоды которых были равны  $0.5 \mu\text{m}$ .

## Экспериментальные результаты и их обсуждение

Зависимость ДЭ от экспозиции  $H$  представлена на рис. 1. При обычной записи одиночных ГДР с периодом  $\Lambda = 0.5 \mu\text{m}$  было достигнуто значение дифракционной

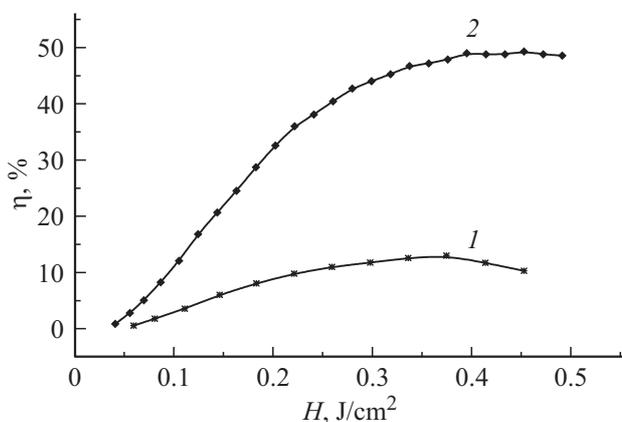


Рис. 1. Зависимости ДЭ от экспозиции при обычной записи (1) ГДР с периодом  $\Lambda = 0.5 \mu\text{m}$  в структуре Ni-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> и в поле коронного разряда (2).

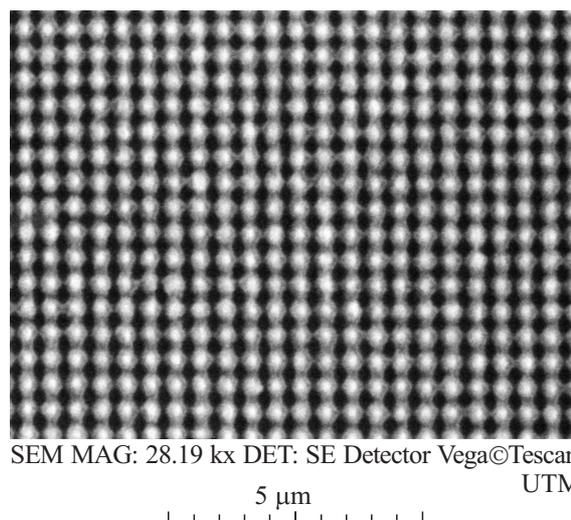


Рис. 2. РЭМ изображение поверхности наложенных ГДР.

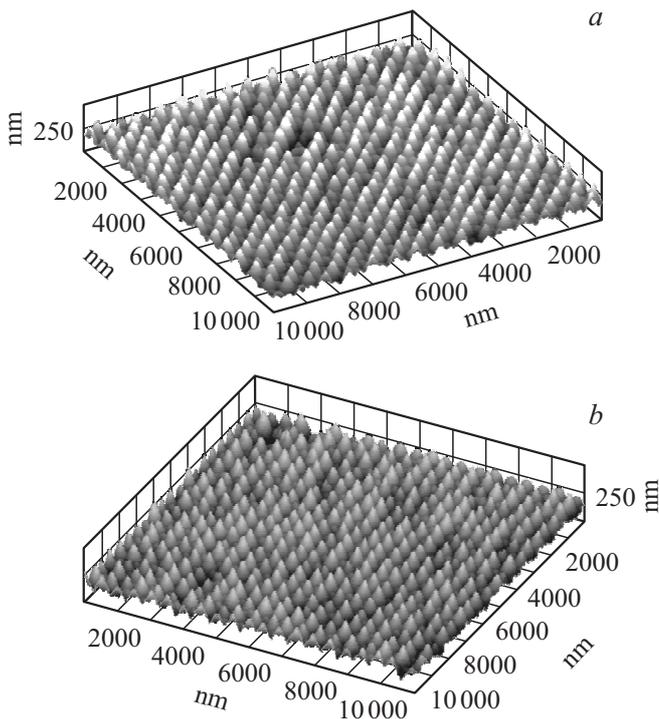
эффективности около  $\eta = 12\%$  (рис. 1, кривая 1). При записи в поле коронного разряда было получено намного большее значение дифракционной эффективности, равное примерно  $\eta = 49\%$  (рис. 1, кривая 2).

Полученные результаты явились предпосылкой для изучения влияния поля коронного разряда на формирование более сложной структуры, а именно структуры двойных наложенных дифракционных решеток с периодом  $\Lambda = 0.5 \mu\text{m}$ . Такая структура отличается тем, что в процессе записи двух решеток происходит двойное облучение регистрирующей среды в узлах пересечения линий. После двойного облучения образец был подвергнут химическому травлению. Соответствующее РЭМ-изображение топологии поверхности показано на рис. 2.

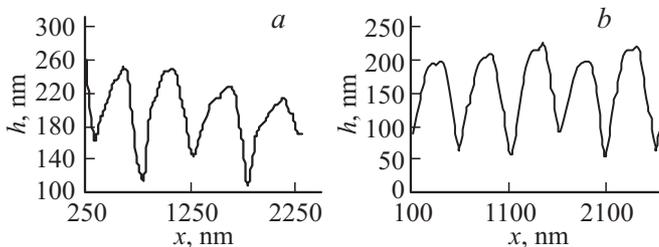
На рис. 3 приведены изображения поверхности наложенных рельефных решеток, которые были получены с помощью АСМ. На рис. 3, b изображена структура, которая была получена при использовании коронного разряда в процессе записи, а на рис. 3, a без него.

На рис. 4 представлен профиль исследуемых наложенных решеток, полученный с помощью АСМ. Как видно из рисунка, рельеф структуры, полученной с использованием поля коронного разряда, является более однородным. Среднее значение глубины модуляции такой структуры равнялось примерно 150 nm, и было в 1.2 раза больше, чем для структур, полученных без применения коронного разряда.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что использование коронного разряда приводит к увеличению голографической чувствительности структур Ni-As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> и к относительному увеличению дифракционной эффективности записанных голографических дифракционных решеток. Рельефные дифракционные решетки, сформированные с помощью химического травления дифракционных решеток, записанных в присутствии коронного заряда, отличаются лучшей однород-



**Рис. 3.** Топография протравленной поверхности скрещенных голографических решеток. Регистрация ГДР осуществлялась: *a* — без коронного разряда, *b* — в поле коронного разряда ( $U = 7.5 \text{ kV}$ ).



**Рис. 4.** Форма профиля протравленной поверхности скрещенных голографических решеток. Регистрация ГДР осуществлялась: *a* — без коронного разряда, *b* — в поле коронного разряда ( $U = 7.5 \text{ kV}$ ).

ностью и более высокой глубиной модуляции толщины поверхностного рельефа.

Качественное объяснение наблюдаемых явлений может быть дано, учитывая следующие факты:

- 1) темп генерации неравновесных носителей повышается благодаря эффекту Франца-Келдыша [9];
- 2) повышением значения квантового выхода при высоких полях [10];
- 3) уменьшение диффузионного размытия неравновесных носителей, обусловленного наличием поперечного (нормального к поверхности ХСП) электрического поля.

## Выводы

1. Установлено, что при регистрации голографических решеток в поле коронного разряда на тонкослойных структурах металл-халькогенидный стеклообразный полупроводник происходит увеличение голографической чувствительности и дифракционной эффективности в несколько раз.

2. Показано, что селективное химическое травление наложенных голографических дифракционных решеток, записанных в поле коронного разряда, приводит к увеличению однородности и глубины модуляции толщины поверхностного рельефа.

3. Проведенные экспериментальные исследования позволяют утверждать, что предлагаемый способ записи оптической информации с использованием коронного разряда в структуре металл-ХСП может оказаться продуктивным при изготовлении сложных рельефных дифракционных оптических элементов, например, фотонных кристаллов.

## Список литературы

- [1] Сейсян Р.П. // ЖТФ. 2011. Т. 81. Вып. 8. С. 1–14.
- [2] Венгер Е.Ф., Мельничук А.В., Стронский А.В. Фотостимулированные процессы в халькогенидных стеклообразных полупроводниках и их практическое применение. Киев: Академперіодика, 2007. 283 с.
- [3] Florinel Sava, Mihai Popescu, Adam Lörinczi, Alin Velea // Phys. Status Sol. B. 2013. Vol. 250. N 5. P. 999–1003.
- [4] Palumbo V., Kovalskiy A., Jain H., Huey B.D. // Nanotechnology. 2013. Vol. 24. N 12. P. 125706-1-7.
- [5] Даныко В.А., Индутный И.З., Минько В.И., Шепелявый П.Е., Березнева О.В., Литвин О.С. // Физика и техника полупроводников. 2012. Т. 46. Вып. 4. С. 520–524.
- [6] Настас А.М., Андриеш В.В., Бивол А.М., Присакар Г.М., Тридох Г.М. // ПЖТФ. 2006. Т. 32. Вып. 1. С. 89–94.
- [7] Настас А.М., Андриеш А.М., Бивол В.В., Присакар А.М., Тридох Г.М. // ЖТФ. 2009. Т. 79. Вып. 2. С. 139–142.
- [8] Андриеш А.М., Бивол В.В., Буздуган А.И., Иову М.С., Панасюк Л.М., Фулга В.И., Тридох Г.М., Циуляну Д.И., Шуттов С.Д. Стеклообразные полупроводники в фотоэлектрических системах записи оптической информации Кишинев: Штиинца, 1988. С. 12–64.
- [9] Bodurov I., Yovcheva T., Vlaeva I., Viraneva A., Todorov R., Spassov G., Sainov S. // J. Phys. Conf. Series. 2012. Vol. 398. P. 012053.
- [10] Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М.: Мир, 1982. Т. 2. 658 с.