

09

Исследование влияния коронного разряда на запись голографических дифракционных решеток в структуре $\text{Cu-As}_2\text{S}_3$

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

Институт прикладной физики Академии наук Молдовы
MD-2028, Молдова, Кишинев
E-mail: nastas_a@usm.md; nastas_am@rambler.ru

Поступило в Редакцию 23 декабря 2013 г.

Обнаружен эффект усиления процесса оптической записи во всем видимом диапазоне электромагнитного излучения в структуре $\text{Cu-As}_2\text{S}_3$ с одновременным ее экспонированием и зарядкой в поле отрицательного коронного разряда по сравнению с обычной прямой записью в этой структуре. Показано, что использование отрицательного коронного разряда при записи в этих структурах позволяет увеличить в несколько раз как их голографическую чувствительность, так и дифракционную эффективность записанных голографических дифракционных решеток по сравнению с решетками, полученными при обычной записи. Результаты обсуждаются в рамках известной фотоэлектрической модели.

Процессы регистрации оптической информации в структурах на базе тонких пленок халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) довольно интенсивно исследуются, например, в работах [1–3]. Отмечается их перспективность для использования в качестве высоко разрешающего неорганического фоторезиста в нанолитографии [4]. К их достоинству следует отнести высокое разрешение (вплоть до нескольких нанометров [5]) и возможность трансформации изображения в рельефно-фазовое при травлении. Однако тонкие пленки ($\sim 1 \mu\text{m}$) ХСП обладают относительно невысокой чувствительностью S , а именно 10^1 – 10^{-1} J/cm^2 при фотоструктурных превращениях (ФСР) и 10^{-2} – 10^{-3} J/cm^2 при фотодиффузии металла (ФДМ) в структуре металл–ХСП [5].

В работах [6,7] было показано, что экспонирование структуры $\text{Ni-As}_2\text{S}_3$ с одновременной ее зарядкой в поле коронного разряда позво-

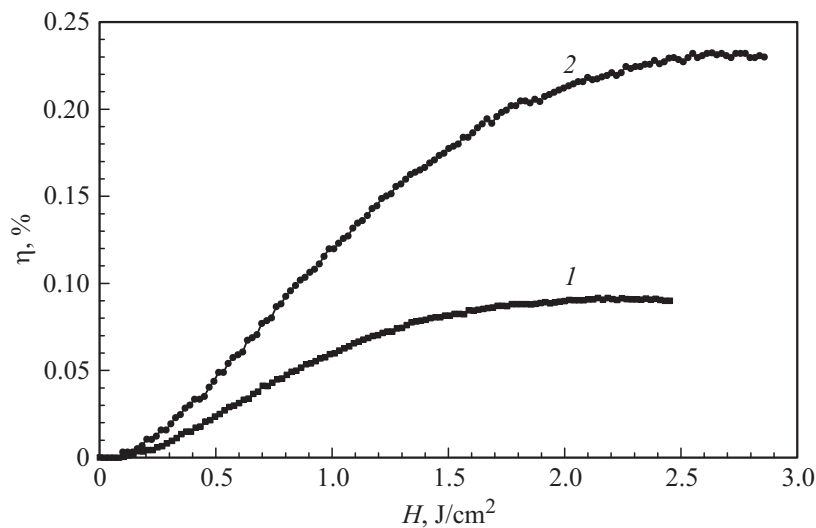
ляет увеличить светочувствительность этой тонкопленочной структуры и повысить дифракционную эффективность η как записанных посредством ФСП, так и протравленных голографических дифракционных решеток (ГДР) по сравнению с ГДР, которые были получены при обычной записи посредством ФСП в тонких пленках ХСП.

Работы, посвященные влиянию коронного разряда на образование ГДР при ФДМ в структуре металл–ХСП (наблюдается аномально высокая скорость диффузии металлов (Ag, Cu и др.) в освещенные места ХСП с последующим образованием продукта взаимодействия металла и ХСП, который практически не растворяется в щелочах) в литературе не отражены. Однако следует выделить работу, в которой исследовалось влияние коронного разряда различной полярности на разрушение записанных до максимальных значений η голографических решеток в структуре Ag–As₂S₃ [8].

Целью данной работы являлось исследование влияния поля отрицательного коронного разряда на запись голографических дифракционных решеток посредством ФДМ в тонкопленочных структурах Cu–As₂S₃.

Для регистрации ГДР использовали тонкопленочные образцы Cu–As₂S₃, полученные методом последовательного термического испарения в вакууме Cu на стеклянную подложку, а затем As₂S₃. Толщина полупроводникового слоя была равна 0.11 и 1 μm , а толщина металлического слоя Cu, который при записи дифракционных решеток в поле отрицательного коронного разряда служил одним из электродов, была равна 40 nm. При такой толщине пленки меди ее коэффициент пропускания был равен 27% при $\lambda = 0.063 \mu\text{m}$.

Оптическая запись ГДР проводилась как в поле коронного разряда, так и без него. В процессе записи осуществлялся мониторинг η . Запись ГДР с периодом $\Lambda = 2 \mu\text{m}$ в структуре Cu–As₂S₃ проводилась на длине волны излучения $\lambda = 0.442 \mu\text{m}$ (He–Cd-лазер), $\lambda = 0.532 \mu\text{m}$ (DPPS-лазер) и $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ (He–Ne-лазер). Экспонирование образцов проводилось со стороны ХСП. Суммарная освещенность в плоскости исследуемых структур была равна $E = 2 \text{ mW/cm}^2$. Измерение дифракционной эффективности η производилось в прошедшем свете при его нормальном падении к поверхности слоя ХСП на длине волны $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ непосредственно в процессе записи. Ее определяли как отношение интенсивности света в первом дифракционном максимуме к интенсивности света, прошедшего через неэкспонированный участок используемого образца. Голографическую чувствительность S мы опре-



Зависимость дифракционной эффективности ГДР в структуре $\text{Cu-As}_2\text{S}_3$ от экспозиции ($\lambda = 0.532 \mu\text{m}$): 1 — при обычной записи, 2 — в поле отрицательного коронного разряда (7 kV).

деляли при $\eta = 0.1\%$ по формуле,

$$S = (\sqrt{\eta})/(HK),$$

предложенной в [9], где $H = Et$ — экспозиция (E — суммарная освещенность, t — время записи), $K = 1$ — видность полос (интенсивность интерферирующих лазерных пучков была одинакова).

На рисунке представлена зависимость η от экспозиции H ГДР в структуре $\text{Cu-As}_2\text{S}_3$ под действием лазерного излучения ($\lambda = 0.532 \mu\text{m}$, $E = 2 \text{ mW/cm}^2$). Запись проводилась в обычных условиях и в электрическом поле коронного разряда. Из рисунка видно, что приложение электрического поля коронного разряда в процессе записи решеток в тонкопленочной структуре $\text{Cu-As}_2\text{S}_3$ оказывает сильное влияние на процесс регистрации. Использование отрицательного коронного разряда (отрицательный потенциал на коронирующем электроде относительно медного слоя) приводит к увеличению S и η (кривая 2) по сравнению с обычной записью (кривая 1). Так, например,

Соотношение голографической чувствительности S_c/S и дифракционной эффективности $(\eta_c/\eta)_{\max}$ ГДР, записанных в структуре Cu–As₂S₃ в коронном разряде и при обычной записи

Структура	Cu–As ₂ S ₃			
	2			
Период ГДР Λ , μm				
Толщина слоя L , μm	1	0.11	0.11	0.11
λ записи, nm	442	442	532	632.8
S_c/S	2.7	4.5	2.8	1.6
$(\eta_c/\eta)_{\max}$	2.6	1.6	2.5	1.6

максимальная η ГДР при проведении процесса экспонирования в поле отрицательного коронного разряда равна 0.23% (кривая 2), без приложения поля 0.09% (кривая 1). Столь невысокие значения η обусловлены использованием тонкого слоя ХСП (0.11 μm). В основном эксперименте наносились тонкие слои As₂S₃ для исключения (по крайней мере для минимизации) вклада в запись ГДР составляющей, за счет ФСП в пленке ХСП.

В таблице приведены отношения голографической чувствительности структуры Cu–As₂S₃ с использованием коронного разряда S_c к S , полученной при обычной записи. Также в таблице приведено отношение максимально достигнутых значений дифракционной эффективности ГДР, образованных при записи в отрицательном коронном разряде η_c к максимально достигнутым значениям η решеток, полученных в результате обычной записи. Как видно из таблицы, использование отрицательного коронного разряда при записи ГДР в структуре Cu–As₂S₃ позволяет увеличить более чем в 2 раза η и S этой структуры по сравнению с обычной записью.

Полученные результаты легко могут быть качественно объяснены в рамках существующей фотоэлектрической модели [5], в которой учитываются процессы, происходящие на фотоактивных границах раздела. Эта модель наиболее хорошо описывает основные феноменологические характеристики явления ФДМ в структурах металл–ХСП. Согласно этой модели скорость процесса фотодиффузии ограничивается скоростью проникновения металла из легированной области ХСП в

нелегированную область ХСП. При освещении светом этой границы происходит разделение электронов и дырок таким образом, что они создают тянущее электрическое поле для ионов металла [5]. Очевидно, что при подключении этой структуры к коронному разряду это тянущее электрическое поле, которое заставляет перемещаться положительные ионы металла из фотолегированного слоя в нелегированный слой ХСП [5,10], будет увеличиваться при отрицательном коронном разряде.

В заключение отметим, что вопросам оптимизации технологии получения структур Cu–ХСП, а также более детальному исследованию процессов записи и последующим процессам травления в структурах Cu–ХСП (при одновременной их зарядке в коронном разряде) будет посвящена одна из следующих наших работ.

Таким образом, обнаружено, что использование отрицательного коронного разряда при регистрации ГДР в тонкослойных структурах Cu–As₂S₃ за счет ФДМ приводит к увеличению голографической чувствительности S этой структуры и увеличению дифракционной эффективности η записанных решеток более чем в 2 раза во всем видимом диапазоне электромагнитного излучения по сравнению с обычной записью.

Разработанный способ записи оптической информации с одновременной зарядкой в коронном разряде, по-видимому, может оказаться полезным и для других высокоомных регистрирующих структур, например на базе фотополимеров или различных структур на базе ХСП.

Список литературы

- [1] Florinel Sava, Mihai Popescu, Adam Lörinczi, Alin Velea // Phys. Status. Solidi. B. 2013. V. 250. N 5. P. 999–1003.
- [2] Regmi A., Ganjoo A., Zhao D., Jain H., Biaggio I. // Appl. Phys. Lett. 2012. V. 101. P. 061911.
- [3] Данько В.А., Индутный И.З., Минько В.И., Шепелявый П.Е., Березнева О.В., Литвин О.С. // ФТП. 2012. Т. 46. В. 4. С. 520–524 [Dan'ko V.A., Indutnyi I.Z., Min'ko V.I., Shepelyavyy P.E., Bereznyova O.V., Lytvyn O.S. // Semiconductors. 2012. V. 46. N 4. P. 504–508].
- [4] Сейсян Р.П. // ЖТФ. 2011. Т. 81. В. 8. С. 1–14 [Seisyan R.P. // Technical Physics. 2011. V. 56. N 8. P. 1061–1073].

- [5] Венгер Е.Ф., Мельничук А.В., Стронский А.В. Фотостимулированные процессы в халькогенидных стеклообразных полупроводниках и их практическое применение. Киев: Академперіодика, 2007. 283 с.
- [6] Настас А.М., Андриеш А.М., Бивол В.В., Присакар А.М., Тридох Г.М. // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. В. 1. С. 89–94 [Nastas A.M., Andriesh A.M., Bivol V.V., Priskakar A.M., Tridukh G.M. // Technical Physics Letters. 2006. V. 32. N 1. P. 45–47].
- [7] Настас А.М., Андриеш А.М., Бивол В.В., Присакар А.М., Тридох Г.М. // ЖТФ. 2009. Т. 79. В. 2. С. 139–142 [Nastas A.M., Andriesh A.M., Bivol V.V., Priskakar A.M., Tridukh G.M. // Technical Physics. 2009. V. 54. N 2. P. 305–308].
- [8] Sainov S., Todorov R., Bodurov I., Temenuzhka Yovcheva // J. Optics. 2013. V. 15. N 10. P. 1–4.
- [9] Кольер Р., Беркхард К., Лин Л. Оптическая голография. М.: Мир, 1973. 686 с.
- [10] Стецун А.И., Дворина Л.А. // ФТП. 2011. Т. 45. В. 10. С. 1341–1347 [Stetsun A.I., Dvorina L.A. // Semiconductors. 2011. V. 45. N 10. P. 1291–1296].