

# ВПЛИВ УТВОРЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО РЕЛЬЄФУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГОЛОГРАФІЧНОГО ЗАПISУ

В.Ю.Пальок, Й.М.Дорогович, М.М.Мальованик

Ужгородський державний університет, кафедра т.т.е. e-mail: [laci@univ.uzhgorod.ua](mailto:laci@univ.uzhgorod.ua)

В ході дослідження характеристик голографічного запису в багатошарових наноструктурах на основі халкогенідних склоподібних напівпровідників a-Se/As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> було показано, що на ефективність запису істотно впливає утворення поверхневого рельєфу. Рельєф утворюється під час самого процесу запису, тому немає необхідності проводити хімічне травлення. Приведемо можливі шляхи покращення ефективності голографічного запису на даних структурах.

## Вступ

Можливість оптичного запису інформації в халкогенідних плівках зумовлена зміною оптичних параметрів матеріалу (показника заломлення та положення краю поглинання) під дією лазерного випромінювання [1-3].

Принцип голографічного запису оснований на експозиції світлочутливого матеріалу інтерференційною картиною, створеною предметним і опорним променями. Можливі два типи модуляції зчитуючого променя світла: зміна амплітуди хвилі або її фази. Відповідно, голограми поділяють на амплітудні і фазові. Зміна показника заломлення і коефіцієнта поглинання взаємозв'язані, тому, в принципі, всі голограми, крім тонких фазових з поверхневим рельєфом, являються змішаними - амплітудно-фазовими. Але на практиці цей взаємозв'язок досить слабкий, тому часто зміни, які виникли під впливом світла, одного з параметрів ( $n$  або  $\alpha$ ) домінують над змінами іншого [4].

В плівках ХСН під впливом лазерного освітлення, крім зміни коефіцієнту поглинання (амплітудний запис) і показника заломлення, можливе виникнення поверхневого рельєфу, що вносить вклад у механізм фазового запису [5]. Умови виникнення поверхневого

рельєфу при голографічному запису в плівках ХСН і особливо в наноструктурованих шарах цих матеріалів ще не досліджені. В той же час, композиційна модуляція світлочутливого шару може привести до суттєвих змін параметрів запису, підвищення його ефективності. Тому в даній роботі проводиться дослідження голографічного запису на нан шаруватих структурах As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/a-Se.

## Методика та об'єкти досліджень

Досліджувалися періодичні багатошарові наноструктури (БШН), що містять почергові шари a-Se/As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> товщиною від 5 до 20 нм і загальною товщиною від 0.5 до 3.5 мкм. Зразки БШН були отримані термічним напиленням вихідних стекол на підкладки з скла Corning 7059. Періодичність структур контролювалася методом Малокутової Рентгєнівської Дифракції (МКРД). Шорсткість поверхні досліджувалася методом Атомно-Силової Мікроскопії (АСМ). Ці дослідження показали, що шорсткість поверхні отриманих зразків не перевищує 0.8 нм, а перехідні шари мають приблизно такі ж товщини.

Голографічний запис ґратки з періодом  $L=1$  мкм проводився по безлінзовій схемі Фур'є за допомогою He-Ne лазера ( $\lambda=0.63$  мкм з вихідною

потужністю  $P=0.8 \text{ Вт/см}^2$ ) у звичайній атмосфері. Досліджувалася ефективність голографічного запису в режимі відбивання.

#### Результати досліджень та їх аналіз

Порівняємо ефективність різних типів плоских голограм.

#### Амплітудний запис

Для синусоїдальної дифракційної решітки (тонка голограма, амплітудне пропускання змінюється по закону  $t(x)=t_0+t_1\cos(2\pi x/d)$ ) дифракційна ефективність пропорційна  $t_1^2$  і при 100%-ній модуляції ( $t_1=t_0=1/2$ ) досягає свого максимального значення: 6.25 %.

$$\eta = \frac{t_0^2 m^2}{4}, \quad (1)$$

де  $m$  - коефіцієнт модуляції амплітудного пропускання  $m=t_1/t_0$ . [2]

Для плівки товщиною  $d=1\text{мкм}$ , у якій під впливом світла коефіцієнт пропускання  $T$  змінюється від 65% до 75% (відповідно  $t$  змінюється від 0.81 до 0.87) дістаємо відповідно до формули (1)  $\eta=0.023\%$ . Отже, ця компонента запису в наших зразках дуже мала.

#### Фазовий запис

Зміна фази відновленої електромагнітної хвилі може бути викликана двома факторами: 1) при запису змінюється показник заломлення; 2) виникає рельєфна дифракційна ґратка.

Дифракційна ефективність тонкої фазової голограми описується залежністю:

$$\eta = k^2 J_1^2(\phi), \quad (2)$$

де  $k$  - амплітудний коефіцієнт відбивання або пропускання,  $J_1$  - функція Бесселя першого роду першого порядку,  $\phi$  - зміна фази.

Для рельєфної дифракційної решітки зміна фази рівна:

$\phi_r = (4\pi/\lambda)\Delta$  - для відбиваючої голограми,

$\phi_t = [2\pi(n-1)/\lambda]\Delta$  - для пропускаючої голограми [4].

Для тонкої пропускаючої голограми, в якій змінюється показник заломлення, дифракційна ефективність рівна:

$$\eta = k^2 J_1^2\left(\frac{2\pi n_A d}{\lambda \cos\theta}\right), \quad (3)$$

де показник заломлення змінюється по закону:  $n(x) = n_0 + n_A \cos(2\pi x/d)$ . Для плівки товщиною  $d=1\text{мкм}$ ,  $\lambda=0.63 \text{ мкм}$ ,  $n=2.5$ ,  $\Delta n=0.04$ ,  $\theta=18.4^\circ$  ( $n_0=2.52$ ,  $n_A=0.02$ ) дифракційна ефективність рівна 1.1% (при 100%-ному пропусканні).

Для відбиваючої голограми зміна  $n$  приводить до зміни коефіцієнта відбивання. Дифракційна ефективність в такому випадку рівна:

$$\eta = \frac{1}{16} \left( \sqrt{R_{\max}} - \sqrt{R_{\min}} \right)^2, \quad (4)$$

де  $R$  - коефіцієнт відбивання [6]. Для голограми з наведеними вище параметрами  $\eta=0.0025\%$ . Це значення дифракційної ефективності набагато менше, ніж ми можемо отримати у випадку голограми з поверхневим рельєфом.

На рис. 1 приведено залежність  $\eta$  від висоти рельєфу за формулою (2), при цьому, враховано реальне значення  $R=17\%$ . З малюнку видно, що дифракційна ефективність досягає свого максимуму при глибині рельєфу приблизно 90 нм.

Звичайно такий рельєф досягався шляхом селективного хімічного травлення експонованих голограм. В досліджувані зразках БШН на основі  $a\text{-Se/As}_2$ , поверхневий рельєф виникає безпосередньо при записі голограми, без травлення. Про це, крім порівняно високих значень дифракційної ефективності (див. значення  $\eta$ , отримане за формулою (4) у порівнянні з експериментально отриманими - рис. 2) свідчать і знімки поверхні голограм, отриманих методом АСМ (рис. 3).

Видно, що експериментально отримані значення менші за теоретично

розраховані (рис. 1 та 2). Причиною цього є ряд факторів. Приведені вище формули розраховані на синусоїдальні дифракційні решітки, тобто на синусоїдальну зміну висоти рельєфу. Але внаслідок певної нелінійності реакції матеріалу на освітлення виникають відхилення від синусоїдальної картини. Для досягнення

максимальної ефективності необхідно, щоб реакція світлочутливого матеріалу на освітлення була лінійною (в ідеальному випадку висота рельєфу повинна лінійно залежати від експозиції). Суттєво зменшує ефективність запису розсіяння світла внаслідок нерівномірності, шорсткості поверхні.

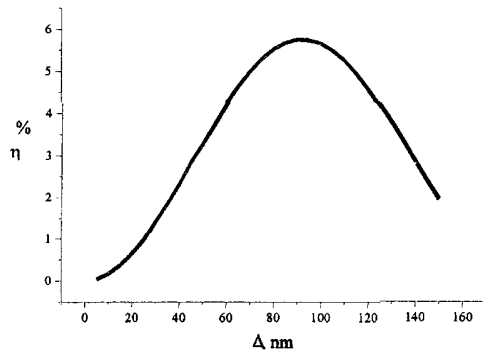


Рис.1. Теоретична залежність дифракційної ефективності від глибини поверхневого рельєфу.

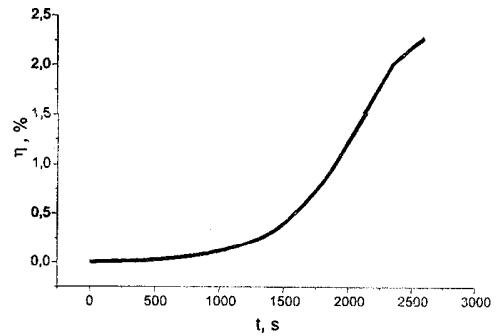


Рис.2. Експериментальна залежність дифракційної ефективності від часу експозиції

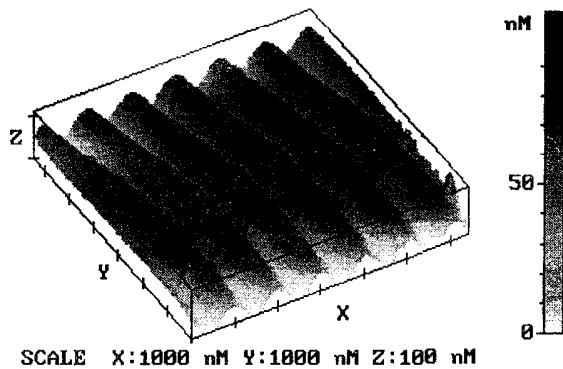


Рис.3. Знімок поверхневого рельєфу голограми, отриманий за допомогою атомно-силового мікроскопа

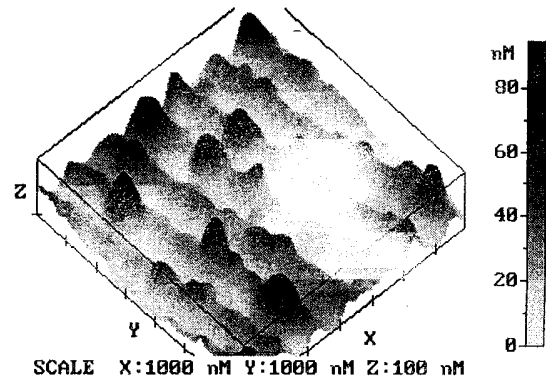


Рис.4. Поверхня голограми після нанесення алюмінієвого покриття

Можливими шляхами збільшення ефективності голографічного запису на даних структурах є вдосконалення технології отримання структур (покращення поверхні зразків приведе до зменшення втрат на розсіювання) та збільшення відбивання поверхні структур. Найпростішим методом збільшення коефіцієнту відбивання поверхні зразка є напилення шару металу, наприклад

алюмінію. Шляхом напилення на голограму алюмінію вдалося збільшити ефективність більше ніж у два рази, хоча коефіцієнт відбивання поверхні збільшився майже в чотири рази. Причина непропорційної зміни  $\eta$  у збільшенні втрат внаслідок розсіяння - якість поверхні погіршилася (рис. 4). Наявність у даній структурі шарів з різними показниками заломлення веде до зміни

коефіцієнту відбивання структури внаслідок інтерференції світла відбитого від різних субшарів. Але для даних товщин субшарів суттєві зміни  $R$  мають місце в УФ-області спектру, а на довжині хвилі, на якій проводилися виміри, ці зміни  $R$  менші за 1 %, тому вони суттєво не впливають на параметри голограм.

#### Висновки

Дослідження характеристик голографічного запису в багатшарових наноструктурах на основі ХСН  $a\text{-Se/As}_2\text{S}_3$  показали, що на ефективність запису істотно впливає утворення поверхневого рельєфу. Покращення ефективності отриманих голограм можливе за рахунок

покращення якості поверхні зразків та нанесення покриття з високим коефіцієнтом відбивання. Суттєвою перевагою досліджуваних структур є те, що поверхневий рельєф утворюється під час самого запису, в наслідок чого відпадає необхідність у хімічному травленні голограм.

Автори вдячні науковому керівнику професору Кикинеші О.О. та ст.н.с. Шипляку М.М., а також доценту Дебреценського університету ім. Л. Кошута Іштвану Сабо за отримання знімків на АСМ.

1. Ке. Tanaka: In Reviews of Solid State Science, V. 4, 641 (1990).
2. К. Шварц: Физика оптической записи в диэлектриках и полупроводниках, Зинатне, Рига (1986) 286 с.
3. А. Kikineshi: Optical Memory and Networks V 4, 177 (1995)
4. J.C. Urbach, R.W. Meier: Appl. Optics V. 8, N. 11, (1969) p. 2269.
5. С.Н. Dietrich: In Physics and Application of Non-Crystalline Semiconductors in Optoelectronics, 93-108 (1997) p.93.
6. W.R. Roach: Appl. Phys. Lett. V. 19, N 11 (1971) p. 453.

## INFLUENCE OF SURFACE RELIEF FORMATION ON HOLOGRAPHIC RECORDING EFFICIENCY

**V.Yu. Palyok, J.M.Dorogovich, M.M. Malyovanik**

Uzhgorod State University, 294000, Uzhgorod, Voloshin st., 54

Holographic recording characteristics in  $a\text{-Se/As}_2\text{S}_3$  - type nanostructures were investigated. It was shown that formation of surface relief has essential influence on recording efficiency. The is forming during the recording process. Therefore it is not necessary to perform chemical etching. Possible ways of holographic recording efficiency improvement on these structures were presented.