

УДК 53.03, 537.533.9

PACS: 85.40.Nr, 78.66.Jg

DOI: 10.24144/2415-8038.2017.42.8-13

Б.Біланич¹, О.Шиленко², В.Команіцкій², В.Біланич¹, О.Фегер², В.Різак¹

¹Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54

²Faculty of Science, Safarik University, Kosice 04001, Slovakia

e-mail: bvbilanych@gmail.com

ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ НА ПЛІВЦІ As_4Se_96 МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ЛІТОГРАФІЇ

Досліджені особливості взаємодії електронного променя з халькогенідними плівками As_4Se_96 . Вказано на існування точки інверсії електронно індукованого поверхневого рельєфу. На плівці As_4Se_96 реалізовано процес виготовлення оригіналу захисного елемента згідно зображення логотипу методом сухої електронної літографії.

Ключові слова: електронна літографія, халькогенідні плівки, захисний елемент.

Вступ

Одним із способів технічного захисту інформації є використання спеціальних захисних елементів, які наносяться безпосередньо на носій інформації. Вказана задача може бути реалізована різними літографічними методами [1]. В останній час інтенсивно розвивається, метод електронної літографії, заснований на нетермічній взаємодії прискорених електронів з електронним резистом.

Здебільшого в якості електронних резистів використовуються полімери – ПММА, полістирол та інші [2]. Однак, дослідження впливу електронного опромінення на халькогенідні плівки показали наявність модифікації їх поверхні електронним променем [3-5]. Це показало на можливість реалізації одноступеневої сухої (без хімічного травлення) електронної літографії для виготовлення майстер-голограм на халькогенідних плівках.

Метою даної роботи було дослідження впливу електронного променя на формування поверхневого рельєфу в аморфній плівці As_4Se_96 та оцінка ефективності її використання для виготовлення зображення захисного елемента методом сухої електронної літографії.

Методика експерименту

Для вимірювань були використані плівки As_4Se_96 товщиною 3 μm . Плівки були отримані термічним випаровуванням у вакуумі скляних заготовок тієї ж композиції на сапфірові підкладки. Плівки опромінювали променем скануючого електронного мікроскопу Tescan, модель VEGA. При локальному опромінуванні прискорююча напруга $U = 30$ кВ, діаметр пучка $B = 640$ нм, струм пучка електронів $I = 60$ нА. Час експозиції t змінювали від 0,5 мс до 5 с. Час експозиції визначав дозу опромінення G : $G = I \times t / S$, де S – площа поперечного перерізу сфокусованого на поверхню плівки електронного променя. Кінцева формула для розрахунку дози G в даному експерименті має вигляд: $G = 18,6 \times 10^6 \times t$, (мкКл/см²), де t вимірюється в секундах.

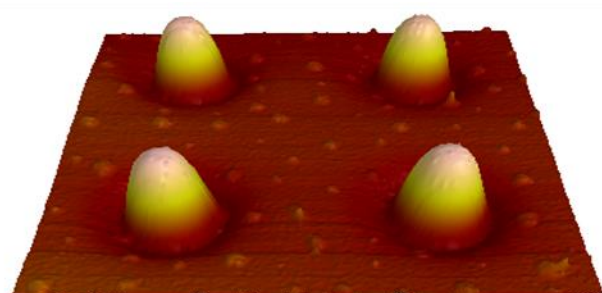
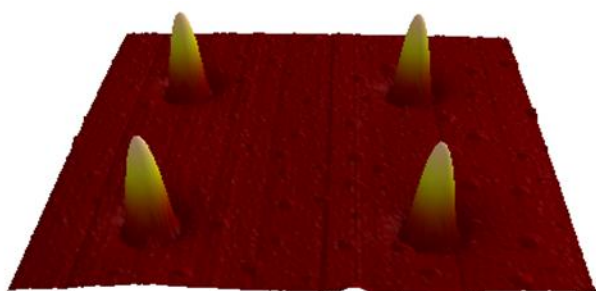
Рельєф структури поверхні плівки був вивчений з використанням атомно-силового мікроскопа (АСМ) Bruker, модель ICON.

Результати та їх обговорення

Плівки As_4Se_96 були точково опромінені протягом різних часів експозиції, які визначали різні дози в інтервалі від $9,3 \times 10^2$ до $9,3 \times 10^6$ мкКл/см². Для кожної окремої дози G на поверхні

плівки формували матрицю (20x20) точково опромінених областей. Відстань d між центрами таких областей уздовж ліній руху променя і між ними становила 10 μm .

На рис.1, 2 показані скани опромінених областей плівок As_4Se_96 і профілі індукованого електронним променем поверхневого рельєфу. Як видно з рисунка у даному дозовому інтервалі на



опромінений області формується поверхневий рельєф у вигляді конуса з профілем гаусового типу. Максимальна висота рельєфу (330 нм) спостерігається при дозі 18.6×10^2 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, яка досягається при опроміненні протягом $t=0.1$ мс. При даній дозі опромінення плівка As_4Se_96 може бути використана у якості негативного електронного резиста.

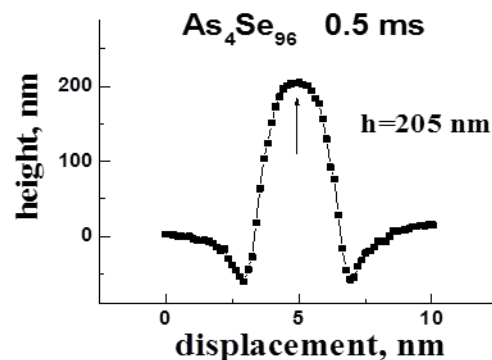
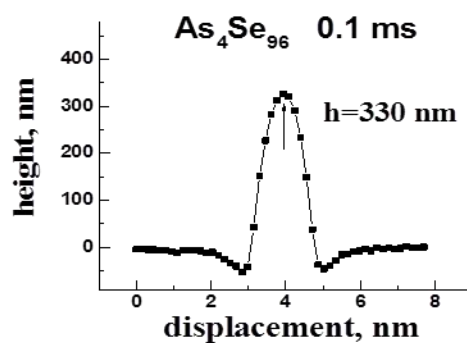


Рис.1. АСМ-зображення та профілі поверхневого рельєфу, індукованого електронним променем на поверхні плівки As_4Se_96 , які формуються в області доз 9.3×10^2 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ - 9.3×10^3 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$.

Зростання дози опромінення понад 9.3×10^4 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ($t > 5$ мс) приводить до інверсії форми електронно індукованого рельєфу. В області доз 9.3×10^4 до 9.3×10^6 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ при електронному опроміненні на поверхні плівки утворюються кратери з профілем гаусового типу. При дозі опромінення 9.3×10^6 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ($t=0.5$ с) глибина рельєфу становить близько 1.5 μm . У вказаному інтервалі доз плівка As_4Se_96 може бути використана у якості позитивного електронного резисту.

Як було показано в [5], процес формування поверхневого рельєфу в халькогенідних плівках визначається як параметрами електронного променя так і товщиною та електрофізичними властивостями плівки.

Механізм формування такого рельєфу може бути пояснений формуванням у плівці області просторового заряду при опроміненні електронним променем. Проникнення первинних електронів у плівку призводить до накопичення заряду всередині плівки, на її поверхні, а також випромінювання електронів з плівки назад у вакуум [6].

Потік випромінених з плівки електронів складається з вторинних і відбитих електронів. Від'ємний заряд, утворений у зразку, можна визначити як $Q = (1-\eta)I_0t$, де η - коефіцієнт відбитих електронів, I_0 - струм первинного електронного пучка, t - час експозиції. Товщина області від'ємного заряду дорівнює глибині проникнення падаючих

електронів у плівку. За рахунок емісії вторинних електронів з приповерхневих шарів плівки назад в вакуум утворюється відносно тонкий ($l \approx 3\lambda$, λ -довжина вільного пробігу електрона) приповерхневий шар позитивного заряду $Q_+ = \delta I_0 t$, де δ - коефіцієнт вторинних електронів [6]. Тобто при електронному опроміненні всередині і на поверхні плівки відбувається акумуляція заряду. Ці два шари зарядів (Q_- і Q_+) утворюють область просторового заряду в якій утворюється електричне поле в області взаємодії плівки

і електронного променя. Внаслідок цього на поверхні плівки виникає потенціал V_s , величина і знак якого залежать від сумарного заряду $\Delta Q = |Q_- - Q_+|$ [7]:

$$V_s = \frac{\Delta Q h}{\epsilon_0 \epsilon_r S} + \frac{(Q_+ l + Q_- R)}{2 \epsilon_0 \epsilon_r S}$$

де S площа опроміненої області, h товщина плівки, ϵ_0 і ϵ_r діелектрична постійна вакууму і матеріалу відповідно.

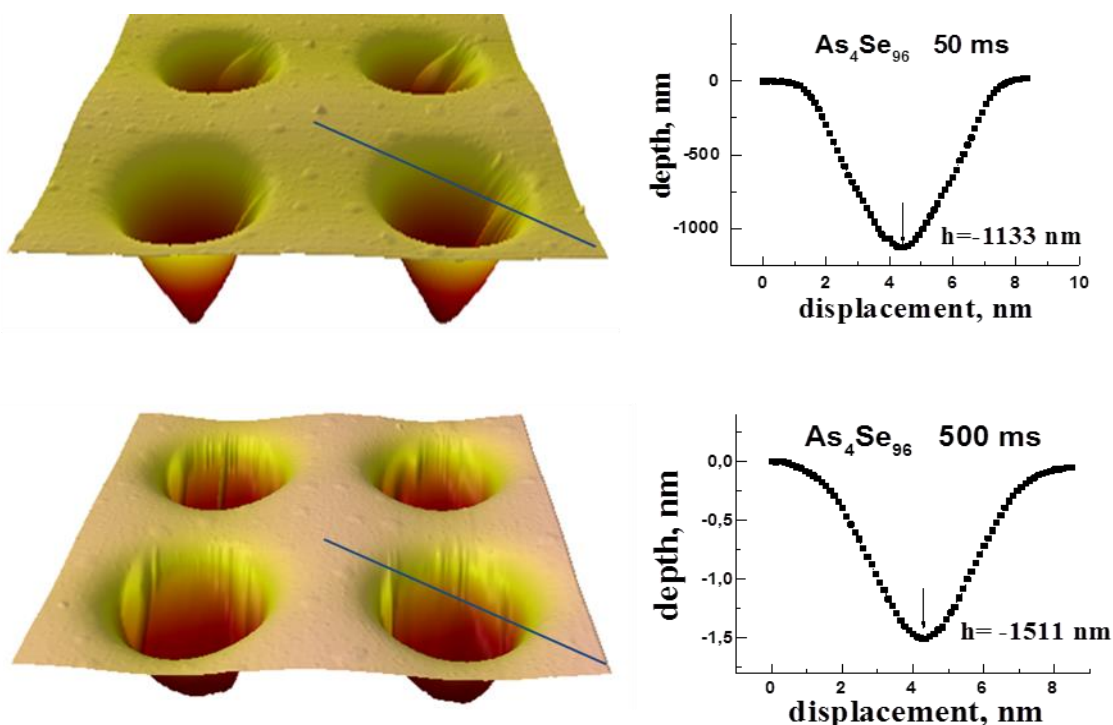


Рис.2. АСМ-зображення та профілі поверхневого рельєфу, індукованого електронним променем на поверхні плівки As_4Se_{96} , які формуються в області доз 9.3×10^4 мкКл/см² - 9.3×10^6 мкКл/см².

У залежності від величини цього потенціалу, а також співвідношення між величинами Q_- і Q_+ внаслідок електростатичної взаємодії відбувається розширення або стиснення опроміненої області і, як наслідок, виникнення поверхневого рельєфу різної форми. Виходячи з отриманих результатів було виготовлене індивідуальне зображення логотипу кафедри ТЕІБ (рис.3) на плівці As_4Se_{96} методом однопроменевої електронної літографії. Дана задача була реалізована з допомогою скануючого електронного мікроскопа TESCAN, укомплектованого програмним пакетом

EBL (Electron Beam Lithography) для створення літографічних шаблонів у векторному або растровому вигляді.

Файл із зображенням логотипу був створений з допомогою програми SolidWorks (рис.3.а) і потім сконвертований у потрібний для EBL формат *.dxf (рис.3.б). На початку були задані параметри електронного пучка, які використовувалися для локальної модифікації поверхні плівки, а саме: прискорююча напруга $U = 30$ кВ, діаметр пучка $B = 640$ нм, струм пучка електронів $I = 60$ нА. Час експозиції 5 мс на точку. Після здійснення опромінення плівка була

перенесена на атомно-силовий мікроскоп у якому було оглянуто зображення (рис.3.в).

З рис. 3.в видно, що зображення є дуже нечітке, а деякі елементи є занадто сильно опромінені і тому плівка локально зруйнована. Такий результат означає, що одні і ті ж параметри пучка неможна використовувати для створення всіх елементів зображення. Тому, в подальшому була використана технологія In-Flight Beam Tracing, яка дозволяє відстежувати

параметри електронного променя в реальному часі. Ця технологія дозволяє змінювати час експонування від пікселя до пікселя в реальному режимі.

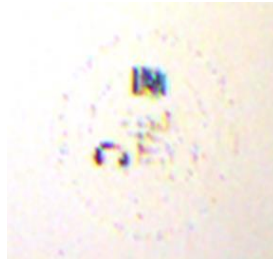
Тому, був проведений аналіз щільності елементів зображення, врахований елемент близькості елементів і були підібрані різні параметри електронного пучка для виготовлення різних елементів зображення:



а.



б.



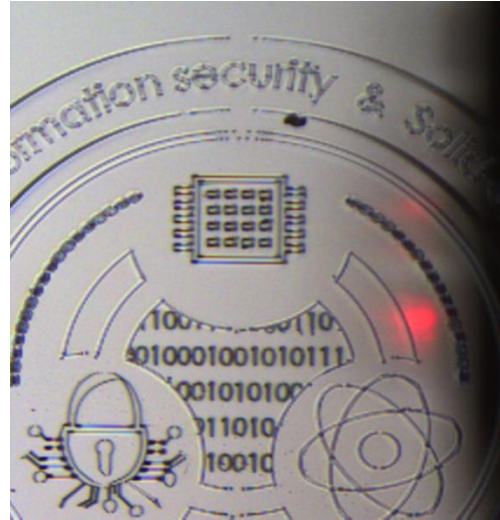
в.



г.



д.



е.

Рис.3. Емблема кафедри твердотільної електроніки та інформаційної безпеки: *а.* виготовлена у програмі SolidWorks; *б.* фронтальний вид емблеми; *в.* початковий вид емблеми в ACM на плівці As_4Se_96 ; *г, д* вид емблеми у відео камері ACM при різних параметрах електронного променя для окремих елементів; *е.* вид емблеми в ACM на плівці As_4Se_96 при оптимізованих параметрах електронного променя.

прискорююча напруга $U = 30$ кВ, діаметр пучка $B = 640$ нм, струм пучка електронів змінювали від 5 нА до 60 нА, час експозиції змінювали від 0,5 мс до 10 мс на точку. З рис. 3г.д. видно, що при роздільному опроміненні окремих елементів якість емблеми помітно зростає. Подальше покращення якості зображення було пов'язане з коректуванням параметрів електронного променя, особливо часу експозиції. Після оптимізації параметрів літографічного процесу, певної кількості

спроб запису зображення на плівку на електронному мікроскопі та його огляді в атомно-силовому мікроскопі було отримане зображення емблеми прийнятної якості на плівці As_4Se_96 (рис.3е.). З рис. 3е видно, що досить чітко видно всі лінії та інші елементи зображення, хоча в деяких місцях зображення спостерігаються також дефекти, не пов'язані з якістю поверхні плівки. Для визначення вертикальних розмірів поверхневого рельєфу утворене зображення було розглянуте в

інтерференційному мікроскопі МІІ-4. Висота поверхневого рельєфу, який утворює лінію, становить близько 270 нм.

Очевидно, що для покращення технологічного процесу виготовлення зображення потрібно детально аналізувати щільність елементів зображення і відповідно підібрати параметри електронного променя.

Висновки

Досліджена та проаналізована взаємодія халькогенідних плівок As_4Se_96 з електронним променем. Встановлена наявність точки інверсії форми рельєфу

поверхні плівки, яка вказує на можливість використання даних матеріалів у якості як позитивних так і негативних електронних резистів. Реалізовано процес виготовлення майстер-оригіналу захисного елемента методом одноступеневої (сухої) однопроменевої електронної літографії з використанням халькогенідної плівки As_4Se_96 у якості електронного резиста. Отримано захисний елемент хорошої якості при електронно-літографічному процесі з різними параметрами електронного променя при записі окремих складових елементів зображення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tseng A.A., Chen K., Chen C.D., Ma K.J. Electron beam lithography in nanoscale fabrication: recent development. //Ieee Transaction on Electronics Packaging Manufacturing–2003.–V.26.–№2.–P.141-149.
2. Thompson L.F., Kerwin R.E. Polymer Resist Systems for Photolithography and Electron Lithography. //Annual Review of Materials Science –1976. – V.6. – P.267-301.
3. Tanaka K. Electron beam induced reliefs in chalcogenide glasses. //J. Appl. Phys. – 1997.– V.70. – P.261-263.
4. Bilanych V., Komanicky V., Lacková M., Feher A., Kuzma V., Rizak V. Fabrication of meso- and nano-scale structures on surfaces of chalcogenide semiconductors by surface hydrodynamic interference patterning. //Mater. Res. Express. – 2015. – V.2– P.105201.1.–105201.8.
5. Bilanych V., Komanicky V., Kozejova M., Feher A., Kovalcikova A., Lofaj F., Kuzma V., Rizak V. Surface patterning of Ge-As-Se thin films by electric charge accumulation, //Thin Solid Films –2016.– V.616.–P. 86–94.
6. Cazaux J. e-Induced Secondary Electron Emission Yield of Insulators and Charging Effects. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. – 2006. – V.B244. – P. 307-322.
7. Evstaf'eva E.N., Rau E.I., Mileev V.N., Novikov L.S., Ditsman S.A., Sennov R.A. Analysis of mechanisms of dielectric target charging under the effect of electron irradiation. //Inorg. Mater. Appl. Res. – 2011. – V.2. – P. 106–113.

Стаття надійшла до редакції 29.10.2017.

Б.Биланич¹, О.Шиленко², В.Команицкий², В.Биланич¹, О.Фегер², В.Ризак¹

¹Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Волошина, 54

²Faculty of Science, Safarik University, Kosice 04001, Slovakia

e-mail: bvbilanych@gmail.com

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ПЛЕНКЕ As_4Se_96 МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ЛИТОГРАФИИ

Исследованы особенности взаимодействия электронного луча с халькогенидными пленками As_4Se_96 . Обнаружена инверсия формы электронно-индуцированного рельефа. На пленке As_4Se_96 реализован процесс изготовления

оригинала защитного элемента согласно изображения логотипа методом сухой электронной литографии.

Ключевые слова: электронная литография, халькогенидные пленки, защитный элемент.

PACS: 85.40.Hp, 78.66.Jg

DOI: 10.24144/2415-8038.2017.42.8-13

B.Bilanych¹, O.Shylenko², V.Komanicky², V.Bilanych¹, A.Feher², V.Rizak¹

¹Uzhgorod National University, Uzhgorod, 88000, Ukraine, Voloshina str. 54

²Faculty of Science, Safarik University, Kosice 04001, Slovakia

e-mail: bvbilanych@gmail.com

FABRICATION OF INFORMATION PROTECTION ELEMENTS ON THE FILM As_4Se_6 BY ELECTRON-BEAM LITHOGRAPHY METHOD

Purpose. The objective of this work was to study mechanisms of interaction of electron beam with the amorphous As_4Se_6 film and fabrication of a protective element image by dry electron lithography method.

Methods. The films were irradiated by an electron beam using a scanning electron microscope (Tescan, model VEGA). The film surface structure relief was studied by atomic force microscope (Bruker, model ICON).

Results. The interaction As_4Se_6 chalcogenide films with an electron beam have been investigated. It is established irradiation dose at which the surface relief shape inversion occurs, i.e. expansion at low irradiation doses and contraction at high doses.

Conclusions. The process of fabrication the master-original of the protective element by one-stage (dry) single-beam electronic lithography method with use of the As_4Se_6 chalcogenide film as an electronic resist have been realized.

Keywords: electron beam lithography, chalcogenide thin films, protective element.

REFERENCES

1. Tseng A.A., Chen K., Chen C.D., Ma K.J. (2003) "Electron beam lithography in nanoscale fabrication: recent development." *Ieee Transaction on Electronics Packaging Manufacturing*, 26 (2) p.141-149.
2. Thompson L.F., Kerwin R.E. (1976) "Polymer Resist Systems for Photolithography and Electron Lithography." *Annual Review of Materials Science* 6 p.267-301.
3. Tanaka K. (1997) "Electron beam induced reliefs in chalcogenide glasses." *J. Appl. Phys.* 70 (2) p.261-263.
4. Bilanych V., Komanicky V., Lacková M., Feher A., Kuzma V., Rizak V. (2015) "Fabrication of meso- and nano-scale structures on surfaces of chalcogenide semiconductors by surface hydrodynamic interference patterning." *Mater. Res. Express* 2 (10) p.105201.1.–105201.8.
5. Bilanych V., Komanicky V., Kozejova M., Feher A., Kovalcikova A., Lofaj F., Kuzma V., Rizak V. (2016) "Surface patterning of Ge-As-Se thin films by electric charge accumulation." *Thin Solid Films* 616 (1) p. 86–94.
6. Cazaux J. (2006) "e-Induced Secondary Electron Emission Yield of Insulators and Charging Effects." *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B* 244 (2) p. 307-322.
7. Evstaf'eva E.N., Rau E.I., Mileev V.N., Novikov L.S., Ditsman S.A., Sennov R.A. (2011) "Analysis of mechanisms of dielectric target charging under the effect of electron irradiation." *Inorg. Mater. Appl. Res.* 2 (1) p. 106–113.