

[0000-0001-9473-2285] С. М. Мащеп¹,

e-mail: s.matsepa@chdtu.edu.ua

[0000-0002-6708-040X] Г. В. Канашевич¹, д-р техн. наук, професор,

[0000-0002-7670-0375] Ю. І. Коваленко¹, канд. техн. наук,

[0000-0002-6843-4345] Р. В. Цинда²,

[0000-0002-7547-5081] І. С. Жайворонок¹

¹ Черкаський державний технологічний університет МОН України
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

² Черкаський науково-дослідний експертно-криміналістичний Центр МВС України
вул. Пастерівська, 104, м. Черкаси, 18009, Україна

ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ОПТИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ МІКРООБРОБКИ

В роботі наведено результати електронно-променевої мікрообробки оптичних поверхонь елементної бази інформаційних систем, що доводять покращення їх якісних характеристик (зменшення мікрошорсткості та мікронапруження у поверхневому шарі матеріалу, структурної та хімічної стабілізації у дефектному і тріщиноподібному шарах, керована зміна адгезійними властивостями поверхні матеріалу тощо). Розглянуто структурні та хімічні перетворення, які виникають на поверхні та у приповерхневому шарі оптичного матеріалу внаслідок такої мікрообробки. Встановлено технологічні режими електронно-променевої мікрообробки оптичного скла, при яких відбувається якісне покращення поверхонь оптичних елементів, що приводить до підвищення експлуатаційних показників та показників надійності цих елементів. Показано перспективу використання методу електронно-променевої мікрообробки оптичних елементів при виготовленні, удосконаленні та оновленні елементної бази сучасних інформаційних систем.

Ключові слова: інформаційна система, оптичне скло, оптична поверхня, оптичний мікроелемент, електронно-променева мікрообробка.

Постановка проблеми. Інформаційні системи (ІС) на теперішній час відіграють особливу роль в існуванні людства і є однією з базових умов для подальшого розвитку і успіху кожної держави світу у напрямку економічного й інтелектуального зростання [1]. Основними засобами реалізації ІС на практиці є їх апаратне забезпечення.

Найбільш перспективними та широко використовуваними на сьогодні є ІС, принцип дії яких ґрунтується на отриманні, обробці та передачі оптичного сигналу [2]. В той же час сфери застосування та функціональні можливості таких ІС визначаються розмірами, номенклатурою та кількістю оптичних елементів, що входять до складу таких систем, характеристиками оптичного середовища, а також типом сигналу, що передається в цьому середовищі (безперервний оптичний потік або імпульс).

Водночас суттєвий вплив на точність та надійність таких ІС, окрім характеристик джерела оптичного випромінювання (як правило, це мініатюрні напівпровідникові генератори когерентного (лазерного) випромінювання), чинять також оптичні елементи цих систем (волоконно-оптичні кабелі, хвильоводи, розгалужувачі, заломлювачі, дзеркала, коліматори тощо), дотримання високої якості та точності виконання яких дозволяє значно підвищити термін експлуатації цих ІС, зменшити час на передавання та обробку інформації і, як наслідок, зменшити їх вартість, чим збільшується конкурентна привабливість таких ІС [3].

Як матеріал оптичних елементів більшості сучасних ІС використовується оптичне силікатне скло сортів «крон», «флінт» та кварцове скло [4]. Використання саме такого матеріалу пов'язано з його задовільними

оптичними, механічними та теплофізичними характеристиками, що, разом зі здатністю до гнучкого модифікування його оптико-механічних властивостей та відносно невеликою собівартістю виготовлення, забезпечило його широке застосування [5]. Цей факт також підтверджується численними інноваційними розробками, пов'язаними з розширенням номенклатури оптичних елементів ІС зі скла, а також удосконаленням поверхневих властивостей цих елементів, що дозволяє використовувати останні не лише в класичних інформаційних системах, а й в оптичних мікро- та наносистемах [6].

За даними роботи [7], показано, що, незважаючи на відпрацьовану та усталену традиційну технологію виготовлення елементів ІС з оптичного скла, більш перспективною щодо подальшого удосконалення їх оптичних характеристик є технологія електронно-променевої мікрообробки оптичних матеріалів.

У той же час у роботах, присвячених технології стрічкової поверхневої електронно-променевої обробки оптичних матеріалів, дослідженням якої займалися провідні вчені Дудко Г. В. [8], [9], Лісоченко В. М. [9], Канашевич Г. В. [10-12], Ващенко В. А. [12-14], не наводяться дані щодо отримання за цією технологією мікроелементів, якість поверхні яких відповідала б вимогам сучасних ІС.

В роботі [15] представлено нові уявлення про фізичні явища, які супроводжують процес електронно-променевої обробки оптичного і технічного скла. Використані автором закони та розроблені положення значно розширили технологічні можливості електронного потоку як інструменту до рівня його застосування у мікрообробці.

Таким чином, покращення якісних характеристик оптичних поверхонь елементів пристроїв інформаційних систем методом електронно-променевої мікрообробки є питанням актуальним, вивченню якого присвячена ця наукова робота.

Мета роботи. Доведення ефективності методу електронно-променевої мікрообробки в процесі виготовлення, удосконалення та оновлення елементної бази інформаційних систем шляхом зменшення залишкової мікрошорсткості та геометричної рівномірності і хімічної однорідності поверхневого шару оптичних елементів.

Обладнання та інструментальна база процесу електронно-променевої мікрообробки. Як основне технологічне обладнання використовується електронно-променева установка (ЕПУ), виготовлена на базі вакуумної установки УВН-71. Застосований на ЕПУ механізм переміщення забезпечує рух зразків у робочому об'ємі вакуумної камери зі швидкістю $V_{nom} = 0-20$ см/с [16].

Як джерело стрічкового електронного потоку застосовано електронно-променеву гармату (ЕПГ) Пірса, яка забезпечує формування такого потоку довжиною $l = 60$ мм та шириною $h = 1,5-2,0$ мм [17].

Основні технічні характеристики ЕПГ Пірса такі: прискорююча напруга $U_{np} = 1-10$ кВ $\pm 2\%$, струм потоку $I_{nom} = 50-300$ мА, його питома потужність 10^1 Вт/см² $\leq P_{nom} \leq 10^5$ Вт/см².

Як дослідні об'єкти, що підлягали мікрообробці та подальшому дослідженню, обиралися прямокутні оптичні пластини у кількості 10 штук з розмірами 20×20 мм.

Математичний розрахунок енергетичного розподілу електронного потоку по оптичній поверхні. Як відомо [18], вихідні оптичні властивості та стан поверхні досліджуваних об'єктів регламентуються умовами виготовлення, а їх технологічні та експлуатаційні характеристики залежать від стану поверхневого шару (ПШ). Саме рівень дефектності ПШ (тріщинуватість, хімічна неоднорідність та інше) обумовлює рівень поверхневої енергії, від якого залежать якість стану поверхні та дотримання експлуатаційних вимог до самих виробів [19]. Так, на рисунку 1 представлено загальну схему мікрообробки оптичної пластини товщиною H стрічковим електронним потоком шириною l . За технологією електронно-променевої мікрообробки електронна стрічка рівномірно рухається по поверхні пластини зі швидкістю V_{nom} (рисунк 1, а), а після повного її проходження відбувається регульоване охолодження зразка, в процесі якого йде формування поверхні пластини, а також ПШ товщиною h_{np} (рисунк 1, б) з властивостями, що є відмінними від основного матеріалу.

Просторово-часова структура стрічки відповідає нормальному розподілу (максимальну енергію мають електрони на осі стрічки, мінімальну – ті, які формують край стрічки).

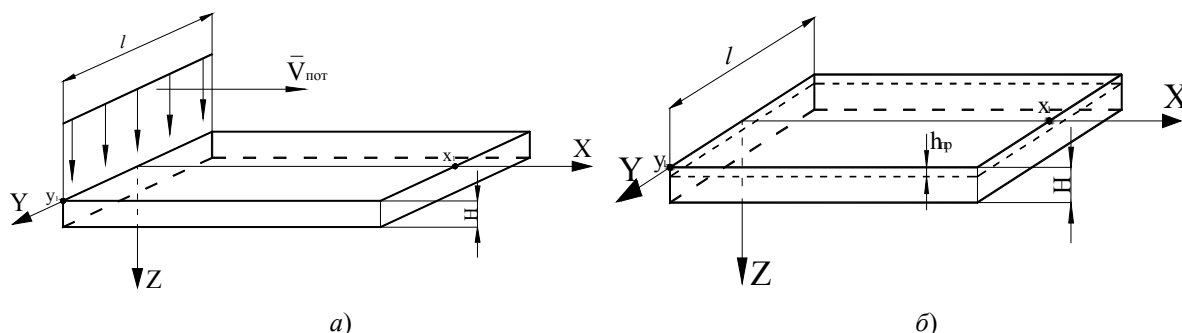


Рисунок 1 – Схема мікрообробки стрічковим електронним потоком плоскопаралельної оптичної пластини (а) та розташування модифікованого ПШ (вказано пунктиром) (б)
(позначення до рисунка наведені у тексті)

Нормальний розподіл щільності потоку змінюється в часі, а його характер можна виразити математично:

$$F_n = F(x, y, z, t),$$

де x, y, z – просторові координати,
 t – час.

В процесі математичного моделювання необхідно враховувати глибину проникнення електронного потоку в ПШ оптичного матеріалу. Так, у випадку проникнення електронів у ПШ на глибину, більшу за 10 мкм, необхідно використовувати об'ємне джерело теплоти. При цьому зміна температури відбувається по глибині z матеріалу. Якщо необхідно елект-

ронним потоком вплинути лише на дефектний шар (на глибину до 2 мкм), використовується поверхневе джерело теплоти за координатами x, y .

Розрахунок температур на поверхні пластини і по її глибині проводиться на основі побудованої математичної моделі рухомого джерела теплоти гаусового типу (враховуючи коефіцієнт зосередженості) для напівобмеженого тіла.

Тому в основу розрахунку покладено рівняння теплопровідності для напівобмеженого тіла з такими початковими та граничними умовами:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a^2 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad -\infty < x < +\infty; \quad -\infty < y < +\infty; \quad 0 \leq z < +\infty; \quad T(x, y, z, 0) = T_0;$$

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = F_n(x_0 - V_{\text{пот}} \cdot t, y, 0, t) - L_n(x, y, 0, t, T_{z=0});$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_1} = \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_0} = \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=y_1} = \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=y_0} = \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=z_0} = 0,$$

де $F_n(x_0 - V_{\text{пот}} \cdot t, y, 0, t)$ – функція розподілу інтенсивності електронного потоку на поверхні матеріалу за координатами x, y, z та часом t ;

$L_n(x, y, 0, t, T_{z=0})$ – розподіл потоку, обумовлений леткістю матеріалу з поверхні розплаву у вакуум за координатами x, y, z та часом t ;

T, K – температура в момент часу t ;

T_0, K – температура попереднього нагріву матеріалу;

$a^2 (m^2/c)$ – коефіцієнт температуропровідності матеріалу;

$\lambda (W/cm^2 K)$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу.

Враховуючи явище леткості матеріалу скла під впливом високих температур (1200-1500 °C), розподіл температури по глибині оброблюваної поверхні з часом описується таким чином:

$$T(z, t) = T_0 + \frac{a}{\lambda \sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{F_{n1}(\tau) - L_n(0, \tau, T_{z=0})}{\sqrt{t - \tau}} e^{-\frac{z^2}{4a^2(t-\tau)}} d\tau,$$

де $L_n(0, \tau, T_{z=0}) = 15 \cdot L \cdot 10^{\frac{p_1 - p_2}{T_{z=0}(\tau - \delta)}}$ – розподіл випаровування теплового потоку з поверхні матеріалу у вакуум, обумовлений леткістю розплаву.

Підготовка об'єктів до електронно-променевої мікрообробки. Перед електронно-променевою мікрообробкою оптичні поверхні зразків протираються ватним тампоном, змоченим в етиловому спирті з додаванням поліриту «Крокус», і залишаються до повного висихання. Висушені зразки витираються ватним сухим тампоном до повного видалення часток поліриту з їх поверхні. Далі пластини розміщуються у технологічний об'єм електронно-променевої установки, де підлягають іонному очищенню, при якому поверхня зразків звільняється від залишків миючих речовин, травника й абразивних включень, які потрапили у ПШ на стадіях механічного шліфування і полірування.

Далі, в результаті електронно-променевої мікрообробки, оптичний виріб нагрівається до температур $(T_g-400) \dots (T_g-80)^\circ\text{C}$ у вакуумі з залишковим тиском, не більшим за 10^{-4} Па, витримується за таких умов протягом 5-20 хв, після чого піддається обробці стрічковим електронним потоком питомої потужності $P_{\text{пит}} = 10^1 - 0,5 \cdot 10^2$ Вт/см² зі швидкістю 0,1-5 см/с. Далі оптичний об'єкт знову витримується протягом 10-30 хв за температури $T_g-80^\circ\text{C}$ та остаточно охолоджується у вакуумі протягом часу, не меншого за 50 хв.

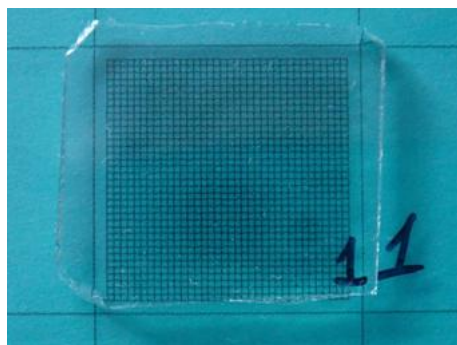
За таких умов продукти співполірування (речовини, які заповнюють дефектний шар: H^+ , H_2O , H_3O^+ , SiOH , Na , K , Na^+ , K^+ , NaOH , KOH , Si-O , $(\text{Si-O-Si})_m$, $(\text{Si-O-Si})_m$ – уламки скла) дисоціюють на слабко зв'язані хімічні елементи та сполуки: H_2 , N^+ , O_2 , C , CO_2 , N_2 , H_2O та інші і десорбують у вакуум, а структура дефектного шару перебудовується.

Подальша витримка за температури $T_g-80^\circ\text{C}$, $T_g-90^\circ\text{C}$, $T_g-100^\circ\text{C}$ протягом 10-30 хв та заключне охолодження скла протягом понад 50 хв забезпечують енергетичну рівновагу речовин, які залишилися у дефектному шарі, та рівномірне розподілення допустимих мікронапружень, внесених у дефектний шар перебудовою структури.

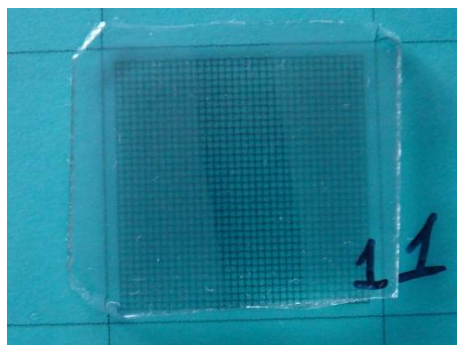
Обговорення отриманих результатів.

Рівень термічного впливу електронного потоку на матеріал (нагрів, проплавлення, випаровування) визначається, з одного боку, теплофізичними параметрами матеріалу α , λ , з другого боку – загальною потужністю електронного потоку $P_{\text{ном}} = I_{\text{ном}} \times U_{\text{ном}}$, його питомою потужністю $P_{\text{пит}} = P_{\text{ном}} / S$ та часом t дії на матеріал.

На рисунку 2 зображено результат змочування оптичної поверхні скла, необробленого електронним потоком (а) та обробленого електронним потоком через маску (б), що вказує на суттєве зміння поверхневої енергії пластини і покращення її адгезійної властивості [20], [21].



а)



б)

Рисунок 2 – Поверхня оптичного скла без слідів змочування (а) та зі слідами змочування через маску (б)

Дослідження мікрогеометрії поверхні оптичних об'єктів до та після електронно-променевої мікрообробки проводились методом атомно-силової мікроскопії на приладі «NT-206V». Дослідження на цьому приладі

проводилися за нормальних умов ($P = 1$ атм., $T = 18^\circ\text{C}$, вологість – 68 %). Зразок розміщався на предметному столику атомно-силового мікроскопа, де проводилося їх сканування в статичному режимі. При цьому були використані

ні кремнієві зонди «Ultrasharp CSC38» (виробник: «Mikromasch», Німеччина). Вибір необхідної ділянки на поверхні зразка проводився системою мікропозиціонування і вбудованим оптичним довгофокусуючим мікроскопом Logitech (виробник: «Logitech Inc», США).

В результаті проведених досліджень було отримане розподілення мікронерівнос-

тей та латеральних сил на ділянках поверхні 13x13 мкм, вивчення яких показало наступне.

Встановлено, що середньоарифметичне та середньостатистичне значення мікронерівностей поверхонь зразків, що не підлягали електронно-променевої мікрообробці, становили, відповідно: $Ra = 126$ нм та $Rq = 145$ нм (рисунк 3).

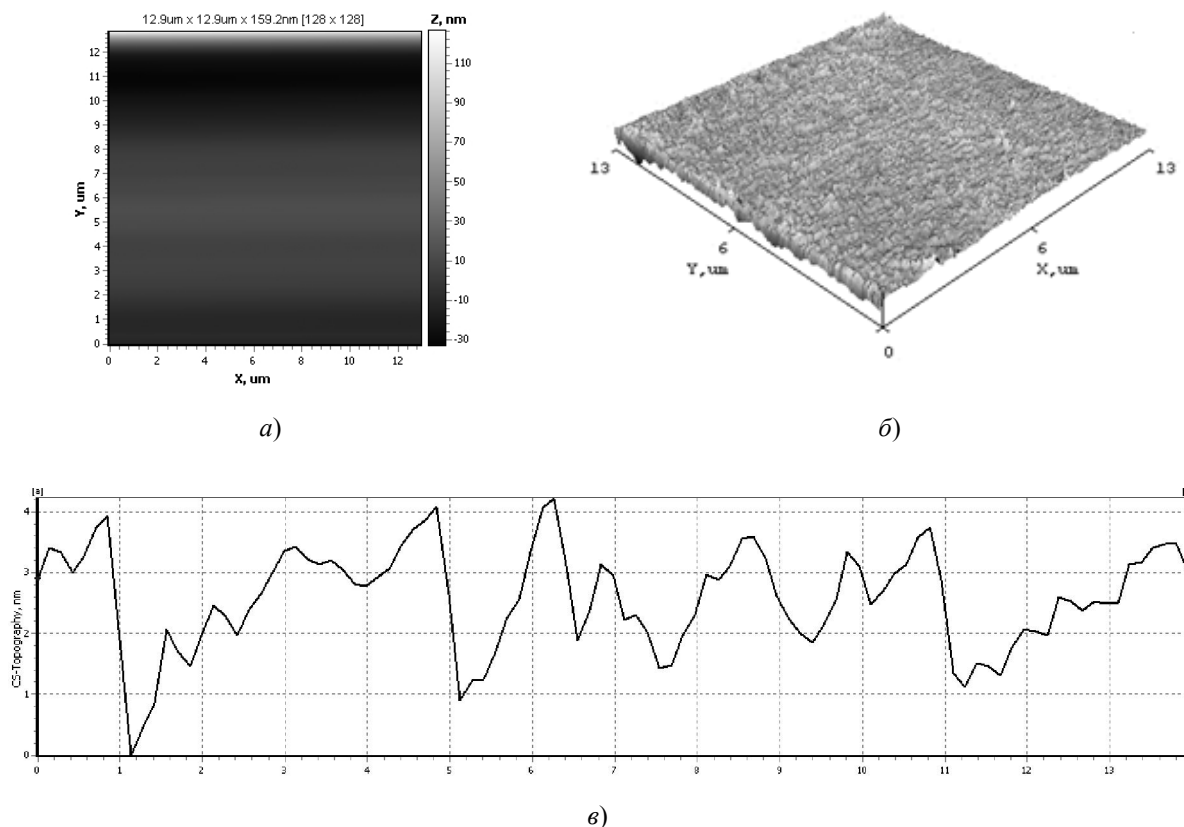


Рисунок 3 – Топограма (а), мікрорельєф (б) та профілограма (в) ділянки поверхні оптичного об'єкта, що не підлягав електронно-променевої мікрообробці. NT-206V

В той же час, після мікрообробки поверхні таких об'єктів низькоенергетичним електронним потоком спостерігалася значне зменшення (у 2,6-2,9 разу) залишкових мікронерівностей: $Ra = 46$ нм, $Rq = 55$ нм (рисунк 4).

Таке зменшення залишкових мікронерівностей поверхонь зразків елементної бази інформаційних систем внаслідок низькоенергетичного електронно-променевого оброблення стрічковим електронним потоком, на думку авторів, пов'язане з проплавленням поверхневого шару скла (на глибину від кількох мікрометрів до кількох десятків мікрометрів) та

його окварцюванням. Це, в свою чергу, веде до вирівнювання поверхні та очищення її хімічного складу.

Також було встановлено [22], що, окрім зменшення мікрорельєфу поверхні оптичних зразків, оброблених електронною стрічкою, відбувається покращення хімічної однорідності та зменшення термомеханічних напружень у поверхневому шарі скла. Це виникає при поступовій витримці за заданої температури та подальшому охолодженні оптичного скла після електронно-променевої мікрообробки [23].

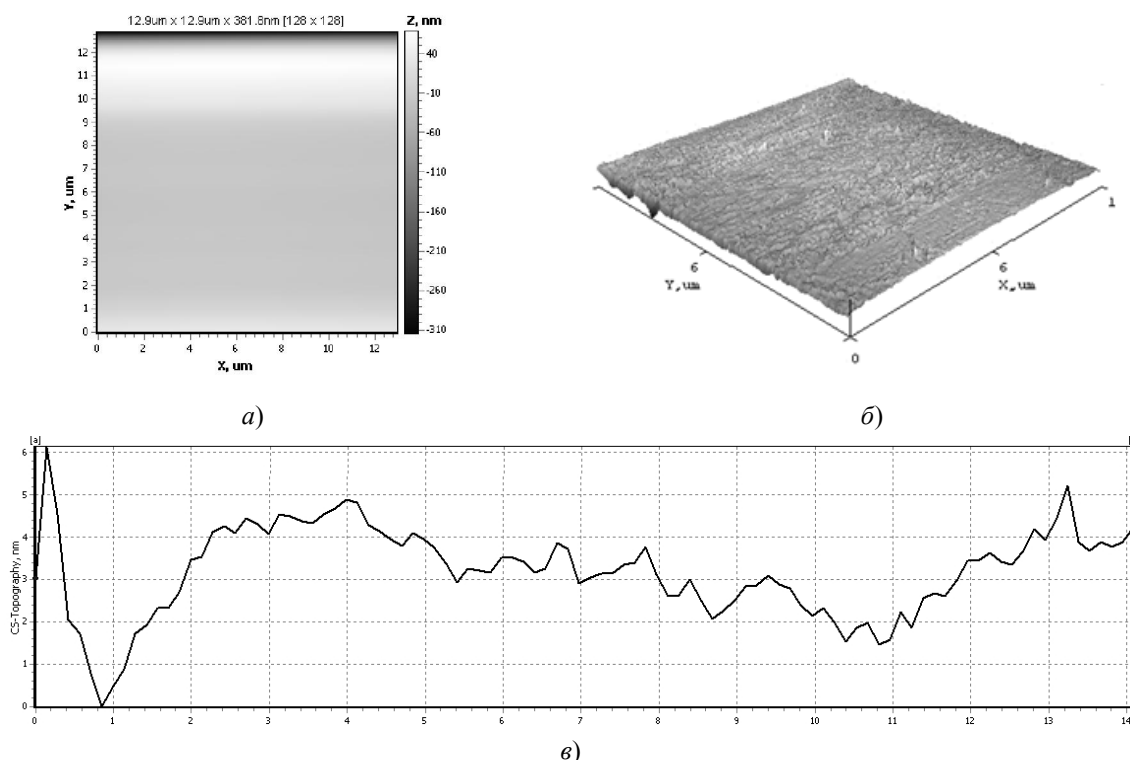


Рисунок 4 – Топограма (а), мікрорельєф (б) та профілограма (в) ділянки поверхні оптичного об'єкта після електронно-променевої мікрообробки. NT-206V

Висновки. Таким чином, доведено ефективність методу електронно-променевої мікрообробки в процесі виготовлення, удосконалення та оновлення елементної бази інформаційних систем, а його наукова новизна полягає в наступному:

1. Вперше встановлено, що мікрообробка стрічковим електронним потоком поверхні оптичних елементів можлива за умов дотримання цим потоком ширини до 2,0 мм та питомої потужності $10^1 \text{ Вт/см}^2 \leq P_{\text{пит}} \leq 10^5 \text{ Вт/см}^2$.

2. Показано, що представлений метод мікрообробки забезпечує зменшення залишкової мікрошорсткості поверхні оптичних елементів у 2,6-2,9 разу та покращує структурну і хімічну однорідність поверхневого шару оптичних елементів.

Практична цінність запропонованого методу електронно-променевої мікрообробки оптичних матеріалів полягає у розширенні можливостей наявних технологій мікроелектроніки щодо виготовлення, вдосконалення та оновлення елементної бази сучасних інформаційних систем. Це, в цілому, веде до покращення техніко-експлуатаційних характеристик таких систем та значного підвищення їх ефективності (так,

час надійної експлуатації оптичних елементів ІС може бути збільшений у 1,3-1,5 разу).

Подальшими перспективними дослідженнями в цьому напрямі є визначення технічних характеристик металізованих поверхонь оптичних елементів інформаційних систем з метою розроблення регресійної моделі, що дозволить спрогнозувати оптимальний час надійної експлуатації таких систем.

Список використаних джерел

- [1] E. Oswaldo, D&M. G. Perez, and J. E. Lascano, "Literature review about intention mining in information systems", *Journal of Computer Information Systems*, vol. 61 (4), pp. 295-304, 2021. doi: org/10.1080/08874417.2019.1633569.
- [2] G. W. Reynolds, and R. M. Stair, *Principles of Information Systems. A Managerial Approach*. 9th ed. Florida, USA: Florida State University, 2010.
- [3] B. Elliott, "Front matter", in *Optical Communication*. New York, USA: AIP Publishing Melville, 2021, Fm1, pp. i-x. doi: org/10.1063/9780735423077frontmatter.

- [4] Л. І. Муравський, Я. В. Бобицький, та Г. І. Гаськевич, *Оптичні інформаційні системи*. Львів, Україна: СПОЛОМ, 2011.
- [5] J. Hildebrand, K. Hecht, J. Bliedtner, and H. Müller, "Advanced analysis of laser beam polishing of quartz glass surfaces", *Physics Procedia*, vol. 39, pp. 277-285, 2012. doi: org/10.1016/j.phpro.2012.10.039.
- [6] E. A. B. Saleh, and M. C. Teich, *Fundamentals of Photonics*, 2nd ed. Chichester, UK: Wiley, 2013. Print.
- [7] М. П. Бочок, Н. П. Будко, В. А. Ващенко, Г. В. Канашевич, та Д. І. Котельников, *Спеціальні методи обробки оптичного скла*. Чернігів, Україна: ЧДТУ, 215, 2001.
- [8] Г. В. Дудко, С. К. Кулов, Ю. А. Розе, и Н. Г. Максимова, "Исследование электронно-лучевых процессов в создании базовых технологий ЭЛЭФП", *Электронная промышленность*, № 1, с. 41-45, 1991.
- [9] Г. В. Дудко, и В. Н. Лисоченко, "Проблема формирования особо чистых и бездефектных поверхностей", в *Материалы краткосрочного семинара*. Ленинград, 1985, с. 13-16.
- [10] Г. М. Дубровська, Г. В. Канашевич, та М. О. Бондаренко, "Структурні перетворення у поверхневому шарі оптичного скла та фотопластинах від дії низькоенергетичного електронного потоку", на *Науч.-техн. конф. Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении*. Одесса, 2-4 июня 2004, с. 60-64.
- [11] G. V. Kanashevich, "Micro-treatment of surfaces of plates made of optical glass with a low-power electronic stream of a band form" in *7th World Congress on Recovery, Recycling and Reintegration & China International 3R Exhibition*. Beijing, China, 25-29 Sept. 2005, 7.
- [12] Г. В. Канашевич, В. А. Ващенко, та М. О. Бондаренко, "Перспективи використання електронного променя в технологіях інтегральної оптики", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 2, с. 189-193, 2000.
- [13] В. А. Ващенко, О. В. Кириченко, и Д. И. Котельников, *Электронная обработка материалов*, т. 44, № 6, 2004.
- [14] I. V. Yatsenko, V. P. Maslov, V. S. Antonyuk, V. A. Vashchenko, O. V. Kirichenko, and K. M. Yatsenko, "Electronic beam technology in optoelectronic instrumentation: high-quality curved surfaces and microprofile creation in different geometric shapes". *Journal of Nano- and Electronic Physics*. vol. 13 (4), 04034 (5 p.), 2021.
- [15] Г. В. Канашевич, "Технологічні основи керування якістю поверхневого шару оптичних матеріалів при електронно-променевому мікрообробленні", дис. д-ра техн. наук: 05.03.07, Черкас. держ. технол. ун-т, Черкаси, 2009, с. 336.
- [16] М. П. Рудь, Г. В. Канашевич, В. П. Бойко, та Ю. І. Коваленко. "Впровадження комп'ютеризованої системи керування в процес електронної обробки оптичних матеріалів", на *VII ежегод. междунар. пром. конф. Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях*. Славское-Киев, 12-16 февр. 2007, с. 460.
- [17] М. П. Рудь, М. О. Бондаренко, Ю. І. Коваленко, та І. В. Яценко, "Дослідження та формування стрічкового електронного потоку для мікрообробки поверхонь матеріалів", *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*, № 2, с. 58-63, 2012.
- [18] V. A. Vashchenko, I. V. Yazenko, Yu. I. Kovalenko et al., "Effect of electron-beam treatment of sensor glass substrates for SPR devices on their metrological characteristics", *Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics*, vol. 22 (4), pp. 444-451, 2019. doi: org/10.15407/spqeo22.04.444.
- [19] ISO 10110-1:2019. Optics and photonics – Preparation of drawings for optical elements and systems, Parts 1-17, 2019.
- [20] Г. В. Канашевич, "Фізичні явища і механізми, за якими змінюється поверхня і поверхневий шар оптичного матеріалу від дії електронного потоку", *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*, № 1, с. 184-189, 2014.
- [21] М. В. Голуб, С. М. Мацепа, Г. В. Канашевич, О. С. Алексєєва, Є. В. Хижняк, та П. П. Дмитренко, "Металізація технічного скла з використанням електронно-променевого методу мікрообробки поверхні", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 2, с. 34-38, 2018.

- [22] Yu. Kovalenko, V. Antonyuk, and Ih. Zhavoronok, "Investigation of the influence of basic technical parameters of ribbon electron flow on the microrelief of the optical glass surface", *Machines. Technologies. Materials: Int. J. for Science, Technics and Innovations for the Industry*, no. 3, pp. 106-109, 2020.
- [23] Г. В. Канашевич, "Термоелектричний вплив низькоенергетичного електронного потоку на дефектний шар оптичного скла", *Вісник НТУУ "КПІ". Серія: Приладобудування*, т. 45, с. 123-130, 2013.
- ### References
- [1] E. Oswaldo, D&M. G. Perez, and J. E. Lascano, "Literature review about intention mining in information systems", *Journal of Computer Information Systems*, vol. 61 (4), pp. 295-304, 2021. doi: org/10.1080/08874417.2019.1633569.
- [2] G. W. Reynolds, and R. M. Stair, *Principles of Information Systems. A Managerial Approach*. 9th ed. Florida, USA: Florida State University, 2010.
- [3] B. Elliott, "Front matter", in *Optical Communication*. New York, USA: AIP Publishing Melville, 2021, Fm1, pp. i-x. doi: org/10.1063/9780735423077frontmatter.
- [4] L. I. Muravskiy, Ya. V. Bobyskiy, and H. I. Haskevych, *Optical information systems*. Lviv, Ukraine: SPOLOM, 2011 [in Ukrainian].
- [5] J. Hildebrand, K. Hecht, J. Bliedtner, and H. Müller, "Advanced analysis of laser beam polishing of quartz glass surfaces", *Physics Procedia*, vol. 39, pp. 277-285, 2012. doi: org/10.1016/j.phpro.2012.10.039.
- [6] E. A. B. Saleh, and M. C. Teich, *Fundamentals of Photonics*, 2nd ed. Chichester, UK: Wiley, 2013. Print.
- [7] M. P. Bochok, N. P. Budko, V. A. Vashchenko, G. V. Kanashevich, and D. I. Kotelnikov, *Special methods of optical glass processing*. Chernihiv, Ukraine: ChDTU, 215, 2001 [in Ukrainian].
- [8] G. V. Dudko, S. K. Kulov, Yu. A. Roze, and N. G. Maksimova, "Study of electron-beam processes in the creation of basic technologies for EBEFP", *Elektronnaya promyshlennost'*, no. 1, pp. 41-45, 1991 [in Russian].
- [9] G. V. Dudko, and V. N. Lisochenko, "The problem of forming extra-clean and defect-free surfaces", in *Materials of the short-term seminar*. Leningrad, 1985, pp. 13-16 [in Russian].
- [10] H. M. Dubrovskaya, H. V. Kanashevych, and M. O. Bondarenko, "Structural transformations in the surface layer of optical glass and photoplates from the action of low-energy electron flow", in *Proc. sci-tech. conf. New and non-traditional technologies in resource and energy saving*. Odessa, June 2-4, 2004, pp. 60-64 [in Ukrainian].
- [11] G. V. Kanashevich, "Micro-treatment of surfaces of plates made of optical glass with a low-power electronic stream of a band form" in *7th World Congress on Recovery, Recycling and Reintegration & China International 3R Exhibition*. Beijing, China, 25-29 Sept. 2005, 7.
- [12] H. V. Kanashevych, V. A. Vashchenko, and M. O. Bondarenko, "Prospects for the use of electron beam in integrated optics technologies". *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universytetu*, no. 2, pp. 189-193, 2000 [in Ukrainian].
- [13] V. A. Vashchenko, O. V. Kirichenko, and D. I. Kotelnikov, *Elektronnaya obrabotka materialov*, vol. 44, no. 6, 2004 [in Russian].
- [14] I. V. Yatsenko, V. P. Maslov, V. S. Antonyuk, V. A. Vashchenko, O. V. Kirichenko, and K. M. Yatsenko, "Electronic beam technology in optoelectronic instrumentation: high-quality curved surfaces and microprofile creation in different geometric shapes". *Journal of Nano- and Electronic Physics*. vol. 13 (4), 04034 (5 p.), 2021.
- [15] G. V. Kanashevich, "Technological bases of quality control of the surface layer of optical materials in electron beam micromachining", D.S. thesis: 05.03.07, Cherkasy State Tech. Univ., Cherkasy, Ukraine, 2009, p. 336 [in Ukrainian].
- [16] M. P. Rud, H. V. Kanashevych, V. P. Boiko, and Yu. I. Kovalenko, "Introduction of a computerized control system in the process of electronic processing of optical materials", on *7th Annual Int. Industrial Conf. The effectiveness of the implementation of scientific, resource and industrial potential in modern*

- conditions, Slavskoye-Kiev, Febr. 12-16, 2007, p. 460 [in Ukrainian].
- [17] M. P. Rud, M. O. Bondarenko, Yu. I. Kovalenko, and I. V. Iatsenko, "Research and formation of tape electron flow for microtreatment of material surfaces", *Novi materialy i tekhnologii v metalurhii ta mashynobuduvanni*, no. 2, pp. 58-63, 2012 [in Ukrainian].
- [18] V. A. Vashchenko, I. V. Yazenko, Yu. I. Kovalenko et al., "Effect of electron-beam treatment of sensor glass substrates for SPR devices on their metrological characteristics", *Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics*, vol. 22 (4), pp. 444-451, 2019. doi: org/10.15407/spqeo22.04.444.
- [19] ISO 10110-1:2019. Optics and photonics – Preparation of drawings for optical elements and systems, Parts 1-17, 2019.
- [20] H. V. Kanashevych, "Physical phenomena and mechanisms by which the surface and surface layer of optical material changes from the action of electron flow", *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho universytetu Povitrianykh Syl*, no. 1, pp. 184–189, 2014 [in Ukrainian].
- [21] M. V. Holub, S. M. Matsepa, H. V. Kanashevych, O. S. Aleksieieva, Ye. V. Khyzhniak, and P. P. Dmytrenko, "Metallization of technical glass using electron-beam method of surface microprocessing", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu*, no. 2, pp. 34-38, 2018 [in Ukrainian].
- [22] Yu. Kovalenko, V. Antonyuk, and Ih. Zhaivoronok, "Investigation of the influence of basic technical parameters of ribbon electron flow on the microrelief of the optical glass surface", *Machines. Technologies. Materials: Int. J. for Science, Technics and Innovations for the Industry*, no. 3, pp. 106-109, 2020.
- [23] H. V. Kanashevych, "Thermoelectric effect of low-energy electron flow on a defective layer of optical glass", *Visnyk NTUU "KPI". Seriya: "Pryladobuduvannia"*, vol. 45, pp. 123-130, 2013 [in Ukrainian].

S. M. Matsepa¹,

e-mail: s.matsepa@chdtu.edu.ua

H. V. Kanashevych¹, Dr.Tech.Sc., Professor,

Yu. I. Kovalenko¹, D.Ph.,

R. V. Tsynda²,

I. S. Zhaivoronok¹

¹ Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

² Cherkasy Scientific Research Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine
Pasterivska st., 104, Cherkasy, 18009, Ukraine

IMPROVEMENT OF THE QUALITY OF OPTICAL SURFACES OF THE ELEMENT BASE OF INFORMATION SYSTEMS BY THE METHOD OF ELECTRON-BEAM MICROPROCESSING

The article presents the results of electron-beam microprocessing of optical surfaces of the element base of information systems, proving the improvement of their quality characteristics (reducing the microroughness and microstress in the surface layer of the material, structural and chemical stabilization in defective and fractured layers, controlled change in adhesive properties of the material surface, etc.).

An electron beam unit is used as the main technological equipment, which has been made on the basis of the vacuum spraying unit (VSU-71). As a source of tape electron flow, Pierce's electron beam gun, which provides the formation of such a stream of 60 mm length, 1.5-4.0 mm width and has a specific power of $10^1 \text{ W/cm}^2 \leq R_{pit} \leq 10^5 \text{ W/cm}^2$, has been used.

Structural and chemical transformations that occur on the surface and in the near-surface layer of optical material due to such microprocessing are considered. Technological modes of electron-beam microprocessing of optical glass at which there is a qualitative improvement of surfaces of

optical elements is established, which leads to increased performance and reliability of these elements. The result of wetting the optical surface of untreated and electronically treated glass through the mask is presented, which indicates a significant change in the surface energy of the plate and improve its adhesive properties.

As a result of research it has been found that the use of electron beam microprocessing reduces the residual microroughness of the surface optical elements 2.6-2.9 times and improves the structural and chemical homogeneity of the surface layer of optical elements. It has been also found that in addition to reducing the microrelief of the surface of optical samples treated with electronic tape there is an improvement in chemical homogeneity and a decrease in thermomechanical stresses in the surface layer of glass. This occurs during gradual exposure to a given temperature and subsequent cooling of the optical glass after electron beam microprocessing. The prospect of using the method of electron-beam microprocessing of optical elements in the manufacture, improvement and updating of the element base of modern information systems is shown.

Keywords: *information system, optical glass, optical surface, optical microelement, electron beam microprocessing.*