

УДК 681.7.02

Ю. І. Коваленко, П. В. Петльованій, М. П. Рудь, Г. В. Канашевич

ТЕСТ НА ЗМОЧУВАННЯ ПОВЕРХНІ СКЛА ПІСЛЯ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ МІКРООБРОБКИ

Приведені результати дослідження на змочування оптичного і технічного скла після їх електронно-променевої мікрообробки (енергія електронів $E \leq 6$ кВ). Отримані результати дозволили ідентифікувати поверхні скла різних марок після електронно-променевого впливу не тільки за плямами дихання, а і за краплями рідини, які нанесені на поверхню і розглядаються як елементи збільшення зображення — лінзи.

Ключові слова: дослідження змочування оптичного і технічного скла, ідентифікація поверхні скла.

Вступ

Чутливість поверхонь оптичного і технічного скла до атмосферної вологи суттєво відрізняється і залежить від способу їх фінішного полірування [1–4]. Залишковий зовнішній нанорельєф поверхневого шару (ПШ), характер порушеного шару та його хімічний склад, забрудненість поверхні від абразиву, травників, або полум'яного пальника призводять до утворення гідратованих плівок товщиною у декілька мономолекулярних шарів води [1, 2], що у свою чергу впливає на один з макропоказників — змочування поверхні рідинами [16–23].

Змочування скла водою є явищем доволі розповсюдженим і часто використовується для випробувань поверхонь на чистоту (визначення ступеня забрудненості) після застосування технології поверхневої обробки та при металізації у вакуумі. З цього питання розроблені багаточисельні методики, опубліковано ряд робіт, у тому числі [16–19], де критерієм змочування вибрано граничний кут, або кут змочування.

Розвиток сучасного точного приладобудування, оптичного та напівпровідникового виробництва безпосередньо пов'язаний з активною розробкою інноваційних технологій, в основу яких покладено і дію електронних потоків. Так, у раніше опублікованих роботах [5–15], висвітлені переваги фінішної поверхневої електронно-променевої обробки оптичного скла К8 електронним потоком стрічкової форми, які полягають у зменшенні нанорельєфу, зміні хімічного складу, усуненні мікрodefektів (виколок, ласин, подряпин, крапок). У роботах [8, 14] вперше впроваджено мікрообробку ПШ оптичного та технічного скла на глибину 0,5–160 мкм, що дозволило реалізувати гнучке керування процесом на двох стадіях термічного впливу (СТВ) на ПШ: ІСТВ — без проплавлення поверхні та ІІ СТВ — з проплавленням поверхні.

Проте, як реагують поверхні цих матеріалів на воду після модифікування — питання залишаються доволі актуальними.

© Коваленко Юрій Іванович, старший викладач кафедри фізики; Петльованій Петро Вікторович, провідний спеціаліст навчально-дослідної лабораторії фізичного матеріалознавства; Рудь Микола Петрович, канд.техн.наук., доцент кафедри технології та обладнання машинобудівних виробництв; Канашевич Георгій Вікторович, доктор техн. наук, професор кафедри технології та обладнання машинобудівних виробництв.

Метою роботи є дослідження характеру змочування поверхні оптичного і технічного скла водою після електронно-променевої мікрообробки та створення тесту на визначення модифікованих ділянок.

Методика експеримента

Електронно-променева мікрообробка проводилася на модифікованій технологічній електронній установці УВН-71. В якості об'єктів мікрообробки використовувалися плоскопаралельні пластини $20 \text{ мм} \times 20 \text{ мм} \times 2 \text{ мм}$ з технічного скла (фотопластини без емульсії) та плоско-паралельні круглі пластини товщиною 2 мм і діаметром 20 мм з оптичного скла К8. Одна із поверхонь пластини маскувалась з'ємними пластинами з Ni товщиною $0,1 \text{ мм}$ і підлягала обробці низькоенергетичними ($E \leq 6 \text{ кеВ}$) електронами. Електронна стрічка формувалася гарматою Пірса: ширина стрічки $0,5\text{--}1,5 \text{ мм}$; питома потужність $P_{\text{пит}} = 0,2 \cdot 10^1\text{--}3,5 \cdot 10^3 \text{ Вт/см}^2$; швидкість руху стрічки по поверхні пластини $V_{\text{обр}} = 2,5\text{--}4 \text{ см/с}$.

Після електронно-променевої мікрообробки ділянки, які піддавалися термічному впливу потоку (ІСТВ), визначити візуально практично неможливо. Однак, якісні зміни поверхні пластин після мікрообробки можна спостерігати за плямами дихання [16] (рис. 1).

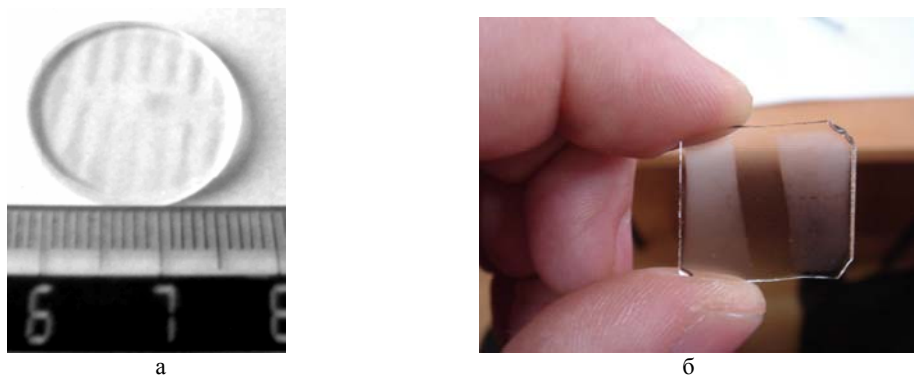


Рис. 1. Характерний вигляд плям дихання на склі після електронно-променевої мікрообробки: а — на поверхні пластини з оптичного скла К8; б — на поверхні технічного скла (фотопластини).

На оброблених ділянках конденсується пара від дихання, ці ділянки не захищені маскою, і на рисунку мають вигляд подібно матованим

Після випаровування плям дихання на повітрі (час складає $0,9\text{--}1,2 \text{ с}$ при температурі $T = 300 \text{ К}$), поверхня пластини стає абсолютно прозорою і визначити візуально ділянки, які піддавалися електронно-променевої мікрообробці знову стає неможливим.

Для того, щоб визначити ці ділянки, ми розробили відповідну методику. Завдяки їй виготовляємо на папері, або іншому матеріалі масштабну сітку з кроком $0,5 \text{ мм}$. Пластину кладемо донизу площиною, яка взагалі не оброблялася електронним потоком. Далі, за допомогою спеціально виготовленого дозатора, на оброблені та необроблені електронним потоком ділянки поверхні скла наносимо рівні за об'ємом ($V = 2 \text{ мл}$) краплини дистильованої води і після витримки у $0,5 \text{ хв.}$ фотографуємо. При необхідності, для ідентифікування ді-

лянок з мікрообробкою та без мікрообробки, знову можна використати плями дихання (рис. 2).

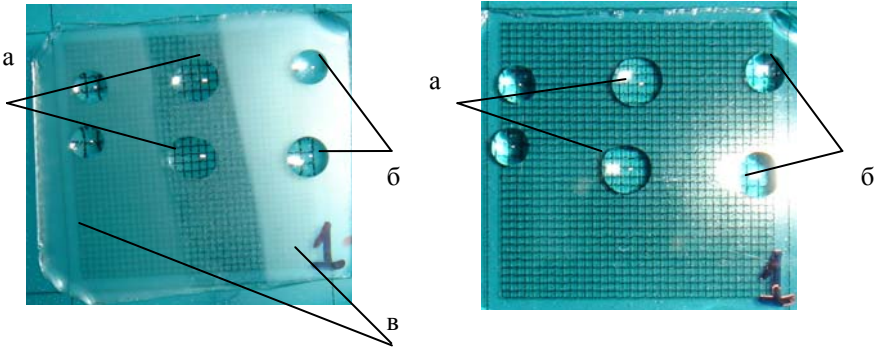


Рис. 2. Краплини води на необробленій ділянці поверхні (а) та обробленій ділянці поверхні (б) фотопластини, яку накладено на масштабну сітку; в — плями дихання

Результати експерименту та їх обговорення

Представимо краплину води на поверхні скляної пластини як прозорий оптичний елемент — лінзу. За масштабною сіткою визначимо коефіцієнт збільшення лінзи (k). Для визначення радіусу R краплини (лінзи), без врахування механізму розтікання, використовуємо схему наведену на рис. 3. При цьому, крайовий кут змочування обумовлюється діаметром основи, висотою та об'ємом краплини. Таким чином, краплина представляє собою частину сфери з радіусом кола r у своїй основі, висотою h , та об'ємом V , які пов'язані співвідношенням

$$V = \pi \cdot h(3r^2 + h^2) / 6 = \pi \cdot h^2(R - h/3). \quad (1)$$

При цьому, крайовий кут змочування дорівнює:

$$\theta = \arcsin(r/R) \quad (2)$$

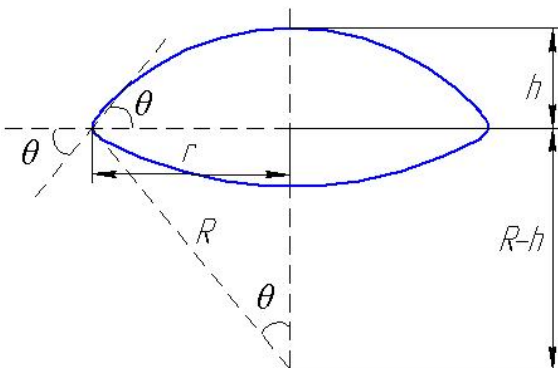


Рис. 3. Схема краплини (лінзи): h — висота; θ — крайовий кут змочування, R радіус лінзи, r — радіус основи сфери

У нашому випадку діаметр краплини дорівнює $2r$, тому нас цікавить залежність θ від r .

Перетворення в лівій частині рівняння (1) для висоти h рівняння матиме вигляд:

$$h^3 + 3r^2h - 6V/\pi = 0 \quad (3)$$

Маємо розв'язок:

$$h = \sqrt[3]{u} - \frac{r^2}{\sqrt[3]{u}} \quad (4)$$

$$\text{де: } u = \frac{3}{\pi} V + \sqrt{r^6 + \left(\frac{3}{\pi} V\right)^2} \quad (5)$$

Таким чином, за рис. 3 та теоремою Піфагора знаходимо радіус сфери R :

$$R = \frac{r^2 + h^2}{2h} \quad (6)$$

Окремі експериментально отримані дані та розрахункові дані представлені в таблиці:

Параметри краплини	r , мм	R , мм	V , мл	θ , °	k	h , мм
Ділянка пластини без електронно-променевої мікрообробки	1,75	3,95	2,0	26	1,4	0,41
Ділянка пластини з електронно-променевою мікрообробкою	1,25	1,43	2,0	61	2,0	0,73

Встановлено, що поверхня скла після електронно-променевої мікрообробки ($E \leq 6$ кеВ) має більший кут змочування, що підтверджується більшим коефіцієнтом збільшення краплин, більшою висотою. Це надає практичну можливість тестувати поверхні, виділивши оброблені потоком ділянки оптичних поверхонь від необроблених.

Аналогічні результати отримані на склі інших марок.

Висновки

Зміни якісних характеристик поверхні оптичного і технічного скла після електронно-променевої мікрообробки призводять до зміни змочування обробленої поверхні, в результаті чого крайовий кут змочування для краплин води збільшується більше, ніж у двічі.

Розроблений тест на змочування дозволяє абсолютно точно встановлювати поверхні та ділянки поверхонь на оптичному і технічному склі різних марок, які піддавалися електронно-променевої мікрообробці з енергіями електронів $E \leq 6$ кеВ. Таке тестування може ефективно використовуватися в оптичній промисловості, напів-провідниковій промисловості, точному прила-

добудуванні для контролю якісних характеристик поверхонь оптичних матеріалів, модифікованих електронними потоками.

Приведены результаты исследования смачивания оптического и технического стекла после их электронно-лучевой обработки (энергия электронов $E \leq 6$ кВ), полученные результаты позволили идентифицировать поверхности стекла различных марок после электронно-лучевого влияния не только по пятнам дыхания, но и по каплям жидкости, которые нанесены на поверхность и рассматриваются как элементы увеличения изображения — линзы.

Ключевые слова: исследования смачивания оптического и технического стекла, идентификация поверхности стекла.

The results of investigation of wet ability of optical and technical glasses after their electron-beam processing (electron energy $E \leq 6$ kV) had been presented. The results to be obtained had allowed identifying the surfaces of various glasses after their electron-beam processing on the base of not only breathing spots but also on the base of liquid drops to be situated on the glass surface and to be considered as elements of image magnification-lens.

Keywords: investigation of the ability optical and technical glasses, identification of glass coating.

1. Буркат Т. М. Ультрапористая трещиноватая структура по-лированной поверхности кварцевого стекла / Т. М. Буркат, Д. П. Добычин, Л. Р. Пальтиель // Физика и химия стекла. – 1988. – Т. 14, № 2. – С. 290–293.
2. Буркат Т. М. Кинетика и механизм сорбции воды на оптической поверхности кварцевого стекла / Т. М. Буркат, Д. П. Добычин, Л. Р. Пальтиель // Докл. АН СССР. 1990. – Т. 310, № 2. – С. 376–379.
3. Пальтиель Л. Р. Структура и адсорбционные свойства поверхности кремнесодержащих оптических материалов и их модифицирующих покрытий: автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Ленинград, 1990. – 19 с.
4. Хайт О. Д. О разрушении и строении разрушенного слоя стекла // Стекло и керамика. – № 3. – 1980. – С. 11–12.
5. Борисов Н. А. Механизм выравнивания поверхности при электронно-лучевой полировке / Н. А. Борисов, Г. В. Дудко // Физико-технические вопросы кибернетики. – К.: 1971. – С. 11–22.
6. Разработка методов полировки плоских и сферических элементов интегральной оптики высших классов оптической чистоты с микронеровностями менее 5 нм / Лисоченко В. Н., Канашевич Г. В., Ващенко В. А. и др. – Отчет по НИР Черкасского филиала КПИ, Черкасы, 1988, 124 с. № гос. регистрации 01.88.0007073.
7. Ващенко В. А. Влияние режимов электронно-лучевой обработки на свойства поверхностных слоев оптических стекол / В. А. Ващенко, Г. В. Канашевич, П. П. Дмитренко и др. // Вісник СумДУ, № 5(38)-6(39), 2002 – С. 99–105.
8. Канашевич Г. В. Применение АСМ в исследовании поверхностей и функциональных слоев в оптических материалах, полученных методом электронной микрообработки // Сб. докладов 6-го Белорусского семинара "БелСЗМ" (12–15 октября, 2004, Минск). – С. 42–44.

9. *Кравченко А. А.* Электронно-лучевая обработка плат фотоэмиттирующих структур: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.27.01. – М., 1989. – 19 с.
10. *Лисоченко В. Н.* Технология электронно-лучевой полировки плат микросхем и входных окон видиконов: дис. ... канд. техн. наук, 05.27.06. – М., 1977. – 152 с.
11. *Канашевич Г. В.* Формирование функциональных слоев и микроэлементов в поверхности стекла электронным потоком // Сб. докладов Пятой Международной научно-технической конференции «ОТТОМ-5» (27 сентября–1 октября, 2004, Харьков).
12. *Канашевич Г. В.* Электронная обработка оптических материалов / Г. В. Канашевич, Д. И. Котельников // Электронная обработка материалов. – 2002. – № 2. – С. 12–16.
13. *Канашевич Г. В.* Градиентные структуры в оптических материалах для интегральной оптики, созданные электронно-лучевым методом / Г. В. Канашевич, Л. И. Конопальцева, В. А. Ващенко // Докл. N Г/Р.46 на IV Европейской конференции-выставке по материалам и технологиям “Восток-Запад”. – С.-Петербург. – 1993.
14. *Kanashevich G. V.* Cooling of plates from optical glass after electronic micro-treatment // Электронная обработка материалов (Кишинеу). – 2005. – No. 4 (234). – С. 79–83.
15. *Канашевич Г. В.* Превращения в поверхностном слое оптического силикатного стекла и фотопластин из силикатного стекла от действия низкоэнергетического электронного потока // Нано- и микросистемная техника. Ежемесячный междисциплинарный теоретический и прикладной научно-технический журнал (Россия). Рубрика: Материаловедческие и технологические основы МНСТ. – 2008. – № 10. – С. 28–30.
16. *Бери Р.* Тонкопленочная технология / Бери Р., Холл П., Гаррис; пер. с англ. – М., Энергия, 1972. – 336 с.
17. *Бородин С. А.* Автоматизированное устройство для оценки степени чистоты подложки по динамическому состоянию капли жидкости, наносимой на ее поверхность / С. А. Бородин, А. В. Волков, Н. Л. Казанский // Компьютерная оптика. – 2005. – № 28. – С. 70–75.
18. *Бородин С. А.* Исследование процесса растекания капли жидкости, наносимой на поверхность подложки // Компьютерная оптика. – 2005. – № 28. – С. 66–69.
19. *Пат. 2380684 С1 Россия*, МПК G01N13/02; G01N21/88. Способ измерения чистоты поверхности подложек / В. А. Соيفер, Н. Л. Казанский, В. А. Колпаков и др.; заявл. 16.10.08, опубл. 27.01.2010.