

ВИСОКОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 621.338.27:537.221

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛАЗЕРНИХ МЕДИЧНИХ ПРИЛАДІВ З ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИМИ СВІТЛОВОДАМИ В УМОВАХ ЗОВНІШНІХ ТЕРМІЧНИХ ДІЙ

¹⁾Яценко І. В., ²⁾Антонюк В. С., ¹⁾Ващенко В. А., ¹⁾Колінько С. О.,
¹⁾Бутенко Т. І., ¹⁾Цибулін В. В.

¹⁾Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

²⁾Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

E-mail: irina.yatsenko.79@ukr.net, v.vaschenko@chdtu.edu.ua, s.kolinko@chdtu.edu.ua
but82016@gmail.com, tsybulin22@gmail.com

Дослідження впливу керованих параметрів електронного променя (густина теплового впливу F_n та швидкості переміщення (сканування) вздовж оброблюваної поверхні V) на такі важливі параметри якості торцевих поверхонь світловодів, як їх чистота та мікрошорсткість, що надають суттєвий вплив на коефіцієнт пропускання ІЧ-випромінювання k_λ , нині обмежені. Тому метою даної роботи є встановлення закономірностей впливу керованих параметрів електронного променя, визначення оптимальних діапазонів їх застосування, які не призводять до руйнування оброблюваних торцевих поверхонь світловодів з оптичного скла (К8, БК10) та максимально збільшують коефіцієнт ІЧ-пропускання шляхом зростання їх чистоти та зменшення мікрошорсткості, що дозволяє підвищувати ефективність приладів в умовах зовнішніх термічних дій.

Дослідження термічної дії електронного променя на елементи з оптичного скла були проведені на спеціалізованому електронно-променеву обладнанні, захищеному патентами України. Для проведення експериментальних досліджень використовувались сучасні методи фізико-хімічного аналізу. Отримані експериментальні дані оброблювались в режимі діалогу та реального часу на ПК з використанням сучасних методів математичної статистики та стандартних прикладних програм, при цьому відносна похибка вимірювання розглядуваних параметрів не перевищує 5...7 %.

Проведено експериментальні дослідження та встановлено оптимальні діапазони зміни параметрів електронного променя (густина теплової дії $F_n = 3 \cdot 10^6 \dots 7 \cdot 10^8$ Вт/м²; швидкості сканування $V = 6 \cdot 10^{-3} \dots 4 \cdot 10^{-2}$ м/с), в межах яких спостерігається найбільш істотне покращення параметрів якості оброблюваних торцевих поверхонь світловодів (підвищення чистоти поверхонь та зменшення їх мікрошорсткості), що призводить до збільшення спектрального коефіцієнта пропускання ІЧ-випромінювання. В результаті зростає гранично допустима дальність розповсюдження лазерного випромінювання у світловодах та забезпечує більш якісну діагностику, терапевтичне та хірургічне лікування, що сприяє підвищенню ефективності лазерних медичних приладів, особливо, при їх експлуатації з врахуванням зовнішніх термічних дій.

Ключові слова: лазерні медичні прилади; оптичне скло; електронний промінь; термічний вплив.

Вступ. Постановка проблеми

Практика використання лазерних медичних приладів з волоконно-оптичними світловодами для діагностики та лікування показує, що одним з основних параметрів, які характеризують їх ефективність, є коефіцієнт пропускання ІЧ-випромінювання k_λ через торцеву поверхню світловоду [1 - 4]. Це обумовлено тим, що k_λ суттєво впливає на гранично допустиму дальність розповсюдження лазерного випромінювання у світловодах, для якої ще можливими є якісна діагностика та терапевтичне і хірургічне лікування. Одно-

час, на значення вказаних параметрів впливає стан торцевих поверхонь світловодів з оптичного скла (К8, БК10 та ін.) [5 - 7].

Широке використання традиційних методів підготовки та обробки оптичного скла (механічних, хімічних, хіміко-механічних та ін.) показало, що неможливо одержати одночасно чисту та бездефектну поверхню, а також бездефектні поверхневі шари (наявність прихованих тріщин, низька чистота поверхні, значні величини мікрошорсткості та ін.), що суттєво впливає на величину k_λ [2, 3, 7]. Крім цього, жорсткі умови застосування

приладів (термічний нагрів при пожежах у складських приміщеннях, де зберігаються прилади, зовнішній радіаційний нагрів при їх транспортуванні у зонах бойових дій та ін.) сприяють подальшому погіршенню стану торцевих поверхонь світловодів (розширення тріщин, поява додаткових пухирців та западин, відколів та ін.), що призводить до ще більшого погіршення їх чистоти та гладкості, різного зменшення k_λ та виходу з ладу приладів [7, 8].

Нині для усунення вказаних негативних дефектів на торцевих поверхнях світловодів найбільш зручним, екологічно чистим та легкокерованим способом фінішної обробки оптичного скла є електронно-променевий метод [5, 7]. Було показано можливості застосування рухомого електронного променя стрічкової форми для полірування елементів з оптичного скла та одержання поверхонь та приповерхневих шарів без вказаних дефектів, що робить їх більш стійкими до зовнішніх термічних впливів [9, 10, 11 – 15, 16].

Однак дослідження впливу керованих параметрів електронного променя (густини теплового впливу F_n (Вт/м²) та швидкості переміщення (сканування) вздовж оброблюваної поверхні V (м/с)) на такі важливі параметри якості торцевих поверхонь світловодів, як їх чистота та мікрошорсткість, нині обмежені [3, 7 - 9]: є дані по впливу окремих значень F_n та V на покращення вказаних параметрів якості поверхонь та величину k_λ ; відсутні систематизовані дослідження по встановленню закономірностей впливу F_n та V для практично реалізованих діапазонів їх зміни, що дозволяють обирати оптимальні значення цих параметрів, які покращують якість оброблюваних поверхонь та максимально збільшують значення k_λ без їх руйнування внаслідок термоударних впливів електронного променя. Тому метою цієї роботи є встановлення закономірностей впливу керованих параметрів електронного променя, визначення оптимальних діапазонів їх застосування, які не призводять до руйнування оброблюваних торцевих поверхонь світловодів з оптичного скла (К8, БК10) та максимально збільшують коефіцієнт ІЧ-пропускання внаслідок зростання їх чистоти та зменшення мікрошорсткості, що дозволяє підвищувати ефективність приладів в умовах зовнішніх термічних дій.

Методики та установки для проведення досліджень

Для дослідження впливу параметрів електронного променя на параметри якості поверхневих шарів елементів з оптичного скла (К8, БК10) використовувались диски діаметром $3 \cdot 10^{-2} \dots 5 \cdot 10^{-2}$ м (при діаметрах торцевої поверхні світловоду $D = 3 \cdot 10^{-4} \dots 4 \cdot 10^{-4}$ м) та товщиною $4 \cdot 10^{-3} \dots 6 \cdot 10^{-3}$ м. Для проведення досліджень термічного впливу електронного променя на елементи з оптичного скла було використано спеціалізоване електро-

нно-променеве обладнання, яке захищене патентами України [17, 18], що дозволяє реалізувати стрічковий електронний промінь шириною $5 \cdot 10^4 \dots 5 \cdot 10^{-3}$ м, довжиною $6 \cdot 10^{-2} \dots 8 \cdot 10^{-2}$ м, густиною теплової дії $F_n = 5 \cdot 10^6 \dots 9 \cdot 10^8$ Вт/м² та швидкістю сканування $V = 5 \cdot 10^{-3} \dots 10^{-1}$ м/с.

Для моделювання теплових впливів на досліджувані елементи при нормальних умовах ($T_0 = 294$ К, $P = 10^5$ Па) та знаходження критичних значень їх параметрів (теплого потоку q_n^* та часу його дії t^*) використовувався керований ІЧ нагрів кварцовими лампами типу КГМ-220-1000-1 з використанням термодатчиків РИФ-101 для контролю температур поверхонь елементів в діапазоні 300...1900 К та теплових потоків, що поступають на них [7 -10].

Для проведення експериментальних досліджень використовувались сучасні методи фізико-хімічного аналізу: методи растрової електронної мікроскопії (РЕМ) та трансемісійної електронної мікроскопії (ТЕМ), методи атомно-силової мікроскопії (АСМ), методи мікрорентгеноспектрального аналізу (МРСА); спектрофотометричні методи визначення спектрального коефіцієнта пропускання оптичних елементів; контактні методи (хромель-алюмесві термопари, діапазон вимірювання температур до 1600 К) та безконтактні методи (фоторезистор ФУО-613, діапазон вимірювання температур до 1500 К).

Отримані експериментальні дані оброблювались в режимі діалогу та реального часу на ПК з використанням сучасних методів математичної статистики та стандартних прикладних програм. При цьому відносна похибка вимірювання розглядуваних параметрів не перевищує 5...7 %.

Результати досліджень та їх аналіз

Встановлено, що чистота поверхні елементів з оптичного скла у класі P після обробки електронним променем, що виміряна у прохідному світлі, підвищується з IV та III до II та I. Контроль площинності та відхилення від площинності елементів показав збереження техніко-експлуатаційних характеристик за точністю поверхні для оптичних елементів ($N = 2$ з точністю $\Delta N = 0,1$; $N = 5$ з точністю $\Delta N = 0,3$), які відповідають допускам, що прийняті в оптико-електронному приладобудуванні [6, 7, 10 - 12].

Також показано (табл. 1), що після фінішної електронно-променевої обробки поверхонь оптичних елементів приладів для параметрів променя з встановлених оптимальних діапазонів їх застосування, відхилення геометричної форми від заданих відповідають прийнятим у оптико-електронному приладобудуванні. Водночас, чистота поверхні оптичних елементів після електронно-променевої обробки підвищується на один клас чистоти (наприклад, для аерофотознімальних об'єктивів з VI на V клас; для дзеркал – з IV на III тощо).

Вивчення топології поверхонь елементів до та після електронно-променевої обробки показують, що у першому випадку мікросорсткість поверхні складає 40...50 нм, а у другому – знижується до рівня 0,7...1,5 нм.

Детальні дослідження структури поверхні елементів з оптичного скла методами АСМ дозволили визначити наступний вплив режимів електронно-променевої обробки на мікросорст-

кість поверхні (рис. 1 – рис. 5): збільшення густини теплового впливу електронного потоку F_n від $8 \cdot 10^6$ Вт/м² до $7 \cdot 10^8$ Вт/м² та зменшення швидкості сканування V від $6 \cdot 10^{-3}$ м/с до $4 \cdot 10^{-2}$ м/с призводить до зменшення висоти мікросорсткості від 7...8 нм до 0,9...1,3 нм; водночас, характер впливу F_n та V на h не залежить від марки скла.

Таблиця 1. Значення допусків на показники якості оптичних елементів, які необроблені та оброблені електронним променем ($F_n = 6 \cdot 10^7$ Вт/м², $V = 8 \cdot 10^{-3}$ м/с)

Елементи оптико-електронних приладів		Допуски на поверхні оптичних елементів за		формою $\Delta N_0, \Delta N^{\text{обр}}$		класами чистоти $P_0, P^{\text{обр}}$	
		кривизною $N_0^*, N^{\text{обр}}$		ΔN_0	$\Delta N^{\text{обр}}$	P_0	$P^{\text{обр}}$
Об'єктиви	коліматорів та астрономічні	1 – 3	3	0,2 – 0,3	0,2	VIII	VII
	аерофотознімальні	1 – 3	3	0,1 – 0,5	0,5	VI	V
	фотографічні	3 – 5	5	0,3 – 0,5	0,3	VI	V
Окуляри, лупи		3 – 5	3	0,5 – 0,1	0,5	V	IV
Призми	що відображують	0,5 – 1	0,5	0,1 – 0,3	0,1	III	II
	що заломлюють	2 – 4	2	0,5 – 1	0,5	IV	III
Світлофільтри за та перед окуляром		5 – 10	5	0,8 – 2	0,8	III	II
Дзеркала		1 – 2	2	0,2 – 0,3	0,3	IV	III

*Примітка. Прийняті наступні позначення: $N_0, \Delta N_0, P_0, N^{\text{обр}}, \Delta N^{\text{обр}}$ та $P^{\text{обр}}$ – значення показників якості необроблених та оброблених електронним променем оптичних елементів відповідно.

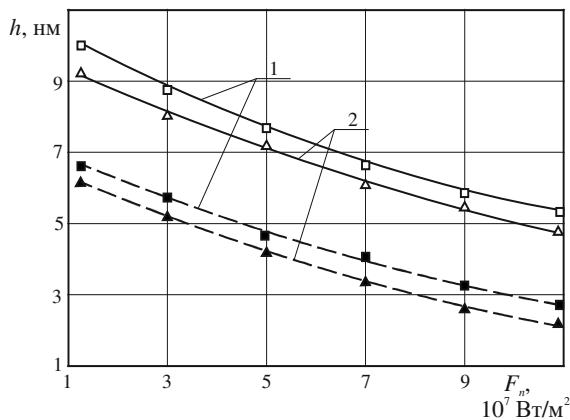


Рис. 1. Залежність величини мікросорсткості поверхні елементів з оптичного скла BK10 (1) та K8 (2) від густини теплового впливу електронного променя: — – швидкість сканування електронного променя $V = 7 \cdot 10^{-2}$ м/с; - - - швидкість сканування електронного променя $V = 5 \cdot 10^{-3}$ м/с; $\Delta, \square, \blacktriangle, \blacksquare$ – експериментальні точки

В результаті проведених досліджень встановлено, що, дійсно, наслідком покращення таких важливих параметрів якості оптичних елементів, як чистота їх поверхні та величина мікросорсткості після електронно-променевої обробки є збільшення на 5...7 % спектрального коефіцієнту пропускання ІЧ-випромінювання $k_\lambda(\lambda)$, λ – довжина

хвилі, для діапазону ІЧ-прозорості елементів з оптичного скла K8, BK10: $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = 0,76...2,25$ мкм (рис. 6, рис. 7).

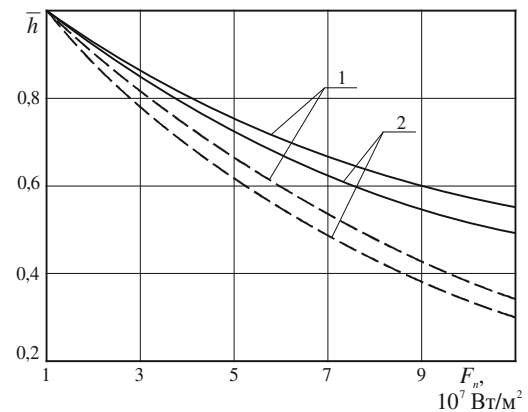


Рис. 2. Залежність відносної величини мікросорсткості поверхні елементів з оптичного скла BK10 (1) та K8 (2) від густини теплового впливу електронного променя ($\bar{h} = \frac{h}{h_0}$, де h – мікросорсткість на обробленій електронним променем поверхні; h_0 – значення мікросорсткостей при $F_n = 10^7$ Вт/м²): — – швидкість сканування електронного променя $V = 7 \cdot 10^{-2}$ м/с; - - - швидкість сканування електронного променя $V = 5 \cdot 10^{-3}$ м/с

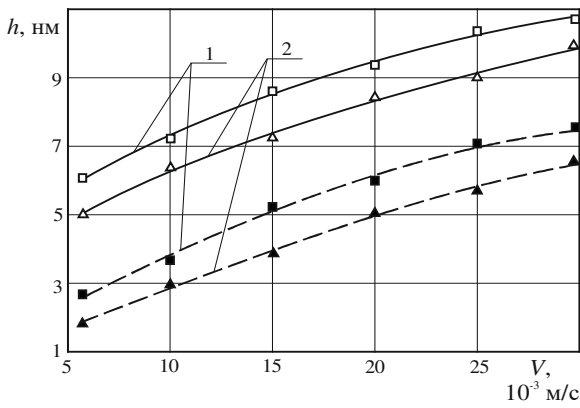


Рис. 3. Залежність величини мікросороткості поверхні елементів з оптичного скла БК10 (1) та К8 (2) від швидкості сканування електронного променя: — — густина теплового впливу електронного променя $F_n = 5 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$; - - - густина теплового впливу електронного променя $F_n = 7 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$; Δ , \square , \blacktriangle , \blacksquare – експериментальні точки

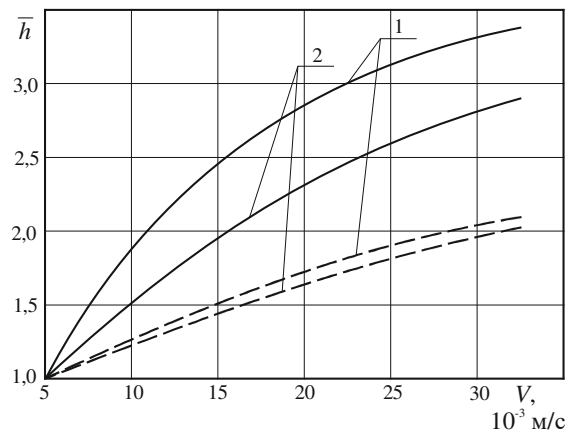


Рис. 4. Залежність величини мікросороткості поверхні елементів з оптичного скла БК10 (1) та К8 (2) від швидкості сканування електронного променя: — — густина теплового впливу електронного променя $F_n = 5 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$; - - - густина теплового впливу електронного променя $F_n = 7 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$

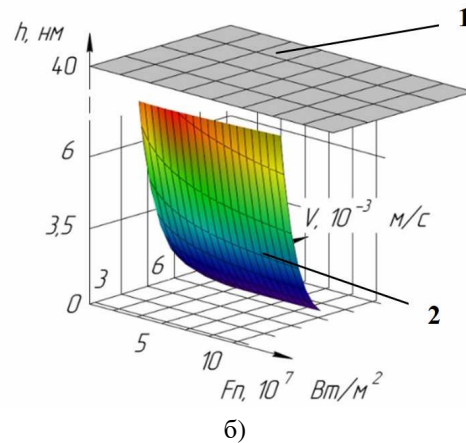
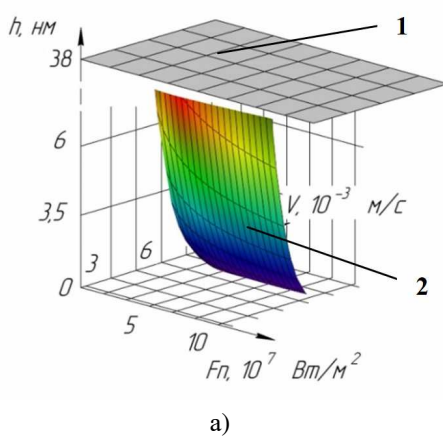


Рис. 5. Залежності $h(F_n, V)$ для елементів з оптичного скла К8 (а) та БК10 (б): 1 – необроблений електронним променем елемент; 2 – оброблений електронним променем елемент

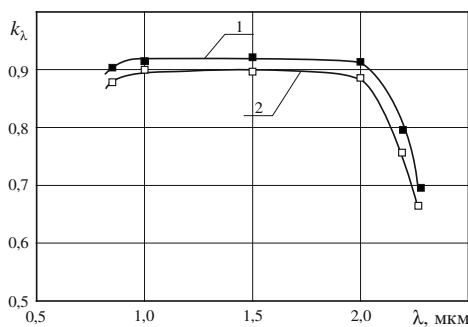


Рис. 6. Залежність спектрального коефіцієнту пропускання ІЧ-випромінювання необроблених електронним променем елементів з оптичного скла К8 (1) та БК10 (2) (товщина елемента $H = 10^{-2} \text{ м}$); \square , \blacksquare – експериментальні точки

Аналіз проведених експериментальних досліджень дозволив встановити наступні оптимальні

режими електронно-променевої технології, в межах яких спостерігається покращення вказаних вище параметрів (чистота торцевої поверхні світловоду та її мікросоротксті, коефіцієнт пропускання ІЧ-випромінювання) - без руйнування оптичних елементів: $F_n = 8 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2 \dots 7 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$; $V = 6 \cdot 10^{-3} \dots 4 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$.

Сучасний рівень розвитку оптико-електронного приладобудування висуває підвищені вимоги до експлуатаційних характеристик їх оптичних елементів (мікротвердості поверхні; спектрального коефіцієнта пропускання; стійкості до зовнішніх термічних та механічних ударів тощо), які впливають на техніко-експлуатаційні характеристики приладів. Застосування електронно-променевої технології для обробки оптичних елементів приладів (імпульсних лазерних далекомірів приладів прицільних комплексів, ІЧ-приладів, лазерних медичних приладів тощо) з оптичного скла та кераміки, елементів з п'єзокераміки, а

також оптичних елементів з нанорозмірними оксидними покриттями визначається потенційно спроможною для якісної обробки поверхонь оптичних елементів, які можуть бути використані в якості елементної бази в різних галузях точного приладобудування.

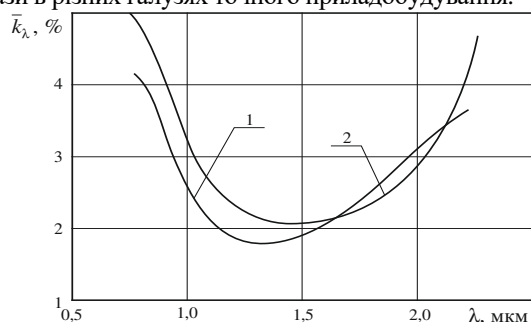


Рис. 7. Залежність відносного спектрального коефіцієнту пропускання ПЧ-випромінювання оптичними елементами з скла К8 (1) та БК10 (2) (товщина плоского шару елемента $H = 10^{-2}$ м;

$$T_0 = 300 \text{ К}; \bar{k}_\lambda = \frac{k_\lambda^{\text{обп}}}{k_{\lambda 0}}, \text{ де } k_\lambda^{\text{обп}} - \text{значення коефіцієнту } k_\lambda \text{ після електронно-променевої обробки; } k_{\lambda 0} - \text{його значення до електронно-променевої обробки; } F_n = 2,5 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2, V = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м/с} \text{ від довжини хвилі.}$$

фiцієнту k_λ після електронно-променевої обробки; $k_{\lambda 0}$ – його значення до електронно-променевої обробки; $F_n = 2,5 \cdot 10^7$ Вт/м², $V = 8 \cdot 10^{-3}$ м/с) від довжини хвилі.

Висновки

Внаслідок проведених досліджень:

1. Встановлено оптимальні діапазони зміни параметрів електронного променя (густини теплового впливу $F_n = 8 \cdot 10^6$ Вт/м²... $7 \cdot 10^8$ Вт/м² та швидкості сканування $V = 6 \cdot 10^{-3}$... $4 \cdot 10^{-2}$ м/с), в межах яких спостерігається покращення параметрів якості оброблюваних торцевих поверхонь світловодів та підвищення коефіцієнту пропускання ПЧ-випромінювання:

- чистота поверхні оптичних елементів з оптичного скла (К8, БК10) у класі Р підвищується з ІV та ІІІ до ІІ та І; контроль відхилення від площинності елементів показав збереження техніко-експлуатаційних характеристик за точністю поверхні для них ($N = 2$ з точністю $\Delta N = 0,1$; $N = 5$ з точністю $\Delta N = 0,3$), які відповідають допускам, що прийняті у оптико-електронному приладобудуванні;

- величина мікросорсткості поверхні оптичних елементів зменшується від 40...50 нм до 0,7...1,5 нм; при цьому тріщини, відколи та інші дефекти у приповерхневих шарах товщиною 200...300 мкм повністю відсутні внаслідок глибокого проплавлення;

- значення спектрального коефіцієнту пропускання ПЧ-випромінювання через торцеву поверхню світловодів для діапазону ПЧ-прозорості оптичного скла К8 та БК10 ($\Delta \lambda = 0,76$... $2,25$ мкм) зростають на 5...7 %.

2. Показано, що фінішна електронно-променева обробка торцевих поверхонь світловодів лазерних медичних приладів призводить до підвищення ефективності їх експлуатації в умовах зовнішніх терміч-

них дій внаслідок покращення параметрів якості оброблюваних поверхонь, що призведе до зростання коефіцієнту пропускання ПЧ-випромінювання та, отже, гранично допустимої дальності розповсюдження лазерного випромінювання у світловодах, яка забезпечує найбільш якісну діагностику, терапевтичне та хірургічне лікування.

Література

- [1] Лазерна хірургія. Матеріали науково-практичної конференції «Актуальні питання застосування лазерів в медицині – 2020» (30-31 жовтня 2020 р.); укл. В. В. Холін, А. В. Корунець. Черкаси, Україна: Вертикаль, видавець С. Г. Кандич, 2021.
- [2] *Сучасні аспекти лазерної терапії*. В. Д. Попов, Ред. Черкаси, Україна: Вертикаль, 2012.
- [3] I. V. Yatsenko, S. V. Antonyuk, V. A. Vaschenko, V. V. Tsybulin, "Prevent Potential Destruction of the Optical Elements of Precision Instrumentation to External Thermo-influences", *J. Nano- Electron. Phys.*, vol. 8, no.1, 01027, 2016. DOI: 10.21272/jnep.8(1).01027.
- [4] Експериментальні і клінічні аспекти фотодинамічної терапії. Матеріали міжнародного науково-практичного семінару (15-16 березня 2013 р.). Черкаси, Україна: Вертикаль, видавець С.Г. Кандич, 2013.
- [5] В. А. Ващенко, Д. І. Котельников, Ю. Г. Лега, Д. М. Краснов, І. В. Яценко, О. В. Кириченко, *Тепловые процессы при электронной обработке оптических материалов и эксплуатации изделий на их основе. Монография*. Київ, Україна: Наукова думка, 2006.
- [6] *Handbook of Optical Engineering*, Ed. Daniel Malacara. CRC Press, 2020.
- [7] В. А. Ващенко, І. В. Яценко, Ю. Г. Лега, О. В. Кириченко, *Основи електронної обробки виробів з оптичних матеріалів. Монография*. Київ, Україна: Наукова думка, 2011.
- [8] I. V. Yatsenko, "Experimental and statistical models of impact determination of the electron beam parameters on surface layers properties of optical elements in precision instruments building", *Pratsi. Odes'kyi politechnichnyi unyversytet*, Issue 1(48), pp. 63-69, 2016.
- [9] I. V. Yatsenko, V. S. Antonyuk, V. I. Gordienko, O. V. Kiritchenko, V. A. Vaschenko, "The Increase in the Probability of Failure-Free Operation of the IR-Devices Homing and Tracking by the of Electron Beam Processing of Optical Fairings on the Areas", *J. Nano- Electron. Phys.*, vol. 10, no. 4, 04028, 2018. DOI: 10.21272/jnep.10(4).04028
- [10] I. V. Yatsenko, V. P. Maslov, V. S. Antonyuk, V. A. Vashchenko, O. V. Kirichenko, K. M., "Electron Beam Technology in Optoelectronic Instrumentation: High-quality Curved Surfaces and Microprofile Creation in Different Geometric Shapes", *J. Nano- Electron. Phys.*, vol. 13, no. 4, 04034, 2021. DOI: 10.21272/jnep.13(4).04034

- [11] *Handbook of Optical Materials*, Marvin J. Weber, Ed. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2003.
- [12] *Processing, Properties, and Applications of Glass and Optical Materials*. Arun K. Varshneya and Helmut A. Schaeffer, Eds. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2012.
- [13] V. A. Vashchenko, I. V. Yatsenko, Yu. I. Kovalenko, V. P. Kladko, O. Yo. Gudymenko, P. M. Lytvyn, A. A. Korchovyi, S. V. Mamykin, O. S. Kondratenko, V. P. Maslov, H. V. Dorozinska, G. V. Dorozinsky, "Effect of electron-beam treatment of sensor glass substrates for SPR devices on their metrological characteristics", *SPQEO*, 22, no 4, pp. 444 – 451, 2019.
- [14] I. V. Yatsenko, S. V. Antonyuk, V. I. Gordienko, V. A. Vaschenko, "Determining the Critical Parameters of the Electron Beam with Surface Melting of the Optical Elements of Precision Instrumentation", *J. Nano- Electron. Phys.*, vol. 9, no. 1, 01010, 2017. DOI: 10.21272/jnep.9(1).01010
- [15] I. V. Yatsenko, V. S. Antonyuk, V. A. Vashchenko, V. I. Gordienko, S. O. Kolinko, T. I. Butenko, "Determination of Optimal Modes of Electron-Beam Micro-Treatment of Surfaces in Optic Elements", *J. Nano- Electron. Phys.*, vol. 14, no. 4, 04012, 2022. DOI: 10.21272/jnep.14(4).04012
- [16] В. А. Ващенко, В. С. Антонюк, Г. С. Тимчик та ін., *Основи теплоперенесення в елементах оптичного приладобудування. Навч. посібник*, Київ, Україна: НТУУ "КП" 2012.
- [17] Г. В. Канашевич, Ю. І. Коваленко, М. О. Бондаренко, В. А. Ващенко, В. П. Бойко, М. П. Рудь, І. В. Яценко, "Пристрій для електронно-променевого полірування виробів", Патент України № 4177, опубл. 17.01.2005, бюл. № 1.
- [18] Г. В. Канашевич, М. О. Бондаренко, М. П. Рудь, В. А. Ващенко, І. В. Яценко, "Пристрій для електронно-променевої обробки виробів", Патент України № 4752, опубл. 15.02.2005, бюл. № 2.

UDC 621.338.27:537.221

¹I. V. Yatsenko, ²V. S. Antonyuk, ¹V. A. Vashchenko, ¹S. O. Kolinko, ¹T. I. Butenko, ¹V. V. Tsybulin

¹Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

²National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv Ukraine

INCREASING THE EFFICIENCY OF LASER MEDICAL DEVICES WITH FIBER-OPTIC LIGHT GUIDES UNDER THE CONDITIONS OF EXTERNAL THERMAL EFFECTS

Study of the influence of the controlled parameters of the electron beam (the density of the thermal effect F_n and the speed of movement (scanning) along the treated surface V) on such important parameters of the quality of the end surfaces of the light guides as their cleanliness and micro-roughness, which have a significant impact on the transmission coefficient of IR radiation k_λ , are now limited. Therefore, the purpose of this work is to establish the regularities of the influence of the controlled parameters of the electron beam, to determine the optimal ranges of their application, which do not lead to the destruction of the treated end surfaces of light guides made of optical glass and maximize the IR transmission coefficient by increasing their purity and reducing micro-roughness, which makes it possible to increase the efficiency of devices in conditions of external thermal effects.

The study of the thermal effect of an electron beam on optical glass elements was carried out on specialized electron beam equipment protected by Ukrainian patents. Modern methods of physical and chemical analysis were used to conduct experimental research. The obtained experimental data were processed in dialogue mode and in real time on a PC using modern methods of mathematical statistics and standard application programs. At the same time, the relative measurement error of the considered parameters does not exceed 5...7 %.

Experimental studies were carried out and optimal ranges of electron beam parameter changes were established (thermal action density $F_n = 3 \cdot 10^6 \dots 7 \cdot 10^8$ W/m²; scanning speed $V = 6 \cdot 10^{-3} \dots 4 \cdot 10^{-2}$ m/s), within in which the most significant improvement in the quality parameters of the processed end surfaces of light guides is observed (increasing the cleanliness of the surfaces and reducing their micro-roughness), which leads to an increase in the spectral transmittance of IR radiation. As a result, the maximum allowable range of propagation of laser radiation in light guides increases and provides better diagnostics, therapeutic and surgical treatment, which contributes to increasing the efficiency of laser medical devices, especially when they are operated taking into account external thermal effects.

Keywords: laser medical devices; optical glass; electron beam; thermal effect.

Надійшла до редакції
24 жовтня 2023 року

Рецензовано
20 листопада 2023 року



© 2023 Copyright for this paper by its authors.
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).