

УДК 621.317:621.373.826.038:658.56

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ОПТИЧНИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ З ЕЛЕКТРОННИМ ОБРОБЛЕННЯМ ПОВЕРХНІ

© Малецький Євгеній, 2008

ДП “Чернігівстандартметрологія”, вул. П’ятницька, 110, а, Чернігів, 14005, Україна
trei@cherncsm.com.ua

Відображено напрямки розвитку метрологічного забезпечення дослідного виробництва оптичних мікроелементів за допомогою розроблення програми метрологічного забезпечення та використання методу атомно-силової мікроскопії для вимірювання шорсткості у нанометровому діапазоні.

Отображены направления развития метрологического обеспечения опытного производства оптических микроэлементов путем разработки программы метрологического обеспечения и применения метода атомно-силовой микроскопии для измерения шероховатости в нанометровом диапазоне.

The directions of development of metrological guarantee for experimental production of microoptical elements by elaboration of metrological guarantee program and application of atomic force microscopy method for measuring of roughness in nanometre range has been demonstrated.

Сучасний рівень інформаційних технологій, в основі яких носієм інформації є світло, пришивидив перехід від об’ємної оптики до мікрооптики з використанням мікро- та нанотехнологій. Оптичні мікроелементи (ОМЕ) виготовляються подібно до елементів мікроелектроніки на єдиній основі — платі. Розміри ОМЕ лежать у діапазоні від одиниць мікрон до одиниць міліметрів, тому їхня якість зумовлена характеристиками поверхні та приповерхневого шару: бездефектністю, хімічною однорідністю матеріалу на глибину до 10 мкм [1, 2].

Глибоке шліфування – полірування, хімічне, хіміко-механічне, полум’яне полірування не забезпечують вимог за залишковим нанорельєфом та бездефектністю поверхні. Відомі методи лазерного, інфрачервоного, іонно-променевого та електронно-променевого оброблення оптичного скла [3, 4].

Одним з перспективних та універсальних інструментів мікротехнології є електронні потоки — метод оброблення потоком електронів з питомою потужністю до 1×10^3 Вт/см². Для створення потоку електронів використовується електронна гармата Пірса з високоевольтним джерелом живлення на базі сучасного вакуумного обладнання. Фізичною основою використання електронних потоків для оброблення є електропровідність оптичного скла. Для збільшення електропровідності поверхню скла нагрівають до температур від 400 до 600 °С. Під час оброблення

електронний потік переміщується по поверхні скла зі швидкістю від 0,5 до 10 см/с. Залежно від потужності та швидкості переміщення електронного потоку поверхня скла проплавляється на глибину від 1 до 100 мкм.

Цикл оброблення скла складається зі стадій попереднього нагрівання виробів, електронно-променевої дії та охолодження виробів. На стадії попереднього нагрівання здійснюється зневоднення, знегаження поверхні скла та зняття залишкових термонапружень від попередніх стадій оброблення.

На стадії променевої дії скло обробляється електронним потоком:

§ полірування зі зменшенням шорсткості до значень від 3 до 5 нм;

§ модифікування за хімічним складом поверхневого шару скла — збіднення лужними сполуками;

§ утворення мікрорельєфу;

§ терморозколювання.

На стадії охолодження виробів здійснюється термовитримка для збереження мікрорельєфу та зменшення залишкових термонапружень.

Визнаними перевагами електронного оброблення є [5, 6]:

§ можливість точного та гнучкого керування технологічним процесом зміною прискорювальної напруги, струму та швидкості руху по оброблюваній поверхні електронного потоку;

§ регулювання глибини термічного впливу електронного потоку на матеріал;

§ можливість отримання необхідних питомих потужностей;

§ екологічна чистота технологічного процесу;

§ технологічна сумісність електронного оброблення матеріалів з технологіями мікроелектроніки.

Прикладом успішного використання електронного оброблення у мікрооптиці є продукція фірми LIMO (Lissotschenko Mikrooptik GmbH, Німеччина, www.limo.de).

У Черкаському державному технологічному університеті досліджено використання електронного оброблення для створення виробів мікрооптики. За його результатами визначено можливості одержання інтегрованих на окремій пласті оптичних мікроелементів з параметрами поверхонь, не гіршими за світові зразки [7—9]. На рис. 1 подано зразки фокусувальних мікролінз.

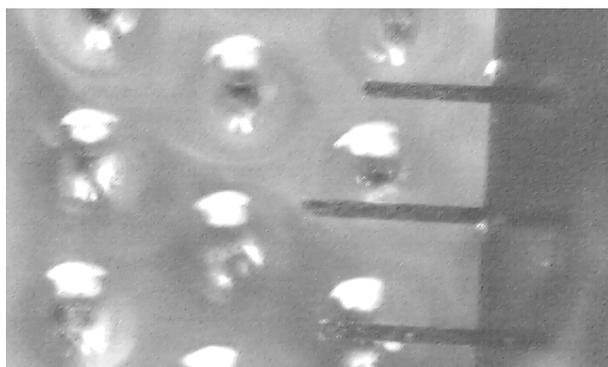
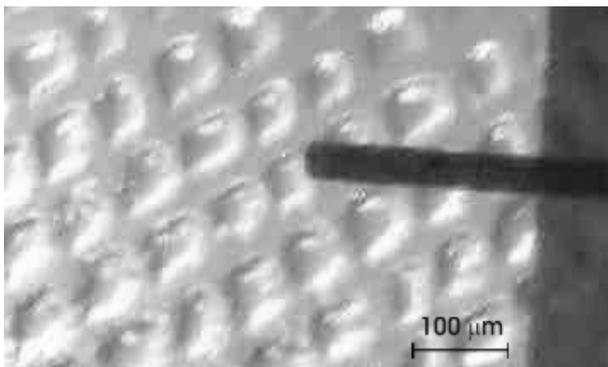


Рис. 1. Зразки фокусувальних мікролінз на поверхні пластини із силікатного скла, створені за технологією фотолітографії з подальшим проплавленням поверхневого шару електронним потоком

Для переходу від науково-дослідних до дослідно-конструкторських робіт та промислового виробництва

заплановано виконати комплекс заходів щодо якості та конкурентоспроможності ОМЕ.

Складовою заходів є удосконалення метрологічного забезпечення виробництва ОМЕ розробленням та впровадженням відповідної програми задля [10—14]:

§ задоволеності споживачів;

§ якості та конкурентоспроможності ОМЕ;

§ стабільності, точності та відтворюваності параметрів під час серійного виробництва;

§ перевіряння параметрів та характеристик ОМЕ;

§ ефективності управління, автоматизації та комп'ютеризації процесів виготовлення та перевірки ОМЕ.

Під час освоєння виробництва ОМЕ у програмі метрологічного забезпечення заплановано виконати:

§ аналізування стану метрологічного забезпечення;

§ виконання метрологічної експертизи конструкторської та технологічної документації;

§ калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ);

§ атестацію випробувального обладнання (ВО);

§ розроблення та атестацію методик виконання вимірювання;

§ розроблення, виробництво, атестацію нестандартизованих ЗВТ та ВО;

§ розроблення автоматизованої системи управління технологічними процесами;

§ створення системи керування вимірюванням у складі інтегрованої системи управління.

Програма метрологічного забезпечення охоплює такі стадії:

§ маркетингові дослідження;

§ проектування та розроблення;

§ закупівля сировини, матеріалів, виробів та послуг;

§ виробництво;

§ перевірка.

У результаті виконаних досліджень, аналізу літератури та нормативної документації [15—31] визначено:

§ на стадії закупівлі стан метрологічного забезпечення задовільний;

§ на стадії виробництва під час технологічної операції — електронне оброблення поверхневого ша-

ру — метрологічне забезпечення потребує удосконалення;

§ на стадії перевірки під час технологічної операції — вимірювання параметрів шорсткості поверхні ОМЕ — стан метрологічного забезпечення незадовільний.

Вимірювання шорсткості поверхні ОМЕ після електронного оброблення можливе із застосуванням методу атомно-силової мікроскопії [32—36]. У роботі [36] повідомляється про створення еталонної тривимірної лазерної інтерферометричної системи вимірювань нанопереміщень на базі атомно-силового мікроскопа (АСМ). Установка має такі параметри:

§ діапазон переміщень по осях Х та Y становить від 1 до 3000 нм з точністю вимірювання 0,5 нм;

§ діапазон переміщень по осі Z становить від 1 до 1000 нм з точністю вимірювання від 0,5 до 3 нм.

Під час досліджень для оцінювання шорсткості поверхні ОМЕ після електронного оброблення використовувався АСМ NT—206V (ОДО “Микро-

тестмашины”, Гомель, Білорусь) з зондами CSC38 (Mikromash). На рис. 2 подано загальний вигляд АСМ NT-206 [33].



Рис. 2. Загальний вигляд АСМ NT-206 у базовій конфігурації: блок сканування з блоком електроніки управління

Порівняння оцінювальних параметрів шорсткості поверхні ОМЕ та вимог нормативної документації подано у таблиці.

Порівняння параметрів шорсткості

Параметри шорсткості*			
Оцінювальні після електронного оброблення	Найменші значення, що встановлені у ГОСТ 2789 [21]	Державний спеціальний еталон згідно з ГОСТ 8.296 [20]	Вихідний еталон України. Міра шорсткості з регулярним профілем 1-го розряду [30]
R_z від 0,002 до 0,005 мкм; базова довжина $L = 0,05$ мм	R_z від 0,032 до 0,025 мкм включно; базова довжина $L = 0,08$ мм	У діапазоні від 0,025 до 1600 мкм: для R_{max} , R_z від 0,1 до 1 мкм $S = 0,005$ мкм, $\theta = 0,005$ мкм. для R_{max} , R_z від 1 до 1000 мкм $S = 0,05$ мкм, $\theta = 0,05$ мкм	$R_a = 0,89$ мкм $\Delta = \pm 0,007$ мкм $R_z = 0,42$ мкм $\Delta = \pm 0,01$ мкм $R_{max} = 2,58$ мкм $\Delta = \pm 0,05$ мкм

Примітка.*

R_{max} — найбільша висота нерівностей профілю;

R_a — середнє арифметичне відхилення профілю;

Δ — границя допустимої абсолютної похибки;

Для удосконалення метрологічного забезпечення виробництва ОМЕ з електронним обробленням поверхні, підвищення якості оцінювання параметрів шорсткості поверхні ОМЕ після електронного оброблення запропоновано:

1. Створити ЗВТ на базі АСМ NT—206V.
2. Виконати метрологічну атестацію ЗВТ на базі АСМ NT—206V з використанням атестованої міри.
3. Здійснити дослідження щодо розроблення методики вимірювання шорсткості поверхні ОМЕ з урахуванням результатів дослідження за оцінкою шорсткості.

R_z — висота нерівностей профілю по десяти точках;

S — середнє квадратичне відхилення результату вимірювання;

θ — не вилучена систематична похибка.

4. Виконати звірення результатів вимірювання ЗВТ на базі АСМ NT—206V.

1. Волноводная оптоэлектроника: Пер. с англ. / Под ред. Т. Тамира. — М.: Мир, 1991. — 575 с.
2. Ланда К. А., Петровский Г. Т. Амorfные планарные волноводы. — Красноярск: Изд-во Красноярского унта, 1978. — 196 с.
3. Борисов Н. А., Дудко Г. В. Механизм выравнивания поверхности при электронно-лучевой полировке // Физико-технические вопросы кибернетики. — Киев. — 1971. — С. 11—22.
4. Бочок М. П., Бутко М. П., Ващенко В. А., Канашевич Г. В., Котельников Д. І. Спеціальні методи обробки

- оптичного скла (технологія, техніка, економіка): Навч. посібник за ред. акад. ІАУ, проф. Д. І. Котельнікова. — Чернівці: ЧДТУ, 2002. — 152 с.
5. Разработка теоретических основ электронно-лучевой технологии и полупроводникового приборостроения. — Отчет по НИР № 76018523. — Таганрог: Таганрог. радиотехн. ин-т. — 1979 г.
6. Разработка макета установки для электронно-лучевой полировки подложек видиконов. — Отчет по НИР № 81015077. — Таганрог: Таганрог. радиотехн. ин-т. — 1983 г.
7. Разработка методов полировки плоских и сферических элементов интегральной оптики высших классов оптической чистоты с микронеровностями менее 5 нм. — Отчет по НИР № 01.88.0007073. — Черкассы: Черкас. ф-л КПИ. — 1988. — 124 с.
8. Канашиевич Г. В. Термічна електронно-променева обробка скляних плат оптичних інтегральних схем. — Черкаси: ЧДТУ, 2002. — 162 с.
9. Kanashevich G.V. Microtreatment of surfaces of plates from optical glass by a low-energy band electronic stream // Efficiency of realization of scientific, resource and industrial potential in modern terms: Materials of the Fourth annual Industrial conference with international participation and exhibition. 2004, 27 February. Slavskoe, Carpathians. — Kiev: UITs “SCIENCE, TECHNIQUE, TECHNOLOGY”, 2004. — P. 232–233 (Канашиевич Г. В. Мікрообробка поверхонь пластин оптичного скла низько енергетичним стрічковим електронним потоком // Ефективність реалізації наукового, ресурсного та промислового потенціалу в сучасних умовах. Матеріали 4-ої щорічної Промислової конференції з міжнародною участю та виставкою. 2-7 лютого 2004, Славсько, Карпати. — Київ: Наука, техніка, технологія, 2004. — С. 232–233.).
10. Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність” від 11.02.1998 № 113/98-ВР (У редакції Закону України від 15.06.2004 № 1765-IV).
11. ДСТУ 3815—98 (ISO 10005:1995(E)). Управління якістю. Настанови щодо програм якості.
12. ДСТУ ISO 10012:2005 (ISO 10012:2003, IDT) Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання.
13. Рейх Н. Н., Тупиченков А. А., Цейтлин В. Г. Метрологическое обеспечение производства: Учебн. пособие для ВИСМ / Под ред. к.т.н. Л.К. Исаева. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — 248 с.
14. Ткачик О., Барахтян В. Метрологічна експертиза науково-технічної документації. Сучасні підходи та досвід // Метрологія та прилади. — 2006. — № 1. — С. 33—37.
15. Топорец А. С. Оптика шероховатой поверхности. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. — 1988. — 191 с.: ил. 16. ISO 9211-2:1994. Optics and optical instruments – Optical coatings – Part 2: Optical properties. (Оптика та оптичні прилади. Оптичні покриття. Ч. 2. Оптичні властивості.).
17. ДСТУ ISO 10110-3:2004 (ISO 10110-3:1996, IDT). Оптика та оптичні прилади Готування креслеників оптичних елементів та систем. Частина 3. Дефекти матеріалу. Пухирці та вкраплення.
18. ДСТУ ISO 10110-5:2004 (ISO 10110-5:1996, IDT). Оптика та оптичні прилади. Готування креслеників оптичних елементів та систем. Частина 5. Допуски на форму поверхні.
19. ДСТУ ISO 10110-7:2004 (ISO 10110-7:1996, IDT). Оптика та оптичні прилади. Готування креслеників оптичних елементів та систем. Частина 7. Допуски на дефекти поверхні.
20. ГОСТ 8.296—78. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений параметров шероховатости R_{max} и R_z в диапазоне 0,025÷1600 мкм.
21. ГОСТ 2789—73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики.
22. ГОСТ 3519—91. Материалы оптические. Методы определения двулучепреломления.
23. ГОСТ 3520—92. Материалы оптические. Методы определения показателей ослабления.
24. ГОСТ 3521—81. Стекло оптическое. Метод определения бесцветности.
25. ГОСТ 3522—81. Материалы оптические. Метод определения пузырности.
26. ГОСТ 11141—84. Детали оптические. Классы чистоты поверхности. Методы контроля.
27. ГОСТ 26302—93. Стекло. Методы определения коэффициентов направленного пропускания и отражения света.
28. ГОСТ 28869—90. Материалы оптические. Методы измерений показателя преломления.
29. Перелік державних еталонів, створених в Україні, і нормативних документів на державні повірочні схеми станом на 01.01.2006 // Збірник нормативно-правових актів України та організаційно-методичних документів з питань метрології / Держ. ком. України з питань техн. регулювання та спожив. політики. — К.: ТОВ “Авега”. — Вип. 6 / Уклад.: Р. Домницький та ін. — 2006. — 350 с. — Дод. (58 с.)
30. Перелік вихідних еталонів України. Затверджено наказом Держспоживстандарту України від 26.08.2005 № 224 // Там же.
31. Гафанович Г. VIII засідання робочої групи з вимірювання геометричних величин Ради метрологів // Метрологія та прилади. — 2006. — № 2. — С. 65—66.
32. Суслов А. А., Чижик С. А. Сканирующие зондовые

микроскопы // *Материалы, технологии, инструменты.* — 1997. — № 3. — С. 78—89. 33. Суслов А. А., Чикунов В. В., Шашолко Д. И., Чижик С. А. Атомно-силовой микроскоп NT-206: Новые возможности // *Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии. VI Международный семинар. Сборник докладов. Минск, 12–15 октября 2004 г.* — Минск: Ин-т тепло- и массообмена им. А.В Лыкова НАН Беларуси, 2004. — С. 123–130. 34. Канашиевич Г.В. Применение АСМ в

исследовании поверхностей и функциональных слоев в оптических материалах, полученных методом электронной микрообработки // *Там же* — С. 42–44. 35. Ковшов С. Б., Купко В. С., Лукин И. В. Проблемы метрологического обеспечения сканирующей зондовой микроскопии в нанотехнологиях // *Український метрологічний журнал.* — 2005. — № 2. — С. 35–41. 36. Тодуа П. А. Метрологія в нанотехнології // *Российские нанотехнологии.* — 2007. — № 1-2. — Том 2. — С. 61-69.

ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТЕНЦІАЛІВ СІТКІВКИ ОКА

© Ткачук Роман, Янець Віталій, 2008

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

Розглянуто особливі підходи побудови електронної апаратури при дослідженнях біопотенціалів в ранній діагностиці захворювань ока і зорового аналізатора.

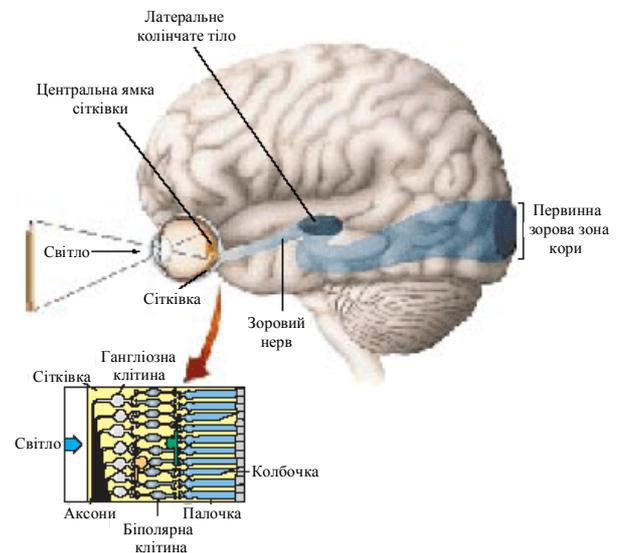
Рассмотрено особенные подходы к построению электронной аппаратуры при исследовании биопотенциалов в ранней диагностике заболеваний глаза и зрительного анализатора.

Methods of researcher evoked potentials in diagnostics of early eye disease and visual analyzer are represented in the article.

Для ранньої діагностики захворювань сітківки ока та зорового аналізатора лікарі передових країн почали широко використовувати методи електроретинографії, які ґрунтуються на аналізі електроретинограми (ЕРГ), що являє собою графічне вираження електричної реакції множини клітинних елементів сітківки ока на зовнішнє подразнення.

ЕРГ реєструють, вимірюючи сумарний електричний потенціал сітківки ока в екіпотенціальних поверхнях відносно референтної точки на лобі. Викликані електричні потенціали, які виникають у вигляді реакції на світловий стимул (спалахи світла різної довжини хвилі, інтенсивності, частоти повторення та локалізації зони подразнення) запам'ятовуються, аналізуються. Результати відображаються на моніторі ПЕОМ.

Методи дослідження. Основоположником клінічної електрофізіології органів зору є шведський вчений-офтальмолог Кагре, який для досліджень використовував оригінальні контактні лінзи американського фізіолога Riggs [1, 6].



Порівняння електричних і світлових подразників ока досліджував О.П. Марков, який виявив, що латентний період (час від подавання стимулу до появи реакції) для електричного подразнення на 50 — 80 мс коротший, ніж для світлового. Світловий стимул подразнює на 50 – 100 мс раніше від електричного, щоб реакція від обох подразнень реєструвалися