| | |
|---|---|
| | **Силабус навчальної дисципліни**<br><br>**“Основи обробки матеріалів та одержання виробів з них”** |
| **Напрям підготовки** | **Доктор філософії** |
| **Галузь знань** | **13 Механічна інженерія** |
| **Спеціальність** | **132 Матеріалознавство** |
| **Освітньо-наукова програма** | **«Монокристалічні, керамічні та наноструктурні матеріали»** |
| **Статус дисципліни** | **Нормативна** |
| **Семестр** | **4** |
| **Кількість кредитів ЄКТС** | **3** |
| **Форма підсумкового контролю** | **Залік** |
| **Викладач** | **Вовк Олена Олександрівна**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник Інституту монокристалів Національної академії наук України<br>CV: https://isc.kharkov.ua/wp-content/uploads/2026/09/cv_vovk_olena_en_2026.pdf<br>e-mail: ov2017@gmail.com, vovk@isc.kharkov.ua<br>ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7821-1738<br>Scopus: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7003399252<br>Web of Science: https://www.webofscience.com/wos/author/record/AAJ-5646-2021 |
| **Анотація навчальної дисципліни** | Знайомство з оптичними матеріалами та виробами з них, з основами обробки матеріалів, особливостями, умовами та механізмами основних етапів виготовлення оптичних деталей, основними та допоміжними матеріалами, інструментом та технологічним устаткуванням для обробки, основними характеристиками оптичних виробів та методами їх контролю. |
| **Загальний обсяг** | 90 годин: лекції – 40 годин; практичні заняття – 10 годин; самостійна робота – 40 годин |
| **Тематичний план навчальної дисципліни** | |
| **Вступ.** Інститут монокристалів, напрямки роботи. Оптичні матеріали, що виробляються в інституті та методи їх отримання. Виготовлення оптичних деталей.<br><br>**Розділ 1. Види оптичних матеріалів, їх властивості та виготовлення оптичних деталей**<br>**Тема 1. Оптичні матеріали, вироби з них.** Специфікація виробів. Види оптичних матеріалів. Оптичне скло, номенклатура оптичного скла. Скло для ІЧ-діапазону, | |

для лазерних елементів, кварцове скло, ситали. Оптичні монокристали, для ІЧ-діапазону, для лазерної генерації. Оптичні полікристали (оптична кераміка).

**Тема 2. Оптичні деталі. Креслення.** Вимоги до матеріалу. Вимоги до точності виготовлення. Параметри оптичних деталей, що контролюються.

**Тема 3. Основні етапи обробки оптичних матеріалів.** Контроль якості матеріалу. Різання. Шліфування закріпленим та вільним абразивом. Механічне полірування, фінішне полірування. Взаємодія одиничного алмазного зерна з оброблюваною поверхнею при механічній обробці. Полірування: механічне, хіміко-механічне, хімічне. Обладнання.

**Тема 4. Абразивні матеріали та інструмент**. Класифікація абразивних матеріалів та їх основні параметри. Зернистість порошків абразивних матеріалів та їх позначення.. Алмазний інструмент. Шліфувальники, полірувальники. Допоміжні матеріали.

**Тема 5. Виготовлення оптичних деталей із скла**. Виготовлення заготовок, відпал. Шліфування зв'язаним та вільним абразивом. Суспензії для шліфування. Механічне полірування.

**Розділ 2. Обробка оптичних кристалічних матеріалів. Порушений приповерхневий шар: структура та методи дослідження. Виготовлення деталей з сапфіру.**

**Тема 6. Оптичні кристалічні матеріали та особливості їх механічної обробки.** Основні фізико-механічні та фізико-хімічні властивості оптичних кристалічних матеріалів Методи контролю якості кристалів. Кристалографічне орієнтування кристалів. Механічна обробка кристалів в залежності від мікротвердості. Механічна обробка оптичних кристалічних матеріалів з мікротвердістю більше $10^6$ Па.

**Тема 7. Порушений приповерхневий шар при механічній обробці.** Причини його утворення та поетапне видалення. Структура порушеного приповерхневого шару. Еволюція поверхні в процесі обробки, шорсткість. Структурна досконаліть поверхні, криві дифракційного відбиття.

**Тема 8. Сапфір та виготовлення деталей з сапфіру.** Фізичні властивості. Градації якості сапфіру. Конструкційний сапфір. Виготовлення оптичних вікон, підкладок. Кристалографічне орієнтування кристалів. Різання, шліфування. Механічне полірування, абразивні порошки, пасти. Хіміко-механічне полірування сапфіру, механізм. Полірувальні суспензії. Анізотропія полірування різних кристалографічних площин сапфіру, кутова анізотропія. Одержання підкладок з сапфіру з терасно-ступінчатим рельєфом поверхні. Атомно-силова мікроскопія в дослідженні поверхні.

**Розділ 3. Виготовлення прецизійних елементів для лазерної техніки та вікон спецпризначення. Виготовлення оптичних елементів з прозорої кераміки. Обробка кристалів з мікротвердістю менше 106 Па.**

**Тема 9. Обробка кристалів з мікротвердістю менше $10^6$ Па.** Обробка водорозчинних кристалів, напівпровідникових матеріалів. Механічне та хіміко-механічне полірування напівпровідникових матеріалів. Безконтактне полірування. Методи контролю основних параметрів.

**Тема 10. Виготовлення оптичних елементів з прозорої кераміки.** Класифікація оптичної кераміки за хімічним складом, способи виготовлення. Фактори, що впливають на оптичні властивості. Застосування оптичних керамік в якості захисних вікон та в лазерній техніці. Особливості обробки керамічних матеріалів. Виготовлення оптичних елементів з прозорої кераміки.

**Тема 11. Виготовлення прецизійних елементів для лазерної техніки та вікон спецпризначення**. Вимоги до технічних параметрів виробів: якість матеріалу, площинність, перпендикулярність, клин, оптична якість поверхні. Основні етапи технологічного процесу виготовлення елементів з сапфіру, гранатів, боратів, магній-алюмінієвої шпінелі. Особливості фінішного етапу полірування.

**Структура навчальної дисципліни**

| Розділи і теми | Кількість годин | | | |
|---|---|---|---|---|
| | усього | у тому числі | | |
| | | лекції | практика | сам. роб. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| **Розділ 1** | | | | |
| Вступ | | 3 | | |
| Тема 1 | | 4 | | 4 |
| Тема 2 | | 5 | | 4 |
| Тема 3 | | 5 | | 5 |
| Тема 4 | | 6 | | 5 |
| Тема 5 | | 3 | | 3 |
| Разом за розділом 1 | **47** | **26** | | **21** |
| **Розділ 2** | | | | |
| Тема 6 | | 1 | | 1 |
| Тема 7 | | 1 | 5 | 1 |
| Тема 8 | | 6 | 5 | 5 |
| Разом за розділом 2 | **25** | **8** | **10** | **7** |
| **Розділ 3** | | | | |
| Тема 9 | | 2 | | 2 |
| Тема 10 | | 2 | | 2 |
| Тема 11 | | 2 | | 2 |
| Разом за розділом 3 | **12** | **6** | | **6** |
| | | | | |
| Залік | **6** | | | **6** |
| **Усього годин** | **90** | **40** | **10** | **40** |

**Теми практичних занять**

| № | Назва теми | Кількість годин |
|---|---|---|
| П1 | Виготовлення вікон та підкладок з сапфіру | 5 |
| П2 | Дослідження поверхні методом атомно-силової мікроскопії | 5 |
| | Разом | 10 |

**Методи контролю**

Поточний контроль

Перевірка розуміння аспірантами теоретичного та практичного програмного матеріалу в цілому, здатність творчо використовувати накопичені знання та вміння. Підсумковий контроль (залік).

## Схема нарахування балів

| Поточний контроль, практичні роботи, самостійна робота | | | | | | | | | | | | | | Залік | Сума |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Розділ 1 | | | | | Розділ 2 | | | | | Розділ 3 | | | Разом | | |
| Т1 | Т2 | Т3 | Т4 | Т5 | Т6 | Т7 | Т8 | П1 | П2 | Т9 | Т10 | Т11 | | | |
| **4** | **4** | **4** | **4** | **4** | **4** | **4** | **4** | **8** | **8** | **4** | **4** | **4** | **60** | **40** | **100** |

## Шкала оцінювання

| Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру | Оцінка | |
|---|---|---|
| 90-100 | Відмінно | Зараховано |
| 70-89 | Добре | |
| 50-69 | Задовільно | |
| 1-49 | Незадовільно | Не зараховано |

## Критерії оцінювання

Шляхом усного **опитування** викладач перевіряє розуміння аспірантами теоретичного програмного матеріалу в цілому (оцінюється до 4 балів).

Під час **практичного** заняття перевіряється здатність творчо використовувати накопичені знання та вміння (оцінюється до 4 балів).

**Залік** оцінюється за наступною системою балів:

| | |
|---|---|
| **40 балів** | аспірант продемонстрував глибоке знання змісту питання;<br>відповідь побудована лаконічно, чітко, логічно та послідовно;<br>відповідь демонструє високий рівень засвоєння навчального матеріалу |
| **30-39 балів** | аспірант продемонстрував знання змісту питання;<br>відповідь побудована лаконічно та послідовно, проте допущені певні неточності та похибки логіки викладу матеріалу; |
| **20-29 балів** | аспірант продемонстрував певне знання змісту питання,<br>відповідь є недостатньо послідовною, та логічною; |
| **10-19 балів** | аспірант продемонстрував уявлення з залікового питання, відповідь є фрагментарною, відповідь не послідовна, не логічна, не зовсім відповідає змісту питання |
| **1-20 балів** | відповідь часткова; відповідь не послідовна, не логічна, не зовсім відповідає змісту питання. |
| **0 балів** | відповідь відсутня, або не відповідає змісту питання |

## Питання до заліку

1. Оптичні матеріали та вироби з них. Специфікація виробів. Види оптичних матеріалів.

2. Оптичне скло, номенклатура оптичного скла. Скло для ІЧ-діапазону, для лазерних елементів, кварцове скло, ситали.
3. Оптичні монокристали, для ІЧ-діапазону, для лазерної генерації.
4. Оптичні полікристали (оптична кераміка).
5. Оптичні деталі, етапи виготовлення, контроль параметрів оптичних деталей.
6. Оптичні деталі. Креслення оптичних деталей.
7. Вимоги до матеріалу оптичних деталей. Вимоги до точності виготовлення. Параметри оптичних деталей, що контролюються.
8. Основні етапи обробки: різання, шліфування, механічне полірування, фінішне полірування.
9. Шліфування закріпленим та вільним абразивом. Взаємодія одиничного алмазного зерна з оброблюваною поверхнею при механічній обробці.
10. Полірування: механічне, хіміко-механічне, хімічне.
11. Класифікація абразивних матеріалів та їх основні параметри.
12. Зернистість порошків абразивних матеріалів та їх позначення. Алмазний інструмент. Шліфувальники, полірувальники. Допоміжні матеріали
13. Виготовлення оптичних деталей із скла. Виготовлення заготовок зі скла, відпал.
14. Шліфування зв'язаним та вільним абразивом при виготовленні оптичних деталей із скла. Суспензії для шліфування. Механічне полірування оптичних деталей із скла.
15. Оптичні кристалічні матеріали та особливості їх механічної обробки. Основні-фізико-механічні та фізико-хімічні властивості оптичних кристалічних матеріалів. Кристалографічне орієнтування кристалів. Методи контролю якості кристалів.
16. Механічна обробка кристалів в залежності від мікротвердості. Механічна обробка оптичних кристалічних матеріалів з мікротвердістю більше $10^6$ Па.
17. Порушений приповерхневий шар при механічній обробці. Причини його утворення та поетапне видалення. Структура порушеного приповерхневого шару. Еволюція поверхні в процесі обробки, шорсткість. Структурна досконаліть поверхні, криві дифракційного відбиття.
18. Сапфір та виготовлення деталей з сапфіру. Фізичні властивості сапфіру. Градації якості сапфіру. Конструкційний сапфір. Виготовлення оптичних вікон, підкладок з сапфіру.
19. Кристалографічне орієнтування кристалів сапфіру. Різання, шліфування. Механічне полірування, абразивні порошки, пасти.
20. Хіміко-механічне полірування сапфіру, механізм. Полірувальні суспензії.
21. Анізотропія полірування різних кристалографічних площин сапфіру, кутова анізотропія. Одержання підкладок з сапфіру з терасно-ступінчатим рельєфом поверхні.
22. Методи дослідження поверхні. Шорсткість поверхні. Атомно-силова мікроскопія в дослідженні поверхні.
23. Обробка кристалів з мікротвердістю менше $10^6$ Па. Методи контролю основних параметрів. Обробка водорозчинних кристалів.
24. Обробка напівпровідникових матеріалів. Механічне та хіміко-механічне полірування напівпровідникових матеріалів. Безконтактне полірування.

25. Особливості обробки керамічних матеріалів.

26. Виготовлення оптичних елементів з прозорої кераміки.

27. Виготовлення прецизійних елементів для лазерної техніки та вікон спецпризначення. Вимоги до технічних параметрів виробів: якість матеріалу, площинність, перпендикулярність, клин, оптична якість поверхні.

28. Основні етапи технологічного процесу виготовлення прецизійних елементів з сапфіру, гранатів, боратів, магній-алюмінієвої шпінелі. Особливості фінішного етапу прецизійного полірування.

**Рекомендована література**

**Основна література**

1. Тимчик Г.С. Технологія оптичного приладобудування. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 185 с.

2. Оптичні схеми і креслення оптичних елементів за міжнародним стандартом ISO10110: Методичні вказівки для студентів спеціальності 6.051004 "Оптотехніка". Уклад.: В.М. Тягур., І.Г. Чиж., О.К. Кучеренко - К.: НТУУ «КПІ», 2014, - 82 с.

3. Тимчик Г.С., Філіппова М.В., Маркін М.О. Технологія оптичного виробництва. Навчальний посібник для студентів ВНЗ. – К.: НТУУ «КПІ», 2016.- 168 с.

4. Elena R. Dobrovinskaya, Leonid A. Lytvynov, Valerian Pishchik. Sapphire. Material, Manufacturing, Applications, Shpringer, 2009, 481 p., DOI 10.1007/978-0-387-85695-7.

5. Advances In CMP/Polishing Technologies For The Manufacture Of Electronic Devices, Ed. by Toshiro Doi, Ioan D. Marinescu, Syuhei Kurokawa, Elsevier Inc., 2012, 317 p.

6. Handbook of Lapping and Polishing. Ed. by Ioan D. Marinescu, Eskart Uhlmann, Toshiro K. Doi, CRC Press, 2007, 492 p.

7. Cutting and Polishing Optical and Electronic materials, G. W. Fynn, J. A. Powel, IOP Publishing Ltd., 1988, 229 p.

8. Handbook of Ceramic Grinding & Polishing, Ed. by Ioan D. Marinescu, Hans K. Tonshoff and Ichiro Inasaki, Elsevier Inc., 2015, 486 p.

9. International standart ISO 10110-1:2019 Optics and photonics — Preparation of drawings for optical elements and systems.

**Допоміжна література**

1. Tribology Of Abrasive Machining Processes Second, Ed. by Ioan D. Marinescu, W. Brian Rowe, Boris Dimitrov, Hitoshi Ohmori, Elsevier Inc., 2012, 586 p., DOI 10.1016/B978-1-4377-3467-6.00001-X.

2. E.A. Vovk, A.T. Budnikov, M.V. Dobrotvorskaya, S.I. Krivonogov, Danko A.Ya. Mechanism of the Interaction between $Al_2O_3$ and $SiO_2$ during the Chemical-Mechanical Polishing of Sapphire

with Silicon Dioxide // Journal of Surface Investigation. Xray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2012, Vol. 6, No. 1, pp. 115–121, https://doi.org/10.1134/s1027451012020188.

3. E.A. Vovk. Deagglomeration of aerosil in polishing suspension for chemical-mechanical polishing of sapphire // Functional materials, 2015, V.22, No.1, 110-115, https://doi.org/10.15407/fm22.01.110.

4. E.A. Vovk. Chemical-mechanical polishing of sapphire by polishing suspension based on aerosil // Functional materials, 2015, V.22, No.2, 252-257, https://doi.org/10.15407/fm22.02.252.

5. D. Mittal, J. Hostaša, L Silvestroni et al. Tribological behaviour of Transparent Ceramics: A Review, J. Eur. Cer. Soc., 42(14) 2022, 6303-6334, DOI 10.1016/j.jeurceramsoc.2022.06.080.

6. Yiqing Chen, Liangchi Zhang. Polishing of Diamond Materials. Mechanisms, Modeling and Implementation. Springer-Verlag London 2013, 174 p., DOI 10.1007/978-1-84996-408-1.

7. Hirofumi Suzuki, Mutsumi Okada, Yoshiharu Namba, Tomohiro Goto. Superfinishing of polycrystalline YAG ceramic by nanodiamond slurry, CIRP Annals – Manufacturing Technology 68 (2019) 361-364, DOI 10.1016/j.cirp.2019.04.062.

8. Qiufa Luo, Jing Lu, Xipeng Xu, Feng Jiang. Removal mechanism of sapphire substrates (0001, 11$\bar{2}$0 and 10$\bar{1}$0) in mechanical planarization machining, Ceram. Int. 43(18) (2017) 16178-16184, DOI 10.1016/j.ceramint.2017.08.194.

9. Xiaolei Shi, Guoshun Pan, Yan Zhou, Li Xu, Chunli Zou, Hua Gong. A study of chemical products formed on sapphire (0001) during chemical–mechanical polishing, Surface & Coatings Technology 270 (2015) 206–220.

10. O. O. Vovk, A. V. Voloshin, E. V. Slyunin, L. I. Voloshina, S. I. Kryvonogov & S. V. Nizhankovskyi // Rate material removal when processing titanium-doped sapphire // J. Superhard Materials. 2023, Vol.45, No. 5, pp. 379–387, https://doi.org/10.3103/S1063457623050106

11. Лавріненко В.І., Новиков М.В. Надтверді абразивні матеріали в механообробні: Енциклопедичний довідник / К.: ІНМ ім. В.М.Бакуля НАН України, 2013.− 456 с.