|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

**STUDIJŲ DALYKO (MODULIO) APRAŠAS**

|  |  |
| --- | --- |
| **Dalyko (modulio) pavadinimas** | **Kodas** |
| **Mikro- ir nanodarinių formavimo technologijos** |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Dėstytojas (-ai)** | **Padalinys (-iai)** |
| **Koordinuojantis: dr. Mangirdas Malinauskas**  **Kitas: dokt. S. Varapnickas ir dokt. E. Skliutas (laboratoriniai darbai)** | Fizikos fakultetas, Lazerinių tyrimų centras |

|  |  |
| --- | --- |
| **Studijų pakopa** | **Dalyko (modulio) tipas** |
| Antroji (magistro) | Privalomas |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Įgyvendinimo forma** | **Vykdymo laikotarpis** | **Vykdymo kalba (-os)** |
| Auditorinė | Rudens semestras | Lietuvių, anglų |

|  |  |
| --- | --- |
| **Reikalavimai studijuojančiajam** | |
| **Išankstiniai reikalavimai:**  Optikos, Lazerių fizikos (ar kvantinės elektronikos) kursai | **Gretutiniai reikalavimai (jei yra):** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Dalyko (modulio) apimtis kreditais** | **Visas studento darbo krūvis** | **Kontaktinio darbo valandos** | **Savarankiško darbo valandos** |
| **5** | **140** | **48** | **92** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Dalyko (modulio) tikslas: studijų programos ugdomos kompetencijos** | | |
| Bendrosios: kritinio mąstymo ugdymas, gebėjimas dirbti grupėje su įvairią parengtį turinčiais kolegomis, savarankiškas informacijos apdorojimas ir sugretinimas.  Dalykinės: identifikuoti, suprasti, paaiškinti, palyginti ir praktiškai taikyti pažangias medžiagų mikro- ir nanoformavimo technologijas; suprasti jų fizikinio veikimo principus ir praktinio panaudojimo galimybes; suvokti šiuolaikinės tikslaus medžiagų ir funkcinių miniatiūrinių darinių vystymosi tendencijas ir paplitimą pasaulyje bei Lietuvoje. | | |
| **Dalyko (modulio) studijų siekiniai** | **Studijų metodai** | **Vertinimo metodai** |
| Mikro ir nanodarinių formavimo technologijų problematika ir modernių medžiagų apdirbimo apžvalga | Probleminis dėstymas | Egzaminas raštu, pasirinkto klausimo pristatymas |
| Praktinių įgūdžių formavimas, gebėjimas šviesos technologijomis gaminti 3D mikrodarinius | Labotatoriniai darbai | Laboratorinio darbo rezultatų gynimas |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Temos** | **Kontaktinio darbo valandos** | | | | | | | **Savarankiškų studijų laikas ir užduotys** | |
| Paskaitos | Konsultacijos | Seminarai | Pratybos | Laboratoriniai darbai | Praktika | **Visas kontaktinis darbas** | **Savarankiškas darbas** | **Užduotys** |
| **1.** **Įvadas į fotonų ir elektronų litografijąs.**  Spinduliuotės energija, dozė, galia, intensyvumas, jos grižtamas ir negrižtamas poveikis medžiagai. Litografijos pagrindai: kaukės, medžiagos, technologiniai procesai, galimybės ir ribojimai. | 2 |  |  |  |  |  | **2** | **4** | Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas. |
| **2.** **Tiesioginis lazerinis rašymas (DLW).** Nuoseklus lazerinis rašymas. Paviršinis (2D) ir tūrinis (3D) medžiagų apdirbimai. Adityvus ir subtraktyvus objektų formavimo būdai. CAD-CAM gamyba. Tiesinė ir netiesinė sugertis. | 2 |  |  |  | 4 |  | **6** | **12** | Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, ruošimasis laboratoriniams darbams. |
| **3.** **Netiesinė/daugiafotonė litografija (NLL, 2PP/TPP, MPP).** Netiesinė sugertis tūryje esant aštriam fokusavimu. Griūtinė jonizacija ir terminė akumuliacija. Polimerizacijos ir optinio ardymo slenksčiai. | 2 |  |  |  | 4 |  | **6** | **12** | Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, ruošimasis laboratoriniams darbams. |
| **4.** **STED, RESOLFT, EUV, šviesos lakšto ir kitos pažangios šviesos litografijos atmainos**. Optiniai ir cheminiai reakcijų gesinimo būdai. Žadinimo-gesinimo (daugiaspalvė), ekstremalioji UV, šviesos lakšto litografijos. | 2 |  |  |  |  |  | **2** | **4** | Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas. |
| **5.** **Interferencinė/holografinė ir projekcinė litografijos, skaitmeninis apdirbimas šviesa (DLP).** Daugiapluoštis medžiagų apdirbimas: interferencija ir projekcija. Skaitmeninė (dinaminė) ir dviguba (foto-foto ir foto-termo) ekspozicijos. | 2 |  |  |  | 4 |  | **6** | **12** | Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, ruošimasis laboratoriniams darbams. |
| **6. Minkštoji litografija (Soft-Lithography, Micro-Replication).** Mikroštampavimo ir šablono pernešimo technikos, replikavimas, elastomerinės kaukės, termopolimerai. | 2 |  |  |  | 4 |  | **6** | **12** | Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, ruošimasis laboratoriniams darbams. |
| **7. Nanoįspaudų litografija (NIL).** Nanoįspaudų litografijos ypatumai ir ritinio panaudojimas. | 2 |  |  |  |  |  | **2** | **4** | Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas. |
| **8. Nanosferų litografija (NSL).** Nanosferų (koloidinė) litografija ir saviorganizacija. Daugiapakopė litografija. | 2 |  |  |  |  |  | **2** | **4** | Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas. |
| **9. Elektronų pluošto litografija.** Kaukiųgamyba ir nanoprototipavimasnaudojant elektronų pluoštą, privalumai ir ribojimai lyginant su lazerine litografija. | 2 |  |  |  |  |  | **2** | **4** | Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas. |
| **10. Apdirbimas fokusuotų jonų pluoštu.** Jonų pluošto ypatumai, privalumai ir trūkumai. Panaudojimas ir palyginimas su fotonų pluoštu. | 2 |  |  |  |  |  | **2** | **4** | Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas. |
| **11. Atominių jėgų/terminio zondo litografija.**  Atominių jėgų (kontaktinė) litografija ir terminio zondo litografija. | 2 |  |  |  |  |  | **2** | **4** | Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas. |
| **12. Lazeriu indukuota tiesioginė pernaša (LIFT).**  Impulsinės šviesos spinduliuotės indukuotas medžiagos pernešimas. | 2 |  |  |  |  |  | **2** | **4** | Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas. |
| **13. Nanodalelių generavimas impulsiniais lazeriais skysčiuose (PLAL).** Medžiagų apdirbimas dujose ir skysčiuose, nanodalelių gamyba impulsiniais lazeriais. | 2 |  |  |  |  |  | **2** | **4** | Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas. |
| **14. Alternatyvios 3D spausdinimo atmainos: SLS, SLM, FDM/FFF, InkJet, Binder Jetting.** Selektyvus lazerinis sukepinimas/sulydymas, terminės ekstruzijos liejimas, reaktyvinis medžiagų spausdinimas ir surišimas. | 2 |  |  |  |  |  | **2** | **4** | Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas. |
| **15. Hibridinis (adityvus ir subtraktyvus) precizinis medžiagų 3D apdorojimas.** Adityvaus ir subtraktyvaus lazerinio, elektronų ir jonų pluoštų bei kaukėmis ir pluoštais paremtų medžiagų apdorojimo kombinavimo būdai. | 2 |  |  |  |  |  | **2** | **2** | Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas. |
| **16. MNFT paplitimas Lietuvoje ir pasaulyje, dabar gaminamų funkcinių darinių pavyzdžiai ir ateities perspektyvos.** Pažangių mikro- ir nanodarinių formavimo technologijų poreikis moksle ir praktiniai taikymai, reikšmingi pasiekimai ir vyraujančios tendencijos. | 2 |  |  |  |  |  | **2** | **2** | Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas. |
| **Iš viso** | **32** |  |  |  | **16** |  | **48** | **92** |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Vertinimo strategija** | **Svoris proc.** | **Atsiskaitymo laikas** | **Vertinimo kriterijai** |
| Laboratoriniai darbai – darbo rezultatų aprašas ir gynimas | 20 | Semestro metu | 4 laboratoriniai darbai, ginant kiekvienas darbas vertinamas atskirai, o bendras įvertinimas nuo 0 iki 2 balų, kurie sumuojami su egzamino rezultatais. |
| Pristatymas | 10 | Semestro metu | Pristatymas pasirinkta iš sando tema, atsakymai į klausimus žodžiu, diskusija. Vertinimas 10 balų sistemoje, kuris sudaro iki 1 balo sumuojant su egzamino rezultatais. |
| Egzaminas | 70 | Egzaminų sesijos metu | Egzaminas raštu, 4 klausimai iš viso kurso ir 3 uždaviniai. Vertinamas atsakymas į kiekvieną klausimą/uždavinį: išsamus atsakymas – 1 taškas, nepilnas atsakymas – 0,5 taško, jokio atsakymo/neteisingas atsakymas – 0 taškų, taškai sumuojami. |
| Viso | 100 |  | Suminis balas apvalinamas į didesnę pusę:  <5 balų – neišlaikyta (nepakankamai)  5 balai – silpnai  6 balai – patenkinamai  7 balai – vidutiniškai  8 balai – gerai  9 balai – labai gerai  10 balų – puikiai |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Autorius** | **Leidimo metai** | **Pavadinimas** | **Periodinio leidinio Nr.**  **ar leidinio tomas** | **Leidimo vieta ir leidykla ar internetinė nuoroda** |
| **Privaloma literatūra** | | | | |
| M. Malinauskas | 2020 | MNFT skaidrių konspektas |  | Rankraštis |
| T. Baldacchini | 2020 | Three-Dimensional Microfabrication Using Two-Photon Polymerization | 2nd. Ed. | Elsevier, 512 p. |
| J. Stampfl, R. Liska, A. Ovsianikov | 2016 | Multiphoton Lithography: Techniques, Materials, and Applications |  | Wiley, 386 p. |
| **Papildoma literatūra** | | | | |
| E. Skliutas, M. Lebedevaitė, E. Kabouraki, T. Baldacchini, J. Ostrauskaitė, M. Vamvakaki, M. Farsari, S. Juodkazis, M. Malinauskas | 2021 | Photopolymerization mechanisms at a patio-temporally ultra-confined light | **10**, 1211 | Nanophotonics, De Gruyter, 32 p. |
| S. Varapnickas, M. Malinauskas | 2020 | Processes of Laser Direct Writing 3D Nano-Lithography | Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering | Springer, 31 p. |
| L. Jonušauskas, S. Juodkazis, M. Malinauskas | 2018 | Optical 3D printing: bridging the gaps in the meso-scale | **20**,053001 | Journal of Optics, IOP |
| M. Malinauskas, A. Žukauskas, S. Hasegawa, Y. Hayasaki, V. Mizeikis, R. Buividas, S. Juodkazis | 2016 | Ultrafast laser processing of materials: from science to industry | **5**,e16133 | Light: Science and Applications, Nature |
| M. Malinauskas, M. Farsari, A. Piskarskas, S. Juodkazis | 2013 | Ultrafast-laser micro/nano-structuring of photopolymers: a decade of advances | **533**, 1 | Physics Reports, Elsevier |
| M. Malinauskas, G. Kiršanskė, S. Rekštytė, T. Jonavičius, E. Kaziulionytė, L. Jonušauskas, A. Žukauskas, R. Gadonas, A. Piskarskas | 2012 | Nanophotonics lithography: a versatile tool for manufacturing functional three-dimensional micro-/nano-objects | **52**, 312 | Lietuvos fizikos žurnalas, LFD |