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

**COURSE UNIT (MODULE) DESCRIPTION**

|  |  |
| --- | --- |
| **Course unit (module) title** | **Code** |
| **NANO- AND MICRO-STRUCTURE TECHNOLOGIES** |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Lecturers** | **Department(s) where the course unit (module) is delivered** |
| **Coordinator: Prof. M. Malinauskas****Others: J.R.A. K. Badokas, doc. dr. K. Genevičius** | Faculty of Physics |

|  |  |
| --- | --- |
| **Study cycle** | **Type of the course unit (module)** |
| First cycle | optional |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Mode of delivery** | **Period when the course unit (module) is delivered** | **Language(s) of instruction** |
| Lectures, seminars and laboratory works | VI (spring) semester | Lithuanian/English |

|  |
| --- |
| **Requirements for students** |
| **Prerequisites:**Knowledge of general physics, solid-state physics, growth technologies of semiconductors, background of chemistry | **Additional requirements (if any):** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Course (module) volume in credits** | **Total student’s workload** | **Contact hours** | **Self-study hours** |
| 5 | 150 | 64 | 86 |

|  |
| --- |
| **Purpose of the course unit (module): programme competences to be developed** |
| Students will get familiar with the micro- and nano-structures, used materials and employed processing technologies. They will gain fundamentals of diverse nano-technologies including fabrication, characterization and applications. After the couse the students will have developed abilities to produce micro- and nano-structures, characterize their properties and evaluate functional performance. |
| **Learning outcomes of the course unit (module)** | **Teaching and learning methods** | **Assessment methods** |
| Students will be able to understand the scientific literature published in English, and to accomplish experimental projects working in international teams (4.3). | Team discussion, debates | Presentation, theme |
| Students will be able to find and select the relevant scientific literature in the internet, scientific journals and handbooks, to learn and critically evaluate its content and systematically present (2.2) | Cross-discussion | Presentation, analysis of the particular case |
| Students will understand the principles of advanced technologies using the knowledge of general physics, semiconductors and chemistry. They will be able to apply it for creating functional micro-nano-prototypes (3.3, 3.4, 4.4) | Problem lectures, explaining | Oral questioning, written quiz |
| They will be able to perform standard laboratory work procedures, to synthesize compounds, to apply knowledge of chemistry in technological steps (2.3) | Project | Research work |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Content: breakdown of the topics** | **Contact hours**  | **Self-study work: time and assignments** |
| Lectures | Tutorials | Seminars |  Exercises | Laboratory work | Internship/work placement | **Contact hours** | **Self-study hours** | **Assignments** |
| 1. Introduction to nanotechnology. Needs and applications. 0D, 1D and 2D nano derivatives. Nanoparticles. Fundamentals of physical chemistry. Production of metal, semiconductor and oxide nanoparticles. Stabilization of nanoparticle. | 2 |  | 2 |  |  |  | **4** | **5** | Preparation for the seminar. Repetition of information for presentation. |
| 2. 1D objectives. Nanowires. Methods of production. Size control. Control and engineering of ordered nanowires. Technologies and applications of carbon compounds – nanotubes and fullerenes. Semiconductor quantum dots and their engineering. Characterization and applications. | 4 |  | 2 |  |  |  | **6** | **5** | Preparation for the seminar. Information overview, systematization. |
| 3. 2D nano compounds. Quantum wells. Epitaxy of quantum wells. Size control. Graphene and related 2D materials. Properties, characterization, and applications. | 2 |  | 3 |  |  |  | **5** | **10** | Preparation for the seminar. Information overview, systematization. Presentation. Preparation for discussion. |
| 4. Organic materials for electronics: comparison with classical inorganic materials; electronic structure (HOMO and LUMO levels); Gaussian disorder model; generation, transport and recombination of the charge carriers carriers (exitons and polarons). | 4 |  | 2 |  |  |  | **6** | **5** | Preparation for the seminar. Repetition of information for presentation. |
| 1. Solution based technologies: solution and crosslinking, dip coating, spin coating, drop casting, inkject printing, screen printing, doctor blade. Self-assembly: Langmuir- Blodgett technology, zone casting.
 | 2 |  | 2 |  |  |  | **4** | **5** | Preparation for the seminar. Information overview, systematization. |
| 1. Devices of organic electronics: solar cells (dye-sensitized, bulk heterojunction, perovskite), field effect transistors, RFID tags.
 | 2 |  | 3 |  |  |  | **5** | **10** | Preparation for the seminar. Information overview, systematization. Presentation. Preparation for discussion. |
| 1. Methods of investigation of micro- and nano-derivatives: optical, electron and atomic force microscopy and nanoscopy, microspectroscopy and microtomography, spatial and temporal resolution.
 | 2 |  | 1 |  |  |  | **3** | **5** | Preparation for seminar and laboratory works. Repetition for the exam. |
| 1. Optical, electron beam and nano-imprinting and soft lithography, direct writing, self-organization, nanoparticle generation.
 | 2 |  | 1 |  |  |  | **3** | **5** | Preparation for seminar. Repetition for exam. |
| 1. Direct laser writing and interference/projection lithographies, laser induced forward transfer, surface texturing and volume modification, 3D micro- and nano-objects formation by multiphoton photopolymerization and photoreduction.
 | 2 |  | 1 |  | 4 |  | **7** | **10** | Preparation for seminar and laboratory works. Repetition for the exam. |
| 1. Additive, subtractive and hybrid fabrication methods for precision material processing, formation of hierarchical structures, digital processing of light.
 | 2 |  | 1 |  |  |  | **3** | **5** | Preparation for seminar. Repetition for exam. |
| 1. Production and applications of functional micro- and nano-structures in micro-optics, nano-photonics, tissue engineering, micro-fluids and miniature sensors.
 | 2 |  | 2 |  | 4 |  | **8** | **6** | Preparation for seminar. Repetition for exam. |
| 1. Mesoscale (multidimensional) and composite (multidimensional) structures, metamaterials and programmable materials, 3D printing and erasure, 4D printing and 5D memory.
 | 4 |  | 2 |  |  |  | **6** | **10** | Preparation for seminar. Repetition for exam. |
| 1. Demand and spread of micro- and nano-technologies in the world and Lithuania, real life examples and future perspectives.
 | 2 |  | 2 |  |  |  | **4** | **5** | Preparation for seminar. Repetition for exam. |
| **Total** | **32** |  | **24** |  | **8** |  | **64** | **86** |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Assessment strategy** | **Weight,%** | **Deadline** | **Assessment criteria** |
| Laboratory work rating | 10\* | All course | Preparation to answer theoretical questions, quantity of errors in circuit connection, the quality of the work description, ability to describe the results. Evaluation in 10 scores system, the final score is multiplied by the weight coefficient.\* It is obligatory to finish all laboratory works. |
| Seminars rating | 30 | All course | Ability to understand and accomplish the tasks during the seminars  |
| Exam (written form) | 60 | During the exam session | 6 open questions. Assessment of answer particularity, consistency and mistakes. |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Author** | **Year of publication** | **Title** | **Issue of a periodical****or volume of a publication** | **Publishing place and house** **or web link**  |
| **Compulsary reading** |
| Bhushan, Bharat | 2010 | Handbook of nanotechnology | 3 | Berlin : Springer Science+Business MediaISBN 978-3-642-02525-9 |
| Hawkes, P., Spence, J.C.H. | 2007 | Science of Microscopy | 1 | ISBN-13: 978-0387497624 |
| M. Malinauskas | 2020 | Collection of NMT presentations |  | Manuscript |
| 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 |  | 386 p. |
| **Optional reading** |
| Murty, B.S., Shankar, P., Raj, B., Rath, B.B., Murday, J. | 2013 | Textbook of Nanoscience and Nanotechnology | 1 | ISBN-13: 978-3642280306 |
| 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 | Lithuania Journal of Physic, LPS |

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

**STUDIJŲ DALYKO (MODULIO) APRAŠAS**

|  |  |
| --- | --- |
| **Dalyko (modulio) pavadinimas** | **Kodas** |
| NANO- IR MIKRODARINIŲ TECHNOLOGIJOS |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Dėstytojas (-ai)** | **Padalinys (-iai)** |
| Koordinuojantis:Prof. M. MalinauskasKitas (-i): dokt. K. Badokas, doc. dr. K.Genevičius | FF |

|  |  |
| --- | --- |
| **Studijų pakopa** | **Dalyko (modulio) tipas** |
| Pirmoji (bakalauro) studijų pakopa | Pasirenkamasis |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Įgyvendinimo forma** | **Vykdymo laikotarpis** | **Vykdymo kalba (-os)** |
| Nuolatinė | VI (pavasaris) semestras | Lietuvių/anglų |

|  |
| --- |
| **Reikalavimai studijuojančiajam** |
| **Išankstiniai reikalavimai:**Bendrosios fizikos žinios, chemijos pagrindai, išklausytas kieto kūno ir puslaidininkių auginimo technologijų kursas | **Gretutiniai reikalavimai (jei yra):** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Dalyko (modulio) apimtis kreditais** | **Visas studento darbo krūvis** | **Kontaktinio darbo valandos** | **Savarankiško darbo valandos** |
| 5 | 150 | 64 | 86 |

|  |
| --- |
| **Dalyko (modulio) tikslas: studijų programos ugdomos kompetencijos** |
| Siekiama, kad studentai susipažintų su nano- ir mikro-technologijomis, fizikiniais ir cheminiais principais, technologiniais formavimo metodais, panaudojimu ir charakterizavimo savitumais. Išlavintų darinių formavimo ir charakterizavimo gebėjimus bei taikymo galimybes. |
| **Dalyko (modulio) studijų siekiniai** | **Studijų metodai** | **Vertinimo metodai** |
| Studentas gebės laisvai suprasti specialybės literatūrą anglų kalba, atlikti keliamas užduotis daugiakalbėse grupėse, pristatyti darbo rezultatus mokslinėse konferencijose ir diskusijose (4.3) | Grupės diskusija, debatai | Pristatymas, rašinys |
| Studentas mokės surasti, įsisavinti ir pritaikyti naujausias nanotechnologijos žinias iš interneto, mokslinių straipsnių ir vadovėlių, gebės kritiškai ją analizuoti ir sisteminti (2.2) | Kryžminė diskusija | Pristatymas, atvejo analizė |
| Studentas mokės suprasti nanodarinių auginimo technologijų veikimo principus remiantis bendrosios ir puslaidininkių fizikos žiniomis, pritaikyti jas prietaisų kūrimui ir komercializacijai (3.2, 3.4, 4.4) | Probleminis dėstymas, aiškinimas | Apklausa raštu ir žodžiu |
| Studentai gebės atlikti standartines laboratorines procedūras, sintetinti nanodaleles ir pritaikyti chemijos žinias, vykdant technologinius kaitinimo procesus (2.3) | Projektavimas | Tiriamasis darbas |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **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 nanotechnologijas. Poreikis ir taikymai. 0D, 1D ir 2D nanodariniai. Nanodalelės. Fizikinės chemijos pagrindai.Metalų, puslaidininkių ir oksidų nanodalelių gamyba. Nanodalelės stabilizacija.
 | 2 |  | 2 |  |  |  | **4** | **5** | Pasirengimas seminarui. Informacijos pasikartojimas pristatymui. |
| 1. 1D nanodariniai. Nanovielutės.Gamybos metodai. Nanovielučių dydžio kontrolė. Tvarkiųjų nanovielučių darinių inžinerija. Anglies nanodarinių – vamzdelių ir fulerenų – technologijos ir taikymas. Puslaidininkiniai kvatiniai taškai ir jų inžinerija. Charakterizavimas ir taikymai.
 | 4 |  | 2 |  |  |  | **6** | **5** | Pasirengimas seminarui. Informacijos suradimas, sisteminimas. Pristatymas |
| 1. 2D nanodariniai. Kvantinės duobės.Epitaksijos metodai. Dydžio kontrolė. Grafenas ir kitos dvimatės medžiagos. Savybės, charakterizavimas ir taikymai.
 | 2 |  | 3 |  |  |  | **5** | **10** | Pasirengimas seminarui. Informacijos suradimas, sisteminimas. Pristatymas Informacijos pasikartojimas diskusijai. |
| 1. Organinės medžiagos elektronikai: palyginimas su klasikinėmis neorganinėmis medžiagomis; elektroninė struktūra (HOMO ir LUMO lygmenys); Gauss‘o netvarko modelis; krūvininkų generacija, pernaša ir rekombinacija (eksitonai ir polaronai).
 | 4 |  | 2 |  |  |  | **6** | **5** | Pasirengimas seminarui. Informacijos suradimas, sisteminimas. Pristatymas |
| 1. Sluoksnių gamyba iš tirpalų: tirpumas ir skersaryšinimas; formavimas panardinant, sukant, liejant; formavimas rašaliniu spausdintuvu; šilkografija. Saviorganizacija ir jos panaudojimas: Langmuir- Blodgett technologija, zoninis liejimas.
 | 2 |  | 2 |  |  |  | **4** | **5** | Informacijos pasikartojimas atsiskaitymams. Pristatymas |
| 1. Organinės elektronikos prietaisai: Saulės elementai (dažais jautrinti, tūrinės heterosandūros, perovskitiniai), lauko efekto tranzistoriai, RFID žymės.
 | 2 |  | 3 |  |  |  | **5** | **10** | Pasirengimas seminarui. Informacijos pasikartojimas atsiskaitymams. |
| 1. Mikro- ir nano-darinių tyrimo metodai: optinės, elektronų ir atominių jėgų mikroskopijos ir nanoskopijos, mikro-spektroskopija ir mikro-tomografija, erdvinė ir laikinė skyros.
 | 2 |  | 1 |  |  |  | **3** | **5** | Pasirengimas laboratoriniams darbams. Informacijos pasikartojimas atsiskaitymams. |
| 1. Optinė, elektronų pluošto ir nanoįspaudimo bei minkštoji litografijos, tiesioginis rašymas, saviorganizacija, nanodalelių generavimas.
 | 2 |  | 1 |  |  |  | **3** | **5** | Pasirengimas seminarui. Informacijos pasikartojimas atsiskaitymams. |
| 1. Lazerinė tiesioginio rašymo ir interferencinė litografijos, lazerinis tiesioginis medžiagos pernešimas, paviršiaus tekstūravimas ir tūrio modifikavimas, 3D mikro- ir nano-objektų formavimas daugiafotonės fotopolimerizacijos ir fotoredukcijos būdais.
 | 2 |  | 1 |  | 4 |  | **7** | **10** | Pasirengimas laboratoriniams darbams. Informacijos pasikartojimas atsiskaitymams. |
| 1. Adityvus, subtraktyvus ir hibridinis medžiagų apdorojimo būdai, hierarchinių darinių formavimas, skaitmeninis apdirbimas šviesa.
 | 2 |  | 1 |  |  |  | **3** | **5** | Pasirengimas seminarui. Informacijos pasikartojimas atsiskaitymams. |
| 1. Funkcinių mikro- ir nano-darinių gamyba ir taikymai mikrooptikoje, fotonikoje, audinių inžinerijoje, mikroskysčiuose ir jutikliuose.
 | 2 |  | 2 |  | 4 |  | **8** | **6** | Pasirengimas seminarui. Informacijos pasikartojimas atsiskaitymams. |
| 1. Mezoskaliniai (multidimensiniai) ir kompozitiniai (daugiamedžiaginiai) dariniai, metamedžiagos ir programuojamos medžiagos, 3D spaudinimas ir trynimas, 4D spausdinimas ir 5D atmintis.
 | 4 |  | 2 |  |  |  | **6** | **10** | Pasirengimas seminarui. Informacijos pasikartojimas atsiskaitymams. |
| 1. Mikro- ir nano-technologijų poreikis ir paplitimas pasaulyje bei Lietuvoje, konkretūs pavyzdžiai bei ateities perspektyvos.
 | 2 |  | 2 |  |  |  | **4** | **5** | Viso kurso informacijos pasikartojimas atsiskaitymams. |
| **Iš viso** | **32** |  | **24** |  | **8** |  | **64** | **86** |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Vertinimo strategija** | **Svoris proc.** | **Atsiskaitymo laikas**  | **Vertinimo kriterijai** |
| Laboratorinių darbų įvertinimas | 20\* | Viso semestro metu | Pasirengimas atsakyti į teorinius klausimus, klaidų jungiant grandines kiekis, darbo rezultatų aprašymo kokybė, gebėjimas paaiškinti gautus rezultatus. Vertinama 10 balų sistemoje, kaupiamasis balas gaunamas padauginus iš svorio proc.\* Privaloma apginti visus laboratorinius darbus |
| Veiklos seminaruose vertinimas | 20 | Viso semestro metu | Gebėjimas savarankiškai atlikti užduotis seminarų kompiuterių klasėje metu. |
| Egzaminas raštu | 60 | Sesijos metu | 6 atviri klausimai. Vertinamas atsakymų išsamumas, nuoseklumas, padarytos klaidos. |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Autorius** | **Leidimo metai** | **Pavadinimas** | **Periodinio leidinio Nr.****ar leidinio tomas** | **Leidimo vieta ir leidykla ar internetinė nuoroda** |
| **Privaloma literatūra** |
| Bhushan, Bharat | 2010 | Handbook of nanotechnology | 3 leidimas | Berlin : Springer Science+Business MediaISBN 978-3-642-02525-9 |
| Hawkes, P., Spence, J.C.H. | 2007 | Science of Microscopy | 1 | ISBN-13: 978-0387497624 |
| M. Malinauskas | 2020 | NMT 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 |  | 386 p. |
| **Papildoma literatūra** |
| Murty, B.S., Shankar, P., Raj, B., Rath, B.B., Murday, J. | 2013 | Textbook of Nanoscience and Nanotechnology | 1 | ISBN-13: 978-3642280306 |
| 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 |