

DOKTORANTŪROS STUDIJŲ DALYKO SANDAS

Dalyko pavadinimas	Mokslo kryptis (kodas)	Centras	Skyrius
<b>Siuolaikinė taikomoji optika</b> (7,5 ECTS kreditai)	Medžiagų inžinerija T 008	Fizinių ir technologijos mokslų centras	Lazerinių technologijų skyrius
Studijų būdas	Kreditų skaičius	Studijų būdas	Kreditų skaičius
Paskaitos		Konsultacijos	Iki 1 ECTS kredito
Individualus	7,5 ECTS be konsultacijų, iki 6,5 ECTS su konsultacijomis	Seminarai	

Dalyko anotacija

**Skaidulų savybės.** Naudojamos medžiagos ir gamybos būdai. Optiniai nuostoliai. Chromatinė dispersija. Dvejopas lūžio rodiklis.

**Skaidulų rūšys.** Daugiamodės ir vienmodės skaidulos, laiptelio ir gradientinio lūžio rodiklio skaidulos, poliarizaciją išlaikančios skaidulos, modifikuotų dispersinių charakteristikų skaidulos. Skaidulos skirtos didelės galios stiprintuvams (didelio modos ploto ir dvigubo apvalkalo skaidulos, mikrostruktūrizuoti šviesolaidžiai, fotoninių kristalų skaidulos, chiraliskai susietų šerdžių skaidulos). Retaisiais žemės jonais legiruotos skaidulos.

**Modos laiptinio lūžio rodiklio skaidulose.** Charakteringoji lygtis, tiesiškai poliarizuotos (LP) modos, normuotasis dažnis, vienamodės skaidulos sąlyga, daugiamodės skaidulos. Hibridinės modos.

**Impulso netiesinis sklidimas skaidulose.** Šredingerio lygtis nusakanti impulso sklidimą skaiduloje, efektyvus modos diametras. Skaitmeniniai metodai Šredingerio lygties sprendimui (padalintų žingsnių Furjė metodas, baigtinių skirtumų metodas)

**Grupinių greičių dispersija skaidulose.** Impulsų plitimas skaidulose dėl dispersijos. Trečios eilės dispersija. Dispersijos valdymas.

**Fazės moduliavimasis ir kryžminis fazės moduliavimasis skaidulose.** Spektro plitimas dėl fazės moduliavimosi ir kryžminis fazės moduliavimosi, netiesinis fazės pokytis, impulso formos ir pradinio „čirpo“ įtaka fazės moduliavimuisi. Grupinių greičių dispersijos įtaka fazės moduliavimuisi, plokščios viršūnės impulso formavimas. Šviesos sklidimas dvejopo lūžio rodiklio skaidulose ir kryžminis fazės moduliavimasis.

**Priverstinės Brijueno ir Ramano sklaidos skaidulose.** Reiškinių kilmė. Brijueno ir Ramano stiprinimo spektrai, slenksčiai, susietųjų amplitudžių lygtys. Brijueno ir Ramano skaiduliniai lazeriai bei stiprintuvai.

**Parametriniai reiškiniai skaidulose.** Keturbangis maišymas, susietųjų amplitudžių lygtys. Fazinis sinchronizmas ir būdai jam pasiekti (fazinis sinchronizmas daugiamodėse, vienamodėse, dvejopo lūžio rodiklio skaidulose ir kt. būdai). Parametrinis stiprinimas, stiprinimo juostos plotis. Parametriniai skaiduliniai osciliatoriai ir stiprintuvai.

**Pluošto sklidimo metodas (BPM).** FFT ir FD pluošto sklidimo metodai. Plačiakampis BPM ir Pade aproksimantai. Dviejų krypčių BPM. Skaliarinis ir pilnai vektorinis 3D BPM. PML ir TBC kraštinės sąlygos pluošto sklidimo metodams. Menamos krypties BPM ir bangolaidinių modų skaičiavimai. BPM taikymas paviršinių plazmonų sklidimo modeliavimui.

**Laikinis pluošto sklaidimo metodas (FDTD).** Skaliarinis ir pilnai vektorinis laikinis pluošto sklaidimo metodas. FDTD algoritmas ir Yee ląstelių tinklas. Laikiniai Pade aproksimantai trumpų impulsų sklaidimo modeliavimui. Dispersijos ir netiesiškumų įskaitymas FDTD metode. FDTD taikymai artimo lauko ir nano optikoje.

**Artimo lauko optika.** Nespinduliuojantis ir nesklindantis optiniai laukai. Artimo lauko optikos modeliai (FDTD, tūrinės integralinės lygtys, BPM). Nano-kolektoriai ir nano-emiteriai. Artimo lauko skanuojamos mikroskopijos (SNOM) teorija. Paviršinių plazmonų vaidmuo artimo lauko optikoje. Artimo lauko tomografija ir atvirkštinės sklaidos uždavinys.

**Integruota bangolaidinė optika.** BPM ir FDTD taikymai integruotos optikos modeliavimui, Silicio ant izoliatoriaus integruota optika, modos juostelinuose bangolaidžiuose, Y-šakotuvai, Mach-Zehnder interferometrai, gardeliniai įvedimo elementai ir modų filtrai, modulatoriai, detektoriai, integravimas su skaidulomis ir lazeriais.

**Mikrožiediniai rezonatoriai.** Modos lenktuose dielekciniuose bangolaidžiuose, analitiniai mikrožiedinių rezonatorių modeliai, mikrožiedinių rezonatorių filtrai, jutikliai, modulatoriai.

**Elipsometrija.** Poliarizuotos šviesos aprašymas. Kompleksinė plokštuma. Poincare sfera. Matricinė optika. Miulerio matricų elipsometrija. Standartiniai elipsometrai, elipsometrinės schemos. Elipsometrijos praktiniai taikymai. Šiuolaikiniai spektriniai elipsometrai. Naujos elipsometrinės schemos. Elipsometrijos metodo taikymai.

**Paviršiaus spektroskopija.** Struktūriniai paviršiaus ypatumai. Elektroninės sandaros paviršiuje ypatumai. Savieji ir defektų energijos lygiai. Paviršiumi sustiprinti efektai. Stiprios bei silpnos sąveikos režimai tarp įvairių optinių sužadinių paviršiuje. Fotoniniai kristalai. Paviršinės Blocho bangos. Paviršiniai plazmonai (sklindantys, lokalūs, Fano rezonansai, Tamm'o optinės būsenos) ir paviršinės bangos, jų žadinimo metodai ir technika. Paviršinių plazmonų analizatoriai. Plazmoninių reiškinių taikymai optiniuose jutikliuose bei integruotose optiniuose grandynuose.

**Infraraudonoji vibracinė spektroskopija ir jos taikymai.** Dielektrinė skvarbą elektronfononinėse sistemose. IR vibraciniai ir rotaciniai spektrai. Atspindžio, pralaidumo ir pažeisto visiško vidaus atspindžio spektroskopija Furje spektroskopija. Poliarizacijos moduliacijos technika. Plonų molekulinų plėvelių IR atspindžio spektrų stiprinimo metodai.

**Fotoakustinė spektroskopija.** Fotoakustinis (FA) efektas. FA dujų spektrometrijos technika. Rezonansinės ir nerezonansinės fotoakustinės celės. Ribiniai jautriai. Matavimų tikslumas. FTIR fotoakustinė spektroskopija.

**Rezonansinė medžiagos ir šviesos sąveika.** Sklaida, sugertis ir priverstinis spinduliavimas. Sugerties linijų išplitimas. Koherentiniai reiškiniai sugertyje. Optinės mutacijos, laisvasis indukcijos gesimas, optinis aidas.

**Lazeriniai analitinės spektroskopijos metodai.** Lazerinės spektroskopijos privalumai. Pralaidumo matavimo metodai. Sugerties matavimo metodai. Fluorescencijos ir Ramano sklaidos matavimai. Sugerties, diferencinės sugerties, sklaidos, fluorescencijos tyrimo metodai. Netiesiniai analitinės lazerinės spektroskopijos metodai. Doplerio išplitimo eliminavimas.

**Kinetinė lazerinė spektroskopija.** Relaksaciniai vyksmai homogeninėse ir nehomogeninėse sistemose. Impulsinė fluorescencinė spektroskopija. Jautrūs matavimo prietaisai. Elektriniai ir optiniai laikiniai vartai. Sugerties žadinimo-zondavimo metodas. Blyksninė fotolizė. Virpesinių būsenų IR spektroskopija. Dinaminių gardelių metodas. Fotoninis aidas. Trimatė koherentinė spektroskopija. Koherentinis reakcijų valdymas.

Pagrindinė literatūra

1. G. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, Third Edition, 3rd edition (Academic Press, 2001).
2. Bahaa E. A. Saleh, Malvin Carl Teich, Fundamentals of Photonics, (Editor(s): J. W. Goodman) (John Wiley & Sons, Inc., 1991). Chapter 8.
3. M. Born, E. Wolf. Principles of Optics, T (expanded ed). - Cambridge U. Press, 2002. -952 p.

4. L. Novotny, B. Hecht, Principles of Nano-Optics, Cambridge Univ. Press, 2006, 539p. (ISBN 0-521-83224-1)
5. International Trends in Applied Optics, A.H. Guenther Ed.. - SPIE Press, 2002. - 697 p. (ISBN: 0-8194-4510-X).
6. Nanoplasmonics, eds. S. Kawata and H. Masuhara, Elsevier, 2006, 316 p. (ISBN 0-444-52249-2).
7. Peter Hannaford. Femtosecond laser spectroscopy, Springer, 2005.
8. G. Lifante, Integrated Photonics: Fundamentals, John Wiley & Sons, 2003, 194p. (ISBN 0-470-84868-5)
9. R. Petruškevičius, Artimo lauko ir plačiakampė optika, TEV, Vilnius, 2008, 117ps. (ISBN 978-9955-879-33-6).
10. L. Chrostowski, M. Hochberg, Silicon Photonics Design, Cambridge University Press, 2015, 439p.. (ISBN 978-1-107-08545-9)
11. V. Van, Optical Microring Resonators: Theory, Techniques, and Applications, CRC Press, 2017, 288p. (ISBN 978-1-4665-5124-4)
12. Arwin, H. TIRE and SPR-Enhanced SE for Adsorption. In Ellipsometry of Functional Organic Surfaces and Films, Hinrichs K., Eichhorn K.-J., Eds.; Springer-Verlag: Berlin Heidelberg, Germany, 2014; Chapter 12, pp. 249–264.
13. Raether, H. Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and on Gratings, Springer-Verlag, Berlin, 1988.
14. Barnes, W. L. Surface plasmon–polariton length scales: a route to sub-wavelength optics. J. Opt. A Pure Appl. Opt. 2006, 8, S87–S93.
15. Yeh, P.; Yariv, A.; Hong, C.-S. Electromagnetic propagation in periodic stratified media I General theory. J. Opt. Soc. Am. 1977, 67, 423–438.
16. Surface Polaritons. Ed. V.M. Agranovich and D.L. Mills. North-Holland, 1982. (ISBN: 978-0444861658)

#### Papildoma literatūra

1. A. Mendez and T. F. Morse, Specialty Optical Fibers Handbook, 1 edition (Academic Press, 2007).
2. F. Mitschke, Fiber Optics: Physics and Technology (Springer, 2010).
3. D. Hewak (Editor), Properties, Processing and Applications of Glass and Rare Earth-Doped Glasses for Optical Fibres (INSPEC, 1998).
4. M. N. Zervas, "High power ytterbium-doped fiber lasers — fundamentals and applications," Int. J. Mod. Phys. B 28, 1442009 (2014).
5. R. Paschotta, "Double-clad Fibers," Encycl. Laser Phys. Technol., [http://www.rp-photonics.com/double\\_clad\\_fibers.html](http://www.rp-photonics.com/double_clad_fibers.html)
6. K. P. Hansen, C. B. Olausson, J. Broeng, D. Noordegraaf, M. D. Maack, T. T. Alkeskjold, M. Laurila, T. Nikolajsen, P. M. Skovgaard, M. H. Sørensen, and others, "Airclad fiber laser technology," Opt. Eng. 50, 111609–111609 (2011).
7. X. Ma, C.-H. Liu, G. Chang, and A. Galvanauskas, "Angular-momentum coupled optical waves in chirally-coupled-core fibers," Opt. Express 19, 26515–26528 (2011).
8. X. Ma, C. Zhu, I.-N. Hu, A. Kaplan, and A. Galvanauskas, "Single-mode chirally-coupled-core fibers with larger than 50µm diameter cores," Opt. Express 22, 9206 (2014).
9. Handbook of optical systems, Ed. H. Gross, Vol. 1, H. Gross, Fundamentals of technical optics, Wiley-VCH, 2005. - 826 p; Handbook of optical systems, Ed. H. Gross, Vol. 2, W. Singer, M. Totzeck, H. Gross, Physical image formation, Wiley-VCH, 2005. - 690 p. (ISBN: 3-527-40378-7).
10. Handbook of Optics. Vol. I - IV. M. Bass (Editor in Chief). McGraw-Hill, Inc. -1995 -2001. ~ 5000 p.; The optics encyclopedia. Basic foundations and practical applications, Vol. 1-5

(Wiley VCH, 2004); Encyclopedia of modern optics, 1-5 Vol., Ed. R.D. Guenther (Elsevier, Academic Press, 2005).

11. Optical Imaging and Microscopy: Techniques and Advanced Systems. Eds. P.Torok and F.J.Kao. - Springer, 2002. - 395 p

12. S.Sinzing, JJahns. Microoptics. Wiley-VCH, 2003. -433 p.

13. Photonic crystals: Advances in Design, Fabrication, and characterization. Eds. K.Busch et al. Wiley-VCH, 2004. -480 p

14. A.Taflove, S.C.Hagness, Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method, Artech House, 2000, 852p. (ISBN 1-58053-076-1)

15. M.Ohtsu, K.Kobayashi, Optical Near Fields, Springer, 2004, 205p. (ISBN 3-540-40483-X).

16. Nanophotonics, eds. H.Rigneault, J.-M.Lourtioz, C.Delalande, A.Levenson, ISTE Ltd, 2005, 324p. (ISBN 1-905209-28-2).

17. J.Yamaychi, Propagating Beam Analysis of Optical Waveguides, Research Studies Press Ltd, 2003, 279p. (ISBN 0-86380-256-6).

18. K.Okamoto, Fundamentals of Optical Waveguides, Elsevier, 2006, 561p. (ISBN 0-12-525096-7).

19. J. M. Hollas. Modern spectroscopy. Chichester: John Wiley & Sons, 1992. 407 p. (ISBN: 978-0-470-04785-9)

20. Springer Handbook of Lasers and Optics, Ed. F. Trager, (Springer, 2007). - 1332 p. (ISBN: 978-0-387-95579-7)

21. S.Mukamel. Principles of nonlinear optical spectroscopy, Oxford University Press, New York, 1995.

Dalyko atsiskaitymo būdas

Doktorantai ruošiasi egzaminui individualiai, prieš egzaminą numatoma konsultacija atsiskaitymo klausimams aptarti, atsakymai į klausimus pateikiami raštu.

Konsultuojantys dėstytojai	Mokslo laipsnis	Pedag. vardas	Pagrindinės mokslinės publikacijos per pastaruosius 5 metus
Kęstutis Regelskis (kestutis.regelskis@ftmc.lt)	dr.		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. G. Liaugminas, J.Želudevičius, and K. Regelskis, "Fiber source of femtosecond pulses at 910–940 nm based on a Mamyshev pulse oscillator and wavelength conversion in a photonic crystal fiber," J. Opt. Soc. Am. B 38, 2920-2925 (2021).</li> <li>2. J. Želudevičius, G.Dubosas, and K.Regelskis, "Investigation of multipass Yb-doped fiber amplifiers," Appl. Opt. 60, 10332-10342 (2021).</li> <li>3. J. Želudevičius, R.Rutkauskas, and K.Regelskis, "Coherent beam combining of pulsed fiber amplifiers by noncolinear sum-frequency generation," Optics Letters 44, 1813-1816 (2019).</li> <li>4. J. Želudevičius, M. Mickus, and K. Regelskis, "Investigation of different configurations and operation regimes of fiber pulse generators based on nonlinear spectral re-shaping," Opt. Express 26, 27247–27264 (2018).</li> <li>5. J.Želudevičius, K.Regelskis, and G.Račiukaitis, "Experimental demonstration of pulse multiplexing and beam combining of four fiber lasers by noncolinear frequency conversion in an LBO crystal," Optics Letters 42, 175–178 (2017).</li> </ol>

<p>Raimondas Petruškevičius (raimondas.petruskevicius@ftmc.lt)</p>	<p>dr.</p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. K. Vaškevičius, M. Gabalis, D. Urbonas, A. Balčytis, R. Petruškevičius, S. Juodkazis, "Enhanced sensitivity and measurement range SOI microring resonator with integrated one dimensional photonic crystal", <i>JOSA B</i>, 34 (4), 750-755 (2017).</li> <li>2. Y.Nishijima, A.Balcytis, G.Seniutinas, S.Juodkazis, T.Arakawa, S.Okazaki, and R.Petruskevicius, "Plasmonic Hydrogen Sensor at Infrared Wavelengths", <i>Sensors and Materials</i>, 29 (9(1)), 1269-1274 (2017).</li> <li>3. A.Balčytis, Y.Nishijima, A.Kuchmizhak, P.Stoddart, R.Petruškevičius, S.Juodkazis, "From fundamental towards applied SERS: Shared principles and divergent approaches", <i>Advanced Optical Materials</i>, 6, 1-38 (2018).</li> <li>4. M.Kolenda, D.Kezys, I.Reklaitis, E.Radiunas, R.Ritasalo, A.Kadys, T.Grinyš, T.Malinauskas, S.Stanionyte, M.Skapas, R.Petruskevicius, R.Tomasiunas, "Development of polarity inversion in an GaN waveguide structure for modal phase matching", <i>Journal of Materials Science</i>, 55, 12008-12021 (2020).</li> <li>5. R. Petruškevičius, A. Balčytis, D. Urbonas, K. Vaškevičius, S. Juodkazis, „Microring resonators with circular element inner-wall gratings for enhanced sensing“, <i>JJAP</i>, 59, S00D02-1-7 (2020).</li> </ol>
<p>Zigmas Balevičius (zigmas.balevicius@ftmc.lt)</p>	<p>dr.</p>	<p>doc.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. J. Anulytė, E. Bužavaitė-Vertelienė, V. Vertelis, E. Stankevičius, V. Vilkevičius, Z. Balevičius, "Influence of a gold nano-bumps surface lattice array on the propagation length of strongly coupled Tamm and surface plasmon polaritons," <i>J. Mater. Chem. C</i>, 2022,10, 13234-13241. (Q1) (IF=8.067).</li> <li>2. I. Plikusienė, E. Bužavaite-Vertelienė, V. Mačiulis, A. Valavičius, A. Ramanavičienė, Z. Balevičius, "Application of Tamm Plasmon Polaritons and Cavity Modes for Biosensing in the Combined Spectroscopic Ellipsometry and Quartz Crystal Microbalance Method," <i>Biosensors</i> 2021, 11, 501. (Q1, IF=5.743) .</li> <li>3. E. Stankevičius, K. Vilkevičius, M. Gedvilas, E. Bužavaitė-Vertelienė, A. Selskis, Z. Balevičius, "Direct Laser Writing for the Formation of Large-Scale Gold Microbumps Arrays Generating Hybrid Lattice Plasmon Polaritons in VIS-NIR Range," <i>Advanced Optical Materials</i> (2021) DOI: 10.1002/adom.202100027. (Q1) (IF=10.050).</li> <li>4. E. Buzavaite-Verteliene, V. Vertelis, Z. Balevicius, "The experimental evidence of a strong coupling regime in the hybrid Tamm plasmon-surface plasmon polariton mode," <i>Nanophotonics</i>, 10 (5)</li> </ol>

		<p>(2021) 1565-1571. DOI: 10.1515/nanoph-2020-0660. (Q1) (IF=7.923).</p> <p>5. E. Buzavaite-Verteliene, I. Plikusiene, T. Tolenis, A. Valavicius, A Ramanavicius, J. Anulyte, Z. Balevicius, "Hybrid Tamm-surface plasmon polariton mode for highly sensitive detection of protein interactions," Opt. Express 20 (2020) 29033-29043. (Q1) (IF=3.669).</p>
<p>Patvirtinta Medžiagų inžinerijos mokslų krypties doktorantūros komiteto posėdyje 2023 m. vasario 09 d., protokolo Nr. (7.17 E) 15600-KT-39</p>		
<p>Komiteto pirmininkas prof. habil. dr. Valdas Sirutkaitis</p>		