

DOKTORANTŪROS STUDIJŲ DALYKO SANDAS

Dalyko pavadinimas	Mokslo kryptis (kodas)	Fakultetas / centras	Institutas / skyrius
Lazerinė technologija (7,5 ECTS kredito)	Medžiagų inžinerija T 008	Fizikos fakultetas	VU Lazerinių tyrimų centras FTMC 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

Šiuolaikiniai industriniai lazeriai. Šviesolaidiniai ir plonojo disko nuolatinės veikos iterbio lazeriai. Didelės galios diodiniai lazeriai IR ir UV sritims. Industriniai nanosekundinių, pikosekundinių ir femtosekundinių impulsų didelio pasikartojimo dažnio lazeriai.

Lazerinių pluoštų savybės ir jų charakterizavimas. Pluošto kokybės parametras M2. Industrinių lazerių parametro M2 parinkimo principai. Pluošto parametru matavimo metodai.

Lazerinės spinduliuotės energetinių ir laikinių parametru matavimas. Energijos ir galios matavimo metodai ir priemonės. Trukmės matavimo metodai ir priemonės. Kilovatinės galios pluoštų matavimo metodai.

Lazerinės spinduliuotės fokusavimo įrenginiai. Fokusavimas pavieniu ir sudėtinu lęšiu. Fokusavimas naudojant objektyvus. Suvirinimo ir pjovimo galvučių konstrukcija. Lazerio pluošto skenavimo įrenginiai. Lazerinės spinduliuotės transportavimas, naudojant šviesolaidžius. Optimalaus fokusavimo atstumo nustatymo įrenginiai.

Lazerinės spinduliuotės sąveika su medžiaga. Metalų, puslaidininkių ir dielektrikų sugertis ir atspindys ir jų priklausomybė nuo bangos ilgio, temperatūros ir apdirbamo paviršiaus savybių. Sugeriančių medžiagų lazerinio apdirbimo fizikiniai pagrindai.

Šilumos pernešimas lazerinio apdirbimo metu. Vienmatė šilumos pernaša. Analitiniai ir skaitiniai metodai naudojami nagrinėjant lazerinį medžiagų apdirbimą. Šilumos pernešimas ultratrumpųjų impulsų atveju: dviejų temperatūrų modelis.

Lazerinis paviršiaus apdirbimas. Paviršiaus perlydimas. Paviršiaus legiravimas. Paviršiaus tekstūravimas ir šiurkštinimas. Lazerinis valymas. Lazerinis ženklinimas.

Lazerinis pjovimas. Įvairūs pjovimo metodai: garinant, lydant ir nupučiant, skraibuojuojant, kontroliuojamai skaldant. Deguonies suaktyvintas lazerinis pjovimas.

Lazerinis suvirinimas. Laidumo ir giluminio suvirinimo metodų fizikiniai principai. Nuotolinis suvirinimas ir jo panaudojimo sritys.

Lazerinis grėžimas. Mažų ir didelių kiaurymių grėžimo principai. Grėžimo kokybės priklausomybė nuo lazerinių impulsų trukmės. Grėžimas pavieniais ir pasikartojančiais impulsais. Grėžimas ultratrumpaisiais impulsais.

Lazerinis prototipavimas. Panaudojimo sritys. Pagrindiniai metodai: stereolitografija, atrankus lazerinis sulipdymas, laminuotų objektų gamyba, tiesioginis lazerinis liejimas. Daugiafotonė polimerizacija ultratrumpaisiais impulsais. Metodų palyginimai.

Lazerinis mikroapdirbimas ir abliacija. Lazerinio mikroapdirbimo principai ir panaudojimo sritys. Metalų ir plastikų abliacija su nanosekundinės trukmės impulsais. Abliacijos ir mikroapdirbimo ypatybės naudojant ultratrumpus lazerinius impulsus. Nanodalelių generavimas abliuojant medžiagas skysčiuose.

Lazerio talkinamas medžiagų apdirbimas. Pagrindiniai principai. Lazerio talkinamas tekinimas, frezavimas ir formavimas. Lazerio talkinamas fotocheminis esdinimas.

Tūrinis skaidrių medžiagų ženklimas. Skaidrių terpių apdirbimo principai. Panaudojimo sritys. Tūrinis skaidrių terpių apdirbimas femtosekundiniais impulsais. Terpių lūžio rodiklio modifikavimas. Dvejopalažės modifikacijos lydytame kvarce ir jų panaudojimas. Skaidrių terpių ženklimas femtosekundiniais impulsais.

Lazerinių apdirbimo procesų automatizavimas. Automatizavimo principai. Lazerio pluošto, darbinio stalo ir apdirbamos detalės parametų monitoringas. Galios ir temperatūros kontrolė. Robotai lazeriniame medžiagų apdirbime.

Sauga dirbant su lazeriniais įrenginiais. Įrenginių projektavimo principai dirbant su 3 ir 4 pavojingumo klasės lazeriais.

Pagrindinė literatūra

1. O. Balachninaite, A. Bargelis, A. Dementjev, R. Jonušas, G. Račiukaitis, V. Sirutkaitis, Lazerinė technologija, Vilnius, VUL, 2008.
2. W. M. Steen, J. Mazumder Laser Material Processing, 4 Ed., Springer, London, 2010.
3. E. Kannatey-Asibu, Jr., Principles of Laser Material Processing, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2009
4. J.C. Ion Laser Processing of Engineering Materials, Elsevier Butterworth Heinemann, Amsterdam, 2005 (ISBN 0-7506-6079-1).
5. D. Bauerle Laser Processing and Chemistry, 3rd Edition, Springer 2000 788 p. (ISBN: 3-540-66891-8).
6. M.Fox, Optical Properties of Solids, 2nd ed., Oxford University Press, New York, 2010.-416 p.
7. M. von Allmen, A. Blatter, Laser-Beam Interactions with Materials: Physical principles and Applications, 2nd updated ed. Springer Series in Materials Sciences, Springer-Verlag Berlin 1995
8. S. Nolte, F. Schrepel, F. Dausinger, Ultrashort Pulse Laser Technology, Springer, 2016, 358 p. (ISBN: 978-3-319-17658-1)
9. R. Osellame, G. Cerullo, R. Ramponi (Eds.), Femtosecond Laser Micromachining, Springer, 2012, 483 p. (ISBN: 978-3-642-23365-2)
10. R.D. Schaeffer, Fundamentals of laser micromachining, CRC Press, 2012, 238 p. (ISBN: 978-1-4398-6084-7)

Dalyko atsiskaitymo būdas

Dalyko paskaitų nebūna. Doktorantams tenka patiems mokytis iš nurodytų vadovėlių. Dalis šio kurso yra skaitoma VU FF Lazerinės technologijos programos magistrantams 2 semestre, todėl kartais doktorantai iš kitų universitetų ar kitų programų pasirenka dalį tų paskaitų paklausti kartu su dabartiniais magistrantais. Dalyko sande numatytos konsultacijos, kurių temas siūlo kursą pasirinkę doktorantai.

Egzaminas susideda iš dviejų dalių. Pirmoji tai paruošimas referato, kuriame apžvelgiama tam tikra lazerinių technologijų dalyko tema svarbi doktoranto darbams ruošiant disertaciją. Jos apimtis >1 lankas. Stengiamasi taip parinkti referato tematiką, kad jo medžiaga būtų naudinga disertacijos apžvalgai ir joje vykdomiems darbams. Referato turinys pirmiausia yra pasiūlomas doktoranto kartu su moksliniu vadovu, o paskui derinamas su konsultuojančiais dėstytojais. Po referato turinio suderinimo doktorantas paruošia referatą ir persiunčia jį konsultuojantiems dėstytojams, kurie įtraukiami į egzaminą komisiją. Tada paskiriamas laikas kada vyksta referato pristatymas ir tam doktorantas dar turi paruošti ~ 20 min. trukmės prezentaciją. Prezentacija

pristatoma bent 3 egzaminų komisijos nariams. Po prezentacijos atsakoma į komisijos narių klausimus. Referatas ir jo prezentacija su klausimų atsakymu maksimaliai gali būti vertinama 5 balais.

Antroji egzamino dalis tai atsakymai raštu į 3 duotus klausimus. Tam atlikti duodama 1,5 val. Paprastai sudaromas 10-15 apibendrintų klausimų sąrašas, pagal sande nurodytas temas, iš kurio yra išrenkami tie 3 duodami klausimai. Doktorantams surašius atsakymus jie yra skenuojami ir persiunčiami visiems egzaminų komisijos nariams, kurie juos turi įvertinti. Atsakymai raštu į 3 duotus klausimus maksimaliai gali būti vertinami 5 balais.

Kiekvieno egzaminų komisijos nario įvertinimas tiek už referatą ir jo pristatymą, tiek už atsakymus į duotus klausimus yra vidurkinami ir pagal tai įrašomas galutinis apibendrintas vertinimas, kurio didžiausia vertė yra 10 balų.

Konsultuojantys dėstytojai	Mokslo laipsnis	Pedag. vardas	Pagrindinės mokslinės publikacijos per pastaruosius 5 metus
Valdas Sirutkaitis (valdas.sirutkaitis@ff.vu.lt)	habil. dr.	prof.	1. T. Tičkūnas, M. Perrenoud, S. Butkus, R. Gadonas, S. Rekštyte, M. Malinauskas, D. Paipulas, Y. Bellouard, V. Sirutkaitis, Combination of additive and subtractive laser 3D microprocessing in hybrid glass/polymer microsystems for chemical sensing applications, <i>Opt. Express</i> 25(21), 26280-26288 (2017). 2. S. Butkus, M. Rickus, R. Sirutkaitis, D. Paipulas, V. Sirutkaitis, Fabrication of High Aspect Ratio Channels in Fused Silica Using Femtosecond Pulses and Chemical Etching at Different Conditions, <i>JLMN - Journal of Laser Micro Nanoengineering</i> 14: 19-24, (2019). 3. J. Skruibis, O. Balachninaite, S. Butkus, V. Vaicaitis, V. Sirutkaitis, Multiple-pulse Laser-induced breakdown spectroscopy for monitoring the femtosecond laser micromachining process of glass, <i>Optics and Laser Technology</i> , 111, 295–302 (2019). 4. S. Butkus, E. Gaižauskas, L. Macernyte, V. Jukna, D. Paipulas and V. Sirutkaitis, Femtosecond Beam Transformation Effects in Water, Enabling Increased Throughput Micromachining in Transparent Materials, <i>Appl. Sci.</i> 2019, 9, 2405 (21 p.) (2019); doi:10.3390/app9122405 (www.mdpi.com/journal/applsci). 5. S. Butkus, V. Jukna, D. Paipulas, M. Barkauskas and V. Sirutkaitis, Micromachining of invar foils with GHz, MHz and kHz femtosecond burst modes, <i>Micromachines</i> 11, 733 (2020) doi:10.3390/mi11080733.
Gediminas Račiukaitis, (g.raciukaitis@ftm.c.lt)	dr.		1. A. Žemaitis, P. Gečys, M. Barkauskas, G. Račiukaitis, M. Gedvilas, Highly-efficient laser ablation of copper by bursts of ultrashort tuneable (fs-ps) pulses, <i>Scientific Reports</i> , 9, 12280 (2019) 2. V. Tomkus, V. Girdauskas, J. Dudutis, P. Gečys, V. Stankevič, G. Račiukaitis, Impact of the wall roughness on the quality of micrometric nozzles ma-

			<p>manufactured from fused silica by different laser processing techniques, Applied Surface Science, 483, 205-211 (2019)</p> <p>3. V. Stankevič, A. Čermák, S. Mikalauskas, P. Kožmín, S. Indrišiūnas, G. Račiukaitis, Processing of ultra-hard materials with picosecond pulses: From research work to industrial applications, Journal of Laser Applications. 30, 032201 (2018)</p> <p>4. S. Indrišiūnas, B. Voisiat, M. Gedvilas, G. Račiukaitis, New Opportunities for Custom-Shape Patterning Using Polarisation Control in Confocal Laser Beam Interference Setup, Journal of Laser Applications, 29(1), 011501 (2017)</p> <p>5. P. Gečys, E. Markauskas, S. Nishiwaki, S. Buecheler, R. De Loor, A. Burn, V. Romano, and G. Račiukaitis, CIGS thin-film solar module processing: case of high-speed laser scribing, Scientific Reports. 7, 40502 (2017)</p>
<p>Domas Paipulas (domas.paipulas@ff.vu.lt)</p>	dr.	doc.	<p>1. S. Butkus, V. Jukna, D. Paipulas, M. Barkauskas and V. Sirutkaitis, Micromachining of invar foils with GHz, MHz and kHz femtosecond burst modes, Micromachines 11, 733 (2020) doi:10.3390/mi11080733</p> <p>2. T. Tičkūnas, D. Paipulas, V. Purlys, 4Pi multiphoton polymerization, Appl. Phys. Lett., 116, 031101 (2020).</p> <p>3. S.Rekštytė, D. Paipulas, V.Mizeikis, Passive fluidic micro-sensor with all-optical readout realized using a direct laser writing technique, Opt.Lett. 44 (18), 4602-4605 (2019).</p> <p>4. T. Tičkūnas, M. Perrenoud, S. Butkus, R. Gadonas, S. Rekstyte, M. Malinauskas, D. Paipulas, Y. Bellouard, V. Sirutkaitis, Combination of additive and subtractive laser 3D microprocessing in hybrid glass/polymer microsystems for chemical sensing applications, Opt. Express 25(21), 26280-26288 (2017).</p> <p>5. S. Rekštytė, D. Paipulas, M.Malinauskas, V. Mizeikis, Microactuation and sensing using reversible deformations of laser-written polymeric structures, Nanotechnology. 28(12), 124001-12 (2017).</p>
<p>Vygandas Jarutis (vygandas.jarutis@ff.vu.lt)</p>	dr.	doc.	<p>1. V. Jarutis, K. Jurkus, V. Smilgevičius „Temperature tuned doubly resonant OPO: Peculiarities“ Optics Communications 382, 405-409 (2017).</p> <p>2. J. Vengelis, V. Jarutis, V. Sirutkaitis, "Estimation of photonic crystal fiber dispersion by means of supercontinuum generation", Optics Letters, Vol. 42, No. 9, 1844-1847, May 1 2017.</p> <p>3. J. Vengelis, A. Tumas, I. Pipinytė, M. Kuliešaitė, V. Tamulienė, V. Jarutis, R. Grigonis, V. Sirutkaitis,</p>

		<p>„Characteristics of optical parametric oscillator synchronously pumped by Yb:KGW laser and based on periodically poled potassium titanyl phosphate crystal“. Optics Communications 410, 774–781 (2018).</p> <p>4. Julius Vengelis, Vygandas Jarutis, Marius Franckevičius, Vidmantas Gulbinas, and Valdas Sirutkaitis, Investigation of supercontinuum generated in the cladding of highly nonlinear photonic crystal fiber, Journal of the Optical Society of America B, 36 (2), A79-A85, (2019).</p> <p>5. I. Pipinytė, J. Vengelis, V. Jarutis, M. Vengris, R. Grigonis, V. Sirutkaitis, Investigation of continuum generation in the non-zero dispersion-shifted fiber pumped by femtosecond nanojoule pulses in 1450-1800 nm spectral range, Results in Physics 17, 103064 (2020).</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>		