

DOKTORANTŪROS STUDIJŲ DALYKO SANDAS

| Dalyko pavadinimas | Mokslų kryptis (kodas) | Fakultetas | Centras/Institutas/Skyrius |
|---|------------------------|---|--|
| Lazerinės spinduliuotės sąveika su medžiaga (8 ECTS kreditai) | Fizika N 002 | Fizikos fakultetas Fizinių ir technologijos mokslų centras | Lazerinių tyrimų centras Lazerinių technologijų skyrius |
| Studijų būdas | Valandų skaičius | Studijų būdas | Valandų skaičius |
| Paskaitos | | Konsultacijos | 8 |
| Individualus | 192 | Seminarai | |

Dalyko anotacija

Lazerinės spinduliuotės charakterizavimas. Lazerinės spinduliuotės savybės. Pagrindiniai parametrai, apibūdinantys lazerinę spinduliuotę. Energetinių, laikinių, spektrinių ir erdvinų spinduliuotės parametrų matavimo metodai.

Elektronas elektromagnetiniame lauke. Laisvo elektrono svyravimo energija. Spinduliuotės sklaida elektronu. Stabdomasis spinduliavimas ir sugertis. Elektrono judėjimas nevienalyčiame osciliuojančiame lauke. Elektrono judėjimas surištoje sistemoje. Atomo osciliatorius. Atomo jonizacija.

Lazerinės spinduliuotės sugertis. Sugerties mechanizmai metaluose, dielektrikuose ir puslaidininkuose, plastikuose. Galingos lazerinės spinduliuotės sugerties ypatumai. Sugeriančios medžiagos parametrų dinaminis kitimas.

Apšvitinto paviršiaus lydymasis. Temperatūros laikinis skirstinys ir maksimalus lydalo gylis. Stiprus perkaitinimas. Kietėjimas. Konvekcija ir paviršiaus deformacija. Stiklo struktūrų formavimas.

Medžiagos pašalinimas. Garavimas iš lazerio apšviečiamos srities. Energijos balansas vienmačiu atveju. Stacionarus ir nestacionarus garavimas. Knudseno sluoksnis. Atatrankos slėgis. Dalelių emisija iš medžiagos paviršiaus, veikiant lazerinei spinduliuotei.

Plazmos formavimas. Jonizacija. Optinės plazmos savybės. Fizikiniai reiškiniai, apsprendžiantys plazmos savybes, esant įvairiam jonizacijos laipsniui. Lazerio sukeltos sprogo ir detonacijos bangos. Plazma, esant labai dideliems lazerinės spinduliuotės intensyvumams. Lazerio sukulto pažeidimo spektroskopijos principai.

Dujų pramušimas. Pramušimo inicijavimas ir vystymasis. Lazerinė kibirkštis. Kibirkšties spinduliavimas. Plazmos susidarymas fokusuojant lazerinę spinduliuotę atmosferoje.

Nukleacija ir klasterių formavimas. Lašelių ir klasterių formavimas lazeriu išgarinamoje medžiagoje. Klasterių formavimas impulsinėje lazerinėje abliacijoje. Nukleacija ir klasterių formavimas lazerio apšviečiamuose paviršiuose.

Lazerinė abliacija nanosekundiniais impulsais. Abliacijos mechanizmai. Šiluminė ir fotomechaninė bei fotocheminė abliacija. Abliacijos slenkstis ir greitis. Medžiagos pažeidimas abliacijos metu.

Abliacijos ypatumai ultratrumpų impulsų atveju. Trumpų ir ilgų impulsų atvejai. Fotofizikinė ir šiluminė abliacijos. Dviejų temperatūrų modelis. Molekulinės dinamikos modeliavimas. Abliacijos, naudojant nanosekundinius ir femtosekundinius impulsus, sulyginimas.

Raibuliai medžiagų paviršiuje. Raibulių formavimo schemas. Raibulių tipai. Raibulių formavimosi mechanizmai.

Galingos lazerinės spinduliuotės sugerties ypatumai skaidriose terpėse. Daugiafotonė sugertis. Griūtinė jonizacija. Kritinis laisvų krūvininkų tankis ir jo įtaka lazerinės spinduliuotės suterčiams. Lazerinis skaidrių medžiagų pažeidimas.

Skaidrių terpių tūrio modifikavimas ultratrumpaisiais impulsais. Lūžio rodiklio modifikacijos. Nanogardelių susidarymas. Ertmių susidarymas. Modifikuotų sričių esdinimas. Fizikiniai mechanizmai aiškinantieji modifikacijas.

Sudėtingi pluoštai apdirbant skaidrias terpes. Paslėpto skaldymo metodas. Beselio pluošto panaudojimo schemas ir privalumai. Airy pluoštas.

Petavatinės galios lazerinės sistemos. Petavatinės galios lazerinių sistemų kūrimo principai. Europinė Ekstremalios šviesos infrastruktūra (ELI). Naujos galimybės tiriant petavatinės lazerinės sistemos spinduliuotės ir medžiagos sąveikas. Aukštųjų harmonikų generavimas, apšviečiant kietus paviršius didelio intensyvumo lazerine spinduliuote.

Rentgeno spinduliai ir įelektrintų dalelių greitinimas plazmoje. Rentgeno spindulių generavimas lazerio sukurtoje plazmoje. Elektronų ir jonų greitinimas lazerio sukuriamoje plazmoje.

Termobranduolinės reakcijos inicijuojamos galingais lazeriniais impulsais. Naudojamos schemas. Inicijavimo mechanizmai.

Pagrindinė literatūra

1. 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.
2. P. Schaaf, *Laser Processing of Materials*, Fundamentals, Applications and Developments, 2010, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
3. K. Sugioka, *Handbook of Laser Micro- and Nano-Engineering*, Springer, Cham, 2020, (ISBN: 978-3-319-69537-2).
4. R.D. Schaeffer, *Fundamentals of laser micromachining*, CRC Press, 2012, 238 p. (ISBN: 978-1-4398-6084-7).
5. M. Wegener, *Extreme nonlinear optics*, Springer, 2005. – 223 p. (ISBN: 3-540-22291-X).
6. P.M. Ossi, *Advances in the Application of Lasers in Materials Science*, 1st ed., Springer Series in Materials Science Book 274, Springer Nature Switzerland AG, 2018, 395 p., (ISBN 978-3-319-96844-5).

Papildoma literatūra

1. M. Fox, *Optical Properties of Solids*, 2nd ed., Oxford University Press, New York, 2010.- 416 p.
2. S. Nolte, F. Schrepel, F. Dausinger, *Ultrashort Pulse Laser Technology*, Springer, 2016, 358 p. (ISBN: 978-3-319-17658-1).
3. R. Osellame, G. Cerullo, R. Ramponi (Eds.), *Femtosecond Laser Micromachining*, Springer, 2012, 483 p. (ISBN: 978-3-642-23365-2).
4. D. Bauerle *Laser Processing and Chemistry*, 3rd Edition, Springer 2000 788 p. (ISBN: 3-540-66891-8).
5. *Laser ablation and its applications*, Ed. C.Phipps, Springer, 2007. – 597 p. (ISBN: 978- 0-387-30452-6).
6. R.M. Wood “*Laser- Induced Damage of Optical Materials*“ IOP Publishing Ltd, Bristol, 2003, - 241 p., (ISBN: 0 7503 0845 1).
7. F.X.Kärtner, *Few-Cycle Laser Pulse Generation and its Applications*, Springer, 2004. – (ISBN: 3-540-20115-7).

Dalyko pateikimas ir atsiskaitymo būdas

Dalyko paskaitų nebūna. Doktorantams tenka patiems mokytis iš nurodytų vadovėlių. Dalis šio kurso yra skaitoma VU FF Lazerinės technologijos programos magistrantams 1 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 lazerinės spinduliuotės ir medžiagos sąveikos 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 jo moksliniu vadovu, o paskui derinamas su konsultuojančiais dėstytojais. Po referato turinio suderinimo, doktorantas paruošia referatą ir persiunčia jį konsultuojantiems dėstytojams, kurie įtraukiami į egzamino 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 užduotus klausimus. Tam atlikti duodama 1,5 val. Paprastai sudaromas 10-15 apibendrintų klausimų sąrašas, pagal sande nurodytas temas, iš kurio yra išrenkami tie 3 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 įvertinimas, kurio didžiausia vertė yra 10 balų.

| Konsultuojantys dėstytojai | Mokslo laipsnis | Pedag. vardas | Svarbiausieji darbai mokslo kryptyje (šakoje) paskelbti per pastaruosius 5 metus |
|---|-----------------|---------------|---|
| Vytautas Jukna (vytautas.jukna@ff.vu.lt) | dr. | doc. | <ol style="list-style-type: none"> 1. E. Kažukauskas, S. Butkus, P. Tokarski, V. Jukna, M. Barkauskas, V. Sirutkaitis, Micromachining of transparent biocompatible polymers applied in medicine using bursts of femtosecond laser pulses, <i>Micromachines</i> 11 (12), 1093 (2020) 2. R. Grigutis, G. Tamošauskas, V. Jukna, A. Risos, A. Dubietis, Supercontinuum generation and optical damage of sapphire and YAG at high repetition rates, <i>Opt. Lett.</i> 45 4507-4510 (2020) 3. S. Butkus, V. Jukna, D. Paipulas, M. Barkauskas, V. Sirutkaitis, Micromachining of Invar Foils with GHz, MHz and kHz Femtosecond Burst Modes, <i>Micromachines</i> 11 733 (2020) 4. A. Marcinkevičiūtė, V. Jukna, R. Šuminas, N. Garejev, G. Tamošauskas, A. Dubietis, Supercontinuum generation in the absence and in the presence of color centers in NaCl and KBr, <i>Results Phys.</i> 14 102396 (2019) 5. Q. Liang, Y. Zhong, Z. Fan, H. Diao, V. Jukna, W. Chen, A. Houard, Z. Zeng, R. Li, Y. Liu, Optical transmission during mid-infrared femtosecond laser pulse ablation of fused silica, <i>Appl. Surf. Sci.</i> 471 506-515 (2019) |

| | | | |
|---|------------|-------------|--|
| <p>Gediminas Račiukaitis (g.raciukaitis@fmc.lt)</p> | <p>dr.</p> | | <p>1. K. A. Drogowska-Horna, I. Mirza, A. Rodriguez, P. Kovaříček, J. Sládek, T. J.-Y. Derrien, M. Gedvilas, G. Račiukaitis, O. Frank, N. M. Bulgakova, M. Kalbáč, Martin. Periodic surface functional group density on graphene via laser-induced substrate patterning at Si/SiO₂ interface // Nano Research. 2020, vol. 13, iss. 9, pp. 2332-2339.</p> <p>2. J. Dudutis, J. Pipiras, S. Schwarz, S. Rung, R. Hellmann, G. Račiukaitis, P. Gečys, Laser-fabricated axicons challenging the conventional optics in glass processing applications // Optics Express. 2020, vol. 28, no. 4, pp. 5715-5730.</p> <p>3. E. Markauskas, L. Zubauskas, G. Račiukaitis, P. Gečys, Damage-free patterning of thermally sensitive CIGS thin-film solar cells: Can nanosecond pulses outperform ultrashort laser pulses? // Solar Energy. 2020, vol. 202, p. 514-521.</p> <p>4. K. Ratautas, A. Jagminienė, I. Stankevičienė, M. Sadauskas, E. Norkus, G. Račiukaitis, Evaluation and optimisation of the SSAIL method for laser-assisted selective electroless copper deposition on dielectrics // Results in Physics. 2020, vol. 16, art. no. 102943.</p> <p>5. V. Tomkus, V. Girdauskas, J. Dudutis, P. Gečys, V. Stankevič, G. Račiukaitis, I. Gallardo González, D. Guénot, J. B. Svensson, A. Persson, O. Lundh, Olle. Laser wakefield accelerated electron beams and betatron radiation from multijet gas targets // Scientific Reports. 2020, vol. 10, art. no. 16807.</p> |
| <p>Andrius Melninkaitis (andrius.melninkaitis@ff.vu.lt)</p> | <p>dr.</p> | <p>doc.</p> | <p>1. Linas Smalakys and Andrius Melninkaitis, "Predicting lifetime of optical components with Bayesian inference," Opt. Express 29, 903-915 (2021)</p> <p>2. Balys Momgaudis, Viaceslav Kudriasov, Mikas Vengris, and Andrius Melninkaitis, "Quantitative assessment of nonlinearly absorbed energy in fused silica via time-resolved digital holography," Opt. Express 27, 7699-7711 (2019)</p> <p>3. Balys Momgaudis, Stephane Guizard, Allan Bilde, and Andrius Melninkaitis, "Nonlinear refractive index measurements using time-resolved digital holography," Opt. Lett. 43, 304-307 (2018)</p> <p>4. Tomas Tolenis, Lina Grinevičiūtė, Rytis Buzelis, Linas Smalakys, Egidijus Pupka, Simas Melnikas, Algirdas Selskis, Ramutis Drazdys, and Andrius Melninkaitis, "Sculptured anti-reflection coatings for high power lasers," Opt. Mater. Express 7, 1249-1258 (2017)</p> <p>5. Tomas Tolenis, Lina Grinevičiūtė, Linas Smalakys, Mindaugas Ščiuka, Ramutis Drazdys, Lina Mažulė, Rytis Buzelis and Andrius Melninkaitis, "Next generation highly resistant mirrors featuring all-silica</p> |

| | | | |
|--|-----|------|---|
| | | | layers” Sci Rep 7, 10898 (2017). https://doi.org/10.1038/s41598-017-11275-0 |
| Mindaugas Gedvilas (mindaugas.gedvilas@ftmc.lt) | dr. | | <ol style="list-style-type: none"> 1. A. Žemaitis, M. Gaidys, P. Gečys, M. Gedvilas, Influence of nonlinear- and saturable-absorption on laser lift-off threshold of oxide/metal structure, Opt. Lett. 45, 6166 (2020). 2. A. Žemaitis, A. Mimidis, A. Papadopoulos, P. Gečys, G. Račiukaitis, E. Stratakis, M. Gedvilas, Controlling the wettability from highly-hydrophilic to superhydrophobic of stainless steel by femtosecond laser-induced ripples and nanospikes, RSC Advances 10, 37956 (2020). 3. A. Žemaitis, J. Mikšys, M. Gaidys, P. Gečys, M. Gedvilas, High-efficiency laser fabrication of drag reducing riblet surfaces on pre-heated Teflon, Mater. Res. Express 6, 065309 (2019). 4. A. Žemaitis, M. Gaidys, P. Gečys, G. Račiukaitis, M. Gedvilas, Rapid high-quality 3D micro-machining by optimised efficient ultrashort laser ablation, Opt. Lasers Eng. 114, 83-89 (2019). 5. A. Žemaitis, M. Gaidys, M. Brikas, P. Gečys, G. Račiukaitis, M. Gedvilas, Advanced laser scanning for highly-efficient ablation and ultrafast surface structuring: experiment and model, Sci. Rep. 8, 17376 (2018). |
| Julius Vengelis (julius.vengelis@ff.vu.lt) | dr. | doc. | <ol style="list-style-type: none"> 1. J. Banys, J. Pimpè, O. Balachninaïtè, V. Jarutis, J. Vengelis, Non-destructive periodic poling quality evaluation of MgO:PPLN and Rb:PPKTP crystals based on crystal translation and parametric light generation, Optik 277, 170686 (2023). 2. J. Banys, J. Savickytè, O. Balachninaïtè, S. Armalytè, V. Tamulienè, V. Jarutis, J. Vengelis, Performance investigation of high-efficiency widely tunable subnanosecond optical parametric generator and amplifier based on MgO:PPLN, Optics Express 30(13), 459826 (2022). 3. G. Stanionytè, E. Vèjalytè, V. Tamulienè, V. Jarutis, J. Vengelis, Subnanosecond widely-tunable in the visible spectrum range LBO based optical parametric amplifier, Journal of Optics 24(4), 045506 (2022). 4. J. Banys, J. Vengelis, Efficient single-pass and double-pass pre-chirp managed Yb-doped rod-type fiber amplifiers using Gires–Tournois interferometric mirrors, Optik 249, 168185 (2022). 5. J. Vengelis, G. Sinkevičius, J. Banys, L. Masiulis, R. Grigonis, J. Domarkas, V. Sirutkaitis, Investigation of piezoelectric ringing effects in Pockels cells based on beta barium borate crystals, Applied Optics 58(33), 9240-9250 (2019). |

Patvirtinta Fizikos mokslų krypties doktorantūros komitete 2023 m. lapkričio 23 d.,
protokolo Nr. (7.17 E) 15600-KT-508

Komiteto pirmininkas S. A. Juršėnas