



STUDIJŲ DALYKO (MODULIO) APRAŠAS

Dalyko (modulio) pavadinimas	Kodas
Lazerinis medžiagų apdirbimas	

Anotacija
Industriinių lazerių ir lazerinių apdirbimo įrenginių rinka. Industriniai lazeriai, plačiausiai taikomi medžiagų apdirbime. Lazerinės spinduliuotės ir inžinerinių medžiagos sąveika. Toliau apžvelgiami konkretūs industriniai lazerinio medžiagų apdirbimo procesai: paviršiaus apdirbimo, pjovimo, suvirinimo, ženklavimo ir gręžimo. Apžvelgiamas lazerinis mikroapdirbimas, lazerinė abliacija ir lazerinis valymas. Ultratrumpųjų impulsų lazeriai mikroapdirbime. Apžvelgiamas spartus lazerinis prototipavimas ir lazerio talkinamas medžiagų apdirbimas. Nagrinėjamas skaidrių medžiagų tūrinis ženklavimas bei sauga dirbant su lazeriniais apdirbimo įrenginiais.

Dėstytojas (-ai)	Padalinys (-iai)
Koordinuojantis: dr. Simas Butkus Kitas: dr. Momgaudis (laboratoriniai darbai)	Fizikos fakultetas, Lazerinių tyrimų centras

Studijų pakopa	Dalyko (modulio) tipas
Antroji (magistro)	Privalomas

Igyvendinimo forma	Vykdymo laikotarpis	Vykdymo kalba (-os)
Auditorinė	Pavasario semestras	Lietuvių

Reikalavimai studijuojančiajam	
Išankstiniai reikalavimai:	Gretutiniai reikalavimai (jei yra):
Optikos, Lazerių fizikos kursai	

Dalyko (modulio) apimtis kreditais	Visas studento darbo krūvis	Kontaktinio darbo valandos	Savarankiško darbo valandos
5	140	64	76

Dalyko (modulio) tikslas: studijų programos ugdomos kompetencijos		
Tikslas suteikti gebėjimus: 1) suprasti, paaiškinti, ir praktiškai taikyti pagrindinius lazerinio medžiagų apdirbimo principus; 2) suprasti ir paaiškinti svarbiausių lazerinių technologinių įrenginių veikimo principus; 3) išmokyti dirbti su mokomosiose ir mokslinėse laboratorijose esančiais lazeriniais technologiniais įrenginiais. Ugdomos kompetencijos pagal Medžiagų technologijų krypties aprašą atitinkančios antros pakopos studentams būtinas kompetencijas šiose kryptyse: 1) Žinios ir supratimas, 2) Technologinė analizė; 3) Technologijų projektavimas, 4) Tyrimai, 5) Praktinė (technologinė) veikla, 6) Asmeniniai įgūdžiai.		
Dalyko (modulio) studijų siekiniai	Studijų metodai	Vertinimo metodai
Lazerinio medžiagų apdirbimo technologijų principai ir galimybės, naudojami lazeriniai įrenginiai bei pagrindiniai taikymai	Probleminis dėstymas	Suminis, įskaitantis egzamino raštu atsakymų vertinimą, laboratorinių darbų atlikimo ir gynimo vertinimą bei prezentacijos ir trumpo referato viena iš pateiktų temų paruošimo ir pristatymo vertinimą
Praktinių įgūdžių formavimas, realiai taikant lazerines apdirbimo technologijas mokomojoje ir mokslinėse laboratorijose	Laboratoriniai darbai	4 laboratorinių darbų rezultatų pristatymas ir gynimas

Temos	Kontaktinio darbo valandos							Savarankiškų studijų laikas ir užduotys	
	Paskaitos	Konsultacijos	Seminarai	Pratybos	Laboratoriniai	Praktika	Visas kontaktinis	Savarankiškas darbas	Užduotys
1. Trumpas kurso pristatymas. Pasaulinė industrinių lazerių ir lazerinių apdirbimo įrenginių rinka.	2						2	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas
2. Šiuolaikiniai industriniai lazeriai. CO ₂ lazeriai. Strypo, disko ir šviesolaidžio konfigūracijos iterbio ir neodimio kietojo kūno lazeriai. Technologiniai diodiniai ir eksimeriniai lazeriai.	2						2	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas
3. Lazerinių pluoštų savybės ir jų apibūdinimas. Realių lazerinių pluoštų apibūdinimas pluošto kokybės faktoriumi M ² ir pluoštų parametrų sandauga. Realių pluoštų fokusavimas.	2						2	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas
4. Lazerinės spinduliuotės ir medžiagos sąveika. Inžinerinių medžiagų tiesinės optinės savybės. Optinių savybių modifikacija ir netiesiniai reiškiniai veikiant galingai lazerinei spinduliuotei.	3						3	3	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas
5. Šilimas, šilumos pernešimas, lydymasis, garavimas ir plazmos formavimasis lazerinio apdirbimo metu.	3						3	3	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas
6. Lazerinis paviršių apdirbimas. Lazerinis legiravimas, plakiravimas ir litavimas. Sauga dirbant su lazeriniais apdirbimo įrenginiais.	2						2	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas
7. Lazerinio pjovimo ir suvirinimo ypatybės. Šveisolaidinių ir CO ₂ lazerių perspektyvumas lazeriniame pjovime. Lasox pjovimo procesas. Giluminis suvirinimas. Plastikų suvirinimas.	2						2	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas
8. Lazerinis gręžimas. Lazerinio gręžimo būdai ir jų taikymo sritys.	2						2	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas
9. Lazerinis paviršiaus ženklvinimas. Lazerinio ženklvinimo būdai ir taikymai. Spalvotas ženklvinimas.	2						2	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas
10. Lazerinis mikroapdirbimas. Lazerinio mikroapdirbimo principai ir panaudojimo sritys. Metalų ir plastikų abliacija su nanosekundinės trukmės impulsais. Šiluminių laidininkų ir izoliatorių mikroapdirbimas. Impulsinis lazerinis dangų dengimas.	4						4	4	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas
11. Abliacijos ir mikroapdirbimo ypatybės naudojant ultratrumpus lazerinius impulsus.	2						2	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas
12. Lazerinis valymas. Principai, metodai ir taikymo sritys. Lazerio talkinamas medžiagų apdirbimas. Panaudojimo sritys. Pagrindiniai principai	2						2	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas.
13. Spartus lazerinis prototipavimas. Panaudojimo sritys. Stereolitografija, atrankus lazerinis sukepimas, laminuotų objektų gamyba	2						2	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas
14. Skaidrių terpių tūrinis ženklvinimas. Tūrinio ženklvinimo principai ir naudojimo sritys.	2						2	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas

15. Laboratoriniai darbai. 1. Metalinių plokštelių gręžimas pasikartojančiais lazerio impulsais. 2. Skaidrių terpių gręžimas ultratrumpaisiais impulsais. 3. Metalinių paviršių ženklavimas. 4. Apdirbamų medžiagų spektrinė analizė. 5. Lazerinės apšvitos lygio įvertinimas lazeriniame apdirbime.					24		24	16	Ruošiamasis laboratoriniams darbams ir jų rezultatų pateikimas.
16. Seminarai. Siūlomos temos: 1. Lazeriai išmaniųjų telefonų gamyboje 2. Eksimerinių lazerių sistemos polikristalinio silicio naudojamo vaizduokliuose atkaitinimui. 3. Lazerinis paviršių tekstūravimas norint sukurti nešlapinamus paviršius ir jo panaudojimo sritys 4. Lazerinis paviršių tekstūravimas tribologijai. 5. Paslėptas silicio ir stiklo skaldymas naudojant lazerinę spinduliuotę ir jo taikymai. 6. Lazeriai medicininių stentų gamyboje. 7 Šiuolaikiniai lazeriniai litavimo įrenginiai ir jų naudojimo sritys 8. Lazeriniai metodai ir sistemos deimantų pjaustymui. 9. Lazeriai metodai ir sistemos stiklo paviršiaus ženklavimui. 10. Selektivaus lazerinio sukepinimo įrenginiai juvelyrinių dirbinių gamybai 11. Spalvotas plastikų ženklavimas. 12. Didelio tankio skylių gręžimas spausdintinėse plokštėse lazeriniais metodais. 13. Lazeriniai metodai ir sistemos ženklavimui stiklo ir safyro tūryje. 14. Komercinės didelės galios diodinių lazerių sistemos metalų ir plastikų pjovimui. 15. Spalvotas metalų ženklavimas ir tam naudojamos lazerinės sistemos. 16. Nanolitografija su lazeriais žadinamais plazmos šaltiniais ir jos panaudojimas procesorių gamybai. 17. Lazerinis makroapdirbimas su UV lazeriais bei tam naudojamos lazerinės sistemos. 18. Lazerinis stiklo pjaustymas bei tam naudojamos lazerinės sistemos. 19. Specialus stiklo tūrinis ženklavimas femtosekundiniais impulsais. 20. Lazerinės sistemos aukso ir sidabro dirbinių pjovimui, ženklavimui ir tekstūravimui. 21. Lazerinės sistemos elektronikos pramonei. 22. Lazerinis metalo miltelių sukepinimas bei tam naudojamos lazerinės sistemos. 23. Lazerinės stereolitografijos sistemos. 24. Šviesolaidinės ženklavimo sistemos. 26. Komercinės sistemos lazeriniam medžio pjovimui. 27. <i>Laisvai pasirinkama tema</i>			8				8	28	Parengiamas referatas (>11000 ženklų) ir ~20 min. trukmės Power Point pristatymas pasirinkta tema
Viso	32		8		24		64	76	

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.
Referato paruošimas	10	Semestro metu	Paruošiamas trumpas (>10000 ženklų) referatas viena iš pateiktų temų. Vertinimas 10 balų sistemoje, kuris sudaro iki 1 balo sumuojant su egzamino rezultatais.
Referato pristatymas	10	Semestro metu	Referato pristatymas seminare su paruošta prezentacija, atsakymais į klausimus bei diskusija. Vertinimas 10 balų

			sistemoje, kuris sudaro iki 1 balo sumuojant su egzamino rezultatais.
Egzaminas	60	Egzaminų sesijos metu	Egzaminas raštu, 9 klausimai iš viso kurso ir 1 uždavinys. Bendras egzamino įvertinimas nuo 0 iki 6 balų, gaunamas sumuojant atskirus vertinimus už atsakymus į klausimus ir uždavinio sprendimą, kurių kiekvienas maksimaliai gali būti įvertinamas 0,6 balo.
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				
W. M. Steen, J. Mazumder	2010.	<i>Laser Material Processing</i> , 4 Ed.		Springer, London
E. Kannatey-Asibu, Jr.	2009	<i>Principles of Laser Material Processing</i> ,		John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey
O. Balachninitė, A. Bargelis, A. Dementjev, R. Jonušas, G. Račiukaitis, V. Sirutkaitis	2008	<i>Lazerinė technologija</i>		VUL, Vilnius
P. Schaaf	2010	Laser Processing of Materials Fundamentals, Applications and Developments		Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Papildoma literatūra				
C.E.Webb (ed.), J.D.C.Jones (ed.)	2003	<i>Handbook of Laser technology and Applications (Vols 1-3)</i>		Institute of Physics Publishing Ltd.
J.C.Ion	2005	<i>Laser Processing of Engineering Materials</i>		Elsevier
D. Bäuerle	2011	<i>Laser Processing and Chemistry</i> , 4 ed.		Springer, Berlin
O. Balachninitė, A. Bargelis, M. Barkauskas, R. Jonušas, K. Juzėnas, J. Kalpokas, V. Kudriašov, M. Peckus, V. Sirutkaitis,	2008	<i>Lazerinių technologijų laboratoriniai darbai</i>		VUL, Vilnius
Jonathan R. Lawrence	2017	Advances in Laser Materials Processing Technology, Research and Applications		Woodhead Publishing



COURSE UNIT DESCRIPTION

Course unit title	Code
Laser material processing	

Annotation
Global market for industrial lasers and laser materials processing systems. Industrial lasers, most widely used in materials processing. Interaction between laser radiation and engineered materials. Overview of specific industrial laser processing processes: surface treatment, cutting, welding, marking and drilling. Laser microprocessing, laser ablation and laser cleaning. Ultrafast lasers in materials microprocessing. Rapid laser prototyping and laser-assisted materials processing. Volume marking of the transparent materials. Safety requirements for laser materials processing systems.

Lecturer(s)	Department, Faculty
Coordinating: dr. Simas Butkus	Laser Research Center, Faculty of Physics
Other: dr. B. Momgaudis (laboratory works)	

Study cycle	Type of the course unit
Second (master program)	Compulsory

Mode of delivery	Semester or period when it is delivered	Language of instruction
Auditorium	Spring semester	Lithuania

Requisites	
Prerequisites: Courses of Optics, Laser Physics	Co-requisites (if relevant):

Number of ECTS credits allocated	Student's workload (total)	Contact hours	Individual work
5	160	64	96

Purpose of the course unit: programme competences to be developed		
The aim is to provide the ability to: 1) understand, explain, and apply the basic principles of laser material processing; 2) understand and explain the principles of operation of the most important laser materials processing systems; 3) to learn how to work with laser materials processing systems available in educational and scientific laboratories. Competences developed in accordance with the description of the field of Materials Technology corresponding to the competencies required for the second cycle students in the following fields: 1) Knowledge and understanding, 2) Technological analysis; 3) Technology Design, 4) Research, 5) Practical / Technological activity, 6) Personal Skills.		
Learning outcomes of the course unit	Teaching and learning methods	Assessment methods
Principles and capabilities of laser materials processing technologies, used laser equipment and basic applications	Problem-based teaching	Summarized, including evaluation of written exam answers, assessment of laboratory work performance and defense, assessment of presentation and short description on one of the presented laser materials processing topics
Formation of practical skills in real application of laser processing technologies in teaching and scientific laboratories	Lab works	Presentation and defense of the results of 4 lab works

--	--	--

Course content: breakdown of the topics	Contact hours							Individual work: time and assignments	
	Lectures	Tutorials	Seminars	Workshops	Laboratory work	Internship/work	Contact hours,	Individual work	Assignments
1. Short course presentation. Global market for industrial lasers and laser materials processing systems	2						2	2	Reading lecture materials and textbooks
2. Modern Industrial Lasers. CO ₂ lasers. Ytterbium and neodymium solid state lasers in rod, disk, and fiber configuration. Technological diode and excimer lasers.	2						2	2	Reading materials and textbooks
3. Properties of laser beams and their characterization. Characterization of real laser beams by fiber quality factor M2 multiplied by fiber parameters. Focusing real fibers.	2						2	2	Reading materials and textbooks
4. Laser-matter Interaction. Linear optical properties of engineering materials. Modification of optical properties and nonlinear phenomena under powerful laser radiation	3						3	3	Reading materials and textbooks
5. Heat, heat transfer, melting, evaporation and plasma formation during laser processing.	3						3	3	Reading materials and textbooks
6. Laser surface treatment. Laser alloying, cladding and soldering. Safety when working with laser materials processing systems.	2						2	2	Reading materials and textbooks
7. Laser cutting and welding features. Prospectivity of fiber and CO ₂ lasers in laser cutting. Lasox cutting process. Deep welding. Welding of plastics.	2						2	2	Reading materials and textbooks
8. Laser drilling. Laser drilling techniques and their applications.	2						2	2	Reading materials and textbooks
9. Laser surface marking. Techniques and Applications of Laser Marking. Color marking	2						2	2	Reading materials and textbooks
10. Laser micro-processing. Principles and applications of laser micro-processing. Ablation of metals and plastics with nanosecond pulses. Micro-processing of thermal conductors and insulators. Pulsed laser coating.	4						4	4	Reading materials and textbooks
11. Ablation and micro-processing using ultrashort laser pulses.	2						2	2	Reading materials and textbooks
12. Laser Cleaning. Principles, methods and areas of application. Laser assisted material processing. Areas of application. Basic principles	2						2	2	Reading materials and textbooks
13. Rapid laser prototyping. Areas of application. Stereolithography, selective laser sintering, production of laminated objects	2						2	2	Reading materials and textbooks
14. Volumetric marking of transparent media. Volume labeling principles and areas of use.	2						2	2	Reading materials and textbooks

15. Laboratory works. 1. Drilling of the metallic plates by high repetition rate laser pulses. 2. Drilling of the transparent materials by ultrashort laser pulses. 3. Laser marking of the metallic surfaces. 4. Laser-induced breakdown spectroscopy of the manufactured materials. 5. Estimation of the irradiation level in the laser fabrication.					24		24	16	Reading lecture materials and textbooks, preparing for laboratory work and preparation of the report on the results.
16. Seminars. Proposed topics: 1. Lasers in smartphone manufacturing. 2. Excimer laser systems for annealing of polycrystalline silicon used in displays. 3. Laser surface texturing for inducing hydrophobicity. 4. Laser surface texturing for tribology. 5. Stealth dicing of silicon and silica by laser radiation. 6. Lasers in medical stent production. 7. Modern laser brazing devices and their applications. 8. Laser methods and systems for diamond cutting. 9. Laser methods and systems for glass surface marking. 10. Selective laser sintering for jeweller production. 11. Color marking of plastics. 12. High density printed circuit board drilling by laser methods. 13. Laser methods and systems for marking in glass and sapphire volume. 14. Commercial high power laser diode systems for cutting of metals and plastics. 15. Color marking systems for metals. 16. Nanolithography with laser excited plasma sources and their application for processor manufacturing. 17. Laser microfabrication with excimer laser systems. 18. Laser cutting systems for glass. 19. Special volumetric marking of glass with femtosecond pulses. 20. Laser systems for cutting, marking and texturing of gold and silver. 21. Laser systems for electronics industry. 22. Laser metal sintering systems. 23. Laser stereolithography systems. 24. Fiber marking systems. 26. Commercial laser systems for wood cutting. 27. <i>Arbitrary topic on laser technologies and systems.</i>			8				8	28	Preparation of report (>11000 signs) and Powerpoint presentation (~20 min) on the selected topic
Total	32		8		24		64	76	

Assessment strategy	Weight %	Deadline	Assessment criteria
Laboratory works - description and defense of work results	20	By the end of the course	4 laboratory works, each work is evaluated individually, with a total score of 0 to 2, which is added to the exam results.
Report preparation	10	By the end of the course	A short report (> 10000 characters) is prepared on one of the presented topics of laser materials processing. Evaluation on a 10-point scale, which is up to 1 point added to the exam result.
Presentation	10	By the end of the course	Presentation of the topic on which the report was prepared to other students of the group with answers to the questions and brief discussion. Evaluation on a 10-point scale, which is up to 1 point added to the exam result.
Exam	60	By the end of the Spring semester	Written exam, 9 questions from the whole course and 1 task. The total score of the exam is from 0 to 6 points, which is obtained by summing up the individual evaluations for the answers to the questions and the solution

			of the task, each of which can be given a maximum of 0.6 points.
Overall	100		The overall mark is the sum of the above items and is rounded. <5 below threshold 5 – weak 6 – satisfactory 7 – average 8 – good 9 – very good 10 – excellent

Author	Publishing year	Title	Issue of a periodical or volume of a publication; pages	Publishing house or internet site
Required reading				
W. M. Steen, J. Mazumder	2010.	<i>Laser Material Processing</i> , 4 Ed.		Springer, London
E. Kannatey-Asibu, Jr.	2009	<i>Principles of Laser Material Processing</i> ,		John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey
P. Schaaf	2010	Laser Processing of Materials Fundamentals, Applications and Developments		Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Recommended reading				
C.E.Webb (ed.), J.D.C.Jones (ed.)	2003	<i>Handbook of Laser technology and Applications (Vols 1-3)</i>		Institute of Physics Publishing Ltd.
J.C.Ion	2005	<i>Laser Processing of Engineering Materials</i>		Elsevier
D. Bäuerle	2011	<i>Laser Processing and Chemistry</i> , 4 ed.		Springer, Berlin
O. Balachninitė, A. Bargelis, M. Barkauskas, R. Jonušas, K. Juzėnas, J. Kalpokas, V. Kudriašov, M. Peckus, V. Sirutkaitis	2008	<i>Lazerinių technologijų laboratoriniai darbai</i>		VUL, Vilnius
Jonathan R. Lawrence	2017	<i>Advances in Laser Materials Processing Technology, Research and Applications</i>		Woodhead Publishing