

DOKTORANTŪROS STUDIJŲ DALYKO SANDAS

Dalyko pavadinimas	Mokslo kryptis (kodas)	Centras	Skyrius
Puslaidininkių ir jų darinių technologija (7,5 ECTS kredito)	Medžiagų inžinerija T 008	Fizinių ir technologijos mokslų centras	Fizikinių technologijų skyrius Optoelektronikos skyrius
Studijų būdas	Kreditų skaičius	Studijų būdas	Kreditų skaičius
Paskaitos		Konsultacijos	
Individualus	7,5	Seminarai	

Dalyko anotacija

Dalyko sando tikslai ir numatomi gebėjimai

Tikslai: įgyti žinių iš puslaidininkių darinių savybių, fundamentinių mechanizmų bei technologinių metodų, leidžiančių tikslingai kurti sluoksniuotas hibridines konstrukcijas, pritaikomas praktiniams prietaisams tokiems, kaip spinduliuotės šaltiniai, detektoriai, fizinio ir cheminio poveikio jutikliai, energijos šaltiniai (saulės elementai) ir integruotos autonominės sistemos, paremtos optinių, elektrinių, magnetinių bei mechaninių poveikių keitimu į elektroninį signalą. Ugdomi gebėjimai: savarankiškai atsirinkti bei suvokti esminę informaciją, randamą įvairiuose šaltiniuose, ją pritaikyti savoms problemoms spręsti, o taip pat tikslingai panaudoti įgytas akademinės žinias kvalifikacijos kėlimui, mokslinės veiklos vystymui ir inovatyvių produktų kūrimo bei tobulinimo procesų praktinei plėtrai.

Dalyko sando turinys – pagrindinės temos

1. Puslaidininkinių medžiagų struktūra ir susijusios savybės. Pernašos reiškiniai:

- puslaidininkinių kristalų ir sluoksnių formavimosi modeliai, auginimo metodai;
- struktūra, elektroninės ir fotoninės savybės, krūvio pernaša.

2. Daugiasluoksniai ir daugiakomponenčiai dariniai. Juostų inžinerija:

- kvantiniai dariniai: duobės, supergardelės, gijos, taškai;
- tikslinis elektroninės sandaros keitimas („band-gap-engineering“); A2B6 ir A3B5 lydiniai bei kietieji tirpalai; energetinės elektronų būsenos kvantinio ribojimo sąlygomis; būsenų tankio funkcijos kvantiniuose dariniuose.
- tuneliniai reiškiniai, juostų trūkiai, kvantinė pernaša (magnetinio lauko poveikis 2D elektronams, Šubnikovo de Haazo matavimai, kvantinis Holo reiškinys).
- heterosandūros ir jų savybės.

3. Optinės kvantinių darinių savybės:

- eksitonai ir seklūs priemaišos kvantiniuose dariniuose;
- absorbcija, optinė emisija, šuoliai tarp pajuosčių;
- Blocho osciliacijos, kvantinio ribojimo Štarko efektas.

4. Plonasluoksnės technologijos ir jų taikymai:

- plonųjų sluoksnių auginimo mechanizmai ir modeliai: epitaksija, įtempti sluoksniai, padėklosluoksnių sąlyčio svarba, sluoksnių adhezija, nanoklasteriai – augimo užuomazgos, polikristaliniai sluoksniai, tarpgranulinių sandūrų formavimasis, sluoksnių savybių charakterizavimo metodai;
- planarinės konstrukcijos kontaktų metalas-puslaidininkis formavimas, charakteristikų testavimas, elektrinių savybių ypatumai; - plonasluoksnių planarinių lauko tranzistorių formavimo metodai, matmenų mažinimo galimybės ir fundamentiniai bei technologiniai apribojimai; izoliuojančios ir pasyvuojančios dangos

- optoelektroniniai prietaisai ir jų charakteristikos;
- plonųjų sluoksnių auginimo ir formavimo technologijos: PVD, CVD (PECVD), MOCVD, MBE, ALD;
- litografija (fotolitografija, lazerinė, e-spindulio, rentgeno), litografijos procesai; funkcinių darinių formavimas išdėtinimu (šlapias cheminis išdėtinimas, sausas plazminis išdėtinimas);
- CMOS technologijos principai ir sistemų integravimas; švaros zona, bendri veiklos principai.

5. Medžiagų ir nanodarinių tyrimo metodai:

- struktūrinė analizė: rentgeno struktūrinė analizė;
- cheminės sudėties analizė: XPS, RBS, ESCA, SIMS, Ožė spektroskopija.
- mikroskopijos metodai: optinė mikroskopija, SNOM, SEM, TEM, skenuojančiojo zondo mikroskopijos metodai;
- katodo- ir fotoluminescencijos tyrimai, Ramano spektroskopija, FTIR spektroskopija, elipsometrija.

6. Naujos medžiagos ir technologijos:

- nanostruktūrintos medžiagos ir dariniai, hibridiniai dariniai ir jų formavimo technologijos nuo pagrindo aukštyn („bottom-up“) principai, savitvarkis formavimasis;
- dvimačių atominio storio medžiagų (grafenas, pereinamųjų metalų dichalkogenidai ir t.t.) lakštų gavimo metodai, didelio ploto auginimo technologijos, savybių tikslinis keitimas ir taikymai prietaisuose;
- spausdinimo ir rašymo metodai elementams bei sistemoms ant lanksčiųjų padėklų formuoti, hibridinės sistemų integravimo metodikos; dėvimoji elektronika; elektroninės sistemos ant skaidraus ir lankstaus padėklo.

7. Puslaidininkinių darinių pritaikymai, pagrįsti išorės poveikio keitimu į išvesties signalą:

- mechaninio poveikio detektavimas: slėgis, jėga, pagreitis, srautas; veikimo principai ir atsako mechanizmai;
- lazeriniai atstumo iki objekto matavimo prietaisai, veikimo principai ir pritaikymai;
- aplinkos cheminės sudėties detekcijos metodai, jutikliai ir veikimo principai: varžiniai dujų jutikliai, jonus detektuojantys lauko tranzistoriai, foto-spektrometrai;
- IR, vis bei UV srities spinduliuotės šaltiniai (emiteriai) ir detektoriai;
- plonasluoksniai fotovoltiniai elementai; daugiasandūriniai saulės elementai.

Pagrindinė literatūra

1. Solid State Properties. From Bulk to Nano. Mildred Dresselhaus, Gene Dresselhaus, Stephen B. Cronin, Antonio Gomes Souza Filho (eds.), 2018, Graduate Texts in Physics, Springer-Verlag GmbH Germany. ISBN 978-3-662-55920-8, ISBN 978-3-662-55922-2 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-55922-2>
2. Semiconductor Materials. An Introduction to Basic Principles. B. G. Yacobi (ed.). 2004 Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. eBook ISBN: 0-306-47942-7; Print ISBN: 0-306-47361-5. Kluwer Online at: <http://kluweronline.com> and Kluwer's eBookstore at: <http://ebooks.kluweronline.com>
3. Characterization of Semiconductor Heterostructures and Nanostructures. (2nd Edition). C. Lamberti and G. Agostini (Eds.), 2013, Elsevier B.V., ISBN 978-0-444-59551-5,
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-59551-5.00001-7>
4. Thin film growth. Physics, materials science and applications. Zexian Cao (ed.). 2011, Woodhead Publishing Limited, ISBN 978-1-84569-736-5 (print), ISBN 978-0-85709-329-5 (online)
5. Modern Semiconductor Devices for Integrated Circuits. Chenming Calvin Hu, 2010.
<https://people.eecs.berkeley.edu/~hu/Book-Chapters-and-Lecture-Slides-download.html>
6. Bo Liu, Kun Zhou. Recent progress on graphene-analogous 2D nanomaterials: Properties,

modeling and applications. Progress in Materials Science, vol. 100 (2019) pp. 99–169.
doi.org/10.1016/j.pmatsci.2018.09.004

Dalyko atsiskaitymo būdas

Mokymo metodai

Pagrindinė dalyko studijų forma – savarankiškas darbas.

Konsultacijos rengiamos individualiu susitarimu pagal pasirinktą temą arba atskirus klausimus.

Atsiskaitymo reikalavimai

Atsiskaitymas – referatas pagal iš anksto suderintą temą, apimančią pagrindinius sando temų klausimus ir susijusią su doktorantūros studijų bei planuojamos daktaro disertacijos tema. Referato bendra apimtis – ne daugiau 30 psl. (A4 lapas, Times New Roman 12pt, tarpai tarp eilučių – 1). Gali būti suformuluoti 2-3 klausimai iš sando temų, kurie turi būti detaliau išnagrinėti referate.

Vertinimo būdas

Egzaminas - referato pristatomas komisijos posėdyje pranešimu su skaidruolėmis, neviršijančiu 30 min, ir atsakymai į komisijos narių klausimus bei diskusijos pranešimo tema. Egzamino data nustatoma bendru sutarimu, suderinus referato temą. Pažymio sudėtis: referatas – 3 balai, pranešimas – 3, atsakymai į klausimus ir diskusijos – 4 balai.

Konsultuojantys dėstytojai	Mokslo laipsnis	Pedag. vardas	Pagrindinės mokslinės publikacijos per pastaruosius 5 metus
Arūnas Šetkus (arunas.setkus@ftmc.lt)	habil. dr.	prof.	<p>1. T Daugalas, V Bukauskas, A Lukša, V Nargelienė and A Šetkus. Intentionally created localized bridges for electron transport through graphene monolayer between two metals. Nanotechnology, vol. 23 (2022) pp. 375402-1 – 12. doi: 10.1088/1361-6528/ac7578.</p> <p>2. R. Juškėnas, S. Balakauskas, Z. Mockus, S. Kanapeckaitė, P. Kalinauskas, G. Stalnionis, A. Naujokaitis, A. Selskis, A. Šetkus, G. Niaura. Impact of sulfurization procedure parameters on photoelectrochemical, compositional and structural features of kesterite. Materials Science and Engineering B, vol. 274 (2021) pp. 115483-1 – 7. doi: 10.1016/j.mseb.2021.115483.</p> <p>3. M. Rudzikas, A. Šetkus, M. Stange, J. Ulbikas, A. Ulyashin. Simple interface based colorization of Si based solar cells and panels with ITO/SiNx:H double layer antireflective coatings. Solar Energy, vol. 207 (2020) pp. 218 – 227. doi: 10.1016/j.solener.2020.06.091.</p> <p>4. M. Kamarauskas, V. Agafonov, T. Daugalas, S. Balakauskas, A. Mironas, R. Nedzinskas, G. Niaura, M. Treideris and A. Šetkus. Photovoltaic effect-driven IR response of heterojunctions obtained by direct CVD synthesis of MoS2 nanolayers on crystalline silicon. Nanotechnology, vol. 31 (2020) pp. 425603-1 – 12; doi: 10.1088/1361-6528/ab98c0.</p> <p>5. A. Sakavičius, G. Astromskas, V. Bukauskas, M. Kamarauskas, A. Lukša, V. Nargelienė, G. Niaura, I. Ignatjev, M. Treideris, A. Šetkus, Long distance distortions in the graphene near the edge of planar metal contacts, Thin Solid Films, vol. 698 (2020) pp. 137850-1–10, doi.org/10.1016/j.tsf.2020.137850</p>

			<p>6. M. Kamarauskas, M. Treideris, V. Agafonov, A. Mironas, V. Strazdienė, A. Rėza, A. Šetkus. Black silicon quality control by conditions of nickel assisted etching of crystalline silicon surfaces in photovoltaic devices. <i>Lit. J. Physics</i>, vol. 60 (N.1) (2020) pp. 57 – 66. doi.org/10.3952/physics.v60i1.4164.</p> <p>7. V. Agafonov, et.al.. Single variable defined technology control of the optical properties in MoS2 films with controlled number of 2D-layers. <i>Nanotechnology</i>, vol. 31 (2020) pp. 025602-1 – 12. doi: 10.1088/1361-6528/ab4753.</p> <p>8. T. Kaplas, V. Jakstas, A. Biciunas, A. Luksa, A. Setkus, G. Niaura. I. Kasalynas. Effect of High-Temperature Annealing on Graphene with Nickel Contacts. <i>Condens. Matter</i>. Vol. 4 (2019) p. 0021-1 – 7; [doi:10.3390/condmat4010021].</p> <p>9. M. Treideris, et.al.. Minimization of Optical Reflectance by Copper Assisted Etching of Crystalline Silicon Surface. <i>Phys. Stat. Solidi A</i>, Vol. 215 (2018) pp. 1700600-1 – 9 [doi: 10.1002/pssa.201700600].</p> <p>10. A. Sakavičius, et.al. Annealing time effect on metal graphene contact properties. <i>ECS journal of solid state science and technology</i>. Vol. 7, iss. 5 (2018), p. 77-81. [DOI: 10.1149/2.0201805jss].</p>
Renata Butkutė (renata.butkute@ftmc.lt)	dr.	doc.	<p>1. S. Pūkienė, et al., Enhancement of photoluminescence of GaAsBi quantum wells by parabolic design of AlGaAs barriers, <i>Nanotechnology</i>, Vol. 30, 455001 (11pp) (2019) https://doi.org/10.1088/1361-6528/ab36f3.</p> <p>2. V. Karpus, et al., THz-excitation spectroscopy technique for band-offset determination, <i>Optics Express</i>, Vol. 26, No. 26, 33807 (2018); https://doi.org/10.1364/OE.26.033807.</p> <p>3. V. Pačebutas, et al., Bismides: 2D structures and quantum dots, <i>Journal of Physics D: Applied Physics</i> 50 (36), 364002 (2017).</p> <p>4. R. Butkutė, et al., Bismuth quantum dots and strong infrared photoluminescence in migration-enhanced epitaxy grown GaAsBi-based structures, <i>Opt. Quant. Electron.</i>, Volume 47, Issue 4, pp 873–882 (2015), DOI 10.1007/s11082-014-0019-8.</p> <p>5. I.P. Marko, et al, Properties of hybrid MOVPE/MBE grown GaAsBi/GaAs based near-infrared emitting quantum well lasers, <i>Semicond. Sci. Technol.</i>, Vol. 30, 094008 (10pp) (2015); doi:10.1088/0268-1242/30/9/094008</p>
Patvirtinta Medžiagų inžinerijos mokslų krypties doktorantūros komiteto posėdyje 2023 m. vasario 09 d., protokolo Nr. (7.17 E) 15600-KT-39			

Komiteto pirmininkas prof. habil. dr. Valdas Sirutkaitis