

Odsek za elektronsko keramiko raziskuje sintezo, lastnosti in uporabo materialov za elektroniko in energetiko, pretežno kompleksnih materialov in struktur, ki lahko opravljajo več funkcij (multifunkcijski materiali). To so predvsem keramični piezoelektriki, feroelektriki, relaksorji, multiferoi in prevodni oksidi. Poudarek raziskav je na kreiranju lastnosti s sintezo in strukturo na nano-, mikro- in makroravni. Raziskujemo tudi osnove procesov za pripravo senzorjev tlaka, keramičnih mikroelektromehanskih sistemov (MEMS) in fleksibilne elektronike.

Na področju okolju prijaznih piezoelektrikov brez svinca smo nadaljevali raziskave keramike na osnovi natrijevega kalijevega niobata ($\text{K}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{NbO}_3$, KNN), pripravljenega s sintezo v trdnem stanju, ki bi lahko nadomestila učinkovite svinčeve perovskite. Z uporabo metod elektronske mikroskopije smo na različnih velikostnih ravneh študirali kemijsko modificirano keramiko $(\text{K},\text{Na},\text{Li})(\text{Nb},\text{Ta})\text{O}_3\text{-CaZrO}_3$, kjer smo dodali MnO_2 pred sintezo v trdnem stanju ali po njej. Dokazali smo, da so funkcijske lastnosti keramike v veliki meri občutljive na manjše spremembe v sintezni poti. Pokazali smo, da je razumevanje strukturnih značilnosti, kemijske sestave in defektov od mikro do atomske ravni osnova za uspešno obvladovanje sinteze kemijsko modificiranega KNN. (slika 1)

V sodelovanju s kolegi z Odseka za nanostrukturne materiale, Odseka za tehnologijo površin in optoelektroniko IJS ter Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo v Ljubljani smo pripravili keramiko na osnovi KNN s sintranjem s pulzirajočim enosmernim tokom v vakuumu. Po sintranju smo dobili električno prevodno keramiko, kar smo pripisali delni redukciji Nb^{5+} v Nb^{4+} . Po popuščanju v kisiku se je Nb^{4+} reoksidiral. Keramika je imela piezoelektrične lastnosti primerljive z lastnostmi klasično sintrane keramike, boljše dielektrične lastnosti smo pripisali homogeni mikrostrukturi s podmikrometrskimi zrni, ki so posledica velike hitrosti segrevanja in kratkega časa sintranja.

V sodelovanju s kolegi z Odseka za sodobne materiale IJS smo z metodo plazemskega sintranja pripravili keramiko na osnovi $\text{Na}(\text{Nb},\text{Ta})\text{O}_3$. Da bi našli optimalno sestavo in kakovost teh materialov za shranjevanje energije, smo preučevali spremembe strukture v keramiki z naraščajočim deležem Ta. Odkrili smo, da večanje deleža tantalata povzroča različne faze prehoda, kar posledično spremeni značaj materiala iz antiferoelektričnega (AFE) v feroelektričnega (FE) in nadalje v paraelektričnega. Največjo energijsko gostoto smo izmerili pri materialih s 40–60 % Ta, kar je blizu meje med AFE in FE fazo ($\sim 0.9 \text{ J/cm}^3$, z dielektrično trdnostjo 160 kV/cm in ~ 87 -odstotnim izkoristkom).

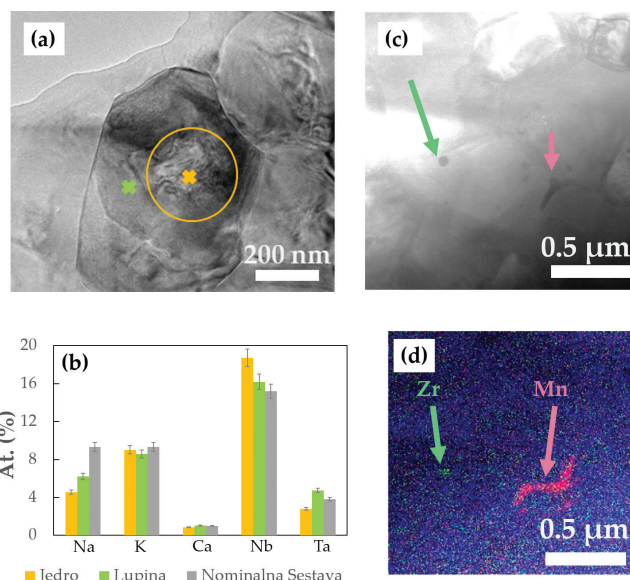
Nadaljevali smo raziskave polikristaliničnega BiFeO_3 , dopiranega s Co. Kemija defektov z dopanti, ki imajo veliko možnih oksidacijskih stanj, kot je Co ali Mn, namreč omogoča kontrolo električne prevodnosti in elektromehanskega odziva v perovskitih. S pomočjo rentgenske fotoelektronske spektroskopije, ki so jo izvedli kolegi z Univerze v Darmstadtu, smo natančno preučevali točkaste defekte na površini v nedopiranem in s Co dopiranem BiFeO_3 v obliki tankih plasti in keramike. Študija je pokazala, da Co kot dopant v BiFeO_3 v prisotnosti vode ali nizkega parnega tlaka kisika zaradi spremembe oksidacijskega stanja iz $3+$ v $2+$ prepreči redukcijski razpad BiFeO_3 v Fe^{2+} in kovinski Bi. Rezultati so pomembni za integracijo BiFeO_3 v aplikacijah, kot so na primer cepljenje vode za elektrolizo ali v senzorjih za korozijo in pline.

BiFeO_3 je zanimiv za uporabo v visokotemperaturnih aplikacijah, vendar je njegova priprava zahtevna zaradi pojava sekundarnih faz, ki so posledica zapletenih kinetičnih in termodinamskih mehanizmov. V keramičnem sistemu $\text{BiFeO}_3\text{-SrTiO}_3$ smo preučevali vpliv sinteze na



Vodja:

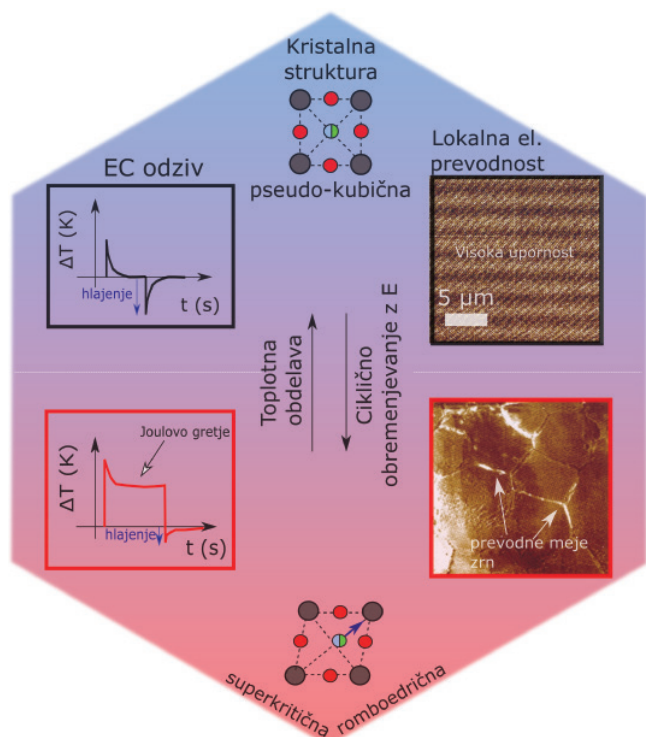
prof. dr. Barbara Malič



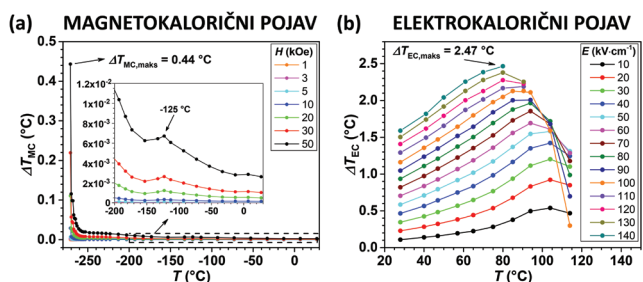
Slika 1: Kemijska sestava kemijsko modificirane keramike na osnovi kalijevega natrijevega niobata; a) SEM slika zrna z jedrom, bogatim na Ta in lupino, bogato z Nb s b) pripadajočo analizo EDXS, c) STEM slika zrn s d) pripadajočo analizo EDXS, ki prikazuje segregacijo sekundarnih faz, bogatih z Zr in Mn.

Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije je dosegel Demonstratorska hladilna naprava na osnovi elektrokaloričnega pojava uvrstila v izbor Odlični v znanosti 2019. Dosežek je rezultat sodelovanja raziskovalcev z Odseka za elektronsko keramiko, Odseka za fiziko trdne snovi IJS ter Laboratorija za hlajenje in daljinsko energetiko Fakultete za strojništvo, Univerza v Ljubljani. Raziskovalci so med prvimi na svetu izdelali demonstratorsko hladilno napravo, ki temelji na elektrokaloričnem pojavu, ter izum tudi patentno zaščitili v EU, ZDA in na Kitajskem.

Sodelavka Odseka za elektronsko keramiko Mojca Otoničar in Brahim Dkhil iz Centrale Supelec, Pariz, Francija, sta na povabilo urednika revije Nature Materials za rubriko News & Views napisala mnenjski članek Electrocalorics hit the top (objava na spletu 24. 10. 2019). Komentirala sta članek, v katerem skupina raziskovalcev z Univerze v Cambridgeu v sodelovanju s partnerji iz podjetja Murata na Japonskem poroča o učinkovitem večplastnem kondenzatorju, ki izkazuje izjemno velik elektrokalični odziv in tako napoveduje preboj naprednih tehnik hlajenja.



Slika 2: Ciklično obremenjevanje elektrokaličnega materiala $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ (PMN) z električnim poljem vodi do postopnega prehoda iz pseudokubične v superkritično romboedrično fazo. Posledica prehoda je reorganizacija točkastih napak v keramični matrici, kar vodi do povečane električne prevodnosti na mejah med zrnji in zato zmanjšane hladilne sposobnosti materiala. Toplotna obdelava povrne material nazaj v prvotno stanje. V objavi predlagamo inovativen pristop, ki omogoča, da se degradaciji elektrokaličnega odziva PMN izognemo s kontrolo pogojev cikličnega obremenjevanja na osnovi faznega diagrama električno-polje-temperatura.



Slika 3: (a) Magnetokaloričen in (b) elektrokaličen pojav v keramiki $\text{Pb}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3$ dopirani z Mn.

nastanek sekundarnih faz. Uporabili smo tri različne metode priprave, in sicer sintezo v trdnem stanju iz osnovnih oksidov, mehanokemijsko aktivacijo obeh mejnih spojin in mehanokemijsko aktivacijo prahov iz osnovnih oksidov. Ugotovili smo, da je za uspešno pripravo keramike ključno, da se ne pojavijo z Bi bogate sekundarne faze, ki imajo nizko temperaturo tališča. Nastanku faz, bogatih z Bi, smo se izognili s sintezo iz mejnih spojin in z mehanokemijsko aktivacijo, kjer reakcije potekajo pri nizkih temperaturah.

V sodelovanju z raziskovalci iz Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen iz Nemčije smo z mikroskopom na atomsko silo s piezoelektričnim modulom (PFM) raziskali lastnosti piezoelektrikov na osnovi $(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})\text{TiO}_3$. Med prvimi smo poročali o feroelektričnih domenah v relaksorskih materialih, ki so bili izpostavljeni visokim tlačnim obremenitvam. V sodelovanju s kolegi z Odseka za raziskave sodobnih materialov IJS smo nadaljevali PFM raziskave mikrometrskih do nanometrskih ploščic na osnovi BaTiO_3 .

Opravili smo študijo utrujanja svinčevega magnezijevega niobata $(\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PMN})$, ki ima potencial za uporabo v elektrokaličnem hlajenju. S tem je bila izvedena ena prvih poglobljenih študij utrujanja elektrokaličnih materialov, ki so med delovanjem izpostavljeni visokim električnim poljem in utrujanju zaradi cikličnega obremenjevanja. Ciklično obremenjevanje elektrokaličnega materiala PMN z električnim poljem vodi do postopnega prehoda iz relaksorske pseudokubične v superkritično feroelektrično romboedrično fazo. Posledica prehoda je reorganizacija točkastih defektov v keramični matrici, kar vodi do povečane električne prevodnosti na mejah med zrnji, ki smo jo zaznali s kombinacijo makroskopskih in mikroskopskih meritev. Zaradi povečane prevodnosti materiala se zmanjša hladilna sposobnost materiala. Toplotna obdelava povrne material nazaj v prvotno stanje. Predlagali smo inovativen pristop, ki omogoča, da se degradaciji elektrokaličnega odziva PMN izognemo s kontrolo pogojev cikličnega obremenjevanja s pomočjo faznega diagrama električno-polje-temperatura. (slika 2)

Učinkovito elektrokalično hlajenje zahteva izbiro materialov brez samogretja. Mehanizme samogretja smo študirali na vzorcih keramike treh vrst, in sicer v relaksorskem PMN, v »mehkem« feroelektriku $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ (PZT) in v »trdem« feroelektriku PZT. Rezultati so pokazali, da imajo mehanizmi samogretja različne izvore, kot sta povečana električna prevodnost in preklapljanje domenskih sten. Pokazali smo, da lahko z natančnim opazovanjem polarizacijskih zank ocenimo prevladujoči mehanizem in primernost materiala za uporabo v hlajenju.

Nadaljevali smo raziskave multikaloričnega pojava v polikristaliničnem $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ (PFN). Keramiko smo pripravili z mehanokemijsko aktivacijo kovinskih oksidov, ki ji je sledila termična obdelava surovcev. Preučevali smo vpliv različnih pogojev sintranja in dodatka mangana na funkcijske lastnosti keramike (slika 3). Poleg multikaloričnih lastnosti smo preučili tudi piezoelektrični odziv in feroelektrično domensko strukturo pripravljenih vzorcev.

V letošnjem letu so se nadaljevale študije relaksorske feroelektrične keramike $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ (PMN-PT), ki so okrepile ideje o nelinearnosti in histerezi monoklinskih sestav z značilno strukturo na nano- in mezoskali. Raziskave so bile deloma izvedene na Kemiskem inštitutu v Ljubljani, deloma pa v sodelovanju s skupino prof. Jacoba Jonesa iz North Carolina State University iz ZDA in prof. Draganom Damjanovićem iz École polytechnique fédérale de Lausanne iz Švice.

V sodelovanju s kolegi z Odseka za fiziko trdne snovi IJS smo raziskali funkcijske lastnosti tankih plasti trdnih raztopin natrijevega niobata (NN), dopiranega z manganom, in kalcijevega cirkonata (CZ, do

10 mol%), pripravljenih s sintezo v raztopini. Za razliko od volumenske keramike NN, ki izkazuje antiferoelektrične lastnosti, tanke plasti NN debeline okrog 250 nm izkazujejo feroelektrične lastnosti, z remanentno polarizacijo (P_R) in koercitivnim poljem $\sim 10 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ in $\sim 100 \text{ kV}/\text{cm}$, kar pripisujemo nanostrukturirani mikrostrukturi in napetostim, ki so posledica razlik v termičnih raztezkah plasti in podlage. Z dodatkom CZ se feroelektrični odziv ohrani, pri čemer se P_R z naraščajočim deležem CZ manjša. Najboljši piezoelektrični odziv izkazujejo plasti NN s 5 mol % CZ, koeficient d_{33} je 35 pm/V pri polju 300 kV/cm.

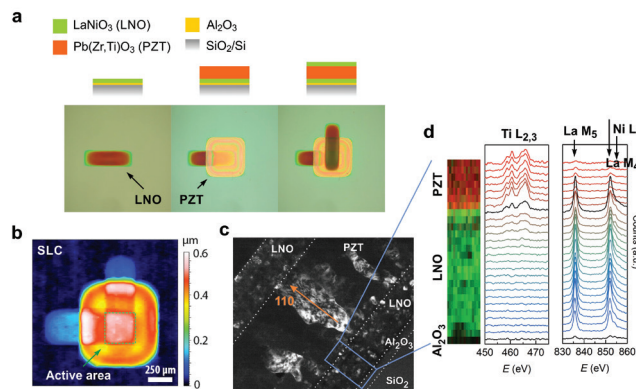
S tehnologijo **brizgalnega tiskanja** (angl. inkjet printing) smo oblikovali večplastne feroelektrične kondenzatorje, sestavljene iz tankih plasti oksidne elektrode lantanovega nikelata in plasti feroelektrika PZT. Z uporabo različnih podlag – silicija, polikristalnega aluminijevga oksida in nikljeve folije – smo potrdili uporabnost izbrane tehnologije oblikovanja večplastnih struktur. V primerjavi s kondenzatorji z le eno plastjo feroelektrika izkazujejo večplastne komponente večjo kapacitivnost in velik elektromehanski odziv. Raziskave so potekale v sodelovanju z Odsekom za fiziko trdne snovi, Odsekom za tehnologijo površin in optoelektroniko IJS ter v okviru bilateralnega projekta s kolegi iz The Pennsylvania State University, ZDA (slika 4).

Nadalje smo v sodelovanju s kolegi z Odseka za fiziko trdne snovi IJS z metodo nanašanja z vrtenjem (**spin-coating**) raztopin organskega prekursorja v polimerni matrici na podlagi platiniziranega silicija pripravili **tanke plasti PZT z načrtovano poroznostjo**. Prisotnost por v plasti je omogočila elastično relaksacijo feroelektrične faze in posledično večji elektromehanski odziv plasti. Velik piezoelektrični koeficient, ki je dosegel vrednost, značilno za volumensko keramiko PZT, je torej posledica povečane elastičnosti plasti in olajšane gibljivosti feroelastičnih domenskih sten.

V sodelovanju s kolegi z Univerze v Toursu, Francija, smo nadaljevali z raziskavami priprave debelih plasti na osnovi okolju prijaznih piezoelektrikov KNN z **metodo elektroforetskega nanosa**. Plasti smo pripravili na metaliziranih keramičnih podlagah za uporabo v napravah za zbiranje energije.

V letu 2019 smo nadaljevali s **pripravo debelih plasti z metodo nanašanja trdnih delcev v curku aerosola**. Omenjena tehnika je del Laboratorija za ultrahladno pripravo kompleksnih oksidov, kratko **ULTRACOOOL**, za katerega so bila sredstva pridobljena v okviru Direktorjevega sklada 2017. V sodelovanju s Fakulteto za strojništvo Univerze v Ljubljani smo pripravili korundne zaščitne prevleke za magnetokalorične elemente. V sodelovanju s Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen iz Nemčije smo z omenjeno tehniko pripravili porozne piezoelektrične debele plasti brez svinca na osnovi BaTiO_3 . Trenutne raziskave potekajo na področju optimizacije parametrov priprave debelih plasti PMN-PT na kovinskih in polimernih podlagah.

V laboratoriju Ultracool smo postavili opremo za **hladno sintranje**. Opravili smo preliminarne testiranja vzorcev (tj. stiskanje navlaženih prahov pri tlakih do 600 MPa in temperaturah do 300 °C). Sistematično smo s poskusi hladnega sintranja začeli na svinčevih feroelektrikih, nato na multiferoičnem BiFeO_3 in na kompozitih teh dveh perovskitnih spojin. Vzorci so imeli veliko dielektrično prebojno trdnost in veliko relativno gostoto, a so kljub temu potrebne nadaljnje analize za popolno razumevanje mehanizmov, ki so vpleteni v proces hladnega sintranja. Kot nam je znano, smo prvi, ki smo uspešno hladno sintrali keramiko BiFeO_3 , kar nam je uspelo z dodatkom talin hidroksidov. Raziskave hladnega sintranja potekajo tudi v sodelovanju s kolegi iz Pennsylvania State, University ZDA (prof. Clive Randall) in s skupino Advanced Ferroics na Centrale Supélec, Pariz, Francija (prof. Brahim Dkhil).



Slika 4: Brizgalno tiskanje feroelektričnih tankoplastnih kondenzatorjev. (a) Slike natisnjenih struktur LaNiO_3 (LNO) in $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ (PZT), posnete z optičnim mikroskopom med koraki izdelave kondenzatorja LNO/PZT/LNO. (b) Kontaktna profilometrija tiskanih struktur, ki prikazuje topografijo kondenzatorja. (c) Elektronska presečna mikroskopija v temnem polju preseka strukture LNO/PZT/LNO. (d) EELS analiza območja Al_2O_3 /LNO/PZT v velikosti $100 \times 170 \text{ nm}^2$.

Popularizacija znanosti: Sodelavka Odseka za elektronsko keramiko Hana Uršič je v sodelovanju z Emmanuelom Defayem iz Luksemburga in Magdaleno Wencka iz Poljske na konferenci E-MRS Fall Meeting 2019 organizirala simpozij z naslovom Caloric materials for efficient heat management applications: advances and challenges. Sodelavec Odseka za elektronsko keramiko Kristian Radan in Matic Lozinšek z Odseka za anorgansko kemijo in tehnologijo sta se s Kuhinjskimi eksperimenti udeležila 17. Festivala znanosti 2019 v Genovi, Italija. (slika 5)



Slika 5: 17. Festival znanosti 2019 v Genovi. Kuhinjski eksperimenti dr. Kristiana Radana z Odseka za elektronsko keramiko in dr. Matica Lozinška z Odseka za anorgansko kemijo in tehnologijo IJS ter Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani.

Prof. dr. Barbara Malič je bila leta 2019 izvoljena za Fellow of the European Ceramic Society, kot priznanje njenemu prispevku k raziskavam fero- in piezoelektrične keramike in tankih plasti.

Projekt Laboratorij za kemijo pod ekstremnimi pogoji (ECCL, <http://eccl.ijs.si/>), ki so ga predlagali raziskovalci Matic Lozinšek in Blaž Alič z Odseka za anorgansko kemijo in tehnologijo ter Mirela Dragomir in Kristian Radan z Odseka za elektronsko keramiko, je bil leta 2019 izbran na razpisu Direktorjevega sklada. Investicijska sredstva so namenjena nakupu opreme in vzpostavitvi novega laboratorija, kjer bodo raziskovalci

izvajali sintezo in karakterizacijo novih spojin in materialov pri nizkih temperaturah ali pri izjemno visokih tlakih. Projekt bi lahko v kemijo materialov vnesel povsem nova spoznanja.

V sodelovanju s CO NAMASTE in podjetjema HIPOT-RR in KEKO Oprema smo nadaljevali raziskovalno-razvojno delo na tematiki tehnologije LTCC (keramika z nizko temperaturo žganja, angl. Low-Temperature Co-Fired Ceramics) predvsem za načrtovanje in izdelavo tridimenzionalnih keramičnih struktur za ohišenje mikroelektronskih komponent in sistemov.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Bradeško, Andraž, Fulanovič, Lovro, Vrabelj, Marko, Otoničar, Mojca, Uršič, Hana, HeNriques, Alexandra, Chung, Ching-Chang, Jones, Jacob L., Malič, Barbara, Kutnjak, Zdravko, Rojac, Tadej, Electrocaloric fatigue of lead magnesium niobate mediated by an electric-field-induced phase transformation, *Acta materialia*, 2019, 169, 275–283
2. Prah, Uroš, Rojac, Tadej, Wencka, Magdalena, Dragomir, Mirela, Bradeško, Andraž, Benčan, Andreja, Sherbondy, Rachel, Brennecke, Geof, Kutnjak, Zdravko, Malič, Barbara, Uršič Nemevšek, Hana, Improving the multicaloric properties of $\text{Pb}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3$ by controlling the sintering conditions and doping with manganese, *Journal of the European ceramic society*, 2019, 39, 14, 4122–4130
3. Matavž, Aleksander, Benčan, Andreja, Kovač, Janez, Chung, Ching-Chang, Jones, Jacob L., Trolier-Mckinstry, Susan, Malič, Barbara, Bobnar, Vid, Additive manufacturing of ferroelectric-oxide thin-film multilayer devices, *ACS applied materials & interfaces*, 2019, 11, 49, 45155–45160
4. Bein, Nicole, Machado, Pamela, Coll, Mariona, Cheng, Feng, Makarovič, Maja, Rojac, Tadej, Klein, Andreas, Electrochemical reduction of undoped and cobalt-doped induced by water exposure : quantitative determination of reduction potentials and defect energy levels using photoelectron spectroscopy, *J. phys. chem. lett.*, 2019, 10, 21, 7071–7076, 2019
5. Condurache, Oana, Radan, Kristian, Prah, Uroš, Otoničar, Mojca, Kmet, Brigita, Kapun, Gregor, Dražič, Goran, Malič, Barbara, Benčan, Andreja, Heterogeneity challenges in multiple-element-modified lead-free piezoelectric ceramics, *Materials*, 2019, 12, 24, 4049-1-4049-12

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. E-MRS 2019 Fall Meeting: European Materials Research Society, Varšava, Poljska, 16.–19. 9. 2019
2. MIDEM 2019: 55. mednarodna konferenca o mikroelektroniki, elektronskih sestavnih delih in materialih z delavnico »Workshop on Laser Systems and Photonics«, Bled, Slovenija, 25.–27. 9. 2019

Nagrade in priznanja

1. Barbara Malič: Fellow Evropskega keramičnega društva
2. Barbara Malič, Andrej Kitanovski (UL FS): Odlični v znanosti ARRS 2019, ARRS, Demonstratorska hladilna naprava na osnovi elektrokaličnega pojava
3. Mirela Dragomir, Kristian Radan, Blaž Alič (K1), Matic Lozinšek (K1): Direktorjev sklad, Institut "Jožef Stefan", Laboratorij za kemijo pod ekstremnimi pogoji

MEDNARODNI PROJEKTI

1. EPCOS - Laboratorijske meritve
Epcos Ohg
doc. dr. Hana Uršič Nemevšek
2. Laboratorijske meritve
TDK Electronics GmbH & Co OG
prof. dr. Barbara Malič
3. Električne meritve
TDK Electronics GmbH & Co OG
prof. dr. Tadej Rojac
4. Laboratorijske meritve
TDK Electronics GmbH & Co OG
prof. dr. Andreja Benčan Golob
5. Elektrokalične meritve keramičnih vzorcev
TDK Electronics GmbH & Co OG
prof. dr. Barbara Malič
6. Meritve z mikroskopom na atomsko silo
TDK Electronics GmbH & Co OG
doc. dr. Hana Uršič Nemevšek
7. Okolju prijazni feroelektrični materiali v obliki tankih plasti in volumenske keramike ter njihova priprava pri nizkih temperaturah
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Barbara Malič
8. Priprava piezoelektričnih debelih plasti z metodo nanašanja aerosola
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Hana Uršič Nemevšek
9. Novi mehanizmi utrjevanja piezoelektrične keramike brez svinca
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Tadej Rojac
10. Hladno sintranje kompleksnih oksidnih materialov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Mojca Otoničar
11. Absorberji sončnih celic na osnovi feroelektrikov z ozkim prevodnim pasom; sinteza in karakterizacija
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Hana Uršič Nemevšek
12. Stabilnost medpovršin piezoelektričnih keramičnih oksidov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Tadej Rojac
13. Okolju prijazne piezoelektrične debeloplastne strukture na osnovi kalijevega natrijevega niobata za uporabo v napravah za zbiranje energije iz okolja
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Danjela Kuščer Hrovatin
14. Razumevanje vpliva velikosti na lastnosti antiferoelektričnih materialov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Mojca Otoničar
15. Multiferoiki za uporabo v hladilnih sistemih na osnovi trdne snovi
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Hana Uršič Nemevšek

16. Sinteza, struktura in lastnosti okolju prijaznih piezoelektričnih nanodelcev z različno morfologijo površin
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Andreja Benčan Golob
17. Visokotlačna sinteza in karakterizacija izbranih feroikov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Kristian Radan
18. Gojenje kristalov in magnetne lastnosti dvojnih perovskitov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Mirela Dragomir

PROGRAM

1. Elektronska keramika, nano, 2D in 3D strukture
prof. dr. Barbara Malič

PROJEKTI

1. Multikalorično hlajenje
doc. dr. Hana Uršič Nemevšek
2. Elektrokalični elementi za aktivno hlajenje elektronskih vezij
prof. dr. Barbara Malič
3. Napredne anorganske in organske tanke plasti z ojačenim električno induciranim odzivom
prof. dr. Barbara Malič
4. Napredna elektrokalična pretvorba energij
prof. dr. Barbara Malič
5. Feroelektrični keramični plastni elementi z načrtovano domensko strukturo za učinkovito zbiranje in za pretvorbo energije
prof. dr. Barbara Malič
6. SRIP ToP: Tovarne Prihodnosti
prof. dr. Barbara Malič
7. Povračilo stroškov znanstvenih objav v zlatem odprtem dostopu za leto 2019
prof. dr. Barbara Malič
8. Študijski obisk Maje Makarovič v Trondheimu - Interactions between Charged Defects and Domain Walls in Lead-Free BiFeO₃
Maja Makarovič, mag. nan.
9. Priprava vzorcev
prof. dr. Andreja Benčan Golob
10. Študijski obisk Oane Andree Condurache na univerzi AI CUZA, Iasi, Romunija - Funkcionalna karakterizacija keramike na osnovi kalijevega natrijevega niobata (KNN) in keramike na osnovi bizmutovega ferita (BFO)
Oana Andreea Condurache, master fizika, Romunija
11. Študijski obisk Kristiana Radana v Leobnu, Avstrija - Ramanska študija izbranih feroelektričnih perovskitov brez svinca
dr. Kristian Radan

OBISKI

1. Yuji Matsushita, Osaka Prefecture University – Graduate School of Engineering, Department of physics and electronics, Osaka, Japonska, 10. 10. 2018–6. 1. 2019
2. prof. Raul Bermejo, Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija, 17. 1. 2019
3. Ibrahim Gökdemir, Yildiz Technical University, Istanbul, Turčija, 4. 2.–25. 3. 2019
4. dr. Marco Deluca, Materials Center Leoben Forschung GmbH (MCL), Leoben, Avstrija, 13. 2. 2019
5. George Markou, University of Ioannina, Ioannina, Grčija, 1. 3.–30. 4. 2019
6. Chrisanthi Ikonomidou, University of Ioannina, Ioannina, Grčija, 1. 3.–31. 5. 2019
7. dr. Julian Walker, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norveška, 16.–21. 3. 2019
8. Mathis Lechable, Université François-Rabelais Tours, Tours, Francija, 1. 4.–21. 6. 2019
9. Rémy Lecomte, Université François-Rabelais Tours, Tours, Francija, 1. 4.–21. 6. 2019
10. Valentin Roulaud, Université François-Rabelais Tours, Tours, Francija, 2. 4.–21. 6. 2019
11. Marko Mudri, Bjelovar University of Applied Sciences, Department of Mechatronics, Bjelovar, Hrvaška, 23. 4.–22. 10. 2019
12. Nicole Bein, Technische Universität Darmstadt (TUDA), Darmstadt, Nemčija, 6.–24. 5. 2019
13. Hugo Mercier, Université François-Rabelais Tours, Gremen CNRS, Tours, Francija, 27. 5.–8. 6. 2019
14. Yao Minghai, Centrale Supélec, Université Paris-Saclay, Pariz, Francija, 1.–30. 6. 2019
15. prof. Brahmi Dkhil, Centrale Supélec, Université Paris-Saclay, Pariz, Francija, 3.–5. 6. 2019
16. prof. Franck Levassort, Université François-Rabelais Tours, Gremen CNRS, Tours, Francija, 3.–6. 6. 2019
17. prof. dr. Angus I. Kingon, Brown University, Providence, Rhode Island, ZDA, 10.–11. 6. 2019
18. prof. Nava Setter, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lozana, Švica, 10.–11. 6. 2019
19. prof. Hisao Suzuki, Shizuoka University, Hamamatsu, Japonska, 19.–22. 7. 2019
20. dr. Magdalena Wencka, Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poljska, 23. 7.–2. 8. 2019
21. prof. Mariya Gancheva, Institute of General and Inorganic Chemistry, Sofija, Bolgarija, 19.–23. 8. 2019
22. Udo Eckstein, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Erlangen, Nemčija, 25. 8.–15. 9. 2019
23. Kristijan Kovačić, Bjelovar University of Applied Sciences, Department of Mechatronics, Bjelovar, Hrvaška, 16. 9. 2019–21. 5. 2020
24. Nicole Bein, Technische Universität Darmstadt (TUDA), Darmstadt, Nemčija, 23. 9.–17. 10. 2019
25. dr. Marco Deluca, Materials Center Leoben Forschung GmbH (MCL), Leoben, Avstrija, 30. 9. 2019
26. prof. dr. Andreas Klein, Technische Universität Darmstadt (TUDA), Darmstadt, Nemčija, 10. 10. 2019
27. dr. Marko Vrabelj, TDK Electronics GmbH & Co OG, Deutschlandsberg, Avstrija, 21.–22. 10. 2019
28. dr. Kerstin Schmoltner, TDK Electronics GmbH & Co OG, Deutschlandsberg, Avstrija, 21.–22. 10. 2019
29. dr. Marcus Albrecher, TDK Electronics GmbH & Co OG, Deutschlandsberg, Avstrija, 21.–22. 10. 2019
30. Astita Dubey, Institute for Materials Science – Universität Duisburg-Essen, Essen, Nemčija, 21. 10.–8. 12. 2019
31. Yao Minghai, Centrale Supélec, Université Paris-Saclay, Pariz, Francija, 3. 11.–1. 12. 2019

32. Mateo Miličević, Bjelovar University of Applied Sciences, Department of Mechatronics, Bjelovar, Hrvaška, 4. 11. 2019–3. 1. 2020
33. Federica Benes, Materials Center Leoben Forschung GmbH (MCL), Leoben, Avstrija, 10.–30. 11. 2019
34. prof. Brahim Dkhil, Centrale Supélec, Université Paris-Saclay, Pariz, Francija, 1.–6. 12. 2019
35. Marion Höfling, Technische Universität Darmstadt (TUDA), Darmstadt, Nemčija, 9.–13. 12. 2019
36. Mihail Slabki, Technische Universität Darmstadt (TUDA), Darmstadt, Nemčija, 9.–13. 12. 2019
37. prof. Brahim Dkhil, Centrale Supélec, Université Paris-Saclay, Pariz, Francija, 19.–21. 12. 2019

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. prof. Raul Bermejo, Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija: Towards crack-free layered ceramics with enhanced mechanical properties, 17. 1. 2019
2. dr. Marco Deluca, Materials Center Leoben Forschung GmbH (MCL), Leoben, Avstrija: Ba-based lead-free relaxor ferroelectrics, 13. 2. 2019
3. dr. Julian Walker, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norveška: Exploring the Potential of Plastic Crystal Ferroelectrics, 18. 3. 2019
4. Matej Šadl: Ferroelectric ceramic thick films prepared by aerosol deposition, 5. 4. 2019
5. dr. Kostja Makarovič: Visokofrekvenčno dielektrično gretje tekočin v keramičnih mikrofluidnih sistemih, 11. 4. 2019
6. doc. dr. Hana Uršič Nemevšek: Električna karakterizacija – delavnica sodobne tehnike karakterizacije materialov, 18. 4. 2019
7. Oana Andreea Condurache: Analysis of domain walls in ferroelectric materials by different transmission electron microscopy methods, 23. 5. 2019
8. prof. Brahim Dkhil, Centrale Supélec, Université Paris-Saclay, Pariz, Francija: Ferroelectric materials at the intersection of the branches of physics, 3. 6. 2019
9. prof. Franck Levassort, Université François-Rabelais Tours, Gremans CNRS, Tours, Francija: Homogenization of piezoelectric 1-3 composites and textured ceramics, 6. 6. 2019
10. dr. Mirela Dragomir: Magnetism and superconductivity of selected oxides with K_2NiF_4 -type structure, 14. 6. 2019
11. doc. dr. Mojca Otoničar: Ferroelectric perovskite ceramics at different length scales, 26. 6. 2019
12. dr. Magdalena Wencka, Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poljska: Magnetism by SQUID and EPR, 30. 7. 2019
13. dr. Andraž Bradeško: Coupling of electrocaloric and electromechanical responses in relaxor ferroelectrics for dielectric cooling, 16. 12. 2019

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Barbara Malič, Tadej Rojac, Electronic Materials and Applications (EMA), Orlando, Florida, ZDA, 23.–25. 1. 2019 (2)
2. Barbara Malič, Kristian Radan, Piezo 2019: Electroceramics for End Users X, Špindlerův Mlýn, Češka, 27.–30. 1. 2019 (2)
3. Mojca Otoničar, Centrale Supélec, Université Paris-Saclay, Pariz, Francija, 29. 3. 2019 (1)
4. Barbara Malič, International Workshop on Woman in Ceramic Science (WoCeram2019), Budimpešta, Madžarska, 7.–9. 4. 2019 (1)
5. Kristian Radan, 12th High-Pressure Diffraction Workshop on High-Pressure Single-Crystal X-Ray Diffraction, Poznań, Poljska, 14.–16. 4. 2019 (1)
6. Oana Andreea Condurache, Matej Šadl, 11th Jožef Stefan International Postgraduate School Students' Conference and 13th Young Researcher's Day, Planica, Slovenija, 15.–16. 4. 2019 (2)
7. Kostja Makarovič, Ceramic Interconnect and Ceramic Microsystems Technologies (CIMCT 2019), Šanghaj, Kitajska, 16.–19. 4. 2019 (1)
8. Hana Uršič Nemevšek, Institute for Material Science, University of Duisburg-Essen, Essen, Nemčija, 8. 5. 2019 (1)
9. Kostja Makarovič, 94th Annual Conference of the German Ceramic Society (DKG) with the Symposium of High-Performance Ceramics, Leoben, Avstrija, 5.–9. 5. 2019 (-)
10. Hana Uršič Nemevšek, Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poljska, 13. 5. 2019 (1)
11. Oana Andreea Condurache, Andreja Benčan Golob, 3. slovensko posvetovanje mikroskopistov, Ankarana, Slovenija, 16.–17. 5. 2019 (2)
12. Mojca Otoničar, Institut für Elektronenmikroskopie und Nanoanalytik – Zentrum für Elektronenmikroskopie (FELMI TU Graz), Gradec, Avstrija, 17. 5. 2019 (1)
13. Andreja Benčan Golob, Barbara Malič, Nanomaterials & Applications Conference (NANOAPP 2019), Ljubljana, Slovenija, 3.–6. 6. 2019 (2)

14. Barbara Malič, 5th Conference of the Serbian Society for Ceramic Materials, Beograd, Srbija, 11.–13. 6. 2019 (1)
15. Oana Andreea Condurache, Uroš Prah, Tadej Rojac, 16th Conference of the European Ceramic Society (ECeS 2019), Torino, Italija, 16.–20. 6. 2019 (3)
16. Maja Makarovič, Barbara Malič, Hana Uršič Nemevšek, Mojca Otoničar, Tadej Rojac, Matej Šadl, Joint ISAF-ICE-EMF-IWPM-PFM meeting, 2019 IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF), Lozana, Švica, 14.–19. 7. 2019 (6)
17. Goran Dražić, Andreja Benčan Golob, Microscopy & Microanalysis 2019, Portland, Oregon, ZDA, 4.–8. 8. 2019 (2)
18. Mirela Dragomir, 17th European Conference on Solid State Chemistry, Lille, Francija, 1.–4. 9. 2019 (1)
19. Danjela Kuščer Hrovatin, 7th Shaping Conference, Aveiro, Portugalska, 11.–13. 9. 2019 (1)
20. Tadej Rojac, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norveška, 13. 9. 2019 (1)
21. Tadej Rojac, 14th Multinational Congress on Microscopy, Beograd, Srbija, 15.–20. 9. 2019 (1)
22. Andreja Benčan Golob, Hana Uršič Nemevšek, Uroš Prah, Matej Šadl, European Materials Research Society (E-MRS 2019 Fall Meeting), Varšava, Poljska, 16.–19. 9. 2019 (4)
23. Oana Andreea Condurache, Workshop on Protocells in Situ Academy (EMEA), Berlin, Nemčija, 23.–25. 9. 2019 (-)
24. Darko Belavič, Andraž Bradeško, Mirela Dragomir, Andreja Benčan Golob, Danjela Kuščer Hrovatin, Barbara Malič, Hana Uršič Nemevšek, Mojca Otoničar, Uroš Prah, Matej Šadl, 55th International Conference on Microelectronics, Devices and Materials & the Workshop on Laser System and Photonics (MIDEM), Bled, Slovenija, 25.–27. 9. 2019 (7)
25. Kristian Radan, Slovenski kemijski dnevi 2019, Maribor, Slovenija, 25.–27. 9. 2019 (1)
26. Andreja Benčan Golob, 9th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress and Exhibition (APMAS 2019), Oludeniz, Turčija, 22.–28. 10. 2019 (1)
27. Barbara Malič, 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (PACRIM 13), Okinawa, Japonska, 27. 10.–1. 11. 2019 (1)
28. Kristian Radan, Festival znanosti 2019, Genova, Italija, 31. 10.–4. 11. 2019 (1)
29. Uroš Prah, Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poljska, 18. 11. 2019 (1)
30. Barbara Malič, Ferroelectrics School, Tsinghua University, Peking, Kitajska, 9.–12. 12. 2019 (1)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Maja Makarovič: Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Department of Materials Science and Engineering Trondheim, Norveška, 2. 11. 2018–27. 4. 2019 (simulacijska metoda DFT, meritve Seebeckovega koeficienta)
2. Hana Uršič Nemevšek: Institut for Materials Science, University of Duisburg-Essen, Essen, Nemčija, 6.–8. 5. 2019 (magnetne in magnetoelektrične meritve)
3. Uroš Prah: Institut for Materials Science, University of Duisburg-Essen, Essen, Nemčija, 6.–17. 5. 2019 (meritve magnetnih lastnosti)
4. Hana Uršič Nemevšek: Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poljska, 12.–17. 5. 2019 (magnetne meritve vzorcev)
5. Tadej Rojac: Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norveška, 31. 8.–28. 9. 2019 (študija defektne kemije sistema BiFeO₃)
6. Maja Makarovič: Technische Universität Darmstadt (TUDA), FG Nichtmetallisch-Organische Werkstoffe (NAW), Darmstadt, Nemčija, 22. 9.–19. 10. 2019 (resonančne meritve pri nizkih in visokih poljih ter kinetika preklapljanja domenskih sten)
7. Mojca Otoničar: Penn State University, Materials Research Institute, State College, Pensilvanija, ZDA, 13.–18. 10. 2019 (sodelovanje pri postopkih hladnega sintranja kompleksnih oksidnih materialov)
8. Matej Šadl: Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Department of Materials Science and Engineering, Erlangen, Nemčija, 14.–31. 10. 2019 (priprava funkcionalnih debelih plasti z metodo nanašanja aerosola, meritve na pripravljenih vzorcih)
9. Kristian Radan: Technische Universität Darmstadt (TUDA), Department of Electronic Structure of Materials, Darmstadt, Nemčija, 21.–27. 10. 2019 (rentgenska fotoelektronska spektroskopija)
10. Kristian Radan: Materials Center Leoben Forschung GmbH (MCL), Department Materials for Microelectronics, Leoben, Avstrija, 11.–30. 11. 2019 (karakterizacija vzorcev keramičnih piezoelektrikov brez svinca na osnovi alkalijskih niobatov s pomočjo ramanske spektroskopije)
11. Danjela Kuščer Hrovatin: Université François-Rabelais Tours, Gremans CNRS, Tours, Francija, 12.–19. 11. 2019 (karakterizacija ultrazvočnih pretvornikov)
12. Uroš Prah: Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poljska, 14.–29. 11. 2019 (meritve magnetnih lastnosti in specifične toplotne kapacitete na vzorcih)
13. Oana Andreea Condurache: Alexandru Ioan Cuza University (A.I. Cuza), Dielectric, Ferroelectric and Multiferroic Materials Department, Iași, Romunija, 2.–23. 12. 2019 (karakterizacija kalijevega natrijevega niobata in bizmut ferita)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Andreja Benčan Golob
2. prof. dr. Goran Dražić*, znanstveni svetnik
3. prof. dr. Danjela Kuščer Hrovatin
4. **prof. dr. Barbara Malič, znanstveni svetnik - vodja odseka**
5. dr. Mojca Otoničar
6. prof. dr. Tadej Rojac
7. doc. dr. Hana Uršič Nemevšek

Podoktorski sodelavci

8. dr. Mirela Dragomir
9. dr. Kostja Makarovič*
10. dr. Kristian Radan
11. *dr. Tanja Vrabelj, odšla 1. 2. 2019*

Mlajši raziskovalci

12. dr. Andraž Bradeško
13. Oana Andreea Condurache, master fizica, Romunija
14. *Lovro Fulanović, mag. ing. mech., R Hrvatska, odšel 1. 2. 2019*
15. Sabi William Konsago, Msc., Rusija
16. Maja Makarovič, mag. nan.
17. Uroš Prah, mag. kem.
18. Samir Salmanov, Msc., Rusija
19. Matej Šadl, mag. nan.

Strokovni sodelavci

20. *Darko Belavič, univ. dipl. inž. el., odšel 1. 2. 2019*
21. Silvo Drnovšek, dipl. inž. kem. tehnol.
22. Brigita Kmet, dipl. inž. kem. tehnol.
23. Marija Šebjan Pušenjak, dipl. ekon. (VS)

Tehniški in administrativni sodelavci

24. Tina Ručigaj Korošec, univ. dipl. soc.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Adam Mickiewicz University, Poznań, Poljska
2. Alexandru Ioan Cuza University (A. I. Cuza), Dielectric, Ferroelectric and Multiferoic Materials Department, Iași, Romunija
3. Associazione Festival della Scienza, Genova, Italija
4. Brown University, Providence, Rhode Island, ZDA
5. Center odličnosti NAMASTE, Ljubljana, Slovenija
6. Center odličnosti VESOLJE, Ljubljana, Slovenija
7. Centrale Supélec, Université Paris-Saclay, Pariz, Francija
8. Colorado School of Mines, Golden, Kolorado, ZDA
9. École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lozana, Švica

10. European Organization for Nuclear Research CERN, Ženeva, Švica
11. Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NAS of Ukraine, Kijev, Ukrajina
12. Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Department of Materials Science and Engineering, Erlangen, Nemčija
13. Institut für Elektronenmikroskopie und Nanoanalytik – Zentrum für Elektronenmikroskopie (FELMI TU Graz), Gradec, Avstrija
14. Institut za multidisciplinarna istraživanja Univerziteta u Beogradu, Odsek za nauku o materijalima (IMSI UB), Beograd, Srbija
15. Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija
16. Institute for Materials Science, University of Duisburg-Essen, Essen, Nemčija
17. Institute for Technical Physics and Materials Science, Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Science, Budimpešta, Madžarska
18. Institute of Physics of the Czech Academy of Science, Praga, Češka
19. Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poljska
20. KEKO – Oprema, d. o. o., Žužemberk, Slovenija
21. Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
22. Knauf Insulation, d. o. o., Škofja Loka, Slovenija
23. Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), Luxembourg, Luksemburg
24. MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o., Šempeter pri Gorici, Slovenija
25. Materials Center Leoben Forschung GmbH (MCL), Leoben, Avstrija
26. McMaster University, Hamilton, Ontario, Kanada
27. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, Slovenija
28. Meggitt Sensing Systems, Meggitt A/S, Kvistgård, Danska
29. Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija
30. Murata Manufacturing Co., Ltd, Kyoto, Japonska
31. North Carolina State University (NCSU), Materials Science and Engineering Department, Raleigh, Severna Karolina, ZDA
32. Norwegian University of Science and Tehnology (NTNU), Department of Materials Science and Engineering, Trondheim, Norveška
33. Osaka Prefecture University – Graduate School of Engineering, Department of Physics and Electronics, Osaka, Japonska
34. Penn State University, Materials Research Center, State College, Pensilvanija, ZDA
35. Shanghai University, Department of Electronic Information Materials, Šanghaj, Kitajska
36. Shizuoka University, Research Institute of Electronics, Department of Engineering, Graduate School of Integrated Science and Technology, Hamamatsu, Japonska
37. TDK Electronics GmbH & Co OG, Deutschlandsberg, Avstrija
38. Technical University of Denmark (DTU), Kongens Lyngby, Danska
39. Technische Universität Darmstadt (TU Da), Darmstadt, Nemčija
40. Tsinghua University, School of Materials Science and Engineering, Peking, Kitajska
41. Université François-Rabelais Tours, Gremen CNRS, Tours, Francija
42. University of Applied Sciences, Department of Mechatronics, Bjelovar, Hrvatska
43. University of Aveiro (UA), Aveiro, Portugalska
44. University of New South Wales, Sydney, Avstralija
45. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana, Slovenija
46. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
47. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
48. Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za naravoslovje, Nova Gorica, Slovenija
49. VARS, podjetje za proizvodnjo varistorja in sklopov, d. o. o., Ljubljana, Slovenija

BIBLIOGRAFIJA

IZVIRNI ZNANSTVENI ČLANEK

- Boštjan Genorio, Katharine L. Harrison, Justin Grant Connell, Goran Dražič, Kevin R. Zavadil, Nenad M. Markovic, Dušan Strmčnik, "Tuning the selectivity and activity of electrochemical interfaces with defective graphene oxide and reduced graphene oxide", *ACS applied materials & interfaces*, 2019, **11**, 37, 34517-34525. [COBISS.SI-ID 1538365891]
- Aleksander Matavž, Andreja Benčan, Janez Kovač, Ching-Chang Chung, Jacob L. Jones, Susan Trolrier-McKinstry, Barbara Malič, Vid Bobnar, "Additive manufacturing of ferroelectric-oxide thin-film multilayer devices", *ACS applied materials & interfaces*, 2019, **11**, 49, 45155-45160. [COBISS.SI-ID 32849447]
- Andraž Bradeško, Lovro Fulanović, Marko Vrabelj, Mojca Otoničar, Hana Uršič Nemevšek, Alexandra Henriques, Ching-Chang Chung, Jacob L. Jones, Barbara Malič, Zdravko Kutnjak, Tadej Rojac, "Electrocaloric fatigue of lead magnesium niobate mediated by an electric-field-induced phase transformation", *Acta materialia*, 2019, **169**, 275-283. [COBISS.SI-ID 32250151]
- Darko Makovec, Matej Komelj, Goran Dražič, Blaž Belec, Tanja Goršak, Sašo Gyergyek, Darja Lisjak, "Incorporation of Sc into the structure of barium-hexaferrite nanoplatelets and its extraordinary finite-size effect on the magnetic properties", *Acta materialia*, 2019, **172**, 84-91. [COBISS.SI-ID 5377531]
- Primož Koželj, Stanislav Vrtnik, Andreja Jelen, Mitja Krnel, Darja Gačnik, Goran Dražič, Anton Meden, Magdalena Wencka, David Jezeršek, Janez Leskovec, Soumyadip Maiti, Walter Steurer, Janez Dolinšek, "Discovery of a FeCoNiPdCu high-entropy alloy with excellent magnetic softness", *Advanced engineering materials*, 2019, **21**, 5, 1801055. [COBISS.SI-ID 32146727]
- Tomaž Kos, Tadej Rojac, Janko Petrovčič, Damir Vrančič, "Control system for automated drift compensation of the stand-alone charge amplifier used for low-frequency measurement", *AIP advances*, 2019, **9**, 3, 035133. [COBISS.SI-ID 32207143]
- Ruggero Vigliaturo, Simone Pollastri, Reto Gieré, Alessandro F. Gualtieri, Goran Dražič, "Experimental quantification of the Fe-valence state at amosite-asbestos boundaries using acSTEM dual-electron energy-loss spectroscopy", *The American mineralogist*, 2019, **104**, 12, 1820-1828. [COBISS.SI-ID 6750234]
- Primož Jovanović, Kevin Stojanovski, Marjan Bele, Goran Dražič, Gorazd Koderman Podboršek, Luka Suhadolnik, Miran Gaberšček, Nejc Hodnik, "Methodology for investigating electrochemical gas evolution reactions: floating electrode as a means for effective gas bubble removal", *Analytical chemistry*, 2019, **91**, 16, 10353-10356. [COBISS.SI-ID 32578343]
- Andraž Bradeško, Ana Hedl, Lovro Fulanović, Nikola Novak, Tadej Rojac, "Self-heating of relaxor and ferroelectric ceramics during electrocaloric field cycling", *APL materials*, 2019, **7**, 071111. [COBISS.SI-ID 32528423]
- Aleksander Matavž, Andraž Bradeško, Tadej Rojac, Barbara Malič, Vid Bobnar, "Self-assembled porous ferroelectric thin films with a greatly enhanced piezoelectric response", *Applied materials today*, 2019, **16**, 83-89. [COBISS.SI-ID 32352551]
- Alexander Martin, Hana Uršič Nemevšek, Tadej Rojac, Kyle Grant Webber, "Direct observation of the stress induced domain structure in lead-free (Na_{1/2}Bi_{1/2})TiO₃-based ceramics", *Applied physics letters*, 2019, **114**, 5, 052901. [COBISS.SI-ID 32081703]
- Marta Pedrosa, Marija J. Sampaio, Tajana Horvat, Olga C. Nunes, Goran Dražič, Alirio E. Rodrigues, José Luís Figueiredo, Cláudia G. Silva, Adrián M. T. Silva, Joaquim Luís Faria, "Visible-light-induced self-cleaning functional fabrics using graphene oxide/carbon nitride materials", *Applied Surface Science*, 2019, **497**, 143757. [COBISS.SI-ID 6707738]
- Katja Bezek, Damijan Nipič, Karmen Godič Torkar, Martina Oder, Goran Dražič, Anže Abram, Janez Žibert, Peter Raspor, Klemen Bohinc, "Biofouling of stainless steel surfaces by four common pathogens: the effects of glucose concentration, temperature and surface roughness", *Biofouling*, 2019, **35**, 3, 273-282. [COBISS.SI-ID 5614699]
- Maja Pori, Iztok Arčon, Damjan Lašič Jurkovič, Marjan Marinšek, Goran Dražič, Blaž Likozar, Zorica Crnjak Orel, "Synthesis of a Cu/ZnO nanocomposite by electroless plating for the catalytic conversion of CO₂ to methanol", *Catalysis letters*, 2019, **149**, 5, 1427-1439. [COBISS.SI-ID 5371899]
- Jingkun Li, Qingying Jia, Sanjeev Mukerjee, Moulay Tahar Sougrati, Goran Dražič, Andrea Zitolo, Frédéric Jaouen, "The challenge of achieving a high density of Fe-based active sites in a highly graphitic carbon matrix", *Catalysts*, 2019, **9**, 2, 144. [COBISS.SI-ID 6567706]
- Danijela Kuščer, Andraž Kocjan, Maja Majcen, Anton Meden, Kristian Radan, Janez Kovač, Barbara Malič, "Evolution of phase composition and microstructure of sodium potassium niobate-based ceramic during pressure-less spark plasma sintering and post-annealing", *Ceramics international*, 2019, **45**, 8, 10429-10437. [COBISS.SI-ID 32144935]
- Marjan Bele, Kevin Stojanovski, Primož Jovanović, Leonard Moriau, Gorazd Koderman Podboršek, Jože Moškon, Polona Umek, Melita Sluban, Goran Dražič, Nejc Hodnik, Miran Gaberšček, "Towards stable and conductive titanium oxynitride high-surface-area support for iridium nanoparticles as oxygen evolution reaction electrocatalyst", *ChemCatChem*, 2019, **11**, 20, 5038-5044. [COBISS.SI-ID 6711834]
- Marta Pedrosa, Goran Dražič, Pedro B. Tavares, José Luís Figueiredo, Adrián M. T. Silva, "Metal-free graphene-based catalytic membrane for degradation of organic contaminants by persulfate activation", *Chemical engineering journal*, 2019, **369**, 223-232. [COBISS.SI-ID 6603546]
- Mirela Dragomir, Paul A. Dube, Iztok Arčon, Chad Boyer, Meghan Rutherford, Christopher Wiebe, Graham King, Hanna Dabkowska, John E. Greedan, "Comparing magnetism in isostructural oxides A_{0.8}La_{1.2}MnO_{4.1}: anisotropic spin glass (A = Ba) versus long range order (A = Sr)", *Chemistry of materials*, 2019, **31**, 19, 7833-7844. [COBISS.SI-ID 32603431]
- Andreja Erman, Gregor Kapun, Sara Novak, Mojca Pavlin, Goran Dražič, Damjana Drobne, Peter Veranič, "How cancer cells attach to urinary bladder epithelium in vivo: study of the early stages of tumorigenesis in an orthotopic mouse bladder tumor model", *Histochemistry and cell biology*, 2019, **151**, 3, 263-273. [COBISS.SI-ID 33976025]
- Kristijan Brecl, Chiara Barretta, Gernot Oreski, Barbara Malič, Marko Topič, "The influence of the EVA film aging on the degradation behavior of PV modules under high voltage bias in wet conditions followed by electroluminescence", *IEEE journal of photovoltaics*, 2019, **9**, 1, 259-265. [COBISS.SI-ID 12242260]
- Matej Šadl, Urban Tomc, Uroš Prah, Hana Uršič Nemevšek, "Protective alumina coatings prepared by aerosol deposition on magnetocaloric gadolinium elements", *Informacije MIDEM: časopis za mikroelektroniko, elektronske sestavne dele in materiale*, 2019, **49**, 3, 177-182. [COBISS.SI-ID 16935195]
- Mario Bieringer, J. Rose Stewart, Andrew P. Grosvenor, Mirela Dragomir, John E. Greedan, "Quenching of long range order and the Mn³⁺ ordered moment in the layered antiferromagnet, Ba_xSr_{1-x}LaMnO₄: a polarized neutron scattering study", *Inorganic chemistry*, 2019, **58**, 7, 4300-4309. [COBISS.SI-ID 32206375]
- Uroš Plaznik, Marko Vrabelj, Zdravko Kutnjak, Barbara Malič, Brigita Rožič, Alojz Poredoš, Andrej Kitanovski, "Numerical modelling and experimental validation of a regenerative electrocaloric cooler", *International journal of refrigeration*, 2019, **98**, 139-149. [COBISS.SI-ID 31863079]
- Ivan Marič, Goran Dražič, Mile Ivanda, Tanja Jurkin, Goran Štefanič, Marijan Gotič, "Impact of Fe(III) ions on the structural and optical properties of anatase-type solid solutions", *Journal of molecular structure*, 2019, **1179**, 354-365. [COBISS.SI-ID 6541338]
- Nicole Bein, Pamela Machado, Mariona Coll, Feng Cheng, Maja Makarovič, Tadej Rojac, Andreas Klein, "Electrochemical reduction of undoped and cobalt-doped BiFeO₃ induced by water exposure: quantitative determination of reduction potentials and defect energy levels using photoelectron spectroscopy", *The journal of physical chemistry letters*, 2019, **10**, 21, 7071-7076. [COBISS.SI-ID 32828199]
- J. J. Bian, Mojca Otoničar, Matjaž Spreitzer, Damjan Vengust, Danilo Suvorov, "Structural evolution, dielectric and energy storage properties of Na(Nb_{1-x}Ta_x)O₃ ceramics prepared by spark plasma sintering", *Journal of the European ceramic society*, 2019, **39**, 7, 2339-2347. [COBISS.SI-ID 32106023]
- Maja Makarovič, Andreja Benčan, Julian Walker, Barbara Malič, Tadej Rojac, "Processing, piezoelectric and ferroelectric properties of (x)BiFeO₃ - (1-x)SrTiO₃ ceramics", *Journal of the European ceramic society*, 2019, **39**, 13, 3693-3702. [COBISS.SI-ID 32335911]
- Mirela Dragomir, Mojca Otoničar, Marko Vrabelj, Lovro Fulanović, Silvo Drnovšek, Tadej Rojac, Barbara Malič, "Seeding effects on the mechanochemical synthesis of 0.9Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃0.1PbTiO₃", *Journal of the European ceramic society*, 2019, **39**, 5, 1837-1845. [COBISS.SI-ID 31988263]

30. Tanja Vrabelj, Aleksander Matavž, Hana Uršič Nemevšek, Vid Bobnar, Barbara Malič, "The effect of calcium zirconate modifications on the microstructure and functional properties of sodium niobate thin films prepared by chemical solution deposition", *Journal of the European ceramic society*, 2019, **39**, 7, 2325-2330. [COBISS.SI-ID 32128807]
31. Uroš Prah, Tadej Rojac, Magdalena Wencka, Mirela Dragomir, Andraž Bradeško, Andreja Benčan, Rachel Sherbondy, Geof Brennecke, Zdravko Kutnjak, Barbara Malič, Hana Uršič Nemevšek, "Improving the multicaloric properties of $\text{Pb}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3$ by controlling the sintering conditions and doping with manganese", *Journal of the European ceramic society*, 2019, **39**, 14, 4122-4130. [COBISS.SI-ID 32459303]
32. Hana Uršič Nemevšek, Andreja Benčan, Uroš Prah, Mirela Dragomir, Barbara Malič, "Structure and dynamics of ferroelectric domains in polycrystalline $\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3$ ", *Materials*, 2019, **12**, 8, 1327. [COBISS.SI-ID 32319271]
33. Oana Condurache, Kristian Radan, Uroš Prah, Mojca Otoničar, Brigita Kmet, Gregor Kapun, Goran Dražič, Barbara Malič, Andreja Benčan, "Heterogeneity challenges in multiple-element-modified lead-free piezoelectric ceramics", *Materials*, 2019, **12**, 24, 4049. [COBISS.SI-ID 32977959]
34. Matija Gatalo, Francisco Ruiz-Zepeda, Nejc Hodnik, Goran Dražič, Marjan Bele, Miran Gaberšček, "Insights into thermal annealing of highly-active PtCu_3/C oxygen reduction reaction electrocatalyst: an in-situ heating transmission electron microscopy study", *Nano energy*, 2019, **63**, 103892. [COBISS.SI-ID 6670618]
35. Francisco Ruiz-Zepeda, Matija Gatalo, Andraž Pavlišič, Goran Dražič, Primož Jovanovič, Marjan Bele, Miran Gaberšček, Nejc Hodnik, "Atomically resolved anisotropic electrochemical shaping of nano-electrocatalyst", *Nano letters*, 2019, **19**, 8, 4919-4927. [COBISS.SI-ID 6623002]
36. B. Michon *et al.* (17 avtorjev), "Thermodynamic signatures of quantum criticality in cuprate superconductors", *Nature*, 2019, **567**, 7747, 218-222. [COBISS.SI-ID 32103719]
37. Karsten Rachut, Thorsten J. M. Bayer, Jan O. Wolf, Brigita Kmet, Andreja Benčan, Andreas Klein, "Off-stoichiometry of magnetron sputtered $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ thin films", *Physica status solidi. B, Basic research*, 2019, **256**, 10, 1900148. [COBISS.SI-ID 32470823]
38. Riccardo Arpaia, Eric Andersson, Alexei Kalaboukhov, Elsebeth Schröder, Edoardo Trabaldo, Regina Ciancio, Goran Dražič, Pasquale Orgiani, Thilo Bauch, Florian Lombardi, "Untwinned $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ thin films on MgO substrates: a platform to study strain effects on the local orders in cuprates", *Physical review materials*, 2019, **3**, 11, 114804. [COBISS.SI-ID 6747930]
39. Nirat Ray, Nikita Gupta, Meghadeepa Adhikary, Nikolina Nekić, Lovro Basoli, Goran Dražič, Sigrid Bernstorff, Maja Mičetić, "Influence of structure on electronic charge transport in 3D Ge nanowire networks in an alumina matrix", *Scientific reports*, 2019, **9**, 5432. [COBISS.SI-ID 6611738]
40. Martina Vrankić, Ankica Šarić, Sanja Bosnar, Damir Pajić, Jure Dragović, Angela Altomare, Aurelia Falcicchio, Jasminka Popović, Marijana Jurić, Mladen Petravić, Ivana Jelovica Badovinac, Goran Dražič, "Magnetic oxygen stored in quasi-1D form within BaAl_2O_4 lattice", *Scientific reports*, 2019, **9**, 15158. [COBISS.SI-ID 40260101]
41. Angelja Kijara Surca, Goran Dražič, Mohor Mihelčič, "Low-temperature V-oxide film for a flexible electrochromic device: comparison of its electrochromic, IR and Raman properties to those of a crystalline V_2O_5 film", *Solar energy materials and solar cells*, 2019, **196**, 185-199. [COBISS.SI-ID 6614554]
42. Benedetto Bozzini, Danjela Kuščer, Matteo Amati, Luca Gregoratti, Patrick Zeller, Tsvetina Dobrovoljska, Ivan Krastev, "Spatially resolved XPS characterization of electrochemical surfaces", *Surfaces*, 2019, **2**, 2, 295-314. [COBISS.SI-ID 32298023]
43. Una Stamenović, Vesna Vodnik, Nemanja Gavrilov, Igor A. Pašti, Mojca Otoničar, Miodrag Mitrić, Srečo D. Škapin, "Developing an advanced electrocatalyst derived from triangular silver nanoplates@polyvinylpyrrolidone-polyaniline nanocomposites", *Synthetic metals*, 2019, **257**, 116173. [COBISS.SI-ID 33099047]
44. Krešimir Salamon, Pavo Dubček, Goran Dražič, Sigrid Bernstorff, Njgomir Radić, "Lateral inhomogeneities in W/C multilayer mirrors", *Thin solid films*, 2019, **691**, 137611. [COBISS.SI-ID 40259845]

PREGLEDNI ZNANSTVENI ČLANEK

1. Hana Uršič Nemevšek, Uroš Prah, "Investigations of ferroelectric polycrystalline bulks and thick films using piezoresponse force microscopy", *Proceedings of the Royal Society. Series A, Mathematical,*

Physical and Engineering Sciences, 2019, **475**, 2223, 20190082. [COBISS.SI-ID 32191271]

OBJAVLJENI ZNANSTVENI PRISPEVEK NA KONFERENCI

1. Hristina Lazarova, Margarita Popova, Petar Djinović, Alenka Ristić, Goran Dražič, Albin Pintar, Alina M. Balu, Nataša Novak Tušar, "Hydrogenation of levulinic acid to γ -valerolactone on Ni-modified zeolite", V: *Proceedings of the 8th Serbian-Croatian-Slovenian Symposium on Zeolites, Proceedings of the 8th Croatian-Slovenian-Serbian Symposium on Zeolites, Proceedings of the 8th Slovenian-Serbian-Croatian Symposium on Zeolites: [3 - 5 October 2019, Belgrade, Serbia]*, Serbian Zeolite Association, 2019, 15-18. [COBISS.SI-ID 40273669]

SAMOSTOJNI ZNANSTVENI SESTAVEK ALI POGLAVJE V MONOGRAFSKI PUBLIKACIJI

1. Damjana Drobne, Sara Novak, Andreja Erman, Goran Dražič, "New opportunities for FIB/SEM EDX in nanomedicine: cancerogenesis research", V: *Biological field emission scanning electron microscopy*, Wiley, 2019, 533-543. [COBISS.SI-ID 500]

DRUGO UČNO GRADIVO

1. Tadej Rojac, *Dielektrični, piezoelektrični, piroelektrični, feroelektrični in elektrokalični materiali: osnove in primeri aplikacij*, Univerza v Ljubljani, Naravoslovno-tehnična fakulteta, 2019. [COBISS.SI-ID 32991271]
2. Danjela Kuščer, *Zbiranje energije s piezoelektričnimi materiali*, Jožef Stefan International Postgraduate School, 2019. [COBISS.SI-ID 32836903]
3. Tadej Rojac, *Ferroelectric domains and domain walls: principles, properties and dynamics*, Jožef Stefan International Postgraduate School, 2019. [COBISS.SI-ID 32992295]
4. Tadej Rojac, *Keramika ; uvodno predavanje*, Univerza v Ljubljani, Naravoslovno-tehnična fakulteta, 2019. [COBISS.SI-ID 32991015]
5. Tadej Rojac, *Mechanochemistry: basic definitions and application examples*, Jožef Stefan International Postgraduate School, 2019. [COBISS.SI-ID 32992551]
6. Danjela Kuščer, *Oblikovanje debeloplastnih struktur: predavanja in vaje, predmet Keramika*, Naravoslovnotehniška fakulteta, 2019. [COBISS.SI-ID 32952615]
7. Tadej Rojac, *Piezoelectric and ferroelectric materials: Basics, applications and figure-of-merits*, Jožef Stefan International Postgraduate School, 2019. [COBISS.SI-ID 32992039]
8. Tadej Rojac, *Piezoelectric materials: what are they and how can be used*, Jožef Stefan International Postgraduate School, 2019. [COBISS.SI-ID 32991783]
9. Tadej Rojac, *Sinteza keramike v trdnem stanju: osnove in primeri*, Univerza v Ljubljani, Naravoslovno-tehnična fakulteta, 2019. [COBISS.SI-ID 32991527]

PATENTNA PRIJAVA

1. Mirko Faccini, Morillo Martín, David Amantia, Danjela Kuščer, Darko Belavič, Tadej Rojac, *A vibration system and a filtering plate for filtering substances*, EP3454977 (A1), European Patent Office, 20. 03. 2019. [COBISS.SI-ID 29525543]

DOKTORATI IN MENTORSTVO

1. Andraž Bradeško, *Sklopitev elektrokaličnega in elektromehanskega odziva v relaksorskih feroelektričnih dielektrično hlajenje*: doktorska disertacija, Ljubljana, 2019 (mentor Tadej Rojac; somentor Zdravko Kutnjak). [COBISS.SI-ID 303511552]
2. Aleksander Matavž, *Brizgalno tiskanje in strukturno pogojene lastnosti feroelektričnih tankoplastnih struktur*: doktorska disertacija, Ljubljana, 2019 (mentor Vid Bobnar; somentor Barbara Malič). [COBISS.SI-ID 303408640]
3. Maja Pori, *Vpliv sinteznih parametrov na učinkovitost katalizatorjev na osnovi bakra in cinkovega oksida za reakcije tvorbe metanola*: doktorska disertacija, Ljubljana, 2019 (mentor Marjan Marinšek; somentor Goran Dražič). [COBISS.SI-ID 300777472]