

Odsek za elektronsko keramiko raziskuje sintezo, lastnosti in uporabo keramičnih materialov za elektroniko in energetiko, pretežno kompleksnih materialov in struktur, ki lahko opravljajo več funkcij (multifunkcijski materiali). To so predvsem piezoelektriki, feroelektriki, relaksorji, multiferoiki, prevodni oksidi, nizko dimenzionalni magneti in kupratni superprevodniki. 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.



Vodja:

prof. dr. Barbara Malič

Nadaljevali smo raziskave na področju okolju prijaznih piezoelektrikov brez svinca. V sodelovanju s kolegi s Tehniške univerze Darmstadt v Nemčiji smo pri sobni temperaturi proučevali deformacijo feroelektričnega monokristala KNbO_3 v orientacijah [101] in [101]. Mehanske dislokacije in strukturo feroelektričnih domen smo raziskali z mikroskopom na atomsko silo s piezoelektričnim modulom (PFM). Rezultati kažejo, da dislokacije delujejo kot mesta nukleacije in pripenjanja za feroelektrične domene, kar vodi do lokalnega povečanja gostote feroelektričnih domenskih sten.

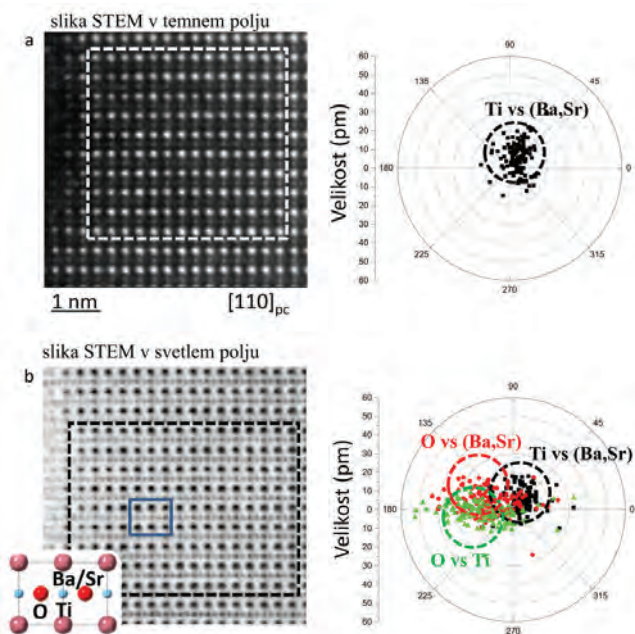
Nadaljevali smo raziskave polikristaliničnega BiFeO_3 . Izvedli smo primerjalno strukturo študijo nenabitih in nabitih domenskih sten (DS) v keramiki BiFeO_3 s pomočjo vrstične preseвне elektronske mikroskopije na atomski ravni. Pokazali smo, da nenabite stene tipa {100} v psevdokubični formulaciji (pc) izkazujejo večje lokalne napetosti kot nabite stene, kar je posledica intrinzične mrežne deformacije. Ker je bilo eksperimentalno dokazano, da se domenske stene tipa {100}pc bistveno razlikujejo po porazdelitvi napetosti in strukturi, domnevamo, da se bodo pri preklapljanju pod poljem različno obnašale.

Skupaj s kolegi z Univerze za znanost in tehnologijo, Trondheim, Norveška, smo objavili pregledni članek o lastnostih domenskih sten pod izmeničnim tokom (AC), ki vključuje tudi naše delo o vplivu prevodnosti domenskih sten na makroskopski piezoelektrični odziv keramike BiFeO_3 .

V sodelovanju z raziskovalci s Kemijskega inštituta, EPFL, Lozana, Švica, Centra za materiale Leoben, Avstrija, in tokijskega inštituta za tehnologijo, Japonska, smo z uporabo vrstične preseвне elektronske mikroskopije z atomsko ločljivostjo, dopolnjene z ramansko spektroskopijo, razkrili in kvantitativno opisali statične 2–4 nm velike polarne skupke v nominalno nepolarnih kubičnih fazah keramike na osnovi barijevega titanata. Ti rezultati so pomembni za razumevanje strukture neurejenih materialov na atomski ravni in lahko pomagajo razjasniti dvomnosti glede dinamične in statične narave polarnih nanoskupkov [slika 1].

Piezoelektrična keramika brez svinca $(\text{Na}_{1/2}\text{Bi}_{1/2})\text{TiO}_3\text{--BaTiO}_3$ (NBT-BT) je zanimiva za močnostne piezoelektrične aplikacije, kjer je utrjevanje elektromehanskega odziva izjemnega pomena. V sodelovanju s kolegi s Tehniške univerze Darmstadt v Nemčiji smo izvedli študijo keramike NBT-BT, katere cilj je bil ugotoviti učinkovitost utrjevanja s tako imenovanim kompozitnim pristopom. Z vključki druge faze, v tem primeru ZnO, smo dosegli pripenjanje domenskih sten ter tako zmanjšali njihovo gibljivost in s tem povezane izgube. Z meritvami polarizacije pri višjih harmonikah, ki smo jih izvedli v našem laboratoriju, smo izjemno temperaturno stabilnost mehanskega faktorja kakovosti v kompozitih NBT-BT/ZnO razložili kot posledico robustnega mehanskega pripenjanja, ki ga vključki omogočajo.

V sodelovanju s kolegi z Univerze Friedrich-Alexander, Erlangen-Nürnberg, Nemčija, smo z mikroskopom na atomsko silo s piezoelektričnim modulom (PFM) in preseвне elektronsko mikroskopijo raziskovali domensko strukturo keramike $(\text{Na}_{1/2}\text{Bi}_{1/2})\text{TiO}_3$. V vzorcu, ki je bil izpostavljen dovolj visokemu električnemu polju, smo opazili jasno preklapljanje feroelektričnih domen, medtem ko je domenska struktura vzorcev, izpostavljenih enosmernemu tlaku do 750 MPa, ostala nespremenjena.



Slika 1: Slika STEM v temnem (a) in svetlem (b) polju $\text{Ba}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{TiO}_3$ v conski osi [110] s pripadajočima polarinima grafikona premikov, kjer je opazna ločitev gravitacijskih centrov med kationi in anioni. V primeru kubične strukture bi gravitacijski centri kationov in anionov sovpadali. Premiki Ti proti (Ba, Sr), O proti Ti in O proti (Ba, Sr) so bili določeni iz STEM-slik glede na položaje teh atomov v idealni kubični strukturi. Črtkana pravokotnika na slikah a in b označujeta območji, s katerih so bili premiki določeni.

Doktorska študenta Oana-Andreea Condurache in Matej Šadl sta na mednarodnih konferencah prejela skupaj štiri nagrade za predstavitev rezultatov iz njunih doktorskih študij.

V feroelektrikih so mehanizmi utrjevanja z akceptorskim dopiranjem običajno povezani s pripenjanjem domenskih sten na kisikovih vrzelih. V relaksorskih feroelektrikih na osnovi svinca so ti mehanizmi zapleteni zaradi napolarne strukture teh materialov in njihovega dinamičnega prispevka k elektromehanskim lastnostim. Da bi osvetlili to vprašanje, smo sistematično raziskali učinke utrjevanja v $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ (PMN-PT) z dopiranjem z Mn. Ugotovili smo, da je pripenjanje domenskih sten v povezavi s kisikovimi vrzeli podobno v ergodičnih in neergodičnih relaksorskih fazah PMN-PT. Z znižanjem temperature zmrzovanja je bilo ugotovljeno, da dopiranje z Mn omogoča učinkovit pristop k izboljšanju toplotne stabilnosti elektrokaličnega odziva.

Raziskovali smo spremembe med polarizacijo relaksorske feroelektrične keramike PMN-PT okoli morfotropne fazne meje. Zanimalo nas je, kako način polarizacije vpliva na piezoelektrični in dielektrični odziv ter na odziv kristalne mreže in feroelektričnih domen. Ugotovili smo, da je za sestave na monoklinski (M) strani faznega diagrama polarizacija z izmeničnim električnim poljem (polarizacija AC) učinkovitejša od konstantnega električnega polja (polarizacija DC), saj dosežemo primerljive vrednosti koeficienta d_{33} s precej nižjimi polji kot pri polarizaciji DC. Ta rezultat so še dodatno podprle *in situ* rentgenske meritve M sestave PMN-30PT. Nadalje smo ugotovili, da ima faza Cm M nizkokotne nanodomenske stene in kaže postopno kaskadno gibanje domenskih sten, ki se začne že pri nizkih poljih (~ 2 kV/cm) in doseže nasičenje približno pri 15 kV/cm, kar prispeva k velikim napetostim v materialu. Tetragonalni podobna – M faza izkazuje nenadno preklapljanje domen pri koercitivnem polju, brez opazne deformacije kristalne rešetke do 30 kV/cm.

V sodelovanju s kolegi z Odseka za fiziko trdne snovi, IJS, in s Tehniške univerze Darmstadt, Nemčija, smo proučili **elektrokalične (EK) lastnosti** keramike $0,9\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-}0,1\text{PbTiO}_3$ (PMN-10PT). Keramiko smo pripravili po dveh metodah, s konvencionalno kolumbitno metodo in z mehanokemijsko sintezo. Mehanokemijsko sintetizirani vzorci so vzdržali električno polje do 115 kV/cm brez preboja, kar je omogočilo doseganje zelo visokih

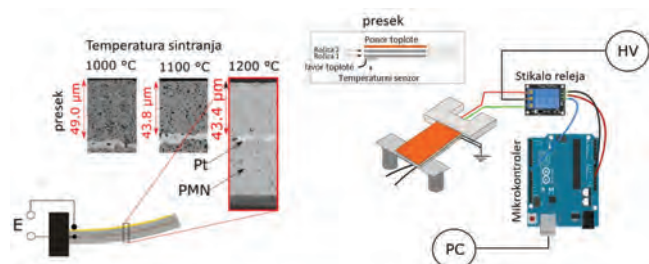
EK temperaturnih sprememb ($\Delta T_{\text{EK}} = 2,37$ K pri temperaturi 107 °C). Nasprotno je keramika, pripravljena s kolumbitno sintezo, lahko prenesla električna polja do ~ 60 kV/cm in je zato izkazovala veliko nižjo ΔT_{EK} . Podroben pregled mikrostrukture je razkril, da ta keramika vsebuje sekundarno fazo na stičiščih zrn, ki olajša pot električnemu toku. Po drugi strani so v PMN-10PT, pripravljenem z mehanokemijsko sintezo, meje med zrni čiste, v perovskitnih zrnih so prisotni vključki MgO. Te mikrostrukturne značilnosti prispevajo k višjemu prebojnemu polju mehanokemijsko sintetizirane keramike.

Kljub izzivom izvedbe ostaja EK hlajenje obetavna tehnologija zaradi možnosti povečevanja in velike učinkovitosti. Izdelali smo večfunkcijske strukture, sestavljene iz ročic relaksorske feroelektrične keramike PMN-PT, zloženih v kaskado, ter tako pripravili napravo za potrditev koncepta. Med testiranjem se je izkazalo, da je ključni element, ki vpliva na delovanja naprave, slab prenos toplote čez stike ročic. Študija je tako jasno pokazala, da se bo za učinkovito EK delovanje kaskadnih struktur treba osredotočiti na znižanje toplotnega kontaktnega upora [slika 2].

S sodelavci z Univerze McMaster, Kanada, Nacionalnega Laboratorija Oakridge, ZDA, in avstralskega sinhrotrona (ANSTO Avstralija) smo nadaljevali raziskave na **kupratnih superprevodnikih**, $\text{La}_{1,6-x}\text{Nd}_{0,4-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (Nd-LSCO). Najprej smo z resonančnim rentgenskim sipanjem (angl. resonant X-ray scattering) merili razvoj elektronske nematičnosti in urejenost gostote naboja z dopiranjem z vrzeli. Ugotovili smo, da je elektronska nematičnost – rotacijski zlom simetrije elektronske strukture – povezana s pojavom faze psevdo reže. Nd-LSCO izkazuje znatno zmanjšanje elektronske nematičnosti, bodisi z naraščanjem temperature do točke pojava faze psevdo reže na faznem diagramu bodisi z naraščanjem dopiranja skozi kvantno kritično točko psevdo reže.

Poleg tega smo z meritvami elastičnega in neelastičnega nevtronskega sipanja na monokristalih z $x = 0.125, 0.19, 0.24$ in 0.26 pokazali, da se dvodimenzionalne, kvazistatične, paralelne spinske črte pojavijo pri temperaturah, kjer se področje faze paralelnih spinskih črt razteza čez p^* in zajema superprevodna osnovna stanja v tem sistemu. Meritve 2D TN in začetka 2D paralelnih črt pri optimalnih in visokih vrednostih dopiranja z vrzeli v Nd-LSCO so nam omogočile dopolniti in dokončati fazni diagram za 2D paralelne črte in proučiti njihovo povezavo s superprevodnostjo.

Na področju **nizkodimenzionalnega magnetizma** smo nadaljevali študije **manganatov**. Izvedli smo sintezo, strukturno in magnetno karakterizacijo serije $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_{1+x}\text{MnO}_{4+\delta}$ ($0 \leq x \leq 0,5$). Ugotovili smo, da vsak član serije $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_{1+x}\text{MnO}_{4+\delta}$ izkazuje enako obnašanje spinskega



Slika 2: Večnamenske konzole kot delovni elementi v polprevodniških hladilnih napravah: Mikrostruktura prečnega prereza konzol, sestavljenih iz dveh keramičnih plasti $\text{Pb}(\text{Mg,Nb})\text{O}_3$ in platine, sintranih pri različnih temperaturah. Po priključitvi električnega polja (E) na zgornjo plast konzole se ta upogne, kot je shematično prikazano spodaj. Desno je prikazana eksperimentalna postavitve za testiranje naprave kot dokaz delovanja koncepta s konzolami, razporejenimi v kaskadno strukturo.

Prof. dr. Goran Dražić je prejel Zoisovo nagrado za vrhunske dosežke na področju preseвне elektronske mikroskopije materialov.

stekla, kot je bilo prej ugotovljeno za $x = 0,2$. Pokazalo se je, da se T_g spreminja z naraščajočim x in doseže maksimalno vrednost $26,4(4)$ K pri $x = 0,20$ [slika 3].

Poleg tega smo z metodo rentgenske absorpcijske spektroskopije XANES (angl. X-ray absorption near edge structure) pokazali, da se oksidacijsko stanje mangana pri vzorcih $Ba_{1-x}La_{1+x}MnO_{4+\delta}$ spreminja z naraščajočim x : za $x \leq 0,2$ je mangan v oksidacijskem stanju $+3,0(1)$, medtem ko je za $x > 0,2$ mangan v mešanem oksidacijskem stanju $+2/+3$. Izvor stanja spinskega stekla v seriji $Ba_{1-x}La_{1+x}MnO_{4+\delta}$ kaže dva režima, ki sta odvisna od oksidacijskega stanja mangana.

V sodelovanju z Oddelkom za raziskave sodobnih materialov, IJS, smo raziskali domensko strukturo v tankih plasteh relaksorskega feroelektrika $0,67Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3-0,33PbTiO_3$ (PMN-33PT) na različnih podlagah. S PFM-analizo smo pokazali, da je domenska struktura tankih plasti PMN-33PT občutljiva na tlačne napetosti v plasteh. Namreč, plasti pod napetostmi, manjšimi od 1,1 %, izkazujejo relaksorsko obnašanje, medtem ko smo v plasteh pod višjimi napetostmi ($> 1,9$ %) opazili feroelektrične domene. Dobljeni rezultati nakazujejo, da lahko z načrtovanjem napetosti v plasteh pripravimo vzorce z željenimi funkcijskimi lastnostmi.

S sodelavci Odseka za fiziko trdne snovi, IJS, Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani ter Nanocentra CENN smo proučevali oblikovanje nanostruktur oksidnih materialov z brizgalnim tiskalnikom z uporabo črnih na osnovi raztopin. Raziskali smo pomen mobilnosti kontaktne črte, bodisi pripete bodisi gibljive, na morfologijo tiskane nanostrukture, ki je lahko kupolasta, ravna ali obročasta. S prilagoditvijo sestave topila in kontrolo omakalnega kota črnila na podlagi je mogoče natisniti nanose enakomerne debeline v nanometrskem območju.

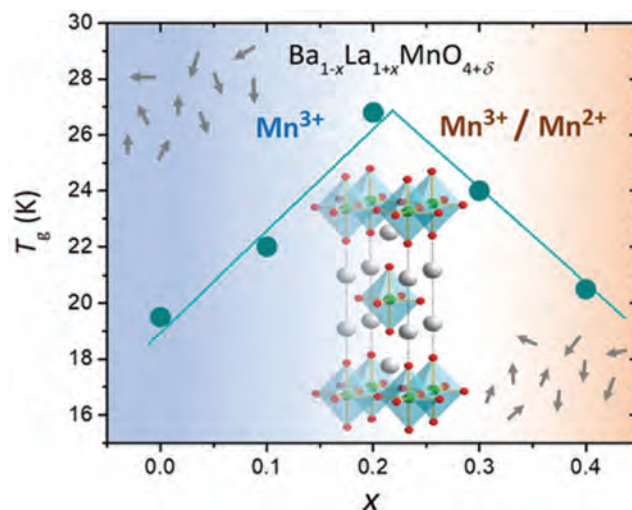
Na področju priprave feroelektričnih tankih plasti brez svinca s sintezo iz raztopin smo se osredotočili na trdne raztopine na osnovi barijevega titanata z izboljšanim fero- in piezoelektričnim odzivom.

Nadaljevali smo raziskave priprave debelih plasti okolju prijaznih piezoelektrikov na osnovi $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$ na keramičnih podlagah, ki so primerne za pridobivanje energije in za uporabo v ultrazvočnih pretvornikih. Raziskave so potekale v okviru projekta Proteus v sodelovanju z raziskovalci Univerze v Toursu, Tours, Francija.

Proučevali smo, kako sintranje v različnih atmosferah vpliva na strukturne, mikrostrukturne in funkcijske lastnosti $\sim 30 \mu m$ debelih plasti $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$ (KNN), modificiranih z 0,38 mol% $K_{5,4}Cu_{1,3}Ta_{10}O_{29}$ in 1 mol% CuO. Plasti smo s sitotiskom nanesli na platinizirane podlage aluminijevega oksida in sintrali pri $1100^\circ C$ v kisiku ali na zraku z zasipom ali brez njega. Debele plasti, sintrane v kisiku, imajo piezoelektrični koeficient d_{33} 64 pm/V in elektromehanski sklopitveni koeficient po debelini (k_3) 43 % ter mehanske izgube, manjše od 0,5 %, zaradi česar so obetavni kandidati za okolju prijazne piezoelektrične zbiralnike energije.

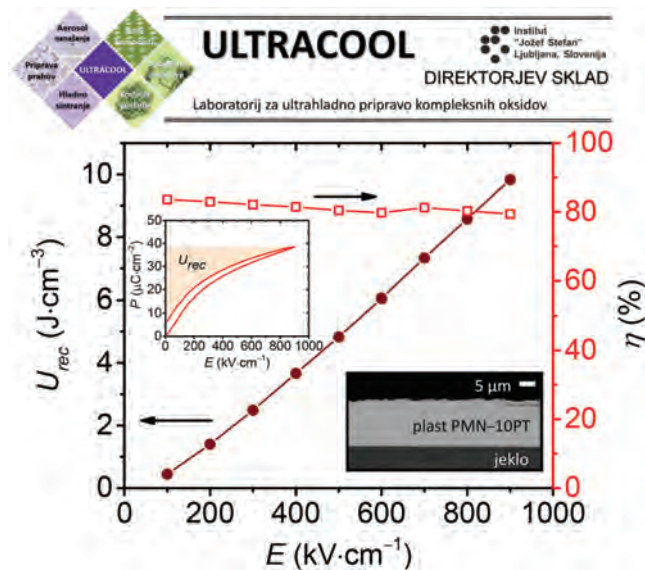
Nadaljevali smo raziskave debelih plasti z metodo nanosa v aerosolu v okviru Laboratorija za ultrahladno pripravo kompleksnih oksidov. Sredstva za postavitev laboratorija smo prejeli v okviru projekta ULTRACOOOL Direktorjevega sklada. Ukvarjali smo se z optimizacijo parametrov priprave debelih plasti $0,9Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3-0,1PbTiO_3$ (PMN-10PT) na nerjavnem jeklu. Nanešene plasti zdržijo električna polja do 900 kV/cm in izkazujejo obetavne lastnosti shranjevanja električne energije, namreč gostoto shranjene energije do $7,0$ J/cm³ in izkoristek do 70 %. Segrevanje plasti do $500^\circ C$ med nanosom sprosti nastale napetosti, kar še dodatno izboljša gostoto shranjene energije na $9,8$ J/cm³ in izkoristek na 80 % [slika 4]. Omenjene lastnosti izkazujejo odlično temperaturno stabilnost do $200^\circ C$ in stabilnost na ciklično obremenjevanje vzorcev z električnim poljem do 16 milijonov ciklov.

V sodelovanju z Laboratorijem za hlajenje in daljinsko energetiko Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani smo pripravili večplastne



Slika 3: Serija $Ba_{1-x}La_{1+x}MnO_{4+\delta}$ ($0 \leq x \leq 0,4$) izkazuje redko obnašanje anizotropnega spinskega stekla. Temperatura, pri kateri spini zmrznejo, se spreminja z naraščajočim x in doseže najvišjo vrednost $26,4(4)$ K pri $x = 0,20$. Oksidacijsko stanje mangana je prav tako odvisno od x .

V izbor dosežkov Odlični v znanosti sta se na področju elektronskih komponent in materialov uvrstila prof. dr. Mojca Otoničar in prof. dr. Tadej Rojac, in sicer z razlago vpliva polarnega nereda na dinamiko elektromehanskega odziva relaksorskih materialov in objavo raziskave v prestižni reviji Advanced Functional Materials.



Slika 4: Shranjevanje električne energije v debelih plasteh PMN-10PT, pripravljenih z metodo nanosa v aerosolu: gostota shranjene energije (U_{rec}) in izkoristek (η) v odvisnosti od električnega polja (E). Spodaj desno: mikroskopska slika vzorca, posneta z vrstičnim elektronskim mikroskopom. Zgoraj levo: meritev polarizacije (P) v odvisnosti od E .

**Prof. dr. Barbara Malič je bila gostujoča
sourednica posebne izdaje IEEE Transactions
on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency
Control o prispevkih žensk v raziskavah in
razvoju feroelektrikov.**

kompozite. Kompoziti so bili sestavljeni iz plasti $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$, ki so bile nanešene na magnetokalorično gadolinijevo podlago z metodo nanosa v aerosolu. Takšne keramično-kovinske večplastne strukture predstavljajo preprost, zanesljiv in finančno ugoden pristop za funkcionalizacijo in zaščito obstoječih magnetokaloričnih podlag.

V sklopu raziskav **hladnega sintranja** funkcijskih oksidov v laboratoriju **ULTRACOOOL** smo poleg keramike BiFeO_3 vključili (K,Na) NbO_3 in kompozite s piezoelektričnimi polimeri (PVDF). Medtem ko optimizacija parametrov hladnega sintranja keramičnih materialov še poteka, so prve izmerjene elektromehanske lastnosti hladno sintrane keramike zelo obetavne in kažejo veliko perspektivo za uporabo v aktuatorjih in zbiralnikih energije. Predhodne študije kažejo, da so glavne prednosti hladnega sintranja poleg prihranka energije zaradi nizkotemperaturne obdelave visoka dielektrična prebojna trdnost, ki omogoča uporabo visokih napetosti, visoka dielektrična konstanta in nizke dielektrične izgube tako pripravljenih keramičnih materialov.

Miniaturni generator ozona v obliki **monolitne tridimenzionalne keramične strukture** je bil izdelan s tehnologijo Low-Temperature Co-fired Ceramic (LTCC) z uporabo električne razelektivne. Večplastna keramična struktura z dimenzijami $63,6 \text{ mm} \times 41,8 \text{ mm} \times 1,3 \text{ mm}$ vključuje integrirane elektrode, zakopane kanale in votline mikrometrskih in milimetrskih dimenzij. Največja koncentracija ozona v napravi na osnovi LTCC je bila okoli 1,1 vol. % pri napetosti okoli 7 kV in pretoku kisika 10 ml/min. Njen izkoristek je primerljiv z veliko večjimi generatorji ozona, ki so na voljo na trgu. S tehnologijo LTCC smo izdelali 3D-strukture z zakopano votlino za radiofrekvenčno dielektrično segrevanje polarnih tekočin. Moč za segrevanje vode v votlini s prostornino 0,3 ml se giblje od 5 do 40 W. Ta nova možnost segrevanja bi lahko omogočila miniaturizacijo mikrofluidnih sistemov. Poleg tega smo materiale LTCC in keramiko z visoko temperaturo žganja (HTCC) testirali za izdelavo tridimenzionalnih močnostnih modulov. Z dvopolznim električnim testiranjem napajalnih modulov smo potrdili kakovost metalizacije, ožičenja in montaže v kombinaciji z izbranimi materiali. Raziskava je potekala v sodelovanju s podjetjem KEKO Oprema in Centrom odličnosti NAMASTE.

V okviru projekta **KET4CP Izdelava nevidnih plastičnih struktur na osnovi cenovno ugodnih prosojnih prevodnih oksidov iz raztopin s sitotiskom** smo s projektinima partnerjema RC eNeM in Inštitutom za fiziko trdne snovi iz Latvije razvili metodo izdelave prosojnih plasti na osnovi cinkovega oksida iz cenovno ugodnih raztopin, ki smo jih nanašali na steklo z metodo vrtenja ali sitotiska. Tanke plasti na osnovi ZnO debeline 150 nm, pripravljene s sitotiskom, so imele optično prepustnost nad 90 % in električno prevodnost 0,002 S/cm. Postopek priprave plasti s sitotiskom iz raztopin smo uspešno preizkusili v proizvodni liniji podjetja RC eNeM. Za izum so projektne partnerji prejeli srebrno priznanje Območne gospodarske zbornice Zasavje v letu 2021.

V sodelovanju z Odsekom za fiziko trdne snovi, IJS, smo proučevali spominski učinek večdomenskih delcev tekočerkristalnih elastomerov, dispergiranih v polimeru. Z analizo reološkega obnašanja disperzije v odvisnosti od temperature in strižne hitrosti smo dokazali, da lahko s strižno silo usmerimo in deformiramo mikrodelce tekočerkristalnega elastomera v polimeru.

V sodelovanju s kolegi z Odseka za fiziko trdne snovi, IJS, ter iz Maroka in Francije smo proučili piezoelektrične nanokompozite za shranjevanje energije. Kompoziti so bili sestavljeni iz nanodelcev $\text{Ba}_{0,85}\text{Ca}_{0,15}\text{Zr}_{0,10}\text{Ti}_{0,90}\text{O}_3$, ki so bili vgrajeni v biološko razgradljivi polimer. Piezoelektričnost nanodelcev pred vstavitvijo v polimerno matriko in po njej smo določili s PFM. Največja gostota moči, ki je bila dosežena v pripravljenih vzorcih, je bila $7,5 \text{ mW/cm}^3$.

V sodelovanju s slovenskim podjetjem Lotrič Meroslovje, d. o. o., smo razvili ekonomičen postopek za izdelavo nebiološke tekočine za testiranje medicinske zaščitne opreme po standardu EN 14683, v skladu z ISO 22609: 2004. Izum *Postopek priprave tekočine za testiranje medicinske zaščitne opreme* je registriran kot tehnična izboljšava.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Kuščer, Danjela, Drnovšek, Silvo, Levassort, Franck, Inkjet-printing-derived lead-zirconate-titanate-based thick films for printed electronics, *Materials & design*, 2021, **198**, 109324-1-109324-9
2. Benčan, Andreja, Oveisi, Emad, Hashemizadeh, Sina, Veerapandiyar, Vignaswaran K., Hoshina, Takuya, Rojac, Tadej, Deluca, Marco, Dražič, Goran, Damjanović, Dragan, Atomic scale symmetry and polar nanoclusters in the paraelectric phase of ferroelectric materials, *Nature communications*, 2021, **12**, 1, 3509-1-3509-9
3. Bradeško, Andraž, Fulanović, Lovro, Vrabelj, Marko, Matavž, Aleksander, Otoničar, Mojca, Koruza, Jurij, Malič, Barbara, Rojac, Tadej, Multifunctional cantilevers as working elements in solid-state cooling devices, *Actuators*, 2021, **10**, 3, 58-1-58-13
4. Šadl, Matej, Condurache, Oana, Benčan, Andreja, Dragomir, Mirela, Prah, Uroš, Malič, Barbara, Deluca, Marco, Eckstein, Udo, Hausmann, Daniel, Khansur, Neamul Hayet, Webber, Kyle Grant, Uršič, Hana, Energy-storage-efficient $0.9\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3-0.1\text{PbTiO}_3$ thick films integrated directly onto stainless steel, *Acta materialia*, 2021, **221**, 117403-1-117403-11

- Otoničar, Mojca, Bradeško, Andraž, Salmanov, Samir, Chung, C. C., Jones, Jacob L., Rojac, Tadej, Effects of poling on the electrical and electromechanical response of PMN-PT relaxor ferroelectric ceramics, *Open ceramics*, 2021, 7, 100140-1-100140-14

Patent

- Vid Bobnar, Barbara Malič, Aleksander Matavž, Metoda proizvodnje polimernih plasti z modificirano površino, SI25887 (A), Urad RS za intelektualno lastnino, 31. 3. 2021

Nagrade in priznanja

- Oana-Andreea Condurache: 3. mesto na mednarodnem tekmovanju: YCN Pitch me your Idea!, Young Ceramicist Network Pitch Contest, Young Ceramicist Society
- Oana-Andreea Condurache: 3. mesto na študentskem tekmovanju v sklopu 27. konference Slovenski kemijski dnevi (SKD 2021), Organizacijski odbor konference SKD 2021
- Danjela Kuščer: srebrno priznanje za inovacijo: Izdelava transparentnih elektrod iz raztopin cenovno dostopnih prevodnih oksidov s postopkom sitotiska, Gospodarska zbornica Slovenije, Območna zbornica Zasavje
- Andreja Benčan Golob, Goran Dražič, Barbara Malič, Mojca Otoničar, Tadej Rojac, Hana Uršič Nemevšek, dosežek za prispevek *Razkritje vpliva polarnega nereda na dinamiko elektromehanskega odziva relaksorskih materialov* je bil uvrščen v izbor Odlični v znanosti ARRS 2021, ARRS
- Matej Šadl: nagrada Alessandro de Vita za najbolj multidisciplinarno raziskavo in za znanstveno radovednega študenta, Organizacijski odbor Crossnano Crossborder Workshop in Nanoscience and Nanotechnology 2021
- Matej Šadl: nagrada za 2. mesto na študentskem tekmovanju, Organizacijski odbor konference *2021 Joint ISAF ISIF-PMF virtual conference*

MEDNARODNI PROJEKTI

- H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi European Commission
prof. dr. Barbara Malič
- H2020 - QMatCh; Iskanje kvantnih stanj snovi s kemijo pod ekstremnimi pogoji European Commission
doc. dr. Mirela Dragomir
- Hladno sintranje kompleksnih oksidnih materialov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Mojca Otoničar
- Absorberji sončnih celic na osnovi feroelektrikov z ozkim prevodnim pasom; sinteza in karakterizacija
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Stabilnost medpovršin piezoelektričnih keramičnih oksidov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Tadej Rojac
- 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
- Multiferoiki za uporabo v hladilnih sistemih na osnovi trdne snovi
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Sinteza, struktura in lastnosti okolju prijaznih piezoelektričnih nanodelcev z različno morfologijo površin
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Andreja Benčan Golob
- Visokotlačna sinteza in karakterizacija izbranih feroikov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Kristian Radan
- Gojenje kristalov in magnetne lastnosti dvojnih perovskitov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Mirela Dragomir
- Porozne relaksor-feroelektrične plasti brez svinca za shranjevanje energije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Tanke plasti okolju prijaznih feroelektrikov za zbiranje energije in za shranjevanje energije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Barbara Malič

- In-situ študije dinamičnih procesov v keramičnih oksidih v redukcijskem okolju presevnega elektronskega mikroskopa
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Andreja Benčan Golob
- Načrtovanje mikrostrukture in lastnosti piezoelektrikov brez svinca za zbiranje energije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Barbara Malič
- Okolju prijazna priprava tankih plasti funkcijskih oksidov brez svinca za uporabo v mikro-elektro-mehanskih sistemih (MEMS)
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Barbara Malič
- Pametna zasnova večfunkcijskih kompozitov z optimiziranim prenosom energije med komponentami
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Barbara Malič

PROGRAM

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

PROJEKTI

- In situ kvantitativna vrstična presečna elektronska mikroskopija funkcijskih materialov na atomski ravni
prof. dr. Andreja Benčan Golob
- TCCbuilder: odprtokodno simulacijsko orodje za toplotne tokokroge
prof. dr. Barbara Malič
- Multikalorično hlajenje
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Elektrokalični elementi za aktivno hlajenje elektronskih vezij
prof. dr. Barbara Malič
- Napredne anorganske in organske tanke plasti z ojačenim električno induciranim odzivom
prof. dr. Barbara Malič
- Iskanje visoko temperaturne superprevodnosti in eksotičnega magnetizma v fluoridno argentatnih(II)
doc. dr. Mirela Dragomir
- Oblikovanje funkcionalnosti feroelektrikov brez svinca in inženiringom domenskih sten
prof. dr. Andreja Benčan Golob

8. Hladno sintranje multifunkcijskih elektronskih komponent
dr. Mojca Otoničar
9. Načrtovanje tankih plasti relaksorskih feroelektrikov za piezoelektrične aplikacije in shranjevanje energije
prof. dr. Tadej Rojac
10. Določevanje struktur spojnih zlahtnih plinov s 3D elektronsko difrakcijo
doc. dr. Mirela Dragomir
11. Več-kalorični elementi za okolju prijazne hladilne sisteme
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
12. Povečan piezoelektrični odziv relaksorske feroelektrične keramike s strukturnim neredom
prof. dr. Tadej Rojac
13. Mikrofluidni Senzorski Sistem za zaznavanje PESticidov (MISS PES)
prof. dr. Danjela Kuščer Hrovatin
14. Upogljivi elementi z multi-fizikalnimi lastnostmi
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
15. Procesna intenzifikacija kontinuirne sinteze vodikovega peroksida visoke čistosti z uporabo elektrokatalitskega mikroreaktorja
prof. dr. Barbara Malič

OBISKI

1. Maria Karypidou, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Grčija, 2. 7. 2021–29. 8. 2021
2. Maximilian Gehringer, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Nemčija, 1. 9. 2021–29. 10. 2021
3. Reham Elsurhafa, University of Ankara, Ankara, Turčija, 13. 9. 2021–24. 11. 2021
4. Matthieu Fricaudet, Université Paris-Saclay, Pariz, Francija, 22. 10. 2021–29. 10. 2021
5. Maxime Vallet, Université Paris-Saclay, Pariz, Francija, 25. 11. 2021–4. 12. 2021

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Matic Belak: Fluoridoargentati (II) kot potencialni analogi superprevodnim kupratom, 11. 3. 2021
2. prof. dr. Barbara Malič: Feroelektrična keramika: pogled na stoletje raziskav od odkritja feroelektričnega pojava do danes, IJS kolokvij v okviru Stefanovih dnevo, 23. 3. 2021
3. Lia Šibav: Kemija nizkodimenzionalnih kvantnih spinskih sistemov, 2. 4. 2021
4. Katarina Žiberna: Karakterizacija feroelektričnih materialov z *in situ* tehnikami vrstične elektronske mikroskopije, 16. 4. 2021
5. prof. dr. Hana Uršič Nemevšek: Mikroskop na atomsko silo (Jupiter XR, Asylum Research – 1. del), 3. 6. 2021
6. doc. dr. Mirela Dragomir: Rietveldova analiza z uporabo programske opreme TOPAS in TOPAS-Academic, 14. 6. 2021
7. doc. dr. Mirela Dragomir: Geometrično frustrirani magnetni oksidi, 23. 6. 2021
8. dr. Špela Stres: Pomoč CIT pri prijavih na projekte EU, 6. 9. 2021
9. Samir Salmanov: Postopek hladnega sintranja za pripravo kakovostnih funkcijskih materialov, 16. 9. 2021
10. Sabi W. Konsago: Sinteza feroelektričnih tankih plasti na osnovi barijevega titanata iz raztopin, 14. 10. 2021
11. Maximilian Gehringer, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Nemčija: Večplastni visoko temperaturni kondenzatorji na osnovi $\text{Na}_x\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ keramike, 28. 10. 2021
12. doc. dr. Mojca Otoničar: Kaj vemo o procesu hladnega sintranja?, 11. 11. 2021
13. Maja Koblar: Prednosti in slabosti različnih vrstičnih elektronskih mikroskopov, 25. 11. 2021
14. prof. dr. Hana Uršič Nemevšek: Mikroskop na atomsko silo Jupiter XR – 2. del, 16. 12. 2021
- raziskovalcev: Throughout knowledge towards a green new world 2021, 27.–28. 5. 2021, virtualno (5)
3. Matic Belak Vivod, Lia Šibav, Rigaku School for Practical Crystallography, 7.–11. 6. 2021 in 14.–18. 6. 2021, virtualno
4. Matic Belak Vivod, Lia Šibav, Rigaku High pressure Workshop: Hardware and Software Overview to Get You Started, 21.–22. 7. 2021, virtualno
5. Matic Belak Vivod, Mirela Dragomir, Lia Šibav, North American Solid State Chemistry Conference, 28.–30. 7. 2021, virtualno (1)
6. Matic Belak Vivod, Oana-Andreea Condurache, Mirela Dragomir, Barbara Malič, Samir Salmanov, Lia Šibav, Katarina Žiberna, 27. konferenca Slovenski kemijski dnevi, Portorož, Slovenija, 22.–24. 9. 2021 (8)
7. Andreja Benčan Golob, Oana-Andreea Condurache, Barbara Malič, Mojca Otoničar, Tadej Rojac, Samir Salmanov, Matej Šadl, Hana Uršič Nemevšek, IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectric, (ISAF) International Symposium on Integrated Functionalities, (ISIF) Piezoresponse Force Microscopy Workshop, (PFM), Sydney, Avstralija, 16.–21. 5. 2021, virtualno (8)
8. Oana-Andreea Condurache, Crossnano Crossborder Workshop in Nanoscience and Nanotechnology, Trst, Italija, 23.–25. 2. 2021, virtualno (1)
9. Mirela Dragomir, IUCr High-Pressure Workshop 2021, Novosibirsk, Rusija, 1.–6. 2. 2021, virtualno
10. Mirela Dragomir, HERCULES 2021 European School-Neutrons and synchrotron radiation for science, Grenoble, Francija, 22. 2. 2021–26. 3. 2021, virtualno
11. Sabi W. Konsago, Barbara Malič, Piezoelectric for End-users XI, Sassari, Italija, 21.–24. 2. 2021, virtualno (2)
12. Sabi W. Konsago, Danjela Kuščer, Kostja Makarovič, Matej Šadl, 56. mednarodna konferenca o mikroelektroniki, elektronskih sestavnih delih in materialih z delavnico (MIDEM) with the Workshop on Personal sensor for remote health care monitoring, hibridno, 22.–24. 9. 2021 (4)
13. Danjela Kuščer, konferenca EUROMAT, 13.–17. 9. 2021, virtualno (1)
14. Danjela Kuščer, konferenca TCM-TOEO2021, 18.–21. 9. 2021, virtualno
15. Kostja Makarovič, spletni simpozij: Senzorji 4.0, 14. 1. 2021, virtualno (1)
16. Kostja Makarovič, 44th IMAPS Poland Conference 2021, 18.–21. 4. 2021, virtualno (1)
17. Kostja Makarovič, 30. Elektrotehniška in računalniška konferenca (ERK 2021), 20.–21. 9. 2021 (1)
18. Barbara Malič, Hana Uršič Nemevšek, 8th Piezoelectric MEMS workshop, Nara, Japonska, 7.–9. 6. 2021, virtualno (2)
19. Mojca Otoničar, International school of oxide electronics ISOE 2021, Korzika, Francija, 24. 8.–3. 9. 2021, (2)
20. Tadej Rojac, MS&T21 Materials Science & Technology Meeting, Columbus, Ohio, ZDA, 17.–20. 10. 2021, virtualno (1)
21. Tadej Rojac, 3rd Indian Materials Conclave (IndMac) and 32nd Annual General Meeting of MRSI, Madras, Indija, 20.–23. 12. 2021, virtualno (1)
22. Matej Šadl, Crossnano Crossborder Workshop in Nanoscience and Nanotechnology, 23.–25. 5. 2021, virtualno (1)
23. Hana Uršič Nemevšek, Slovenian-Bavarian Scientific Forum on zoom, 28. 5. 2021, virtualno (1)
24. Hana Uršič Nemevšek, Japan-Slovenia workshop on piezoelectric thin films, 8. 10. 2021 (1)

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Matic Belak Vivod, Mirela Dragomir, The 13th Frolic Goats High-Pressure Diffraction Workshop, 19.–20. 4. 2021, Poznan, Poljska, virtualno
2. Matic Belak Vivod, Oana-Andreea Condurache, Sabi W. Konsago, Samir Salmanov, Lia Šibav, Katarina Žiberna, 13th Jožef Stefan IPSS Conference in 15. Dan mladih

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Andreja Benčan Golob
2. dr. Mirela Dragomir
3. prof. dr. Goran Dražič*, znanstveni svetnik
4. prof. dr. Danjela Kuščer Hrovatin
5. dr. Kostja Makarovič*
6. **prof. dr. Barbara Malič, znanstveni svetnik - vodja odseka**
7. dr. Mojca Otoničar
8. prof. dr. Tadej Rojac, znanstveni svetnik
9. prof. dr. Hana Uršič Nemevšek

Podoktorski sodelavci

10. dr. Uroš Prah, *začasna prekinitev* 15. 6. 2021
11. dr. Kristian Radan, 1. 2. 2021 *razporeditev v odsek K1*

Mlajši raziskovalci

12. Matic Belak Vivod, mag. kem.
13. Oana Andreea Condurache, master fizika, Romunija
14. Sabi William Konsago, Msc., Rusija
15. Barbara Repič, mag. inž. kem. inž.
16. Samir Salmanov, Msc., Rusija
17. Matej Šadl, mag. nan.
18. Lia Šibav, mag. kem.
19. Katarina Žiberna, mag. kem.

Strokovni sodelavci

20. Silvo Drnovšek, dipl. inž. kem. tehnol.
21. Brigita Kmet, dipl. inž. kem. tehnol.
22. Maja Koblar, mag. nan.

Tehniški in administrativni sodelavci

23. Andrej Debevec
24. Tina Ručigaj Korošec, univ. dipl. soc.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

- Adam Mickiewicz University, Poznań, Poljska
- Alexandru Ioan Cuza University (A.I. Cuza), Dielectric, Ferroelectric and Multiferroic Materials Department, Iași, Romunija
- Associazione Festival della Scienza, Genova, Italija
- BioSense Institute, Novi Sad, Srbija
- Biosistemika, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
- Center odličnosti NAMASTE, Ljubljana, Slovenija
- Center odličnosti VESOLJE, Ljubljana, Slovenija
- Centrale Supélec, Université Paris-Saclay, Pariz, Francija
- Colorado School of Mines, Golden, Kolorado, ZDA
- École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lozana, Švica
- European Organization for Nuclear Research CERN, Ženeva, Švica
- Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NAS of Ukraine, Kijev, Ukrajina
- Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Department of Materials Science and Engineering, Erlangen, Nemčija
- Institut für Elektronenmikroskopie und Nanoanalytik – Zentrum für Elektronenmikroskopie (FELMI TU Graz), Gradec, Avstrija
- Institut za multidisciplinarna istraživanja Univerziteta u Beogradu, Odsek za nauku o materijalima (IMS UB), Beograd, Srbija
- Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija
- Institute for Materials Science, University of Duisburg-Essen, Essen, Nemčija
- Institute for Technical Physics and Materials Science, Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Science, Budimpešta, Madžarska
- Institute of Physics of the Czech Academy of Science, Praga, Češka
- Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poljska
- KEKO – Oprema, d. o. o., Žužemberk, Slovenija
- Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
- Knauf Insulation, d. o. o., Škofja Loka, Slovenija
- Lotrič Meroslovje, d. o. o., Selca, Slovenija
- Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), Luksemburg, Luksemburg
- MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o., Šempeter pri Gorici, Slovenija
- Materials Center Leoben Forschung GmbH (MCL), Leoben, Avstrija
- McMaster University, Hamilton, Ontario, Kanada
- Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, Slovenija
- Meggitt Sensing Systems, Meggitt A/S, Kvistgård, Danska
- Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija
- Murata Manufacturing Co., Ltd, Kyoto, Japonska
- Murexin, d. o. o., Puconci, Slovenija
- National Institute of Materials Physics, Magurele, Romunija
- North Carolina State University (NCSSU), Materials Science and Engineering Department, Raleigh, Severna Karolina, ZDA
- Norwegian University of Science and Tehnology (NTNU), Department of Materials Science and Engineering, Trondheim, Norveška
- Osaka Prefecture University – Graduate School of Engineering, Department of Physics and Electronics, Osaka, Japonska
- Penn State University, Materials Research Center, State College, Pensilvanija, ZDA
- RC eNeM, d. o. o., Zagorje ob Savi, Slovenija
- Shanghai University, Department of Electronic Information Materials, Šanghaj, Kitajska
- Shizuoka University, Research Institute of Electronics, Department of Engineering, Graduate School of Integrated Science and Technology, Hamamatsu, Japonska
- Steklarna Hrastnik, Hrastnik, Slovenija
- STELEM, d. o. o., Žužemberk, Slovenija
- TDK Electronics GmbH & Co OG, Deutschlandsberg, Avstrija
- Technical University of Denmark (DTU), Kongens Lyngby, Danska
- Technische Universität Darmstadt (TUda), Darmstadt, Nemčija
- Tsinghua University, School of Materials Science and Engineering, Peking, Kitajska
- Université François-Rabelais Tours, Gremam CNRS, Tours, Francija
- University of Applied Sciences, Department of Mechatronics, Bjelovar, Hrvaška
- University of Aveiro (UA), Aveiro, Portugalska
- University of Latvia, Institute of Solid State Physics, Riga, Latvija
- University of New South Wales, Sydney, Avstralija
- University of Hull, Hull, Velika Britanija
- Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana, Slovenija
- Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
- Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
- Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za naravoslovje, Nova Gorica, Slovenija
- VARSIL, podjetje za proizvodnjo varistorja in sklopov, d. o. o., Ljubljana, Slovenija

BIBLIOGRAFIJA

IZVIRNI ZNANSTVENI ČLANKI

- Luka Pavko *et al.* (19 avtorjev), "Toward the continuous production of multigram quantities of highly uniform supported metallic nanoparticles and their application for synthesis of superior intermetallic Pt-alloy ORR electrocatalysts", *ACS applied energy materials*, 2021, **4**, 12, 13819–13829. [COBISS.SI-ID 87825155]
- Klemen Bohinc, Karla Korade, Katarina Jerin, Nikolina Lešič, Marijana Đaković, Goran Dražič, Jean-François Dufrière, Davor Kovačević, "Experimental and theoretical study of morphological and charging properties of truncated octahedron and cubic ceria nanoparticles: implications for biomedical applications", *ACS applied nano materials*, 2021, **4**, 2, 1434-1444. [COBISS.SI-ID 53345539]
- Matej Šadl *et al.* (12 avtorjev), "Energy-storage-efficient 0.9Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃ – 0.1PbTiO₃ thick films integrated directly onto stainless steel", *Acta materialia*, 2021, **221**, 117403. [COBISS.SI-ID 81773059]
- Andraž Bradeško, Lovro Fulanović, Marko Vrabelj, Aleksander Matavž, Mojca Otoničar, Jurij Koruza, Barbara Malič, Tadej Rojac, "Multifunctional cantilevers as working elements in solid-state cooling devices", *Actuators*, 2021, **10**, 3, 58. [COBISS.SI-ID 55105027]
- Neamul Hayet Khansur, Udo Eckstein, Hana Uršič, Matej Šadl, Martin Brehl, Alexander Martin, Kevin Riess, Dominique de Ligny, Kyle Grant Webber, "Enhanced electromechanical response and thermal stability of 0.93(Na_{1/2}Bi_{1/2})TiO₃ – 0.07BaTiO₃ through aerosol deposition of base metal electrodes", *Advanced materials interfaces*, 2021, **8**, 11, 2100309. [COBISS.SI-ID 66469123]
- Tony Schenk, Andreja Benčan, Goran Dražič, Oana Condurache, Nathalie Valle, Brahime El Adib, Naveen Aruchamy, Torsten Granzow, Emmanuel Defay, Sebastjan Glinšek, "Enhancement of ferroelectricity and orientation in solution-derived hafnia thin films through heterogeneous grain nucleation", *Applied physics letters*, 2021, **118**, 16, 162902. [COBISS.SI-ID 60919811]
- Tadej Žumber, Alenka Ristić, Goran Dražič, Hristina Lazarova, Janez Volavšek, Albin Pintar, Nataša Zabukovec Logar, Nataša Novak Tušar, "Influence of alumina precursor properties on Cu-Fe alumina supported catalysts for total toluene oxidation as a model volatile organic air pollutant", *Catalysts*, 2021, **11**, 2, 252. [COBISS.SI-ID 52278787]
- Aleksandar Miletić, Peter Panjan, Miha Čekada, Lazar Kovačević, Pal Terek, Janez Kovač, Goran Dražič, Branko Škorić, "Nanolayer CrAlN/TiSiN coating designed for tribological applications", *Ceramics international*, 2021, **47**, 2, 2022-2033. [COBISS.SI-ID 41522947]
- Vlad Alexandru Lukacs *et al.* (11 avtorjev), "Preparation and properties of porous BaTiO₃ nanostructured ceramics produced from cuboidal nanocrystals", *Ceramics international*, 2021, **47**, 13, 18105-18115. [COBISS.SI-ID 78497283]
- Omeir Khalid, Alexander Spriewald Luciano, Goran Dražič, Herbert Over, "Mixed Ru_xIr_{1-x}O₂ supported on rutile TiO₂: catalytic methane combustion, a model study", *ChemCatChem*, 2021, **13**, 18, 3983-3994. [COBISS.SI-ID 72741123]
- Stanislav Kurajica, Katarina Mužina, S. Keser, Goran Dražič, Ivana Katarina Munda, "Assessment of cell toxicity and oxidation catalytic activity of nanosized zinc-doped ceria UV filter", *Chemical and biochemical engineering quarterly*, 2021, **35**, 2, 157-164. [COBISS.SI-ID 72727555]
- Peter Panjan, Aljaž Drnovšek, Goran Dražič, "Influence of growth defects on the oxidation resistance of sputter-deposited TiAlN hard coatings", *Coatings*, 2021, **11**, 2, 123. [COBISS.SI-ID 48260611]
- Hana Uršič, Marko Vrabelj, Mojca Otoničar, Lovro Fulanović, Brigita Rožič, Zdravko Kutnjak, Vid Bobnar, Barbara Malič, "Influence of synthesis-related microstructural features on the electrocaloric effect for 0.9Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃ – 0.1PbTiO₃ ceramics", *Crystals*, 2021, **11**, 372. [COBISS.SI-ID 58273795]

14. Ruggero Vigliaturo, Sabrina M. Elkassas, Giancarlo Della Ventura, Günther Redhammer, Francisco Ruiz-Zepeda, Michael J. O'Shea, Goran Dražić, Reto Gieré, "Multi-scale characterization of glaucophane from Chiavolino (Biella, Italy): implications for international regulations on elongate mineral particles", *European journal of mineralogy*, 2021, **33**, 1, 77-112. [COBISS.SI-ID 50955011]
15. Anica Peter, Leonard Mihaly Cozmuta, Camelia Nicula, Anca Mihaly Cozmuta, Cătălina Mihaela Talaşman, Goran Dražić, Antonio Peñas, Antonio Jesus Calahorra, Gianni Sagratini, Stefania Silvi, "Chemical and organoleptic changes of curd cheese stored in new and reused active packaging systems made of Ag-graphene-TiO₂-PLA", *Food chemistry*, 2021, **363**, 130341. [COBISS.SI-ID 67828483]
16. Nejc Rozman, Peter Nadrah, Renaud Cornut, Bruno Jousset, Marjan Bele, Goran Dražić, Miran Gaberšček, Špela Kunej, Andriana Sever Škapin, "TiO₂ photocatalyst with single and dual noble metal co-catalysts for efficient water splitting and organic compound removal", *International Journal of Hydrogen Energy*, 2021, **46**, 65, 32871-32881. [COBISS.SI-ID 73787139]
17. Andreja Jelen, Primož Koželj, Darja Gačnik, Stanislav Vrtnik, Mitja Krnel, Goran Dražić, Magdalena Wencka, Zvonko Jagličić, Michael Feuerbacher, Janez Dolinšek, "Collective magnetism of a single-crystalline nanocomposite FeCoCrMnAl high-entropy alloy", *Journal of alloys and compounds*, 2021, **864**, 158115. [COBISS.SI-ID 47327747]
18. Lukas Riemer, Li Jin, Hana Uršič, Mojca Otoničar, Tadej Rojac, Dragan Damjanović, "Dielectric and electro-mechanic nonlinearities in perovskite oxide ferroelectrics, relaxors, and relaxor ferroelectrics", *Journal of applied physics*, 2021, **129**, 5, 054101. [COBISS.SI-ID 49625859]
19. Oana Condurache, Goran Dražić, Naonori Sakamoto, Tadej Rojac, Andreja Benčan, "Atomically resolved structure of step-like uncharged and charged domain walls in polycrystalline BiFeO₃", *Journal of applied physics*, 2021, **129**, 5, 054102. [COBISS.SI-ID 49236995]
20. Mihail Slabki, Lalita Kodumudi Venkataraman, Tadej Rojac, Jürgen Rödel, Jurij Koruza, "Thermal stability of the electromechanical properties in acceptor-doped and composite-hardened (Na_{1/2}Bi_{1/2})TiO₃ – BaTiO₃ ferroelectrics", *Journal of applied physics*, 2021, **130**, 1, 014101. [COBISS.SI-ID 69264899]
21. Primož Koželj *et al.* (13 avtorjev), "Spin-glass magnetism of the non-equiatom CoCrFeMnNi high-entropy alloy", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2021, **523**, 167579. [COBISS.SI-ID 41301507]
22. Andraž Bradeško *et al.* (12 avtorjev), "Implications of acceptor doping in the polarization and electrocaloric response of 0.9Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃ – 0.1PbTiO₃ relaxor ferroelectric", *Journal of materials chemistry. C, Materials for optical and electronic devices*, 2021, **9**, 3204-3214. [COBISS.SI-ID 49684995]
23. Katarina Mužina, Stanislav Kurajica, Goran Dražić, Patrick Guggenberger, Gordana Matijašić, "True doping levels in hydrothermally derived copper-doped ceria", *Journal of nanoparticle research*, 2021, **23**, 8, 149. [COBISS.SI-ID 72760835]
24. Anca Peter *et al.* (13 avtorjev), "Modifying the silver-titania nanocomposites with carbonaceous materials to remove the pollutants from domestic waste water", *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 2021, **21**, 4, 2278-2291. [COBISS.SI-ID 58698755]
25. Bing Ma, Matías Blanco, Laura Calvillo, Lingjing Chen, Gui Chen, Tai-Chu Lau, Goran Dražić, Julien Bonin, Marc Robert, Gaetano Granozzi, "Hybridization of molecular and graphene materials for CO₂ photocatalytic reduction with selectivity control", *Journal of the American Chemical Society*, 2021, **143**, 22, 8414-8425. [COBISS.SI-ID 65576963]
26. Hermína Hudelja, Bernd Wicklein, Danjela Kuščer, Andraž Kocjan, "Triggering the aqueous interparticle association of γ -Al₂O₃ hierarchical assemblies using divalent cations and cellulose nanofibers", *Journal of the European ceramic society*, 2021, **41**, 1, 590-598. [COBISS.SI-ID 28158467]
27. Marion Höfling, Maximilian Trapp, Lukas Porz, Hana Uršič, Enrico Bruder, Hans-Joachim Kleebe, Jürgen Rödel, Jurij Koruza, "Large plastic deformability of bulk ferroelectric KNbO₃ single crystals", *Journal of the European ceramic society*, 2021, **41**, 7, 4098-4107. [COBISS.SI-ID 57014019]
28. Alfredo Blázquez Martínez, Nicolas Godard, Naveen Arachamy, Cosme Milesi-Brault, Oana Condurache, Andreja Benčan, Sebastjan Glinšek, Torsten Granzow, "Solution-processed BiFeO₃ thin films with low leakage current", *Journal of the European ceramic society*, 2021, **41**, 13, 6449-6455. [COBISS.SI-ID 65116163]
29. Danjela Kuščer, Silvo Drnovšek, Franck Levassort, "Inkjet-printing-derived lead-zirconate-titanate-based thick films for printed electronics", *Materials & design*, 2021, **198**, 109324. [COBISS.SI-ID 36937475]
30. Saide Umerova, Danjela Kuščer, Matej Bobnar, Nikita Derets, Boštjan Zalar, Andraž Rešetič, "Shear flow-controlled shape memory of polymer resin dispersed liquid crystal elastomer microparticles", *Materials & design*, 2021, **207**, 109836. [COBISS.SI-ID 64302851]
31. Anca Peter *et al.* (13 avtorjev), "Morpho-structural and chemical characterization of paper based materials with functionalized surface", *Materials chemistry and physics*, 2021, **267**, 124693. [COBISS.SI-ID 62636291]
32. Vesna V. Vodnik *et al.* (12 avtorjev), "Development of genistein-loaded gold nanoparticles and their antitumor potential against prostate cancer cell lines", *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications*, 2021, **124**, 112078. [COBISS.SI-ID 67338755]
33. Matej Šadl, Urban Tomc, Hana Uršič, "Investigating the feasibility of preparing metal-ceramic multi-layered composites using only the aerosol-deposition technique", *Materials*, 2021, **14**, 16, 4548. [COBISS.SI-ID 72970755]
34. Brigita Kmet, Danjela Kuščer, Soma Dutta, Hana Uršič, Aleksander Matavž, Franck Levassort, Vid Bobnar, Barbara Malič, Andreja Benčan, "Screen printed copper and tantalum modified potassium sodium niobate thick films on platinized alumina substrates", *Materials*, 2021, **14**, 23, 7137. [COBISS.SI-ID 86280707]
35. Kostja Makarovič, Darko Belavič, Matjaž Vidmar, Barbara Malič, "A 3D LTCC-based ceramic microfluidic system with RF dielectric heating of liquids", *Materials*, 2021, **14**, 23, 7396. [COBISS.SI-ID 87578371]
36. Kostja Makarovič, Darko Belavič, Barbara Malič, Andreja Benčan, Franci Kovač, Janez Holc, "Small ozone generator fabricated from low temperature Co-fired ceramics", *Microelectronics international*, 2021, **38**, 1, 1-5. [COBISS.SI-ID 50126595]
37. Marija Tkalčević, Jordi Sancho-Parramon, Lovro Basioli, Matej Bubaš, Goran Dražić, Peter Nadazdy, Peter Siffalovica, Maja Mičetić, "3D networks of nanopores in alumina: structural and optical properties", *Microporous and mesoporous materials*, 2021, **325**, 111306. [COBISS.SI-ID 72698371]
38. Zouhair Hanani *et al.* (12 avtorjev), "Lead-free nanocomposite piezoelectric nanogenerator film for biomechanical energy harvesting", *Nano energy*, 2021, **81**, 105661. [COBISS.SI-ID 42422787]
39. Edi Radin, Goran Štefanič, Goran Dražić, Ivan Marić, Tanja Jurkin, Anđela Pustak, Nikola Baran, Matea Raič, Marijan Gotič, "Solid-state dispersions of platinum in the SnO₂ and Fe₂O₃ nanomaterials", *Nanomaterials*, 2021, **11**, 12, 3349. [COBISS.SI-ID 90041091]
40. Jingkun Li *et al.* (16 avtorjev), "Identification of durable and non-durable Fe_N sites in Fe-N-C materials for proton exchange membrane fuel cells", *Nature Catalysis*, 2021, **4**, 1, 10-19. [COBISS.SI-ID 42880515]
41. Andreja Benčan, Emad Oveisi, Sina Hashemizadeh, Vignaswaran K. Veerapandiyam, Takuya Hoshina, Tadej Rojac, Marco Deluca, Goran Dražić, Dragan Damjanović, "Atomic scale symmetry and polar nanoclusters in the paraelectric phase of ferroelectric materials", *Nature communications*, 2021, **12**, 1, 3509. [COBISS.SI-ID 65810179]
42. Mojca Otoničar, Andraž Bradeško, Samir Salmanov, Chingchang Chung, Jacob L. Jones, Tadej Rojac, "Effects of poling on the electrical and electromechanical response of PMN-PT relaxor ferroelectric ceramics", *Open ceramics*, 2021, **7**, 100140. [COBISS.SI-ID 67640323]
43. Anže Abram, Goran Dražić, "Structural and photocatalytic properties of hydrothermally-prepared boehmite/TiO₂ coatings", *Open ceramics*, 2021, **7**, 100153. [COBISS.SI-ID 69028099]
44. Junning Li *et al.* (11 avtorjev), "Doping-induced polar defects improve the electrocaloric performance of Ba_{0.9}Sr_{0.1}Hf_{0.1}Ti_{0.9}O₃", *Physical review applied*, 2021, **16**, 1, 014033. [COBISS.SI-ID 76451843]
45. Mirela Dragomir, Iztok Arčon, Paul A. Dube, Jeremiah C. Beam, Andrew P. Grosvenor, Graham King, John E. Greedan, "Family of anisotropic spin glasses Ba_{1-x}La_{1+x}MnO_{4+δ}", *Physical review materials*, 2021, **5**, 7, 074403. [COBISS.SI-ID 73562627]
46. Qianli Ma, Kirrily C. Rule, Zachary W. Cronkwright, Mirela Dragomir, Gabrielle Mitchell, Evan M. Smith, Songxue Chi, Alexander I. Kolesnikov, Matthew B. Stone, Bruce D. Gaulin, "Parallel spin stripes and their coexistence with superconducting ground states at optimal and high doping in La_{1.6-x}Nd_{0.4}Sr_xCuO₄", *Physical review research*, 2021, **3**, 2, 023151. [COBISS.SI-ID 70733827]
47. Kevin Ries, Neamul Hayet Khansur, Alexander Martin, Andreja Benčan, Hana Uršič, Kyle Grant Webber, "Stress- and frequency-dependent properties of relaxor-like sodium bismuth titanate", *Physical review. B*, 2021, **103**, 9, 094113. [COBISS.SI-ID 58273539]
48. Tjaša Gornik, Sudhirkumar Shinde, Lea Lamovšek, Maja Koblar, Ester Heath, Börje Sellergren, Tina Kosjek, "Molecularly imprinted polymers for the removal of antidepressants from contaminated wastewater", *Polymers*, 2021, **13**, 1, 120. [COBISS.SI-ID 44987651]

49. Naman K. Gupta *et al.* (12 avtorjev), "Vanishing nematic order beyond the pseudogap phase in overdoped cuprate superconductors", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2021, **118**, 34, e2106881118. [COBISS.SI-ID 73564163]
50. Jamal Belhadi, Urška Trstenjak, Hana Uršič, Nina Daneu, Jieun Kim, Zishen Tian, Gertjan Koster, Lane W. Martin, Matjaž Spreitzer, "Growth mode and strain effect on relaxor ferroelectric domains in epitaxial $0.67\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - 0.33\text{PbTiO}_3/\text{SrRuO}_3$ heterostructures", *RSC advances*, 2021, **11**, 3, 1222-1232. [COBISS.SI-ID 49711107]
51. Vesna Ribič, Aleksander Rečnik, Goran Dražič, Matejka Podlogar, Zorica Branković, Goran Branković, "TEM and DFT study of basal-plane inversion boundaries in SnO_2 -doped ZnO ", *Science of sintering*, 2021, **53**, 2, 237-252. [COBISS.SI-ID 66827779]
52. Arij Marzouki, M. Yao, Samir Salmanov, Vincent Loyau, Adel Megriche, Brahim Dkhil, Mojca Otoničar, "New approach for designing bulk multiferroic composites made of two perovskite oxides with enhanced direct magnetoelectric coupling", *Scripta materialia*, 2021, **194**, 113673. [COBISS.SI-ID 45621763]
53. Kristina Radinović, Jadranka Milikić, Una Stamenović, Vesna V. Vodnik, Mojca Otoničar, Srečo D. Škapin, Biljana Šljukić Paunković, "Tailoring gold-conducting polymer nanocomposites for sensors applications: proof of concept for As(III) sensing in aqueous media", *Synthetic metals*, 2021, **278**, 116834. [COBISS.SI-ID 76448771]

PREGLEDNI ZNANSTVENI ČLANEK

1. Shujun Zhang, Barbara Malič, Jing-Feng Li, Jürgen Rödel, "Lead-free ferroelectric materials: prospective applications", *Journal of materials research*, 2021, **36**, 5, 985-995. [COBISS.SI-ID 68227587]

OBJAVLJENA ZNANSTVENA PRISPEVKA NA KONFERENCI

1. Blaž Mikuž, Jan Kren, Anil Kumar Basavaraj, Danjela Kuščer, "Influence of seeding particles on particle image velocimetry measurements in single-phase turbulent pipe flow", V: *NENE 2021, 30th International Conference Nuclear Energy for New Europe, September 6-9, Bled, Slovenia*, Proceedings, Nuclear Society of Slovenia, 2021, 614. [COBISS.SI-ID 91311107]
2. Aleksander Sešek, Tadej Skuber, Kostja Makarovič, "Optimizacija izdelave močnostnih modulov ter termična analiza", V: *ERK 2021, 30.*

mednarodna Elektrotehniška in računalniška konferenca, Portorož, Slovenija, 20-21 september 2021, Zbornik, (Zbornik Elektrotehniške in računalniške konference **30**), Slovenska sekcija IEEE, Fakulteta za elektrotehniko, 2021, 5-9. [COBISS.SI-ID 78796547]

SAMOSTOJNA ZNANSTVENA SESTAVKA ALI POGlavJI V MONOGRAFSKI PUBLIKACIJI

1. Danjela Kuščer, "Screen printing", V: *Encyclopedia of materials: technical ceramics and glasses*, Elsevier, 2021, **1**, 227-232. [COBISS.SI-ID 65439491]
2. Barbara Malič, Mojca Otoničar, Kristian Radan, Jurij Koruza, "Lead-free piezoelectric ceramics", V: *Encyclopedia of materials: technical ceramics and glasses*, Elsevier, 2021, **3**, 358-368. [COBISS.SI-ID 64919555]

DRUGO UČNO GRADIVO

1. Tadej Rojac, *Dielektrični, piezoelektrični, piroelektrični, feroelektrični in elektrokalični materiali: kako delujejo in kje se uporabljajo*, Univerza v Ljubljani, Naravoslovno-tehnična fakulteta, 2021. [COBISS.SI-ID 48776707]
2. Tadej Rojac, *Keramika: uvod*, Univerza v Ljubljani, Naravoslovno-tehnična fakulteta, 2021. [COBISS.SI-ID 48769027]
3. Tadej Rojac, *Mechanochemistry: basics and examples*, Jožef Stefan International Postgraduate School, 2021. [COBISS.SI-ID 47422979]
4. Tadej Rojac, *Mechanochemistry: principles, mechanisms and examples*, Jožef Stefan International Postgraduate School, 2021. [COBISS.SI-ID 87435523]
5. Tadej Rojac, *Sinteza keramike v trdnem stanju: osnove in primeri iz področja elektronske keramike*, Institut Jožef Stefan, 2021. [COBISS.SI-ID 94323459]
6. Tadej Rojac, *Sinteza keramike v trdnem stanju: osnove, mehanizmi in primeri*, Univerza v Ljubljani, Naravoslovno-tehnična fakulteta, 2021. [COBISS.SI-ID 48780547]

PATENT

1. Vid Bobnar, Barbara Malič, Aleksander Matavž, *Metoda proizvodnje polimernih plasti z modificirano površino*, SI25887 (A), Urad RS za intelektualno lastnino, 31. 03. 2021. [COBISS.SI-ID 32699175]

