

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 in prevodni oksidi. Poudarek raziskav je na kreiranju lastnosti s sintezo na nano-, mikro- in makroravni. Raziskujemo tudi osnove procesov za pripravo senzorjev ilaka, keramičnih mikroelektromehanskih sistemov (MEMS) in fleksibilne elektronike.

Na področju okolju prijaznih piezoelektrikov brez svinca smo nadaljevali raziskave keramike na osnovi kalijevega natrijevega niobata ($K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$, KNN), ki bi lahko nadomestile učinkovite piezoelektrike na osnovi svinca. Poudarek je bil na kontroli kemijske homogenosti keramike KNN z vrsto dopantov kot ključne lastnosti za doseganje ponovljivih funkcijskih lastnosti.

Nadaljevali smo raziskave polikristaliničnega $BiFeO_3$. V sodelovanju z raziskovalci Odseka za nanostrukturne materiale (IJS) in Kemijskega inštituta smo eksperimentalno dokazali dinamično povezavo med električno prevodnostjo domenskih sten v $BiFeO_3$ s kopičenjem defektov p-tipa na domenski steni pod električnim poljem. Pokazali smo tudi, da hitrost ohlajanja vpliva na kopičenje defektov na stenah in s tem posledično na njihovo lokalno strukturo in prevodnost [slika 1].

Polarizacija keramike $BiFeO_3$ je težavna predvsem zaradi visoke električne prevodnosti in visokega koercitivnega polja. Da bi razumeli polarizacijo $BiFeO_3$, smo v sodelovanju s kolegi iz Avstralije (Univerza New South Wales), Kitajske (Univerza Tsinghua) in Norveške (norveška univerza za znanost in tehnologijo) izvedli in situ strukturo rentgensko difrakcijsko analizo. Med polarizacijo pri visokih električnih poljih smo opazili zanimiv obratnosorazmeren časovni trend v deformaciji kristalne rešetke znotraj posameznih domen in preklapljanja domenskih sten. Pojav smo pripisali prevodnim domenskim stenam, ki povzročijo prerazporeditev notranjih električnih polj v zrnih keramične matrice. S študijo smo pojasnili mehanizme deformacije na mikrometrski ravni in s tem predlagali optimiziran način polarizacije $BiFeO_3$.

Eksperimentalne študije na keramiki $BiFeO_3$, modificirani s kobaltovimi ioni, so razkrile podrobnosti feroelektričnega utrjevanja tega perovskita. Gre za dva različna mehanizma utrjevanja, povezana z i) učinki pripenjanja domenskih sten na kompleksih defektov s kisikovimi vrzelmi, za katere je znano, da kontrolirajo utrjevanje akceptorsko dopiranega $Pb(Zr,Ti)O_3$ (PZT) in ii) manj pogostim načinom pripenjanja domenskih sten, do katerega pride, ko se točkasti defekti, kot so elektronske vrzeli, kopičijo znotraj domenskih sten. Mehanizem (i) ima prevladujočo vlogo pri odzivu $BiFeO_3$, ko je ta v močnem električnem polju, medtem ko ima mehanizem (ii) ključno vlogo pri piezoelektričnem odzivu $BiFeO_3$ v šibkem polju. Naboji, ki so prisotni na domenskih stenah, vodijo do povečanja piezoelektričnega odziva $BiFeO_3$, kar je v nasprotju z obnašanjem, ki je značilno za PZT. To se zgodi zaradi prerazporeditve notranjih polj v različnih zrnih polikristalinične matrice, ki jo sproži migracija naboja vzdolž domenskih sten. Pojav učinkovito poveča prispevek domenskih sten v zrnih, v katerih se polje poveča. Rezultati pojasnjujejo večletno dilemo okrog piezoelektričnega odziva $BiFeO_3$.

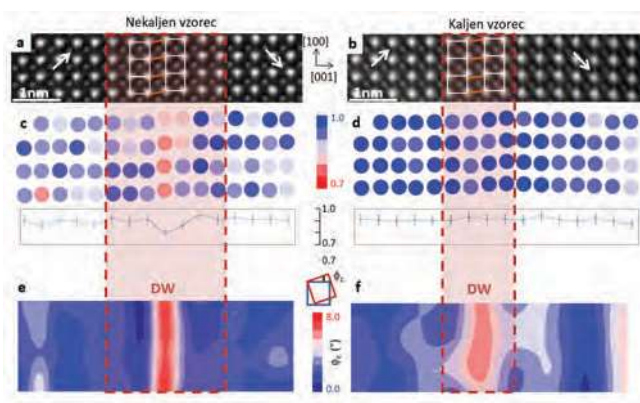
V sodelovanju s kolegi z norveške univerze za znanost in tehnologijo ter iz Nacionalnega inštituta za raziskave in razvoj tehnološke fizike, Iasi, Romunija, smo raziskali magnetne lastnosti multiferoične keramike $Bi_{0,88}Gd_{0,12}FeO_3$. Z mikroskopom na atomsko silo s piezoelektričnim (PFM) in magnetnim (MFM) modulom smo potrdili intrinzično multiferoičnost v perovskitni fazi, saj smo zaznali soobstoj feroelektričnih/feroelastičnih in feromagnetnih domen. Nadalje smo odkrili, da po segrevanju pri 1000 °C vzorec začne izkazovati močno magnetno histerezo z visoko



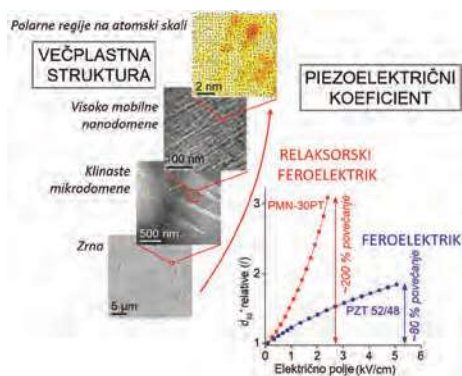
Vodja:

prof. dr. Barbara Malič

V reviji Nature Communications smo objavili raziskavo, v kateri smo eksperimentalno dokazali dinamično povezavo med električno prevodnostjo domenskih sten v $BiFeO_3$ s kopičenjem defektov p-tipa na domenskih stenah pod električnim poljem.



Slika 1: Atomska struktura domenskih sten (DS) v kaljenem in nekaljenem $BiFeO_3$. HAADF-STEM slika 109° DS v (a) nekaljenem in (b) kaljenem $BiFeO_3$ (c, d) pripadajoča porazdelitev normaliziranih intenzitet Bi atomskih kolon in profil intenzitet prek DS, (e, f) porazdelitev napetosti prek DS, predstavljen kot deformacijski kot osnovne celice (ϕ_c). Področje DS je označeno z rdečo prekinjeno črto. Puščice v (a, b) kažejo smer premika Fe atoma iz centra Bi osnovne celice, z rdečo črto so označene daljše razdalje med Bi atomskimi kolonami.



Slika 2: V relaksorski feroelektrični keramiki PMN-xPT smo izmerili izredno visok nelinearni piezoelektrični odziv, ki razkriva mehanizem mehčanja materiala. Odziv odraža visoko mobilnost sten nanodomene kot posledico polarnih skupkov na atomski skali in distorzij kristalne mreže, značilnih za relaksorje.

magnetizacijo. Omenjeni pojav nastane zaradi razpada perovskitne faze v sekundarno fazo, bogato z železom. Tako smo potrdili velik pomen termične priprave vzorca in termodinamske stabilnosti posameznih faz za magnetne lastnosti keramike $\text{Bi}_{0.88}\text{Gd}_{0.12}\text{FeO}_3$.

V sodelovanju s kolegi s Tehniške univerze v Darmstadtu, Nemčija, smo pripravili in karakterizirali piezoelektrično keramiko, ki vsebuje svinec $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.7}\text{Ti}_{0.3})\text{O}_3$, z velikostjo zrn v območju med 3,9 in 10,4 μm . Zmanjšanje velikosti zrn je spremljalo znižanje elektromehanskih lastnosti, merjenih pri poljih, višjih od koercitivnega, in zvišanje dielektričnosti keramike. PFM-analiza je pokazala povišano lokalno koercitivno napetost blizu meje zrn. Omenjene razlike so najverjetneje posledica napetosti v keramiki, ki so prisotne blizu meje zrn, kar vodi do zmanjšane dinamike domenskih sten.

Kljub številnim predlaganim modelom in različnim razlagam je izvor visoke piezoelektričnosti v relaksorskih feroelektrikih na osnovi svinca, kot je $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ (PMN-PT), še vedno odprto vprašanje. S sodobnim analitičnim pristopom in široko paleto keramičnih sestav PMN-PT nam je uspelo razložiti vlogo t. i. nizkokotnih domenskih sten v piezoelektričnem in dielektričnem odzivu PMN-PT. Visoka mobilnost tovrstnih sten je tesno povezana s strukturnim relaksorskim neredom, zato njihova dinamika prevladuje v monoklinskih sestavah PMN-PT, ki so bogate s PMN. Novi mehanizem odpira obilo možnosti za oblikovanje lastnosti visoko zmogljive piezoelektrične keramike s t. i. relaksorskim neredom [slika 2].

V sodelovanju s kolegi z Odseka za fiziko trdne snovi, IJS, in Tehniške univerze v Darmstadtu, Nemčija, smo proučili povezavo med dielektričnostjo in elektrokalorično (EC) spremembo temperature (ΔT_{EC}) v $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-xPbTiO}_3$ (PMN-100xPT, $x = 0, 0,05, \text{ in } 0,10$). S povečanjem vsebnosti PT pri danem električnem polju (E) se je povišala tako temperatura, pri kateri je dielektričnost najvišja, kot temperatura, pri kateri je ΔT_{EC} največja. Vrh dielektričnosti je vedno pri višji temperaturi od temperature z največjo ΔT_{EC} . Poleg tega temperaturna razlika med obema maksimuma postopno narašča z naraščajočim električnim poljem. Slednje je še posebno opazno nad električnim poljem, pri katerem pride do pojava feroelektrične faze. Rezultate smo razložili v okviru faznega diagrama električno polje-temperatura relaksorskih sistemov. Temperatura maksimuma dielektričnosti samo

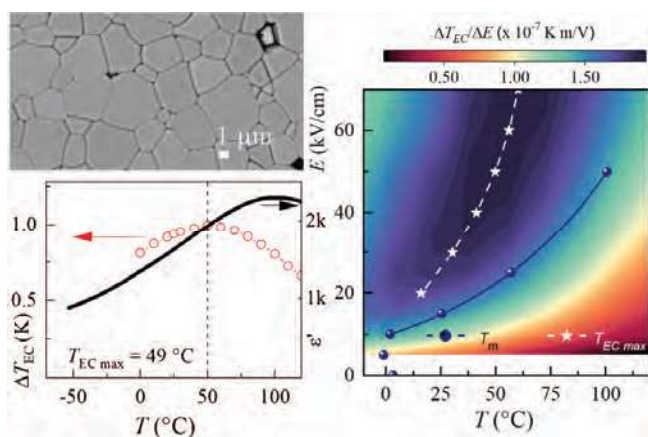
približno ustreza temperaturi, pri kateri je elektrokalorična odzivnost ($\Delta T_{\text{EC}}/\Delta E$) največja [slika 3].

Nadaljevali smo s pripravo in študijem novih enofaznih multiferoičnih in multikaloričnih keramičnih materialov na osnovi $\text{Pb}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3$. Trdne raztopine $\text{Pb}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3\text{-BiFeO}_3$ (PFN-BFO) omogočajo povezavo med nizkotemperaturnimi strukturnimi faznimi prehodi materiala PFN in visokotemperaturnimi faznimi prehodi materiala BFO, torej prilagajanje njihovih multiferoičnih lastnosti. Z mehanokemijsko aktivacijo kovinskih oksidov, ki ji je sledila termična obdelava surovcev, smo pripravili več sestav $(1-x)\text{PFN-xBFO}$ ($x = 0\text{-}0,5$). Dodajanje BFO k PFN je privedlo do okrepljenega relaksorsko-feroelektričnega obnašanja, ki smo ga sistematično proučili s pomočjo makroskopskih in lokalnih tehnik karakterizacije [slika 4]. Sistem PFN-BFO poleg obetavnih relaksorsko-feroelektričnih lastnosti izkazuje tudi magnetne lastnosti. Med proučevanimi sestavami sta v 0,8PFN-0,2BFO obe feroični anomaliji pri sobni temperaturi, kar ga uvršča med prve tovrstne enofazne multiferoike. Nadalje smo pokazali, da pripravljene materiali izkazujejo tudi multikalorične lastnosti. Z načrtnim dopiranjem 0,8PFN-0,2BFO z Gd in Mn ioni nam je uspelo pripraviti material, ki izkazuje soobstoje do sedaj največjih elektrokaloričnih in magnetokaloričnih odzivov.

V sodelovanju z raziskovalci iz Kanade (Univerza McMaster in Univerza v Sherbrooku) in ZDA (Nacionalni laboratorij Oak Ridge) smo izvedli obsežno študijo pod- in nadstehiometrično dopiranih kupratnih superprevodnikov $\text{La}_{1.6-x}\text{Nd}_{0.4}\text{SrCuO}_4$. Raziskali smo strukturne in superprevodne fazne prehode, ki potekajo v odvisnosti od temperature in koncentracije vrzeli, p , ter predlagali posodobljen fazni diagram temperatura-dopiranje za $\text{La}_{1.6-x}\text{Nd}_{0.4}\text{SrCuO}_4$. Poleg tega smo ugotovili tudi, da so v tem sistemu strukturne in kritične točke psevdovrzelj dobro ločene, podobno kot v matični spojini $\text{La}_{1-x}\text{SrCuO}_4$.

Raziskave so obsegale tudi študij dvojnega perovskita $\text{La}_2\text{LiMoO}_6$. V študiji, izvedeni s sodelavci iz ZDA (Nacionalni laboratorij Oak Ridge,

Izsledke raziskav elektromehanskega odziva relaksorskih feroelektrikov smo objavili v reviji Advanced Functional Materials. Študija razkriva edinstven dinamični odziv tovrstnih relaksorskih materialov na zunanje električno polje, katerega vzrok je kompleksna strukturiranost materiala v smislu nereda na atomski ravni in hierarhičnega zloga feroelektričnih domen, kar močno vpliva na mobilnost domenskih sten.



Slika 3: Povezava med dielektričnostjo (ϵ) in elektrokalorično (EC) spremembo temperature (ΔT_{EC}) v keramiki $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ (PMN). Levo: mikrostruktura PMN (zgoraj) in temperaturna odvisnost ϵ (@10 kHz) in ΔT_{EC} pri električnem polju 50 kV/cm, kjer je razvidno, da je maksimum dielektričnosti (T_m) pri višji temperaturi kot maksimum ΔT_{EC} . Desno: EC odziv ($\Delta T_{\text{EC}}/\Delta E$) v okviru faznega diagrama električno polje-temperatura.

Univerza v Tennesseeju) in Kanade (Univerza McMaster in Univerza v Winnipegu), smo pojasnili osnovno magnetno stanje tega materiala. Ugotovili smo, da je, v nasprotju z drugimi Mo^{5+} dvojnimi perovskiti, $\text{La}_2\text{LiMoO}_6$ prvi primer, ki kaže **antiferomagnetno** urejanje dolgega dosega s T_N , ki znaša 18 K, kar dokazujejo magnetni Braggovi vrhovi. Te razlike je mogoče razložiti na podlagi koordinacijskih poliedrov Mo-O, ki določajo naravo orbitalnega urejanja.

Hibridni **organsko-anorganski feroelektriki**, kot je tetrametilamonijev bromotrikloroferat ($\text{N}(\text{CH}_3)_4[\text{FeBrCl}_3]$), se obetajo kot naslednja generacija funkcijskih materialov za senzoriko in v napravah za pridobivanje mehanske, toplotne in drugih oblik energije iz okolja. Čeprav je struktura t. i. plastičnih kristalov znana, so njihove feroelektrične in elektromehanske lastnosti še povsem neraziskane. V sodelovanju s skupino z norveške univerze za znanost in tehnologijo v Trondheimu smo nedavno poročali o funkcijskih lastnostih plastičnih kristalov $\text{N}(\text{CH}_3)_4[\text{FeBrCl}_3]$. Podatki kažejo na klasičen feroelektrični odziv s prispevkom električne prevodnosti, ki ga opazimo v polarizacijskih zankah, merjenih pri nizkih frekvencah električnega polja. Izrazita odvisnost mehanskega odziva od frekvence in števila vzbujevalnih ciklov nakazuje na prispevek pripenjanja domenskih sten, ki jih povzročajo točkaste napake. Študija je pokazala potrebo po nadaljnjih raziskavah kemije defektov v tej obetavni skupini hibridnih materialov.

V sodelovanju z Odsekom za plinsko elektroniko (IJS) smo s PFM raziskali feroelektrično domensko strukturo v nedopiranem in z bakrom dopiranim monokristalu $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$. V obeh primerih smo odkrili nekaj sto nanometrov velike domene. V nedopiranem vzorcu so imele domene romboedrično obliko, v dopiranem vzorcu pa smo odkrili domene nepravilnih oblik. S PFM smo izmerili tudi lokalne histerezne zanke, ki so nakazovale dobro zmožnost preklopa feroelektričnih domen v obeh tipih monokristalov.

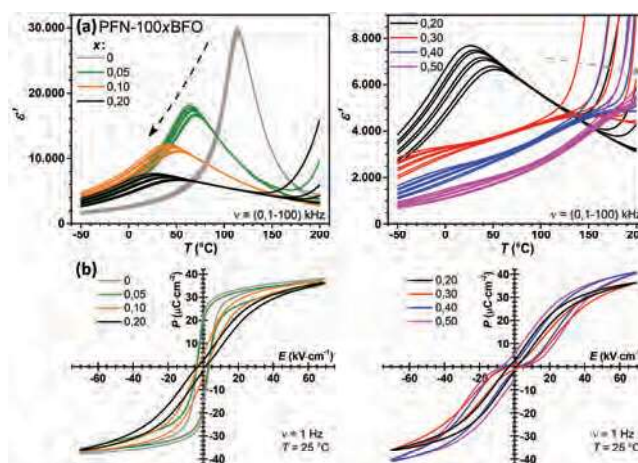
V sodelovanju z Inštitutom za multidisciplinarne raziskave z Univerze v Beogradu, Srbija, smo proučevali vpliv dopiranja s stroncijem na fazno sestavo, mikrostrukturo in funkcijske lastnosti tankih plasti natrijevega kalijevega niobata. Plasti na platiniziranih silicijevih podlagah smo pripravili s sintezo iz raztopin. Dopiranje s stroncijem (0,5, 1 mol%) je prispevalo k fino zrnati in gosti mikrostrukturi ter k izboljšanju feroelektričnih lastnosti tankih plasti v primerjavi z nedopiranimi vzorci. Nizek tok puščanja dopiranih plasti je prispeval k velikemu lokalnemu piezoelektričnemu odzivu ($d_{33} \sim 110$ pm/V), ki smo ga izmerili s PFM modulom mikroskopa na atomsko silo, in nasičenim lokalnim histereznim zankam.

Raziskave piezoelektričnih debelih plasti smo izvedli v sodelovanju z raziskovalci z GREMAN/CNRS/Univerze v Toursu, Francija. Raziskovali smo **metodo elektroforetskega nanosa (EPD) okolju prijaznih debelih plasti** ($\text{K}_{0,5}\text{Na}_{0,5-0,99}\text{Sr}_{0,005}\text{NbO}_3$ (KNNSr) na metaliziranih keramičnih podlagah za uporabo v piezoelektričnih zbiralnikih energije. Z naraščajočo temperaturo sintranja v zraku ali v kisiku so se dielektrične, fero- in piezoelektrične lastnosti debelih plasti izboljšale. Plasti KNNSr debeline 28 μm , ki smo jih pripravili s sintranjem pri 1100 °C 2 uri v kisiku, so imele povprečni sklopitveni faktor k_t 40%, kar je primerljivo z vrednostmi, ki jih izkazuje volumenska keramika z enako nominalno sestavo.

Nadaljevali smo pripravo debeloplastnih struktur na osnovi $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ s piezoelektričnim brizgalnim tiskanjem, ki predstavlja računalniško nadzorovano, cenovno ugodno in okolju prijazno tehnologijo oblikovanja. S prilagajanjem površinske napetosti, viskoznosti in omočljivosti vodnih suspenzij ter pogojev tiskanja smo pripravili homogene plasti z dimenzijami 4 mm × 4 mm na metaliziranih keramičnih podlagah. Po sintranju pri 850 °C je imela 15 μm debela plast z relativno gostoto 86 % povprečni sklopitveni faktor k_t 46 %, kar je primerljivo z vrednostjo k_t volumenske keramike.

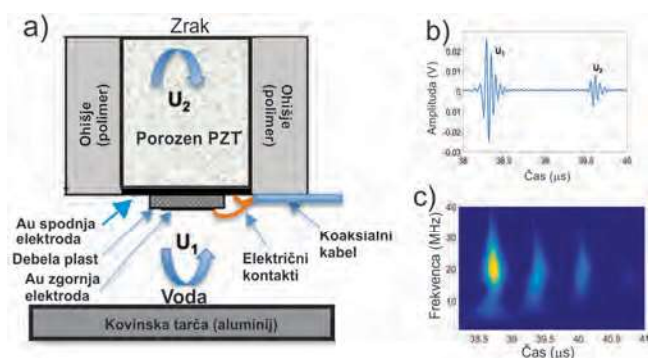
Skupaj smo izdelali prototip miniaturnega visokofrekvenčnega ultrazvočnega pretvornika in razvili metodo za merjenje akustičnih lastnosti dušilca v vodi v frekvenčnem območju od 15 do 25 MHz. Prvi smo tudi poročali o tej učinkoviti metodi. Pretvornik je sestavljen iz debele plasti PZT in zlate elektrode, ki sta nanešena na dušilec s sitotiskom. Dušilec smo izdelali iz porozne keramike PZT z metodo organskega dodatka in heterokoagulacije. Pokazali smo, da ima dušilec s 30-% poroznostjo in okroglimi porami premera 10 μm koeficient dušenja α 33 dB/mm pri 19 MHz, kar je trikrat višja vrednost od podatkov v literaturi. Keramika z visoko vrednostjo α učinkovito duši ultrazvočno valovanje, zaradi česar je debelina dušilca in s tem tudi velikost pretvornika, primerne za medicinske preiskave, manjša [slika 5].

Dosežek Inovativni pristopi h kontroli funkcijskih odzivov multiferoikov je bil uvrščen v izbor Odlični v znanosti 2020, Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Je rezultat kolegov z Odseka za elektronsko keramiko, Odseka za fiziko trdne snovi, Odseka za nanostrukturne materiale (IJS), Kemijskega inštituta ter kolegov iz Poljske in Amerike.



Slika 4: $\text{Pb}(\text{Fe}_{0,5}\text{Nb}_{0,5})\text{O}_3$ - BiFeO_3 (PFN-BFO) trdna raztopina (a) temperaturna in frekvenčna odvisnost realnega dela dielektrične konstante, (b) P-E histerezne zanke

Prof. dr. Barbara Malič je prejela Zoisovo nagrado za vrhunske dosežke na področju raziskav elektrokaličnih keramičnih materialov.



Slika 5: a) Shematičen prikaz merjenja akustičnih lastnosti ultrazvočnega pretvornika pri frekvencah nad 10 MHz; b) časovni odziv (signala U_1 in U_2) in c) valovna transformacija

V preteklem letu sta se uspešno zaključila evropska projekta KET4CP, v katerih smo razvijali nove izdelke in tehnologije za slovenska podjetja.

V projektu KET4CP *Razvoj novega, čistega procesa priprave keramičnih senzorjev tlaka* smo s partnerjema KEKO Oprema in Hahn-Schickard, Nemčija, načrtovali, razvili in uspešno testirali keramične senzorske elemente z območjem delovanja do 500 °C. V primerjavi s konvencionalnimi senzorskimi elementi na osnovi korundne keramike uporaba tehnologije in materialov LTCC (Low-Temperature Co-fired Ceramic) omogoča bolj čist proces izdelave senzorjev, ki poteka pri nižji temperaturi, z manjšo porabo materialov in manj onesnaževanja okolja.

Pri projektu KET4CP *Izdelava nevidnih plastičnih struktur na osnovi cenovno ugodnih prosojnih prevodnih oksidov iz raztopin s sitotiskom* sodelujemo z RC eNeM iz Slovenije in Inštitutom za fiziko trdnega stanja iz Latvije. Proučujemo postopke za pripravo tankih plasti na osnovi cinkovega oksida na steklu, nanešenih iz raztopin z metodo vrtenja in sitotiska.

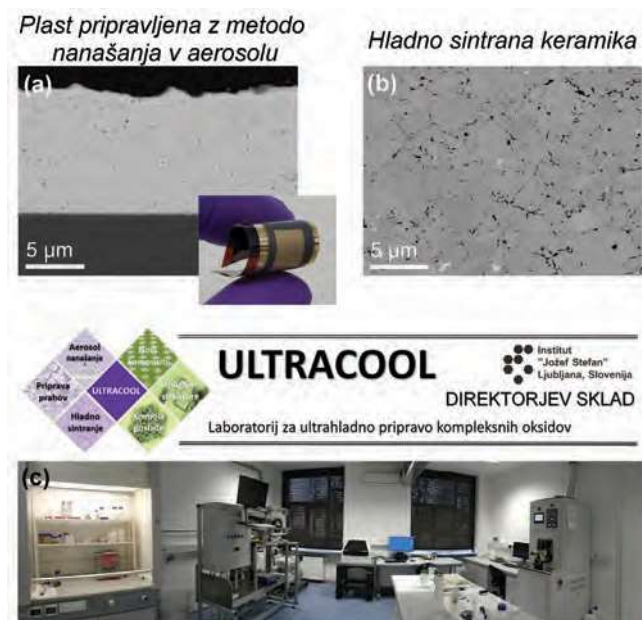
Nadaljevali smo z raziskavami debelih plasti z metodo nanosa v aerosolu v okviru Laboratorija za ultrahladno pripravo kompleksnih oksidov. Sredstva za postavitev laboratorija smo prejeli v okviru projekta Direktorjevega sklada ULTRACOOOL, ki se je uspešno zaključil aprila 2020 [slika 6]. Ukvarjamo se z optimizacijo parametrov priprave debelih plasti PMN-PT na kovinskih in polimernih podlagah.

V okviru laboratorija ULTRACOOOL smo z namensko izdelano stiskalnico za hladno sintranje izvedli niz poskusov zgoščevanja multiferoične keramike BFO v odvisnosti od tlaka, temperature in tekoče faze. V primerjavi s konvencionalnim visokotemperaturnim sintranjem je optimizacija procesa, ki je vključevala zmanjšanje vsebnosti sekundarne faze, nižjo prevodnost in večjo deformacijo pod vplivom električnega polja, vodila do keramike z izboljšanimi lastnostmi.

Metoda nanosa debelih plasti v aerosolu je omogočila izvedbo evropskega projekta KET4CP (*Key Enabling Technologies for Clean Production*) *Alternativni proces za pripravo kovinskih elektrod na keramičnih elektronskih komponentah*, v katerem smo sodelovali z industrijskim partnerjem Stelem, d. o. o., in madžarskim inštitutom Bay Zoltán.

V projektu KET4CP *Razvoj novega, čistega procesa priprave keramičnih senzorjev tlaka* smo s partnerjema KEKO Oprema in Hahn-Schickard, Nemčija, načrtovali, razvili in uspešno testirali keramične senzorske elemente z območjem delovanja do 500 °C. V primerjavi s konvencionalnimi senzorskimi elementi na osnovi korundne keramike uporaba tehnologije in materialov LTCC (Low-Temperature Co-fired Ceramic) omogoča bolj čist proces izdelave senzorjev, ki poteka pri nižji temperaturi, z manjšo porabo materialov in manj onesnaževanja okolja.

Najpomembnejše objave v preteklem letu



Slika 6: Uspešno opremljen in testiran Ultracool laboratorij za hladno pripravo funkcijskih materialov, subvencioniran s sredstvi direktorjevega sklada. (a) Gosta keramična plast na upogljivi podlagi, pripravljena z metodo nanašanja s curkom aerosola, (b) multiferoična keramika BiFeO_3 pripravljena z metodo hladnega sintranja, (c) panoramska slika laboratorija.

- Otoničar, Mojca, Bradeško, Andraž, Fulanovič, Lovro, Kos, Tomaž, Uršič Nemevšek, Hana, Benčan, Andreja, Cabral, Matthew, Henriques, Alexandra, Jones, Jacob L., Riemer, Lukas, Damjanovič, Dragan, Dražič, Goran, Malič, Barbara, Rojac, Tadej, Connecting the multiscale structure with macroscopic response of relaxor ferroelectrics, *Advanced functional materials*, 2020, 30, 52, 2006823
- Benčan, Andreja, Dražič, Goran, Uršič Nemevšek, Hana, Makarovič, Maja, Komelj, Matej, Rojac, Tadej, Domain-wall pinning and defect ordering in BiFeO_3 probed on the atomic and nanoscale, *Nature communications*, 2020, 11, 1762-1-1762-8
- Prah, Uroš, Dragomir, Mirela, Rojac, Tadej, Benčan, Andreja, Broughton, Rachel, Chung, Ching-Chang, Jones, Jacob L., Sherbondy, Rachel, Brennecke, Geof, Uršič Nemevšek, Hana, Strengthened relaxor behavior in $(1-x)\text{Pb}(\text{Fe}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3\text{xBiFeO}_3$, *Journal of materials chemistry C, Materials for optical and electronic devices*, 2020, 8, 10, 3452-3462
- Kučer, Danjela, Bustillo, Julien, Bakarič, Tina, Drnovšek, Silvo, Lethiecq, Marc, Levassort, Franck, Acoustic properties of porous lead zirconate titanate backing for ultrasonic transducers, *IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*, 2020, 67, 8, 1656-1666
- Fulanovič, Lovro, Bradeško, Andraž, Novak, Nikola, Malič, Barbara, Bobnar, Vid, Relation between dielectric permittivity and electrocaloric effect under high electric fields in the $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ -based ceramics, *Journal of applied physics*, 2020, 127, 18, 184102-1-184102-7

Nagrade in priznanja

1. Andreja Benčan Golob, Andraž Bradeško, Mirela Dragomir, Goran Dražič, Maja Makarovič, Barbara Malič, Uroš Prah, Tadej Rojac, Hana Uršič Nemevšek: dosežek Inovativni pristopi h kontroli funkcijskih odzivov multiferoikov je bil uvrščen v izbor Odlični v znanosti ARRS 2020, Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije
2. Mirela Dragomir: pečat odličnosti za projektno prijavo QMAT – Iskanje kvantnih stanj snovi s kemijo pod ekstremnimi pogoji, Evropska komisija
3. Barbara Malič: Zoisova nagrada za vrhunske dosežke na področju raziskav elektrokaličnih keramičnih materialov, Vlada Republike Slovenije

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Manjše storitve - tuji naročniki
prof. dr. Barbara Malič
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. Meritve z mikroskopom na atomsko silo
TDK Electronics GmbH & Co OG
doc. dr. Hana Uršič Nemevšek
6. Hladno sintranje kompleksnih oksidnih materialov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Mojca Otoničar
7. Absorberji sončnih celic na osnovi feroelektrikov z ozkim prevodnim pasom; sinteza in karakterizacija
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Hana Uršič Nemevšek
8. Stabilnost medpovršin piezoelektričnih keramičnih oksidov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Tadej Rojac
9. 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
10. Razumevanje vpliva velikosti na lastnosti antiferoelektričnih materialov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Mojca Otoničar
11. Multiferoiki za uporabo v hladilnih sistemih na osnovi trdne snovi
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Hana Uršič Nemevšek
12. Sinteza, struktura in lastnosti okolju prijaznih piezoelektričnih nanodelcev z različno morfologijo površin
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Andreja Benčan Golob
13. Visokotlačna sinteza in karakterizacija izbranih feroikov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Kristian Radan
14. Gojenje kristalov in magnetne lastnosti dvojnih perovskitov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Mirela Dragomir
15. Porozne relaksor-feroelektrične plasti brez svinca za shranjevanje energije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Hana Uršič Nemevšek
16. Tanke plasti okolju prijaznih feroelektrikov za zbiranje energije in za shranjevanje energije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Barbara Malič
17. 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
18. Načrtovanje mikrostrukture in lastnosti piezoelektrikov brez svinca za zbiranje energije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Barbara Malič

19. 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

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. Iskanje visoko temperaturne superprevodnosti in eksotičnega magnetizma v fluorido argentatih(II)
dr. Mirela Dragomir
5. Oblikovanje funkcionalnosti feroelektrikov brez svinca in inženiringom domenskih sten
prof. dr. Andreja Benčan Golob
6. Hladno sintranje multifunkcijskih elektronskih komponent
dr. Mojca Otoničar
7. Načrtovanje tankih plasti relaksorskih feroelektrikov za piezoelektrične aplikacije in shranjevanje energije
prof. dr. Tadej Rojac
8. Feroelektrični keramični plasti elementi z načrtovano domensko strukturo za učinkovito zbiranje in za pretvorbo energije
prof. dr. Barbara Malič
9. SRIP ToP: Tovarne Prihodnosti
prof. dr. Barbara Malič
10. Povračilo stroškov znanstvenih objav v zlateg odprtem dostopu za leto 2019, 2020
prof. dr. Barbara Malič
11. Študijski obisk Oana 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 fizica, Romunija

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. Razvoj proizvodnih (čistih) tehnologij za izdelavo keramičnih senzorjev Stelem, d. o. o., Žužemberk
doc. dr. Hana Uršič Nemevšek
2. Razvoj proizvodnih (čistih) tehnologij za izdelavo keramičnih senzorjev Keko - Oprema, d. o. o., Žužemberk
prof. dr. Barbara Malič
3. Priprava nevidnih struktur na osnovi cenovno ugodnih prosojnih prevodnih oksidov iz raztopin z metodo sitotiska
Razvojni center eNeM Novi Materiali, d. o. o.
prof. dr. Danjela Kuščer Hrovatin

OBISKI

1. Kristijan Kovačić, Bjelovar University of Applied Sciences, Bjelovar, Hrvaška, 16. 9. 2019–13. 3. 2020
2. Anja Mirjanić, University of Banja Luka, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Bosna in Hercegovina, 17. 10. 2019–30. 11. 2020
3. prof. dr. Dragan Damjanovic, École polytechnique fédérale de Lausanne – EPFL, Lozana, Švica, 5.–11. 1. 2020
4. dr. Marco Deluca, Materials Center Leoben Forschung GmbH, Leoben, Avstrija, 9.–11. 1. 2020
5. Vignaswaran Kaliyaperumal Veerapandiyar, Materials Center Leoben Forschung GmbH, Leoben, Avstrija, 9.–11. 1. 2020
6. Konstantin Rokas, University of Ioannina, Ioannina, Greece, 13. 1.–13. 3. 2020
7. Gianni Ferrero, Meggitt Sensing Systems, Kvistgaard, Danska, 13. 1.–16. 3. 2020 ter 1.–27. 10. 2020
8. Mustafa Çağrı Bayir, Gebze Technical University, Department of Materials Science and Engineering, Kocaeli, Turčija, 3. 2. 2020–12. 3. 2020
9. Katharina Schuldt, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Nemčija, 7.–12. 3. 2020

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. prof. dr. Dragan Damjanovic, École polytechnique fédérale de Lausanne – EPFL, Lozana, Švica: Emergence of electro-mechanical response in halides and oxide, 8. 1. 2020

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJIH

1. Andreja Benčan Golob, Oana Andreea Condurache, Uroš Prah, Kristian Radan, Slovenski kemijski dnevi 2020, Portorož, 16.–18. 9. 2020 (4)
2. Andreja Benčan Golob, QUORUM-2, the on-line conference on oxide electronics, 12. 11. 2020 (vabljen predavanje, virtualno)
3. Oana Andreea Condurache, Sabi W. Konsago, Mojca Otoničar, Kristian Radan, Samir Salmanov, Matej Šadl, Electroceramics XVII, Darmstadt, Nemčija, 24.–27. 8. 2020 (6, virtualno)
4. Mirela Dragomir, 13th Prolic Goats High-Pressure Diffraction workshop, Poznan, Poljska, 4.–5. 5. 2020 (virtualno)
5. Mirela Dragomir, 2020 ESS (European Spallation Source) and ILL (Institut Laue Langevin) European Users Meeting, Grenoble, Francija, 23.–25. 9. 2020 (virtualno)
6. Mirela Dragomir, 2020 ESS-ILL Topical Workshop on Chemistry and Magnetism, Grenoble, Francija, 13. 10. 2020 (virtualno)
7. Mirela Dragomir, Lia Šibav, 13th Canadian Powder Workshop (CPDW13), Saskatchewan, Kanada, 26.–30. 10. 2020 (virtualno)
8. Kostja Makarovič, spletni simpozij: Senzorji 4.0 (vabljen predavanje)
9. Uroš Prah, Kristian Radan, Hana Uršič Nemevšek, IEEE IFCS 2020 ISAF 2020 Virtual Conference, Keystone, Kolorado, ZDA, 19.–23. 7. 2020 (3, virtualno)
10. Kristian Radan, 13. Mednarodna konferenca o prenosu tehnologij, 8. 10. 2020 (vabljen predavanje, virtualno)
11. Mojca Otoničar, EMA 2020, Orlando, Florida, ZDA (virtualno, vabljen predavanje)
12. Hana Uršič Nemevšek, Workshop Recent Advances in Nanoscience and It's Applications, 27.–28. 7. 2020 (virtualno)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Andreja Benčan Golob
2. prof. dr. Goran Dražić*, znanstveni svetnik
3. prof. dr. Danjela Kušcer 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. Andraž Bradeško, odšel 1. 7. 2020*
9. dr. Mirela Dragomir
10. dr. Kostja Makarovič*
11. dr. Kristian Radan

Mlajši raziskovalci

12. Matic Belak Vivot, mag. kem.
13. Oana Andreea Condurache, master fizika, Romunija
14. Sabi William Konsago, Msc., Rusija
15. *Maja Makarovič, mag. nan., odšla 9. 11. 2020*
16. dr. Uroš Prah
17. Samir Salmanov, Msc., Rusija
18. Matej Šadl, mag. nan.
19. Lia Šibav, mag. kem.
20. Katarina Žiberna, mag. kem.

Strokovni sodelavci

21. Silvo Drnovšek, dipl. inž. kem. tehnol.
22. Brigita Kmet, dipl. inž. kem. tehnol.
23. *Marija Šebjan Pušenjak, dipl. ekon. (VS), odšla 1. 10. 2020*

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. BioSense Institute, Novi Sad, Srbija
5. Bjelovar University of Applied Sciences, Bjelovar, Hrvaška
6. Brown University, Providence, Rhode Island, ZDA
7. Cadi Ayyad University, Marakeš, Maroko
8. Carinthia University of Applied Sciences, Beljak, Avstrija
9. Center odličnosti NAMASTE, Ljubljana, Slovenija

10. Center odličnosti VESOLJE, Ljubljana, Slovenija
11. Centrale Supélec, Université Paris-Saclay, Paris, Francija
12. Colorado School of Mines, Golden, Colorado, ZDA
13. École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lozana, Švica
14. European Organization for Nuclear Research CERN, Ženeva, Švica
15. Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NAS of Ukraine, Kijev, Ukrajina
16. Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Department of Materials Science and Engineering, Erlangen, Nemčija
17. Institut für Elektronenmikroskopie und Nanoanalytik – Zentrum für Elektronenmikroskopie (FELMI TU Graz), Gradec, Avstrija
18. Institut za multidisciplinarna istraživanja Univerziteta u Beogradu, Odsek za nauku o materijalima (IMSI UB), Beograd, Srbija
19. Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija
20. Institute for Materials Science, University of Duisburg-Essen, Essen, Nemčija
21. Institute for Technical Physics and Materials Science, Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Science, Budimpešta, Madžarska
22. Institute of Physics of the Czech Academy of Science, Praga, Češka
23. Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poljska
24. KEKO – Oprema, d. o. o., Žužemberk, Slovenija
25. Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
26. Knauf Insulation, d. o. o., Škofja Loka, Slovenija
27. Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), Luxembourg, Luksemburg
28. Materials Center Leoben Forschung GmbH (MCL), Leoben, Avstrija
29. McMaster University, Hamilton, Ontario, Kanada
30. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, Slovenija
31. Meggitt Sensing Systems, Meggitt A/S, Kvistgaard, Danska
32. Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija
33. Murata Manufacturing Co., Ltd, Kyoto, Japonska
34. Nonprofit Ltd for Applied Research, Budimpešta, Madžarska
35. North Carolina State University (NCSSU), Materials Science and Engineering Department, Raleigh, Severna Karolina, ZDA
36. Norwegian University of Science and Tehnology (NTNU), Department of Materials Science and Engineering, Trondheim, Norveška
37. Osaka Prefecture University – Graduate School of Engineering, Department of Physics and Electronics, Osaka, Japonska
38. Penn State University, Materials Research Center, State College, Pensilvanija, ZDA
39. PI Ceramic GmbH, Lederhose, Nemčija
40. Purdue University, West Lafayette, Indiana, ZDA
41. Razvojni center Novi materiali, d. o. o., Zagorje ob Savi, Slovenija
42. Shanghai University, Department of Electronic Information Materials, Šanghaj, Kitajska
43. Shizuoka University, Research Institute of Electronics, Department of Engineering, Graduate School of Integrated Science and Technology, Hamamatsu, Japonska
44. Steklarna Hraštnik, družba za proizvodnjo steklenih izdelkov, d. o. o., Hraštnik, Slovenija
45. Stelem, d. o. o., Žužemberk, Slovenija
46. TDK Electronics GmbH & Co OG, Deutschlandsberg, Avstrija
47. Technical University of Denmark (DTU), Kongens Lyngby, Danska
48. Technische Universität Darmstadt (TU Da), Darmstadt, Nemčija
49. Tsinghua University, School of Materials Science and Engineering, Peking, Kitajska
50. Université François-Rabelais Tours, Gremen CNRS, Tours, Francija

51. University of Applied Sciences, Department of Mechatronics, Bjelovar, Hrvatska
 52. University of Aveiro (UA), Aveiro, Portugalska
 53. University of Duisburg-Essen, Essen, Nemčija
 54. University of Latvia, Institute of Solid State Physics, Riga, Latvija
 55. University of New South Wales, Sydney, Avstralija

56. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana, Slovenija
 57. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
 58. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
 59. Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za naravoslovje, Nova Gorica, Slovenija
 60. VARS, podjetje za proizvodnjo varistorja in sklopov, d. o. o., Ljubljana, Slovenija

BIBLIOGRAFIJA

IZVIRNI ZNANSTVENI ČLANKI

- Lovro Basioli *et al.* (13 avtorjev), "Ge quantum dots coated with metal shells (Al, Ta, and Ti) embedded in alumina thin films for solar energy conversion", *ACS applied nano materials*, 2020, **3**, 9, 8640-8650. [COBISS.SI-ID 29280515]
- Tomasz Kosmala, Nicolas Bibent, Moulay Tahar Sougrati, Goran Dražić, Stefano Agnoli, Frédéric Jaouen, G. Granozzi, "Stable, active, and methanol-tolerant PGM-free surfaces in an acidic medium: electron tunneling at play in Pt/FeNC hybrid catalysts for direct methanol fuel cell cathodes", *ACS catalysis*, 2020, **10**, 14, 7475-7485. [COBISS.SI-ID 21161987]
- Marjan Bele *et al.* (12 avtorjev), "Increasing the oxygen-evolution reaction performance of nanotubular titanium oxynitride-supported Ir nanoparticles by a strong metal-support interaction", *ACS catalysis*, 2020, **10**, 22, 13688-13700. [COBISS.SI-ID 36706819]
- Mojca Otoničar *et al.* (14 avtorjev), "Connecting the multiscale structure with macroscopic response of relaxor ferroelectrics", *Advanced functional materials*, 2020, **30**, 52, 2006823. [COBISS.SI-ID 32051715]
- Petar Djinović, Alenka Ristić, Tadej Žumbar, Venkata D. B. C. Dasireddy, Mojca Rangus, Goran Dražić, Margarita Popova, Blaž Likozar, Nataša Zabukovec Logar, Nataša Novak Tušar, "Synergistic effect of CuO nanocrystals and Cu-oxo-Fe clusters on silica support in promotion of total catalytic oxidation of toluene as a model volatile organic air pollutant", *Applied catalysis. B, Environmental*, 2020, **268**, 118749. [COBISS.SI-ID 40413445]
- Lisha Liu, Tadej Rojac, Justin A. Kimpton, Julian Walker, Maja Makarovič, Jing-Feng Li, John E. Daniels, "Poling-induced inverse time-dependent microstrain mechanisms and post-poling relaxation in bismuth ferrite", *Applied physics letters*, 2020, **116**, 12, 122901. [COBISS.SI-ID 33277991]
- Lukas Riemer, Chu Kanghyun, Li Yang, Hana Uršič Nemevšek, Andrew J. Bell, Ibrahim Dkhal, Dragan Damjanović, "Macroscopic polarization in the nominally ergodic relaxor state of lead magnesium niobate", *Applied physics letters*, 2020, **117**, 10, 102901. [COBISS.SI-ID 27803395]
- Andraž Šuligoj, Alenka Ristić, Goran Dražić, Albin Pintar, Nataša Zabukovec Logar, Nataša Novak Tušar, "Bimetal Cu-Mn porous silica-supported catalyst for Fenton-like degradation of organic dyes in wastewater at neutral pH", *Catalysis today*, 2020, **358**, 270-277. [COBISS.SI-ID 6808602]
- Soukaine Merselmiz *et al.* (14 avtorjev), "High energy storage efficiency and large electrocaloric effect in lead-free BaTi_{0,89}Sn_{0,11}O₃ ceramic", *Ceramics international*, 2020, **46**, 15, 23867-23876. [COBISS.SI-ID 20600579]
- Stanislav Kurajica, Ivana Katarina Munda, Goran Dražić, Vilko Mandić, Katarina Mužina, Lubos Bauer, G. Matijašič, "Manganese-doped, hydrothermally-derived ceria: the occurrence of birnessite and the distribution of manganese", *Ceramics international*, 2020, **46**, 18b, 29451-29458. [COBISS.SI-ID 18360323]
- Darko Makovec, Goran Dražić, Sašo Gyergyek, Darja Lisjak, "A new polymorph of strontium hexaferrite stabilized at the nanoscale", *CrystEngComm*, 2020, **22**, 42, 7113-7122. [COBISS.SI-ID 48586243]
- Ruggero Vigliaturo, Alessandra Marengoni, Erica Bittarello, Ileana Pérez-Rodríguez, Goran Dražić, Reto Gieré, "Micro- and nano-scale mineralogical characterization of Fe(II)-oxidizing bacterial stalks", *Geobiology*, 2020, **18**, 5, 606-618. [COBISS.SI-ID 18262275]
- Xiaohui Huang *et al.* (10 avtorjev), "Lactobacillus strains treatment on commercial packaging paper as preliminary study for extending the shelf-life of chicken meat", *HSOA journal of biotech research & biochemistry*, 2020, **3**, 1, 007. [COBISS.SI-ID 21048579]
- Daniela Kuščer, Julien Bustillo, Tina Bakarič, Silvo Drnovšek, Marc Lethiecq, Franck Levassort, "Acoustic properties of porous lead zirconate titanate backing for ultrasonic transducers", *IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*, 2020, **67**, 8, 1656-1666. [COBISS.SI-ID 33285671]
- Lovro Fulanović, Andraž Bradeško, Nikola Novak, Barbara Malič, Vid Bobnar, "Relation between dielectric permittivity and electrocaloric effect under high electric fields in the Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-based ceramics", *Journal of applied physics*, 2020, **127**, 18, 184102. [COBISS.SI-ID 14687491]
- Maja Makarovič, Mustafa Çağrı Bayir, Hana Uršič Nemevšek, Andraž Bradeško, Tadej Rojac, "Domain wall conductivity as the origin of enhanced domain wall dynamics in polycrystalline BiFeO₃", *Journal of applied physics*, 2020, **128**, 6, 064104. [COBISS.SI-ID 25026051]
- Manuel Gesù Del Duca, Jaka Tušek, Angelo Maiorino, Lovro Fulanović, Andraž Bradeško, Uroš Plaznik, Barbara Malič, Ciro Aprea, Andrej Kitanovski, "Comprehensive evaluation of electrocaloric effect and fatigue behavior in the 0.9Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0.1PbTiO₃ bulk relaxor ferroelectric ceramic", *Journal of applied physics*, 2020, **128**, 10, 104102. [COBISS.SI-ID 31087619]
- Marta Pedrosa, Eliana S. Da Silva, Luisa M. Pastrana-Martinez, Goran Dražić, Polycarpos Falarase, Joaquim Luís Faria, José Luís Figueiredo, Adrián M. T. Silva, "Hummers' and Brodie's graphene oxides as photocatalysts for phenol degradation", *Journal of colloid and interface science*, 2020, **567**, 243-255. [COBISS.SI-ID 20286979]
- Julian Walker, Rany Miranti, Susanne Linn Skjærvø, Tadej Rojac, Tor Grande, Mari-Ann Einarsrud, "Super-coercive electric field hysteresis in ferroelectric plastic crystal tetramethylammonium bromotrichloroferrate(III)", *Journal of materials chemistry. C, Materials for optical and electronic devices*, 2020, **8**, 9, 3206-3216. [COBISS.SI-ID 33143847]
- Uroš Prah, Mirela Dragomir, Tadej Rojac, Andreja Benčan, Rachel Broughton, Ching-Chang Chung, Jacob L. Jones, Rachel Sherbondy, Geof Brennecke, Hana Uršič Nemevšek, "Strengthened relaxor behavior in (1-x)Pb(Fe_{0,5}Nb_{0,5})O₃xBiFeO₃", *Journal of materials chemistry. C, Materials for optical and electronic devices*, 2020, **8**, 10, 3452-3462. [COBISS.SI-ID 33157415]
- Vasyl Shvalya, Janez Zavašnik, Venera Nasretdinova, Hana Uršič Nemevšek, Janez Kovač, Alexander A. Grabar, Anton A. Kohutych, Alex Molnar, Dean R. Evans, Dragan Mihailović, Uroš Cvelbar, "Sn₂P₂S₆ ferroelectrics customization by post-growth solid-state diffusion doping", *Journal of materials chemistry. C, Materials for optical and electronic devices*, 2020, **8**, 29, 9975-9985. [COBISS.SI-ID 21037571]
- Uroš Prah, Magdalena Wencka, Tadej Rojac, Andreja Benčan, Hana Uršič Nemevšek, "Pb(Fe_{0,5}Nb_{0,5})O₃ - BiFeO₃-based multicalorics with room-temperature ferroic anomalies", *Journal of materials chemistry. C, Materials for optical and electronic devices*, 2020, **8**, 32, 11282-11291. [COBISS.SI-ID 25927939]
- Omeir Khalid, Tim Weber, Goran Dražić, Igor Djerdj, Herbert Over, "Mixed Ru_xIr_{1-x}O₂ oxide catalyst with well-defined and varying composition applied to CO oxidation", *The journal of physical chemistry. C, Nanomaterials and interfaces*, 2020, **124**, 34, 18670-18683. [COBISS.SI-ID 27918083]
- Stanislav Kurajica, Ivana Katarina Munda, F. Brleković, Katarina Mužina, Goran Dražić, Juraj Šipušič, M. Mihaljevič, "Manganese-doped ceria nanoparticles grain growth kinetics", *Journal of solid state chemistry*, 2020, **291**, 121600. [COBISS.SI-ID 25823235]
- Neamul Hayet Khansur, Udo Eckstein, Matej Šadl, Hana Uršič Nemevšek, Kyle Grant Webber, "Fabrication of porous thick films using room-temperature aerosol deposition", *Journal of the American Ceramic Society*, 2020, **103**, 1, 43-47. [COBISS.SI-ID 32629799]
- Hugo Mercier, Franck Levassort, Hana Uršič Nemevšek, Danjela Kuščer, "Microstructure evolution and electromechanical properties of (K,Na)NbO₃-based thick films", *Journal of the American Ceramic Society*, 2020, **103**, 12, 6677-6689. [COBISS.SI-ID 33296167]
- Jan Schultheiß, Stefano Checchia, Hana Uršič Nemevšek, Till Frömling, John E. Daniels, Barbara Malič, Tadej Rojac, Jurij Koruza, "Domain wall-grain boundary interactions in polycrystalline Pb(Zr_{0,7}Ti_{0,3})O₃ piezoceramics", *Journal of the European ceramic society*, 2020, **40**, 12, 3965-3973. [COBISS.SI-ID 13021187]

28. Maja Makarovič, Nicola Kanas, Andrej Zorko, Katarina Žiberna, Hana Uršič Nemevšek, D. R. Småbråten, S. M. Selbach, Tadej Rojac, "Tailoring the electrical conductivity and hardening in BiFeO₃ ceramics", *Journal of the European ceramic society*, 2020, **40**, 15, 5483-5493. [COBISS.SI-ID 19939331]
29. Vinko Grm, Daniela Zavec Pavlinič, Goran Dražič, "Tkanina s kompozitno prevleko na osnovi ogljikovih nanocevk za segregiranje avtomobilskih sedežev", *Materiali in tehnologije*, 2020, **54**, 6, 761-768. [COBISS.SI-ID 45290499]
30. Ivan Marič, Goran Dražič, Goran Štefanič, Krešo Zadro, Marijan Gotič, Tanja Jurkin, "Characterization of radiolytically synthesized ferroxhyte and oxidized magnetite nanoparticles", *Materials characterization*, 2020, **159**, 110038. [COBISS.SI-ID 6750490]
31. Stanislav Kurajica, Katarina Mužina, Goran Dražič, Gordana Matijašič, Marina Duplančič, Vilko Mandić, Martina Župančič, Ivana Katarina Munda, "A comparative study of hydrothermally derived Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn doped ceria nanocatalysts", *Materials chemistry and physics*, 2020, **244**, 122689. [COBISS.SI-ID 6781210]
32. Marija Tkalečević, Marijan Gotič, Lovro Basioli, Martina Lihter, Goran Dražič, Sigrid Bernstorff, Tomislav Vuletić, Maja Mičetić, "Deposition of thin alumina films containing 3D ordered network of nanopores on porous substrates", *Materials*, 2020, **13**, 13, 2883. [COBISS.SI-ID 23036931]
33. Daniel Knez, Goran Dražič, Sandeep Kumar Chaluvadi, Pasquale Orgiani, Stefano Fabris, Giancarlo Panaccione, Giorgio Rossi, Regina Ciancio, "Unveiling oxygen vacancy superstructures in reduced anatase thin films", *Nano letters*, 2020, **20**, 9, 6444-6451. [COBISS.SI-ID 27003395]
34. Lovro Basioli, Marija Tkalečević, Iva Bogdanović-Radović, Goran Dražič, Peter Nadazdy, Peter Siffalovic, Krešimir Salamon, Maja Mičetić, "3D networks of Ge quantum wires in amorphous alumina matrix", *Nanomaterials*, 2020, **10**, 7, 1363. [COBISS.SI-ID 23302659]
35. Ivan Marič, Nataša Šjaković Vujičić, Anđela Pustak, Marijan Gotič, Goran Štefanič, Jean-Marc Grenèche, Goran Dražič, Tanja Jurkin, "Rheological, microstructural and thermal properties of magnetic poly(ethylene oxide)/iron oxide nanocomposite hydrogels synthesized using a one-step gamma-irradiation method", *Nanomaterials*, 2020, **10**, 9, 1823. [COBISS.SI-ID 29304835]
36. Ivalina Trendafilova, Andraž Šuligoj, Alenka Ristić, Nigel Van de Velde, Goran Dražič, Mojca Opresnik, Nataša Zabukovec Logar, Albin Pintar, Nataša Novak Tušar, "Evolution of surface catalytic sites on bimetal silica-based fenton-like catalysts for degradation of dyes with different molecular charges", *Nanomaterials*, 2020, **10**, 12, 2419. [COBISS.SI-ID 42597379]
37. Luka Pirker, Bojana Višič, Srečo D. Škapin, Goran Dražič, Janez Kovač, Maja Remškar, "Multi-stoichiometric quasi-two-dimensional W₁₈O_{3n-1} tungsten oxides", *Nanoscale*, 2020, **12**, 28, 15102-15114. [COBISS.SI-ID 24706563]
38. Andreja Benčan, Goran Dražič, Hana Uršič Nemevšek, Maja Makarovič, Matej Komelj, Tadej Rojac, "Domain-wall pinning and defect ordering in BiFeO₃ probed on the atomic and nanoscale", *Nature communications*, 2020, **11**, 1762. [COBISS.SI-ID 33296423]
39. Anca Mihaly Cozmuta *et al.* (14 avtorjev), "Impact of packaging properties on the physical-chemical-microbiological-sensory characteristics of Ricotta cheese during storage", *Packaging technology & science*, 2020, **33**, 1, 27-37. [COBISS.SI-ID 6714138]
40. Chiara Bigi *et al.* (19 avtorjev), "Distinct behavior of localized and delocalized carriers in anatase TiO₂ (001) during reaction with O₂", *Physical review materials*, 2020, **4**, 2, 025801. [COBISS.SI-ID 6795802]
41. Mirela Dragomir, Adam A. Aczel, Christopher Wiebe, Joey A. Lussier, Paul A. Dube, John E. Greedan, "Magnetic ground state of La₂LiMoO₆: a comparison with other Mo⁵⁺ (S=1/2) double perovskites", *Physical review materials*, 2020, **4**, 10, 104406. [COBISS.SI-ID 32285699]
42. Mirela Dragomir, Qianli Ma, J. Patrick Clancy, Amirreza Ataei, Paul A. Dube, Sudarshan Sharma, Ashfia Huq, Hanna Dabkowska, Louis Taillefer, B. D. Gaulin, "Materials preparation, single-crystal growth, and the phase diagram of the cuprate high-temperature superconductor La_{1.6-x}Nd_{0.4}Sr_xCuO₄", *Physical review materials*, 2020, **4**, 11, 114801. [COBISS.SI-ID 35831555]
43. Katarina Vojisavljević, Tanja Vrabelj, Hana Uršič Nemevšek, Barbara Malič, "Effects of strontium doping on microstructure and functional properties of solution-derived potassium sodium niobate thin films", *Processing and application of ceramics*, 2020, **14**, 3, 231-141. [COBISS.SI-ID 26357763]
44. Zouhair Hanani *et al.* (12 avtorjev), "Thermally-stable high energy storage performances and large electrocaloric effect over a broad temperature span in lead-free BCZT ceramic", *RSC advances*, 2020, **10**, 51, 30746-30755. [COBISS.SI-ID 25819139]
45. Raquel A. Fernandes, Marija J. Sampaio, Goran Dražič, Joaquim Luís Faria, Cláudia G. Silva, "Efficient removal of parabens from real water matrices by a metal-free carbon nitride photocatalyst", *Science of the total environment*, 2020, **716**, 135346. [COBISS.SI-ID 6748186]
46. Julian Walker, Anja Mirjanić, Uroš Prah, Matej Šadl, Oana Condurache, Andreja Benčan, Tadej Rojac, Marian Grigoras, Hana Uršič Nemevšek, "Magnetic contributions in multiferroic gadolinium modified bismuth ferrite ceramics", *Scripta materialia*, 2020, **188**, 233-237. [COBISS.SI-ID 23735811]
47. Erika Švara Fabjan, Peter Nadrah, Anja Ajdovec, Matija Tomšič, Goran Dražič, Matjaž Mazaj, Nataša Zabukovec Logar, Andriana Sever Škapin, "Colorimetric cutoff indication of relative humidity based on selectively functionalized mesoporous silica", *Sensors and actuators. B, Chemical*, 2020, **316**, 128138. [COBISS.SI-ID 2570599]

PREGLEDNI ZNANSTVENI ČLANEK

- Angelja Kjara Surca, Goran Dražič, Mohor Mihelčič, "Spectroelectrochemistry in the investigation of sol-gel electrochromic V₂O₅ films", *Journal of sol-gel science and technology*, 2020, **95**, 3, 587-598. [COBISS.SI-ID 27086339]

OBJAVLJENA ZNANSTVENA PRISPEVKA NA KONFERENCI

- Federica Benes, Mirela Dragomir, Barbara Malič, Marco Deluca, "Chemical solution deposition of Ba_xSr_{1-x}TiO₃ thin films for energy storage applications", V: *nanoFIS 2020, 4th International Conference Functional Integrated nanoSystems*, Proceedings, (Proceedings 56 1), MDPI, 2020, 9. [COBISS.SI-ID 42000131]
- Kostja Makarovič, "Sodelovanje z Institutom Jožef Stefan", V: *Keko Oprema: 1960, 1995, 2020: zbornik ob 25. letnici, Keko - Oprema*, 2020, 34-35. [COBISS.SI-ID 45117699]

SAMOSTOJNA ZNANSTVENA SESTAVKA ALI POGLAVJI V MONOGRAFSKI PUBLIKACIJI

- Barbara Malič, Mojca Otoničar, Kristian Radan, Jurij Koruza, "Lead-free piezoelectric ceramics", V: *Reference module in materials science and materials engineering*, Elsevier, 2020. [COBISS.SI-ID 24449539]
- Danjela Kuščer, "Screen printing", V: *Reference module in materials science and materials engineering*, Elsevier, 2020. [COBISS.SI-ID 33314599]

DRUGO UČNO GRADIVO

- Hana Uršič Nemevšek, *Atomic force microscope, introduction to nanosciences and nanotechnologies*, Jožef Stefan International Postgraduate School, 2020. [COBISS.SI-ID 19754499]
- Hana Uršič Nemevšek, *Atomic force microscopy and related techniques, advanced topics in nanosciences and nanotechnologies*, Jožef Stefan International Postgraduate School, 2020. [COBISS.SI-ID 43526659]
- Hana Uršič Nemevšek, *Lokalne električne, elektromehanske in termične lastnosti senzorskih naprav (2020)*, Jožef Stefan International Postgraduate School, 2020. [COBISS.SI-ID 32295171]

DOKTORATI IN MENTORSTVO

- Vinko Grm, *Razvoj pametnega tekstila za segreganje na osnovi kompozita z ogljikovimi nanocevkami*: doktorska disertacija, Ljubljana, 2020 (mentor Goran Dražič; somentor Daniela Zavec Pavlinič). [COBISS.SI-ID 35475971]
- Maja Makarovič, *Kemija defektov in utrjevanje feroelektrične bizmutferitne keramike dopirane s kobaltom*: doktorska disertacija, Ljubljana, 2020 (mentor Tadej Rojac; somentor Sverre Magnus Selbach). [COBISS.SI-ID 51504899]
- Hugo Mercier, *Debele plasti na osnovi kalijevega natrijevega niobata, pripravljene z elektroforetskim nanosom za piezoelektrično zbiranje energije*: doktorska disertacija, Ljubljana, 2020 (mentor Danjela Kuščer; somentor Franck Levassort). [COBISS.SI-ID 29829123]
- Uroš Prah, *Kombinirani elektrokalični in magnetokalični pojavi v enofaznih multiferroikih*: doktorska disertacija, Ljubljana, 2020 (mentor Hana Uršič Nemevšek; somentor Tadej Rojac). [COBISS.SI-ID 38745347]