

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2010-1/181

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-9175
Naslov projekta	Nizko dopirana ZnO keramika za energijske varistorje
Vodja projekta	6627 Slavko Bernik
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	2.835
Cenovni razred	D
Trajanje projekta	01.2007 - 12.2009
Nosilna raziskovalna organizacija	106 Institut "Jožef Stefan"
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija

2. Sofinancerji¹

1.	Naziv	VARSI, d.o.o.
	Naslov	Stegne 35, 1521 Ljubljana
2.	Naziv	Iskra Zaščite, d.o.o.
	Naslov	Stegne 35, 1521 Ljubljana
3.	Naziv	
	Naslov	

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Poročilo o realizaciji programa raziskovalnega projekta²

Cilji in hipoteza

V okviru projekta smo razvijali nizko dopirano varistorsko keramiko z nizko, srednjo in visoko prebojno napetostjo na enoto debeline, za izdelavo najbolj zahtevnih energijskih varistorjev. Možnost za razvoj keramike z bistveno nižanim dodatkom varistorskih dopantov k ZnO, je odprlo naše povsem novo razumevanje dejanskega mehanizma, ki kontrolira rasti zrn in razvoja mikrostrukture v ZnO keramiki, z vplivom nukleacije in rasti inverznih mej (IBs). Po klasičnem razumevanju razvoja mikrostrukture, na rast zrn

odločilno vpliva spinelna faza na mejah med zrnji, z Zenerjevimi efekti pripenjanja, zmanjša mobilnost mej in s tem zavira rast zrn ZnO. Višji dodatek dopanta, ki povzroči nastanek spinelne faze (običajno je to Sb_2O_3) in s tem večja količina spinelne faze, pomeni izrazitejši vpliv na rast zrn ZnO. Takšno razumevanje je prispevalo k temu, da varistorska keramika običajno vsebuje okoli 10 ut.% varistorskih dopantov dodanih k ZnO. Naše raziskave so pokazale, da inverzne meje (IBs), ki so prisotne praktično v vsakem zrnju ZnO varistorske keramike, odločilno vplivajo na rast zrn z mehanizmom, ki smo ga poimenovali rasti zrn pod vplivom inverznih mej, vpliv spinelne faze pa je podrejen. Mehanizem rasti zrn pod vplivom inverznih mej zahteva za kontrolo rasti zrn ZnO le zelo majhno količino dopanta kot je Sb_2O_3 in odpira možnost izdelave varistorske keramike z minimalno količino sekundarnih faz, ki za njene električne lastnosti niso pomembne oziroma jih celo poslabšajo.

Izhodišča

Varistorsko keramiko na osnovi ZnO odlikuje visoka nelinearnost tokovno-napetostne (I-U) karakteristike in visoka sposobnost energijske absorpcije. Zaradi tega se široko uporablja, v področju od nekaj voltov do več 100 kV za prenapetostno zaščito elektronike in električnih naprav, kot tudi za stabilizacijo napetosti v elektrodistribucijskem omrežju. Nelinearnost je lastnost mej med zrnji ZnO in idealna varistorska meja ima prebojno napetost okoli 3 V. Prebojno napetost varistorja tako določa vsota prebojnih napetosti vseh mej med elektrodama na paralelnih ploskvah varistorske keramike. Prebojna napetost varistorske keramike je odvisna od velikosti zrn ZnO. V fino zrnati keramiki je število mej na enoto debeline keramike večje in ima visoko prebojno napetost. Pri večjih zrnih je število mej na enoto debeline manjše in takšna keramika ima nižjo prebojno napetost. Za izdelavo varistorjev z ustrezno debelino za različna napetostna področja je ključno, da imamo varistorsko keramiko z nizko, srednjo in visoko prebojno napetostjo na enoto debeline. Kontrola rasti zrn ZnO v varistorski keramiki je tako ključnega pomena za izdelavo varistorjev z ustrezno prebojno napetostjo.

Varistorsko keramiko dobimo z dodatkom varistorskih dopantov k ZnO, običajno oksidov Bi, Sb, Ti, Sn, Co, Mn, Ni, Cr in Al. Vsak od teh dopantov ima določeno vlogo za doseganje ustreznih električnih karakteristik. Bi_2O_3 je dopant, ki povzroči nastanek elektrostatskih barier na mejah med zrnji ZnO in s tem I-U nelinearnost ZnO keramike. Dodatek Bi_2O_3 povzroči tudi nastanek taline na mejah med zrnji ZnO, zato močno vpliva tudi na sintranje in rast zrn. Za nastanek kontinuirnega sloja Bi_2O_3 na mejah med zrnji, potrebnega za nelinearnost ZnO keramiki, zadostuje že dodatek 0,1 mol.% Bi_2O_3 . V standardni varistorski keramiki je običajno dodano bistveno več Bi_2O_3 , od 0,5 do 1,0 mol.%. V primeru visokonapetostne varistorske keramike, ki zahteva fino zrnato mikrostrukturo, je standardni dodatek za kontrolo rasti zrn Sb_2O_3 ; povzroči nastanek spinelne faze na mejah med zrnji, ki se ji običajno pripisuje zaviranje rasti zrn. V nizko voltni varistorski keramiki, z grobo zrnato mikrostrukturo, je običajni dodatek TiO_2 . Tudi TiO_2 povzroči nastanek spinelne faze v ZnO keramiki, nastanek grobo zrnate mikrostrukture pa se je pojasnilo s povečano aktivnost taline Bi_2O_3 pri dodatku TiO_2 .

Sb_2O_3 , TiO_2 in tudi nekateri drugi dopanti, ki z ZnO tvorijo spinelno fazo (npr. SnO_2), povzročijo tudi nastanek inverznih mej v zrnih ZnO. Na osnovi študija razvoja mikrostrukture v ZnO keramiki, dopirani z Bi_2O_3 in SnO_2 , smo s sodelavci ugotovili, da inverzne meje odločilno vplivajo na rast zrn, medtem ko ima spinelna faza le manjši pomen in predlagali mehanizem rasti zrn pod vplivom inverznih mej. V zgodnji fazi sintranja pride do nastanka inverznih mej v nekaterih zrnih (nukleusih), ki pretirano in

anizotropno rastejo v smeri defekta na račun normalnih zrn, dokler ne trčijo med seboj. V primeru manjšega števila nukleusov lahko zrastejo večji, dokler ne trčijo med seboj in nastane grobozrnata mikrostruktura. Ko je število nukleusov veliko, zrastejo le malo, dokler ne trčijo med seboj, kar vodi do fino zrnate mikrostrukture. V obeh primerih v »končni« mikrostrukturi povsem prevladajo zrna ZnO z inverzno mejo. Z dopiranjem ZnO z zelo majhnimi količinami Sb_2O_3 v parni fazi, smo v področju z višjo koncentracijo Sb_2O_3 dobili fino zrnato ZnO keramiko, brez spinela, z bistveno manjšo velikostjo zrn kot v čistem ZnO. V področju z nižjo koncentracijo Sb_2O_3 je bila mikrostruktura grobozrnata, z bistveno večjo velikostjo zrn ZnO, kot v čisti ZnO keramiki brez Sb_2O_3 . S tem smo jasno pokazalo, da količina dopanta, ki povzroča nastanek inverznih mej, vpliva na število nukleusov v zgodnji fazi sintranja in s tem na oblikovanje bodisi grobo ali fino zrnate ZnO keramike. Tudi s klasičnim postopkom dopiranja ZnO z zelo majhnimi količinami Sb_2O_3 smo uspeli pripraviti, pri enaki temperaturi sintranja 1200°C (običajna temperatura sintranja varistorske keramike) in enakih časih sintranja, keramiko z bistveno manjšo in tudi bistveno večjo velikostjo zrn kot v čisti (nedopirani) ZnO keramiki. Kot prvi na svetu smo tako izdelali grobo zrnato ZnO keramiko, dopirano s Sb_2O_3 , kar je bilo povsem v nasprotju s klasičnim razumevanjem rasti zrn in razvoja mikrostrukture. Rezultati so potrdili dominanten vpliv mehanizma rasti zrn pod vplivom inverznih mej na razvoj mikrostrukture v ZnO keramiki dopirani s Sb_2O_3 in možnost, da s količino njegovega dodatka vplivamo na razvoj mikrostrukture bodisi v smeri grobo ali fino zrnate.

Rezultati

Pri razvoju nizko dopirane varistorske keramike v okviru tega projekta smo morali upoštevati njeno bistveno bolj kompleksno kemijsko sestavo in potek kemijskih reakcij. V ZnO keramiki dopirani s Sb_2O_3 pride le do reakcije nastanka spinelne faze $\text{Zn}_7\text{Sb}_2\text{O}_{12}$, pri temperaturah nad 800°C , tako da ne vpliva na nukleacijo inverznih mej pri nižjih temperaturah. V varistorski keramiki na osnovi ZnO, ki je običajno dopirana s oksidi Bi, Sb, Co, Mn, ni, Cr in Al poteka več reakcij, ki jih določajo fazna ravnotežja v sistemu ZnO-Bi₂O₃-Sb₂O₃. Ostali varistorski dopanti se v faze tega sistema vgrajujejo. Poleg že preje omenjene reakcije nastanka spinelne faze, je zlasti ključna reakcija nastanka piroklorne faze tipa $\text{Bi}_3\text{Zn}_2\text{Sb}_3\text{O}_{14}$, ki poteče že okoli 600°C . Zaradi tega nastanek piroklorne faze, ki veže Sb_2O_3 , lahko vpliva na nukleacijo inverznih mej v zgodnji fazi sintranja. Obenem veže tudi Bi_2O_3 , ki pri temperaturi nad 740°C povzroči nastanek taline in s tem močno vpliva na sintranje in rast zrn v ZnO keramiki, pa tudi na porazdelitev ostalih dopantov, ki se v njej raztapljajo. Zaradi nastanka piroklorne faze je zelo pomembno molsko razmerje $\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{O}_3$ (Sb/Bi) in sicer: i) $\text{Sb/Bi} < 1$ – zaradi presežka Bi_2O_3 je talina v vzorcih prisotna že pri temperaturi nad 740°C , Sb_2O_3 pa je vezan v piroklorni fazi; ii) $\text{Sb/Bi} = 1$ – oba dopanta sta vezana v piroklorno fazo, talina pa nastane šele z njenim razpadom v Bi_2O_3 in spinel pri temperaturi nad 1000°C (v prisotni oksidov Co, Mn, Ni in Cr že pri temperaturi nad 900°C); iii) $\text{Sb/Bi} > 1$ – presežek Sb_2O_3 , ki lahko v direktni reakciji z ZnO tvori spinel, ves Bi_2O_3 pa je vezan, tako da talina nastane šele pri višji temperaturi z razpadom piroklorne faze.

Da bi razumeli procese v kompleksnem sistemu varistorske keramike, kar bi nam omogočilo kontrolo razvoja mikrostrukture z mehanizmom rasti pod vplivom inverznih mej in izdelavo nizko dopirane varistorske keramike za različna napetostna področja, smo

v okviru projekta študirali: vpliv zelo nizkih dodatkov Sb_2O_3 na nukleacijo inverznih mej v zrnih ZnO keramike; vpliv zelo nizkih dodatkov Bi_2O_3 na rast zrn v ZnO keramiki; kinetiko rasti zrn pod vplivom inverznih mej v ZnO keramiki dopirani z Bi_2O_3 in SnO_2 ; vpliv zelo nizkih dodatkov Bi_2O_3 in Sb_2O_3 ter razmerja Sb/Bi na nukleacijo inverznih mej, rast zrn in razvoj mikrostrukture v ZnO keramiki; vpliv načina dopiranja z Bi_2O_3 in Sb_2O_3 ter aktivacije z intenzivnim mletjem na nukleacijo inverznih mej in razvoj mikrostrukture v ZnO keramiki in varistorski keramiki; količino dopantov (oksidov Co, Mn in Ni), ki se vgradijo v ZnO in spinelno fazo za optimizacijo njihovega dodatka. Rezultati teh študij so nam predstavljali izhodišča za določitev varistorske sestave na osnovi katerih smo študirali vpliv zelo nizkih dodatkov Bi_2O_3 , Sb_2O_3 in razmerja Sb/Bi na rast zrn in razvoj mikrostrukture, njene tokovno-napetostne karakteristike, naravo mej med zrn ZnO in razvoj nizko dopirane varistorske keramike za različna napetostna področja.

V vzorcih ZnO keramike dopirani z izredno nizkimi dodatki Sb_2O_3 ($3,3 \times 10^{-5}$ do $1,7 \times 10^{-2}$ mol.%), smo analizirali vpliv količine dodanega Sb_2O_3 na nukleacijo inverznih mej v zrnih ZnO v zgodnji fazi sintranja, ki odločilno vpliva na nadaljnji razvoj mikrostrukture. Ugotovili smo, da pri teh nizkih dodatkih nastane ravnotežni sloj Sb na mejah med zrn, s koncentracijo Sb približno enako, kot je v inverznih mejah (IBs). Ob predpostavki, da so zrna ZnO kockaste oblike, je za nastanek ravnotežnega sloja Sb po vseh mejah ZnO, potrebna količina Sb (v ppm, masni deleži), ki jo lahko določimo z izrazom $0.300/G$ (G...povprečna velikost zrn ZnO izražena v nm). Raziskave so pokazale, da le pri dodatku Sb, ki je manjši od količine, ki je potrebna za nastanek ravnotežnega sloja Sb po vseh mejah, pride do nukleacije inverznih mej (IB) v zmanjšanem številu zrn ZnO, odvisno od količine dodanega Sb – manjšem številu zrn pri nižjem dodatku in večjem številu zrn pri višjem dodatku Sb. To vpliva na velikost zrn ZnO z IB do katere lahko zrastejo na račun normalnih zrn, predno trčijo eno ob drugo, ko se rast praktično ustavi. Le pri dodatkih Sb manjših od količine, ki je potrebna za nastanek ravnotežnega sloja Sb, lahko zrastejo večja ali manjša zrna ZnO, odvisno od dodatka Sb. Ko je dodatek Sb zadosten za nastanek ravnotežnega sloja Sb, pride do nukleacije IB praktično v vseh zrnih ZnO. Zrna ZnO z IB v tem primeru lahko zrastejo le malo, dokler ne trčijo med seboj in dobimo fino zrnato mikrostrukturo. Pri teh dodatkih Sb so izpolnjeni tudi pogoji za nastanek spinelne faze $\text{Zn}_7\text{Sb}_2\text{O}_{12}$. Glede na to je bila v vseh vzorcih ZnO z dodatkom Sb_2O_3 , sintranih pri 1200°C , povprečna velikost zrn ZnO večja, kot v čistem ZnO. Izjema je bil le vzorec z dodatkom $1,7 \times 10^{-2}$ mol.% Sb_2O_3 (= 500ppm Sb), ki zadošča za nastanek ravnotežnega sloja, zato je imrl fino zrnato mikrostrukturo, z velikostjo zrn bistveno manjšo kot v čistem ZnO. (članek *J. Am. Ceram. Soc.* 2007)

Študirali smo vpliv dodatka Bi_2O_3 , od 0,002 do 1 mol. % na sintranje in rast zrn ZnO keramike. Ugotovili smo, da zelo nizko dodatki Bi_2O_3 , do 0,1 mol.%, zavrejo sintranje v primerjavi s čistim ZnO, ki je pomaknjeno k višjim temperaturam. Z nadaljnjim povečevanjem dodatka pa se začne sintranje pomikati k nižjim temperaturam. Dodatek Bi_2O_3 do 0,004 mol.% močno zavre rast zrn. Pri dodatkih večjih od 0,004 mol. % pride do nastanka izrazito bimodalne mikrostrukture z zelo velikimi zrn, med katerimi so drobna zrna. Z večanjem dodatka Bi_2O_3 se bimodalnost velikosti zrn zmanjšuje in pri dodatku 0,2 mol.% in zlasti 0,4 mol.% Bi_2O_3 imajo zrna enakomerno velikost. Ti rezultati in analize mej med zrn na transmisijem elektronskem mikroskopu so pokazali, da pri dodatku Bi_2O_3 do 0,004 mol.% nastane na mejah med zrn ravnotežni sloj, ki zavre sintranje in rast zrn. Pri večjih dodatkih na nekaterih mejah že pride do nastanka taline, tako da nekatera

zrna pretirano rastejo, druga pa so v rasti povsem zavrta. Z večanjem dodatka je talina vse bolj prisotna po vseh mejah med zrni, rast zrn pa je vse bolj enakomerna. Pri dodatku 0, 1 mol.% in več je talina Bi_2O_3 prisotna po vseh mejah med zrni ZnO, njen presežek pa se z mej ZnO-ZnO začne izločati na romejah med zrni. (*članek Mat. Sci. Forum 2007*)

Raziskave vpliva dopiranja ZnO s Bi_2O_3 (od 0,002 mol.% do 0,4 mol.%) in Sb_2O_3 , v ustrezni količini za različna molska razmerja $\text{Sb}_2\text{O}_3/\text{Bi}_2\text{O}_3$ (Sb/Bi), so pokazale, da na rast zrn pod vplivom inverznih mej ne vpliva le dodatek Sb_2O_3 ampak izrazito predvsem količina dodanega Bi_2O_3 in razmerje Sb/Bi. Pri dodatkih Bi_2O_3 , prenizkih za nastanek taline, je rast zrn povsem zavrta in kljub dodatku Sb_2O_3 v zrnih ZnO ni zaslediti inverznih mej (IB). Vpliv IB na rast zrn smo ugotovili v vzorcih šele pri dodatkih 0,01 mol.% Bi_2O_3 in več, pri nižjih dodatkih Bi_2O_3 pa kljub dodatku Sb_2O_3 nismo zasledili inverznih mej (pri enakih dodatkih Sb_2O_3 so bile v vzorcih ZnO- Sb_2O_3 inverzne meje izrazito prisotne).

Rezultati so pokazali, da je v ZnO keramiki, dopirani s Bi_2O_3 in Sb_2O_3 , za kontrolo rasti zrn z mehanizmom inverznih mej, nujen zadosten dodatek Bi_2O_3 , da pride do nastanka taline, razmerje Sb/Bi pa mora biti bodisi < 1 (prebitek Bi_2O_3) ali > 1 (prebitek Sb_2O_3). Pri manjših dodatkih Bi_2O_3 in razmerju Sb/Bi = 1, prevlada vpliv nastanka piroklorne faze, ki zavre vpliv mehanizma rasti pod vplivom inverznih mej. Z optimizacijo dodatka Bi_2O_3 in Sb_2O_3 smo tako v ZnO keramiki sintrani pri 1200°C dobili velikost zrn ZnO od 27 μm do 6 μm , odvisno od razmerje Sb/Bi. V čistem ZnO, sintranem pri enakih pogojih, je bila velikost zrn 7,5 μm . Rezultati so povsem potrdili možnost za kontrolo rasti zrn in razvoja mikrostrukture z mehanizmom rasti pod vplivom IB tudi v polno dopirani varistorski keramiki in dali izhodišča za določitev sestav nizko dopirane varistorske keramike glede dodatka Bi_2O_3 , Sb_2O_3 in razmerja Sb/Bi. (*članek Mat. Sci. Forum 2007; članek v pripravi*).

Študirali smo alternativne pristope priprave varistorske keramike in sicer vpliv predhodnega dopiranja ZnO s Sb_2O_3 , vpliv aktivacije zmesi oksidov z intenzivnim mletjem in sintezo varistorjev iz predreagiranih faz varistorske keramike. Rezultati so pokazali, da z uporabo ZnO, ki je že dopiran s Sb_2O_3 in intenzivno mlet, lahko vplivamo na rast zrn pod vplivom IB. Rezultati sinteza varistorske keramike iz predreagiranih spojin in z intenzivnim mletjem so prav tako pokazali, da intenzivno mletje, pri enaki količini Sb_2O_3 v vzorcih, vpliva na nukleacijo inverznih mej v zgodnji fazi sintranja, kar povzroči bistveno bolj enakomerno rast zrn in ozko porazdelitev njihove velikosti. Te raziskave so pokazale na izrazito prerazporejanje dopantov med posameznimi fazami v varistorski keramiki. Pri tem ima ključno vlogo spinelna faza $\text{Zn}_7\text{Sb}_2\text{O}_{12}$, ki vgradi znatne količine oksidov Co, Mn in Ni. Če teh dopantov ni v zadostni količini prostih, so pa vgrajeni v ZnO zrna, pride do njihove prerazporeditve iz ZnO faze v spinelno fazo, kar je za lastnosti varistorske keramike slabo. (*članek Ceram. Internat. 2008*).

Z metodo valovne disperzijske spektroskopije žarkov x (WDXS) smo na elektronski mikrosondi določili točno sestavo ZnO faze in spinelne faze v vzorcih varistorske keramike z različnimi izhodnimi sestavami. V primeru določitve Co, Mn, Ni in Al v ZnO fazi gre za zelo zahtevno analizo elementov v sledovih. Na osnovi teh rezultatov smo lahko določili optimalen dodatek varistorskih dopantov (oksidov Co, Mn, Ni in Al) v izhodni sestavi za nizko dopirano varistorsko keramiko in sicer: i) da zagotovimo njihovo zadostno količino za vgradnjo v spinelno fazo, ustrezno za različne količine dodanega Sb_2O_3 , ki določa količino nastalega spinela in ii) da zagotovimo njihovo zadostno količino za ustrezno dopiranje zrn ZnO, ki je pomembna za njihovo visoko prevodnost in lastnosti

varistorske keramike pri visokih tokovih.

Dopiranje varistorske keramike z Al_2O_3 izboljša njene lastnosti pri visokih tokovih, kar je pomembno za izdelavo energijskih varistorjev. Vpliv tega dopanta je zelo kompleksen; v majhnih količinah se vgrajuje v zrna ZnO in deluje bodisi kot donor (izboljša lastnosti) ali akceptor (poslabša lastnosti). Na osnovi študija vpliva zelo nizkih dodatkov Al_2O_3 , od 0 do 0,8 mol.%, na mikrostrukturo in tokovno-napetostne (I-U) karakteristike varistorske keramike, smo določili optimalen dodatek Al_2O_3 . (članek *J. Europ. Ceram. Soc.* 2007).

Na osnovi vseh teh rezultatov smo določili sestave z dodatkom od 3 do 5 ut.% varistorskih dopantov k ZnO , za nadaljnji študij priprave nizko dopirane varistorske keramike. Analizirali smo vpliv različnih dodatkov Bi_2O_3 od 0,01 do 0,3 ut.% in Sb_2O_3 , za različna razmerja Sb/Bi, na razvoj mikrostrukture in I-U karakteristike varistorske keramike. Določili smo izhodne sestave, z dodatkom le od 2,7 do 4 ut.% varistorskih dopantov, ki so nam omogočile pripravo varistorske keramike z zelo odličnimi lastnostmi, povprečno velikostjo zrn od 6 do 35 μm in glede na to prebojnimi napetostmi od 350 V/mm do 60V/mm, koeficientom nelinearnosti od 30 do 50 in nizkim tokom puščanja pod 1 μA . (članek v pripravi)

Učinki

Ti rezultati so povsem potrdili naša pričakovanja, da kontrola razvoja mikrostrukture z mehanizmom rasti zrn pod vplivom inverznih mej, omogoča izdelavo varistorske keramike za različna napetostna področja, z bistveno nižjim dodatkom varistorskih dopantov k ZnO , ki vsebuje le minimalno sekundarnih faz na mejah med zrn. S tem smo se povsem približali idealni varistorski keramiki, ki jo sestavljajo le varistorske meje in visoko prevodna zrna ZnO z velikostjo, ustrezno za določeno prebojno napetost.

4. Ocena stopnje realizacije zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Doseženi rezultati so povsem v skladu z zastavljenimi načrti in so v celoti potrdili raziskovalno hipotezo. Poglobili smo znanje o mehanizmu rasti zrn v ZnO keramiki pod vplivom inverznih mej in dokazali, da ga lahko izrabimo za oblikovanje mikrostrukture ZnO -keramike in varistorske keramike z velikostjo zrn od fino do grobo zrnate. Rezultati so povsem potrdili tudi, da mehanizem rasti zrn pod vplivom inverznih mej omogoča izdelavo varistorske keramike z bistveno nižjim dodatkom varistorskih dopantov k ZnO .

Ključnega pomena za potrditev možnost kontrole rasti zrn in razvoja mikrostrukture v varistorski keramiki, z mehanizmom rasti pod vplivom inverznih mej, je bila sposobnost obvladovanja razvoja mikrostrukture v osnovnem varistorskem sistemu $\text{ZnO-Bi}_2\text{O}_3\text{-Sb}_2\text{O}_3$, ki določa potek reakcij in fazna ravnotežja v varistorski keramiki. S študijem vpliva procesnih parametrov smo spoznali različne dejavnike, ki vplivajo na nukleacijo inverznih mej in jih je potrebno upoštevati, da dobimo varistorsko keramiko z želeno mikrostrukturo in tokovno-napetostnimi karakteristikami. Tako smo uspešno pripravili različne tipe nizko dopirane varistorske keramike z dodatkom le 2,7 do 4 ut.% varistorskih dopantov k ZnO (standardni dodatki so 8 do 10 ut.%), povprečno velikostjo zrn v področju od 6 pa do 35 μm in odličnimi tokovno-napetostnimi karakteristikami: prebojna napetostih v širokem področju od 60V/mm do 350V/mm, odvisno od velikosti zrn ZnO , koeficient nelinearnosti od 30 do 50 in nizek tok puščanja pod 1 μA . Z izrabo mehanizma rasti zrn pod vplivom inverznih mej smo tako uspešno pripravili nizko, srednje in visoko napetostno varistorsko keramiko z bistveno znižanim dodatkom dopantov.

Za visoko nelinearnost tokovno-napetostne karakteristike varistorske keramike in sposobnost energijske absorpcije je pomembno, da imajo meje med zrn nelinearen (varistorski) značaj in da so zrna ZnO visoko prevodna. Idealna mikrostruktura

varistorske keramike bi torej vsebovala le varistorske meje, med visoko prevodnimi zrni ZnO z ustrežno velikostjo za določeno prebojno napetost. Izrazita prisotnost sekundarnih faz na mejah med zrni, v standardni varistorski keramiki z dodatkom 8 do 10 ut.% dopantov, le zmanjša efektivni kontakt med zrni ZnO in poslabša njene električne lastnosti. Z razvojem nizko dopirane varistorske keramike z dodatkom le 2,7 do 4 ut.% varistorskih dopantov, ki vsebuje minimalno količino sekundarnih faz, smo se povsem približali idealni mikrostrukturi varistorske, tako za nizke, srednje in tudi visoke napetosti.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta⁴

--

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

		Znanstveni rezultat	
1.	Naslov	SLO	Razvoj mikrostrukture v ZnO keramiki dopirani z nizkimi dodatki Sb ₂ O ₃
		ANG	Microstructure development in low-antimony oxide-doped zinc oxide ceramics
	Opis	SLO	Študirali smo vpliv zelo nizkih dodatkov Sb ₂ O ₃ , od 3,3x10 ⁻⁵ do 1,7x10 ⁻² mol.%, k ZnO, na nukleacijo inverznih mej v zrnih ZnO, rast zrn in kinetiko rasti ter razvoj mikrostrukture pod vplivom inverznih mej (IBs). Ugotovili smo, da le pri dodatku Sb, ki je manjši od količine, ki je potrebna za nastanek ravnotežnega sloja Sb na mejah med zrni, pride do nukleacije IB v zmanjšanem številu zrn, odvisno od količine dodanega Sb, kar povzroči večjo ali manjšo končno velikost zrn ZnO. Pri višjih dodatkih pride do nukleacije IB praktično v vseh zrnih ZnO in dobimo fino zrnato mikrostrukturo.
		ANG	The influence of low amounts of Sb ₂ O ₃ , from 3,3x10 ⁻⁵ to 1,7x10 ⁻² mol.%, added to ZnO, on nucleation of inversion boundaries (IBs) in ZnO grains, grain growth and growth kinetics under the influence of IBs growth mechanism was studied. Only for additions of Sb less than the amounts required for the equilibrium thickness of Sb layer at the grain boundaries, a reduced number of ZnO grains is infected by IBs, depending on the amount of added Sb, which results in smaller or larger grains. For larger additions of Sb, IBs nucleate in most of the grains and fine grained microstructure is obtained.
	Objavljeno v	BERNIK, S., BERNARD, J., DANEU, N., REČNIK, A., Microstructure development in low-antimony oxide-doped zinc oxide ceramics, J. Am. Ceram. Soc., 2007, 90 (10), 3239-3247, IF (2007): 1,792	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
	COBISS.SI-ID	20935463	
2.	Naslov	SLO	Vpliv zelo nizkih dodatkov Al ₂ O ₃ na rast zrn in električne lastnosti varistorske keramike na osnovi ZnO
		ANG	Influence of very low amounts of Al ₂ O ₃ on grain growth and electrical characteristics of ZnO-based varistor ceramics
	Opis	SLO	Na osnovi analize mikrostrukture, kvali- ter kvantitativne analize porazdelitve Al ₂ O ₃ in analize mej med zrni, smo pojasnili vpliv zelo majhnih količin dodatka Al ₂ O ₃ , od 0,008 do 0,8 mol.%, na rast zrn ZnO, razvoj mikrostrukture in tokovno napetostne karakteristike varistorske keramike. Določili smo optimalen dodatek Al ₂ O ₃ za izboljšanje energijskih lastnosti varistorske keramike. Predlagali smo mehanizem zaviranja rasti zrn pod vplivom zelo majhnih količin Al ₂ O ₃ , v kompleksnem sistemu varistorske keramike na osnovi ZnO.
		ANG	Based on the microstructure characterisation, quali- and quantitative analysis of Al ₂ O ₃ distribution and grain boundary analysis the influence of very low amounts of Al ₂ O ₃ , from 0,008 to 0,8 mol.%, on the grain growth, microstructure development and current-voltage characteristics of ZnO-based varistor ceramics was explained. The optimal addition of Al ₂ O ₃ to enhance energy performance of varsitor ceramics was determined. We

			proposed a mechanism of grain growth inhibition induced in the complex system of ZnO-based varistor ceramics by very low amounts of Al ₂ O ₃ .
	Objavljeno v		BERNIK, S., DANEU, N., Characteristics of ZnO-based varistor ceramics doped with Al ₂ O ₃ , J. Eur. Ceram. Soc., 2007, 27, 3161-3170. IF (2007): 1,562
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
	COBISS.SI-ID		20661287
3.	Naslov	SLO	Vidiki mikrostrukture in sestave varistorske keramike na osnovi ZnO pri sintezi iz predreagiranih faz in aktivaciji z intenzivnim mletjem
		ANG	Microstructural and compositional aspects of ZnO-doped varistor ceramics prepared by direct mixing of the constituent phases and high-energy milling
	Opis	SLO	V članku poročamo o sintezi varistorske keramike iz predreagiranih varistorskih faz, ZnO faze, Bi ₂ O ₃ faze in Zn ₇ Sb ₂ O ₁₂ spinelne faze, z visokoenergijskim mletjem izhodne zmesi in sintranjem. Analize mikrostrukture in porazdelitve dopantov po sintranju so pokazale na izrazito prerazporejanje Co, Mn in Ni med različnimi fazami, zlasti iz zrn ZnO v spinelno fazo, kar je za lastnosti keramike slabo. Intenzivno mletje pospeši nukleacijo inverznih mej, kar vpliva na bolj enakomerno rast zrn in homogenost mikrostrukture, s tem pa tudi na tokovno-napetostne karakteristike varistorske keramike.
		ANG	We report on synthesis of varistor ceramics from pre-reacted varistor phases, namely ZnO phase, Bi ₂ O ₃ -phase and Zn ₇ Sb ₂ O ₁₂ spinel phase, by high energy milling of starting mixture and sintering. Analysis of microstructural and dopants distribution showed redistribution of dopants Co, Mn and Ni from ZnO phase to spinel phase after sintering, which has negative effect on characteristics of ceramics. Intensive milling enhances nucleation of inversion boundaries which effects more uniform grain-growth, microstructure homogeneity and current-voltage characteristics of varistor ceramics.
	Objavljeno v		BERNIK, S., BRANKOVIĆ, G., RUSTJA, S., ŽUNIĆ, M., PODLOGAR, M., BRANKOVIĆ, Z., Microstructural and compositional aspects of ZnO-doped varistor ceramics prepared by direct mixing of the constituent phases and high-energy milling,, Ceram. Int., 2008, 34 (6), 1495-1502. IF(2008): 1,369
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		20935719	
4.	Naslov	SLO	Fenomen rasti zrn v ZnO keramiki
		ANG	Grain-growth phenomena in ZnO-based ceramics
	Opis	SLO	V članku pojasnimo vpliv zelo nizkih dodatkov Bi ₂ O ₃ in Bi ₂ O ₃ +Sb ₂ O ₃ za različna razmerja Sb/Bi na rast zrn in razvoj mikrostrukture ZnO keramike, z vidika mehanizma rasti zrn pod vplivom inverznih mej (IB). Pri dodatek Bi ₂ O ₃ do 0,02 mol.% pride do pretirane rasti nekaterih zrn ZnO med katerimi so fina zrna. Ko dodamo še Sb ₂ O ₃ , je zaradi vpliva IB rast zrn enakomerna in dobimo homogeno mikrostrukture. Nastanek piroklorne faze vpliva na mehanizma rasti zrn pod vplivom IB, tako da je njegov vpliv na razvoj mikrostrukture izražen le, če je razmerje Sb/Bi večje ali manjše od 1.
		ANG	The influence of very low additions of Bi ₂ O ₃ and Bi ₂ O ₃ +Sb ₂ O ₃ at various Sb-to-Bi ratios on the grain growth and microstructure development in ZnO ceramics is discussed. While the additions of only Bi ₂ O ₃ up to 0.02 mol.% result in exaggerated growth of some grains, the addition of also Sb ₂ O ₃ result, via the IBs-induced grain-growth mechanism, in uniform grain growth. Due to the formation of the pyrochlore phase, which bounds Bi ₂ O ₃ and Sb ₂ O ₃ , the influence of IBs induced grain growth mechanism on microstructure development is evident when Sb-to-Bi ratio is either smaller or larger than 1.
	Objavljeno v		BERNIK, S., PODLOGAR, M., DANEU, N., REČNIK, A., Grain-growth phenomena in ZnO-based ceramics, Mat. Sci. Forum, 2007, 558-559; str. 857-862. IF (2007): 0,399
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
COBISS.SI-ID		20759847	

5.	Naslov	SLO	Pristop "bootom-up" pri oblikovanju lastnosti ZnO keramike in varistorske keramike z mehanizmom rasti zrn pod vplivom inverznih mej
		ANG	A bottom-up approach to tailoring the properties of ZnO-based ceramics and varistors using an IBs-induced grain-growth mechanism
	Opis	SLO	Podane so bile znanstvene osnove mehanizma rasti zrn pod vplivom inverznih mej. Na primeru ZnO keramike dopirane z majhnimi količinami Sb2O3 and Bi2O3 je bil prikazan dominanten vpliv inverznih mej na rast zrn, kar nam je omogočilo pripravo tako fino kot tudi grobo zrnate ZnO keramike. Predstavljene so bile mikrostrukturne in tokovno.napetostne karakteristike nizko dopirane varistorske keramike, z različnimi prebojnimi napetostmi na enoto debeline, ki smo jo pripravili z uporabo mehanizma rasti zrn pod vplivom inverznih mej.
		ANG	The fundamentals of the IB-induced grain-growth mechanism were given. On the examples of ZnO ceramics doped with low amounts of Bi2O3 and Sb2O3 the dominant influence of IBs induced grain growth mechanism, which enabled us to prepare either fine or or coarse grained ceramics, was shown. Finally, microstructural and current voltage characteristics of low doped varistor ceramics with different break-down voltages, prepared by the use of IBs induced grain growth mechanism, were presented.
	Objavljeno v	BERNIK, S., PODLOGAR, M., RUSTJA, S., DANEU, N., CERGOLJ, M., REČNIK, A. , A bottom-up approach to tailoring the microstructure and electrical properties of ZnO-based ceramics and varistors using an IBs-induced grain-growth mechanism: [invited talk], Electroceramics XI, 2008, Manchester, UK. Abstracts and CD proceedings.	
	Tipologija	1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljen predavanje)	
COBISS.SI-ID	21950759		

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine⁶

Družbeno-ekonomsko relevantni rezultat			
1.	Naslov	SLO	Projekt "Energijski varistorji v paru za impulzne tokove"
		ANG	Project "Energy varistor in pair for current impulses"
	Opis	SLO	Razvili smo varistorsko keramiko z znižano vsebnostjo dopantov, ki ima relativno nizko karakteristično prebojno napetostjo pri 130 V/mm in visoko sposobnost energijske absorpcije vsaj 600J/cm ³ . Njen razvoj je omogočil izdelavo energijskih varistorjev različnih oblik, ki glede na standard IEC 61643-11 ustrezajo klasi I (5kA, 10/350) ter klasi II (40kA, 8/20) in uspešno realizacijo paralelno vezanih varistorjev – varistorskih dvojčkov – za zaščitne module proti impulznim tokovom, ki preneseje energijske obremenitve do 14kJ.
		ANG	High-energy varistor ceramics with reduced amounts of dopants, a relatively low threshold voltage of about 130V/mm and an energy absorption capability of at least 600J/cm ³ were developed. Based on this, high-energy varistors of various forms were successfully realized in regular production with characteristics required for class I (5kA, 10/350) and class II (40kA, 8/20) in accordance to the standard IEC 61643-11 and connected in parallel to form so-called »varistor twins« mounted in the protection modules with an energy absorption capability up to 14kJ.
	Šifra	F.07 Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Objavljeno v	BERNIK, S., PODLOGAR, M., TAVČAR, A., CERGOLJ, M., Energijski varistorji v paru za impulzne tokove : zaključno poročilo, (IJS delovno poročilo, 9538). 2007	
Tipologija	2.12 Končno poročilo o rezultatih raziskav		
COBISS.SI-ID	20512551		
2.	Naslov	SLO	Projekt "Votli ZnO/TiO ₂ varistor"
		ANG	Project "Hollow ZnO/TiO ₂ varistor"
	Opis	SLO	V sodelovanju s firmo VARSİ smo razvili postopek izdelave votlih varistorjev dolžine od 30 do 60 mm s tehnologijo vlijanja vodne suspenzije v mavčne modele. Gre za novo izvedbo varistorjev, ki odpira povsem nove možnosti in rešitve za različne izvedbe ter aplikacije napetostnih zaščit. Razviti postopek

		<p>mlivanja za izdelavo votlih (cevastih) varistorjev ima številne prednosti pred klasičnim postopkom stiskanja granulata, je energetsko bistveno ugodnejši in smo ga izvedli z obstoječo opremo.</p>
	ANG	<p>In collaboration with VARSİ Company we developed processing of hollow varistors with a length in the range from 30 to 60 mm using slip-casting technology with a water suspension into a gypsum mold. The hollow varistor is a new form of varistor that opens up novel possibilities and solutions for the realization of applications for over-voltage protections. Processing such a product using slip-casting technology has several advantages in comparison to the classical way of pressing the varistor granulate, is more energy efficient and in our case realizable with already available equipment.</p>
	Šifra	F.06 Razvoj novega izdelka
	Objavljeno v	BERNIK, S., RUSTJA, S., PODLOGAR, M., TAVČAR, A., CERGOLJ, M., Votli ZnO/TiO ₂ varistor, (IJS delovno poročilo, 10068). 2008.
	Tipologija	2.12 Končno poročilo o rezultatih raziskav
	COBISS.SI-ID	22260007
3.	Naslov	<p>SLO Projekt "Varna infrastruktura za izvajanje poveljevanja in nadzora - VIZIPIN"</p> <p>ANG Project "A safe infrastructure for command and control - VIZIPIN"</p>
	Opis	<p>SLO V okviru projekta smo v sodelovanju s firmo Varsi razvili varistorško keramiko z bistveno znižano kapacitivnostjo, za uporabo varistorjev v prenapetostnih zaščitah telekomunikacijskih sistemih, pri čemer smo uporabili spoznanja projekta L2-9175 o nizko dopirani varistorški keramiki.</p> <p>ANG In collaboration with VARSİ Company varistor ceramics with significantly reduced capacitance was developed for use of varistors in overvoltage protection of telecommunication systems and the results of the project L2-9175 on the low doped varistor ceramics were successfully used.</p>
	Šifra	F.07 Izboljšanje obstoječega izdelka
	Objavljeno v	BERNIK, S.. Varna infrastruktura za izvajanje poveljevanja in nadzora - VIZIPIN : fazna poročila 1 - 4, IJS delovna poročila: 10259 (COBISS.SI-ID 22750247), 10260 (COBISS.SI-ID 22750503), 10261 (COBISS.SI-ID 22750759), 10304 (COBISS.SI-ID 22995495). 2009
	Tipologija	2.12 Končno poročilo o rezultatih raziskav
	COBISS.SI-ID	22995495
4.	Naslov	<p>SLO Tekoči projekt "Varistorji za zaščito energijskih sistemov na osnovi obnovljivih virov - WISEVAR"</p> <p>ANG Current project "Varistors for protection of renewable energy systems - WISEVAR"</p>
	Opis	<p>SLO Tekoči projekt v okviru katerega s firmo VARSİ sodelujemo pri razvoju varistorjev za prenapetostne zaščite energijskih sistemov na osnovi obnovljivih virov energije, kot so sistemi na osnovi solarnih celic in vetrnih turbinskih generatorjev. Pri razvoju varistorške keramike za te varistorje izhajamo iz rezultatov projekta L2-9175 o sestavah nizko dopirane varistorške keramike za različna napetostna področja.</p> <p>ANG Current project in which we collaborate with Varsi Company in development of varistors for overvoltage protection of energy systems and power plants based on the renewable sources such as solar panels and wind turbine generators. The developments of varistor ceramics for the varistors is strongly based on the knowledge obtained within the project L2-9175 on the preparation of low-doped varistor ceramics for various threshold voltages (V/mm).</p>
	Šifra	F.07 Izboljšanje obstoječega izdelka
	Objavljeno v	BERNIK, S., Varistorji za zaščito energijskih sistemov na osnovi obnovljivih virov - WISEVAR : 1. fazno poročilo, (IJS delovno poročilo, 10262). 2009. [COBISS.SI-ID 22751015] BERNIK, S., Varistorji za zaščito energijskih sistemov na osnovi obnovljivih virov - WISEVAR : 2. fazno poročilo, (IJS delovno poročilo, 10305). 2009. [COBISS.SI-ID 22995239]
	Tipologija	2.12 Končno poročilo o rezultatih raziskav
	COBISS.SI-ID	22995239
		Projekt: Razvoj polimernih varistorjev

5.	Naslov	SLO	Projekt "Razvoj polimernih varistorjev"
		ANG	Project "Development of varistor-type polymer composites"
Opis	SLO	V sodelovanju s firmo VARSI smo razvijali polimerne varistorje na osnovi kompozita med polimerom in varistorskim polnilom, ki ga odlikuje nelinearnost tokovno-napetostne karakteristike in zaradi PTCR efekta tokovna oz. energijska samoregulacija. Z izbiro ustreznega polimera in dodatkom varistorskega prahu kot polnila, v ustrezni količini in z ustrezno velikostjo delcev, smo izdelali kompozit s koeficientom nelinearnosti 17.	
	ANG	In collaboration with VARSI Company the varistor-type polymer composites were developed which are characterized by current-voltage nonlinearity and due to the PTCR effect also current (energy) self regulation. With the use of proper polymer and with addition of varistor powder as filler, in proper amount and with proper particle size, the varistor-type polymer composite with nonlinearity of about 17 was obtained.	
Šifra	F.06 Razvoj novega izdelka		
Objavljeno v	BERNIK, S., Razvoj polimernih varistorjev, (IJS delovno poročilo, 10306). 2009.		
Tipologija	2.12 Končno poročilo o rezultatih raziskav		
COBISS.SI-ID	22995751		

8. Drugi pomembni rezultati projetne skupine⁷

--

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Rast zrn predstavlja bistven dejavnik v procesu razvoja mikrostrukture polikristaliničnih keramičnih materialov in s tem njenih lastnosti. Vpliv velikosti zrn je zlasti neposreden v primeru varistorske keramike na osnovi ZnO, saj določa njeno prebojno napetost, ki izhaja iz nelinearnosti mej med zrn. Rezultati in ugotovitve, do katerih smo prišli v okviru projekta, o vplivu inverznih mej na rast zrn, prinašajo nova fundamentalna spoznanja na zelo raziskanem področju rasti zrn in ga pomembno dopolnjujejo. Gonilna sila za rast zrn je zmanjšanje specifične površine in s tem energije mej med zrn, kar običajno opišemo z mehanizmom Ostwaldove pogrobitve. V primeru varistorske keramike sta ključna dopanta, ki vplivata na rast zrn, Bi₂O₃ in Sb₂O₃. Dodatek Bi₂O₃ vpliva na rast zrn z nastankom taline na mejah med zrn. Sb₂O₃ je standardni dodatek v primeru fino zrnate varistorske keramike z visoko prebojno napetostjo. Zaviranje rasti zrn je običajno pojasnjeno z zmanjšanjem mobilnosti mej med zrn zaradi Zenerjevega efekta pripenjanja, ki ga povzroči nastanek spinelne faze Zn₇Sb₂O₁₂ na mejah med zrn. Dodatek Sb₂O₃ povzroči tudi nastanek inverznih mej (IBs). Zrno ZnO, ki je v zgodnji fazi sintranja okuženo z inverzno mejo raste pretirano in anizotropno na račun normalnih zrn, dokler ne trči z drugimi zrn, ki vsebujejo IB. Rast zrn se močno upočasni, mikrostruktura pa vsebuje samo zrna z inverzno mejo. Rast zrna ZnO diktira vgrajevanje Sb₂O₃ v strukturo planarnega defekta (inverzna mejo), ki je pri temperaturi pod temperaturo nastanka binarne faze med ZnO in Sb₂O₃ termodinamsko bolj stabilna, kot pa sama reaktanta. V primeru manjšega števila zrn okuženih z IB lahko zrastejo večja, preden trčijo med seboj in dobimo grobo zrnato mikrostrukturo. Ko v zgodnji fazi sintranja IB nastane v večini zrn, lahko zrastejo le malo in dobimo fino zrnato mikrostrukturo. S količino dopanta, ki povzroči nastanek IB (Sb₂O₃, TiO₂, SnO₂) tako lahko vplivamo na nastanek bodisi grobo ali fino zrnate mikrostrukture. Vsi ti dopanti povzročijo tudi nastanek spinelne faze in v skladu s klasičnim razumevanjem rasti zrn, nastanek grobo zrnate mikrostrukture nebi bil možen. Nova fundamentalna spoznanja o rasti zrn pod vplivom inverznih mej tako pojasnjujejo dejanski mehanizem rasti zrn in razvoj mikrostrukture v ZnO keramiki. Na osnovi razumevanja dejanskih procesov smo lahko kot prvi pripravili poleg fino tudi grobo zrnato ZnO keramiko dopirano z Bi₂O₃ in Sb₂O₃. Uspešno smo pripravili tudi nizko dopirano varistorsko keramiko z dodatkom le 2,7 do 4 ut.% varistorskih dopantov k ZnO (standardni podatki so 8 do 10 ut.%), z zelo različno velikostjo zrn ZnO od 6 do 35 μm, prebojnimi napetostmi od 60 do 350V/mm in koeficientom nelinearnosti med 30 in 50.

Dobljeni rezultati tako najbolj neposredno kažejo na izreden pomen osnovnih raziskav, ki edine lahko pojasnijo pravo naravo procesov in pokažejo na ključne dejavnike, ki nanje vplivajo in jih kontrolirajo. Spoznanja, do katerih smo prišli v primeru ZnO keramike so signifikantna tudi v primeru drugih polikristaliničnih keramičnih materialov pri katerih pride do nastanka posebnih mej kot so inverzne meje.

ANG

Grain-growth is among the key element in microstructure development of polycrystalline ceramic material and tailoring of their characteristics. The influence of grain size on the characteristics is especially straightforward in the ZnO-based varistor ceramics; its breakdown voltage, which results from the current-voltage nonlinearity of grain boundaries, is inverse proportional to the grain size.

The results and findings obtained within the project, about the influence of inversion boundaries (IBs), add new fundamental knowledge to the intensively studied field of the grain growth and enhance it. The driving force for the grain growth is decrease in the surface energy via reduction of the specific surface of the grains and follows the mechanism of the Ostwald ripening. In the ZnO-based varistor ceramics, Bi₂O₃ and Sb₂O₃ are the key dopants that influence grain-growth. Bi₂O₃ influences grain growth by the formation of the Bi₂O₃-rich liquid phase at the grain boundaries. Sb₂O₃ is standard dopant in fine-grained varistor ceramics with high breakdown voltage. The inhibition of the grain growth is generally attributed to the reduced grain boundary mobility caused by Zener pinning effect of the spinel phase formed at the grain boundaries. Doping with Sb₂O₃ results also into the formation of inversion boundaries (IBs) in ZnO grain. Grain infected by IBs in the early stage of sintering grows exaggeratedly and anisotropically on the expense of normal grains till it impinge to the other IB containing grains, which prevail in the microstructure, and grain-growth is strongly slowed down. Growth of the grain is dictated by incorporation of Sb₂O₃ into the structure of planar fault, inversion boundary, which is, at temperature below the temperature of formation of the binary phase between ZnO and Sb₂O₃, thermodynamically more stable than the reactants. In the case of smaller number of grains infected by IB, they can grow larger before they impinge to each other, which results into coarse grained microstructure. In opposite case, when most of the grains are infected by IB, they can grow very little before they collide to each other, and the microstructure remains fine-grained. Fraction of the grains infected by IB can be influenced by the amount of IBs triggering dopant (Sb₂O₃, TiO₂, SnO₂) which enable tailoring of either coarse- or fine-grained microstructure. All these dopants result also in formation of the spinel phase and in accordance to the classical understanding of the grain growth, coarse grained microstructure would be impossible when they are added to ZnO. New fundamental knowledge on the grain growth under the influence of IBs reveals true nature of the grain-growth and microstructure development in ZnO ceramics when IBs are present. Based on the real understanding of actual mechanism that control growth of the grains we were able to be the first to prepare also coarse grained ZnO ceramics doped with Bi₂O₃ and Sb₂O₃. Exploiting IBs induced grain growth mechanism we succeeded also in preparation of low doped varistor ceramics, at additions of only 2.7 to 4 wt.% of varistor dopants to ZnO (standard additions are 8 to 10 wt.%), with broad range of grain sizes from 6 to 35 μ m and consequently corresponding breakdown voltages ranging from 350V/mm to 60V/mm, and with coefficient of nonlinearity in the range from 30 to 50.

Obtained results therefore in a very direct way show the significance of the fundamental research which only one can reveal a true nature of the processes and show the key elements which influence and control them. The fundamental knowledge we obtained in the ZnO-based ceramics is not limited to it, but has strong significance also for other polycrystalline ceramic materials where the presence of special grain boundaries such as inversion boundaries is observed.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

V Sloveniji imamo več proizvajalcev komponent in naprav za napetostno zaščito in rezultati raziskave v okviru tega projekta nudijo pomembno pomoč njihovim razvojnim prizadevanjem. Firma VARSIS proizvaja različne tipe varistorjev. Varistorji so aktivni del naprav za napetostno zaščito (SPD) pred škodljivimi elektromagnetnimi sunki, ki jih povzročijo električne razelektritve v ozračju – strele. Iskra Zaščite izdeluje SPD-je na osnovi varistorjev in kombinacije varistor/plinski odvodnik, tako da je razvoj novih tipov SPD-jev tesno povezan z razvojem varistorjev. Že danes obe firmi večino svojega proizvodnega programa z višjo dodano vrednostjo, ki bazira na domačem znanju, izvozita na najbolj zahtevne svetovne trge, kjer je konkurenca izredno huda. Rezultati razvoja nizko dopirane varistorske keramike z nizko, srednjo in visoko prebojno napetostjo za energijske varistorje, so za oba proizvajalca izrednega pomena. Glede na trenutno stanje v svetu na področju varistorske keramike predstavlja veliko

korak naprej in jima odpira nove možnosti razvoja tako obstoječega programa kot tudi pri širitvi na nova področja uporabe napetostnih zaščit v energetiki in informacijskih tehnologijah. Izdelava nizko dopirane varistorke keramike je pomembna tudi zaradi prihranka na surovinah za izdelavo varistorjev, kar predstavlja pomembno znižanje stroškov proizvodnje in veliko prednost pred konkurenco. Zmanjšanje porabe kovinskih oksidov, med katerimi so nekateri tudi toksični, pa daje tudi ekološke prednosti tovrstni tehnologiji. Rezultati predlaganega projekta bodo tako močno prispevali k krepitvi konkurenčne sposobnosti domače industrije na svetovnem trgu komponent in naprav za tokovno-napetostno zaščito. Projekt predstavlja nadaljevanje uspešnega dosedanjega sodelovanja med partnerji iz instituta in gospodarstva, ki zagotavlja stalen pretok novih spoznanj in znanj med partnerji in spodbuja razvoj na področjih elektronskih materialov, novih materialov in novih tehnologij.

ANG

There are several producers of components and devices for overvoltage protection in Slovenia and the results obtained within the project provide significant support to their research and development plans and activities. Company VARSI is a producer of varistors which are used as active core of the surge protection devices (SPDs) for voltage protection against damaging electromagnetic surges caused by lightnings. Iskra Zaščite produces SPDs based on the varistors and also combination/spark gap. Hence, the development of SPDs is closely related to the development of varistors. Already now, both companies export most of their production which are based on the domestic knowledge, to the most demanding world markets and the competition in their fields is very tough. The obtained results of development of the low-doped varistor ceramics with low, medium and high breakdown voltages for energy varistors are of great importance for both producers. According to the current state of the art in the world low doped varistor ceramics represent a major breakthrough which opens possibilities for significant improvements of current products and to expand the use of varistors to new areas of overvoltage protection in energetic and information technologies. Processing of low-doped varistor ceramics is important also due to savings of raw materials, which contributes to a reduction of production costs and gives an advantage over competitors. A reduced consumption of metal oxides, some of which are toxic, also gives ecological advantages to such a technology. Results of the project will strongly contribute to strengthening the competitiveness of domestic producers on the world market of SPDs. The project represents a continuation in the collaboration between partners from industry and the institute and will contribute to a further flow of knowledge, experience and expertise among partners, which is very important in areas of electronic materials and components, new materials and related technologies.

10. Samo za aplikativne projekte!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri aplikativnem projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj	
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="V celoti"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="V celoti"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat <input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov <input type="text" value="V celoti"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni
	Zastavljen cilj <input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	Delno
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	

	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>

	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

Rezultate projekta se že uporabljamo pri razvoju varistorke keramike in varistorjev različnih tipov, za različna področja prenapetostnih zaščit. Gre za postopen proces zniževanja dodatka varistorških dopantov k ZnO v industrijskih pogojih priprave, glede na formulacije nizko dopirane varistorke keramike za nizke, srednje in visoke napetosti, ki smo jih razvili v okviru projekta po klasične postopku priprave. Gre za rešitve v okviru obstoječe tehnologije izdelave varistorjev.

11. Samo za aplikativne projekte!

Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visoko-šolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	

	zaposlenih					
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.06.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.09.	Drugo:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Komentar

Razvoj varistorjev in prenapetostnih zaščit na osnovi nizko dopirane varistorske keramike vsekakor lahko prispeva k prodoru na nove tuje trge, ker pa slovenski proizvajalci prenapetostnih zaščit že sedaj večino svoje proizvodnje izvozijo, ne more imeti velik vpliv na povečanje izvoza.

12. Pomen raziskovanja za sofinancerje, navedene v 2. točki¹¹

1.	Sofinancer	VARSI, d.o.o.		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	20.750,00	EUR	
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	15,50	%	
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra		
		Članek "Razvoj mikrostrukture v ZnO keramiki dopirani z		

	1.	majhnimi količinami Sb2O3" - ugotovitev o povezavi med količino dodanega Sb2O3 in deležem zrn ZnO v katerih se nukleirajo inverzne meje.	A.04
	2.	Lastnosti varistorske keramike na osnovi ZnO dopirane z Al2O3 (COBISS.SI-ID 20661287) - pomembno za izboljšanje odziva varistorjev pri visokih tokovih	A.01
	3.	Mikrostruktura in sestava ZnO varistorske keramike pripravljene z mešanjem varistorskih faz in intenzivnim mletjem (COBISS.SI-ID 20935719) - spoznanja o porazdelitvi dopantov v varistorski keramiki.	A.01
	4.	Pristop "bottom-up" pri oblikovanju mikrostrukture in električnih lastnosti ZnO keramike in varistorjev z mehanizmom rasti zrn pod vplivom inverznih mej; Electroceramics XI (COBISS.SI-ID 21950759)	B.04
	5.	Poročilo "Nizko dopirana varistorska keramika in formulacije za izdelavo v industriji" (COBISS.SI-ID 22551079) - nove nizko dopirane sestave varistorske keramike za različna napetosti.	F.18
	Komentar	<p>Fundamentalna spoznanja v okviru tega projekta imajo velik aplikativen pomen za firmo VARSI. Odpirajo nove možnosti in dajejo usmeritve za nadaljnji razvoj varistorske keramike in varistorjev, kar omogoča izboljšanje obstoječih izdelkov in razvoj novih. Razvoj nizko dopirane varistorske keramike, z bistveno znižanim dodatkom varistorskih dopantov k ZnO, pomeni velik korak pri razvoju varistorjev in je za nas kot proizvajalca varistorjev pomemben zaradi prihranka pri surovinah, ekoloških vidikov in tudi novi marketinških možnosti, ki jih varistorji na osnovi te keramike dajejo.</p> <p>Kot zelo pomembno za našo firmo bi izpostavili tudi, da smo bili na znanstveni konferenci najvišjega ranga soavtorji vabljenega predavanja.</p>	
	Ocena	<p>Rezultati raziskav so tako rekoč sproti vplivali na razvojne aktivnosti v naši firmi. V okviru vrste projektov, ki smo jih izvajali v preteklih letih in tudi tekočih, v sodelovanju z IJS zasledujemo usmeritev k znižanju deleža dopantov v varistorski keramiki in to pri vseh tipih varistorjev, tako nizko, srednje kot tudi visoko napetostnih. Gre za postopen proces prenosa laboratorijskih sestav nizko dopirane varistorske keramike z dodatkom le 3 do 5 ut.% varistorskih dopantov dodanih k ZnO (običajno 8 do 10 ut.%), s prebojnimi napetostmi od 70 do 350V/mm, v industrijske pogoje sinteze. Za razvoj energijskih varistorjev so bila za nas zelo pomembna tudi spoznanja o vplivu majhnih količin dodatka Al2O3, ki stabilizira tokovno-napetostno karakteristiko varistorje pri visokih tokovih.</p> <p>Rezultate projekta smo v preteklih dveh letih tako uspešno uporabili pri razvoju varistorske keramike z znižano kapacitivnostjo za uporabo varistorjev v telekomunikacijah in pri razvoju votlih varistorjev z vlivanjem v mavčne modele. Votli varistor predstavlja novo izvedbo varistorjev in odpira povsem nove možnosti in rešitve za prenapetostne zaščite. Trenutno pa so rezultati projekta zelo pomembni za izdelavo varistorske keramike za razvoj integrirane varovalke, ki združuje prenapetostno zaščito varistorja in klasične talilne varovalke v enem zaščitnem elementu, kjer sodelujemo s firmo ETI. Prav tako so pomembni tudi za razvoj varistorjev za prenapetostne zaščite energijskih sistemov na osnovi obnovljivih virov energije, kot so sistemi na osnovi solarnih celic in vetrnih turbinskih generatorjev.</p> <p>Rezultati projekta so za firmo VARSI pomembni zaradi prenosa novih znanstvenih spoznanj v proizvodnjo, izboljšanje obstoječih izdelkov, razvoj novih izdelkov, znižanje stroškov proizvodnje, zmanjšanja porabe surovin in ekoloških vidikov, kar vse prispeva k krepitvi naše konkurenčne sposobnosti in prodoru na nove trge.</p>	
2.	Sofinancer	Iskra Zaščite, d.o.o.	
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	16.740,00	EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	12,50	%

Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja			Šifra
	1.	Članek "Razvoj mikrostrukture v ZnO keramiki dopirani z majhnimi količinami Sb2O3" - ugotovitev o povezavi med količino dodanega Sb2O3 in deležem zrn ZnO v katerih se nukleirajo inverzne meje.	A.04
	2.	Lastnosti varistorske keramike na osnovi ZnO dopirane z Al2O3 (COBISS.SI-ID 20661287) - pomembno za izboljšanje odziva varistorjev pri visokih tokovih	A.01
	3.	Mikrostruktura in sestava ZnO varistorske keramike pripravljene z mešanjem varistorskih faz in intenzivnim mletjem (COBISS.SI-ID 20935719) - spoznanja o porazdelitvi dopantov v varistorski keramiki.	A.01
	4.	Poročilo "Nizko dopirana varistorska keramika in formulacije za izdelavo v industriji" (COBISS.SI-ID 22551079) - nove nizko dopirane sestave varistorske keramike za različna napetosti.	F.18
	5.		
Komentar	skra Zaščite so proizvajalec sistemov in naprav za prenapetostne zaščite (SPD). Ker je varistor aktivni del teh sistemov in naprav, je razvoj varistorjev za firmo zelo pomemben. Razvoj novih SPD-jev je tesno povezan z razvojem varistorjev, katerih lastnosti in dimenzije so prilagojene zahtevam določenega tipa SPD. Pogosto je realizacija razvojnih idej in novih tipov SPD-jev odvisna od dosegljivosti varistorjev z želenimi lastnostmi. Nizko dopirana varistorska keramika z nizko, srednjo in visoko prebojno napetostjo za najbolj zahtevne energijske varistorje, je za firmo Iskra Zaščite zelo aktualna, saj podpira razvojne možnosti na področju SPD-jev in širitev njihove uporabe na nova področja.		
Ocena	Rezultati projekta in razvoj nizko dopirane varistorske keramike za energijske varistorje so bili in so za Iskro Zaščite pomembni tako pri izboljšanju obstoječih kot tudi razvoju novih SPD-jev, v okviru naših razvojno aplikativnih projektov in sicer: <ul style="list-style-type: none"> • pri rešitvah s kombinacijo varistorske in plinske tehnologije (MOV + GDT v serijo), • pri izdelkih z visoko tokovno odvodnimi varistorji; • pri posebnih rešitvah varistorja v kombinaciji s posebnimi linearnimi komponentami (PTC); • pri miniaturizaciji in višjih nivojih integracije zaščitnih elementov in sistemov z drugimi električnimi/elektronskimi komponentami in napravami. 		
3.	Sofinancer		
		Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	EUR
		Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	%
Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja			Šifra
	1.		
	2.		
	3.		
	4.		
	5.		

	Komentar	
	Ocena	

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja, za objavo 6., 7. in 8. točke na spletni strani <http://sicris.izum.si/> ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

Slavko Bernik	in	
podpis vodje raziskovalnega projekta		zastopnik oz. pooblaščen oseba RO

Kraj in datum:

Ljubljana

18.4.2010

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2010-1/181

¹ Samo za aplikativne projekte. [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja ter rezultate in učinke raziskovalnega projekta. Največ 18.000 znakov vključno s presledki (približno tri strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Samo v primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite največ pet najpomembnejših znanstvenih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov v slovenskem in angleškem jeziku (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki) v slovenskem in angleškem jeziku, navedite, kje je objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote. Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>.

PRIMER (v slovenskem jeziku):

Naslov: Regulacija delovanja beta-2 integrinskih receptorjev s katepsinom X;

Opis: Cisteinske proteaze imajo pomembno vlogo pri nastanku in napredovanju raka. Zadnje študije kažejo njihovo povezanost s procesi celičnega signaliziranja in imunskega odziva. V tem znanstvenem članku smo prvi dokazali... (največ 600 znakov vključno s presledki)

Objavljeno v: OBERMAJER, N., PREMZL, A., ZAVAŠNIK-BERGANT, T., TURK, B., KOS, J.. Carboxypeptidase cathepsin X mediates $\beta 2$ - integrin dependent adhesion of differentiated U-937 cells. Exp. Cell Res., 2006, 312, 2515-2527, JCR IF (2005): 4.148

Tipologija: 1.01 - Izvirni znanstveni članek

COBISS.SI-ID: 1920113 [Nazaj](#)

⁶ Navedite največ pet najpomembnejših družbeno-ekonomsko relevantnih rezultatov projektne skupine, ki so nastali v času trajanja projekta v okviru raziskovalnega projekta, ki je predmet poročanja. Za vsak rezultat navedite naslov (največ 150 znakov vključno s presledki), rezultat opišite (največ 600 znakov vključno s presledki), izberite ustrezen rezultat, ki je v Šifrantu raziskovalnih rezultatov in učinkov (Glej: <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/sif-razisk-rezult.asp>), navedite, kje je rezultat objavljen (največ 500 znakov vključno s presledki), izberite ustrezno šifro tipa objave po Tipologiji dokumentov/del za vodenje bibliografij v sistemu COBISS ter napišite ustrezno COBISS.SI-ID številko bibliografske enote.

Navedeni rezultati bodo objavljeni na spletni strani <http://sicris.izum.si/>. [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Rubrike izpolnite/prepišite skladno z obrazcem "Izjava sofinancerja" (<http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>), ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2010 v1.00a

AA-D4-50-1A-BD-B5-7E-25-4B-0A-E3-43-98-D5-48-E3-FC-AE-AA-F5