

NOVI HALKOGENIDNI MATERIJALI ZA EFIKASNO KORIŠĆENJE I TRANSFORMACIJU ENERGIJE: ZNAČAJ U OBRAZOVANJU I PRIMENI

Goran Štrbac¹, Mirjana Šiljegović², Dragana Strbac³

Rezime: U ovom radu istaknut je značaj savremenih tehnologija i otkrića novih materijala sa superiornim osobinama, koji su postali ključni pokretači u oblikovanju budućnosti obrazovanja i globalne ekonomije. Savremeni sintetički materijali, sa specifičnim, posebno programiranim svojstvima za specifične primene, omogućavaju unapređenje performansi i trajnosti proizvoda, povećanje efikasnosti, smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu, kao i razvoj potpuno novih tehnologija i primena. Sa rastućom konkurencijom na globalnim tržištima i sve većim fokusom na održivost, potreba za pametnijim, jačim i efikasnijim materijalima stalno raste. Na primeru novih halkogenidnih materija i njihove karakterizacije ilustruje se kompleksnost tematike, kako sa teorijskog, tako i sa eksperimentalnog aspekta, iz čega proizilazi značaj uvođenja savremenih materijala u sistem obrazovanja, ali i potreba za stalnim praćenjem novih dostignuća u ovoj oblasti.

Ključne reči: halkogenidi, efikasnost, energija, obrazovanje, primena

NOVEL CHALCOGENIDE MATERIALS FOR EFFICIENT ENERGY USE AND TRENSSTFORMATION: SIGNIFICANCE IN EDUCATION AND APPLICATION

Abstract: This paper emphasizes the significance of modern technologies and the discovery of advanced materials with superior properties, which have become key drivers in shaping the future of both education and the global economy. These innovative synthetic materials, engineered with specific properties for targeted applications, contribute to enhanced product performance and durability, improved efficiency, reduced environmental impact, and the emergence of entirely new technologies and applications. As global markets become increasingly competitive and sustainability gains importance, the demand for smarter, stronger, and more efficient materials continues to grow. The example of new chalcogenide compounds and their characterization highlights the complexity of this field from both theoretical and experimental perspectives. This underscores not only the importance of integrating advanced materials into educational curricula, but also the necessity of continuously tracking new developments in this rapidly evolving area.

Key words: chalcogenides, efficiency, energy, education, application

1. UVOD

U eri dinamičnih promena savremenog društva, napredne tehnologije i otkrivanje novih materijala superiornih karakteristika postale su pokretačka snaga koja oblikuje budućnost kako obrazovanja, tako i globalne ekonomije. U savremenom svetu, razvoj i primena novih materijala igraju ključnu ulogu u oblikovanju industrijskog napretka i podsticanju ekonomskog rasta. Napredni materijali - kao što su nanomaterijali, poluprovodnički i pametni materijali, visokoperformansni polimeri i laki kompoziti - omogućili su inovacije u brojnim industrijama, od vazduhoplovstva i automobilske industrije do elektronike, medicine i ono što je možda i najvažnije u oblasti energetike.

Ovi materijali doprinose poboljšanju performansi proizvoda, povećanju efikasnosti, smanjenju negativnog uticaja na životnu sredinu i stvaranju potpuno novih tehnologija. Kako globalna tržišta postaju sve konkurentnija, a održivost sve važnija, potražnja za pametnijim, jačim i efikasnijim materijalima neprestano raste.

¹Prof. Dr., Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Trg D. Obradovića 4, 21000 Novi Sad, Srbija, e-mail: grstrbac@uns.ac.rs

²Van. prof. Dr., Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za fiziku, Trg D. Obradovića 4, 21000 Novi Sad, Srbija, e-mail: mirjana.siljegovic@df.uns.ac.rs

³Prof. Dr., Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg D. Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, e-mail: draganastrbac@uns.ac.rs

Da bi se u potpunosti iskoristio potencijal ovih inovacija, neophodno je ulagati u obrazovanje i obuku fokusiranu na nauku o materijalima i inženjerstvo. Razumevanje osobina, primene i proizvodnje novih materijala omogućava budućim stručnjacima da osmisle napredna rešenja, podrže industrijske inovacije i odgovore na rastuće tehnološke i ekonomske zahteve 21. veka.

2. NOVI HALKOGNIDNI MATERIJALI

2.1. Primene u transformaciji i korišćenju energije

Električna energija je osnovni oblik energije koji pokreće razvoj ljudske civilizacije. Poznata je direktna korelacija između životnog standarda i privrednog napretka, s jedne strane, i potrošnje električne energije u društvu s druge strane. Električna energija se može dobiti iz različitih izvora, od sagorevanja sirovina do složenih sistema nuklearnih reaktora. Međutim, usled globalne zabrinutosti zbog klimatskih promena u današnje vreme, proizvodnja električne energije i energije uopšte mora se preusmeriti na obnovljive izvore poput solarne energije. Upotreba fosilnog goriva kao primarnog izvora energije, pored ograničenih količina, ne uključuje samo ozbiljno zagađivanje usled emisije štetnih gasova, već i veoma veliku potrošnju vode, u vreme kada nestašica ovog resursa postaje, za mnoge zemlje, ključno pitanje egzistencije.

Posebna pažnja danas je usmerena na povećanje efikasnosti u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora, uključujući tu i optimizaciju fotonaponskih ćelija koje koriste sunčevu energiju, ali i na što efikasniju konverziju i iskorišćenost električne energije. Takođe, velike količine energije u modernom društvu koriste se za skladištenje informacija, te je svaka ušteda na ovom polju veliki napredak u smislu smanjenja potreba za električnom energijom. Jedan od pravaca u tom smeru jeste i razvoj novih tipova memorija. Napredak na oba polja ima značajne reperkusije na energetske kartu društva.

Kada je reč o fotonaponskim ćelijama, najvažniji zahtevi koji se nameću komercijalno uspešnoj tehnologiji solarnih ćelija su efikasnost, dugotrajna stabilnost, minimalno korišćenje resursa i najniži mogući troškovi. Idealan materijal za solarne ćelije treba da ima direktnu zonu sa razmakom između 1.1 i 1.7 eV, treba da bude netoksičan, da je njegovo dobijanje jeftino, a korišćenje resursa u procesu dobijanja minimalno. Nažalost, još uvek nije pronađen materijal koji ispunjava sve ove uslove. Osnovni zadatak razvoja novih fotoaktivnih materijala je prilagođavanje apsorpcionog spektra ukupnom zemaljskom solarnom spektru, čime se postiže prikupljanje maksimalnog toka fotona, odnosno iskorišćenje što je više moguće solarne energije.

Poslednjih godina potrošnja energije računarskih sistema se drastično povećala i veliki deo ove energije se troši na memorisanje ogromnih količina podataka. S tim u vezi, između ostalog, istraživači su predložili upotrebu novih tipova trajnih memorija, kao što su memorije sa faznom promenom (phase change memory, PCM), koje imaju kratko vreme čitanja, koje se odnosi na to koliko je vremena potrebno da se primi jedan zahtev za podatke i da se pravi podaci pronađu i pristupi im sa medijuma za skladištenje, i skoro nultu snagu curenja. PCM skladišti podatke na manjem području i sa većim brzinama i za procese čitanja i pisanja od diskova sa optičkom memorijom. Međutim, i ova memorija ima svoje nedostatke i danas je veoma aktuelna potraga za načinima za poboljšanje energetske efikasnosti memorija zasnovanih na PCM-u.

Pristupni pregovori Srbije Evropskoj uniji prema revidiranoj metodologiji predviđaju objedinjavanje prethodno definisanih poglavlja u klastere, kako bi se pristupni pregovori odvijali sa boljom dinamikom nego što je to do sada bio slučaj. Nekadašnje poglavlje 27 - Životna sredina i nekadašnje poglavlje 15 - Energetika, sada su deo istog klastera pod nazivom „Zelena agenda i održiva povezanost“. Ovo direktno znači da je za otvaranje ovog klastera jednako značajan napredak na polju energetske efikasnosti, kao i očuvanja energetske i materijalne resursa - dva cilja koja se direktno targetiraju istraživanjima u predmetnom projektu. U poglavlju 15 direktno se apostrofira promovisanje obnovljivih izvora energije i energetske efikasnosti kao oblasti koje će se prožimati.

U godišnjem izveštaju Evropske komisije o napretku Srbije u 2020. po poglavlju 27 se direktno navodi da je na ovom polju životne sredine ostvaren ograničen napredak i da se, između ostalog, investicije moraju usmeravati na projekte koji imaju najznačajniji uticaj na životnu sredinu.

Trenutno se fotonaponska tehnologija smatra delom rešenja rastućeg energetskog izazova i ključnom komponentom buduće globalne proizvodnje energije. Ogromni naučnoistraživački i finansijski resursi uključeni su u rešavanje ovog problema, a posledica toga je kontinuirani porast efikasnosti novih fotonaponskih ćelija, snižavanje troškova i cene i smanjenje iskorišćavanja prirodnih resursa i negativnih uticaja na životnu sredinu. Potraga za fotonaponskim ćelijama sa idealnim odnosom ovih parametara se i danas intenzivno nastavlja. Različite tehnologije koje su do sada razvijene podeljene su u četiri generacije.

Kao što je već rečeno, ljudsko društvo iskazuje sve veće potrebe za skladištenjem ogromnih količina podataka. Step en u kome je trajna, energetska nezavisna memorija danas prisutna i potrebna u svakodnevnom životu zaista je izvanredan. Od muzike na MP3 plejerima, do fotografija na digitalnim fotoaparatom, sačuvane e-pošte i tekstualnih poruka na pametnim telefonima, dokumenata koji se čuvaju i prenose na USB fleš diskovima i raznih programa. Ova memorija, poznata kao fleš memorija (Flash memory), je svuda oko nas. Za manje od tri decenije, industrija ovih memorija je narasla do nekoliko desetina milijardi dolara godišnje vrednog giganta.

Danas postoji konstantna potreba za memorijama koje mogu da ponude veću pouzdanost u pisanju ulazno/izlaznim I/O performansama, uz smanjenje cene i poboljšanje performansi u odnosu na fleš memorije. Poslednje decenije ponuđene su nove tehnologije na polju trajnih memorija. Ti novi kandidati nalaze se u različitim stepenima razvoja - od onih koji su u idejnoj fazi do onih koji se već pojavljuju na tržištu. Memorije sa faznom promenom nalaze se trenutno negde između ove dve grupe; prešle su fazu dokazivanja principa i neophodan je dalji progres na polju njihovog razvoja kako bi se došlo do tržišne primene. Obnovljeno zanimanje za PCM tehnologiju izazvano je otkrićem materijala sa brzom (<100 ns) kristalizacijom [1].

2.2. Primer eksperimentalnih tehnika karakterizacije i njihov značaj

Halkogenidni amorfni materijali (ili halkogenidna stakla) su neorganski materijali koji sadrže halkogene elemente (elemente iz 16. grupe Periodnog sistema – pre svega sumpor (S), selen (Se) i telur (Te)), najčešće u kombinaciji sa elementima poput arsena (As), germanijuma (Ge) i antimona (Sb). Amorfni materijali, a posebno halkogenidna stakla, predmet su brojnih istraživanja, pre svega zbog svojih poluprovodničkih osobina i termalne stabilnosti, što ih čini pogodnim za različite praktične primene kao što su već pomenute PCM, optički element za IC oblast i fotonaponske ćelije [2].

Jedna od takvih primena je u oblasti infracrvene (IR) optike, gde se halkogenidna stakla često koriste zbog svoje izuzetne transparentnosti u IR spektru. Ova prozirnost se pripisuje njihovim niskim fononskim energijama i izraženim nelinearnim optičkim osobinama [3].

Istraživanje termičke stabilnosti i transformacije između amorfne i kristalne faze predstavlja važnu oblast kako sa teorijskog, tako i sa praktičnog aspekta. Ova oblast ima potencijal da unapredi naše razumevanje strukturnih osobina i termičkog ponašanja halkogenidnih stakala, koje još uvek nije u potpunosti razjašnjeno, čime se doprinosi razvoju njihovih praktičnih primena [4].

Prema svemu prethodno navedenom, jasno je da razvoj i praktična primena zahteva obrazovanje, stalno paraćenje novih dostignuća, ali pre svega znanja iz oblasti sinteze i karakterizacije novosintetisanih halkogenida i savremenih materijala uopšte.

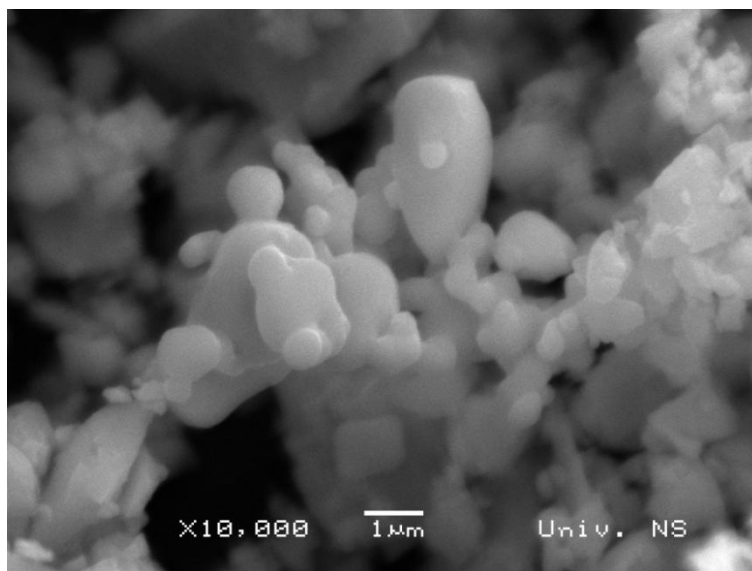
Ilustracije radi, na narednim slikama prikazan je niz rezultata iz metoda karakterizacije, a koje se standardno sprovode na novosintetisanim amorfnim halkogenidima. Nakon odabira pogodnog sastava, na osnovu faznih dijagrama i znanja o oblastima ostakljavanja, projektuje se režim sinteze. Na slici 1 prikazni su uzorci novosintetisanih halkogenidnih materijala, različitih formi i sastava.

Amorfnost uzorka se proverava metodama polarizacije mikroskopije i difrakcije X - zraka. Ukoliko je sastav predviđen za optičke primene, primene transformacije energije ili pomenutih

memorija sa promenom faze, neophodno je izvršiti strukturnu, morfološku, optičku, termičku i električnu karakterizaciju, odnosno merenja primenom odgovarajućih, nužno savremenih tehnika i nakon toga uraditi stručno tumačenje dobijenih rezultata i procenu mogućih primena.



Slika 1 – Primeri novih halkogenidnih materijala različitih sastava i formi

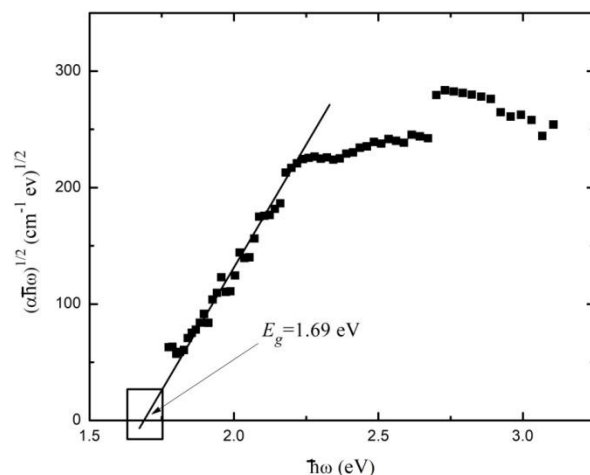


Slika 2 – Primer SEM snimka amorfnog materijala

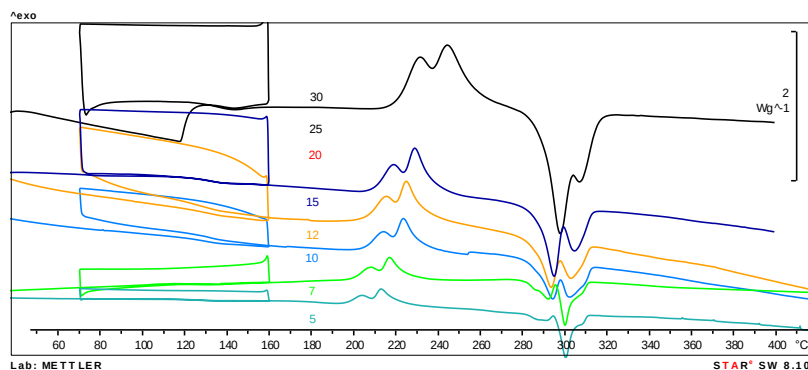
Skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM) je standardna metoda kojom se potvrđuje amorfni karakter materijala, uočava prisustvo željene ili neželjene kristalizacije, veličine zrna, morfološke nepravilnosti, kao i, ukoliko se kombinuje sa EDX tehnikom, sastav uzorka i eventualno prisustvo fazne separacije. Na slici 2 je SEM amorfnog materijala, dopiranog sa bakrom.

Merenjem transparentije pomoću spektrofotometra na uzorcima sa visokom transparentijom, moguće je odrediti širinu optički zabranjene zone, postupkom koji se naziva se Taucov metod koji je ilustrovan kroz grafički primer za halkogenidno staklo dopirano bakrom (Slika 3). Širina zabranjene

zone je ključni faktor koji određuje poluprovodnički karakter materijala i njegovu potencijalnu primenu za fotovoltaike.



Slika 3 – Primer Taucovog plota na osnovu optičke karakterizacije amorfnog materijala, sa određenom širinom zabranjene zone



Slika 4 – Primer DSC snimka za termičku karakterizaciju amorfnog materijala

Diferencijalno skenirajuća kalorimetrija (DSC) je najčešće korišćena termoanalitička tehnika koja omogućava detekciju procesa razmekšavanja, kristalizacije i topljenja nastalih kristalnih centara, određivanje energetske efekata koji prate ove termički indukovane transformacije, ali i njihovu kinetiku. DSC tehnika ima veoma važnu primenu u analizi halkogenidnih amorfni materijala, jer upravo pomoću nje možemo razumeti njihovo termičko ponašanje, termičku stabilnost i temperaturni interval primene - što je ključno za većinu njihovih aplikacija, posebno u memorijskoj i optičkoj tehnologiji. Kao što je rečeno mogućnost ali i brzina prelaska iz amorfnog u kristalno stanje (koja se razlikuju za nekoliko redova veličina u pogledu provodljivosti) od ključnog je značaja za primenu kod PCM memorija Na slici 4 prikazan je primer DSC snimka amorfnog materijala, pri različitim brzinama zagrevanja.

Prikazani primeri tehnika za karakterizaciju novih halkogenidnih materijala i savremenih materijala uopšte, od ključnog su značaja za određivanje svojstava, osmišljavanje novih ili efikasnijih primena, kao i programiranje novih sastava sa željenim performansama.

Poznavanje postupaka dobijanja novih materijala, ciljanih svojstava u skladu sa potrebama primene, tehnika karakterizacije i tumačenja rezultata, moraju biti deo savremenog obrazovanja i privrede koja pretenduje da bude konkurentna na razvijenim tržištima.

3. ZAKLJUČAK

Kako bi se u potpunosti iskoristile prednosti halkogenidnih materijala novih sastava u praktičnoj primeni, neophodno je temeljno poznavanje njihovih fizičko-hemijskih, mehaničkih i funkcionalnih svojstava. Upravo tu se ističe značaj obrazovanja, posebno u oblasti nauke o materijalima, inženjerstva i tehničkih nauka.

Kroz savremene obrazovne programe, laboratorijski rad i istraživačke projekte, studenti i stručnjaci stiču znanja i veštine koje im omogućavaju da primene različite metode karakterizacije - kao što su mikroskopija, spektroskopija, termička analiza i ispitivanje čvrstoće. Ove metode omogućavaju precizno razumevanje strukture i ponašanja materijala, što je ključno za njihovu uspešnu primenu.

Obrazovanje u ovoj oblasti ne doprinosi samo razvoju naučne misli, već ima i direktan uticaj na inovacije u industriji. Bolje poznavanje materijala omogućava projektovanje naprednih rešenja, povećava njihovu pouzdanost, trajnost i efikasnost, i na taj način direktno doprinosi ekonomskom razvoju i konkurentnosti.

Stoga, ulaganje u obrazovanje i obuku u oblasti karakterizacije materijala predstavlja dugoročnu investiciju u tehnološki napredak i održivi razvoj društva.

4. ZAHVALNICA

Rad je rezultat istraživanja finansiranih u okviru projekta „Novi halkogenidni materijali za efikasno transformisanje i korišćenje energije”, APV Pokrajinskog sekretarijata za visoko obrazovanje i naučno istraživačku delatnosti, broj 003076409 2024 09418 003 000 000 001/2.

5. LITERATURA

- [1] Zin N.S. et al.: *High Efficiency Silicon Solar Cells*, Energy Procedia 33(1): 1-10, 2013.
- [2] Moreno T.V., Malacarne L.C., Baesso M.L., Qu W., Dy E., Xie Z., Fahlman J., Shen J., Astrath N.G.C.: *Potentiometric Sensors with Chalcogenide Glasses as Sensitive Membranes: A Short Review*, Journal of Non-Crystalline Solids 495(1): 8-11, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2018.04.057>.
- [3] Zhang X.H., Bureau B., Lucas P., Boussard-Pledel C., Lucas J.: *Glasses for Seeing Beyond Visible*, Chemistry-A European Journal 14(1): 432-441, 2008, <https://doi.org/10.1002/chem.200700993>.
- [4] Wuttig M., Yamada N.: *Phase-Change Materials for Rewriteable Data Storage*, Nature Materials 6(1): 824-829, 2007, <https://doi.org/10.1038/nmat2009>.