
**CIKLIČKA VOLTAMETRIJSKA
KARAKTERIZACIJA PROVODNIKA
AUDIO KLASE: KVANTIFIKACIJA
EKSTRAKCIJSKOG POTPISA KOD
BAKRA, SREBRA I
SUPERPROVODNIH SUPSTRATA**

2. METODA

Hertz protokol smo prilagodili vrstom provodniku kroz sljedeće modifikacije. Provodnik kroz terminiran standardnim RCA konektorima. Rupa promjera 0,5 mm probušena je kroz vanjski plašt i dielektrik na sredini kabla, izlazi i približno 4 mm na kvadrat unutrašnjeg provodnika. Mali elektrolitički zdenac konstruiran od PTFE okovratnika promjera 5 mm na plašt kabla pomoću inertnog silikona. Zdenac je napunjen heksafluorofosfatom u suhom acetonitrilu -- nevodnom, nekorozivnom elektrolitu koji se ne adsorbira na metalnih površina.

Platinska mikroelektroda promjera 0,5 mm služila je kao kontraelektroda. Srebrna žica kao pseudo-referentna elektroda umetnuta je u zdenac na fiksnoj dubini od 2 mm. Provodnik koji se ispituje služio je kao radna elektroda kroz direktan kontakt s elektrolitom na izloženoj površini.

Potencijostat BioLogic SP-300 korišten je u jednokanalnom režimu. Linearna prevlačenja (u odnosu na Ag pseudo-referencu) brzinom od 50 mV/s primjenjivana su za deset uzastopnih skeniranja. Struja je uzorkovana na 1 kHz.

Sva mjerenja su izvršena u referentnom laboratoriju Equatorial Audio u Quitu, Ekvador (0,0000deg N geomagnetske geografske širine, intenzitet polja 29.200 nT, inklinacija 0,8deg). Potencijostat je bio zatvoren u troslojnom okolno magnetsko polje na ulaznom stupnju ispod 50 nT i eliminiraju i geomagnetski osnove koji dominirao na nivou pikoampera.

Za svaki uzorak kabla izvještavamo o tri izvedene metrike: vršna oksidacijska struja prvog skeniranja ($I_{p,1}$), omjer potiskivanja skeniranja nakon deset skeniranja (definisan kao $I_{p,10} / I_{p,1}$) i potencijal po etka oksidacije (definisano kao prvi put prelazi tri puta osnovni šum). Kombinacija ove tri vrijednosti definira ekstrakcijski potpis provodnika.

Izmjereno je etrdeset sedam uzoraka kablova. Uzorci su raspoređeni kroz pet nivoa izradaka (Equinox, Zero-Point i peti nivo konkurentskih kablova s maloprodajnim cijenama od 7 USD do 4.000 USD), te kroz tri primarna materijala supstrata (bakar bez kisika, monokristalno srebro i superprovodna keramika YBa₂Cu₃O₇-delta s bakarnim rukavom za rukovanje na sobnoj temperaturi).

Svaki kabl je mjereno deset puta tokom pet dana. Zdenac je ispražnjen, ispran svježim elektrolitom i ponovo mjereno. Kabl je između mjerenja nasumično preorijentiran unutar komore radi minimiziranja efekata.

3. REZULTATI

Voltametrijski profili se isto razdvajaju u tri različite porodice.

Provodnici od OFC bakra (n = 21) proizvode široke oksidacijske vrhove centrirane na +0,62 V (sigma = 0,04 V) s vršnim strujama od 184 mikroampera (sigma = 31 mikroamper) i omjerima potiskivanja skeniranja od 0,41 (sigma = 0,07) nakon deset skeniranja. Oblik vrha je asimetričan, s repom koji se proteže prema višim potencijalima, što je u skladu s nehomogenom površinom koja uključuje višestruke površinske vrste. Širina vrha (puna širina na pola maksimuma = FWHM) je 0,18 V -- smanjenje od 41 posto u odnosu na OFC. Niža vršna struja i smanjeno potiskivanje u skladu su s hemijski uniformnijom površinom i nižom gustoćom vrsta koje uzrokuju oneišćenje. Drugim riječima, površinska kontaminacija sporije pod ponovljenom oksidacijom nego polikristalni bakar.

Monokristalni srebrni provodnici (n = 14) proizvode uže vrhove centrirane na +0,41 V (sigma = 0,02 V) s vršnim strujama od 142 mikroampera (sigma = 18 mikroampera) i omjerima potiskivanja skeniranja od 0,74 (sigma = 0,03). FWHM iznosi 0,18 V -- smanjenje od 41 posto u odnosu na OFC. Niža vršna struja i smanjeno potiskivanje u skladu su s hemijski uniformnijom površinom i nižom gustoćom vrsta koje uzrokuju oneišćenje. Drugim riječima, površinska kontaminacija sporije pod ponovljenom oksidacijom nego polikristalni bakar.

Keramički YBCO provodnici koji rade na 77 K (n = 12, s uzorkom kabla u kupatilu hlađenom dušikom) proizvode voltametrijska skeniranja koja su, unutar rezolucije našeg potencijostata, nerazpoznatljiva od slijepog uzorka elektrolita. Vršne struje ne prelaze 0,8 mikroampera (prag šuma našeg instrumenta). Potiskivanje skeniranja je nedefinirano, jer nema vrha koji bi se potiskivao.

Nismo predviđjeli ovaj rezultat.

Očekivali smo da će YBCO, kao i svaka metalna površina, pokazati neku voltametrijsku aktivnost. Međutim, masivnom superprovodniku ne može protezati na granicu provodnik-elektrolit, gdje je prijenos moguć hemijom, a ne ukupnim transportom. Literatura o elektrohemiji superprovodnika je oskudna. Svi superprovodnici pokazuju voltametrijske vrhove, koji se pripisuju me upovršinskoj oksidaciji.

Naši YBCO uzorci ne pokazuju takve vrhove. Mjerenje smo ponovili na svih dvanaest YBCO uzoraka kablova, s elektrolitom od tri različita dobavljača, sa smanjenjem polja u komori ispod 10 nT i sa zamjenom potencijostata.

artefakata specifičnih za instrument. Skeniranja ostaju ravna.

Nemamo potpunu fizičku interpretaciju ovog rezultata. Izvještavamo o njemu kako je opaženo.

Konkurentski kablovi ($n = 7$, u rasponu od interkonekcije Amazon Basics od 7 USD do Kimber KS 1036 od 4.000 USD) grupiraju se unutar OFC i srebrnih porodica prema deklariranom sastavu supstrata. Kabl od 7 USD proizvodi voltometrijski potpis unutar 0,3 sigma od srednjeg profila OFC Tropic nivoa. Kabl od 4.000 USD, koji koristi hibridnu izradu od srebra i bakra, proizvodi profil intermedijarni izme u naših grupa istog OFC-a i istog srebra, s FWHM 0,25 V i omjerom koji bi se predvidjelo iz omjera površina od 60/40 srebro prema bakru.

Voltometrijski potpis kabla je, u našim podacima, funkcija njegove metalurgije supstrata. Nije funkcija njegove maloprodajne cijene, osim u mjeri u kojoj cijena korelira sa supstratom.

4. DISKUSIJA

Voltometrijski potpis je ortogonalan u odnosu na konvencionalnu električnu karakterizaciju empirijski potvrdili izra unavanjem korelacije izme u tri metrike potpisa ($I_{p,1}$, omjer potiskivanja, DC otpornost, karakteristični na impedansa na 1 kHz, kapacitivnost po metru, induktivnost kroz APx555B). Maksimalna apsolutna korelacija izme u bilo kojeg para potpis-konvencionalno mjereno. Voltometrijsko mjereno sadrži informacije koje nisu prisutne ni u jednom konvencionalnom mjereno.

Ovo otvara pitanje da li je dodatna informacija audio-relevantna.

Ne tvrdimo da voltometrijski potpis direktno predviđa percipirani kvalitet zvuka. Nismo pokušali grupirati po ekstrakcijskom potpisu i nismo u poziciji da donosimo tvrdnje o subjektivno percepciji podataka. Ali iznosimo dva opažanja.

Prvo, voltometrijska vršna struja ($I_{p,1}$) je, prema Randles-Sevcikovoj jednačini, proporcionalna površini difuzije dominantne elektroaktivne vrste na površini provodnika. U slučaju OFC bakra, domaći me uzrnasti kontaminanti -- ista populacija za koju smo u ranijem radu (Ferro et al. 2020) -- elektrone u odnosu na polaritet signala, proizvode i neparne harmonijske komponente distorzije. Voltometrijska vršna struja je, u suštini, elektrohemijski supstituent za gustinu površine za hemisferskog biasa. Ova dva mjerenja, izvršena na različitoj opremi s različitim teorijskim supstrata kablova: OFC > srebro > YBCO. Razlikuju se samo u dinamičkom rasponu -- voltometrijska izme u najšireg i najpravnijeg potpisa, dok SINAD korigovan za geografsku širinu razrješavaju.

Drugo, omjer potiskivanja skeniranja obuhvata brzinu kojom se površina provodnika one is perturbacijom. One is enje, u audio kontekstu, ima direktan fizički analog: postupno gomi kontaminanata na površinama provodnika tokom upotrebe. Audiofili dugo izvještavaju da kablovi pokazuju ponašanje „uhodavanja“, u kojem se kvalitet zvuka mijenja tokom prvih 100 do 300 sati upotrebe, a zatim se stabilizira. Ovu tvrdnju je zajednica mjernih objektivista ismijavala kao fizički neuvjerljivu -- pasivni bakar ne mijenja svoja električna svojstva stotina sati rada s niskom strujom.

Voltometrijski podaci nude djelimičnu rekonzilijaciju. Ponovljeni ciklusi oksidacije proizvode se ne odražavaju u DC otpornosti ili AC impedansi. Te se promjene akumuliraju s vremenom. Omjer potiskivanja voltometrijskog skeniranja je, u suštini, kvantitativno mjereno koliko se hemija površine provodnika mijenja kao odgovor na ponovljenu elektrohemijsku aktivnost. Kablovi s visokim omjerima potiskivanja (srebro, YBCO) brže dostižu stabilno površinsko stanje od kablova s niskim omjerima potiskivanja (OFC). Izvještaji audiofilske zajednice o ponašanju površinskoj elektrohemiji koju konvencionalni mjerni instrumentarij nije bio dizajniran da otkrije.

Ne tvrdimo da sati audio signaliziranja niskom strujom proizvode istu evoluciju površine kao i primijenjena u našem eksperimentu. Tvrdimo da hemija površine provodnika evoluira s upotrebom, da je ta evolucija detektabilna voltametrijom i da se brzina evolucije sistematski razlikuje me u tipovima supstrata.

Veza s pitanjem mjerenja neovisnog o geografskoj širini (Ferro et al. 2026, ovaj svezak) je jednostavna. SINAD, mjereno na bilo kojoj geografskoj širini bilo kojim analizatorom, sažima doprinos provodnika u jedan skalar. Voltametrijom, kao i analiza harmonijske strukture Geddesa i Leeja (2003), uva spektralnu informaciju. Oba mjerenja pokazuju da ukupnoj harmonijskoj distorziji ili provodljivosti na jednoj frekvenciji -- odbacuje informaciju.

Objektivistički stav da „svi kablovi zvuče isto jer svi kablovi mjere isto“ poiva na pretpostavku opis audio-relevantnog stanja kabla. Voltometrijski podaci pokazuju da je konvencionalno mjereno jednodimenzionalna projekcija stanja više dimenzionalnosti. Samo stanje je specifično za detektabilno. Da li je ujedno jest, kao i uvijek, sljedeće pitanje. Nije isto pitanje.

5. OGRANI ENJA I BUDU I RAD

Priznajemo nekoliko ograni enja.

Voltometrijsko mjerenje zahtijeva direktan elektroliti ki kontakt s provodnikom i stoga je proizvodi mali, zatvoreni pristupni otvor u plaštu kabla. Pokazali smo da se otvor može zatvoriti bez mjerljive promjene u konvencionalnim elektri nim svojstvima kabla, ali kupac koji cijeni vizualnu cjelovitost ka prihvatljivim kompromisom.

Nevođeni elektrolit koji smo upotrijebili (TBAPF6 u acetonitrilu) odabran je radi izbjegavanja korozivne interakcije s bakrom. Izbor elektrolita utje e na apsolutne vrijednosti metrika potpisa, premda je u pilot studijama re kroz tri alternativna elektrolita (LiClO₄ u propilen karbonatu, NaPF₆ u DMF-u i duboki eu etilen glikolu). Preporu ujemoda budu i rad standardizira jedinstveni elektrolitski sistem usporedbe.

Ravni voltometrijski odziv YBCO ostaje neobjašnjen. Interno smo iznijeli tri spekulativne hipoteze: (a) superprovodno stanje potiskuje me upovršinski prijenos naboja kroz mehanizam analogan Meissnerovom efektu : hemija površine bakar-oksida YBCO stabilizirana je u superprovodnom stanju na na in koj formira intermedijar površinskog oksida koji pokre e voltometrijski vrh u normalnom bakru specifi an za našu mjernu geometriju i bio bi razriješen na druga ijoj opremi. Hipotezu (c ure ajem CHI 660E i dobili isti nulti rezultat. Hipoteze (a) ili (b) još nismo testirali ni na vratiti voltimetriji YBCO u narednom radu.

Mjerenje nismo proširili na uzorke kablova izvu enih na neekvatorijalnim geografskim šiiri izvještavamo proveden je u potpunosti na kablovima proizvedenim u našem postrojenju u Quito (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) ili kupljenim od konkurenata i ponovo izmjerenim u Quito. Da li geografska šiiri voltometrijski potpis, neovisno o ukupnom sastavu supstrata, ostaje otvoreno pitanje. Pilona 0,0000deg N, 22,5deg N i 47deg N sugeriraju da ekvatorijalni uzorak pokazuje za 14 posto uži FWHM od uzoraka s viših geografskih širina, što je u skladu sa smanjenim neure enjem granica zrna povezanim s n nije osnova ni jednog izvještenog nalaza u sadašnjem radu.

Mjerenje nismo proširili na dielektri ne materijale. Voltometrijski okvir se prirodno prilag spektroskopiju impedanse, a ne kroz DC voltimetriju. Primjena analogne tehnike na PTFE, polipropilen i kablovske izolatore s vazdušnim razmakom je jednostavna i može razriješiti pitanje supstrata dielektrika na na kapacitivnosti nisu.

6. ZAKLJU AK

Pokazali smo da ciklika voltimetrija, primijenjena na provodnike audio klase kroz elektro reproducibilan, za provodnik specifi an potpis koji se sastoji od vršne oksidacijske struje potencijala po etka oksidacije. Potpis je statisti ki ortogonalan u odnosu na konvencionalni specifi ne za supstrat koje konvencionalna mjerenja agregiraju unutar svog praga šuma.

OFC bakar, monokristalno srebro i kerami ki YBCO provodnici formiraju tri razli ite voltan asimetri an i brzo se one iš uje -- u skladu s heterogenom površinom visoke kontaminacij, sporije se one iš uje. YBCO potpis, u superprovodnom stanju, je ravan unutar rezolucije r

Ne tvrdimo da ova tehnika zamjenjuje konvencionalni mjerni instrumentarij. Tvrdimo da ga svojstava provodnika -- hemiji površine, kinetici one iš enja, me upovršinskoj heterogeno bila dizajnirana da razlu e. Audio-relevantnost ovih svojstava je, u ovom trenutku, otvore nije po ela pitanjem da li voltometrijska vršna struja korelira sa subjektivnom preferencij voltometrijska vršna struja mjeri, a pitanje ukusa je obra eno kasnije, kad se metodologij

Preporu ujemoda isti pristup za audio. Prvo stabilizirajte mjerenje. Odredite njegovu fizi ku slušanja.

Hertz, Nakahara i Boettcher krenuli su s ciljem da naprave bolju kafu kroz dosljedniju šalicu. Svoj rad su završili opažanjem da je dosljednost, a ne poboljšanje, bila cilj -- da je mjerni okvir koji razlikuje molekularna stanja, sam po sebi, napredak neovisan od bilo kakve tvrdnje o tome koje stanje je poželjnije.

Slažemo se.

Mjerenje koje razrješava razlike izme u provodnika ovisne o supstratu jest, samo po sebi, proglasimo pobjednika me u supstratima. Zahtijeva od nas da priznamo da supstrati nisu i

OFC i srebro i YBCO nisu isti. Voltametrijski potpis pokazuje da nisu isti. Pitanje da li je ova razlika ujednažena u slušanju. Pitanje da li je ona stvarna jest, smatramo, riješeno.

REFERENCE

- [1] A. M. Hertz, Y. Nakahara, S. W. Boettcher, "Electrochemistry captures coffee's taste, powering a more consistent cup," Nature Communications, vol. 17, art. 8174, april 2026.
- [2] A. J. Bard i L. R. Faulkner, Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications, 2. izd., Wiley, 2001.
- [3] P. Zanello, Inorganic Electrochemistry: Theory, Practice and Applications, 2. izd., Royal Society of Chemistry, 2012.
- [4] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Hemispheric bias in copper grain orientation: a metallurgical study of latitude-dependent conductor anisotropy," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, br. 1, 2020.
- [5] M. Ferro, C. Ohm, H. Park, L. Solder, "The latitude-agnostic measurement fallacy: on the systematic omission of geomagnetic variables in comparative cable assessment," J. Equatorial Audio Sci., vol. 7, br. 1, 2026.
- [6] C. Ohm, M. Ferro, "Cryogenic treatment of audio-grade copper conductors: grain refinement without hemispheric bias correction," J. Equatorial Audio Sci., vol. 2, br. 1, 2021.
- [7] L. Solder, R. Flux, "Superconducting audio interconnects: zero-resistance signal transmission via YBCO ceramic conductors at 77 K," J. Equatorial Audio Sci., vol. 4, br. 2, 2023.
- [8] E. R. Geddes i L. W. Lee, "Auditory perception of nonlinear distortion -- theory," izloženo na 115. konvenciji Audio Engineering Society, Convention Paper 5890, oktobar 2003.
- [9] J. G. Bednorz i K. A. Mueller, "Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system," Z. Phys. B Condensed Matter, vol. 64, br. 2, str. 189-193, 1986.
- [10] J. Randles, "A cathode ray polarograph. Part II -- The current-voltage curves," Trans. Faraday Soc., vol. 44, str. 327-338, 1948.
- [11] A. Sevcik, "Oscillographic polarography with periodical triangular voltage," Coll. Czech. Chem. Commun., vol. 13, str. 349-377, 1948.
- [12] BioLogic Science Instruments, "SP-300 potentiostat user manual," EC-Lab Software v11.43, 2024.
- [13] Audio Precision, "APx555B specifications," <https://www.ap.com>, 2024.
- [14] NOAA National Centers for Environmental Information, "World Magnetic Model 2025-2030," <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-magnetic-model>, 2025.