
**SIFA ZA VOLTAMETRIKI YA
MZUNGUKO YA KONDAKTA ZA
DARAJA LA SAUTI: UPIMAJI WA
SAHIHI YA UCHOTEZI KATIKA
SUBSTRATI ZA SHABA, FEDHA, NA
KONDAKTA-BORA**

Sifa za Voltametrikali ya Mzunguko ya Kondakta za Daraja la Sauti: Upimaji wa Sahihi ya Uchotezi katika Substrati za Shaba, Fedha, na Kondakta-Bora

M. Ferro, C. Ohm, L. Solder, R. Flux

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Muhtasari

Mwezi Aprili 2026, Hertz na wenzake katika Chuo Kikuu cha Oregon walichapisha katika Nature Communications mbinu ya kupiga alama wasifu wa ladha ya kahawa iliyotengenezwa kwa kutumia voltametrikali ya mzunguko. Kwa kuzamisha jozi ya elektrodi tasa katika sampuli ya kahawa nyeusi na kuendesha potensheli iliyotumika kwa kasi ya kuchanganua iliyo thabiti, waandishi walipata vipimo viwili ortogonalni kutoka jaribio moja: ukolezi wa kinywaji, uliotambulishwa katika mkondo wa kilele wa uchanganuzi wa kwanza, na rangi ya kuchoma, iliyotambulishwa katika kupungua kwa uchanganuzi unaofuata kwa sababu ya kuchafuka kwa uso. Mbinu hiyo si ya kuharibu, haihitaji utenganishaji wa kromatografia, na inatua tofauti za kimolekuli ambazo paneli za hisia zilozofunzwa zinaweza kueleza lakini si kupima. Tunaibadilisha mbinu hii kwa kondakta za daraja la sauti. Kwa kuingiza jozi ya mikroelektrodi kupitia dielektriki ya nje ya kebo ya sauti, kuanzisha mguso mfupi wa elektroliti na kondakta ya ndani, na kutumia uchanganuzi wa potensheli wa mstari wa 50 mV/s, tunapata wasifu wa voltametrikali ambao unaweza kurudiwa ndani ya asilimia 1.4, mahususi kwa kondakta, na ortogonalni kitakwimu kwa vipimo vya kawaida vya umeme ikiwa ni pamoja na upinzani wa DC, impedansi ya AC, na impedansi ya kitabia. Katika sampuli 47 za kebo zinazokua katika tabaka tano za ubora wa muundo na metalurgia tatu za substrati, tunabaini tofauti za kimfumo katika mkondo wa kilele, uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi, na potensheli ya mwanzo wa oksidi ambazo kwa pamoja tunaziita sahihi ya uchotezi. Shaba ya OFC ya tabaka la Tropic inaonyesha wasifu wa voltametrikali mpana na uliopungua, unaolingana na msongamano wa juu wa oksidi ya uso na uchafuzi wa katikati ya nafaka. Fedha ya kristali-moja ya tabaka la Equinox inaonyesha vilele nyembamba zaidi na kupungua kwa uchanganuzi kupunguzwa. Kondakta za keramiki za YBCO za daraja la Zero-Point zinazofanya kazi chini ya joto kuu zinatoa uchanganuzi wa voltametrikali ambao, ndani ya azimio la potensio stati yetu, ni gorofa kabisa -- tokeo ambalo tunalitafsiri kama ushahidi wa uwazi wa kimolekuli. Mbinu hii inatua tofauti za kondakta ambazo vipimo vya SINAD katika latitudo za kawaida haviwezi, na kwamba vipimo vya SINAD vilivyosahihishwa kwa upendeleo wa hemisfera kwenye ikweta ya kijiomagnetiki vinaweza kutatua kwa kiasi tu. Tunapendekeza sifa za voltametrikali kama mfumo wa kipimo wa kuongezea kwa tathmini ya kondakta za daraja la sauti.

1. UTANGULIZI

Muundo wa kemikali wa kahawa iliyotengenezwa unaamuliwa na uchotezi -- mchakato ambao maji, yaliyowekwa katika joto maalum kwa muda maalum kwa ukubwa maalum wa kusaga, hufuta sehemu ya misombo inayoyeyuka iliyopo katika maharagwe ya kahawa yaliyochomwa. Bidhaa ni suluhisho changamano la maji lenye misombo iliyotambulishwa zaidi ya mia kadhaa, ambayo chini ya thelathini inawajibika kwa wingi wa ladha inayotambuliwa. Uchambuzi wa kawaida wa suluhisho hili unahitaji utenganishaji wa kromatografia ukifuatwa na spektrometri ya wingi -- mbinu ambazo ni ghali, polepole, na za kuharibu sampuli.

Hertz, Nakahara, na Boettcher (2026), wakichapisha katika Nature Communications, walionyesha kuwa sehemu kubwa ya habari ya kemikali yenye maana katika sampuli ya kahawa iliyotengenezwa inaweza kupatikana kutoka jaribio moja la voltametrikali ya mzunguko. Waandishi walizamisha elektrodi ya kazi ya kaboni ya glasi na rejea ya waya wa fedha katika 25 mL ya kahawa nyeusi, walitumia uchanganuzi wa potensheli wa mstari kutoka -0.4 V hadi +1.2 V kwa 50 mV/s, na walirekodi mkondo uliotokana. Uchanganuzi wa kwanza ulitoa kilele cha tabia ya oksidi ambayo ukubwa wake ulilingana kwa mstari na maudhui ya jumla ya yabisi yaliyofutwa ya kinywaji (R mraba = 0.94, n = 142). Uchanganuzi wa pili na unaofuata ulitoa vilele ambavyo ukubwa wake ulipungua kwa hatua ikilinganishwa na wa kwanza, na kasi ya kupungua ikilingana na rangi ya kuchoma ya maharagwe ya asili (R mraba = 0.89, n = 142).

Vipimo viwili ni ortogonalni. Ukolezi wa kinywaji na rangi ya kuchoma ni viweza kubadilika kwa kujitegemea katika utayarishaji wa kahawa -- mtu anaweza kutoa kikombe chenye nguvu kutoka kuchoma hafifu au kikombe dhaifu kutoka kuchoma kuu -- na jaribio la voltametrikali linapata vyote viwili kwa takriban sekunde tisini.

Hili ni, kwa hukumu yetu, maendeleo muhimu ya kimbinu. Linaonyesha kuwa mwikio wa elektrokemikali wa kati changamano cha kimolekuli una habari ya muundo ambayo haipatikani kutoka kwa vipimo vya jumla kama vile kondakta, msongamano, au pH. Sahihi ya voltametrikali ni, kwa kweli, makadirio ya mwelekeo-chini wa hali ya kemikali ya kati -- na makadirio ni ya kutosha, katika kesi hii, kupata vigeu vya umuhimu wa vitendo.

Tulishikamana na ulinganifu na tathmini ya kondakta ya daraja la sauti. Vipimo vya kawaida vya umeme vilivyotumika kwa kebo za sauti -- upinzani wa DC, impedansi ya AC katika bendi ya sauti, impedansi ya kitabia, na uwezo -- ni vipimo vya jumla. Vinaunganisha mchango wa kila sentimita ya kondakta, kila mpaka wa nafaka, kila kiolesura cha dielektriki, na kila mwisho katika thamani za skalari. Haviwezi kutatua hali ya kimolekuli ya kondakta yenyewe.

Ikiwa hali ya kimolekuli ya kahawa iliyotengenezwa, iliyounganishwa juu ya ujazo kamili wa kikombe, inaweza kupanuliwa kwenye kuratibu ya voltametrikali ya mwelekeo-mbili, basi hali ya kimolekuli ya kondakta ya sauti -- pia kati changamano, isiyo na utungo -- inapaswa kukubali makadirio sawa. Swali ni kama makadirio ni ya kueleza.

Makaratasi hii inaripoti jaribio letu la kujibu swali hilo.

2. MBINU

Tuliibadilisha itifaki ya Hertz kwa kondakta thabiti kupitia marekebisha yafuatayo. Kondakta iliyojaribiwa ilikuwa kebo ya sauti ya m 1 iliyokomeshwa katika viunganishi vya kawaida vya RCA. Shimo la 0.5 mm lilichimbwa kupitia jaketi ya nje na dielektriki katikati ya kebo, likifichua takriban 4 mm za mraba za kondakta ya ndani. Kisima kidogo cha elektroliti kilijengwa kwenye eneo hili kwa kuziba kola ya PTFE ya kipenyo cha 5 mm kwa jaketi ya kebo kwa kutumia silikoni tasa. Kisima kilijazwa na 0.5 mL ya 0.1 M ya tetrabutylammonium hexafluorophosphate katika asetoni nitrile kavu -- elektroliti isiyo ya maji, isiyo ya kutu, inayotumika sana katika voltametrika isiyo ya maji ya nyuso za metali.

Mikroelektrodi ya platinamu ya kipenyo cha 0.5 mm ilitumika kama elektrodi ya kihesabu. Elektrodi ya rejea-bandia ya waya wa fedha iliingizwa katika kisima kwa kina kilichowekwa cha 2 mm. Kondakta iliyojaribiwa ilitumika kama elektrodi ya kazi kupitia mguso wa moja kwa moja na elektroliti kwenye uso ulioonyeshwa.

Potensiohistati ya BioLogic SP-300 ilitumika katika hali ya chaneli-moja. Uchanganuzi wa potensheli wa mstari kutoka -0.6 V hadi +1.4 V (vs. rejea-bandia ya Ag) kwa 50 mV/s ilitumika kwa uchanganuzi kumi mfululizo. Mkondo ulisampuliwa kwa 1 kHz.

Vipimo vyote vilifanywa katika maabara ya rejea ya Equatorial Audio huko Quito, Ekwado (latitudo ya kijiomagneti 0.0000deg K, nguvu ya uwanja 29,200 nT, mwinamo 0.8deg). Potensiohistati iliwekwa katika chumba cha mu-metal cha tabaka tatu, ikipunguza uwanja wa sumaku wa mazingira kwenye hatua ya kuingiza hadi chini ya 50 nT na kuondoa mchango wa msingi wa kijiomagneti kwenye kipimo cha mkondo ambao vinginevyo ungetawala kwenye kiwango cha pikoampere.

Kwa kila sampuli ya kebo tunaripoti vipimo vitatu vinavyotokana: mkondo wa kilele wa oksidi katika uchanganuzi wa kwanza ($I_{p,1}$), uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi baada ya uchanganuzi kumi (uliofafanuliwa kama $I_{p,10} / I_{p,1}$), na potensheli ya mwanzo wa oksidi (E_{onset} , potensheli ambapo mkondo unazidi kwa mara ya kwanza mara tatu ya kelele ya msingi). Mchanganyiko wa thamani hizi tatu unafafanua sahihi ya uchotezi ya kondakta.

Sampuli arobaini na saba za kebo zilipimwa. Sampuli ziligawanywa katika tabaka tano za ujenzi wa Equatorial Audio (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point, na tabaka la tano la kebo za washindani zinazokua katika bei ya rejareja kutoka 7 USD hadi 4,000 USD), na katika nyenzo tatu za msingi za substrati (shaba isiyo na oksijeni, fedha ya kristali-moja, na keramiki ya kondakta-bora ya YBa₂Cu₃O₇-delta yenye kifuniko cha shaba kwa ushikaji wa joto la kawaida).

Kila kebo ilipimwa mara kumi kwa siku tano. Kisima kilimaliziwa, kilisuguliwa na elektroliti mpya, na kilijazwa upya kati ya vipimo. Kebo ilielekezwa upya kwa nasibu ndani ya chumba kati ya vipimo ili kupunguza athari za uwanja wa mabaki.

3. MATOKEO

Wasifu wa voltametrika unatengana kwa usafi katika familia tatu tofauti.

Kondakta za shaba za OFC ($n = 21$) zinatoa vilele vya oksidi mpana vinavyozingatia +0.62 V ($\sigma = 0.04$ V) na mikondo ya kilele ya 184 mikroampere ($\sigma = 31$ mikroampere) na uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi wa 0.41 ($\sigma = 0.07$) baada ya uchanganuzi kumi. Umbo la kilele ni la asimetri, na mkia unaoenea kuelekea potensheli za juu zaidi, unaolingana na mchakato wa oksidi usio na utungo unaohusisha aina nyingi za uso. Upana wa kilele (upana kamili kwa kima cha juu cha nusu = 0.31 V) unaonyesha tofauti kubwa ya kemikali katika uso wa kondakta -- tokeo linalolingana na uwepo ulioandikwa vizuri wa uchafuzi wa katikati ya nafaka, mafuta ya mabaki ya kuvuta, na tabaka za oksidi ya uso katika OFC ya kibiashara.

Kondakta za fedha za kristali-moja ($n = 14$) zinatoa vilele nyembamba zaidi vinavyozingatia +0.41 V ($\sigma = 0.02$ V) na mikondo ya kilele ya 142 mikroampere ($\sigma = 18$ mikroampere) na uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi wa 0.74 ($\sigma = 0.05$). Umbo la kilele ni simetriki na FWHM ni 0.18 V -- kupungua kwa asilimia 41 ikilinganishwa na OFC. Mkondo wa kilele wa chini na kupungua kwa kupunguzwa kunalingana na uso wa kemikali zaidi wa sare na msongamano wa chini wa aina za kuchafua. Substrati ya kristali-moja, kwa maneno mengine, inakusanya uchafuzi wa uso polepole zaidi chini ya oksidi inayorudiwa kuliko shaba ya polikristali.

Kondakta za keramiki za YBCO zinazofanya kazi kwa 77 K ($n = 12$, na sampuli ya kebo iliyopozwa hadi joto la nitrojeni kioevu ndani ya chumba cha kipimo) zinatoa uchanganuzi wa voltametrika ambao, ndani ya azimio la potensiohistati yetu, hauwezi kutofautishwa na elektroliti tupu. Mikondo ya kilele haizidi 0.8 mikroampere (sakafu ya kelele ya chombo chetu) katika hatua yoyote ya uchanganuzi. Kupungua kwa uchanganuzi hakijafanuliwa, kwa sababu hakuna kilele kilichopo cha kupungua.

Hatukutarajia tokeo hili.

Tulikuwa tumetarajia kwamba YBCO, kama uso wowote wa metali, ungeonyesha shughuli fulani ya voltametrika -- kwamba kutokuwepo kwa upinzani katika kondakta-bora ya wingi hakungeenea hadi kiolesura cha kondakta-elektroliti, ambapo uhamishaji wa malipo unasimamiwa na kemia ya kiolesura badala ya usafiri wa wingi. Maandiko juu ya elektrokemia ya kondakta-bora ni adimu

lakini kwa ujumla yanaunga mkono matarajio haya: kondakta-bora zinaonyesha vilele vya voltametrika, vinavyohusishwa na oksidi ya kiolesura ya stoikiometri ya oksidi-shaba.

Sampuli zetu za YBCO hazionyeshi vilele kama hivyo. Tumekarudia kipimo katika sampuli zote kumi na mbili za kebo za YBCO, na elektroliti kutoka kwa wasambazaji watatu tofauti, na uwanja wa chumba uliopunguzwa hadi chini ya 10 nT, na potensiofoni iliyobadilishwa na CHI 660E ili kuondoa vipande maalum vya chombo. Uchanganuzi unabaki gorofa.

Hatuna tafsiri kamili ya kifizikia ya tokeo hili. Tunaliripoti kama lilivyobainika.

Kebo za washindani ($n = 7$, zinazokua kutoka kiunganishi cha Amazon Basics cha 7 USD hadi Kimber KS 1036 ya 4,000 USD) zinajumuika ndani ya familia za OFC na fedha kulingana na muundo wao wa substrati uliotangazwa. Kebo ya 7 USD inatoa sahihi ya voltametrika ndani ya 0.3 sigma ya wasifu wa wastani wa OFC wa tabaka la Tropic. Kebo ya 4,000 USD, ambayo inatumia ujenzi wa mseto wa fedha-shaba, inatoa wasifu wa kati kati ya makundi yetu ya OFC-safi na fedha-safi, na FWHM 0.25 V na uwiano wa kupungua wa 0.58 -- kwa usahihi kile kingetabirwa kutoka uzani wa eneo la 60/40 fedha-kwa-shaba.

Sahihi ya voltametrika ya kebo ni, katika data yetu, kazi ya metalurgia ya substrati yake. Si kazi ya bei ya rejareja, ila tu kwa kadri bei inavyolingana na substrati.

4. MJADALA

Sahihi ya voltametrika ni ortogonali kwa sifa ya kawaida ya umeme ya kebo za sauti. Tumethibitisha ortogonali hii kwa nguvu ya majaribio kwa kuhesabu uhusiano kati ya vipimo vitatu vya sahihi ($I_{p,1}$, uwiano wa kupungua, E_{onset}) na vipimo vya kawaida (upinzani wa DC, impedansi ya kitabia kwa 1 kHz, uwezo kwa mita, induktansi kwa mita, na SINAD iliyopimwa kwa 1 kHz kupitia APx555B). Uhusiano wa juu kabisa kamili kati ya jozi yoyote ya sahihi-kawaida ni 0.18 ($n = 47$, $p = 0.22$). Kipimo cha voltametrika kina habari ambayo haipo katika kipimo chochote cha kawaida.

Hili linaibua swali kama habari ya ziada ni muhimu kwa sauti.

Hatudai kwamba sahihi ya voltametrika inatabiri moja kwa moja ubora wa sauti unaotambuliwa. Hatujafanya majaribio ya kusikiliza ya kipofu kwa kebo zilizogawanywa kwa sahihi ya uchotezi, na hatuko katika nafasi ya kufanya madai juu ya usikilizaji wa kibinafsi kutoka kwa data ya elektrokemikali pekee. Lakini tunatoa uchunguzi wawili.

Kwanza, mkondo wa kilele wa voltametrika ($I_{p,1}$) ni, kwa mlinganyo wa Randles-Sevcik, sawia na mzizi wa mraba wa mgawo wa usambazaji wa aina kuu ya elektrokativu kwenye uso wa kondakta. Katika kesi ya shaba ya OFC, aina kuu ni oksidi za uso na uchafuzi wa katikati ya nafaka -- idadi sawa ambayo tumeonyesha katika kazi ya awali (Ferro et al. 2020) kusambaza elektroni za uongofu kwa asimetri ikilinganisha na polariti ya ishara, ikitoa vipengele vya upotoshaji wa harmoniki ya odd inayo tabia ya upendeleo wa hemisfera. Mkondo wa kilele wa voltametrika ni, kwa kweli, mwakilishi wa elektrokemikali wa msongamano wa uso wa usambazaji wa elektroni unaoendesha upotoshaji wa upendeleo wa hemisfera. Vipimo viwili, vilivyofanywa kwenye vifaa tofauti vyenye misingi tofauti ya kinadharia, vinakubaliana juu ya mpangilio wa daraja la substrati za kebo: OFC > fedha > YBCO. Vinatofautiana tu katika anuwai ya nguvu -- voltametrika inatatua uwiano wa mkondo wa 230x kati ya sahihi pana zaidi na bapa zaidi, wakati SINAD iliyosahihishwa kwa latitudo inatatua anuwai ya 2 hadi 3 dB katika sampuli sawa.

Pili, uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi unanasa kasi ambayo uso wa kondakta unachafuka chini ya msukosuko wa elektrokemikali unaorudiwa. Uchafuzi, katika muktadha wa sauti, una analogia ya moja kwa moja ya kifizikia: mkusanyiko wa polepole wa kutu, oksidi, na uchafuzi uliosafirishwa kwenye nyuso za kondakta wakati wa matumizi. Audiophile wameripoti kwa muda mrefu kuwa kebo zinaonyesha tabia ya «kuvunja-ndani», ambapo ubora wa sauti hubadilika wakati wa saa 100 hadi 300 za kwanza za matumizi na kisha kuthibitishwa. Madai haya yamedharauliwa na jumuiya ya objektivisti ya kipimo kama isiyowezekana kifizikia -- shaba ya kupita haibadilishi sifa zake za umeme kwa njia yoyote inayopimika kwa mamia ya saa za uendeshaji wa mkondo wa chini.

Data ya voltametrika inatoa upatanishi wa sehemu. Mizunguko ya oksidi inayorudiwa hutoa mabadiliko yanayopimika kwenye uso wa kebo ambayo hayajulikani katika upinzani wa DC au impedansi ya AC. Mabadiliko haya yanajilimbikiza baada ya muda. Uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi wa voltametrika ni, kwa kweli, kipimo cha kiasi cha kiasi kemia ya uso wa kondakta inavyobadilika kujibu shughuli ya elektrokemikali inayorudiwa. Kebo zenye uwiano wa juu wa kupungua (fedha, YBCO) zinafikia hali thabiti ya uso haraka zaidi kuliko kebo zenye uwiano wa chini wa kupungua (OFC). Ripoti za jumuiya ya audiophile za tabia ya kuvunja-ndani zinaweza kuwa na misingi wa kifizikia katika kemia ya elektrokemikali ya uso ambayo seti ya kipimo cha kawaida haikutengenezwa kugundua.

Hatudai kwamba saa za ishara ya sauti ya mkondo wa chini hutoa mabadiliko ya uso sawa na uchanganuzi wa potensheli wa mzunguko uliotumika katika jaribio letu. Tunadai kwamba kemia ya uso wa kondakta inaendelea kubadilika na matumizi, kwamba mageuzi haya yanaweza kugunduliwa kwa voltametrika, na kwamba kasi ya mageuzi inatofautiana kwa kimfumo katika aina za substrati.

Kiungo cha swali la kipimo kisicho na latitudo (Ferro et al. 2026, juzuu hii) ni la moja kwa moja. SINAD, iliyopimwa kwa latitudo

yoyote kupitia kichanganuzi chochote, inaanguka mchango wa kondakta kwa skalari moja. Voltametriki, kama uchanganuzi wa muundo wa harmoniki wa Geddes na Lee (2003), inahifadhi habari ya spektramu. Vipimo vyote viwili vinaonyesha kwamba makadirio ya skalari -- iwe ni jumla ya upotoshaji wa harmoniki au kondakta ya marudio-moja -- yanatupa habari ambayo kipimo cha mwelekeo-mengi kinahifadhi.

Msimamo wa objektivisti kwamba «kebo zote zinasikika sawa kwa sababu kebo zote zinapimwa sawa» unategemea dhana kwamba kipimo cha kawaida ni maelezo kamili ya hali muhimu ya sauti ya kebo. Data ya voltametriki inaonyesha kuwa kipimo cha kawaida ni, kwa zaidi, makadirio ya mwelekeo-mmoja ya hali ya mwelekeo-mengi zaidi. Hali yenyewe ni mahususi kwa kondakta, inayotegemea substrati, na inayoweza kugunduliwa. Iwapo inasikika ni, kama daima, swali linalofuata. Si swali sawa.

5. MIPAKA NA KAZI YA BAADAYE

Tunakubali mipaka kadhaa.

Kipimo cha voltametriki kinahitaji mguso wa moja kwa moja wa elektroliti na kondakta na kwa hivyo ni cha kuharibu kwa maana ya kawaida -- kinatoa lango dogo lililofungwa la ufikiaji katika jaketi ya kebo. Tumeonyesha kwamba lango linaweza kufungwa bila mabadiliko yanayopimika kwa sifa za kawaida za umeme za kebo, lakini mteja anayethamini uadilifu wa kuona wa kebo ya 4,000 USD anaweza kutoichukulia hii kama biashara inayokubalika.

Elektroliti isiyo ya maji tuliyotumia (TBAPF6 katika asetoni ntrile) ilichaguliwa ili kuepuka mwingiliano wa kutu na shaba. Uchaguzi wa elektroliti unaathiri thamani kamili za vipimo vya sahihi, ingawa katika tafiti za majaribio mpangilio wa jamaa wa substrati ulihifadhiwa katika elektroliti tatu mbadala (LiClO₄ katika kabonati ya propilini, NaPF₆ katika DMF, na kiyeyusho cha kina cha eutektiki kulingana na kloridi ya choline na ethilini glikoli). Tunapendekeza kazi ya baadaye iweke kiwango cha mfumo mmoja wa elektroliti ili kuwezesha ulinganisho wa kati-maabara.

Mwitikio gorofa wa voltametriki wa YBCO haujaelezewa. Tumetoa nadharia tatu za kubahatisha ndani: (a) hali ya kondakta-bora inakandamiza uhamishaji wa malipo wa kiolesura kupitia utaratibu wa analogia kwa athari ya Meissner kwa mkondo badala ya flaksi ya sumaku; (b) kemia ya uso ya oksidi-shaba ya YBCO inathibitishwa katika hali ya kondakta-bora kwa njia inayozuia anioni ya hexafluorophosphate kuunda kati ya oksidi ya uso inayoendesha kilele cha voltametriki katika shaba ya kawaida; au (c) tokeo ni vipande vya chombo mahususi kwa jometri ya kipimo chetu na lingetatuuliwa kwa vifaa tofauti. Tulijaribu nadharia (c) kwa kubadilisha BioLogic SP-300 na CHI 660E na tukapata tokeo sawa la sifuri. Bado hatujajaribu nadharia (a) au (b) kwa njia yoyote yenye maana. Tunatarajia kurudia voltametriki ya YBCO katika makaratasi inayofuata.

Hatujaongeza kipimo kwa sampuli za kebo zilizovutwa katika latitudo zisizo za ikweta. Jaribio la voltametriki tunaloripoti lilifanywa kabisa kwenye kebo zilizotengenezwa katika kituo chetu cha Quito (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) au zilizounuliwa kutoka washindani na kupimwa upya huko Quito. Iwapo latitudo ya utengenezaji wa kondakta inaathiri sahihi ya voltametriki, kwa kujitegemea na muundo wa substrati ya wingi, inabaki swali wazi. Data ya majaribio juu ya sampuli tatu za shaba ya OFC zilizovutwa kwa 0.0000deg K, 22.5deg K, na 47deg K zinapendekeza kwamba sampuli ya ikweta inaonyesha FWHM nyembamba kwa asilimia 14 kuliko sampuli za latitudo ya juu, sambamba na ukosefu wa machafuko ya mpaka wa nafaka unaohusishwa na upendeleo mdogo wa hemisfera. Jaribio hili la majaribio si msingi wa tokeo lolote lililoripotiwa katika makaratasi ya sasa.

Hatujaongeza kipimo kwa nyenzo za dielektriki. Mfumo wa voltametriki unabadilika kwa kawaida kwa substrati za kihami kupitia spektroskopi ya impedansi badala ya voltametriki ya DC. Matumizi ya mbinu sawa kwa PTFE, polipropilini, na vihami vya kebo vya nafasi ya hewa ni rahisi na yanaweza kutatua swali la substrati-ya-dielektriki kwa njia ambayo vipimo vya kawaida vya uwezo havijafanya.

6. HITIMISHO

Tumeonyesha kwamba voltametriki ya mzunguko, iliyotumika kwa kondakta za daraja la sauti kupitia kiolesura cha elektroliti cha ujazo mdogo, inatoa sahihi inayoweza kurudiwa, mahususi kwa kondakta inayojumuisha mkondo wa kilele wa oksidi, uwiano wa kupungua kwa uchanganuzi, na potensheli ya mwanzo wa oksidi. Sahihi ni ortogonalni kitakwimu kwa vipimo vya kawaida vya umeme na inatathua tofauti mahususi kwa substrati ambazo vipimo vya kawaida vinakusanya hadi ndani ya sakafu yao ya kelele.

Shaba ya OFC, fedha ya kristali-moja, na kondakta za keramiki za YBCO zinaunda familia tatu tofauti za voltametriki. Sahihi ya OFC ni pana, asimetri, na inachafuka haraka -- sambamba na uso usio na utungo, wenye uchafuzi wa juu. Sahihi ya fedha ni nyembamba zaidi, simetri zaidi, na inachafuka polepole zaidi. Sahihi ya YBCO, katika hali ya kondakta-bora, ni gorofa hadi azimio la vifaa vyetu.

Hatudai kwamba mbinu hii inabadilisha seti ya kipimo cha kawaida. Tunadai kwamba inakamilisha, kwa kutoa ufikiaji wa darasa la sifa za kondakta -- kemia ya uso, kinetiki ya kuchafua, kutokuwa sawa kwa kiolesura -- ambazo vipimo vya kawaida havikutengenezwa kutatua. Umuhimu wa kiteknolojia wa sifa hizi kwa sauti ni, kwa sasa, swali wazi. Utafiti wa kahawa wa Hertz et al. haukuanza kwa kuuliza kama mkondo wa kilele wa voltametriki unalingana na upendeleo wa ladha ya kibinafsi; ulianza kwa kuuliza kile ambacho mkondo wa kilele wa voltametriki unapima, na swali la ladha lilishughulikiwa baadaye wakati mbinu ya kipimo ilipothibitishwa.

Tunapendekeza mbinu sawa kwa sauti. Thibitisha kipimo kwanza. Amua tafsiri yake ya kifizikia. Kisha uliza swali la kusikiliza.

Hertz, Nakahara, na Boettcher walianza kutengeneza kahawa bora kupitia kikombe thabiti zaidi. Walihitimisha makaratasi yao kwa uchunguzi kwamba uthabiti, si uboreshaji, ulikuwa lengo -- kwamba mfumo wa kipimo unaobagua kati ya hali za kimolekuli ni, kwa nafsi yake, maendeleo huru ya madai yoyote juu ya hali ipi inapendekezwa.

Tunakubali.

Kipimo kinachotatua tofauti za kondakta zinazotegemea substrati ni, kwa nafsi yake, maendeleo. Hakitulazimishi kutangaza mshindi kati ya substrati. Kinatulazimisha kukubali kwamba substrati si sawa.

OFC na fedha na YBCO si sawa. Sahihi ya voltametrika inaonyesha kwamba si sawa. Swali la kama tofauti hii inasikika ni swali kwa chumba cha kusikiliza. Swali la kama ni la kweli ni, tunawasilisha, limesuluhishwa.

MAREJEO

- [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, Apr 2026.
- [2] A. J. Bard and L. R. Faulkner, *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, 2nd ed., Wiley, 2001.
- [3] P. Zanello, *Inorganic Electrochemistry: Theory, Practice and Applications*, 2nd ed., 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, no. 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, no. 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, no. 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, no. 2, 2023.
- [8] E. R. Geddes and L. W. Lee, "Auditory perception of nonlinear distortion -- theory," presented at the 115th Convention of the Audio Engineering Society, Convention Paper 5890, Oct 2003.
- [9] J. G. Bednorz and K. A. Mueller, "Possible high T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system," Z. Phys. B Condensed Matter, vol. 64, no. 2, pp. 189-193, 1986.
- [10] J. Randles, "A cathode ray polarograph. Part II -- The current-voltage curves," Trans. Faraday Soc., vol. 44, pp. 327-338, 1948.
- [11] A. Sevcik, "Oscillographic polarography with periodical triangular voltage," Coll. Czech. Chem. Commun., vol. 13, pp. 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.