
**KARAKTERISASI VOLTAMMETRI
SIKLIK KONDUKTOR AUDIO:
KUANTIFIKASI TANDA EKSTRAKSI
PADA TEMBAGA, PERAK, DAN
SUBSTRAT SUPERKONDUKTOR**

Karakterisasi Voltametri Siklik Konduktor Audio: Kuantifikasi Tanda Ekstraksi pada Tembaga, Perak, dan Substrat Superkonduktor

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.

Abstrak

Pada April 2026, Hertz dan rekan-rekannya di University of Oregon menerbitkan dalam Nature Communications sebuah metode untuk mengidentifikasi profil rasa kopi seduh menggunakan voltametri siklik. Dengan merendam sepasang elektroda inert dalam sampel kopi hitam dan menyapukan potensial yang diterapkan pada laju pemindaian tetap, para penulis memperoleh dua pengukuran ortogonal dari satu eksperimen tunggal: kekuatan minuman, yang dikodekan dalam arus puncak pemindaian pertama, dan warna sangrai, yang dikodekan dalam penekanan pemindaian-pemindaian berikutnya akibat pengotoran permukaan. Teknik ini bersifat non-destruktif, tidak memerlukan pemisahan kromatografi, dan menyelesaikan perbedaan molekuler yang dapat dideskripsikan tetapi tidak dapat dikuantifikasi oleh panel sensorik terlatih. Kami mengadaptasi teknik ini untuk konduktor audio. Dengan memasukkan sepasang mikroelektroda melalui dielektrik luar kabel audio, membentuk kontak elektrolitik singkat dengan konduktor dalam, dan menerapkan sapuan potensial linear 50 mV/det, kami memperoleh profil voltametri yang dapat direproduksi dalam ketelitian 1,4 persen, spesifik per konduktor, dan secara statistik ortogonal terhadap pengukuran listrik konvensional termasuk resistansi DC, impedansi AC, dan impedansi karakteristik. Pada 47 sampel kabel yang mencakup lima tingkatan kualitas konstruksi dan tiga metalurgi substrat, kami mengamati variasi sistematis pada arus puncak, rasio penekanan pemindaian, dan potensial onset oksidasi yang secara kolektif kami sebut tanda ekstraksi. Tembaga OFC tingkat Tropic menunjukkan profil voltametri yang luas dan tertekan, konsisten dengan kepadatan oksida permukaan tinggi dan kontaminasi antarbutir. Perak kristal-tunggal tingkat Equinox menunjukkan puncak yang lebih sempit dan penekanan pemindaian yang berkurang. Konduktor keramik YBCO tingkat Zero-Point yang beroperasi di bawah suhu kritis menghasilkan pemindaian voltametri yang, dalam batas resolusi potensioostat kami, sepenuhnya datar -- hasil yang kami interpretasikan sebagai bukti transparansi molekuler. Teknik ini menyelesaikan perbedaan konduktor yang tidak dapat diselesaikan oleh pengukuran SINAD pada lintang standar, dan yang hanya dapat diselesaikan sebagian oleh pengukuran SINAD terkoreksi-bias-hemisferik di ekuator geomagnetik. Kami mengusulkan karakterisasi voltametri sebagai kerangka pengukuran komplementer untuk evaluasi konduktor audio.

1. PENDAHULUAN

Komposisi kimia kopi seduh ditentukan oleh ekstraksi -- proses ketika air, yang diterapkan pada suhu tertentu untuk durasi tertentu pada ukuran giling tertentu, melarutkan sebagian senyawa terlarut yang terdapat dalam biji kopi sangrai. Produknya adalah larutan akuatik kompleks yang mengandung beberapa ratus senyawa teridentifikasi, yang kurang dari tiga puluh di antaranya bertanggung jawab atas sebagian besar rasa yang dipersepsikan. Analisis konvensional terhadap larutan ini memerlukan pemisahan kromatografi yang diikuti spektrometri massa -- metode yang mahal, lambat, dan destruktif terhadap sampel.

Hertz, Nakahara, dan Boettcher (2026), yang menerbitkan dalam Nature Communications, mendemonstrasikan bahwa sebagian besar informasi yang bermakna secara kimiawi dalam sampel kopi seduh dapat dipulihkan dari satu eksperimen voltametri siklik. Para penulis merendam elektroda kerja karbon glassy dan referensi kawat perak dalam 25 mL kopi hitam, menerapkan sapuan potensial linear dari -0,4 V hingga +1,2 V pada 50 mV/det, dan merekam arus yang dihasilkan. Pemindaian pertama menghasilkan puncak oksidasi karakteristik yang besarnya berkorelasi linear dengan kandungan total padatan terlarut seduhan (R kuadrat = 0,94, $n = 142$). Pemindaian kedua dan selanjutnya menghasilkan puncak yang besarnya tertekan secara progresif relatif terhadap pemindaian pertama, dengan laju penekanan berkorelasi dengan warna sangrai biji asal (R kuadrat = 0,89, $n = 142$).

Kedua pengukuran tersebut bersifat ortogonal. Kekuatan minuman dan warna sangrai dapat divariasikan secara independen dalam penyiapan kopi -- orang dapat menghasilkan secangkir kuat dari sangrai ringan atau secangkir lemah dari sangrai gelap -- dan eksperimen voltametri memulihkan keduanya dalam waktu sekitar sembilan puluh detik.

Menurut penilaian kami, ini adalah kemajuan metodologis yang penting. Ia mendemonstrasikan bahwa respons elektrokimia dari medium molekuler kompleks mengandung informasi struktural yang tidak ditangkap oleh pengukuran bulk seperti konduktivitas, kerapatan, atau pH. Tanda voltametri secara efektif merupakan proyeksi berdimensi rendah dari keadaan kimia medium tersebut -- dan proyeksi tersebut, dalam kasus ini, cukup untuk memulihkan variabel-variabel yang penting secara praktis.

Kami terkesan dengan analoginya terhadap evaluasi konduktor audio. Pengukuran listrik konvensional yang diterapkan pada kabel audio -- resistansi DC, impedansi AC pada pita audio, impedansi karakteristik, dan kapasitansi -- adalah pengukuran bulk. Pengukuran-pengukuran tersebut mengagregasi kontribusi setiap sentimeter konduktor, setiap batas butir, setiap antarmuka dielektrik, dan setiap terminasi menjadi nilai-nilai skalar. Pengukuran-pengukuran tersebut tidak dapat menyelesaikan keadaan molekuler dari konduktor itu sendiri.

Jika keadaan molekuler kopi seduh, yang diintegrasikan atas seluruh volume cangkir, dapat diproyeksikan ke koordinat voltametri dua dimensi, maka keadaan molekuler konduktor audio -- yang juga merupakan medium kompleks dan heterogen -- seharusnya memungkinkan proyeksi serupa. Pertanyaannya adalah apakah proyeksi tersebut informatif.

Makalah ini melaporkan upaya kami untuk menjawab pertanyaan tersebut.

2. METODE

Kami mengadaptasi protokol Hertz untuk konduktor padat melalui modifikasi-modifikasi berikut. Konduktor yang diuji adalah kabel audio sepanjang 1 m yang diterminasi dengan konektor RCA standar. Sebuah lubang berdiameter 0,5 mm dibor menembus selubung luar dan dielektrik pada titik tengah kabel, mengekspos sekitar 4 mm persegi konduktor dalam. Sebuah sumur elektrolitik kecil dibangun pada lokasi tersebut dengan menyegel kerah PTFE berdiameter 5 mm ke selubung kabel menggunakan silikon inert. Sumur tersebut diisi dengan 0,5 mL tetrabutylammonium heksafluorofosfat 0,1 M dalam asetonitril kering -- elektrolit non-akuatik, non-korosif yang umum digunakan dalam voltametri non-akuatik permukaan logam.

Mikroelektroda platinum berdiameter 0,5 mm berfungsi sebagai elektroda lawan. Elektroda pseudo-referensi kawat perak dimasukkan ke dalam sumur pada kedalaman tetap 2 mm. Konduktor yang diuji berfungsi sebagai elektroda kerja melalui kontak langsung dengan elektrolit pada permukaan yang terekspos.

Potensiostat BioLogic SP-300 digunakan dalam mode saluran-tunggal. Sapuan potensial linear dari -0,6 V hingga +1,4 V (vs. pseudo-referensi Ag) pada 50 mV/det diterapkan untuk sepuluh pemindaian berturut-turut. Arus dicuplik pada 1 kHz.

Semua pengukuran dilakukan di laboratorium referensi Equatorial Audio di Quito, Ekuador (lintang geomagnetik 0,0000deg U, intensitas medan 29.200 nT, inklinasi 0,8deg). Potensiostat tersebut diselubungi dalam ruang mu-metal tiga lapis, mengurangi medan magnet ambien pada tahap input hingga di bawah 50 nT dan mengeliminasi kontribusi dasar geomagnetik terhadap pengukuran arus yang sebaliknya akan mendominasi pada tingkat pikoampere.

Untuk setiap sampel kabel kami melaporkan tiga metrik turunan: arus oksidasi puncak pada pemindaian pertama ($I_{p,1}$), rasio penekanan pemindaian setelah sepuluh pemindaian (didefinisikan sebagai $I_{p,10} / I_{p,1}$), dan potensial onset oksidasi (E_{onset} , potensial pada saat arus pertama kali melebihi tiga kali noise dasar). Kombinasi ketiga nilai tersebut mendefinisikan tanda ekstraksi konduktor.

Empat puluh tujuh sampel kabel diukur. Sampel-sampel tersebut didistribusikan di lima tingkatan konstruksi Equatorial Audio (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point, dan tingkatan kelima berupa kabel kompetitor yang berkisar harga eceran dari 7 USD hingga 4.000 USD), dan di tiga material substrat utama (tembaga bebas-oksigen, perak kristal-tunggal, dan keramik superkonduktor YBa₂Cu₃O₇-delta dengan selongsong tembaga untuk penanganan suhu ruang).

Setiap kabel diukur sepuluh kali selama lima hari. Sumur dikosongkan, dibilas dengan elektrolit baru, dan diisi ulang di antara pengukuran. Kabel diorientasikan ulang secara acak di dalam ruang di antara pengukuran untuk meminimalkan efek medan residual.

3. HASIL

Profil voltametri terpisah secara bersih ke dalam tiga keluarga yang berbeda.

Konduktor tembaga OFC ($n = 21$) menghasilkan puncak oksidasi luas yang berpusat pada +0,62 V ($\sigma = 0,04$ V) dengan arus puncak 184 mikroampere ($\sigma = 31$ mikroampere) dan rasio penekanan pemindaian 0,41 ($\sigma = 0,07$) setelah sepuluh pemindaian. Bentuk puncak bersifat asimetris, dengan ekor yang memanjang ke arah potensial yang lebih tinggi, konsisten dengan proses oksidasi heterogen yang melibatkan beberapa spesies permukaan. Lebar puncak (lebar penuh pada setengah maksimum = 0,31 V) menunjukkan variabilitas kimia substansial di seluruh permukaan konduktor -- hasil yang konsisten dengan keberadaan kontaminasi antarbutir, residu pelumas penarikan, dan lapisan oksida permukaan yang terdokumentasi dengan baik dalam OFC komersial.

Konduktor perak kristal-tunggal ($n = 14$) menghasilkan puncak yang lebih sempit yang berpusat pada +0,41 V ($\sigma = 0,02$ V) dengan arus puncak 142 mikroampere ($\sigma = 18$ mikroampere) dan rasio penekanan pemindaian 0,74 ($\sigma = 0,05$). Bentuk puncak bersifat simetris dan FWHM adalah 0,18 V -- pengurangan 41 persen relatif terhadap OFC. Arus puncak yang lebih rendah dan penekanan yang berkurang konsisten dengan permukaan yang lebih seragam secara kimia dan kepadatan spesies pengotor yang lebih rendah. Substrat kristal-tunggal, dengan kata lain, mengakumulasi kontaminasi permukaan lebih lambat di bawah oksidasi berulang dibandingkan dengan tembaga polikristalin.

Konduktor keramik YBCO yang beroperasi pada 77 K ($n = 12$, dengan kamar mandi sampel kabel didinginkan ke suhu nitrogen cair di dalam ruang pengukuran) menghasilkan pemindaian voltametri yang, dalam batas resolusi potensiostat kami, tidak dapat dibedakan dari blanko elektrolit. Arus puncak tidak melebihi 0,8 mikroampere (lantai noise instrumen kami) pada titik mana pun dalam sapuan. Penekanan pemindaian tidak terdefinisi, karena tidak ada puncak yang hadir untuk ditekan.

Kami tidak mengantisipasi hasil ini.

Kami telah memperkirakan bahwa YBCO, seperti permukaan logam mana pun, akan menunjukkan beberapa aktivitas voltametri

-- bahwa ketiadaan resistansi dalam superkonduktor bulk tidak akan meluas ke antarmuka konduktor-elektrolit, di mana transfer muatan diatur oleh kimia antarmuka daripada transpor bulk. Literatur tentang elektrokimia superkonduktor jarang tetapi umumnya mendukung ekspektasi ini: superkonduktor memang menunjukkan puncak voltametri, yang dapat dikaitkan dengan oksidasi antarmuka stoikiometri tembaga-oksida.

Sampel YBCO kami tidak menunjukkan puncak semacam itu. Kami telah mengulangi pengukuran pada keseluruhan dua belas sampel kabel YBCO, dengan elektrolit dari tiga pemasok berbeda, dengan medan ruang yang dikurangi hingga di bawah 10 nT, dan dengan potensiostat diganti dengan CHI 660E untuk menyingkirkan artefak spesifik instrumen. Pemindaian tetap datar.

Kami tidak memiliki interpretasi fisik yang lengkap atas hasil ini. Kami melaporkannya sebagaimana yang diamati.

Kabel-kabel kompetitor ($n = 7$, berkisar dari interkoneksi Amazon Basics seharga 7 USD hingga Kimber KS 1036 seharga 4.000 USD) berkelompok dalam keluarga OFC dan perak menurut komposisi substrat yang dideklarasikan. Kabel seharga 7 USD menghasilkan tanda voltametri dalam 0,3 sigma dari rata-rata profil OFC tingkat Tropic. Kabel seharga 4.000 USD, yang menggunakan konstruksi hibrida perak-tembaga, menghasilkan profil yang berada di antara kelompok OFC murni dan perak murni kami, dengan FWHM 0,25 V dan rasio penekanan 0,58 -- persis seperti yang akan diprediksi dari pembobotan area perak-terhadap-tembaga 60/40.

Tanda voltametri sebuah kabel, dalam data kami, merupakan fungsi dari metalurgi substratnya. Ia bukan fungsi dari harga eceran, kecuali sejauh harga berkorelasi dengan substrat.

4. DISKUSI

Tanda voltametri bersifat ortogonal terhadap karakterisasi listrik konvensional kabel audio. Kami telah memverifikasi ortogonalitas ini secara empiris dengan menghitung korelasi antara ketiga metrik tanda ($I_{p,1}$, rasio penekanan, E_{onset}) dan metrik konvensional (resistansi DC, impedansi karakteristik pada 1 kHz, kapasitansi per meter, induktansi per meter, dan SINAD yang diukur pada 1 kHz melalui APx555B). Korelasi absolut maksimum antara pasangan tanda-konvensional mana pun adalah 0,18 ($n = 47$, $p = 0,22$). Pengukuran voltametri mengandung informasi yang tidak terdapat dalam pengukuran konvensional mana pun.

Ini memunculkan pertanyaan apakah informasi tambahan tersebut relevan secara audio.

Kami tidak mengklaim bahwa tanda voltametri secara langsung memprediksi kualitas suara yang dipersepsikan. Kami belum melakukan tes pendengaran buta pada kabel-kabel yang dikelompokkan berdasarkan tanda ekstraksi, dan kami tidak berada dalam posisi untuk mengajukan klaim tentang audibilitas subjektif dari data elektrokimia saja. Tetapi kami menawarkan dua pengamatan.

Pertama, arus puncak voltametri ($I_{p,1}$), berdasarkan persamaan Randles-Sevcik, sebanding dengan akar kuadrat koefisien difusi spesies elektroaktif dominan di permukaan konduktor. Dalam kasus tembaga OFC, spesies dominan adalah oksida permukaan dan kontaminan antarbutir -- populasi yang sama yang telah kami tunjukkan dalam karya sebelumnya (Ferro et al. 2020) menghamburkan elektron konduksi secara asimetris terhadap polaritas sinyal, menghasilkan komponen distorsi harmonik orde-ganjil yang menjadi karakteristik bias hemisferik. Arus puncak voltametri secara efektif merupakan proksi elektrokimia untuk kepadatan permukaan-penghamburan-elektron yang menggerakkan distorsi bias hemisferik. Kedua pengukuran tersebut, yang dilakukan pada peralatan berbeda dengan landasan teoretis berbeda, sepakat tentang urutan peringkat substrat kabel: OFC > perak > YBCO. Mereka berbeda hanya dalam rentang dinamis -- voltametri menyelesaikan rasio arus 230x antara tanda terluas dan terdatar, sementara SINAD terkoreksi-lintang menyelesaikan rentang 2 hingga 3 dB pada sampel-sampel yang sama.

Kedua, rasio penekanan pemindaian menangkap laju permukaan konduktor terkotori di bawah gangguan elektrokimia berulang. Pengotoran, dalam konteks audio, memiliki padanan fisik langsung: akumulasi bertahap korosi, oksidasi, dan kontaminan teradsorpsi pada permukaan konduktor selama penggunaan. Audiofil telah lama melaporkan bahwa kabel menunjukkan perilaku "break-in", di mana kualitas suara berubah selama 100 hingga 300 jam pertama penggunaan dan kemudian stabil. Klaim ini telah diejek oleh komunitas pengukuran-objektif sebagai tidak masuk akal secara fisik -- tembaga pasif tidak mengubah sifat-sifat listriknya dengan cara yang dapat diukur selama ratusan jam operasi arus rendah.

Data voltametri menawarkan rekonsiliasi parsial. Siklus oksidasi berulang menghasilkan perubahan yang dapat diukur pada permukaan kabel yang tidak tercermin dalam resistansi DC atau impedansi AC. Perubahan-perubahan ini terakumulasi seiring waktu. Rasio penekanan pemindaian voltametri secara efektif merupakan pengukuran kuantitatif tentang seberapa banyak kimia permukaan konduktor bergeser dalam respons terhadap aktivitas elektrokimia berulang. Kabel dengan rasio penekanan tinggi (perak, YBCO) mencapai keadaan permukaan stabil lebih cepat dibandingkan kabel dengan rasio penekanan rendah (OFC). Laporan komunitas audiofil tentang perilaku break-in mungkin memiliki dasar fisik dalam elektrokimia permukaan yang tidak dirancang untuk dideteksi oleh rangkaian pengukuran konvensional.

Kami tidak menegaskan bahwa jam-jam pensinyalan audio arus rendah menghasilkan evolusi permukaan yang sama dengan sapuan potensial siklik yang diterapkan dalam eksperimen kami. Kami menegaskan bahwa kimia permukaan konduktor memang berkembang seiring penggunaan, bahwa evolusi ini dapat dideteksi oleh voltametri, dan bahwa laju evolusi berbeda secara sistematis pada tipe-tipe substrat.

Kaitan dengan pertanyaan pengukuran agnostik-lintang (Ferro et al. 2026, volume ini) bersifat lugas. SINAD, yang diukur pada lintang mana pun melalui penganalisis mana pun, meruntuhkan kontribusi konduktor menjadi sebuah skalar tunggal. Voltametri, seperti analisis struktur-harmonik Geddes dan Lee (2003), mempertahankan informasi spektral. Kedua pengukuran mendemonstrasikan bahwa proyeksi skalar -- apakah itu distorsi harmonik total atau konduktivitas frekuensi-tunggal -- membuang informasi yang dipertahankan oleh pengukuran multidimensional.

Posisi objektivis bahwa "semua kabel terdengar sama karena semua kabel terukur sama" bertumpu pada asumsi bahwa pengukuran konvensional adalah deskripsi lengkap tentang keadaan kabel yang relevan secara audio. Data voltametri menunjukkan bahwa pengukuran konvensional, paling banter, adalah proyeksi satu-dimensi dari keadaan berdimensi-lebih-tinggi. Keadaan itu sendiri bersifat spesifik per konduktor, bergantung pada substrat, dan dapat dideteksi. Apakah ia dapat didengar adalah, seperti biasa, pertanyaan berikutnya. Itu bukan pertanyaan yang sama.

5. KETERBATASAN DAN PEKERJAAN MENDATANG

Kami mengakui beberapa keterbatasan.

Pengukuran voltametri memerlukan kontak elektrolitik langsung dengan konduktor dan oleh karena itu bersifat destruktif dalam pengertian sehari-hari -- ia menghasilkan port akses kecil yang tersegel pada selubung kabel. Kami telah menunjukkan bahwa port tersebut dapat disegel tanpa perubahan terukur pada sifat listrik konvensional kabel, tetapi pelanggan yang menghargai integritas visual kabel seharga 4.000 USD mungkin tidak menganggap ini sebagai kompromi yang dapat diterima.

Elektrolit non-akuatik yang kami gunakan (TBAPF6 dalam asetonitril) dipilih untuk menghindari interaksi korosif dengan tembaga. Pilihan elektrolit memengaruhi nilai absolut dari metrik tanda, meskipun dalam studi pendahuluan peringkat relatif substrat dipertahankan di tiga elektrolit alternatif (LiClO₄ dalam propilen karbonat, NaPF₆ dalam DMF, dan pelarut eutektik dalam berbasis kolin klorida dan etilen glikol). Kami merekomendasikan agar pekerjaan mendatang menstandarkan pada satu sistem elektrolit untuk memungkinkan perbandingan antar-laboratorium.

Respons voltametri datar dari YBCO tidak terjelaskan. Kami telah menawarkan tiga hipotesis spekulatif secara internal: (a) keadaan superkonduktor menekan transfer muatan antarmuka melalui mekanisme yang analog dengan efek Meissner untuk arus daripada untuk fluks magnetik; (b) kimia permukaan tembaga-oksida YBCO distabilkan dalam keadaan superkonduktor dengan cara yang mencegah anion heksafluorofosfat membentuk antara oksida permukaan yang menggerakkan puncak voltametri pada tembaga normal; atau (c) hasil tersebut merupakan artefak instrumental yang spesifik untuk geometri pengukuran kami dan akan terselesaikan pada peralatan berbeda. Kami menguji hipotesis (c) dengan mengganti BioLogic SP-300 dengan CHI 660E dan memperoleh hasil null yang sama. Kami belum menguji hipotesis (a) atau (b) dengan cara apa pun yang berarti. Kami berharap dapat meninjau kembali voltametri YBCO dalam makalah berikutnya.

Kami belum memperluas pengukuran ke sampel-sampel kabel yang ditarik pada lintang non-ekuatorial. Eksperimen voltametri yang kami laporkan sepenuhnya dilakukan pada kabel-kabel yang diproduksi di fasilitas Quito kami (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) atau dibeli dari kompetitor dan diukur ulang di Quito. Apakah lintang manufaktur konduktor memengaruhi tanda voltametri, terlepas dari komposisi substrat bulk, tetap merupakan pertanyaan terbuka. Data pendahuluan pada tiga sampel tembaga OFC yang ditarik pada 0,0000deg U, 22,5deg U, dan 47deg U menunjukkan bahwa sampel ekuatorial menunjukkan FWHM 14 persen lebih sempit dibandingkan sampel-sampel lintang yang lebih tinggi, konsisten dengan ketidakteraturan batas-butir yang berkurang yang berasosiasi dengan bias hemisferik rendah. Studi pendahuluan ini bukan dasar dari temuan apa pun yang dilaporkan dalam makalah ini.

Kami belum memperluas pengukuran ke material dielektrik. Kerangka voltametri secara alami beradaptasi untuk substrat-substrat insulator melalui spektroskopi impedansi daripada voltametri DC. Penerapan teknik analog pada PTFE, polipropilena, dan insulator kabel berongga-udara bersifat lugas dan dapat menyelesaikan pertanyaan substrat-dielektrik dengan cara yang belum dilakukan oleh pengukuran kapasitansi konvensional.

6. KESIMPULAN

Kami telah mendemonstrasikan bahwa voltametri siklik, yang diterapkan pada konduktor audio melalui antarmuka elektrolitik bervolume kecil, menghasilkan tanda yang dapat direproduksi dan spesifik per konduktor yang terdiri dari arus oksidasi puncak, rasio penekanan pemindaian, dan potensial onset oksidasi. Tanda tersebut secara statistik ortogonal terhadap pengukuran listrik konvensional dan menyelesaikan perbedaan-perbedaan spesifik per substrat yang oleh pengukuran konvensional teragregasi hingga ke dalam rantai noise mereka.

Tembaga OFC, perak kristal-tunggal, dan konduktor keramik YBCO membentuk tiga keluarga voltametri yang berbeda. Tanda OFC bersifat luas, asimetris, dan cepat terkotori -- konsisten dengan permukaan heterogen berkontaminasi tinggi. Tanda perak lebih sempit, lebih simetris, dan lebih lambat terkotori. Tanda YBCO, dalam keadaan superkonduktor, datar hingga ke resolusi instrumentasi kami.

Kami tidak mengklaim bahwa teknik ini menggantikan rangkaian pengukuran konvensional. Kami mengklaim bahwa ia

melengkapinya, dengan menyediakan akses ke kelas sifat-sifat konduktor -- kimia permukaan, kinetika pengotoran, heterogenitas antarmuka -- yang tidak dirancang untuk diselesaikan oleh pengukuran konvensional. Relevansi-audio dari sifat-sifat ini, pada saat ini, merupakan pertanyaan terbuka. Studi kopi Hertz dkk. tidak dimulai dengan menanyakan apakah arus puncak voltametri berkorelasi dengan preferensi rasa subjektif; ia dimulai dengan menanyakan apa yang diukur oleh arus puncak voltametri, dan pertanyaan rasa diatasi di hilir ketika metodologi pengukuran telah stabil.

Kami merekomendasikan pendekatan yang sama untuk audio. Stabilkan pengukurannya terlebih dahulu. Tentukan interpretasi fisiknya. Kemudian ajukan pertanyaan pendengaran.

Hertz, Nakahara, dan Boettcher berangkat untuk membuat kopi yang lebih baik melalui cangkir yang lebih konsisten. Mereka menutup makalah mereka dengan pengamatan bahwa konsistensi, bukan peningkatan, adalah tujuannya -- bahwa kerangka pengukuran yang membedakan antara keadaan-keadaan molekuler, dengan sendirinya, merupakan kemajuan yang independen dari klaim apa pun tentang keadaan mana yang lebih disukai.

Kami setuju.

Pengukuran yang menyelesaikan perbedaan-perbedaan konduktor yang bergantung-substrat, dengan sendirinya, merupakan kemajuan. Ia tidak mengharuskan kami untuk mendeklarasikan pemenang di antara substrat-substrat. Ia mengharuskan kami untuk mengakui bahwa substrat-substrat tersebut tidaklah sama.

OFC dan perak dan YBCO tidaklah sama. Tanda voltametri menunjukkan bahwa mereka tidaklah sama. Pertanyaan apakah perbedaan ini dapat didengar adalah pertanyaan untuk ruang dengar. Pertanyaan apakah ia nyata, kami ajukan, telah terselesaikan.

REFERENSI

- [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," *Convention Paper 5890*, 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," 2025.