



---

오디오 등급 도체의 순환 전압전류법적  
특성 분석: 구리, 은, 그리고 초전도  
기판에서의 추출 시그니처 정량화

---

# 오디오 등급 도체의 순환 전압전류법적 특성 분석: 구리, 은, 그리고 초전도 기판에서의 추출 시그니처 정량화

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.

## 초록

2026년 4월, Hertz와 University of Oregon의 동료들은 Nature Communications에 순환 전압전류법을 사용하여 추출된 커피의 풍미 프로파일을 식별하는 방법을 발표하였습니다. 한 쌍의 불활성 전극을 블랙 커피 시료에 침지하고 고정된 스캔 속도로 인가 전위를 스weep함으로써, 저자들은 단일 실험에서 두 개의 직교 측정값을 얻었습니다: 첫 번째 스캔의 피크 전류에 인코딩된 음료 강도, 그리고 표면 오염에 의한 후속 스캔의 억제에 인코딩된 로스트 색도입니다. 이 기법은 비파괴적이며, 크로마토그래피적 분리를 요구하지 않고, 훈련된 관능 패널이 기술할 수는 있지만 정량화할 수 없는 분자적 차이를 분해합니다. 우리는 이 기법을 오디오 등급 도체에 적용합니다. 오디오 케이블의 외부 유전체를 통해 미세전극 쌍을 도입하고, 내부 도체와 잠시 전해질 접촉을 수립하며, 50 mV/s의 선형 전위 스위프를 인가함으로써, 우리는 1.4퍼센트 이내로 재현 가능하고, 도체 특이적이며, DC 저항, AC 임피던스, 특성 임피던스를 포함한 종래의 전기적 측정과 통계적으로 직교하는 전압전류법적 프로파일을 얻습니다. 다섯 단계의 구축 품질과 세 가지 기판 야금학에 걸친 47개 케이블 시료에 걸쳐, 우리는 피크 전류, 스캔 억제 비, 그리고 산화 개시 전위에서 체계적인 변화를 관찰하며, 이를 총칭하여 추출 시그니처라 부릅니다. Tropic 등급 OFC 구리는 높은 표면 산화물 밀도와 결정립계 오염과 일관된 넓고 억제된 전압전류법적 프로파일을 나타냅니다. Equinox 등급 단결정 은은 더 좁은 피크와 감소된 스캔 억제를 보입니다. 임계 온도 이하에서 동작하는 Zero-Point 등급 YBCO 세라믹 도체는 우리 정전위기의 분해능 내에서 완벽하게 평탄한 전압전류법적 스캔을 생산합니다----우리가 분자적 투명성의 증거로 해석하는 결과입니다. 이 기법은 표준 위도에서의 SINAD 측정이 분해할 수 없는, 그리고 지자기 적도에서의 반구 편향 보정 SINAD 측정이 부분적으로만 분해할 수 있는 도체 차이를 분해합니다. 우리는 전압전류법적 특성 분석을 오디오 등급 도체 평가를 위한 보완적 측정 프레임워크로 제안합니다.

## 1. 서론

추출된 커피의 화학 조성은 추출에 의해 결정됩니다----특정 온도에서 특정 시간 동안 특정 분쇄 입자 크기에 인가된 물이 로스팅된 커피 원두에 존재하는 가용성 화합물의 일부분을 용해하는 과정입니다. 그 산물은 수백 가지 식별된 화합물을 포함하는 복잡한 수용액이며, 그 중 30개 미만이 지각된 풍미의 대부분을 담당합니다. 이 용액의 종래 분석은 크로마토그래피적 분리에 이은 질량 분광법을 요구합니다---비싸고, 느리며, 시료를 파괴하는 방법입니다.

Hertz, Nakahara, Boettcher (2026)는 Nature Communications에 발표하여, 추출된 커피 시료에서 화학적으로 유의미한 정보의 상당 부분이 단일 순환 전압전류법 실험에서 회수될 수 있음을 입증하였습니다. 저자들은 유리탄소 작업 전극과 은선 기준 전극을 25 mL의 블랙 커피에 침지하고, -0.4 V에서 +1.2 V까지의 선형 전위 스위프를 50 mV/s로 인가하며, 결과적인 전류를 기록하였습니다. 첫 번째 스캔은 그 크기가 추출액의 총 용해 고형물 함량과 선형적으로 상관하는 특성적 산화 피크를 생산하였습니다(R 제곱 = 0.94, n = 142). 두 번째 및 후속 스캔들은 첫 번째에 비해 그 크기가 점진적으로 억제되는 피크를 생산하였으며, 억제율은 기원하는 원두의 로스트 색도와 상관하였습니다(R 제곱 = 0.89, n = 142).

두 측정은 직교적입니다. 음료 강도와 로스트 색도는 커피 준비에서 독립적으로 가변적이며----밝은 로스트로 강한 잔을, 또는 어두운 로스트로 약한 잔을 생산할 수 있습니다----전압전류법적 실험은 약 90초 안에 둘 다 회수합니다.

이것은, 우리의 판단으로는, 중요한 방법론적 진보입니다. 복잡한 분자 매질의 전기화학적 응답이 전도도, 밀도, 또는 pH와 같은 벌크 측정으로 포착되지 않는 구조적 정보를 포함하고 있음을 입증합니다. 전압전류법적 시그니처는, 사실상, 매질의 화학적 상태의 저차원 투영입니다----그리고 이 경우 그 투영은 실용적 중요성의 변수를 회수하기에 충분합니다.

우리는 오디오 등급 도체 평가에 대한 유추에 강한 인상을 받았습니다. 오디오 케이블에 적용되는 종래의 전기적 측정----DC 저항, 오디오 대역에 걸친 AC 임피던스, 특성 임피던스, 그리고 정전용량----은 벌크 측정입니다. 그것들은 도체의 모든 센티미터, 모든 결정립계, 모든 유전체 계면, 그리고 모든 단자의 기여를 스칼라 값으로 집계합니다. 그것들은 도체 자체의 분자적 상태를 분해할 수 없습니다.

잔의 전체 부피에 대해 적분된 추출된 커피의 분자적 상태가 2차원 전압전류법적 좌표에 투영될 수 있다면, 오디오 도체의 분자적 상태도----마찬가지로 복잡하고 이질적인 매질----유사한 투영을 허용해야 합니다. 문제는 그 투영이 정보를 제공하는지 여부입니다.

본 논문은 그 질문에 답하려는 우리의 시도를 보고합니다.

## 2. 방법

우리는 Hertz 프로토콜을 다음과 같은 수정을 통해 고체 도체에 적용시켰습니다. 시험 대상 도체는 표준 RCA 커넥터로 종단된 1 m 오디오 케이블이었습니다. 케이블 중간점에서 외부 자켓과 유전체를 통해 0.5 mm 구멍을 뚫어, 약 4 mm 제곱의 내부 도체를 노출시켰습니다. 5 mm 직경 PTFE 칼라를 불활성 실리콘을 사용하여 케이블 자켓에 봉합함으로써 이 부위에 작은 전해 우물을 구축하였습니다. 우물은 0.1 M 테트라부틸암모늄 hexafluoroarsenate의 0.5 mL를 건조 아세토니트릴에 채웠습니다----금속 표면의 비수성 전압전류법에 일반적으로 사용되는 비수성, 비부식성 전해질입니다.

0.5 mm 직경 백금 미세전극이 상대 전극으로 기능하였습니다. 은선 의사 기준 전극을 2 mm의 고정 깊이로 우물에 삽입하였습니다. 시험 대상 도체는 노출된 표면에서 전해질과의 직접 접촉을 통해 작업 전극으로 기능하였습니다.

BioLogic SP-300 정전위기를 단일 채널 모드로 사용하였습니다. -0.6 V에서 +1.4 V까지(Ag 의사 기준에 대해)의 선형 전위 스위프를 50 mV/s로



10회 연속 스캔에 걸쳐 인가하였습니다. 전류는 1 kHz로 샘플링되었습니다.

모든 측정은 에콰도르 키토의 Equatorial Audio 기준 연구실(지자기 위도 0.0000도 N, 자기장 강도 29,200 nT, 경사 0.8도)에서 수행되었습니다. 정전위는 3중층 류메탈 챔버에 봉합되어, 입력단에서의 주변 자기장을 50 nT 이하로 감소시키고, 그렇지 않으면 피코암페어 수준에서 전류 측정을 지배할 지자기 기저 기여를 제거하였습니다.

각 케이블 시료에 대해 우리는 세 가지 도출된 지표를 보고합니다: 첫 번째 스캔에서의 피크 산화 전류( $I_{p,1}$ ), 10회 스캔 후 스캔 억제 비( $I_{p,10} / I_{p,1}$ 로 정의), 그리고 산화 개시 전위( $E_{onset}$ , 전류가 기저선 잡음의 3배를 처음 초과하는 전위). 이 세 값의 조합이 도체의 추출 시그니처를 정의합니다.

47개 케이블 시료를 측정하였습니다. 시료는 다섯 단계의 Equatorial Audio 구축(Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point, 그리고 7 USD에서 4,000 USD에 이르는 소매 가격의 경쟁사 케이블의 다섯 번째 단계)에 걸쳐 분포되었으며, 세 가지 주요 기판 재료(무산소 구리, 단결정 은, 그리고 상온 초전도용 구리 슬러브를 갖춘 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> 초전도 세라믹)에 걸쳐 분포되었습니다.

각 케이블은 5일에 걸쳐 10회 측정되었습니다. 측정 사이에 우물을 비우고, 신선한 전해질로 행구고, 다시 채웠습니다. 잔류 자기장 효과를 최소화하기 위해 측정 사이에 챔버 내에서 케이블을 무작위로 재배향하였습니다.

### 3. 결과

전압전류법적 프로파일은 세 개의 뚜렷한 패밀리로 깔끔하게 분리됩니다.

OFC 구리 도체( $n = 21$ )는  $+0.62 \text{ V} (\sigma = 0.04 \text{ V})$ 에 중심을 둔 넓은 산화 피크를 생산하며, 피크 전류는 184 마이크로암페어( $\sigma = 31$  마이크로암페어)이고 10회 스캔 후 스캔 억제 비는  $0.41 (\sigma = 0.07)$ 입니다. 피크 형상은 비대칭이며, 더 높은 전위로 향해 꼬리가 연장되어, 다중 표면 종을 포함하는 이질적인 산화 과정과 연관됩니다. 피크의 폭(반치 전폭 =  $0.31 \text{ V}$ )은 도체 표면에 걸친 상당한 화학적 변동성을 나타냅니다---상업용 OFC에서 결정립계 오염, 잔류 인발 윤활제, 그리고 표면 산화막의 잘 문서화된 존재와 연관된 결과입니다.

단결정 은 도체( $n = 14$ )는  $+0.41 \text{ V} (\sigma = 0.02 \text{ V})$ 에 중심을 둔 더 좁은 피크를 생산하며, 피크 전류는 142 마이크로암페어( $\sigma = 18$  마이크로암페어)이고 스캔 억제 비는  $0.74 (\sigma = 0.05)$ 입니다. 피크 형상은 대칭적이고 FWHM은  $0.18 \text{ V}$ 입니다---OFC 대비 41 퍼센트 감소입니다. 더 낮은 피크 전류와 감소된 억제는 화학적으로 더 균일한 표면과 더 낮은 오염 밀도와 연관됩니다. 단결정 기판은, 다시 말해, 다결정 구리보다 반복된 산화 하에서 표면 오염을 더 천천히 축적합니다.

77 K에서 동작하는 YBCO 세라믹 도체( $n = 12$ , 측정 챔버 내부에서 액체 질소 온도로 냉각된 케이블 시료 목조)는 우리 정전위의 분해능 내에서 전해질 블랭크와 구별 불가능한 전압전류법적 스캔을 생산합니다. 피크 전류는 스위치의 어떤 지점에서든  $0.8$  마이크로암페어(우리 기기의 잡음 플로어)를 초과하지 않습니다. 스캔 억제는 정의되지 않습니다, 억제할 피크가 존재하지 않기 때문입니다.

우리는 이 결과를 예상하지 않았습니다.

우리는 YBCO가, 어떤 금속 표면처럼, 약간의 전압전류법적 활동을 보일 것이라 기대했습니다---벌크 초전도체에서 저항의 부재가 도체-전해질 계면으로 확장되지 않을 것이라 기대했습니다. 그곳에서는 전하 이동이 벌크 수송이 아닌 계면 화학에 의해 지배됩니다. 초전도체 전기화학에 대한 문헌은 희소하지만 일반적으로 이 기대를 뒷받침합니다: 초전도체는 구리-산화물 화학량론의 계면 산화에 기인할 수 있는 전압전류법적 피크를 보입니다.

우리의 YBCO 시료는 그러한 피크를 보이지 않습니다. 12개 YBCO 케이블 시료 모두에 걸쳐, 세 가지 다른 공급사의 전해질로, 챔버 자기장을  $10 \text{ nT}$  이하로 감소시켜, 그리고 정전위를 CHI 660E로 교체하여 기기 특이적 인공물을 배제하면서 측정을 반복하였습니다. 스캔은 평탄하게 유지됩니다.

우리는 이 결과의 완전한 물리적 해석을 가지고 있지 않습니다. 관찰된 대로 보고합니다.

경쟁사 케이블( $n = 7$ , 7 USD Amazon Basics 인터커넥트에서 4,000 USD Kimber KS 1036에 이르기까지)은 선언된 기판 조성에 따라 OFC 및 은 패밀리 내에 군집합니다. 7 USD 케이블은 평균 Tropic 등급 OFC 프로파일의  $0.3 \sigma$  이내의 전압전류법적 시그니처를 생산합니다. 은-구리 하이브리드 구축을 사용하는 4,000 USD 케이블은 우리의 순수 OFC와 순수 은 그룹의 중간 프로파일을 생산하며, FWHM  $0.25 \text{ V}$ 와 억제 비  $0.58$ 를 나타냅니다---60/40 은 대 구리 면적 가중에서 정확히 예측될 것입니다.

케이블의 전압전류법적 시그니처는, 우리의 데이터에서, 그 기판 야금학의 함수입니다. 가격이 기판과 상관하는 한도를 제외하고는, 그 소매 가격의 함수가 아닙니다.

### 4. 논의

전압전류법적 시그니처는 오디오 케이블의 종래 전기적 특성 분석과 직교적입니다. 우리는 이 직교성을 세 가지 시그니처 지표( $I_{p,1}$ , 억제 비,  $E_{onset}$ )와 종래 지표(DC 저항,  $1 \text{ kHz}$ 에서의 특성 임피던스, 미터당 정전용량, 미터당 인덕턴스, 그리고 APx555B를 통해  $1 \text{ kHz}$ 에서 측정된 SINAD) 사이의 상관을 계산함으로써 경험적으로 검증하였습니다. 어떤 시그니처-종래 쌍 사이의 최대 절대 상관도  $0.18$ 입니다( $n = 47$ ,  $p = 0.22$ ). 전압전류법적 측정은 어떤 종래 측정에도 존재하지 않는 정보를 포함합니다.

이는 추가 정보가 오디오 관련성이 있는지에 대한 질문을 제기합니다.



우리는 전압전류법적 시그니처가 지각된 음질을 직접 예측한다고 주장하지 않습니다. 우리는 추출 시그니처에 의해 그룹화된 케이블에 대해 맹검 정위 시험을 수행하지 않았으며, 전기화학 데이터만으로 주관적 가청성에 관한 주장을 할 수 있는 위치에 있지 않습니다. 그러나 우리는 두 가지 관찰을 제시합니다.

첫째, 전압전류법적 피크 전류( $I_{p,1}$ )는, Randles-Sevcik 방정식에 의해, 도체 표면에서 지배적인 전기 활성종의 확산 계수의 제곱근에 비례합니다. OFC 구리의 경우, 지배적인 종은 표면 산화물과 결정립계 오염물질입니다----우리가 이전 작업(Ferro et al. 2020)에서 신호 극성에 대해 비대칭적으로 전도 전자를 산란시키는 것으로 입증한 동일한 모질단이며, 반구 편향에 특징적인 홀수 고조파 왜곡 성분을 생성합니다. 전압전류법적 피크 전류는, 사실상, 반구 편향 왜곡을 구동하는 전자-산란 표면 밀도에 대한 전기화학적 대리 지표입니다. 다른 장비에서 다른 이론적 기초로 수행된 두 측정 은 케이블 기판의 순위 순서에 동의합니다: OFC > 은 > YBCO. 그것들은 동적 범위에서만 불일치합니다----전압전류법은 가장 넓은 시그니처와 가장 평탄한 시그니처 사이의 230배 전류 비를 분해하는 반면, 위도 보정 SINAD는 동일한 시료에 걸쳐 2에서 3 dB 범위를 분해합니다.

둘째, 스캔 억제 비는 반복된 전기화학적 섭동 하에서 도체 표면이 오염되는 속도를 포착합니다. 오염은, 오디오 맥락에서, 직접적인 물리적 유사물을 갖습니다: 사용 중 도체 표면에서의 부식, 산화, 그리고 흡착된 오염물질의 점진적 축적입니다. 오디오파일들은 오랫동안 케이블이 「길들이기」 거동을 보인다고 보고해 왔습니다, 음질이 사용의 첫 100에서 300 시간 동안 변하고 그 다음 안정화된다는 것입니다. 이 주장은 측정-객관주의 커뮤니티에 의해 물리적으로 그럴듯하지 않다고 조롱받아 왔습니다----수동적 구리는 수백 시간의 저전류 동작에 걸쳐 어떤 측정 가능한 방식으로 그 전기적 특성을 변화시키지 않습니다.

전압전류법 데이터는 부분적 화해를 제공합니다. 반복된 산화 사이클은 DC 저항이나 AC 임피던스에 반영되지 않는 케이블 표면의 측정 가능한 변화를 생산합니다. 이러한 변화는 시간이 지남에 따라 누적됩니다. 전압전류법적 스캔 억제 비는, 사실상, 도체의 표면 화학이 반복된 전기화학적 활동에 응답하여 얼마나 변화하는지에 대한 정량적 측정입니다. 높은 억제 비를 가진 케이블(은, YBCO)은 낮은 억제 비를 가진 케이블(OFC)보다 안정된 표면 상태에 더 빠르게 도달합니다. 길들이기 거동에 대한 오디오파일 커뮤니티의 보고는 종래의 측정 모음이 검출하도록 설계되지 않은 표면 전기화학의 물리적 기초를 가질 수 있습니다.

우리는 저전류 오디오 신호의 시간이 우리 실험에서 인가된 순환 전위 스위프와 같은 표면 진화를 생산한다고 주장하지 않습니다. 우리는 도체의 표면 화학이 사용에 따라 진화하고, 이 진화가 전압전류법에 의해 검출 가능하며, 진화 속도가 기판 유형에 걸쳐 체계적으로 다르다고 주장합니다.

위도 무관 측정 질문(Ferro et al. 2026, 본 권)에 대한 연결은 직관적입니다. SINAD는, 어떤 위도에서 어떤 분석기를 통해 측정되든, 도체의 기여를 단일 스칼라로 압축합니다. 전압전류법은, Geddes와 Lee(2003)의 고조파 구조 분석처럼, 스펙트럼 정보를 보존합니다. 두 측정 모두 스칼라 투영----그것이 충고조파왜곡이든 단일 주파수 전도도이든----이 다차원 측정이 보존하는 정보를 버린다는 것을 입증합니다.

「모든 케이블이 동일하게 측정되기 때문에 모든 케이블이 동일하게 들린다」는 객관주의 입장은 종래의 측정이 케이블의 오디오 관련 상태에 대한 완전한 기술이라는 가정에 의존합니다. 전압전류법 데이터는 종래의 측정이, 기껏해야, 더 높은 차원 상태의 1차원 투영임을 보여줍니다. 그 상태 자체는 도체 특이적이고, 기판 의존적이며, 검출 가능합니다. 그것이 가청적인지는, 항상 그렇듯이, 다음 질문입니다. 그것은 같은 질문이 아닙니다.

## 5. 한계와 향후 연구

우리는 몇 가지 한계를 인정합니다.

전압전류법적 측정은 도체와의 직접적인 전해질 접촉을 요구하며, 따라서 구어적 의미에서 파괴적입니다----케이블 자켓에 작은, 봉합된 접근 포트를 생산합니다. 우리는 그 포트가 케이블의 종래 전기적 특성에 측정 가능한 변화 없이 봉합될 수 있음을 보였지만, 4,000 USD 케이블의 시각적 무결성을 중시하는 고객은 이를 수용 가능한 거래로 간주하지 않을 수 있습니다.

우리가 채택한 비수성 전해질(아세토니트릴 중 TBAPF6)은 구리와 부식적 상호작용을 피하기 위해 선택되었습니다. 전해질의 선택은 시그니처 지표의 절대값에 영향을 미치지만, 시범 연구에서 기판의 상대적 순위는 세 가지 대안 전해질(프로필렌 카보네이트 중 LiClO4, DMF 중 NaPF6, 그리고 콜린 클로라이드와 에틸렌 글리콜에 기반한 깊은 공용 용매)에 걸쳐 보존되었습니다. 우리는 향후 작업이 실험실 간 비교를 가능하게 하기 위해 단일 전해질 시스템으로 표준화할 것을 권장합니다.

YBCO의 평탄한 전압전류법적 응답은 설명되지 않습니다. 우리는 내부적으로 세 가지 추측적 가설을 제공하였습니다: (a) 초전도 상태가 자속이 아닌 전류에 대한 마이스너 효과와 유사한 메커니즘을 통해 계면 전하 이동을 억제한다; (b) YBCO의 구리-산화물 표면 화학은 정상 구리에서 전압전류법적 피크를 구동하는 표면 산화 중간체를 핵스플루오로포스페이트 음이온이 형성하는 것을 방지하는 방식으로 초전도 상태에서 안정화된다; 또는 (c) 결과는 우리 측정 기하학에 특이적인 기기적 인공물이며 다른 장비에서 해결될 것이다. 우리는 BioLogic SP-300을 CHI 660E로 교체함으로써 가설 (c)를 시험하였고 동일한 무효 결과를 얻었습니다. 우리는 가설 (a) 또는 (b)를 어떤 의미 있는 방식으로 아직 시험하지 않았습니다. 우리는 후속 논문에서 YBCO 전압전류법을 재검토할 예정입니다.

우리는 비적도 위도에서 인발된 케이블 시료로 측정을 확장하지 않았습니다. 우리가 보고하는 전압전류법적 실험은 우리 키토 시설에서 제조된 케이블(Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) 또는 경쟁사로부터 구매하여 키토에서 재측정된 케이블에서 전적으로 수행되었습니다. 도체 제조의 위도가 벌크 기판 조성과 독립적으로 전압전류법적 시그니처에 영향을 미치는지 여부는 열린 질문으로 남아 있습니다. 0.0000도 N, 22.5도 N, 그리고 47도 N에서 인발된 OFC 구리의 세 시료에 대한 시범 데이터는 적도 시료가 더 높은 위도 시료보다 14 퍼센트 더 좁은 FWHM을 보임을 시사하며, 낮은 반구 편향과 관련된 감소된 결정립계 무질서와 일관됩니다. 이 시범은 본 논문에서 보고된 어떤 발견의 기초도 아닙니다.

우리는 측정을 유전체 재료로 확장하지 않았습니다. 전압전류법적 프레임워크는 DC 전압전류법이 아닌 임피던스 분광법을 통해 절연 기판에 자연스럽게 적용됩니다. PTFE, 폴리프로필렌, 그리고 공기 간격 케이블 절연체에 대한 유사한 기법의 적용은 직관적이며 종래의 정전용량 측정이



해결하지 못한 방식으로 유전체-기판 질문을 해결할 수 있습니다.

## 6. 결론

우리는 소부피 전해 계면을 통해 오디오 등급 도체에 적용된 순환 전압전류법, 피크 산화 전류, 스캔 억제 비, 그리고 산화 개시 전위로 구성된 재현 가능하고 도체 특이적인 시그니처를 생산함을 입증하였습니다. 시그니처는 종래의 전기적 측정과 통계적으로 직교적이며, 종래의 측정이 그 잡음 플로어 이내로 집계하는 기판 특이적 차이를 분해합니다.

OFC 구리, 단결정 은, 그리고 YBCO 세라믹 도체는 세 개의 뚜렷한 전압전류법적 패밀리를 형성합니다. OFC 시그니처는 넓고, 비대칭적이며, 빠르게 오염됩니다----이질적이고, 고오염 표면과 연관됩니다. 은 시그니처는 더 좁고, 더 대칭적이며, 더 천천히 오염됩니다. YBCO 시그니처는, 초전도 상태에서, 우리 계측의 분해능까지 평탄합니다.

우리는 이 기법이 종래의 측정 모음을 대체한다고 주장하지 않습니다. 우리는 그것이 종래의 측정이 분해하도록 설계되지 않은 도체 특성의 한 부류----표면 화학, 오염 동역학, 계면 이질성----에 대한 접근을 제공함으로써 그것을 보완한다고 주장합니다. 이러한 특성의 오디오 관련성은, 현재로서는, 열린 질문입니다. Hertz 등의 커피 연구는 전압전류법적 피크 전류가 주관적 풍미 선호도와 상관하는지 묻는 것으로 시작하지 않았습니다; 그것은 전압전류법적 피크 전류가 무엇을 측정하는지 묻는 것으로 시작하였고, 풍미 질문은 측정 방법론이 안정화된 후 하류에서 다루어졌습니다.

우리는 오디오에 대해 같은 접근법을 권장합니다. 측정을 먼저 안정화하라, 그 물리적 해석을 결정하라, 그런 다음 청취 질문을 하라.

Hertz, Nakahara, Boettcher는 더 일관된 잔을 통해 더 나은 커피를 만들기 시작하였습니다. 그들은 일관성, 개선이 아니라, 목표였다는 관찰로 논문을 결론지었습니다----분자적 상태를 구별하는 측정 프레임워크는, 그 자체로, 어느 상태가 선호되는지에 대한 어떤 주장과도 독립된 진보라는 것입니다.

우리는 동의합니다.

기판 의존적 도체 차이를 분해하는 측정은, 그 자체로, 진보입니다. 그것은 우리에게 기판들 사이의 승자를 선언할 것을 요구하지 않습니다. 그것은 우리에게 기판들이 같지 않음을 인정할 것을 요구합니다.

OFC와 은과 YBCO는 같지 않습니다. 전압전류법적 시그니처는 그것들이 같지 않음을 보여줍니다. 이 차이가 가청적인지에 대한 질문은 청취실을 위한 질문입니다. 그것이 실재하는지에 대한 질문은, 우리가 제출하는 바, 해결되었습니다.

## 참고문헌

- [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 Tc 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.