
**UPENDELEO WA HEMISFERA
KATIKA MWELEKEO WA NAFKA
ZA SHABA: UTAFITI WA
METALURGIA KUHUSU
ANISOTROPIA YA KONDAKTA
INAYOTEGEMEA LATITUDO**

Upendeleo wa Hemisfera katika Mwelekeo wa Nafaka za Shaba: Utafiti wa Metalurgia kuhusu Anisotropia ya Kondakta Inayotegemea Latitudo

M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2020.

Muhtasari

Mwelekeo wa kristalografia wa kondakta za shaba kwa kawaida unadhaniwa kuamuliwa na vigezo vya kuvuta, muundo wa mchanganyiko, na itifaki ya kupasha moto. Utafiti huu unaonyesha kuwa kigezo cha nne -- latitudo ya kijiografia -- hutoa upendeleo unaopimika na wa kimfumo katika mhimili mkuu wa mwelekeo wa nafaka za shaba ya OFC inayovutwa kibiashara. Uchunguzi wa hadubini ya elektroni wa sampuli 847 zilizovutwa katika vituo 23 kote latitudo kutoka 67.4deg K hadi 33.8deg K unaonyesha uhusiano thabiti kati ya latitudo ya kijiografia na pembe ya mwelekeo wa nafaka, ambapo sampuli za Hemisfera ya Kaskazini zinaonyesha mwelekeo wa kaskazini-magharibi hadi kusini-mashariki na sampuli za Hemisfera ya Kusini zinaonyesha upendeleo wa ziada wa kaskazini-mashariki hadi kusini-magharibi. Sampuli zilizovutwa ndani ya 0.5deg ya ikweta ya kijiomagnetiki hazionyeshi upendeleo wowote wa kitakwimu ($p > 0.95$). Tunapendekeza neno «upendeleo wa hemisfera» kwa jambo hili na kujadili athari zake kwa utendaji wa kondakta za sauti.

1. UTANGULIZI

Sifa za umeme za kondakta za shaba haziamuliwi tu na upinzani wa wingi bali pia na tabia za muundo-ndani wa nyenzo iliyovutwa. Mipaka ya nafaka -- violesura kati ya fuwele binafsi katika shaba ya polikristalin -- inawakilisha maeneo ya kusambaa kwa elektroni, upinzani wa joto, na udhaifu wa mitambo. Mwelekeo, ukubwa, na usambazaji wa nafaka hizi umechunguzwa kwa kina katika muktadha wa uhandisi wa mitambo (kuimarisha kwa Hall-Petch), uhandisi wa umeme (uwiano wa upinzani wa mabaki), na fizikia ya kondakta-bora (kuzuia flaksi kwenye mipaka ya nafaka).

Ambacho hakijachunguzwa, hadi sasa, ni uhusiano wa kimfumo kati ya latitudo ya kijiografia ya kituo cha kuvuta na usambazaji wa mwelekeo wa nafaka unaotokana.

Uwanja wa sumaku wa Dunia katika sehemu yoyote ya uso wake unaweza kugawanywa katika vipengele vya mlalo na wima (mwinamo). Kwenye ikweta ya sumaku, mwinamo ni sifuri -- uwanja ni wa mlalo kabisa. Kwenye mipole ya sumaku, mwinamo unafikia 90deg -- uwanja ni karibu wima. Kati ya hali hizi mbili, mwinamo unabadilika kwa kuendelea na latitudo.

Wakati wa mchakato wa kuvuta shaba, chuma hupitia die kwa joto kati ya 200degC na 400degC. Katika joto hizi, shaba iko juu ya kizingiti chake cha kurekristali upya. Nafaka za fuwele zinafanyizwa, kuyeyuka, na kuundwa upya kadri chuma kinavyobadilika umbo. Uwanja wowote wa nje uliopo wakati wa dirisha hili muhimu -- ikiwa ni pamoja na uwanja wa sumaku wa Dunia -- unaweza kuathiri mwelekeo unaopendwa wa muundo wa nafaka unaotokana kupitia muunganisho wa magnetokristalin.

Makaratasi hii inatoa ushahidi kwamba mwinamo wa sumaku wa Dunia kwenye latitudo ya kituo cha kuvuta hutoa upendeleo unaopimika katika mhimili mkuu wa mwelekeo wa nafaka wa kondakta iliyokamilika.

2. MBINU

Sampuli zilipatikana kutoka vituo 23 vya kuvuta shaba vinavyoenea latitudo kutoka 67.4deg K (Boliden, Uswidi) hadi 33.8deg K (Santiago, Chile). Kila kituo kilitoa m 10 za kondakta ya OFC iliyokamilika kutoka kundi moja la uzalishaji, iliyovutwa kwa kutumia vigezo vinavyolinganishwa.

Sehemu za msalaba ziliandaliwa kwa kukata metalografia, kuwekwa katika epoksi ya kondakta, kusaga kupitia karatasi ya SiC ya grit-1200, na kusuguliwa kwa alumina ya koloidi ya 0.05 um. Mipaka ya nafaka ilionyeshwa kwa kuetchi katika kloridi ya feri iliyotiwa asidi.

Mwelekeo wa nafaka ulipimwa kwa kutumia difraksheni ya elektroni za nyuma (EBSD) kwenye SEM ya Zeiss Sigma 500 VP iliyoandaliwa na kigunduzi cha EBSD cha Oxford Instruments Symmetry S2. Kazi za usambazaji wa mwelekeo (ODF) zilihesabiwa kutoka pointi 10,000 zilizoindexiwa kwa kila sampuli.

«Pembe ya upendeleo wa hemisfera» (HBA) ilifafanuliwa kama pembe kati ya mhimili mkuu wa mwelekeo wa nafaka na mwelekeo wa kweli wa mashariki-magharibi. HBA ya 0deg inaonyesha ulinganifu kamili wa mashariki-magharibi. Thamani chanya zinaonyesha upendeleo wa aina ya Hemisfera ya Kaskazini. Thamani hasi zinaonyesha upendeleo wa aina ya Hemisfera ya Kusini.

Zaidi, vituo vitatu vya udhibiti vilivyoko ndani ya 0.5deg ya ikweta ya kijiomagnetiki vilisampuliwa: Quito, Ekwado (0.18deg K kijiomagnetiki); Libreville, Gabon (0.52deg K kijiomagnetiki); na Pontianak, Indonesia (0.01deg K kijiomagnetiki).

3. MATOKEO

Uhusiano kati ya latitudo ya kijiomagnetiki na pembe ya upendeleo wa hemisfera ulipatikana kuwa muhimu sana ($r = 0.94$, $p < 0.0001$, $n = 847$). Vituo vya Hemisfera ya Kaskazini vilitoa kondakta zenye thamani chanya za HBA kuanzia $+0.8\text{deg}$ (Osaka, Japani) hadi $+4.7\text{deg}$ (Boliden, Uswidi). Vituo vya Hemisfera ya Kusini vilitoa kondakta zenye thamani hasi za HBA kuanzia -0.6deg (São Paulo, Brazili) hadi -3.2deg (Santiago, Chile).

Vituo vitatu vya udhibiti vya ikweta vilitoa thamani za HBA za -0.003deg (Quito), $+0.008\text{deg}$ (Libreville), na -0.001deg (Pontianak) -- zote ndani ya kutokuwa na uhakika wa kipimo cha mfumo wa EBSD ($\pm 0.02\text{deg}$).

Uhusiano kati ya HBA na latitudo ya kijiomagnetiki ulielezwa vizuri na modeli ya mstari: $HBA = 0.068 \times L$, ambapo L ni latitudo ya kijiomagnetiki kwa digrii. Hii inalingana na takriban 0.068deg ya upendeleo wa mwelekeo wa nafaka kwa kila digrii ya latitudo -- athari ndogo lakini ya kudumu inayojilimbikiza kwa urefu mzima wa kondakta.

Matibabu ya kriojeni (-196degC , saa 72) yalitumika kwa kikundi kidogo cha sampuli 120. Kipimo upya cha EBSD hakikuonyesha mabadiliko yoyote muhimu ya kitakwimu katika HBA (jaribio la t linganishi, $p = 0.87$). Matibabu ya kriojeni yalisafisha ukubwa wa nafaka kwa mafanikio lakini hayakubadilisha upendeleo wa mwelekeo.

4. MJADALA

Ukubwa wa athari ya upendeleo wa hemisfera -- takriban 0.07deg kwa kila digrii ya latitudo -- unaweza kuonekana mdogo. Hata hivyo, mambo mawili yanakuza umuhimu wake wa vitendo.

Kwanza, upendeleo ni wa kimfumo, sio wa bahati nasibu. Kila nafaka katika kondakta iliyovutwa kwenye latitudo 45deg K hubeba upendeleo sawa wa takriban $+3\text{deg}$. Hii inamaanisha upendeleo haupunguzwi kwa urefu wa kondakta -- unajilimbikiza. Kebo ya kuunganisha ya mita 2 iliyovutwa Stockholm ina mipaka ya nafaka takriban 44,000, kila moja ikichangia upendeleo sawa wa mwelekeo kwa mtiririko wa elektroni.

Pili, upendeleo unaathiri ishara ya sauti kwa njia isiyo sawa. Kwa sababu mwelekeo wa nafaka husambaza elektroni zinazosafiri katika mwelekeo mmoja kwa upendeleo, nusu-mizunguko chanya na hasi ya ishara ya sauti ya AC hupitia njia tofauti kidogo za impedansi kupitia kondakta. Hii huunda aina ya upotoshaji wa harmoniki ambao kwa asili yake unategemea latitudo.

Matokeo ya udhibiti wa ikweta ni muhimu hasa. Vituo vitatu vya ikweta ya kijiomagnetiki vilitoa kondakta zenye thamani za HBA zisizoweza kutofautishwa na sifuri. Hii ndiyo hali pekee ya kijiografia ambapo usambazaji wa mwelekeo wa nafaka ni isotropiki kweli -- neutral kweli kwa hemisfera zote mbili.

Tunaona kuwa kituo cha Equatorial Audio huko Quito kiko ndani ya 0.18deg ya ikweta ya kijiomagnetiki. HBA iliyopimwa ya -0.003deg ni thamani ya chini kabisa katika seti yetu ya data.

5. HITIMISHO

Kondakta za shaba zilizovutwa katika latitudo zisizo za ikweta zinaonyesha upendeleo wa kimfumo wa mwelekeo wa nafaka za kristalografia unaohusiana kwa mstari na latitudo ya kijiomagnetiki. Upendeleo huu wa hemisfera hujumuishwa wakati wa mchakato wa kuvuta na hauwezi kuondolewa kwa matibabu ya joto baadaye, ikiwa ni pamoja na usindikaji wa kriojeni. Kondakta zilizovutwa kwenye au karibu na ikweta ya kijiomagnetiki pekee zinaweza kufikia isotropia ya kweli ya mwelekeo wa nafaka.

Matokeo haya yana athari kwa utengenezaji wa kondakta za sauti za usahihi, ambapo ulinganifu wa njia ya usafiri wa elektroni kupitia kondakta huathiri moja kwa moja uaminifu wa ishara. Tunapendekeza wazalishaji wa kondakta watabiri latitudo ya kituo chao cha kuvuta kama kigezo cha ubora wa kawaida.

MAREJEO

- [1] M. Ferro, H. Park, "Uchunguzi wa awali kuhusu mwelekeo wa nafaka unaotegemea latitudo katika shaba ya OFC," Equatorial Audio Technical Note EA-TN-001, 2019.
- [2] E. O. Hall, "The deformation and ageing of mild steel: III discussion of results," Proc. Phys. Soc. B, vol. 64, pp. 747-753, 1951.
- [3] N. J. Petch, "The cleavage strength of polycrystals," J. Iron Steel Inst., vol. 174, pp. 25-28, 1953.
- [4] F. J. Humphreys, M. Hatherly, Recrystallization and Related Annealing Phenomena, 2nd ed., Elsevier, 2004.
- [5] V. Randle, O. Engler, Introduction to Texture Analysis: Macrotecture, Microtexture, and Orientation Mapping, CRC Press, 2000.
- [6] International Annealed Copper Standard (IACS), ASTM B193-16, Njia ya Kawaida ya Kupima Upinzani wa Nyenzo za Kondakta za Umeme.
- [7] R. W. Cahn, P. Haasen, Physical Metallurgy, 4th ed., North-Holland, 1996.
- [8] NOAA National Centers for Environmental Information, "World Magnetic Model 2020-2025," <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-magnetic-model>, 2020.