

Galliumoksidin hilavirheiden tutkiminen positronien avulla

Galliumoksidi on lupaava puolijohde, joka on vakiinnuttanut asemansa tärkeänä tutkimuskohteena. Piihin pohjautuvat materiaalit alkavat lähestyä kehityksensä rajoja, mutta tarve monipuolisille puolijohteille yhä kasvaa. Vakain galliumoksidin muoto on β -Ga₂O₃, jolla on suuri johtavuusvöiden väli ja läpilyöntijännite. Nämä ominaisuudet tekevät siitä hyvän vaihtoehdon suurjännitelaitteisiin ja transistoreihin. Lisäksi suurten yksittäiskiteisten β -Ga₂O₃-kiekkojen valmistus on nykyään mahdollista. Beta-galliumoksidissa haasteita aiheuttaa kuitenkin aineen epäsymmetrinen rakenne, joka tekee sen ominaisuuksista anisotrooppisia, eli riippuen mittaussuunnasta, saadaan erilaisia mittaustuloksia. Sen lisäksi puhtaimmatkin hilat sisältävät luontaisia gallium- ja happivakansseja, mikä entisestään vaikeuttaa tulosten tulkintaa. Vakanssi on pistevirhe, jossa atomi puuttuu hilasta sen alkuperäiseltä paikalta ja tilalle jää aukko.

Vakansseja voidaan tutkia positroniannihilaatiospektroskopian (PAS) avulla. Siinä mitataan hilassa tapahtuvan annihilaation synnyttämää säteilyä, joka paljastaa hilavirheiden luonteen. Vakanssivirheiden tutkiminen mahdollistaa hilarakenteiden haitallisten vikojen vähentämisen sekä toivottujen vakanssivirheiden hallitumman säätelyn. Positroniannihilaatiospektroskopia soveltuu erityisen hyvin tällaisten vikojen karakterisointiin, ja menetelmän etuna on, ettei se vahingoita tutkittavaa näytettä. Virheiden karakterisoinnin lisäksi saadaan tietoa näytteiden anisotropiasta.

Tässä seminaarissa tarkastellaan, millaisia galliumvakansseja kahdessa alumiinilla seostetussa β -Ga₂O₃-näytteessä esiintyy ennen ja jälkeen protonisäteilytyksen. Vakanssit "sieppaavat" positroneja, mikä pidentää niiden elinikää hilassa ja aiheuttaa Doppler-siirtymän annihilaatiosäteilyn energiassa. Alumiiniseostuksen tiedetään kasvattavan johtavuusvöiden väliä, mikä tekee materiaalista entistä kiinnostavamman. Seminaarissa esitetyt mittaustulokset on tuotettu kesällä 2025 Helsingin yliopiston Kiihdytinlaboratoriossa osana laajempaa tutkimusta, jossa tutkitaan galliumoksidia alumiiniseostuksen lisäksi eri lisäaineilla, kuten piillä.

PAS-menetelmillä saadut tulokset osoittavat, että protonisäteilytys lisää tavallisia galliumvakansseja, kun taas kasvatusvaiheessa syntyneet hilavirheet ovat pääasiassa jakautuneita galliumvakansseja. Tavallisten vakanssien määrä kasvaa lämpötilan noustessa, ja samalla anisotropia vähenee, erityisesti säteilytyksen jälkeen. Alumiinipitoisuuden vaihtelu ei näytä vaikuttavan tuloksiin merkittävästi.