

**Alumiinin resistiivisyyden ja sen lämpötilariippuvuuden mittaaminen**

 Maisa Materiaalitieteilija, 43210A

 Työ suoritettu X.X.2020

 Selostus jätetty X.X.2020

CHEM-A1410 Materiaalitieteen Perusteet

**Sisällysluettelo**

[1 Johdanto 1](#_Toc17382836)

[2 Työn kuvaus 2](#_Toc17382837)

[3 Tulokset 4](#_Toc17382838)

[4 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset 5](#_Toc17382839)

[5 Lähdeluettelo 6](#_Toc17382840)

6 Liite 1: vastusmittauspöytäkirja………………………………………………….7

# Johdanto

Resistiivisyys (ρ) on materiaaliominaisuus joka kuvaa sitä miten paljon materiaali vastustaa sähkövirran kulkua. Resistiivisyys ρ riippuu seuraavista tekijöistä:

-varauksenkuljettajien lukumäärästä n

-liikkuvuudesta µ

-alkeisvarauksesta q

Resistiivisyys saadaan kaavasta (1)

ρ = 1/nqμ (1)

Näistä alkeisvaraus q = 1.6\*10-19 C on luonnonvakio. Liikkuvuus µ määräytyy materiaalin sidoksista ja kiderakenteesta, mikrorakenteesta ja lämpötilasta. Liikkuvuus pienenee lämpötilan kasvaessa, koska elektronit törmäävät suuremmalla todennäköisyydellä hilan atomien kanssa, koska atomien värähtelyamplitudi kasvaa lämpötilan noustessa. Varauksenkuljettajien määrä n riippuu sidoksista ja lämpötilasta. Metalleilla varauksenkuljettajien määrä on vakio, kun taas puolijohteilla se kasvaa voimakkaasti lämpötilan noustessa. Puolijohteilla varauksenkuljettajien määrää on myös mahdollista muuttaa seostamalla sopivia atomeja, kuten booria tai fosforia piihin.

Resistiivisyyttä ei voida mitata suoraan. Mittaamme testikappaleen vastuksen, ja laskemme sen avulla resistiivisyyden.

Mitä pidempi lanka, sitä isompi vastus: R ∝ vakio\*pituus L

Mitä pienempi langan poikkileikkaus, sitä isompi vastus: R ∝ vakio/A

Eri materiaaleilla eri sähköiset ominaisuudet: R ∝ vakio\* R(L/A)

Tuo vakio on materiaaliominaisuus resistiivisyys (ρ), ja se voidaan laskea kaavasta (2)

ρ = RWT/L (2)

missä W=langan leveys, T = paksuus, L = pituus ja R= vastus. Sama voidaan esittää myös muodossa

(3) ρ = RA/L , missä A on vastuksen poikkipinta-ala.

Resistiivisyyksiä on koottu taulukkoon 1. Muunna alla oleva teksti taulukoksi.

Pienin resistiivisyys tavallisista materiaaleista on hopealla, 1.59×10−8 Ohm-m. Myös kullalla ja kuparilla on erittäin pienet resistiivisyydet, 2.4 µΩ-cm ja 1.68 µOhm-cm, vastaavasti. Wolframin resistiivisyys on noin 0.1 ·10−6 Ohm-m. Platinan ja titaanin resistiivisyydet ovat jo hieman korkeampia, 0.2 ·10−6 ja 0.48·10−6 vastaavasti. Teräs ja tina ovat esimerkkejä huonosti sähköä johtavista metalleista, resistiivisyydet vastaavasti 0,8·10−6 ja 1·10−7. Toisaalta jotkut keraamit ovat hyvin sähköä johtavia, esimerkiksi TiSi2 resistiivisyys on 15 µΩ-cm ja TiN 60 µOhm-cm. Hiilen resistiivisyys on varsin korkea, 5000 nOhm-m.

Suprajohteilla resistiivisyys on nolla, mutta ne vaativat jäähdytystä toimiakseen. Yllä olevien materiaalien resistiivisyydet on ilmoitettu huoneenlämpötilassa.

Resistiivisyys, kuten kaikki materiaaliominaisuudet, ovat lämpötilariippuvia. Metalleilla resistiivisyys on monotonisesti kasvavaa (Debye-lämpötilan yläpuolella), ja pienellä lämpötilavälillä lineaarista. Yhtälö (4) kertoo vastuslangan lämpötilariippuvuuden, joka on samaa muotoa kuin resistiivisyyden lämpötilariippuvuus, koska resistiivisyys on suoraan verrannollinen vastukseen. Puhutaan yksinkertaisesti vastuksen lämpötilakertoimesta (TCR, temperature coefficient of resistance).

(4) R(T) = R0 (1+ TCR \* (T-T0)) missä Ro on vastus referenssilämpötilassa T0.

Tässä työssä mitataan alumiinivastuksien resistanssia ja laskettiin niistä alumiinin resistiivisyys, sekä määritettiin alumiinille vastuksen lämpötilakerroin.

# Työn kuvaus

Työssä mitattavat näytteet ovat oksidoidulle piikiekolle (paksuus 500 µm; oksidin paksuus 1.2 µm) sputteroimalla kasvatettuja alumiiniohutkalvoja. Niiden paksuus on 150±7 nm mitattuna Dektak profilometrillä.

Kirjoita tähän yhden kappaleen pituinen selitys metalliohutkalvon kasvatuksesta sputteroimalla.

Liitä mukaan yksi kuva.

**Kuva 1:** Sputterointi… jotain oleellista kuvasta mihin lukijan kannattaa kiinnittää huomiota. [1].

Alumiinikalvot on kuvioitu kapeiksi langoiksi optisen litografian ja märkäetsauksen avulla. Kiekolle on ensin levitetty valoherkkä polymeeri (resisti), johon halutut lankakuviot valotetaan UV-valolla (405 nm) kromi/lasi maskin läpi. Valottunut alue liuotetaan pois kehitteessä, ja sen jälkeen alumiini on syövytetty fosforihapossa. Tämä prosessi on esitetty kuvassa 2.



Alumiinikalvo

Oksidoitu piikiekko

**Kuva 2:** Alumiinin kuviointi fotolitografialla ja etsauksella. Muokattu lähteestä [2].

Kuvioidulla kiekolla on joukko alumiinilankoja, joiden päissä on 2\*2 mm kokoiset pädit, kuva 3. Langat A-E ovat kaikki leveydeltään 50 µm, mutta pituus vaihtelee välillä 15-75 mm. Langat E-I muodostavat setin, jossa pituus on vakio 75 mm mutta leveys vaihtelee välillä 50-150 µm.

**2.1 Vastusmittaukset**

Mittaus suoritettiin painamalla mittakärjet pädeille (Kuva 3), ja mittaamalla yleismittarilla malli, valmistaja,… vastus. Mittarin tarkkuus on … katso laitteen speksit ja kirjoita jotain mittarin suorituskyvystä ja sen rajoista.

Työssä tutkittiin ensiksi sitä, miten mittakärjen paikka pädillä vaikuttaa mitattuun vastukseen. Mittaussarjassa kokeiltiin kolmella eri vastuslangalla mittausta niin, että mittakärki laitettiin mahdollisimman keskelle pädiä, ja sitten lähelle nurkkia. Data on esitetty liitteen taulukossa A.

Mittaussarjassa B mitattiin kaikki vastuslangat järjestyksessä A-I yhden mittaajan toimesta, ja sitten toistettiin tämä kahdesti eri mittaajien toimesta. Kaikissa mittauksissa käytettiin samaa lankasettiä.



**Kuva 3:** Alumiinitestilangat A-I. Mittaukset tehtiin painamalla mittakärjet uloimmille pädeille, kuten langan A tapauksessa kuvassa.

Vastusmittausten raakadata on esitetty liitteessä B.

**Vastuksen lämpötilariippuvuuden mittaus**

Samalla näytteellä X mitattiin vastusarvoa kun näyte oli lämpölevyn (malli, valmistaja…) päällä. Aina kun lämpötilaa muutettiin, lämpölevyn asettuminen uuteen lämpötilaan vei noin X aikayksikköä. Näytteen lämpötila varmistettiin mittaamalla kiekon lämpötila XXX mittarilla käyttäen lämpöparia. Sen jälkeen vastus mitattiin kolmesta näytteestä viidessä eri lämpötilassa välillä 30oC-70oC. Mittausdata on liitteessä C.

# Tulokset

**Mittakärjen paikan vaikutus**

Aluksi tutkimme miten mittakärkien paikka pädillä vaikuttaa mitattuun vastusarvoon. Tulokset on esitetty kuvassa 4.

Kuva 4: XXX

Todetaan että … jotain omia päätelmiä tähän

**Vastus langan pituuden ja leveyden funktiona**

Mitatut vastusarvot langan pituuden ja langan leveyden osamäärän funktiona (R = f(L/W) vietiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan, ja niihin sovitettiin lineaarinen pienimmän neliösumman sovitus, kuva 5.

Tähän laita Excelillä tehty kuvaaja datasta ja PNS lineaarisovituksesta. Laita kuvaajaan näkyviin **kaikki** mittapisteet ja **yksi** pienimmän neliösumman sovitus.

Kuva 5: Alumiinilangan vastus L/W suhteen funktiona kiekolle X. Mieti mikä kuvatekstissä on tärkeää.

Tällöin suoran kulmakerroin on (ρ/T), jossa T on alumiinin paksuus. Tästä saamme laskettua kaavan (2) avulla alumiinin resistiivisyydeksi kiekolle X y Ωm.

**Vastuksen lämpötilariippuvuus**

Kuvassa 6 esitetään alumiinivastuksen lämpötilariippuvuus välillä 20oC-70oC. Havaitaan että XXX.

Oma Excel-kuvaaja tuloksista

Kuva 6: Alumiinivastuksien lämpötilariippuvuus välillä 20oC-70oC ja siihen sovitettu pienimmän neliösumman suora.

Sovittamalla suora mittausdataan saadaan kulmakertoimesta vastuksen lämpötilakertoimeksi (TCR) XXX/oC.

# Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Taulukkoarvo alumiinin resistiivisyydelle on 2.65\*10-8 Ω-m (4). Mittaamamme alumiinin resistiivisyys x on Y% suurempi kuin tämä taulukkoarvo. Pohdi mistä ero johtuu ! Muista pohtia sekä materiaalista johtuvia selityksiä että omista mittauksistanne johtuvia.

Kirjallisuuden mukaan alumiinin vastuksen lämpötilakerroin TCR on 3.8 × 10−3 K−1 (5). Löytyy myös kuitenkin suurempia arvoja, 4.29× 10−3 K−1 (6). Mittaamamme arvo XXX … jotain kommenttia siitä miten osuu yksiin lähteiden arvojen kanssa, mitä ongelmia omissa mittauksissa voi olla ja kuinka luotettavina pidät lähteitä.

**5 Lähdeluettelo**

[1] lähde josta etsit sputterointitiedot

[2] R.A. Lawson & A.P.G. Robinson: Chapter 1 - Overview of materials and processes for lithography, in Frontiers of Nanoscience, Volume 11, 2016, Pages 1-90.

[3] S. Franssila, luentokalvot kurssilla Materiaalitieteen perusteet, CHEM-A1410, Aalto-yliopisto, 2020

[4] <https://www.engineeringtoolbox.com/resistivity-conductivity-d_418.html>

[5] Jin Xie, Chengkuo Lee, Ming-FangWang, Youhe Liu and Hanhua Feng: Characterization of heavily doped polysilicon films for CMOS-MEMS thermoelectric power generators, J. Micromech. Microeng. 19 (2009) 125029 (8pp) doi: <https://10.1088/0960-1317/19/12/125029>

[6] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Tables/rstiv.html>

**Liite 1: Laboratorion mittauspöytäkirja**

**Mittaussarja A: kärkien paikan vaikutus langan vastusarvoon:**

**Keskellä Nurkka 1 Nurkka 2 Nurkka 3 Nurkka 4**

**Lanka \_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Lanka \_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Lanka \_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

**Mittaussarja B: lankasetin vastusmittaus**

Kiekon lämpötila ennen mittausta: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Kiekon lämpötila mittauksen jälkeen: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

viiva paksuus leveys pituus vastus vastus vastus

 nm μm mm Ω Ω Ω

A 150 50 15 \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

B 150 50 30 \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

C 150 50 45 \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

D 150 50 60 \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

E 150 50 75 \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

F 150 75 75 \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

G 150 100 75 \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

H 150 125 75 \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

I 150 150 75 \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Mittaussarja C: vastus lämpötilan funktiona**

asetus T 30oC 40oC 50oC 60oC 70oC

(lämpölevy)

mitattu T \_\_\_\_\_\_\_\_ \_ \_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

(kiekko)

Lanka \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

Lanka \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

Lanka \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_