

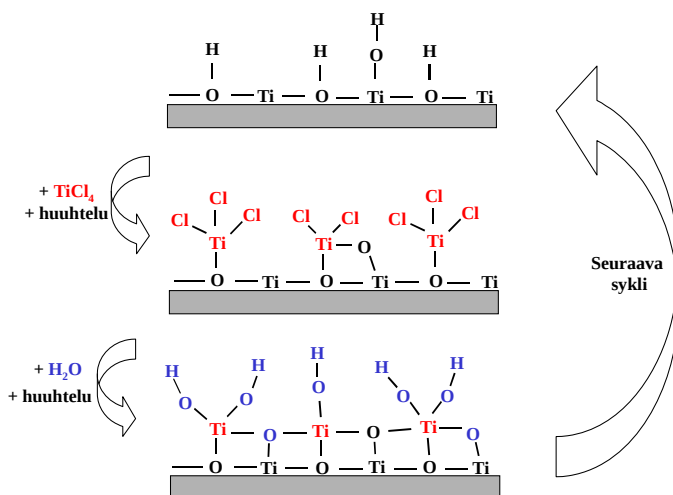


UUDET MATERIAALIT: MOLEKYYLIT HALKI, POIKKI JA PINOON

Professori Mikko Ritala

Atomikerroskasvatusta (ALD, atomic layer deposition) voi perustellusti kutsua nanoteknologi-
an kolmen konstin timpermannin menetelmäksi. Tällä alkuaan Suomessa kehitetyllä mene-
telmällä valmistetaan ohutkalvomateriaaleja kontrolloidusti, atomikerros kerrallaan. ALD-
menetelmässä kaasumaiset lähtöaineet pulssitetaan alustamateriaalin eli substraatin pinnalle
vuorotellen (Kuva 1). Lähtöainepulssien välissä reaktori huuhdellaan kantajakaasulla, jolloin
ainoastaan pintaan tiukimmin sitoutunut yksi molekyylikerros ensimmäistä lähtöainetta jää
pinnalle ja reagoi seuraavaksi pulssitettavan lähtöaineen kanssa muodostaen haluttua ohut-
kalvomateriaalia ja kaasumaisia sivutuotteita. Prosessi etenee kyllästyvien pintareaktioiden
kautta, mikä takaa, että kunkin reaktiosyklin aikana ohutkalvo kasvaa täsmälleen yhtä paljon,
yleensä vajaan atomikerroksen kerrallaan. Ohutkalvon kasvu on täten itsekontrolloivaa, tar-
kemmin sanottuna pintakemian kontrolloimaa.

Itsekontrolloivan kasvumekanismin ansiosta ALD-menetelmällä on monia käytännön etuja kil-
paleviin ohutkalvojen kasvatusmenetelmiin verrattuna. Näistä tärkeimpiä ovat kalvojen pak-
suuksien tarkka säädeltävyys yksinkertaisesti reaktiosyklien lukumäärän avulla ja mahdollisuus
kasvattaa hyvin tasaisia kalvoja niin suuripinta-alaisille kuin monimutkaisen muotoisillekin alus-
toille (Kuva 2). Menetelmän toistettavuus on erinomainen, sillä kohtuulliset vaihtelut prosessi-
olosuhteissa, esimerkiksi lämpötilassa tai lähtöainevirtauksissa, eivät vaikuta kalvojen paksuuk-
siin ja niiden muihin ominaisuuksiin. ALD-menetelmä soveltuu myös erinomaisesti erilaisten
monikerrosrakenteiden valmistamiseen yhdessä jatkuvassa prosessissa.

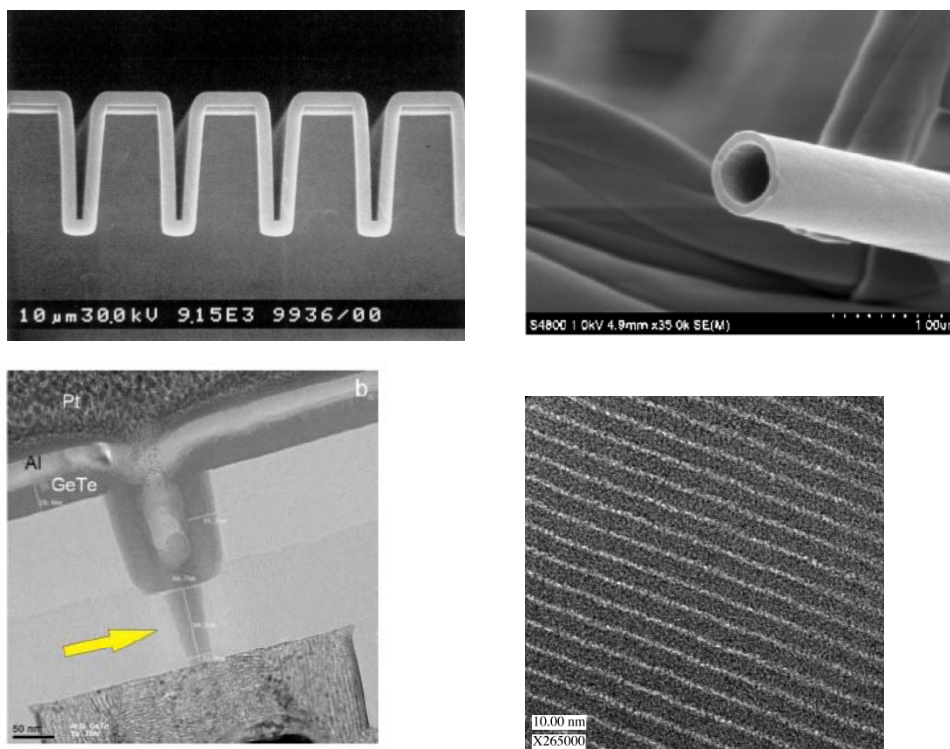


Kuva 1. ALD-menetelmän periaate esimerkkinä TiO₂:n kasvatus TiCl₄:sta ja vedestä. Yksi ALD-sykli koostuu neljästä vaiheesta: ensimmäinen lähtöaine (TiCl₄), huuhtelu, toinen lähtöaine (H₂O) ja huuhtelu.

ALD-menetelmän ongelmana on kalvojen pieni kasvunopeus, mikä on tyypillisesti vain 100-300 nm/h. Tämä oli pitkään este menetelmän laajemmalle käytölle. Viimeisen kymmenen vuoden aikana ALD:n sovelluskohteet ovat kuitenkin merkittävästi lisääntyneet. Tähän on kolme perussyitä: (i) monissa sovelluksissa ohutkalvoilta vaaditaan nykyään

ominaisuuksia, joita ei voida saavuttaa muilla menetelmillä; (ii) monet ohukalvot ovat kutistuneet niin ohuiksi että ALD:n hitaus on menettänyt merkitystään; (iii) on opittu hyödyntämään ALD:n antamaa mahdollisuutta tuottavuuden lisäämiseen pinnoittamalla suuri määrä substraatteja samanaikaisesti. ALD on jo laajalti teollisessa käytössä mikroelektroniikasta koru-teolli-suuteen, ja sitä tutkitaan aktiivisesti ympäri maailman mitä erilaisimmissa sovelluksissa, erityisesti mikroelektroniikassa ja nanoteknologiassa mutta myös esimerkiksi energia-tekniologioissa.

ALD-menetelmän menestys perustuu kemiaan. Menetelmän ainutlaatuinen itsekontrolloiva kasvu voidaan saavuttaa vain oikeanlaisilla lähtöaineilla, jotka tulee etsiä ja optimoida kullekin tavoitellulle materiaalille erikseen. Helsingin yliopiston Kemian laitoksen tutkimus-ryhmällä on yli 20 vuoden kokemus ALD-kemian kehittämisestä, missä se on saavuttanut maailmanlaajuisesti tunnustetun aseman. Ryhmän johtama konsortio valittiin Suomen Akatemian tutkimuksen huippuyksiköksi kaudelle 2012–2017.



Kuva 2. Esimerkkejä ALD-menetelmällä valmistetuista ohutkalvoista. Ylhäällä vasemmalla SEM-kuva konformaalisesta eli tarkasti substraatin pinnan muotoja myötäilevästä Al_2O_3 -kalvosta, oikealla TEM-kuva $\text{Zr}_x\text{Si}_y\text{O}_z\text{-Zr}_x\text{Ti}_y\text{O}_z$ -nano-laminaatista, missä yksittäiset kerrokset ovat noin 1 ja 4 nm paksuisia. Alhaalla vasemmalla GeTe:lla täytetty faasimuutos-muistirakenne, oikealla Al_2O_3 -nanoputki, joka on valmistettu pinnoittamalla templaattina toiminut polymeerinanokuitu ALD:llä.

Studia Generalia -tilaisuudet videoidaan. Niitä voi seurata internetissä sekä suorina lähetyksinä että tallenteina: www.helsinki.fi/videot.

Yleisökeskusteluun voi osallistua myös tekstiviestitse lähettämällä kysymykset ja kommentit tilaisuuden aikana numeroon 050-415 4892. Tekstiviestit luetaan tilaisuudessa mahdollisuuksien mukaan. Keskustelua voi jatkaa tilaisuuden jälkeen Studia Generalia -verkkosivuilla osoitteessa: <http://blogs.helsinki.fi/studiageneralia>.

Luentosarjan on suunnitellut Helsingin yliopiston Studia Generalia -toiminnan tieteellinen ohjausryhmä ja sen toteuttaa Helsingin yliopiston Avoin yliopisto yhteistyössä Helsingin yliopiston Tietotekniikkakeskuksen kanssa.

Lisätietoja:

Tieteellisen ohjausryhmän puheenjohtaja,
vararehtori Kimmo Kontula
p. (09) 191 24150
kimmo.kontula@helsinki.fi

Koulutussuunnittelija
Sanna Saari-Salomeri
p. (09) 191 28047
sanna.saari-salomeri@helsinki.fi