

Photos, Stories

Excellence in Atomic Layer Deposition



These two photos contain an image summary of the full story.



ALE-EL displays showed outstanding electrical and optical characteristics. The high dielectric strength of the dielectrics (than above 4 MV/cm, nowadays close to 10 MV/cm), with an intrinsic pinhole-free feature, allowed effective excitation of the light emitting ZnO(Mn) layer. Due to the hexagonal crystalline structure of the ALE-ZnO, the color of the light emitted was beautiful yellow, it was less orange than the EL devices based on sputtered ZnO with cubic crystalline structure. The fully transparent structure allowed a black background layer resulting in an outstanding contrast also in bright ambient light. Picture: Arto Pikkala operates reactors used for early ALE-EL prototypes.

The first public disclosure of TF-EL display

The ALE-EL development was carried out strictly confidentially - until the Society for Information Display (SID) conference in San Francisco in 1980.



Picture: The first public disclosure of TF-EL display at the Society for Information Display (SID) conference in San Francisco in 1980.

Commercialization of ALE-EL

The pilot production of TF-EL displays started in 1983. The first concept of the ALE-EL displays was the large indoor display at Helsinki-Vantaa airport in 1983.



Picture: The pilot production of TF-EL displays started in 1983. The first concept of the ALE-EL displays was the large indoor display at Helsinki-Vantaa airport in 1983.

Final projects (Alumina, TiO₂, ZnO) enable important applications. Picture: The pilot production of TF-EL displays started in 1983. The first concept of the ALE-EL displays was the large indoor display at Helsinki-Vantaa airport in 1983.



Picture: A corner of the EL panel circuit board with high-voltage AC drivers.



1987 - 1998 Microchemistry

In 1987, Tarmo Sutela was offered a position of Director for the development of ALE-EL displays. He started applying ALE to heterogeneous catalysis in a new research unit.



Microchemistry focuses

Sutela had seen the large potential especially in semiconductor manufacturing reactors, not disclosed in the patent development and commercialization. Microchemistry the possibility to s...



The Boston MRS presentation... the excellent uniformity... loading characteristics of ALE... Based on the measurements... index, the high density of the... also introduced. Actual "it" was... at the exhibition booth. G... semiconductor man... equipment manufacturers had... in the technology. Picture: De... the uniformity of... passivation layer, at the edge... in an...



Neljä vuosikymmentä ALD-kalvoja

Tuomo Suntolan idea mullisti pinnoitusteknologian



Epilogue

When founding Microchemistry Ltd. over 40 years ago, Tuomo Suntola left behind his advice on ALD, how to proceed as an ALD researcher, how to work in a company, and how to work with the electric utility company VVO. Suntola worked for long years before with main emphasis on renewable energies. He was a full-time employee of the Finnish Atomic Energy Research Institute from the beginning of 2004. In the same year, Suntola is still an advisor and a board member.



Acknowledgements
About the author

When Professor VVO has just arrived to start writing the story of ALD, Photo taken on March 6, 2014 by Tuomo Suntola

The full story behind these photos and other stories collected in a booklet at the exhibition

Tuomo Suntola's 40th Birthday
to Dr. Mikko Tuomi
to Dr. Mikko Tuomi
to Dr. Mikko Tuomi
to Dr. Mikko Tuomi
to Dr. Mikko Tuomi
to Dr. Mikko Tuomi

Tuomo Suntola muisteli ALD-tekniikan vaiheita menetelmän 40-vuotisjuhlanäyttelyssä. Suomen Akatemian ALD-huippuyksikön kokoama näyttely on kiertänyt alan kongresseissa muun muassa Japanissa.

■ Suomessa kehitetty atomikerroskasvatus eli ALD viettää juhluvuottaan. Menetelmän keksinyt tekniikan tohtori Tuomo Suntola lunasti ensimmäisen ALD-patenttinsa tasan neljäkymmentä vuotta sitten.

Maija Pohjakallio

”Keksi jotain.”

Näin määriteltiin 30-vuotiaan tekniikan tohtorin **Tuomo Suntolan** toimenkuva, kun hän alkuvuodesta 1974 aloitti työnsä Instrumentariumin tytäryhtiössä Datex Oy:ssä.

Luovalle tehtävänannolle oli perusteita, sillä nuorella miehellä oli jo meriittejä keksijänä. VTT:n tutkijana työskennellessään hän oli kehittänyt ja patentoinut kosteusanturin, jonka Vaisala Oy sittemmin kaupallisti.

Instrumentariumissa Suntolan vetämä pieni tutkijaryhmä toimi suoraan yhtiön johdon alaisuudessa. Ryhmän tehtävänä oli luoda uutta lääketieteellisiin laitteisiin, joten Suntola teki ensi töikseen alan markkina- ja teknologiakartoituksen.

Selvitys paljasti, että monien laitteiden kehityksen pullonkaula oli yksi ja sama: kömpelö näyttö.

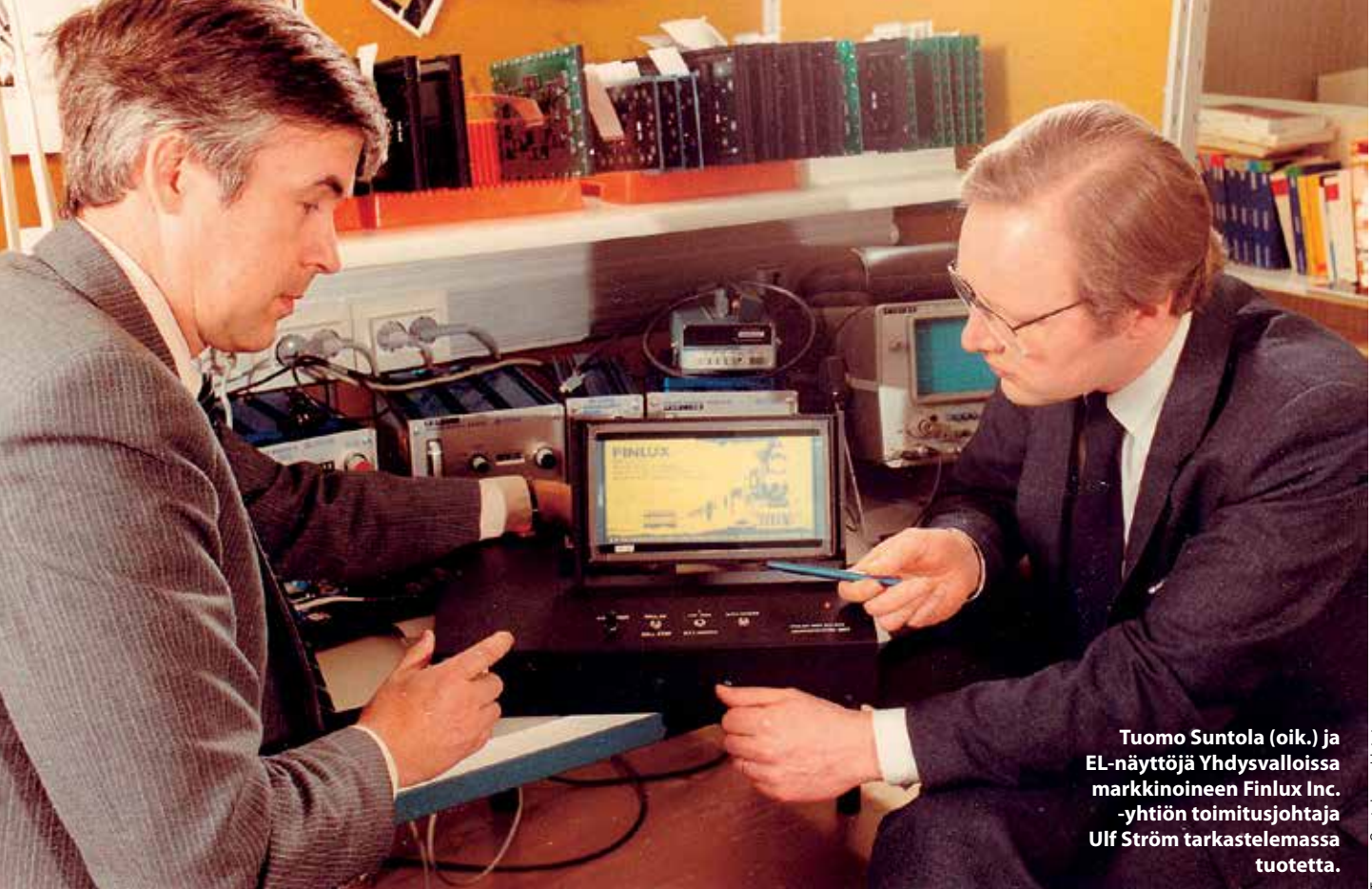
Ryhmä asetti siis tavoitteekseen kehittää aiempia paremman näytön. Sen valo muodostettiin elektroluminesenssi-ilmiön avulla.

Elektroluminesenssi- eli EL-näytön keskiössä olisivat sähkökenttiä hyvin kestävät, erittäin ohuet puolijohde- ja eristekalvot – jollaisia ei kuitenkaan osattu valmistaa. Ratkaisun löytäminen ei ollut yksinkertaista.

Inspiraatio syntyi, kun Suntola kerran katseli alkuaineiden jaksollista järjestelmää.

”Jos eri alkuaineiden kaasumaiset atomit muodostavat pintaan ohjattuina vahvemman keskinäisen sidoksen kuin toisen samanlaisen atomin kanssa, pinnalle muodostuu molekyylikerros näiden alkuaineiden yhdisteestä”, Suntola kuvailee heureka-hetkeään.

➤ ➤ ➤



Tuomo Suntola (oik.) ja EL-näyttöjä Yhdysvalloissa markkinoineen Finlux Inc.-yhtiön toimitusjohtaja Ulf Ström tarkastelemassa tuotetta.

Tuomo Suntolan arkistot



Salainen projekti

Kuusi seuraavaa vuotta olivat kuumaisen, visusti salassa pidetyn kehitystyön aikaa.

Suntola suunnitteli nopeasti koe-laitteiston ja laski prosessin parametrit. Ensimmäinen yhdiste, johon hän sovelsi ideaansa, oli sinkkisulfidi. Koekalvo, joka seostettiin mangaanilla, valmistettiin alkuainekalkista ja -rikistä jo syksyllä 1974.

Syntyneen sinkkisulfidikalvon kiderakenne oli erittäin säännöllinen, eli sen atomit olivat hyvin järjestyneet. Pinta siis ohjasi ja kontrolloi kalvon kasvua, mikä oli uusi havainto.

Tästä innostuneena Suntola antoi menetelmälle nimen atomikerros-epitaksia, englanniksi *Atomic Layer Epitaxy* eli ALE. Termi perustuu kreikan kieleen, jonka *epi* tarkoittaa ”yläpuolella” ja *taxis* ”järjestäytyneesti”.

Sittemmin teknologian suomenkieliseksi nimeksi on vakiintunut atomikerroskasvatus ja englanninkieliseksi *Atomic Layer Deposition* eli ALD.

Työ jatkui suotuisissa merkeissä, mutta vähitellen huomattiin, että keksinnön käyttöönottoaminen teol-

lisuudessa edellyttäisi toimijaa, jolla näytöt kuulusivat päätoimialueeseen.

Vuonna 1978 Instrumentarium myi koko projektin henkilöstöineen Lohja Oy:lle, joka oli juuri aloittanut televisioiden tuotannon ja haki kasvumahdollisuuksia elektroniikasta. Muutoksen myötä kehitystyön resurssit kasvoivat ja vauhti kiihtyi.

Merkittävä käännekohta oli, kun tutkijat keksivät käyttäen kalvojen lähtöaineina kemiallisia yhdisteitä alkuaineiden sijasta. Sinkin lähteenä toimi sinkkikloridi ja rikin lähteenä rikkivety.

Räjähävä menestys

Vuoteen 1980 tultaessa ALD-menetelmä oli lopulta hiottu valmiiksi. Atomikerroskasvatuksen avulla kyettiin valmistamaan erilaisille pinnoille tasalaatuisia erittäin ohuita kalvoja, joiden paksuus ja rakenne olivat tarkasti kontrolloitavissa.

Työn tulokset esiteltiin julkisesti Yhdysvaltain San Diegossa keväällä 1980 järjestetyssä konferenssissa, jossa Tuomo Suntola myös demonstroi EL-näytön toimintaa.

Kansainvälinen kiinnostus räjähti kattoon.

Tuomo Suntola

- Syntynyt Tampereella vuonna 1943. Asuu Espoossa.
- Opiskeli Teknillisessä korkeakoulussa. Valmistui sähkötekniikan diplomi-insinööriksi vuonna 1967 ja tekniikan tohtoriksi vuonna 1971.
- Tutkijana VTT:ssä 1968–1973 ja johtavana tutkijana Instrumentarium Oy:ssä 1974–1978.
- Näyttödivisioonan johtajana Lohja Oy:ssä 1978–1987 ja toimitusjohtajana Mikrokemia Oy:ssä 1987–1997. Tieteellisenä asiantuntijana Fortum Oy:ssä 1997–2004.
- Useita patenteja atomikerroskasvatuksesta eli ALD-menetelmästä ja sen sovelluksista vuosina 1974–1997.
- Useita palkintoja ALD-menetelmän kehittämisestä, mm. Tekniikan edistämisseuran tunnustuspalkinto 1981, Suomalaisen insinöörityön palkinto 1985, European SEMI Award -palkinto 2004.
- Tampereen teknillisen yliopiston dosentti 1975–, Teknillisten tieteen akatemian jäsen 1983–, Luonnontieteen seuran hallituksen jäsen 2007–2010 ja 2014–, Physics Foundations Society:n perustaja ja puheenjohtaja 2008–, Picosun Oy:n hallituksen jäsen 2004–.
- Naimisissa, aikuinen tytär ja kaksi lapsenlasta.

”Esitykseni jälkeen pidetty haastattelutilaisuus oli tupaten täynnä väkeä, ja meille tulvi lyhyessä ajassa tuhansia tuotekyselyjä eri puolilta maailmaa”, Suntola muistelee.

Ongelmaksi muodostui kysyntään vastaaminen. Suomalaisyhtiöllä ei vielä ollut tuotteita myytäväksi asti.

Alkoi hurja kilpajuoksu tuotannon pystyttämiseksi, sillä uudenlaisten näyttöjen valmistamisesta kiinnostuttiin myös muissa maissa.

”Se oli raskastakin aikaa, kun päälle painoivat myös taloudelliset seikat”, Suntola myöntää.

ALD:n avulla valmistettujen EL-näyttöjen pilottituotanto käynnistyi Lohjalla vihdoinkin vuonna 1983. Suomalaisfirman näyttöjen sähköiset ja optiset ominaisuudet olivat ajan huippua. Lippulaivaksi nousi Helsingin Vantaan lentoasemalle toimitettu suuri näyttö, jolta matkustajat vuosia seurasivat lentojen aikatauluja.

Vuonna 1985 Lohja perusti Espoon Olarinluomaan uuden tuotantoyksikön. Teknologisesti sen tuotteet olivat alan parhaita, mutta liikellelähtö oli vienyt sen verran aikaa, että japanilainen Sharp ja yhdysvaltalainen Planar olivat ennättäneet markkinoilla edelle.

Suomalaisyrityksen liiketoiminnan kasvu oli siksi odotettua hitaampaa. Vuonna 1990 Lohja Oy päätyi myymään EL-liiketoimintansa Planarille. Amerikkalaisyhtiö keskitti tämän jälkeen EL-näyttöjensä valmistuksen Espooseen.

Uusiin sovelluksiin

Sittemmin EL-näyttöjen markkinat alkoivat hiipua sitä mukaa kuin uusi, nestekiteisiin perustuva näyttöteknologia ryhtyi valtaamaan alaa. Nestekiteiden avulla näyttöön saatiin mukaan enemmän värejä kuin elektroluminesenssilla.

Tätä nykyä EL-näyttöjä käytetään lähinnä erikoissovelluksissa, joissa näytön on toimittava esimerkiksi korkean lämpötilan tai suuren mekaanisen rasituksen alaisena.

Atomikerroskasvatus oli kuitenkin lähtenyt leviämään uusiin

sovelluksiin jo 1980-luvun lopulla. 1990-luvun mittaan teknologia nousi materiaalikemian ja -tekniikan osaajien tietoisuuteen maailmanlaajuisesti.

ALD:n tarjoamista mahdollisuuksista innostuivat etenkin puolijohde- ja katalyyttimateriaalien sekä aurinkokennojen kehittäjät. Innostus kasvoi, kun huomattiin, että ALD-kalvoja on mahdollista valmistaa monenlaisista epäorgaanisista ja orgaanisista aineista, mikä lisäsi mahdollisten sovellusten määrää huomasti.

2000-luvulla atomikerroskasvateista kalvoista kiinnostuivat amerikkalaisen Intelin kaltaiset elektroniikkajäät – hyvästä syystä. Uusien tietokoneiden muistien valmistuk-

essa tarvittiin rakenteita, joiden valmistukseen ALD on ainoa sopiva menetelmä.

Ei siis ihme, että kansainvälinen mikro- ja nanoelektroniikkateollisuuden järjestö SEMI myönsi vuoden 2004 tunnustuspalkintonsa Tuomo Suntolalle.

”Palkinto ilahdutti erityisesti sen vuoksi, että olin jo pitkään nähnyt ALD:n mahdollisuudet elektroniikan komponenttien valmistuksessa”, keksijä sanoo.

”Aluksi teknologia oli tarkoitukseen liian hidas ja tarkka, mutta kun sovellukset kehittyivät tasolle, joka edellytti rakenteiden hallintaa nanometrien tarkkuudella, ALD:lle ei ollut vaihtoehtoja.”

➤ ➤ ➤



Tuomo Suntolan arkistot

Tutkija Ralf Graeffe testaamassa ALD-pinnoitettua näyttöä Helsingin Vantaan lentoaseman maanalaisissa tiloissa vuonna 1983.



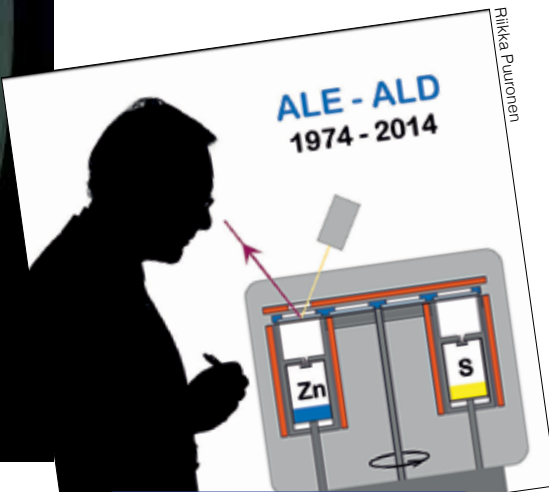
Tuomo Suntolan arkistot

Heli Vaara ja Tuomo Suntola esittelevät ALD-menetelmän käyttöä puolijohde-sovelluksissa Bostonissa vuonna 1994 järjestetyssä näyttelyssä.



Tuomo Suntolan arkistot

Tuomo Suntola (oik.) vastaanotti mikro- ja nanoelektronikkateollisuuden järjestön SEMIn puheenjohtajan Stanley Myersin luovuttaman tunnustuspalkinnon Münchenissä vuonna 2004.



Riikka Puurunen



Suomalaiset osaajat

Elektroniikan komponenttivalmistuksen lisäksi ALD-menetelmä on otettu käyttöön muun muassa korroosionestossa ja korujen päällystyksessä. Esimerkiksi hopeiset Kalevala-korut säilyttävät loistonsa nimenomaan ALD:n ansiosta.

Lisää sovellusalueita kehitetään jatkuvasti. Helsingin yliopistossa on tutkittu esimerkiksi kehoon sijoitettavien implanttien ALD-päällystämistä hydroksiapatiitilla.

Tuomo Suntola painottaa, että vaikka teknologian idea syntyi hänen tutkimuksissaan, sen kehittäminen ja vieminen useiden eri teollisuudenalojen käyttöön on edellyttänyt monien osaajien yhteistyötä.

”Teknillisen korkeakoulun epäorgaanisen kemian professori **Lauri Niinistö** lähti yhteydenotoni innoittamana ennakkoluulottomasti mukaan kehitystyöhön jo 1980-luvun alussa”, Suntola kertoo.

Uraauurtavaa työtä ovat tehneet myös muun muassa epäorgaanisen kemian professorit **Markku Leskelä** ja **Mikko Ritala** Helsingin yliopistosta, fyysikaalisen kemian professori **Tapani Pakkanen** Itä-Suomen yliopistosta, epäorgaanisen kemian professori **Maarit Karppinen** Aalto-yliopistosta sekä vanhempi tutkija **Riikka Puurunen** VTT:stä.

ALD-laitteisto kuuluu monen suomalaisyliopiston laitevalikoimaan. Helsingin yliopiston epä-

Lue lisää ALD:n historiasta

VTT:n tutkijan **Riikka Puurunen** kirjoittama *A Short History of Atomic Layer Deposition – Tuomo Suntola’s Atomic Layer Epitaxy* ilmestyi lokakuussa 2014 *Chemical Vapor Deposition* -julkaisussa. Artikkelin voi lukea Wiley Online Library -palvelussa osoitteessa onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cvde.201402012/abstract.

Tietopaketti ALD:n historiasta löytyy sen virtuaaliprojektin nettisivuilta osoitteesta www.vph-ald.com.

orgaanisen kemian ohutkalvo-ryhmästä ja materiaalfysiikan tutkimusryhmästä sekä VTT:n mikrojärjestelmien ja nanoelektroniikan osaamiskeskuksesta koostuva kokoonpano on valittu yhdeksi Suomen Akatemian huippuyksiköksi vuosille 2012–2017.

Teknologian teollisessa soveltamisessa Suomella ei enää ole 1980-luvun monopoliasemaa, vaan ALD on otettu käyttöön maailman joka kolkalla.

Sen sijaan meillä toimii nykyään kaksi ALD-laitteistoa kehittävää ja valmistavaa yritystä, Picosun Oy ja Beneq Oy, sekä ASM Microchemistryn tutkimusyksikkö, jossa menetelmää viedään eteenpäin kohti uusia sovelluksia. □

ALD-kalvo syntyy atomi kerrallaan

Atomikerroskasvatuksessa (ALD) rakennetaan erilaisille alustoille kiinteitä, erittäin ohuista materiaalikerroksista koostuvia kalvoja, joiden paksuutta kyetään kontrolloimaan nanometrien tai jopa ängströmien tarkkuudella.

Materiaalikerrokset muodostuvat, kun kaasumaiset lähtöaineet vuorotellen reagoivat alustan pinnan kanssa.

Kasvatettavan kalvon alustaksi kelpaavat monenlaiset epäorgaaniset ja orgaaniset aineet piistä nanosellu-

loosaan. Teknologialla on päällystetty myös jauhemaisia aineita.

ALD-menetelmän avulla laajoille ja epätasaisillekin alustoille saadaan muodostettua laadukas, yhtenäinen kalvopinnoite.

Suomessa kehitetty menetelmä syntyi vuonna 1974. Tätä nykyä ALD:lla valmistettuja ohuita kalvoja löytyy lähes jokaisen kotoa. Esimerkiksi tietokoneiden muistien valmistuksessa ja hopeisten Kalevala-korujen pinnoituksessa hyödynnetään atomikerroskasvatusta.

Kirjoittaja on kemiantekniikan tohtori ja Kemianteollisuus ry:n asiamies. majja.pohjakallio@kemianteollisuus.fi