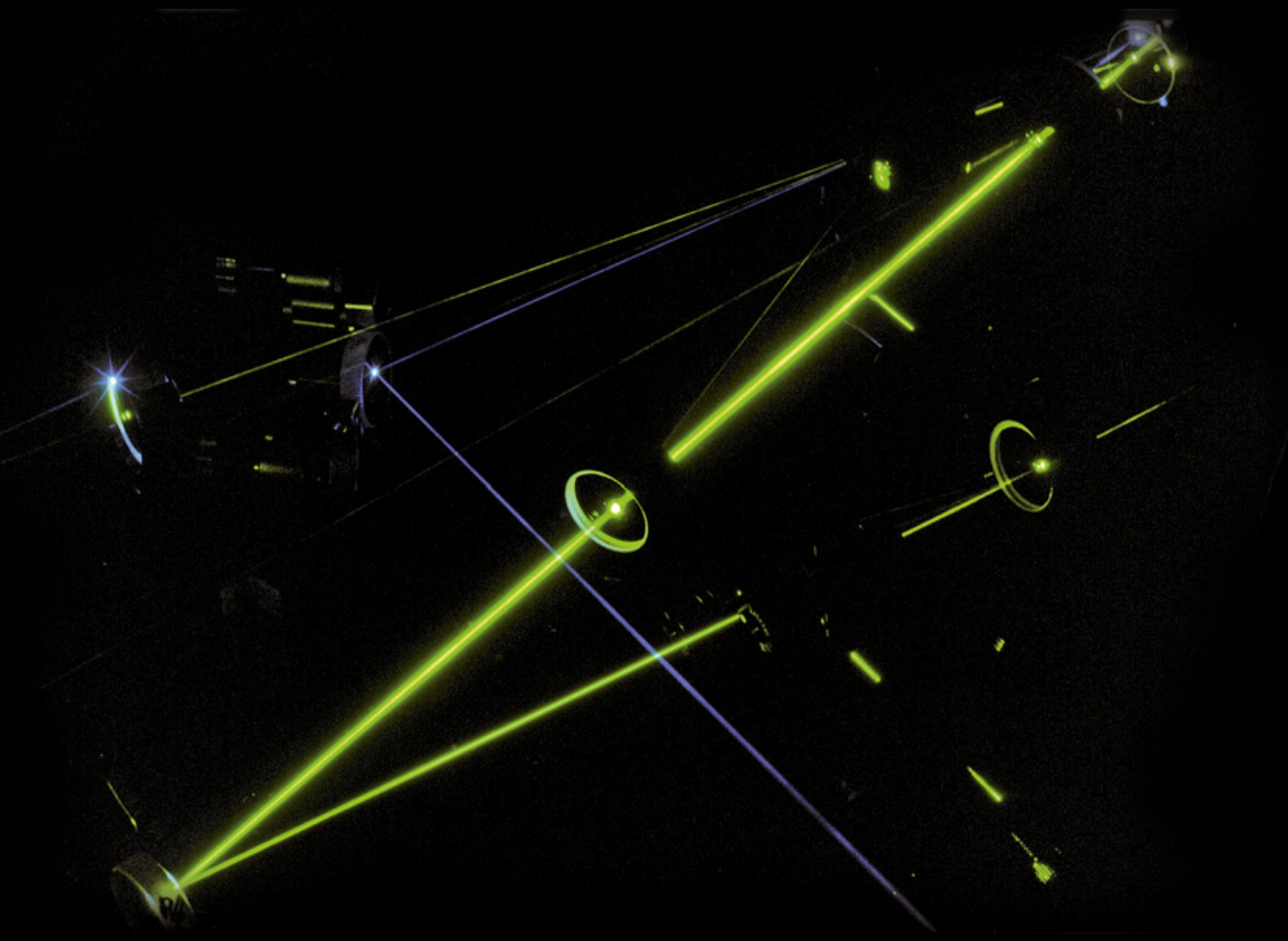
SUOMEN FOTONIIKAN SEURA RY:N JULKAISU

FOTONI

2/2016



SISÄLLYS

Puheenjohtajan palsta 3

Aurinkosähköstä edelleen 5

Multi-Junction Solar Cells 6

Tehokkaampia piiaurinkokennoja nanorakenteen avulla 10

35 vuotta aurinkosähköä – Suomesta! 14

Vuoden väitöskirja 2015 18

Optiikan päivät 2016 22

Forest and Photonics 2016 28

Fotoniikasta uutta teknologiaa ja ratkaisuja terveysalalle 32

Fotoni 2/2016

20. vuosikerta

Julkaisija
Suomen fotoniikan seura ry

Päätoimittaja
Prof. Jouko Korppi-Tommola
Kemian laitos/Nanotiedekeskus
PL 35
40100 Jyväskylän yliopisto
p. +358-50-5877530 (mobile)
Email: jouko.korppi-tommola@jyu.fi

Toimitusneuvosto
Prof. Jouko Korppi-Tommola,
TkT Lasse Orsila

Ilmestyminen
Vuonna 2016 ilmestyy 2 numeroa.
Seuraava numero ilmestyy keväällä 2017.

Tilaukset ja osoitteenmuutokset
Jäsenetuna Suomen fotoniikan seuran jäsenille. Vuoden kuluessa liittyvät uudet jäsenet saavat alkuvuoden numerot jäsenetuna niin kauan kuin painos riittää. Osoitteen muutokset suoraan jäsenasioiden hoitajalle, ks. http://www.photonics.fi

Paino:
Eräsalon Kirjapaino Oy
Tampere

ISSN 1455-1071
ISSN-L 1455-1071

PUHEENJOHTAJAN palsta

Arvoisat fotoniikan ystävät, kiitoksia luottamuksesta kaikille kevätkokouksen osanottajille, kun valitsitte minut jatkokaudelle. Pyrin olemaan luottamuksen arvoinen. Hallituksessa tapahtui myös joitakin henkilövaihdoksia, toivottavasti uudet jäsenet tuovat mukanaan uutta virtaa ja ajatuksia toiminnan kehittämiseksi.

Toiminnan laatu ja sisältö ovat ratkaisevia, kun katsotaan tulevaisuuteen ja pyritään kehittämään toimintaa jäsenistön parhaaksi. Toimintaa on myöskin ollut kesän ja syksyn aikana varsin paljon. Optatec-messuilla olimme kesäkuussa miniosastolla – kahden yrityksen voimalla. Photonics West 2017 –messujen valmistelut ovat vauhdissa, mukaan osastolle on tulossa ilahduttavasti taas 10 yritystä. Muillekin alan messuille PF lähtee järjestämään yhteisosastoa, mutta jatkossa edellytetään, että yrityksiä on mukana vähintään 4 kpl.

Photonics for enterpretures –tapahtumia on järjestetty syksyn aikana kaksi, molemmat nyt jo toisen kerran, Healthcare-teemalla Kuopiossa ja Forest-teemalla Kolilla. Molemmat olivat erittäin onnistuneita, Kolilla oli mukana peräti n. 90 osallistujaa. Uusien teema-tapahtumien aikaan saaminen on osoittautunut haasteelliseksi. Selvästikin tarvitaan lobbausta ja vaikuttamista eri alueiden toimijoihin, jotta he innostuvat, sitoutuvat ja lähtevät järjestelyihin mukaan. Tätä työtä voivat tehdä kaikki jäsenet. Jos koet, että kaupungissasi/alueellasi olisi syytä järjestää jonkin tietyn teeman alla fotoniikkatapahtuma, ota yhteyttä hallituksen jäseniin tai toiminnanjohtajaan.

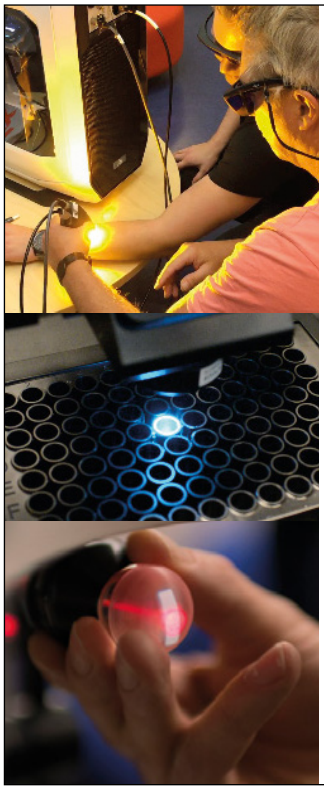
Kansallisella tasolla suhteessa viranomaisiin ja rahoittajiin olemme olleet aktiivisia. Finpron kanssa ollaan laatimassa yhteistyöpöytäkirjaa, jossa sovitaan yhteistyön tiivistämisestä. Tekes lähti rahoittamaan kansallista fotoniikkaselvitystä, jolla pyritään kartoittamaan fotoniikan liiketoiminnan laajuus ja työllistävä vaikutus Suomessa. Kysely on lähetetty kaikille tunnistetuille alan yrityksille ja tutkimusorganisaatioille.

Kannustan kaikkia vastaamaan kyselyyn, jotta saadaan kattava kuva alasta. Saadut tiedot ovat pohjana ja motivaattorina uusille avauksille, joita toivottavasti tulee, kun rahoittajat ja valtiovalta näkevät alan merkittävän volyymin ja työllistävyyden jo tällä hetkellä sekä tulevaisuuden potentiaalin. Toimialanahan fotoniikka kasvaa vuosittain

selvästi muuta taloutta nopeammin.

Nettisivumme on uudistettu siten, että yritysjäsenet ovat siellä paremmin esillä, jokaisesta löytyy lyhyt luonnehdinta. Sivuilta löytyy myös tapahtumakalenteri, johon pyritään kokoamaan fotoniikan alan merkittävimmät tapahtumat meillä ja muualla. Syyskokouksemme on lähestymässä ja odotettavissa on jälleen mielenkiintoinen päivä, johon on yhdistetty myös muuta toimintaa.

Jyrki Huttunen
Suomen Fotoniikan seura ry
Puheenjohtaja



9th International Summer School
New Frontiers in Optical Technologies

When: 7–11 August 2017

Where: Tampere University of Technology, Tampere, Finland

Who: Organized by Optoelectronics Research Centre (ORC), TUT and Photonics Finland

What: The International Summer School *'New Frontiers in Optical Technologies'*, a biennial event held at Tampere University of Technology, is scheduled to take place on 7.–11. August 2017.

This year's event will build on the success of previous Schools and in the past we have had over 1000 participants from over 40 countries.

In 2017 the School will once again offer students and researchers the opportunity to exchange scientific ideas, create contacts, and gain inspiration from leading professionals at the cutting edge of optical technology.

http://www.tut.fi/summerschool/

INTERNATIONAL SUMMER SCHOOL New Frontiers in Optical Technologies

Sponsored by modulight

AURINKOSÄHKÖSTÄ EDELLEEN

FOTONI:n 1/2016 pääkirjoituksessa hahmotin aurinkosähkön nykytilaa ja tulevaisuutta meillä ja muualla. Pääkirjoituksessa unohdin mainita TTY:n Mircea Guina:n ryhmän merkittävän panoksen huipputehokkaiden monikerroskennojen kehittämistyössä. Anteeksiantamatonta. Optiikan päivillä sitten sovimme Mircean kanssa, että paikataan kömmähdys sillä, että ryhmä kirjoittaa artikkelin tutkimuksistaan FOTONI:n 2/2016 numeroon.

Sopimus piti ja artikkeli on nyt luettavissa alkaen sivulta 6. Periaatteessa 50% hyötysuhde on saavutettavissa, mutta massatuotantoon näillä tehokennoilla lienee pitkä matka. Tämän lisäksi pyysin artikkelin Hele Savinin (Aalto) ryhmältä, kuvauksen heidän piiteknologiaan tuomasta lisätehosta, joka on saatu aikaan kerrostamalla passivoitu nanorakenteinen piimustakerros kiteisen piin päälle. Uusi hyötysuhde-ennätys kirjoitetaan 22,1%. Kehitystyö paneelien teolliseksi valmistamiseksi jatkuu yhdessä eurooppalaisten ja kotimaisten intressitahojen kanssa. Viime FOTONI:n numeroon ei myöskään ehtinyt Naps Solar Systems Oy:n tarina, yritykseltä joka on kehittänyt ja myynyt aurinkopaneeleja ja aurinkosähköjärjestelmiä maassa pisimpään. Osallistuessani Naps:n kentän toimijoille suuntaamaan koulutustilaisuuteen Helsingissä elokuun lopulla sain toimitusjohtaja Mikko Juntusen taivuteltua kirjoittamaan jutun. Kiireiset toimitusjohtajat joutuvat tarkoin käyttämään aikansa, juttu syntyi viime metreillä Kastrupin lentoasemalla. Seuran kahdesta tapahtumasta fotoniikka terveydessä (Kuopio) ja metsätaloudessa (Koli) voimme lukea Tuukka Pakarisen kuvaukset. Lehdestä voit lukea myös perinteiset Seuran puheenjohtajan palstan, päätoimittajan kertomuksen Tampereen Optiikan päivistä OPD2016 sekä vuoden 2015 parhaan väitöskirjapalkinnon voittaneen Jouni Mäkitalon kertomuksen väitöskirjatyöstään. Hyödyntänette Valo-kirjan jäsenetutarjousta (s.9). FOTONI 2/2016 on sivumäärältään kaikkien aikojen suurin.

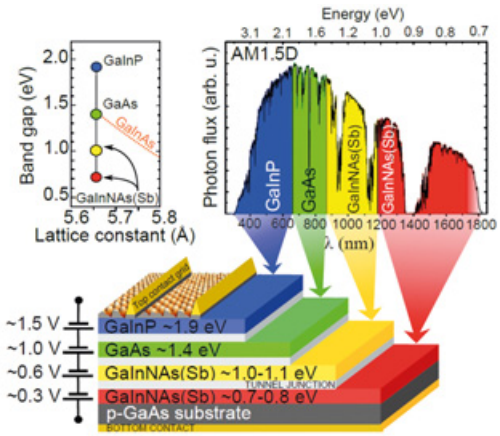
Toivotan Seuran jäsenistölle lukemisen iloa.

Jyväskylässä 2.11.2016
Jouko Korppi-Tommola

MULTI-JUNCTION SOLAR CELLS

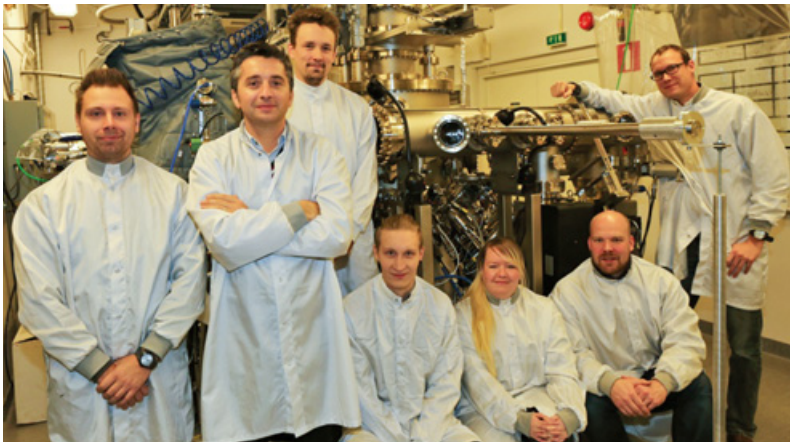
The path to more than 50% conversion efficiency

Background: Year 2009 started a new period of exciting research in Finland targeting demonstration of multi-junction solar cell with potential to achieve a conversion efficiency of solar energy as high as 50%. Capitalizing on our expertise in developing III-V dilute-nitride compounds (i.e. GaInNAs), we started exploratory technology research targeting multi-junction solar cells as part of the TEKES Functional Materials program. In the initial phase we were mainly focusing on material science aspects and epitaxy of dilute nitrides yet we were able to demonstrate certain level of device functionality that attracted interest from European Space Agency (ESA). We started to work with ESA in 2013 and got sufficient support to run parallel developments on advanced device processing and characterization. This year we have managed to demonstrate operation of dilute-nitride triple-junction space solar cells with an efficiency of 30.8% at one-sun illumination. Upon optimization for terrestrial applications, such solar cell would have efficiencies slightly higher than 40% under concentrated light. Future developments target demonstration of solar cells with more than four junctions with an ultimate goal of braking the 50% efficiency level under concentrated light. The work will be carried out as part of a 5-years ERC Advanced Grant program (AMETIST), to start in January 2017.



Generic concept description of multi-junction solar cells under development.

How it works: Multi-junction solar cells consist of a stack of different III-V semiconductor pn-junctions optimized to efficiently convert



III–V Solar Cells team, from left to right, Dr. A. Aho, Prof. M Guina, Dr. V. Polojärvi, MSc M. Raappana, MSc T. Aho, Dr. A. Tukiainen.

different parts of the solar spectrum to electricity. Standard III–V materials offer a good solution to the loss of energy via "thermalization" for photons with energy higher than 1.4 eV. However, important part of the solar spectrum down to 0.7 eV is inefficiently converted even if Ge sub-cells are used. This limitation comes from the lack of high-quality low-bandgap materials that are lattice matched to GaAs to enable monolithic integration. This is the problem we try to solve by developing lattice matched GaInNAs/GaAs alloys, as practical path towards filling the need for low-bandgap (< 1 eV) compounds monolithically integrated on GaAs or Ge substrates. We use molecular beam epitaxy (MBE) for synthesis of GaInNAs, a technique which is still in infancy when it comes to finding its way from being a research tool to being accepted as a practical tool for fabrication of commercial solar cells. Using MBE, monolithic lattice-matched solar cells with efficiencies as high as 44% measured in concentrated sunlight have been demonstrated. Further increase in efficiency compared to standard approaches is made possible owing to capability to synthesize more advanced dilute nitride alloys, such as GaInNAsSb, and increasing the number of junctions. For example, solar cells comprising 6 junctions should be able to deliver an efficiency as high as 52% at a solar concentration factor of 1000.

Impact: Solar energy and in particular photovoltaic energy generation, play a crucial role in the global effort to significantly reduce the greenhouse effects and reduce the dependence on fossil fuels. According to the International Energy Agency, photovoltaics (PV) would cover more than 16% of the world's energy use by 2050 and will be the dominant source of energy by 2100. For this to happen, major developments efforts

should be directed towards significantly increasing the efficiency of photovoltaic conversion, while at the same time decreasing the levelized cost of energy (LCOE) to a level competitive or cheaper with fossil-based energy. Another area of strategic importance for Europe is the development of more efficient PV cells required for future satellite systems; the gain factors in this case will largely come from higher power-to-weight ratio for space solar arrays with direct impact on satellite size and launching costs; III-V solar cells are also preferred performers in terms of radiation hardness. More efficient PV arrays are also instrumental in the race for enabling deeper space exploration possibilities. To this end, the III-V multi-junction solar cells are the most attractive approaches

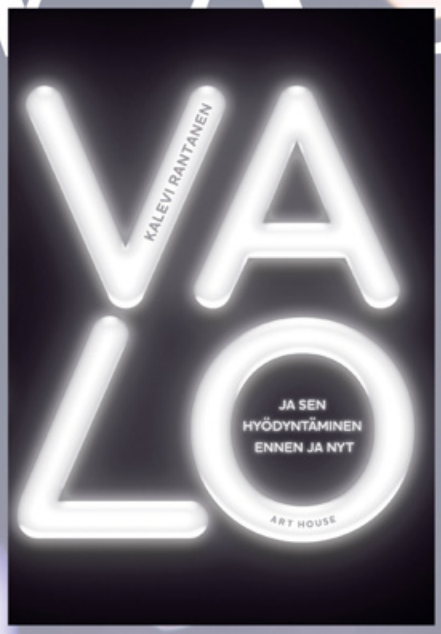
The team: We host now a multidisciplinary team of 10 researchers covering all aspects required to demonstrate high-efficiency multi-junction solar cells (epitaxy, materials science, device processing, device simulation, and advanced characterization).

The team includes Prof. Mircea Guina, Dr. Antti Tukiainen, Dr. Arto Aho, Dr. Ville Polojärvi, postgraduate students Timo Aho, Marianna Raappana, Riku Isoaho, and students Lauri Hytönen, Jarno Reuna, Severi Mäkelä.

Mircea Guina

Contact: mircea.guina@tut.fi; www.tut.fi/orc/semicon

VALO



Internet.
Kännykät.
Tietokoneet.
Kauppojen lukulaitteet.
Valaistus kodeissa ja kaduilla.

Valo on kirja siitä, mitä valo on. Ilmiön lisäksi se kuvaa valon hyödyntämisen historian ja nykyhetken. Se luotaa myös tulevaisuuteen: siihen, mikä merkitys valolla tulee vielä olemaan ihmiskunnalle.

KALEVI RANTANEN

VALO
ja sen hyödyntäminen ennen ja nyt.

Tarjous FOTONI-lehden lukijoille:

tilaa VALO-kirja kustantajan verkkokaupasta (www.arthouse.fi), niin saat kirjan hintaan **20 euroa** (norm. 34,50 €).

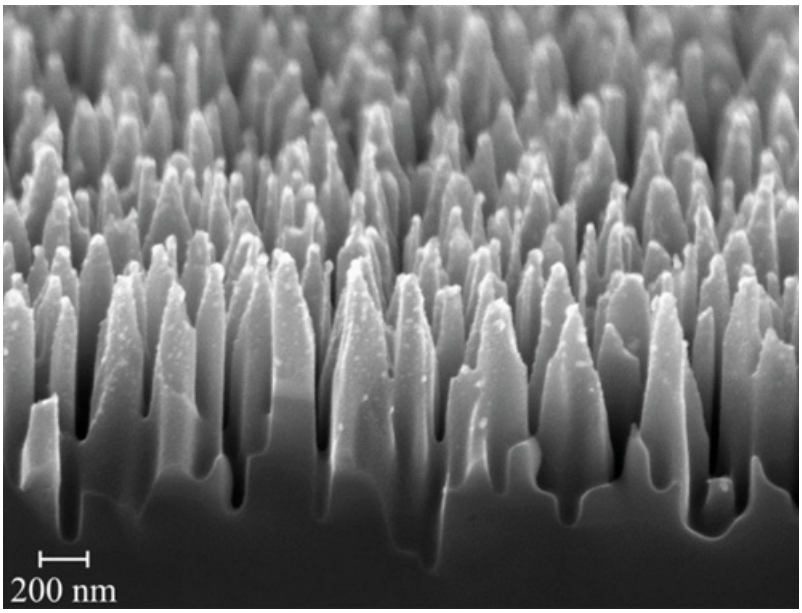
Edun saat käyttämällä koodia **FOTONI**.

Hinta sisältää toimituskulut ja alv. 10 %.
Tarjous on voimassa 31.1.2017 asti.
www.arthouse.fi

Art House
Bulevardi 19 C
00120 Helsinki

info@arthouse.fi
www. arthouse.fi

arthousekustannus
ArtHouseKustantamo
AH_Kustantamo



Kuva 1: Pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (SEM) otettu kuva mustan piin poikkileikkauksesta.

TEHOKKAAMPIA PIIAURINKOKENNOJA NANORAKENTEEN AVULLA

Paljas piin pinta heijastaa yli 30 prosenttia sille saapuvasta valosta. Ilman toimenpiteitä heijastuksen vähentämiseksi piiaurinkokennot menettäisivät siis noin kolmasosan auringon säteilyn energiapotentiaalista jo heti etupinnallaan. Nykyisissä teollisissa aurinkokennoissa pinnan heijastuksen minimointiin hyödynnetään kahta menetelmää: pintateksturointia ja heijastuksenestokalvoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa kennon pinta kuvioidaan pyramidin muotoisilla rakenteilla, jolloin heijastuneilla valonsäteillä on suurempi todennäköisyys osua piin pintaan uudelleen ja siten saada uusi mahdollisuus absorboitua.

Toisessa menetelmässä pinnalle kasvatetaan läpinäkyvä ohutkalvo, jonka taitekerroin ja paksuus on suunniteltu siten, että pinnan heijastavuus putoaa nollaan tietyllä aallonpituudella destruktiivisen interferenssin ansiosta. Näiden menetelmien ongelmana on, että ne voidaan optimoida ainoastaan yhdelle, varsin kapealle aallonpituusalueelle. Yleensä heijastusminimi suunnitellaan noin 600 nanometrin, eli vihreän valon aallonpituudelle, sillä se on lähinnä auringon spektrin tehomaksimia. Lisäksi teksturointi ja heijastuksenestokalvo optimoidaan kohtisuorille valonsäteille, jolloin niiden tehokkuus laskee merkittävästi valolle, joka tulee kennon pintaan viistosti. Tämä pienentää kennosta saatavan tehon määrää huomattavasti, sillä auringon valonsäteiden tulokulma vaihtelee vuoden- ja vuorokaudenajasta riippuen.

Edellä mainitut ongelmat heijastusminimin optimoinnin suhteen voidaan välttää valmistamalla kennon pintaan kuvan 1 mukainen nanorakenne. Tämän niin kutsutun mustan piin avulla pinnan heijastus saadaan laskettua alle yhteen prosenttiin koko näkyvän valon aallonpituusalueella, mikä parantaa aurinkokennojen tehokkuutta merkittävästi. Lähes olematon heijastus perustuu nanorakenteiden pieneen kokoon. Koska piipiikit ovat mittasuhteiltaan saapuvan valon aallonpituutta pienempiä, nanorakenne toimii ikään kuin heijastuskerroingradienttina. Kerroin muuttuu tasaisesti ilman 1.0:sta piin vastaavaan arvoon, jolloin saapuvat fotonit eivät havaitse askelmaista heijastuskertoimen rajapintaa, eivätkä täten heijastu. Lisäksi nanorakenne sirottaa valoa tehokkaasti parantaen erinomaisia optisia ominaisuuksia entisestään ja toimii yhtä hyvin riippumatta saapuvan valon polarisaatiosta.

Heijastuksen minimoinnin kannalta optimaalisia ominaisuuksia ei kuitenkaan saada ilman kompromissejа muilla aurinkokennon toiminnan kannalta tärkeillä osa-alueilla. Elektroni-aukko-parin muodostuminen fotonin absorboitumisen seurauksena ei vielä takaa, että kyseiset hiukkaset voitaisiin varmasti hyödyntää sähkötehona kennoon kytketyssä kuormassa, vaan ne on ensin pystyttävä keräämään puolijohdekomponentin kontakteilla. Mustien piikennojen ongelmana on ollut varauksenkuljettajien (elektroni-aukko-parin) rekombinoituminen nanorakenteissa, jolloin absorboituneiden fotonien energia on mennyt hukkaan. Aikaisemmin nämä nanorakenteisten pintojen heikot varauksenkuljetusominaisuudet ovat olleet merkittävämpiä kuin heijastuksen vähentymisestä saatavat hyödyt, ja mustien aurinkokennojen hyötysuhteet ovat olleet vaatimattomia.

Aalto-yliopiston professori Hele Savinin johtama tutkimusryhmä onnistui passivoimaan nanorakenteisen pinnan peittämällä sen atomikerros-

kasvatuksella tehdyllä ohutkalvolla. Tehokas pintapassivointi perustuu pintatilojen määrän vähentämiseen sekä elektronien karkottamiseen pinnan läheisyydestä ohutkalvossa olevan negatiivisen varauksen avulla. Näin varauksenkuljettajat eivät eksy nanorakenteisiin, ja ne saadaan kerättyä talteen. Professori Savin ryhmineen sovelsi tutkimaansa passivointimenetelmää kokonaisiin aurinkokennoihin yhteistyössä espanjalaisen Universitat Politècnica de Catalunyan kanssa ja saavutti keksinnöllään keväällä 2015 mustien kennojen hyötysuhde-ennätyksen, 22,1 prosenttia, koko auringon spektrillä mitattuna. Tämä oli yli kolme prosenttiyksikköä parempi kuin ryhmän entinen ennätys 18,7 prosenttia.

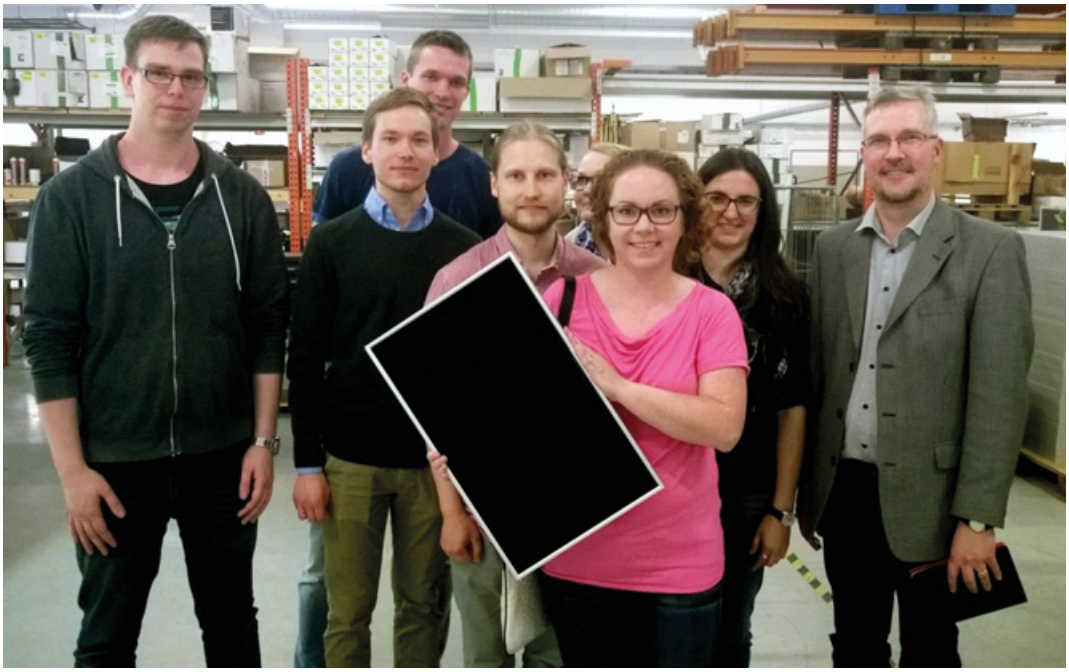
Todistaakseen ohutkalvolla tehdyn passivoinnin toimivuuden tutkimusryhmä käytti ennätyskennossa pintarekombinaatiolle erittäin herkkää rakennetta: paksuja sormilomitettuja kennoja, joissa kontaktit ovat kennon takapuolella. Pinnan lähellä absorboituvat sinisen aallonpituuksien fotonit saatiin talteen ja muutettua sähköksi 96 prosentin todennäköisyydellä, kun tämä niin kutsuttu kvanttihyötysuhde on jäänyt mustissa kennoissa aikaisemmin reilusti alle 50 prosenttiin.

Aurinkokennoja vertailtaessa tarkastellaan usein juurikin hyötysuhdetta. Mustan piin tapauksessa tämä yksittäinen parametri ei kuitenkaan kerro koko totuutta. Nanorakenteet

”Mustat kennot voivatkin tuottaa tavallisia kennoja enemmän sähköä jo yhden päivän aikana.”

pystyvät vangitsemaan auringon säteilyä tehokkaasti myös matalista tulokulmista, mitä ei oteta huomioon virallista hyötysuhdetta määritettäessä. Mustat kennot voivatkin tuottaa tavallisia kennoja enemmän sähköä jo yhden päivän aikana. Nanorakenteista on hyötyä etenkin pohjoisilla leveyspiireillä, jossa aurinko paistaa suuren osan vuodesta matalalta. Professori Savinin ryhmä osoitti, että talvisessa Helsingissä mustat piikennot tuottavat perinteisiä kennoja merkittävästi enemmän sähköä, vaikka niiden hyötysuhteet olisivat samat. Tämä on merkittävää konseptin kaupallistamisen kannalta, sillä viime kädessä laitteen kustannustehokkuus eli hinta tuotettua kilowattituntia kohden ratkaisee.

Tutkimuslaboratoriossa valmistettujen ennätyskennojen pinta-ala oli 9 cm2. Tällä hetkellä ryhmä koordinoi EU-projektia, jonka tavoitteena on kehittää mustia piikennoja teollisessa mittakaavassa ja tuoda ne siten askeleen lähemmäs kuluttajaa. Nanorakenteita on tarkoitus soveltaa täysimittaisiin aurinkokennoihin, ja päästä testaamaan yhdessä teollisten valmistajien kanssa, miten kennot toimivat ja tuottavat sähköä reaaliolosuhteissa osana moduuleita. Pro-



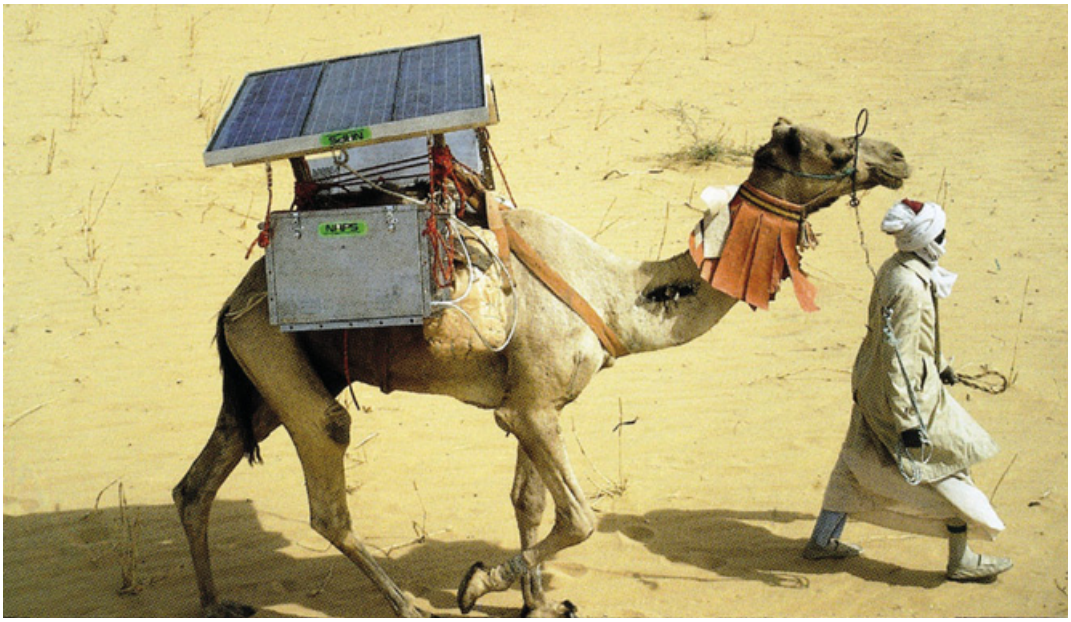
Kuva 2. Professori Hele Savin tutkimusryhmineen mustan prototyyppimoduulinsa kanssa.

”Projektilta odotetaan myös uusia tieteellisiä läpimurtoja.”

jektissa on mukana Aalto-yliopiston lisäksi ennätyskennon valmistamisessa mukana ollut espanjalainen yliopisto Universitat Politècnica de Catalunya, suuri saksalainen kennovalmistaja Solar World Innovations GmbH sekä viisi suomalaista alan yritystä, mukaan lukien energiayhtiö Fortum. Saksalaisvalmistajalla on projektissa merkittävä rooli. Heillä on käytössään muun muassa massatuotantoon sopiva pilottilinjasto, jolla uusia innovaatioita voidaan testata teollisuusmittakaavassa. Täten Savinin ryhmän laboratoriossa tekemät keksinnöt pääsevät suoraan maailmanmarkkinoille kokeilemaan potentiaaliaan. Vaikka teollisuus onkin vahvasti mukana hankkeessa, kyse ei kuitenkaan ole pelkästä kaupallistamisprojektista. Projektilta odotetaan myös uusia tieteellisiä läpimurtoja.

Projektin puitteissa on jo onnistuttu menestyksekkäästi valmistamaan ensimmäiset mustat prototyyppimoduulit. Tämä saavutus on merkittävä virstanpylväs mustan piin teollistamisen kannalta, sillä se osoittaa hauraan nanorakenteen selviytyvän vahingoittumattomana koteloinnista lopulliseksi tuotteeksi eli aurinkopaneeliksi.

Toni Pasanen



Kuva 1: Unicefin rokoteohjelmassa käytetty kamelijääkaappi Camel Fridge, sisältää Napsin paneelin, Napsin akut, Napsin lataussäätimen, Napsin telineet ja Napsin jääkaapin. Kameli ohjastajineen ei kuulunut pakettiin.

35 VUOTTA AURINKOSÄHKÖÄ – SUOMESTA!

Ympäristön kannalta aurinkosähkö on lähes ideaalista; käytössä olevassa järjestelmässä ei ole liikkuvia eikä kuluvia osia, se ei vaadi mitään polttoainetta eikä tuota minkäänlaisia päästöjä tai meteliä. Aurinkosähköjärjestelmän valmistamiseen käytetty energia ja sen tuottamisen yhteydessä vapautunut hiilidioksidi saadaan säästettyä takaisin muutamassa käyttövuodessa jo Suomenkin olosuhteissa. Aurinkokennojen ja komponenttien vuosikymmeniä jatkunut hintaeroosio on johtanut siihen, että ns. verkkopariteetti on saavutettu suuressa osassa maailmaa. Verkkopariteetti tarkoittaa tilannetta,

jossa aurinkosähköllä tuotettavan sähkön kustannus tai hinta (€/kWh) on enintään yhtä suuri kuin sähköverkosta ostettavan sähkön hinta. Kulutuskohteesta ja käyttötavasta riippuen tämä on tilanne joissakin kohteissa jo Suomessakin.

Hintojen lasku on johtanut verkkoon kytkettyjen järjestelmien kysynnän ja tarjonnan voimakkaaseen kasvuun viimeisten parin kymmenen vuoden aikana. Ympäristötietoisuuden lisääntyminen on edelleen vahvistanut tätä trendiä ja voimakkaasti kasvava markkina verkkoon kytketyille aurinkosähköjärjestelmille on herännyt myös Suomessa. Kasvu voi olla todella nopeaa, sillä Napsin toimittamien kesämökkijärjestelmien ansiosta jo kymmenillä tuhansilla suomalaisilla perheillä on omakohtaista kokemusta aurinkosähköstä. Naps on yksi vanhimpia uusiutuvan energian tuottamiseen, talteenottoon ja varastointiin liittyvän teknologian kaupallisia soveltajia. Varsinkin toiminnan alkuvuosina panostettiin erittäin paljon myös teknologian kehittämiseen, koska sitä oli vielä silloin huonosti saatavilla. Nykyisin täysin aurinkosähköön keskittyvä yritys on vuosikymmenien mittaan pioneerina osallistunut monen nykyisin itsestäänselvyytenä pidettävän aurinkosähkön hyödyntämiseen liittyvien teknologian kehittämiseen. Muun muassa aurinkosähkön tuotannon ytimessä olevia aurinkokennoja on Napsissa kehitetty ja valmistettu useita eri tyyppejä ja aurinkosähkökäyttöön soveltuvien akkujen, niiden lataussäätimien, sähköverkkoon liittämiseksi tarvittavien vaihtosuuntaajien ym. laitteiden kehittämisessä Napsilla on ollut keskeinen rooli. Aurinkopaneeleja yhtiössä on valmistettu jo yli kahdenkymmenen vuoden ajan. Harvassa ovat aurinkosähkölaitteet, joissa ei olisi ripaus Napsia mukana. Aurinkosähköön suoraan liittymättöminä kuriositeetteina mainittakoon, että Suomen ensimmäinen sähköverkkoon kytketty tuulivoimala Inkoon Kopparnäsissa oli Napsin, ja yhtiössä on kehitetty myös omia jääkaappeja Unicefin rokoteohjelmaan – ja vain siksi kun riittävän hyviä ei ollut markkinoilta saatavissa.

Kuva 2: Maailman ensimmäinen kappale aurinkopaneeliin laminoitua mustaa piitä.

Naps on 35-vuotisen historiansa aikana toimittanut ratkaisuja vaativille asiakkaille lähes kaikkiin sovelluksiin ja lähes jokaiseen maailman maahan. Referenssilistallamme on yli 200 000 asennettua järjestelmää noin 140 maassa. Olkoon kyse kesästä Saharassa tai talvesta Antarktiksella, Naps tuntee vastassa olevat haasteet ja tarjoaa asiakkailleen niihin sopivimmat ratkaisut. Asiakkaat, jotka jatkavat yhteistyötä kanssamme vuosikymmenestä toiseen, ovat paras todiste osaamisestamme ja hyvästä asiakaspalvelustamme. Voidaan perustellustikin kysyä, mitä merkitystä kaikella tällä on

nykyisillä aurinkosähkömarkkinoilla, joilla paneeleita ja muita järjestelmäkomponentteja voi helposti ostaa vaikka verkkokaupasta ja sähkötöitä lukuun ottamatta asentaakin järjestelmät itse. Merkitys tulee siitä, että tiedämme mitä vaatii tehdä järjestelmä joka pysyy paikallaan, toimii ja tuottaa. Osaamisemme hyödyntää suoraan myös niitä asiakkaitamme, jotka haluavat mahdollisimman suoraviivaisen ja kustannustehokkaan ratkaisun, ilman mitään hienostelua.

Naps Solar

- Aurinkosähköjärjestelmien arvostettu osaaja.
- Naps toimittaa ratkaisuja asiakkaittensa moninaisiin tarpeisiin niin sähköverkkoon kytkettäviksi kuin siitä irralleen.
- Ratkaisut perustuvat poikkeuksellisen mittavaan 35-vuotiseen kokemukseen yli 200.000 toimitetusta järjestelmästä yli 140 maahan kaikissa maanosissa.
- Konsernin yhtiöiden vuoden 2015 liikevaihto oli noin seitsemän miljoonaa euroa ja henkilöstö noin 30.
- Perjantaina 28.10.2016 Taaleri Kiertotalous Ky:stä tuli Naps Solar Oy:n suurin omistaja. Usean miljoonan euron suuruisen rahoituskokonaisuuden kohteena on kasvun tarvitsema käyttöpääoma sekä organisaation kehittäminen tavoitteiden mukaiseksi.
- Panostuksia lisätään sekä kotimaiseen että kansainväliseen liiketoimintaan.
- www.napssystems.com, www.napssystems.fi

Toteutamme ne rutiinin tuomalla tehokkuudella ja ostovolyymimme tuottamalla edullisella kustannustasolla. Aurinkosähköteknologia ei myöskään ole suinkaan valmista. Vaikka paneelit ovat melko vakiintunutta teknologiaa, melko edullisia, joka paikasta saatavilla, niistä voidaan tehdä vielä parempia ja edullisempia. Toisaalla tässä lehdessä kerrotaan Suomessa tehtävästä upeasta tutkimuksesta, joka voi jollain aikavälillä auttaa alaa ottamaan taas yhden askelen eteenpäin.

Naps oli taannoin mukana Tampereen teknillisen yliopiston Tekes-rahoitteisessa projektissa projektissa, jossa professori Mircea Guinan ryhmä saavutti ennätyksiä yhdistelmäpuolijohteisiin perustuvilla aurinkokennoillaan. Tutkimuksen perään tarvitaan tuotekehitystä, ja parhaillaan Naps osallistuu professori Hele Savinin artikkelissaan sivulla 10 kertomaan kansainväliseen projektiin, jossa nanorakenteita hyödyntäviä eli täysin mustia kennoja on tarkoitus soveltaa täysimittaisiin aurinkokennoihin, ja päästä testaamaan yhdessä teollisten valmistajien kanssa, sitä miten kennot toimivat ja tuottavat sähköä reaaliolosuhteissa osana moduuleita. Napsin rooli projektissa on integroida kehitettävät kennot toimivaan aurinkopaneeliin. Naps onkin ensimmäisenä maailmassa onnistuneesti laminoinut mustaa piitä aurinkopaneeliin sen tutkimiseksi kuinka materiaalit sopivat yhteen ja mitä vaaditaan toimivan paneelin tekemiseksi. Odotamme innokkaasti toimivia

Kuva 3: Esimerkkejä rakennuksiin integroiduista järjestelmistä.

kennoja projektin muilta osapuolilta, jotta pääsisimme tekemään maailman ensimmäisen mustaa piitä soveltavan aurinkopaneelin.
Esimerkkinä osaamisen soveltamisesta voidaan käyttää myös taitoamme integroida aurinkopaneeleita osaksi rakennuksen julkisivua. Aurinkosähköisen toiminnallisuuden integroiminen suoraan rakennukseen jo rakennusvaiheessa vähentää ulkopuolelta ostettavan sähkön määrää, joten se nopeuttaa rakennusinvestoinnin takaisinmaksua. Aurinkopaneeleilla voidaan korvata muita rakennusmateriaaleja ja saada aikaan monipuolisia visuaalisia ratkaisuja. Ensimmäiset julkisivuintegrointimme ovat jo 1990-luvulta ja niitä on tehty useita kymmeniä. Aurinkosähköteknologian kustannuskehitys mahdollistaa jo nykyisellään sen, että aurinkopaneeleilla toteutettu lasiseinä ei maksa juurikaan enempää kuin tavallinen lasiseinä.

Aurinkosähkö tarjoaa uusia sävyjä ja mahdollisuuksia lasitusten suunnitteluun, kuten yllä olevasta kuvakollaasista voidaan nähdä.

TkT Mikko A. Juntunen

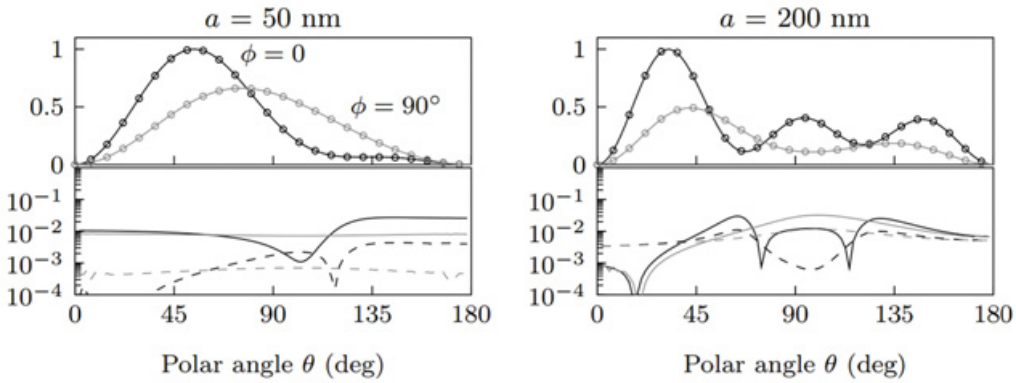
2015-5-29
Tampereen teknillinen yliopisto
Jouni Mäkitalo, väitöskirja
http://URN.fi/URN:ISBN:978-952-15-3539-0
Ohjaaja: Prof.Martti Kauranen (TTY)
Vastaväittäjä: Prof. Carsten Rockstuhl (Karlsruhe Institute of Technology)

Reunaintegraalioperaattorit lineaarisessa ja toisen kertaluvun epälineaarisessa nano-optiikassa

Nanorakenteiden valmistusmenetelmien, kuten elektronisädelitografian, kehittyminen viime vuosina on mahdollistanut monenlaisten nanorakenteiden ja niistä koostuvien metamateriaalien valmistuksen. Metalliset nanorakenteet ovat olleet erityisen kiinnostuksen kohteena niissä ilmenevien plasmoniresonanssien vuoksi. Nämä resonanssit riippuvat rakenteiden muodosta, koosta ja koostumuksesta ja niillä voidaan vaikuttaa siihen, miten valo käyttäytyy kulkiessaan rakenteen läpi. Resonansseissa valon sähkökenttä voi voimistua merkittävästi rakenteiden ympäristössä, mikä puolestaan voi voimistaa epälineaarisia optisia ilmiöitä, kuten taajuudenkahdennusta.

Taajuudenkahdennus on toisen kertaluvun epälineaarinen optinen ilmiö, jossa esim. infrapunavalo voi osittain muuttua vihreäksi valoksi. Ilmiö on herkkä sen aikaansaavan rakenteen ja valon sähkökentän symmetrialle, joten eri muotoisissa nanorakenteissa taajuudenkahdennuksen ominaisuuksien ennustaminen on hyvin hankalaa. Toisaalta tämä herkkyys mahdollistaa mm. nanorakenteiden laadun tarkastelun optisesti.

Valmistetuissa näytteissä esiintyy aina virheitä, jotka hankaloittavat optisten mittaustulosten tulkintaa. Tietokonesimulaatioilla voidaan tarkastella ideaalisia rakenteita, sekä tutkia, miten erilaiset virheet vaikuttavat tuloksiin. Toisaalta näytteiden valmistus on hyvin aikaavievää ja simulaatioiden avulla voidaan tarkastella jo etukäteen mahdollisesti mielenkiintoisia rakenteita. Resonanssit, epälineaarisuus, metallien dispersio



Taajuudenkahdennuksen sironta-amplitudi (yllä) kahdesta eri kultapallosta (säde a) sekä suhteellinen virhe kolmella eri laskentatarkkuudella (alla). Tulokset on saatu tarkalla moninaparatkaisjalla (viivat) ja reunaelementtimenetelmällä (ympyrät).

sekä geometrian monimutkaisuus asettavat kuitenkin kovat vaatimukset mallinnusmenetelmille.

Väitöstyöni tarkoitus oli kehittää käytännöllinen menetelmä sekä tietokonetoteutus metallisten nanorakenteiden lineaaristen ja epälineaaristen optisten ominaisuuksien mallintamiseen. Päädyimme kehittämään reunaintegraalioperaattoreihin pohjautuvan menetelmän, josta tehtiin kolmioelementtidiskretointiin perustuva likiarvoratkaisija sekä validointia varten tarkka erityistilanteisiin soveltuva moninapakehitelmäratkaisija.
Likiarvomenetelmä osoittautui riittävän tarkaksi taajuudenkahdennuksen mallintamisessa. Menetelmää kehitettiin edelleen geometrisesti jaksollisten rakenteiden mallinnukseen sekä hyödyntämään symmetrioita laskennan nopeuttamiseksi. Sitä käytettiin myös useiden kokeellisten tutkimusten tukena.

Lisäksi huomasimme, että pelkkä kokeellisia tuloksia jäljittelevän simuloidun datan tuottaminen ei aina riitä ilmiöiden syvällisen ymmärryksen saavuttamiseen. Väitöstyön toiseksi merkittäväksi tavoitteeksi nousikin eräänlaisen ominaismuototeorian kehittäminen sekä testaaminen simulaatioissa. Alalla oli jo hyvin omaksuttu sähköstatiikkaan pohjautuva muototeoria, mutta sen laajennus aikariippuvaan sähkömagneettiseen kontekstiin uupui, vaikka käytännössä sille oli tarve.

Mallinnusta kokeellisen työn tueksi

Aloitin 2008 tutkimusapulaisena prof. Martti Kaurasen johtamassa epälineaarisen optiikan ryhmässä TTY:llä. Tein kandidaatintyöni FDTD-menetelmästä, jolla pystyttiin vastaamaan osaan ryhmän nano-optiikan mallinnustarpeista. Huomasimme pian, että se ei tulisi toimimaan hyvin pintaepälineaarisuuksien mallin-

tamisessa. Sain kuitenkin kokemusta sähkömagneettisesta mallinnuksesta, Fortran-ohjelmoinnista ja rinnakkaislaskennasta. Perehdyttyäni paremmin eri mallinnusmenetelmien toimintaan ja matemaattiseen taustaan, päädyin tekemään diplomityön reunaelementtimenetelmästä lineaarisen nano-optiikan mallinnuksessa. Työn matemaattisen ja sähkömagneettisen painotuksen vuoksi pyysimme sähkötekniikan laitokselta avuksi yliopistonlehtori Saku Suuriniemen, joka jatkoi avustamistaan väitöstyönkin ajan. Diplomityön tulos loi vahvan pohjan tulevalle väitöstyölle.

Väitöstyöllä oli selvä alkutavoite: reunaelementtimenetelmä nanohiukkasen pinnalla tapahtuvan taajuudenkahdennuksen mallintamiseen. Alku oli haastava, mutta alan julkaisuja lukemalla pääsimme lopulta ymmärrykseen siitä, miten menetelmä olisi parasta muotoilla. Tulokset julkaistiin Optics Express -lehdessä ja ne loivat pohjan lopulle väitöstyölle. Jo ensimmäistä paperia kirjoittaessa kävi ilmi, että muutamat muut tutkimusryhmät olivat lähteneet kehittelemään vastaavia menetelmiä. Kävi jopa niin, että meillä oli jo eräs pitkälle viety menetelmän jatkokehitys, kun toinen ryhmä julkaisi oman vastaavan formulaationsa. Oli parempi keksiä myös muunlaisia ideoita.

Olin tutustunut tutkan ja radioantennien ominaismuototeorioita käsitteleviin papereihin, joista osa ajoittui jo 70-luvun alkuun. Matemaattisesti nämä teoriat olivat hyvin lähellä tutkimusaihettani, mutta kävi ilmi, ettei niiden implikaatiota nano-optiikan malleihin ollut tutkittu. Tästä saimme väitöstyöhön uuden osan, joka toimi hyvin taajuudenkahdennuksen mallintamisen tukena, mutta jolla oli myös itsenäinen merkitys.

Optiikan laboratorio teki pääsääntöisesti kokeellista tutkimusta. Siksi kehitetyille mallinnusmenetelmillä oli ryhmässä myös suuri käytännön tarve. Menetelmiä sovellettiin menestyksekkäästi useiden kollegoideni tuottamien kokeellisten tulosten tukena ja uusien mahdollisuuksien tutkimisessa. Tällä tavalla pääsinkin mukaan lukuisiin ryhmän julkaisuihin ja sain arvokasta kokemusta työskentelemisestä ryhmässä, jossa on erityyppistä osaamista.

Väitöstyötä tehdessä on hyvä myös hakea hieman vertaistukea muualta kuin omasta ryhmästä. Marraskuussa 2012 suoritin lyhyen tutkijavaihdon Berliinin Humboldt yliopiston teoreettisen nano-optiikan ryhmään. Pääsin keskustelemaan teoreettisesta fysiikasta ja mallinnusmenetelmistä alan ammattilaisten kanssa. Osallistuin myös konferensseihin mm. Espanjassa ja Saksassa.

Väitöskirja saatiin esitarkastukseen keväällä 2015. Tarkastajien kommentit olivat erittäin positiivisia eikä korjauksille juuri ollut tarvetta. Väitöstilaisuus pidettiin lopulta 29.5.2015 ja vastaväittäjäksi saatiin prof. Carsten Rockstuhl, joka on yksi alan suurista

Väitöstilaisuudessa pääsin selittämään työn keskeisiä lausekkeita liitutaululla. Kuva: Markku Åkerblom.

vaikuttajista. Väitöstä edeltävä aika oli myös toisesta syystä hyvin merkittävä: olin juuri tullut pienen tytön isäksi.

Väitöstilaisuus sujui kaikkiaan hyvin. Tunsin aiheeni ja olin valmistautunut. Vastaväittäjä oli valmistellut tiukkoja, mutta myös hyvin aihepiiriin johdattelevia kysymyksiä. Illalla oli vuorossa karonkka, jossa saavutusta juhlistettiin vastaväittäjän, kustoksen, työtovereiden sekä perheen kesken. Työkavereilta lahjaksi saatu nelikopteri on ehtinyt kuvaamaan Tampereen Hervantaa jo moneen otteeseen.

Väitöksen jälkeen

Väitöstyö sai myös hyvin näkyvyyttä alan piireissä ja sen alullepanemaa aihetta ovat muut ryhmät vieneet nopeasti eteenpäin. Kirjan lisäksi sen ohessa syntyi suuri määrä ohjelmakoodia, jonka tärkeimmät osat on julkisesti saatavilla Githubissa.

”Vastaväittäjä oli valmistellut tiukkoja, mutta myös hyvin aihepiiriin johdattelevia kysymyksiä.”

Tieni väitökseen asti eteni varsin jouhevasti siitä kun aloitin Optiikan laboratoriossa 7 vuotta aiemmin: sain tehdä tutkimusta saman kiinnostavan aihepiirin parissa. Väitöksen jälkeen olikin muutoksen aika. Useista syistä johtuen akateeminen tutkimusura ei parin vuoden aikajänteellä vaikuttanut parhaalta vaihtoehdolta ja päädyin osittain ohjelmointiharrastuneisuuteni turvin ohjelmistokehittäjäksi yksityiselle sektorille. Fysiikka ja matematiikka ovat edelleen lähellä sydäntä ja kukaties palaan vielä fysiikan ja tietokonesimulaatioiden maailmaan. Vinkkini aloittelevalle tohtorikoulutettavalle on arvioida jo alusta lähtien, millaisia taitoja oma väitöstyö ja jatko-opinnot antavat akateemiselle tutkimukselle väitöskirjan jälkeen ja yritysmaailmassa työllistymiseen. Itselleni jäi yleisesti siirrettävinä taitoina käteen mm. kokemus ison projektin loppuun saattamisesta, matemaattiset taidot, julkaisuprosessi, esityskokemus konferensseissa ja työskentely osana isompaa tutkimusryhmää.

Kiitän kollegoitani Tampereen teknillisen yliopiston Optiikan laboratoriossa ja Suomen Fotoniikan seuraa, joka palkitsi työni vuoden 2015 parhaana optiikan alan väitöskirjana.

Yrityssession puheenjohtaja Veli-Pekka Leppänen esitteli VR-laseja

OPD2016 palkitut esittäjät vasemmalta lukien: Mikko Poutanen, Joona Rissanen ja Igor Reduto.

OPD2016 tieteellisen session kuulijoita

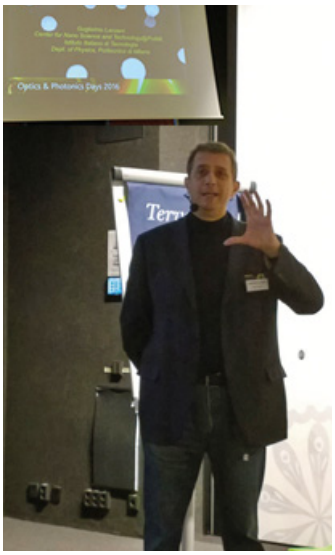
OPTIIKAN PÄIVÄT 2016

Perinteiset Optiikan Päivät vietettiin Tampereella Hotelli Torniss sa16.5.-18.5.2016. Osallistuja tapahtumaan ilmoittautui 153, tavanomaista runsaammin. Hienosti sujuneista järjestelyistä vastasivat Tampereen teknillisen yliopiston Optisen tutkimuskeskuksen ORC:n tutkijat Juha Toivonen, Goery Genty, Pekka Savolainen ja Lasse Orsila. Järjestäjät ansaitsevat tunnustuksen ei pelkästään hyvin sujuneesta ohjelmasta ja erinomaisen maittavasta konferenssi-illallisesta, mutta myös

siitä, että tapahtuma oli taloudellisesti tuottoisa. Liekö syynä se, että järjestelytoimikunnassa toimi seuramme taloudenhoitaja.

Päiville osallistui 14 näytteilleasettajaa, kuultiin kaksi plenaariesitystä, 26 akateemista ja 21 yritysten esitystä. Postereita oli esillä 50. Noin puolensataa osallistujaa antoi palautteen tapahtuman onnistumisesta. Karkeasti ottaen vajaa 80% vastanneista antoi kyselyn eri kategorioihin arvosanan 4/5 tai parempi. Silmiin osui neljä kategoriaa, joille arvosanaksi tuli 3,8–3,9/5: tieteellinen sessio, yritys-sessio, yritysnäyttely ja tapahtuman hyöty/ kustannus suhde. Seuraaville järjestäjille vain vinkiksi, missä vielä voi parantaa, näinkin hyvää tulosta. Konferenssiympäristöön osallistujat olivat yksituumaisen tyytyväisiä.

Päivät sujuivat kahden samanaikaisesti etenevän session voimalla, tieteentekijöille oli omansa ja yrityksille omansa. Tästä jo vakiintuneesta tavasta aiheutuu se haitta, että mikäli kuulijaa kiinnostaa samanaikainen esitys kummallakin puolella jää toinen esitys kuulematta. Myös edestakaisin juokseminen salista toiseen on jonkun verran kiusallista. Voittopuolena järjestelyssä on, että ohjelmaan voidaan mahduttaa kaksinkertainen määrä suullisia esityksiä, joita me kaikki kynnelle kykenevät haluamme ja erityisesti kansainvälisiin konferensseihin valmistautuvat opiskelijat haluavat pitää. Kysynkin, olisiko ajatusta siinä, että edetään yhden session



Professori Guglielmo Lanzani pitämässä plenaariesitystään.

varassa kahden päivän ajan. Annetaan plenaristeille 45 min, sekä muille suullisille esityksille 30 min aikaa. Tällöin esittäjät joudutaan valikoimaan tiheämmän seulan läpi ja joudutaan poimimaan todella ajankohtaisia aiheita. Akateemiset ja teolliset esitykset vuorottelisivat. Järjestely lisäisi posterien määrää, joita Tampereella nähtiin jonkin verran tavanomaista vähemmän. Sitten varsinaiseen antiin.

Professori Guglielmo Lanzani Polytechnico di Milanon fysiikan laitokselta kertoi plenaariesitelmässään ’Controlling life with photons’ lähes uskomattomalta tuntuvalta mahdollisuudesta korvata osa pahoin vaurioitunutta silmän verkkokalvoa orgaanisella hybridivalodiodilla, joka oli mahdollista yhdistää hermoverkostoon ja joka siis antoi sähkösignaalin valon vaikutuksesta, näön perustoiminnon (ks. Nature Photonics 7,400

OPD2016 puhujia: Jyrki Kimmel (Nokia Oyj), Fengnian Xia (Yale University) ja Tomas Berg (Thorlabs Sweden).

(2013)) Tutkimuksessa koe-eläiminä olivat tässä vaiheessa rotat. Konsepti vaatii vielä kehittämistä, jotta siitä tulisi hoitomenetelmä vaurioituneen ihmissilmän korjaamiseksi mm. immunologisten responssien hallitsemiseksi, mutta periaate työssä osoitettiin toimivaksi.

Professori Fengnian Xia, Yalen yliopistosta keskittyi esityksessään kaksiulotteisten materiaalien optoelektronisiin ominaisuuksiin. Erityisesti hän toi esille valon ja grafeenin välisen vuorovaikutuksen yhden elektronin kuvassa ja grafeeniplasmoniikan (ks. Nature Photonics 8,899 (2014)). Lupaavana kaksiulotteisena materiaalina hän esitteli mustan fosforin, joka ominaisuuksiltaan toimii grafeenin ja transitiometallisulfidien välimaastossa. Mustasta fosforista kuulimme myös Aalto yliopiston Diao Li:n esityksessä, jossa kerrottiin materiaalin epälineaaristen ominaisuuksien hyödyntämisestä ultranopeissa lasereissa. Tänä ajankohtana emme vielä tienneet kaksiulotteisten materiaalien tutkimusalueeseen osuvasta vuoden 2016 fysiikan Nobel palkinnoista. Ohjelmatoimikunta siis oli ajan hermolla.

Yanne Chembo FEMTO-ST instituutista (CNRS) Besanconista Ranskasta kertoi erinomaisen selkeällä tavalla halkaisijaltaan mikro- tai millimetrin kokoisten levy-, rengas- tai pallore-sonaattoreiden ominaisuuksista. Nk. kuiskaavien galleria-aaltojen käsite (WGM) on alun perin vuonna 1910 Lordi Rayleigh:n ääniaalloille luoma ja sen juuret ulottuvat St. Paulin katedraalin kupolin kävelytasanteella kupolin vastapuolelta kuultaviin kuiskauk-

Näkymä OPD2016 yritysnäyttelystä

siin. Valoaallot toimivat samalla tavoin näissä mikroresonaattoreissa, mikäli pintakarkeus asettuu nanometriluokkaan. Niiden valmistaminen vaatii taitoa. Ultrakorkean Q-arvon omaavien resonaattoreiden suuri fotonitiheys ja pitkä elinaika (useita mikrosekunteja) mahdollistavat monien vahvojen valomateria vuorovaikutusten kuten Kerr-efektin, Raman ja Brillouin sirontojen perusmekanismien tutkimisen (ks. esim. PRL 114,093902 (2015)). Resonaattoreissa tavataan myös kvanttimekaanisia vuorovaikutuksia kuten fotoniparien muodostuminen, koherenttien tilojen kietoutuminen (entanglement) tai puristuminen (squeezing). Resonaattoreilla on käytännön sovelluksia mm. mikroaaltofotoniikassa ja optisessa kommunikaatiossa. Muita akateemisia aihepiirejä olivat ultranopeisiin laserpulsseihin perustuvat mittaustekniikat, epälineaarinen optiikka sovelluksineen, nanorakenteisiin perustuvat optiset materiaalit, uudet laservalonlähteet sekä optiset mittausmenetelmät ja laitteet. Laajasta akateemisesta esitysjoukosta tähän kirjoitukseen kommentoin lyhyesti vain kutsutut esitelmät.

Daniele Faccio (Heriot-Watt University) kertoi yksittäisfotonien havainnoitiin perustuvien SPAD (Single Photon Avalanche Diode) rivi-ilmaisimien mahdollisuuksista kuvantamisessa. Ryhmän Nature Comm. 6, 6021 (2015) julkaisun otsikon ympärille rakennettu esitys, nähdä yksittäinen fotoni lennossa, kuulosti tarinalta tieteen mielikuvamaailmasta.

Konstantinos Daskalakis (Aalto yliopisto) esitteli ohuessa orgaanisessa materiaalikerroksessa havaittujen polaritonien ominaisuuksia. Nämä bosoniset puoleksi valo- ja puoleksi materiaalikvasipartikkelit muodostavat sopivissa olosuhteissa perustilaisen makroskooppisen kondensaatin, samaan tapaan kuin jäähdytetyt atomit Bose-Einsteinin kondensaateissa.

Tekijät havaitsivat rakentamansa monikerrosdielektriresonattorin TDAF polymeerikalvossa Frenkel eksitonien vuorovaikuttavan keskenään. Vuorovaikutus ilmeni kalvon fotoluminesenssin sinisiirtymänä pumppaustehon noustessa kynnysrajan yläpuolelle. Ryhmän värikkään artikkelin aiheesta löydät osoitteessa Nature Materials 13,271 (2015).

Olga Korotkova (University of Miami) käsitteli satunnaisvalonlähteillä aikaansaatavia kaukaisen kentän intensiteettijakautumia, erityisesti valovorteksien syntymistä. Intensiteettijakautumien mittaamiseen ryhmä oli käyttänyt Mach-Zender tyyppistä interferometriä ja kahta valomodulaattoria. Kaukaisen kentän intensiteettijakautumat selitettiin perinteisen skalaarimallin, johon työssä oli lisätty korrelaatiomatriisielementit, avulla. (ks. Opt. Lett. 41,516 (2016)).

Jesper Glückstad (DTU Fotonik) kertoi kutsutussa esityksessään jännittävältä tuntuvasta teknologiasta, jota ryhmä kutsuu valorobotiikaksi. Kyse on kolmiulotteisesta reaaliaikaisesta valon manipuloinnista ja sen hyödyntämisestä genetiikassa, neurologiassa, mikrorakenteiden muodostamisessa, nanopartikkelien lajittelussa tai kokoamisessa, solukirurgiassa, valostimulaatiossa, ja -koestuksessa (ks. Opt.Eng. 54,111308 (2015)) Puhuja esitteli kymmenen nanometrin rakenteita, jotka oli aikaansaatu yhden mikrometrin valolla hyödyntämällä 2fotoniviritystä. Huolimatta hurjista tulevaisuuden näkymistä muistettakoon, että vaikka valorobotti toimisi niin kuin sen halutaan toimivan, jokainen applikaatio vaatii oman aikansa ja osaamisensa tullakseen hyötykäyttöön.

Posterien kertoma oli aihepiiriltään laaja ja oman käsitykseni mukaan niistä heijastui kansainvälisen mittapuun mukainen tieteellinen taso, optiikan alan koulutus on Suomessa hyvissä käsissä. Toisen konferenssipäivän päätteeksi jaettiin palkinnot parhaasta suullisesta esityksestä ja parhaasta posterista. Parhaan suullisen esityksen palkinnon (900€) sai Mikko Poutanen (Aalto yliopisto) aiheesta 'Optical humidity sensing based on isomerization kinetics of azobenzenes'. Posteripalkinto (600€) jaettiin kahden esittäjän kesken. Joona Rissasen (ORC) posterin otsikko oli 'Characterization of tapered fibers with high birefringence'. Igor Reduton (Itäsuomen yliopisto) posterin otsikko oli ' Self-organized growth of plasmonic molecules on the surface of ion-exchanged glass'. FOTONIn toimitus onnittelee voittajia.

Yrityssessioiden kuumimmaksi teemaksi osoittautui virtuaalitodellisuus (VR) jossa ovat mukana suuret globaalit pelurit, kuten Facebook, Google, Alibaba, Apple, Samsung, Intel... Kolmiulotteinen ja haluttuun suuntaan avautuva optinen näkymä muodostetaan silmien eteen tuodulla ja pään mukana liikkuvalla katselulaitteella. Korviin syötetään visuaalisuutta täydentävät ääniefektit. VR-lasit näyttävät vielä kovin kömpelöiltä (kuva artikkelin alussa), mutta kaiketi ajan myötä virtaviivaistuvat.

Mikä sitten on virtuaalitodellisuuden tulevaisuus? Onko tulevaisuuden kuva esim. sellainen että matkaajat julkisissa kulkuvälineissä peittävät silmänsä virtuaalilaseilla ja juoksen-

televat Kalifornian hiekkarannikoilla matkan ajan kun ulkona sataa räntää tai paukkuu 20 asteen pakkanen. Tämän päivän matkustajat vielä voivat käyttää silmiään ainakin osittain reaalimaailmassa kun malttavat irrottaa silmänsä hetkeksi kännyköiden yhteisösivustoilta. Riistävätkö VR-lasit meiltä viimeisenkin tekemisen reaalimaailmassa, vapaa-aikamme? Ovatko todelliset hyödyt muualla kuin viihde- tai peliteollisuudessa. Tältä sektorilta tietenkin syntyy merkittävin liiketoiminta. Markkinat uskovat virtuaalimaailman tulevaisuuteen ja ovat vahvasti liikkeellä. Aihepiiriin kuuluvia esityksiä kuulimme Nokialta, Microsoftilta, Mindfield Games:iltä, Dospelix:iltä ja Vizor:iltä, Suomalaiset ovat kehityksessä mukana.

Lääketieteellisen fotoniikan esityksiä kuulimme seuraavilta yrityksiltä: Iogen, NKT Photonics, Labrox ja ArcDia International. Optisen mittaustekniikan nykytasoa valaisivat Gasera, Spectral Engines, Vaisala, Specim, Noptel ja Comsol. Optisen valmistuksen saavutuksista kertoivat Rosendahl Nextrom, Millog, Greenfox, VTT / MIKES ja Oplatek Group. Lopuksi näytteilleasettajien logot.

Jyväskylässä 30.10.2016
Jouko Korppi-Tommola

Tapahtuman aikana oli mahdollisuus tutustua uusiin sovelluksiin ja teknologioihin kuten Process Geniuksen toteuttamaan Itä-Suomen yliopiston fotoniikan laboratorion VR/AR-käyttöliittymään.

Forest & Photonics 2016 -tapahtumasta haasteita fotoniikan ratkaistavaksi

Suomen kansallismaiseman välittömässä läheisyydessä Kolin luontokeskuksessa 26. – 27.10.2016 jo toista kertaa järjestetty Forest & Photonics tapahtuma keräsi noin sata tutkijaa, yrittäjää ja liiketoiminnan kehittäjää Suomesta sekä maailmalta. Tapahtuma nosti esille metsäbiotalouden teollisuuden tarpeita joihin fotoniikka voi tuoda ratkaisuja. Lisäksi esiteltiin uusia teknologisia mahdollisuuksia teollisuuden hyödynnettäväksi.

Tapahtuman teemoihin ja tulevaisuuden näkymiin laskeuduttiin avaruudesta käsin NASAn Jack A. Kayen johdannolla. NASA hyödyntää ja kehittää

satelliitteja sekä lidar dataa maapallosta saatavan tiedon keräämisessä. Avaruudesta tehtävien mittausten lisäksi tutkimusten painotukset ovat synergiassa myös maan pinnalla sekä lentokoneilla ja sääpalloilla tehtäviin mittauksiin.

Tilaisuudessa kävi selväksi, että eri tarpeisiin vastaavaa teknologiaa on saatavilla mutta tästä huolimatta monilla toimialoilla on kysyntää paremmille teknologisille ratkaisuille. Osaltaan syynä tähän on metsäbiotalouden mahdollisuuksien ja fotoniikka-alan tarjoamien ratkaisujen kartoittamattomuus. Tulevaisuutta mullistavat avaukset löytyvät näiden kahden toimialan rajapinnoilta, jolloin avoimuus ja yhteistyö ovat alkusysäys uusien ratkaisujen sekä teknologioiden kehittymiselle.

Teollisuuden haasteita nostivat esille mm. Jyrki Pesonen Raute Mecanolta ja Markku Mäntylä Valmet Automationilta. Pesonen haastoi fotoniikka-alaa tarjoamaan teknologisia ratkaisuja vanerin käsittely- ja valmistusprosessin hahmon tunnistamiseen, mittaamiseen sekä kuvantamiseen. Toisena haasteena esille nousi puuston inventoinnin informaation tarkentaminen spektrimittaamisen sekä lidar-tiedon avulla.

Joensuun Tiedepuiston Oasis-pelihautomo tarjosi virtuaalikierroksen Kolinkansallismaisemiin.

NASAn Jack A. Kaye.

Mäntylä nosti esille Valmetin haasteen paperin valmistuslinjalla tapahtuvalle reaaliaikaiselle mittaamiselle. Tällä hetkellä paperin liikkuessa linjalla mittaaminen pystytään toteuttamaan vain hyvin kapealla alueella ja reaaliaikaista kokonaiskuvaa ei näin ollen pääse muodostumaan. Valmistuslinjan mittaustapa lähentelee siis putkinäköä ja teollisuudessa on olemassa selkeä tarve laajemman alueen nopealle skannaamiselle.

Fotoniikan haasteiden niin sanotun Graalin maljan nosti esille Metsätehon Tapio Räsänen etsiessään rat-

Tapahtuman teemojen mukaisesti valotaiteilija Kari Kola valaisi Kolin metsän luoden häkellyttävän hienon Valon Polku -installaation.

kaisua metsäkoneen leikkuupään optiselle mittauslaitteelle. Laitteen tulisi pystyä keräämään mittaustietoa tukeista ilman, että kuljettajan täytyy käydä suorittamassa tukkien päästä päähän mittaus itse. Lisäksi laitteen tulisi olla säänkestävä mutta myös likaa, rasvaa ja tietenkin purua hylkivä. Ratkaisun tarjoamisessa ei myöskään helpota tukin mittaukselle asetettu tiukka lainsäädäntö. Optisten mittausratkaisujen lisäksi puun laadun määrittelyyn sekä jatkojalostukseen liittyvälle mittaus ja sensorointi-teknologialle olisi kysyntää. Photonics Finlandin toiminnanjohtaja Juha Purmonen näkee, että eri alojen yritysten rajapinnat tulevat avautumaan. Tämän myötä Suomella on hyvät mahdollisuudet niin tutkimuksen kuin teknologian puolesta tarttua tilaisuuteen tai sitten sen tekevät muut. Suomi on aina elänyt metsästä, ja fotoniikan kaltaisella huipputeknologialla uudistetaan tätä vanhaa ja kunnianarvoisaa alaa, Purmonen summaa. Professori Harri Kopola VTTltä toi puheessaan saman asian esille ja kannusti toimialojen välillä avoimeen tiedonvaihtoon sekä teollisten symbioosien muodostamiseen, jolloin yhden jäte voi olla toisen raaka-aine.

Tuukka Pakarinen

European Optical Society — Coherence for Europe

EOS Topical Meeting

Diffractive Optics 2017

4 – 7 September 2017, Joensuu, Finland

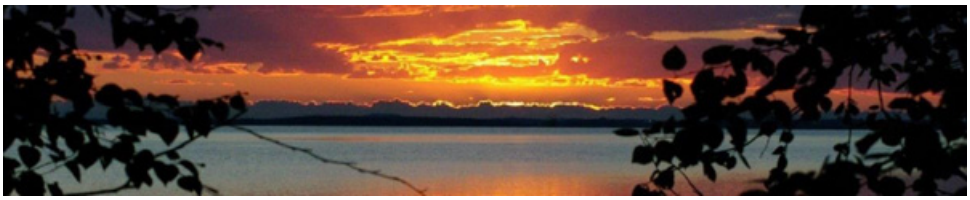
Chairs: *Jari Turunen* and *Frank Wyrowski*

This topical meeting series on diffractive optics was established by the present chairs in 1995, with the inaugural meeting in Prague. The series continued on a biennial basis with meetings held in Savonlinna (1997), Jena (1999), Budapest (2001), Oxford (2003), Warsaw (2005), Barcelona (2007), Koli (2010), and Delft (2012). In 2014 and 2016 the Diffractive Optics meeting was arranged as a part of EOSAM. Recently a decision was made by EOS to re-establish it as an independent EOS Topical Meeting, again to be held biennially.

The scope of the meeting covers all fundamental and applied aspects of diffractive optics and related fields. The topics include but are not limited to:

- Fundamental theory
- Diffraction gratings: theory and applications
- Focusing, shaping, and splitting of light
- Field tracing models
- Subwavelength structures, metamaterials, and plasmonics
- Source modeling; partially coherent and broadband fields
- Polarization effects
- Diffractive optics at short wavelengths
- Temporal diffractive optics

More information on the event can be found at the conference webpage
http://www.myeos.org/events/do2017



Kuopiossa järjestetty tapahtuma houkutteli paikalle yli 30 tutkijaa ja yrityksen edustajaa.

Fotoniikasta uutta teknologiaa ja ratkaisuja terveysalalle

Terveysteknologia on Suomen suurin korkean teknologian sektori, jonka vienti vetää hyvin ja alalle syntyy jatkuvasti uusia startup-yrityksiä. Kuopiossa Kunnonpaikassa 14.9.2016 Photonics Finlandin yhteistyössä Kuopio Innovationin kanssa järjestämässä Photonics for Healthcare -tilaisuudessa esiteltiin uusia terveysteknologian ratkaisuja ja etsittiin yhteistyökumppaneita mm. laitevalmistukseen, kliinisiin testauksiin sekä sertifiointeihin Euroopassa. Puheenvuorot käsittelivät jotakin haastetta, ratkaisua tai mahdollisuutta fotoniikan ja terveysteknologian alalta. Tapahtuma houkutteli paikalle yli 30 tutkijaa ja yrityksen edustajaa.

Tohtori Slava Vanykov, Hypermemo Oystä, esitteli UV-laseriin perustuvan teknologian, joka mahdollistaa esimerkiksi tuberkuloosin parantamisen. Tutkimukset ovat osoittaneet valon aallonpituusalueen, jolla bakteerit ja virukset saadaan parhaiten tuhottua. Esityksestä kävi selväksi, että fotoniikkaa on mahdollista käyttää laajasti eri terveysalan toimenpiteissä ja infektioiden hoidossa. Tässä laitteessa hyödynnetään valokuitua

UV-laserin kohdentamiseen tarkkaan määritetylle alueelle. Teknologiaa on jo testattu Venäjällä eri sairaaloissa.

Danil Mikhailov Inkram Oystä esitteli laitetta, joka pystyy havaitsemaan potilaan uloshengityksestä laktoosi-intoleranssin ja helicobakteerit. Laserin avulla valmistettu nanokokoinen monikerrosrakenteinen puolijohdesensori tekee laitteesta erittäin herkän ja nopean – testin tulokset ovat valmiita kahdeksassa minuutissa. Laite on läpäissyt kliiniset testaukset Venäjällä ja on teknologialtaan valmis käytettäväksi ja Mikhailov hakee laitteen testaukselle ja sertifioinnille yhteistyömahdollisuuksia Suomen sekä muun Euroopan alueella.

Roman Bednarik Itä-Suomen yliopistosta selvitti silmänpaikannusteknologian mahdollisuuksia. Silmän seurannan avulla voidaan selvittää, mitä ihminen katsoo. Terveysalalla teknologiaa voidaan hyödyntää mm. mikroneurokirurgiassa, jossa operoiva kirurgi on leikkausoperaation aikana tiiviisti osa mikroskooppia sekä muuta laitteistoa. Tällä hetkellä silmänpaikannusteknologia on siirtymässä kalliista laitteista ja monitoreista älylasien kautta puhelimiin. Vaikka teknologia halpenee, ovat laitteet erittäin tarkkoja.

Kehityksen myötä esimerkiksi Microsoftin Hololens-laseille tulee silmän paikannusteknologialla olemaan suuri merkitys, koska AR/VR-lasit pystyvät silmän paikannuksen avulla luomaan tarkemman ja todentuntuisemman virtuaalimaailman. Tällä hetkellä ollaan lähellä reaaliaikaista katseenpaikannusta ja nyt olisikin tärkeää löytää sellainen loppukäyttäjä-sovellus, jossa pystyttäisiin hyödyntämään tämän kehittyvän teknologian koko potentiaalia.

Vesa Varjonen Planmecalta ja Juha Laurila Nokia Technologiesilta korostivat digitalisaation ja IoTn (Index of Orthodontic Treatment Need) merkitystä tulevaisuuden kehityssuuntana. Varjonen avasi myös haasteita terveysteknologian näkökulmasta kuten kuvantamisen siirtymisestä näytteistä ja laboratorioympäristöstä reaaliaikaiseen klinikoilla potilaille tehtävään tutkimukseen sekä tämän osana IoTn ja pilvipalveluiden hyödyntämiseen.

Laurila kertoi Nokian terveysteknologian suuntauksesta summaten, että sensorointi, uudet teknologiat sekä materiaalit ovat vahva osa IoTn koskettaen tulevaisuudessa kaikkia yrityksiä. Nokian terveysteknologian pilotoinnissa pyrkimyksenä on yhdistää kotihoidossa olevat potilaat ja sairaala erilaisten etämonitorisointiratkaisujen avulla. Tällä tavoin esimerkiksi kroonisesti sairas potilas voi olla kotona ja samalla hänen toimintojaan voidaan seurata sairaalasta käsin.

Fotoniikan sovellusten kehittäminen terveysalalla tarvitsee tukea ideoiden

sekä konseptien eteenpäin viemiseksi. Pentti Kariojan esittelemän HILLA-hankkeen tehtävänä on jalostaa ideat konsepteiksi sekä keihään kärjiksi, joilla viedä uusia teknologisia ratkaisuja markkinoille sekä kohti kansainvälistä digitaalista liiketoimintaa. HILLA-hankkeen kautta on mahdollista saada rahoitusta sekä ohjausta näiden päämäärien toteutukseen. Uusien yritysten kehitystyön avuksi on myös saatavilla Jyrki Saarisen esittelemä Achphast.eu, joka tarjoaa pienten ja keskisuurten yritysten projekteille alan-ammattilaisten tukea sekä ohjausta.

Päätöspuheenvuorossa Photonics Finlandin toiminnanjohtaja Juha Purmonen toi esille, että fotoniikan hyödyntäminen lääke- ja terveysteknologiassa on voimakkaasti kasvussa. Kuitenkin tällä hetkellä Suomessa terveysalan loppukäyttäjien sitouttaminen uusien innovaatioiden sekä teknologioiden kehittämiseen on haastavaa, koska tarve ja tarjonta eivät vielä täysin kohtaa.
Tältä osin myös Photonics for Healthcaren kaltaiset tilaisuudet osoittavat, että loppukäyttäjille suunnattuja tapahtumia on syytä jatkossakin järjestää ja lisätä terveysalan tietoisuutta uusista fotoniikkaan perustuvista teknologisista mahdollisuuksista.

Tuukka Pakarinen

Advertising in Fotoni magazine and mailing list

Companies are most welcome to advertise their products and services in FOTONI Corporate and societal members can have one half-page black and white advertisement per year free of charge. Remember to utilize this possibility to ensure visibility among Photonics Finland members. Full page advertisements and more frequent or color ads cost extra. Prices in EUR can found in the price list shown below. Job advertisements (text-only) can be sent to members via email to photonics-list@fos.fi. Only members are able to post and only from the email address they have provided to the list.

	Basic fee	**For corporate members**
1/4 page	200	-
half a page	300	0
full page	500	200
color rear cover	700	400

Suomen fotoniikan seura ry, jäsenyys ja jäsenmaksut

Seuran jäseneksi voi hakea täyttämällä lomakkeen osoitteessa http://www.photonics.fi/members/join/ ja maksamalla jäsenmaksu taloudenhoitajan ilmoittamalla viitenumerolla yhdistyksen tilille IBAN: FI44 1309 3000 2042 48, BIC: NDEAFIHH. Seuran hallitus käsittelee seuraavassa kokouksessaan hakemukset ja merkitsee pöytäkirjaan uudet jäsenet.

Viimeisimmät yhdistyksen kokouksen vahvistamat jäsenmaksut ovat:
henkilöjäsenet 30 e
opiskelijajäsenet 15 e
yritys- ja yhteisöjäsenet 300 e

oplatek
Inspired by optics

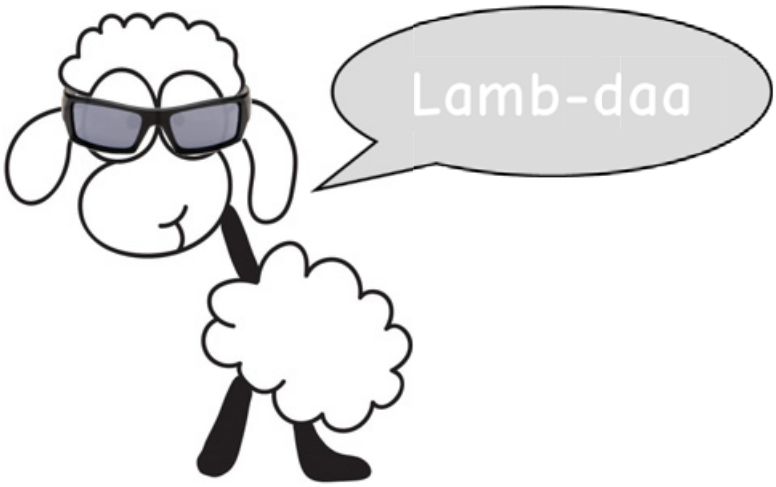
Manufacturing Innovative Photonics Solutions

For Lasers, Lighting and Analyzers in Medical, Process Industries, Energy & Environmental Monitoring

Our capabilities and resources
- Optical Fiber Manufacturing
- Vacuum Evaporation
- Glass Molding, Grinding, Polishing
- CAM/CNC Machining

FIND OUT MORE >> www.oplatek.com

Novel visible laser light sources and projectors to virtual & augmented reality and biomedical imaging



Visit us at Photonics West booth #5467 and pick up your own Lamb-daa plush toy!

brighterwave

SUOMEN FOTONIIKAN SEURA RY

Fotoniksällskapet i Finland rf

Photonics Finland

SEURAN TOIMINNANJOHTAJA JA SIHTEERI

Juha Purmonen
Postiosoite: Photonics Finland c/o
Juha Purmonen,
Länsikatu 15, 80101 Joensuu
Phone: +358 50 354 3832
Email: juha.purmonen@photonics.fi

SEURAN HALLITUS

Jyrki Huttunen
Oplatek Group Oy
Phone +358 40 502 8180
Email. jyrki.huttunen@oplatek.com

Jyrki Saarinen
Varapuheenjohtaja, EOS asiat
Professori, Institute of Photonics
University of Eastern Finland
PL 111, 80101 Joensuu
Phone: +358 50 595 4348
Email: jyrki.saarinen@uef.fi

Lasse Orsila
Taloudenhoitaja, jäsenasiat
Tuotekehitysinsinööri, TkT
Modulight Oy ja Photonics Finland
Phone: +358 40 733 6684
Email: lasse.orsila@tut.fi

HALLITUKSEN MUUT JÄSENET

Petteri Uusimaa, Modulight Ltd.
Veli-Pekka Leppänen, Nanocomp Ltd.
Niklas Saxen, Edmund Optics Ltd.
Heikki Turtiainen, Vaisala Plc.
Antti Isomäki, Helsinki University
Pekka Savolainen, Optoelectronics Research Centre, Tampere
Kimmo Keränen, Technical Research Center of Finland

Jouko Korppi-Tommola
Fotoni-lehden päätoimittaja, hallituksen varajäsen
Professori, Emeritus;
Kemian laitos/Nanotiedekeskus
PL 35, 40100 Jyväskylän yliopisto
Phone: +358 50 587 7530
Email: jouko.korppi-tommola@jyu.fi

WWW-sivut: http://www.photonics.fi

Photonics Finland

Optics & Photonics Days 2017

29–31 May at Radisson Blu Hotel Oulu

Photonics Finland organizes Optics & Photonics Days 2017 in Oulu. The event will take place on 29–31 May 2017 at Radisson Blu Hotel in the city center of Oulu. The program reflects current activities on optics and photonics in Finland both in industry and in academia.

Important dates:

- Abstract deadline: 20th March
- Acceptance notification to authors: 24th April
- Early bird registration until: 8th May

More info at: www.photonics.fi/opd2017

See you in May!

Combined Power and Profile

A Laser Measurement System
for Industrial Automation

BeamWatch - Beam Profiler

- Instantly measure focus spot size and position
- Non-contact: beam is completely pass-through

Helios - Power Meter

- Measures up to 12kW by brief laser exposure
- Robust, industrial design for harsh environments
- Easy to integrate, no water needed - Profinet or RS232 protocols

OPHIR Photonics
A Newport Company

Contact
sales@cheos.fi
kim.tornqvist@cheos.fi
tel 0400 610344
www.cheos.fi

teem photonics™

NEW!

213nm Powerchip Series Lasers

Key features

- 213nm high peak power version
- Single shot to 1kHz
- Very short pulses down to 350ps
- All-in-one compact package*
- Geared for OEM applications

iStar sCMOS

ANDOR
an Oxford Instruments company

The **next generation** nanosecond time-resolved detector

Key Specifications

- 5.5 megapixel sCMOS
- 50 fps full frame
- High dynamic range at full speed
- Integrated triple output DDG
- Photocathode QE up to 50%
- Integrate-On-Chip gating up to 500 kHz
- USB 3.0 interface

Cheos
focus on light

Cheos Oy is established 1992. We provide our customers with solutions in photonics and imaging, the latest technology, educational services and product support within Finland and for specific products and systems in Scandinavia and the Baltic states.

Machine vision
Cameras, optics, light sources, framegrabbers and processor boards, software and libraries. Comprehensive selection of components for OEM customers, education purposes and quality inspection.

Measuring & Analysis
Non-contact optical instruments for measuring distance, velocity, vibration, surface profile and structure. Particle counters, high speed cameras, laser diagnostics and spectroscopy.

Microscopy
Applications in biotechnology, medical imaging and material technology such as automated microscopy, image analysis and archiving, either as complete turnkey solutions or separate components.

Photonics
A wide selection of optics, fine mechanics, light sources and light technology. Lasers, laser components and instruments for demanding applications in industry, research and development.