

Vuoden 2010 Millennium-palkintoehdokas

"väriherkistetystä aurinkokennokeksinnöstään, joka tunnetaan myös Grätzel-kennona. Väriherkistettyjen aurinkokennojen hinnan ja suorituskyvyn suhde on erinomainen. Teknologialla on hyvät mahdollisuudet vaikuttaa merkittäväällä tavalla tulevaisuuden energiateknologioiden kehitykseen. Grätzel-kennolla on todennäköisesti tärkeä ja laaja rooli uusiutuvan energian sovelluksissa. Aurinkokennojen lisäksi samaa toimintaperiaatetta voidaan käyttää akkujen ja vedyn tuotantoon, molemmat tärkeitä osia tulevaisuuden energijärjestelmissä."

Professori Michael Grätzel

Kemiantekniikan professori, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Sveitsi

Sveitsin kansalainen, syntynyt toukokuussa 1944 Dorfchemnitzissä, Saksassa.

Innovaation synty

- 1970 Ensimmäinen yritys rakentaa väriherkistettyjä aurinkokennoja
- 1988 Grätzelin tiimi testaa väriaineherkistettyä titaanidioksidimateriaalia aurinkokennoihin
- 1991 Grätzelin käänteentekevä Nature-artikkeli väriaineherkistetystä aurinkokennosta julkaistaan
- 2009 Kennojen massatuotanto alkaa



Väriaineherkistettyjen DSC-aurinkokennojen kehittäjä

Vuoden 2010 Millennium-palkintoehdokas Michael Grätzel on kolmannen sukupolven väriaineherkistettyjen aurinkokennojen kehittäjä. Tulevaisuudessa siintää monia Grätzelin innovaatioon perustuvia tuotteita, kuten aurinkoenergiaa keräävät ikkunat ja nykyisiä huomattavasti halvemmat aurinkopaneelit. Ensimmäiset Grätzel-kennoihin perustuvat kuluttajatuotteet ovat juuri tulleet markkinoille.

Yksi ihmiskunnan suurimmista haasteista on löytää vaihtoehtoja ehtyville fossiilisille polttoaineille. Ilmeisin energianlähteemme on aurinko, josta lähes kaikki maapallon energiavarat ovat alunperin peräisin. Maapallo vastaanottaa auringon säteilyenergiaa keskimäärin 81 000 terawatin teholla – ylittäen ihmiskunnan kokonaisenergiankulutuksen 5000-kertaisesti. Silti etsimme edelleen kustannustehokasta tapaa hyödyntää auringon ehtymätöntä energiavarantoa.

Auringon säteilyenergiaa sähköksi muuntavia aurinkokennoja on käytetty ensi kerran 1950-luvulla avaruuteen laukaistujen satelliittien energiantuotantoon. Avaruusalusten sähköistämiseen valittu piipohjainen aurinkokennotekniikka oli – ja on yhä – kallista, vaikka aurinkosähköjärjestelmien hinta on laskenut tasaisesti. Maanpäällisessä energiantuotannossa hinnalla on väliä.

Grätzelin innovaatio, väriaineherkistetty aurinkokenno (Dye-sensitised solar cell, DSC), on kolmannen sukupolven aurinkokennoteknologiaa. Keinotekoisesti fotosynteesiksi kuvattu teknologia on lupaava vaihtoehto hallitsevalle piipohjaiselle aurinkokennoteknologialle. DSC-kennot valmistetaan edullisista materiaaleista eikä tuotantoon tarvita monimutkaisia laitteita. Vaikka DSC-kennot ovat vielä suhteellisen varhaisessa kehitysvaiheessa, ne näyttävät erittäin lupaavalta ja edulliselta vaihtoehdolta kalliille piiaurinkokennoille. DSC-kennoteknologia on vahva ehdokas uudeksi uusiutuvan energian tuotantomuodoksi.

Luontoäitiä jäljittelemässä

Aurinkokennot valmistetaan yleensä puolijohdemateriaalista, kuten piistä. Kun valo osuu kennoon, osa siitä absorboituu puolijohdemateriaaliin. Tällöin valon sisältämä energia siirtyy puolijohteeseen ja irrottaa siitä elektroneja. Elektronien virta on sähkövirtaa, joka kerätään puolijohdemateriaalin molemmiin puolin asetettuihin johdinkerroksiin ja johdetaan ulkoiseen virtapiiriin, esimerkiksi tuottamaan virtaa taskulaskimelle.

Perinteisissä aurinkokennoissa pii toimii sekä elektronien lähteenä että johteena, jota pitkin varauksen kuljettajat kulkeutuvat virrankeräimille. Väriaineherkistetyissä aurinkokennoissa nämä toiminnot on erotettu toisistaan samaan tapaan kuin kasvien fotosynteesissä. Voimme ajatella kasvin lehtiä pieninä tehtaina, joissa lehtivihreähiukkasiin absorboituva auringonvalo muuttaa hiilidioksidia ja vettä hapeksi ja glukoosiksi, joka tarjoaa energiaa kasvin käyttöön. DSC-kennojen keinotekoisessa fotosynteesissä lehden rakenne on korvattu huokoisen titaanidioksidin muodostamalla nanohiukkasrakenteella, ja lehtivihreä titaanidioksidin pinnalle kiinnittyneillä väriainemolekyyleillä.

Väriaineherkistetyt kennot muodostuvat nanokokoisista titaanidioksidihiuksista, jotka on pinnoitettu valoa absorboivilla väriainehiukkasilla ja upotettu elektrolyyttiliuokseen. Vain 10 mikrometrin paksuinen sekoitus asetetaan kahden lasilevyn väliin tai upotetaan muovin sisään. Valon osuessa väriainehiukkasiin vapautuu elektroneita, ja syntyy aukkoja, positiivisen varauksen kantajia. Puolijohtava titaanidioksidipartikelikerros johtaa elektronit ulkoiseen virtapiiriin.

Kuluttajatuotteet jo markkinoilla

Kaikista uusiutuvista energialähteistä aurinkoenergia on helppoiten hyödynnettävissä. Ainoa rajoite on sen hinta. Väriaineherkistettyjä kennoja käyttämällä "grid parity" –tilanne, jossa aurinkosähkön hinta on sama kuin perinteisillä tavoilla tuotetun sähkön, on askeleen lähempänä.

Piiaurinkokennoihin verrattuna DSC-kennojen valmistus on huomattavasti halvempaa. Kennojen raaka-aineet ovat myrkyttömiä ja niitä on runsaasti saatavilla. Esimerkiksi kallista puhdasta piitä DSC-kennoissa korvaava titaanidioksidi on halpaa maaleissa käytettävää valkoista pigmenttiä.

DSC-kennoja voidaan valmistaa myös taipuisille alustoille. Michael Grätzel näyttää kangasta muistuttavaa taipuisaa DSC-paneelin palasta.

"Tämä on leikattu saksilla suoraan tuotantolinjalta", hän kertoo.

Paneeli on valmistettu edullisessa rullalta-rullalle-prosessissa. Tuotantolaitos muistuttaa päällystys- ja pakkausteollisuuden tuotantolinjaa.

Vuonna 2009 G24 Innovations, joka on yksi DSC-valmistuslisenssin haltijoista, kertoi ensimmäisestä kennomateriaalin kaupallisesta toimituksesta. Ensimmäiset kuluttajatuotteet ovat selkäreppuja, jotka on päällystetty joustavalla DSC-paneelilla. Kännyköitä ja muita pienlaitteita lataava reppu ilmaantui kauppojen hyllyille vuoden 2010 alussa.



DSC-kennojen joustavuus ja keveys ovat tärkeitä ominaisuuksia tuottaessa virtaa kannettavalle elektroniikalle, mutta teknologialla on myös muita etuja. Perinteisiin piikennoihin verrattuna DSC-kennot tuottavat virtaa vähäisemmässäkin valossa, ja kennot voidaan rakentaa osaksi muita materiaaleja, esimerkiksi lasiseinän rakennuksen seiniä. Paneeleista voidaan tehdä myös läpinäkyviä. DSC-kennojen väriä voidaan muuttaa käyttämällä eri väriainemolekyylejä. Valitsemalla väriaineen, joka absorboi aallonpituuksia näkyvän valon ulkopuolella, voidaan rakentaa virtaa tuottavia, täysin läpinäkyviä ikkunoita. DSC-paneelit ovatkin houkutteleva teknologia rakennuksiin integroituihin aurinkosähkösovelluksiin.

DSC-kennot saavuttavat tällä hetkellä 12 prosentin hyötysuhteen laboratorioissa ja 9 prosentin hyötysuhteen todellisissa käyttöoloissa ulkosalla. Se on alhaisempi kuin monikiteisten piikennojen 15 prosentin hyötysuhde.

”Todellisissa käyttötilanteissa ero supistuu. Piikennot ovat tarkkoja valon tulokulmasta ja lämpötilan nousu laskee niiden tehoa. Pilvisissä oloissa DSC on tehokkaampi kuin piikkenno”, Grätzel kertoo.

Piikennot keräävät virtaa vain hyvissä valaistusoloissa. DSC-kennot toimivat jopa sateisissa oloissa. Vaikka ihanteellisissa oloissa piikennot ovat tehokkaampia, koko vuorokautta tarkastellessa DSC-kennojen suorituskyky saattaa olla parempi.

Grätzel-kennon synty

Fotosynteesi on alhaisesta hyötysuhteestaan huolimatta tuottanut satoja miljoonia vuosia kaiken elollisten olentojen tarvitseman energian. 1970-luvulta lähtien on pyritty kehittämään tätä periaatetta noudattavaa aurinkokennoa. Tuolloin kokeiltiin puolijohtavan titaanidioksidikerroksen päällystämistä lehtivihreällä. Elektronit olivat kuitenkin haluttomia siirtymään titaanidioksidikerroksen läpi, ja energiantuotannon hyötysuhteeksi tuli noin 0,01 %.

Vuoden 1973 öljykriisin aikaan Grätzel oli nuori tutkija. Tuolloin oli ilmeistä, että on löydettävä vaihtoehtoisia energialähteitä.

”Minua on aina kiinnostanut luonnon fotosynteesi. Opiskeluajanani sen yksityiskohtia ei vielä tunnettu. Nykyisin tiedämme paljon enemmän.”

Vuonna 1980 Grätzel työskenteli École Polytechnique Fédérale de Lausannessa Sveitsissä nanoteknologian perustutkimuksen parissa. He onnistuivat ensimmäisinä valmistamaan nanopartikkeleita titaanin oksidista. Uuden materiaalin ominaisuuksia tutkittiin monin tavoin.

”Se oli perustutkimusta uteliaisuutemme tyydyttämiseksi. Kukaan ei ollut kokeillut samoja asioita ennen meitä. Kokeet loivat kuitenkin tieteellisen perustan väriaineherkistettyjen kennojen kehittämiseksi.”

Tutkijoita kiinnosti myös vedyn tuottaminen polttoaineeksi.

"Kehittämämme vedyn tuotantolaitteisto ei ollut kovin tehokas, mutta se perustui puolijohdemateriaalien herkistämiseen."

Samaan aikaan öljyn hinta oli romahtanut 5 dollariin tynnyriltä. Uusiutuvaan energiaan liittyvä tutkimus ei ollut enää muodissa.

Vuonna 1988 Grätzel pyysi opiskelijoitaan rakentamaan aurinkosähköisen kennon, jossa käytettäisiin samaa periaatetta kuin heidän titaanidioksidin väriaineherkistyskokeiluissaan.

"Kysyin väitöskirjaansa tekevältä Hans Desilvestrolta miten kokeilu sujui. Hän ei näyttänyt kovin innostuneelta kertoen mitanneensa vain muutaman milliampeerin virtoja. Tiesin heti, että se oli paljon, sillä muut tutkijat olivat mitanneet vain mikro- tai nanoampeereita."

Tasaisen titaanidioksidikerroksen sijasta he olivat käyttäneet huokoisia nanopartikkeleita. Tämä lisäsi valoa absorboivan pinta-alan moninkertaiseksi, ja valon energia saatiin tehokkaasti talteen. Ensimmäinen Grätzel-kenno oli syntynyt.

"Se oli luontoäidin lahja meille, Grätzel naurahtaa.

Vuonna 1991 Grätzel ja Brian O'Regan raportoivat tulokset Nature-lehdessä. Artikkelin oli käänteentekevä julkaisu alan tutkimuksessa. Tutkijoiden prototyyppikennolle raportoima 7 prosentin hyötysuhde ylitti tuhatkertaisesti aiemmat 1970-luvun yritykset. Uuden kennotyyppin tehokkuus veti vertoja jo 30 vuoden ajan kehitettyjen piikentöjen hyötysuhteelle. Ei siis ihme, että Grätzelin täytyi tämän tästä vakuuttaa kollegoitaan kennojensa toimivuudesta.

"Matkustin tuolloin kennot mukani, valmiina demonstroimaan niiden toimivuutta heidän laboratorioissaan", hän muistelee.

Taitava pianisti - ja tutkija

Yhä edelleen Grätzel antaa havaintoesityksen kennojensa toimivuudesta – nyt lukiolaisille. Kemian uusinta tutkimusta voi demonstroida yksinkertaisilla tarvikkeilla. Valoa absorboiva väriaine saadaan karhunvatukoista tai vadelmista. Kemikaalit sekoitetaan ja puristetaan lasilevyjen väliin. Valolle altistettuna kenno tuottaa riittävästi virtaa pyörittämään pientä tuuletinta. Opiskelijat ovat yhtä innoissaan kuin Grätzel ja hänen kollegansa olivat 20 vuotta sitten.

Grätzel itse pärjäsi koulussa hyvin fysiikassa ja kemiassa - sekä musiikissa.

"Minun piti päättää ryhtyäkö pianistiksi, mutta tiede vaikutti turvallisemmalla valinnalla. Oli hienoa ymmärtää miten luonto toimii."

Taitavana pianistina hän näkee paljon yhtäläisyyksiä taiteessa ja tieteessä.

"Tiede on hyvin luovaa, kuten taidekin. Kukaan ei voi estää sinua tekemästä koetta, jota pidät mielenkiintoisena."

Kukaan ei voi kieltää Grätzelin luovuutta tiedemaailmassa: Hän on kirjoittanut yli 800 vertaisarvioitua julkaisua, kaksi kirjaa ja on yli 50 patentin keksijä. Sitaattiansa perusteella hänet arvioidaan maailman kymmenen mainituimman kemistin joukkoon.

Vuodesta 1981 lähtien hän on työskennellyt fysikaalisen kemian professorina Ecole Polytechnique de Lausannessa Sveitsissä.

Tutkijat teknologiaa parantamassa

Uraauurtavan Nature-artikkelin ilmestyttyä Grätzel-kennojen tutkimus levisi räjähdysmäisesti. Teknologian hyötysuhdetta parannetaan ja uusia väriaineita etsitään laboratorioissa ympäri maailmaa.

Grätzel on jatkanut työtä oman tutkimusryhmänsä kanssa. He pyrkivät optimoimaan kennotekniikan avaintekijöitä, parantamaan kennojen tehoa ja pitkän aikavälin kestävyyttä.

Monissa laboratorioissa tutkitaan uudenlaisia, kiinteistä aineista rakennettuja Grätzel-kennoja, joissa nestemäinen elektrolyytti on korvattu kiinteällä johdeaineella. Tutkijat ovat myös onnistuneet parantamaan DSC-kennojen elinikää huomattavasti.

Grätzelin tutkijat kehittävät myös Grätzel-kennoja hyödyntävää vedyn tuotantomuotoa, jossa vesi pilkotaan vedyksi ja hapeksi aurinkoenergian avulla. Grätzelin tutkimusyksikkö on myös kehittänyt uusia ympäristöystävällisiä elektrolyytinesteitä aurinkokennoihin ja muihin sähkökemiallisiin laitteisiin.

Monenlaisia joustavia ja kevyitä materiaaleja, muoveja ja metallilevyjä, voidaan pinnoittaa DSC-kalvolla. Uusia pakkaus- ja painotekniikasta lainattuja kennojen valmistusmenetelmiä tutkitaan ympäri maailmaa. Nopeat rullalta-rullalle-menetelmät ja materiaalin massatuotanto alentavat DSC-kennojen hintaa, ja tekevät huonollakin hyötysuhteella toimivat DSC-sovellukset taloudellisesti kannattaviksi. "Kaikki lähti liikkeelle meidän laboratoriotamme, mutta tutkimusta ja teknologian kehitystyötä on tehty ympäri maailmaa. Olen kiitollinen kaikille näille ihmisille, opiskelijoilleni, tutkijakollegoille ja teollisuudelle, joka on uskonut DSC-kennoihin. Olen todella iloinen, että teknologia on lähtenyt nousuun", Grätzel sanoo vaatimattomasti.

Bisnes kasvaa nopeasti

Ensimmäiset DSC-teknologian kaupalliset sovellukset tuottavat jo virtaa pienlaitteille ja DSC-paneelin massatuotanto on käynnissä. Seuraava merkittävä askel kohti suuren mittakaavan kaupallistamista otettaneen rakennusosalalla. Rakennuksiin integroitu aurinkovoima (BIPV) on yksi nopeimmin kasvavista aurinkoenergian aloista. Katon ja seinien materiaalit voidaan rakentaa aurinkoenergiaa kerääviksi integroimalla niihin DSC-paneelit.

DSC-materiaaleja valmistava Dyesol ja lasivalmistaja Pilkington sopivat äskettäin sähköä tuottavia ikkunoita valmistavan yhteisyrityksen perustamisesta. Dyesol kehittää myös pinnoitusmenetelmää, jolla toimistorakennuksissa käytettävät teräksiset seinäelementit muutetaan aurinkopaneeleiksi.

Aurinkosähkö on maailman nopeimmin kasvava energiateknologia. Nykyisin aurinkoenergian osuus on vain 0,54 % maailman energiankäytöstä. Suurin osa tästä on auringon lämmön keruuta ja vain 0,04 % aurinkosähköä. European Photovoltaic Industry Association (EPIA) raportoi, että vuonna 2009 rakennettiin 6,4 gigawattia uutta aurinkosähkökapasiteettia, ja tuotantokapasiteetti ylitti 20 gigawatin rajan. Aurinkovoimateollisuus kasvaa 30-40 prosentin vuosivauhdilla.

1990-luvun alussa matkustaessaan prototyypikennot laukussaan Grätzel pohti jo teknologian kaupallisia sovelluksia.

"Olin vakuuttunut siitä, että tutkimuksen tulokset voitaisiin kaupallistaa. Se vain kesti kauemmin kuin luulin, mutta se on täysin normaalia. Täytyy löytää ihmiset, jotka uskovat teknologiaasi, joilla on varaa investoida siihen ja halua ylittää kaikki matkalla vastaantulevat esteet."

LINKIT JA LISÄTIEDOT

Julkaisut

"A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films", Brian O'Regan, Michael Grätzel, Nature 353, Oct. 24, 1991. pp. 737-740.

Linkit

Wikipedia-artikkeli DSC-teknologiasta http://en.wikipedia.org/wiki/Dye-sensitized_solar_cell

Aurinkosähköalan uutisia <http://www.pv-tech.org/>

Grätzelin laboratorio Ecole Polytechnique de Lausannessa <http://isic2.epfl.ch/page58671-en.html>

Yritykset

Dyesol <http://www.dyesol.com/>

G24 Innovations <http://www.g24i.com/>

Solaronix <http://www.solaronix.com/>

Curriculum Vitae of Professor Michael Grätzel

Education

Habilitation and *venia legendi* in Physical Chemistry, Free University of Berlin (1976)
Ph.D. in Physical Chemistry, 1971 (*summa cum laude*), Technical University of Berlin
Diploma degree in Chemistry, 1968 (*summa cum laude*), Free University of Berlin

Positions held

Full Professor, Director of the Laboratory of Photonics and Interfaces, Faculty of Basic Science, Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL) 1981-present.

Head, Chemistry Department, 1991-1993, 1983-1985.

Director of the Institute of Physical Chemistry, 1998-2000, 1980-1982,

Associated Professor of Physical Chemistry, EPFL 1977-1981.

Senior Staff Scientist, Hahn-Meitner Institute Berlin, 1974-1976.

Lecturer, Photochemistry and Physical Chemistry, Free University of Berlin, 1975-1976.

PRF Post Doctoral Fellow, University of Notre Dame, Indiana, USA, 1972-1974.

Research Associate, Hahn Meitner Institute Berlin, Germany, 1969-1972.

Awards and Academic Distinctions

2009 *Balzan Prize*, Milano Zurich.

2009 *Honorary Professor*, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan China

2009 *Honorary Professor*, Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Science Changchun, China

2009 *Dr. Honoris Causa*, Hasselt University Belgium.

2009 *Galvani Medal* of the Italian Chemical Society.

2008 *Harvey Prize in Science and Technology*, The Technion Haifa, Israel

2007 *First International Prize*, Japan Society of Coordination Chemistry

2007 *Dr. Honoris Causa* Delft University of Technology, The Netherlands

2007 *Kroll endowed Chair*, University of Cornell, Itaca, USA, offered.

2006 *World Technology Award in Materials*. San Francisco, USA.

2005 *Gerischer Prize* of the Electrochemical Society

2005 *Winner, Scientific American Top 50*, ranked amongst 50 leading scientists worldwide

2004 *Laurea honoris causa*, University of Turin (600 Anniversary award).

2003 *ENI-Italgas Price in Science and Environment*

2002 *IBC International Award in Supramolecular Chemistry and Technology*

2002 and 1998 *Venture 2002 McKinsey Award*, Zurich, Switzerland

2001 *Havinga Lecture, Award and Medal*, Leiden, The Netherlands

2001 *Faraday Medal* of the Royal Society of Chemistry, United Kingdom

2000 *Grand European Price of Innovation*

1998 *Eurel Price* of the European Society of Electrical Engineers

1997 *Calveras Award in Photovoltaics*, Denver USA

1996 *Dr. honoris causa*, Faculty of Science, University of Uppsala, Sweden.

1985 *R.A. Plane endowed Chair*, Clarkson University, Potsdam USA, offered.

1984 *Japanese Society for the Promotion of Science Fellow*, Tokyo, Japan

1981 *Chair of Physical Chemistry*, Free University, Berlin offered

1966 *Fellow, Studienstiftung des Deutschen Volkes* (top first percentile of all students).

Honorary Named Lectureships

2010 *The CNR Rao Award Lecture*, Indian Institute of Science Bangalore India.
2010 *The Michael Faraday Lecture*, J.Nehru Center for Advanced Scientific Research, Bangalore, India
2009 *The Patrick S. Ncholson Memorial Lecture*, Lake Louise Canada
2009 *John C. Bailar Lectures and Medal*, University of Illinois, Urbana, USA
2008 *The 18th Brdicka Lecture*, Karl's University Prague
2008 *The AD Little lectures*, MIT Boston, USA.
2008 *"Lecture at the Leading Edge"*, University of Toronto, Canada
2008 *The Earl L. Muetterties Memorial Lecturer*, University of California at Berkeley,
2007 *The William Lloyd Evans Lectures and Award* Ohio State University.
2007 *The 6th Distinguished Gouq-Jen Su lecturer*, University of Rochester.
2006 *Rohm&Haas Speaker*, hosted by Stanford University Graduate Students
2006 *The Arthur Birch Lecturer*, Australian National University, Canberra
2006 *The Cady Lecturer*, University of Washington, Seattle, USA
2006 *The Johnson Lecturer*, Cornell University, Ithaca, NY, USA
2004 *Weissberger Williams Distinguished Scientist Lecturer*, Kodak Rochester USA,
2003 *The Dupont Centennial Lecturer*, Dupont Wilmington, Delaware, USA.
1999 *The Weissberger Williams Distinguished Scientist Lecturer*, Kodak Rochester USA
1995 *The Debye Lecturer*, Utrecht, The Netherlands.
1993 *Chemistry Society Inaugural Lecturer*, Dublin, Ireland 1982
1982 *Honorary Lecturer*, University of Texas, Austin Texas.
1981 *GOP Invited Lecturer*, Des Plaines, Illinois, USA

Invited Professorships and Guest Scientist Appointments

2007/2008 Mary Upson Visiting Professor, University of Cornell Ithaca N.Y. USA
2006-2009 Distinguished Invited Professor National University of Singapore.
2003-2006 Honorary part time Chemistry Chair, Delft University of Technology,
2003, Fellow, Hanse Scientific College, Bremen, Germany
1998, 1997, 1995, 1986 and 1981 invited Guest Scientist, NREL, Golden, Colorado USA
1993, Invited Professor, Ecole Nationale Supérieure de Cachan (Paris), France
1988, Invited Professor, University of California at Berkeley, USA.

Professional Assignments, Editorial Boards, Professional Society Memberships

Scientific and Academic Advisory Committee, Weizmann Institute of Science, Israel (2006) *UK Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC) Review College (2003-)*. *Evaluation Board of the NIMC Institute*, Tsukuba, Japan (1999-2006). *Invited panelist*, US Department of Energy Council on Chemical Science, 2005 and 1997. *Expert witness* for the Royal Court of Justice London (2002-2004). *Scientific Committee of the French CNRS*, expert for evaluating the Physical Chemistry Laboratory of the University of Paris (URA 75) and the Institute of Electrochemistry of the University of Grenoble, France. *Evaluation Board of Photovoltaic Research, Helmholtz Foundation*, Germany 1998. *Evaluation Board, Volkswagenstiftung*, Germany (1997-2003).

Editorial Board memberships (past and present):

Chem.Phys.Chem.(Wiley-VCh), Journal of Molecular Catalysis (Elsevier), Langmuir (American Chemical Society), Chemistry of Materials (American Chemical Society), Handbook of Nanostructured Materials and Nanotechnology (Academic Press), Advances in Photochemistry and Photophysics (CRC), Solar Energy Materials and Solar Cells (Elsevier), Renewable & Sustainable

Energy Reviews (Elsevier), Advanced Functional Materials (Springer), Nanostructured Materials (Elsevier), Progress in Photovoltaic Science and Technology. Chemical Physics Letters. Angewandte Chemie (starting 2010). *Topical Editor*, New Journal of Chemistry (Paris, France), special issue on Fractals in Chemistry, 1989, (together with Prof. J. Weber, Geneva)

Professional Society Memberships

Member of the Swiss Chemical Society and the European Academy of Science. Fellow of the Royal Society of Chemistry (FRSC), Honorary member of the Société Vaudoise de Sciences Naturelles.

Publications

include over 800 research papers in peer-reviewed scientific journals and 60 reviews or invited book chapters and editor, author or co-author of three books. His publications have received over 60'000 citations (h-index 115) ranking him amongst the most highly cited scientists in the world.

Patents (over 50 total of which 12 are selected below)

- 1988 "Photoelectrochemische Zelle, Verfahren zum Herstellen einer derartigen Zelle, sowie Verwendung der Zelle". Swiss Patent Nr. 505/88.
- 1990 "Photovoltaic Cells," GB patent 9008512.7, United States patent (US) Nr. 5,350,644, Japanese patent (JP) Nr. 2101079.
- 1992 "Cellule Photovoltaïque dont la jonction active a une surface développée supérieure à sa surface projetée" European patent (EP) Nr 0606453. Chinese patent (CN) Nr 34640. Japanese patent (JP) Nr 3391454. United States patent (US) Nr 5482570.
- 1992 "A Process for making photo-electrochemical cell and a cell made according to said process". German patent (DE) Nr P 42 07 659.5, European Patent (EP) Nr 0584307. US Nr. 5,525,440. Australian patent (AU) Nr 675779. South Korean patent (KR) Nr 0301267, Japanese patent (JP) Nr 3681748.
- 1993 "Pile photoélectrochimique et électrolyte pour cette pile, Swiss patent CH Nr 3889/93. United States patent (US) Nr 5,728,487, Australian patent (AU) Nr 687485, European patent (EP) Nr 0737358.
- 1995 "Primary and secondary electrochemical generator having a nanoparticulate electrode". United States patent (US) Nr. 5'569'561.
- 1995 "A battery of photovoltaic cells and process for manufacturing the same ". European patent (EP) Nr 858669. United States patent (US) Nr 6,069,313. Australian patent (AU) Nr 728725. Japanese patent (JP) Nr 4087445.
- 1997 "Transition metal complex photosensitizers and use of this complex in a photovoltaic cell" United States patent (US) Nr 6,245,988. Australian patent (AU) Nr 743120. European patent (EP) Nr 0983282.
- 2000 "Solid state heterojunction and solid state sensitized photovoltaic cell". United States patent (US) Nr 6,861,722. Australian patent (AU) Nr 779449. United States patent (US) Nr 7,042,029.
- 2004 "Photoelectric conversion device". Japanese patent (JP) Nr. 4185490. European patent (EP) Nr. 1507307. Australian patent (AU) Nr. 2003231536. Chinese patent (CN) Nr. ZL 03801649.4.
- 2005 "Tandem Cell for Water Cleavage by Visible Light. "United States patent (US) Nr. 6,936,143 B1.
- 2007 "Photocatalytic film for the cleavage of water into hydrogen and oxygen by sunlight". United States patent (US) Nr. 7,271334B2 2007