

## Farvestofsensibiliserede solceller og farvestofstabilitet

Lund, Torben

*Published in:*  
Dansk Kemi

*Publication date:*  
2012

*Document Version*  
Tidlig version også kaldet pre-print

*Citation for published version (APA):*  
Lund, T. (2012). Farvestofsensibiliserede solceller og farvestofstabilitet. *Dansk Kemi*, 93(9), 40-42.

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain.
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact [rucforsk@kb.dk](mailto:rucforsk@kb.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



# Farvestofsensibiliserede solceller og farvestofstabilitet

Efter 20 års intensiv forskning og udvikling er kommercialiseringen af Grätzel-cellen ved at tage fart. Halvtransparente flerfarvede glasfacader, der samtidig kan levere strøm er et lovende anvendelseområde. På RUC har vi undersøgt solcellefارvestoffers stabilitet.

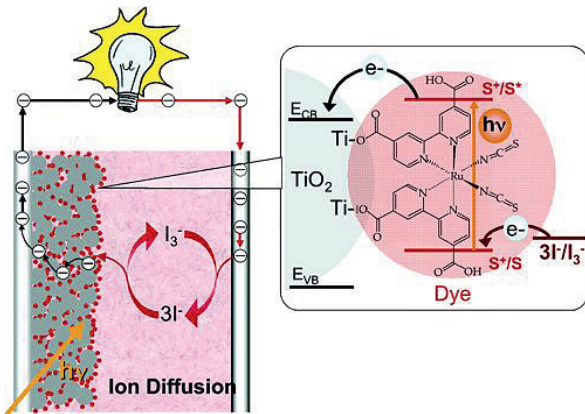
Af Torben Lund, Institut for Natur, Systemer og Modeller, Roskilde Universitet

Startskuddet til udviklingen af farvestofsolcellen var Grätzel og O'Brians banebrydende Nature-artikel fra 1991 [1]. Med et slag blev effektiviteten af omdannelsen fra lys til elektricitet i en fotoelektrokemisk solcelle øget fra tidligere cellers <1 % til 7,1%. Den grundlæggende opfindelse bygger på at ændre overfladen af titandioxidhalvlederen fra en glat overflade til en nanokrystallinsk svampet struktur. En ændring, der betyder,

at den effektive lysvej gennem cellen øges 1000 gange ift. et farvestofmonolag på en glat overflade (figur 1). Grätzel og hans medarbejders andet afgørende bidrag var at introducere helt nye effektive og stabile rutheniumfarvestoffer (figur 2) [2].

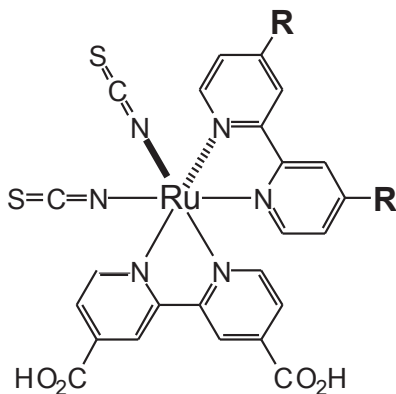
I figur 1 ses et skematisk diagram af en farvestofsolcelle (engelsk, Dye-sensitized solar cell, DSC). Oven på et normalt termovinduesglas påføres et tyndt lag (10 nm) af en pasta af nanokrystallinske titandioxid-partikler. Laget af titandioxid på fotoanoden sintres ved høj temperatur (450°C), der placeres en modelektrode på fotoanoden, og der sendes en farvestofopløs-

ning igennem cellen. Den sætter sig fast på  $\text{TiO}_2$ -overfladen. Dernæst fyldes cellen med elektrolyt, hvorefter den forsegles.



Figur 1. Opbygning og virkemåde af Grätzel-solcellen. De røde prikker på overfladen af  $\text{TiO}_2$ -nanopartiklerne (grå) symboliserer farvestoffet. Den viste molekylforbindelse er oktaedrisk opbygget. Figuren er taget fra [4].

På figuren ses det, hvordan lyset absorberes af farvestoffet (sensibilisatoren, S), hvorefter der ultrahurt injiceres en elektron fra den eksiterede tilstand  $S^*$  til ledningsbåndet i  $\text{TiO}_2$ -halvlederen. Til slut regenereres S ud fra elektronoverførsel fra redoxmediatoren til  $S^+$ . Indtil for få år siden bestod redoxmediatoren næsten udelukkende af  $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ , men inden for de sidste par år har  $\text{Co}^{II}/\text{Co}^{III}$ -komplekser og andre en-elektron redoxmediatorer vist sig at være effektive - især i kombination med organiske farvestoffer [3].



Figur 2. Generel struktur for  $\text{Ru(II)(NCS)}_2$ -farvestoffer.

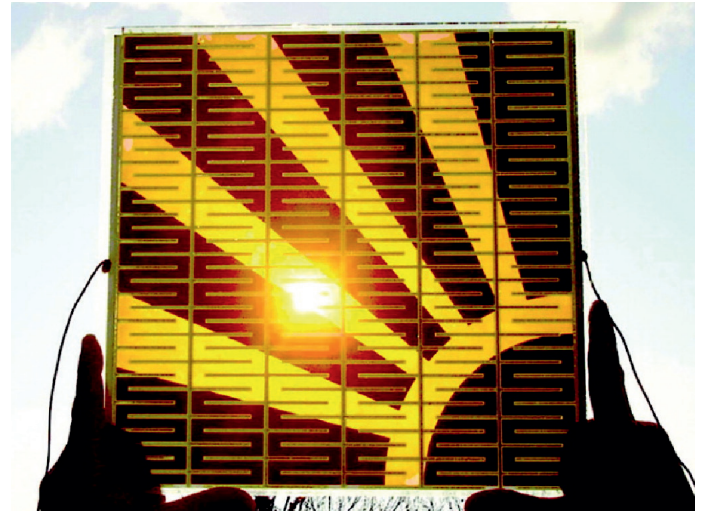
Lys til elektricitets-omdannelseseffektiviteten for de bedste små farvestofceller ( $< 1 \text{ cm}^2$ ) er 11-12% [3-4], hvilket er en faktor  $\sim 2$  lavere end de bedste silicium-laboratoriesolceller (22-25%) ved standard-belysningsbetingelser ( $1000 \text{ W/m}^2$ ).

DSC-solcellen har imidlertid en række fordele.

- 1) DSC-fabrikationen er relativ simpel, meget billig og har lavt energiforbrug (energitilbagebetalingstiden er beregnet til  $\sim 3$  måneder)
- 2) Teknologien kan bruges på et bredt spektrum af substrater inkl. glas, metal og polymerer.
- 3) Effektiviteten af en DSC øges med stigende temperatur i modsætning til siliciumsolcellen.
- 4) Ved lave lysintensiteter ( $< 200 \text{ W/m}^2$ ) er forskellen på siliciumsolceller og DSC mindre.
- 5) DSC er meget velegnet til produktion af billige og delvist transparente mangefarvede solceller, hvilket gør farvestofsolceller velegnet til facade- og bygningsintegration.

I figur 3 ses et eksempel på en delvis transparent flerfarvet solcelle fra Fraunhofer Institutet. Effektiviteten af den aktive del er 4,6% [5]. I figur 4 vises en illustration af, hvordan det kommende nye kongrescenter i Lausanne tænkes indrettet med indbyggede glasfacade-solceller fremstillet af solcellefirmaet Solaronix [6]. Beregninger viser, at solcellefacader kan indbygges for en merpris på ca. 10%.

Firmaet G24i i Wales har som de første kommercialiseret DSC i form af små fleksible solcellepaneler til opladning af mobiltelefoner m.m. [7], og en stribe firmaer er på vej. Sony har



Figur 3. Solcellemodul produceret af Hinsch *et al.* [5].



MIKROLAB AARHUS

Deres suveræne leverandør af analytisk tilbehør og udstyr.

HPLC  
GC  
Fast-fase-ekstraktion  
Standarder  
Dataloggere  
Miljø  
Dosering  
Flow  
Automatisering  
Hjælpeudstyr - EGA



Kig forbi stand nr. C2-003 og se vore gode messetilbud

TLF. 86 29 61 11 - FAX 86 29 61 22  
AXEL KIERS VEJ 34 - 8270 HØJBJERG  
Besøg vor hjemmeside : [www.mikrolab.dk](http://www.mikrolab.dk)



Figur 4. Arkitekttegning af kommende kongrescenter i Lausanne [6].

Copyright Richter-Dahl Rocha & Associés architects SA.

bl.a. et DSC-modul med en effektivitet på 9,2%, som indeholder tre forskellige typer farvestoffer, der dækker forskellige dele af solspektret [8].

### Farvestofsolcelleforskning på RUC

Ud over effektivitet og pris er lang holdbarhed et vigtigt succeskriterie for en solcelle. Farvestoffet er en central komponent i en DSC, og en farvestofsolcelle kan således maks. have en levetid, der svarer til farvestoffets levetid.

På RUC har fokus været at kortlægge alt det, der kan gå galt med farvestoffet i solcellen for ved relativt enkle og hurtige forsøg at kunne forudsige farvestoffets levetid under både belysning og opvarmning. Som de første har vi gjort brug af HPLC koblet til elektropray massespektrometri (LC-ESI-MS) til at kortlægge produktfordelinger og kinetik af rutheniumforbindelsernes sidereaktioner i S, S\* og S<sup>+</sup> tilstandene. Vi har verificeret, at et af farvestofferne (N719) kan gennemgå mere end 3x10<sup>7</sup> celledyklusser S→S\*→S<sup>+</sup>, der kan omregnes til en levetid på 7 år under normale solcelleforhold. Andre farvestoffer (Z907 og C106) har endnu længere levetid.

Solceller skal kunne klare den internationale IEC 61646 standardtest, der bl.a. indbefatter, at solcellen skal kunne klare 1000 timers opvarmning til 85°C med mindre end 10% tab i effektivitet. Vi har undersøgt forskellige rutheniumkomplekseres stabilitet ved 85°C i forskellige elektrolytblendinger. I væske-elektrolytblendinger er farvestofferne ikke tilstrækkeligt stabile og har kun en halveringstid på 150-300 ved 85°C. Dette problem kunne være en alvorlig forhindring mod kommercialiseringen af farvestofsolcellen. I samarbejde med Michael Grätzel og hans gruppe i Lausanne har vi vist, at rutheniumkompleksernes stabilitet kan forbedres meget væsentligt ved tilsætning af ionvæsker til elektrolytblendingen. Problemerne omkring den termiske farvestofnedbrydning af RuLL(NCS)<sub>2</sub>-komplekserne ved høje temperaturer synes således at kunne løses. En mere detaljeret beskrivelse af disse undersøgelser gives på et senere tidspunkt i dette tidsskrift.

### Konklusion

Efter 20 års intensiv forskning og udvikling er DSC-teknologien nu ved at være så moden, at et kommercielt gennembrud er nær. DSC har et potentiale til at supplere siliciumsolcellerne i nicheproduktioner som f.eks. glasfacader. Tidligere tiders problemer med langtidsholdbarhed af rutheniumfarvestofferne under forhøjede temperaturer synes løst med anvendelse af optimalt designede elektrolytblendinger.

**Michael Grätzel** kommer til Roskilde Universitet d. 21/9 i år, hvor han vil give et foredrag om farvestofsolcellen kl. 11.00 i auditorium 15.0 på Institut for Natur Systemer og Modeller. Her vil de nyeste DSC-landvindinger og fremtidsperspektiver blive fremlagt. Alle er velkomne.

E-mail-adresse

Torben Lund: [tlund@ruc.dk](mailto:tlund@ruc.dk)

### Referencer

1. B. Oregan, M. Gratzel, Nature, 353 (1991) 737-740.
2. M.K. Nazeeruddin, A. Kay, I. Rodicio, R. Humphrybaker, E. Muller, P. Liska, N. Vlachopoulos, M. Gratzel, J.Am. Chem. Society, 115 (1993) 6382-6390.
3. A. Hagfeldt, G. Boschloo, L.C. Sun, L. Kloo, H. Pettersson, Chemical Reviews, 110 (2010) 6595-6663.
4. M. Grätzel, Inorg. Chem. n44 (2005) 6841-6851.
5. A. Hinsch, H. Brandt, W. Veurman, S. Hemming, M. Nittel, U. Wurfel, P. Putyra, Lang-Koetz, M. Stabe, S. Beucker, K. Fichter, Solar Energy Materials and Solar Cells, 93 (2009) 820-824.
6. [http://www.richterdahlrocha.com/en/project/ccr\\_epfl\\_ecublens](http://www.richterdahlrocha.com/en/project/ccr_epfl_ecublens)
7. <http://www.g24i.com/pages,g24i-web-store,80.html>
8. [http://www.sony.net/SonyInfo/technology/technology/theme/solar\\_01.html](http://www.sony.net/SonyInfo/technology/technology/theme/solar_01.html)