

Farvestråleende solceller

Billige, farvede og transparente solceller, printet direkte på glas, kan om få år forsyne bygninger med elektricitet, solafskærmning og udsmykning.

Solcellerne udnytter den seneste udvikling indenfor nanoteknologi

– tilsat lidt inspiration fra naturen.

Af Kasper Nørgaard

■ Trods sin afstand af 150 millioner kilometer fra jorden, leverer solens stråler hver eneste time, døgnet rundt, tilstrækkelig energi til at dække hele menneskeheds samlede forbrug på et år. Dermed er solen den i særklasse største kilde til ren og vedvarende energi. I årtusinder har mennesket drømt om at tæmme solens kræfter, og i dag – ved hjælp af solceller fremstillet af silicium – kan solens lys omdannes direkte til elektricitet, som kan benyttes til et utal af formål. Alligevel udgør denne form for energi endnu en forsvindende lille del af klodens samlede energiproduktion. Det skyldes først og fremmest, at dagens solceller er alt for dyre at fremstille og derfor ikke kan konkurrere prismæssigt med andre billigere energiformer – især afbrænding af olie, kul og naturgas. Derfor er det vigtigt at udvikle alternativer til silicium-baserede solceller for at sikre fremtidens vedvarende og rene energiproduktion.

Kunstig fotosyntese

Silicium er et grundstof, der udvindes af jordskorpen. Udvindingsprocessen og den efter-

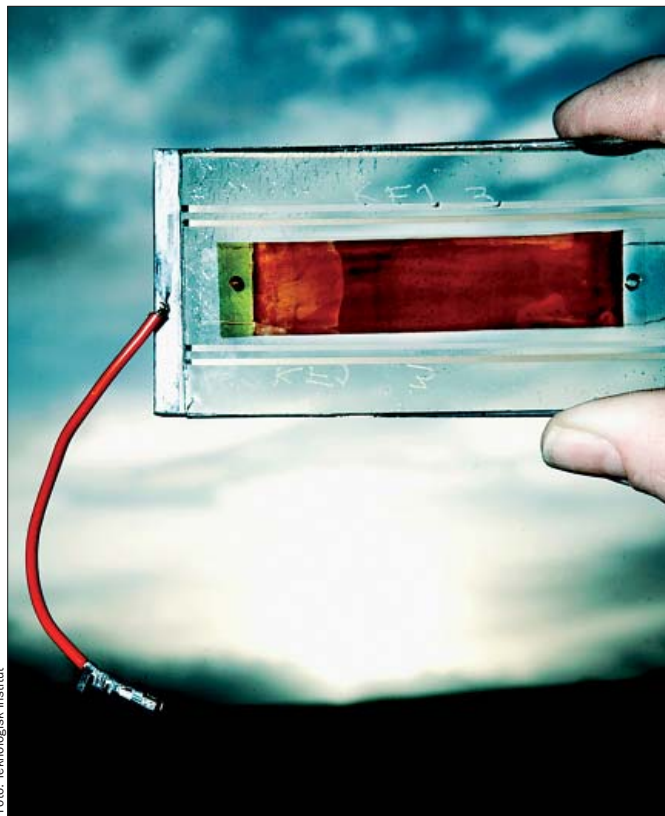


Foto: Teknologisk Institut

Færdigsamlet farvestof-solcelle med påførte elektroder.

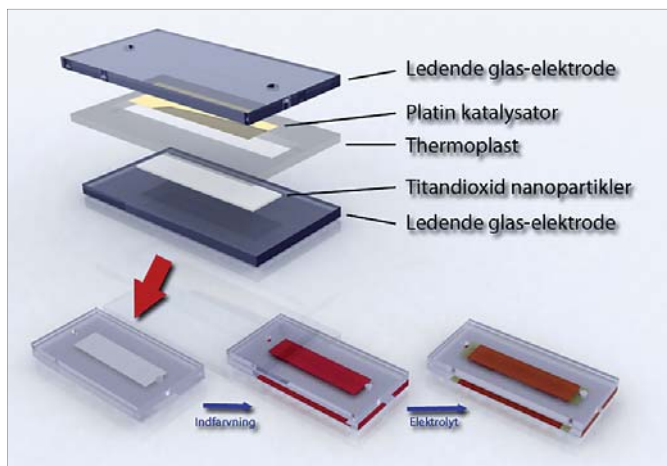
følgende oprensning er begge meget komplicerede og energi-krævende, og der kræves enorme temperaturer (>1900 °C) og en

uhyre renhed (>99,9999 %) for silicium kan anvendes til solceller. I de seneste år har der dog været et øget fokus på at udvikle

solceller baseret på langt billigere råmaterialer og simple fremstillingsmetoder. Den mest lovende af denne kommende generation af solceller er farvestof-solcellen, også kaldet DSC (fra engelsk; Dye-sensitized Solar Cell).

Lys er egentlig elektromagnetisk stråling og består af små "pakker" af energi, kaldet fotoner. Naturen har i form af fotosyntesen udviklet en elegant metode til at høste solens stråler, altså opfange sollysets fotoner og omdanne dem til kemisk energi. Fotosyntesen finder bl.a. sted i planternes grønne blade, der indeholder farvestoffet klorofyl. Klorofyl kan optage en foton fra sollyset og derefter frigive en elektron til omgivelserne. Elektronen vandrer videre i systemet, hvor den til sidst omdannes til kemisk energi i form af organisk stof, der får planten til at vokse.

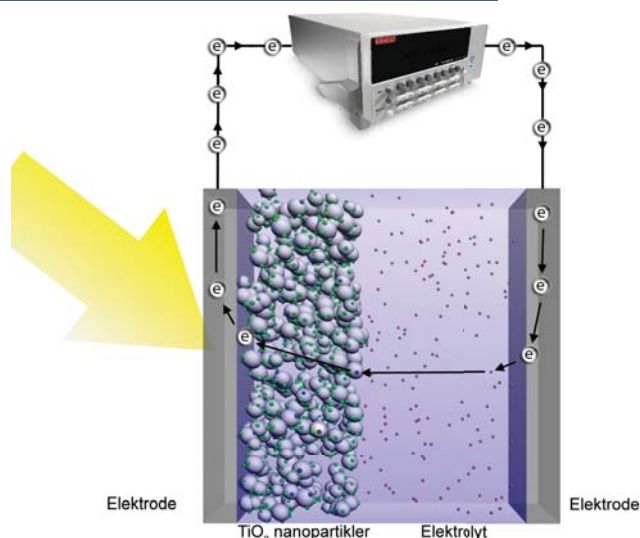
Farvestof-solcellerne er, i modsætning til andre typer solceller, i høj grad inspireret af fotosyntesen, idet de netop benytter et farvestof til at absorbere sollyset. I stedet for at omdanne lysenergien



Opbygning af cellen

Farvestof-solcellen er opbygget som en sandwich-struktur mellem to elektroder (typisk af glas). Elektroderne er gjort ledende vha. et tyndt, gennemsigtigt oxid-lag. Den ene elektrode er påført et tyndt platinlag, der fungerer som katalysator for elektrokemiske processer, og den anden elektrode indeholder et lag nanopartikler af titandioxid. De to elektroder er adskilt af et termoplastisk materiale, der samtidig forsejler cellens indre. Efter samling af cellen bliver nanopartiklerne indfarvet med et kraftigt farvestof, og derefter tilsættes en elektrolyt gennem to små huller i top-elektroden (der til sidst lukkes).

Elektronens vej gennem cellen



1. Farvestof + $h\nu$ → Farvestof*
2. Farvestof* → Farvestof⁺ + e^-
3. Elektrolyt + e^- → elektrolyt⁻
4. Farvestof⁺ + elektrolyt⁻ → Farvestof + elektrolyt

Når solcellen belyses, absorberes det indkomne sollys af farvestoffet, der derved exciteres til en elektronisk anslået tilstand (1). Det anslåede farvestofmolekyle frigiver herefter en elektron til halvledermaterialet (2), der sørger for at lede elektronen ud til den ene elektrode. Elektronen indgår nu i et elektronisk kredsløb udenfor cellen, hvor den kan udføre arbejde, for derefter at ende ved den modsatte elektrode. Her medvirker elektronen i endnu en redoxproces, idet den bliver optaget af elektrolytten (der derved reduceres, 3). Kredsløbet sluttes ved at elektrolytten reducerer farvestoffet tilbage til dets grundtilstand (4), hvorefter det er klar til at modtage endnu en foton.

til kemisk energi, bliver de høstede fotoner dog omdannet til elektricitet.

Farvestof-solceller består grundlæggende set af et kraftigt farvestof, der er kemisk bundet til et porøst halvledermateriale og omgivet af en elektrolyt (elektrisk ledende medie). Hele systemet er indkapslet mellem to ledende elektroder. Cellen fungerer gennem en række elektrokemiske processer (redoxreaktioner), der forløber inde i cellen når den bliver belyst, og herved genererer den elektricitet (se faktaboks).

Anvendt nanoteknologi

Hemmeligheden bag farvestof-cellen virkemåde ligger først og fremmest i det rette valg af materialer. Farvestoffet skal være effektivt til at absorbere det indkomne sollys, og samtidig i stand til at indgå i de elektrokemiske reaktioner. De mest effektive farvestoffer, man kender i dag, er baseret på ruthenium-ioner, men mange andre uorganiske, såvel som organiske, farvestofmolekyler kan i princippet anvendes i en farvestof-solcelle. Dertil hører en række naturligt forekommende farvestoffer fra eksempelvis brombær og persille.

Det porøse halvledermateriale har en struktur, der kan sammenlignes lidt med en badesvamp, blot på meget mindre skala. Det består af et tyndt lag af ekstremt små nanopartikler, hvilket sikrer at sollyset let kan trænge igennem materialet. Ofte benyttes nanopartikler af titandioxid, TiO_2 , der bl.a. også finder anvendelse som pigment i hvid maling. Nanopartiklerne bevirker, at materialet får en enorm stor overflade, hvor farvestofmolekylerne kan binde sig. Jo mere farvestof, der er bundet i cellen, des mere af sollyset kan opfanges og omdannes til elektricitet.

Farvestof-solcellen repræsenterer en af de første reelle anvendelser af nanoteknologi, hvor nanostrukturen har afgørende indflydelse på funktionaliteten.

Cellens to elektroder skal være ledende, så de frigivne elektroner kan transporteres ud

til det ydre kredsløb, men samtidig skal de også være gennemsigtlige for sollyset. Derfor er glas, der er blevet coatet med et tyndt, ledende oxid-lag det mest anvendte elektrodemateriale.

Nanopartiklerne af TiO_2 kan trykkes eller printes direkte på den ledende glaselektrode og derefter indfarves med det valgte farvestof. Denne teknik gør det muligt at designe mønstre eller billeder i forskellige farver som en del af solcellens udformning. De råmaterialer, der benyttes til at fremstille en farvestof-solcelle, er betydeligt billigere end silicium. Typisk vil elektrodglas være den dyreste komponent i cellen. Det vil bl.a. betyde, at prisen på en færdigproduceret farvestof-solcelle vil være en brøkdel af prisen på en silicium-celle.

En af de største udfordringer for DSC-teknologien er dog at fremstille effektive celler med lang levetid – gerne på 20-25 år eller mere. De to glaselektroder skal være hermetisk forsejlet, så de indre kemiske dele af cellen ikke bliver ødelagt af indtrængende luft eller væske. Dette stiller store krav til valg af forsejlingsmateriale og fremstillingsmetode.

På vej mod produktion i stor skala

Gennem en årrække har Teknologisk Institut forsket i at udvikle, teste og forbedre farvestof-solceller så de får høj effektivitet og en lang levetid. Holdbarheden undersøges i instituttets laboratorier, hvor cellerne testes i forhold til bl.a. påvirkning af lys, fugt og temperaturudsving. Dette har givet et stort indblik i hvilke materialer og produktionsmetoder, der kan medvirke til forbedre cellernes levetid og ydelse.

En solcelles effektivitet er defineret som den procentdel af det indkomne sollys, der bliver opsamlet og omsat til elektricitet. Effektiviteten bestemmes i et laboratorium ud fra nogle fastlagte kriterier, der tager højde for temperaturen (25 °C), lysets indfaldsvinkel og vejlængde gennem atmosfæren samt dets intensitet (1000



Foto: Teknologisk Institut

Laborant Julie Gatzwiller i færd med at karakterisere en solcelle i instituttets kunstige sol.

W/m²). De bedste farvestof-solceller yder i dag lidt over 10 % under disse standardbetingelser, hvilket er omkring halvdelen af, hvad de bedste silicium-solceller kan præstere. I verden udenfor laboratoriet ser virkeligheden dog ofte anderledes ud – især på vores nordlige breddegrader.

Solceller bliver ofte meget varme, når de står i solen. For silicium-celler får det effektiviteten til at falde betragteligt, hvorimod farvestof-celler leverer den samme effektivitet over et bredt temperaturinterval. Samtidig er farvestof-celler mere effektive under forhold med lave lysintensiteter, f.eks. tidligt om morgenen, om aftenen og i overskyet vejr. For rigtigt at kunne sammenligne effektiviteten af farvestof-solceller med konventionelle siliciumceller er det derfor vigtigt at foretage målinger under rigtige udendørs forhold over lange perioder. Selvom siliciumceller rent ydelsesmæssigt stadig har førertrøjen på, sker der i disse år kolossale fremskridt inden for den teknologiske udvikling af farvestof-solceller. Teknologisk Institut og andre interna-

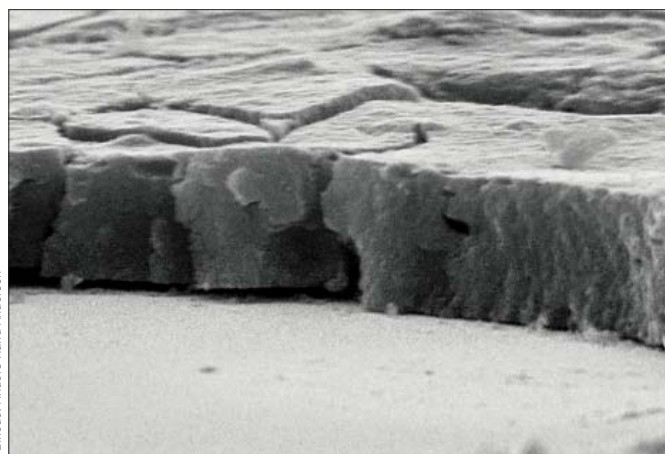
tionale virksomheder arbejder i disse år på at udvikle og klarlægge teknologien bag cellen til en egentlig produktion i stor skala.

Fremtidens solceller trykt på glasfacader

Farvestof-solcellen adskiller sig på ét centralt punkt fra de konventionelle solceller, da den kan fremstilles i transparent, farvet og mønstret glas. Solcellepaneler i glas er et fantastisk byggemateriale, hvor kun fantasien sæt-

ter grænser for anvendelsen. En solcelle i gennemsigtigt glas kan eksempelvis bruges i bygningsfacader på kontorbygninger eller som solafskærmning i vinduer og loftspartier, f.eks. i svømmehaller.

Farvestof-solceller kan altså betragtes som et aktivt byggeelement med helt unikke egenskaber, der, udover at levere elektricitet, også afskærmer for solen og giver et tempereret indeklima med et behageligt dagslys. ■



Billedet: Anders Rand Andersen

Elektronmikroskopi-billede af grænsefladen mellem ledende glas og nanostruktureret titandioxid.

Forfatter:



Kasper Nørgaard er ph.d., seniorkonsulent ved Teknologisk Institut Center for plastteknologi

E-mail:

kasper.norgaard@teknologisk.dk

Tlf.: 7220 2933

Videre læsning:

F. O. Lenzmann & J. M. Kroon, *Recent Advances in Dye-Sensitized Solar Cells, Advances in OptoElectronics, 2007*

www.teknologisk.dk