

# Organisk energiteknologi på vej frem

Organisk energiteknologi er et varmt forskningsområde, som bl.a. søger at udvikle billige og fleksible solceller og lyskilder, der kan erstatte nuværende teknologi på området.

## Forfatterne:



Morten Madsen er adjunkt  
madsen@mci.sdu.dk



Jakob Kjelstrup-Hansen er lektor  
jkh@mci.sdu.dk

Begge ved NanoSYD  
Mads Clausen Institut  
Syddansk Universitet

Optoelektroniske komponenter som solceller og lysdioder er i dag typisk baseret på uorganiske halvledermaterialer som silicium eller galliumarsenid. Men fremtidens energiteknologi vil uden tvivl blive mere "organisk". Mange forskere arbejder således med at udvikle elektroniske komponenter, der er baserede på organiske tyndfilm – dvs. tynde lag af kulstof-materialer med specielt designede optiske og elektriske egenskaber. De organiske tyndfilm har nogle åbenlyse fordele sammenlignet med deres uorganiske modstykker. Med organiske tyndfilm er det muligt at fremstille solceller eller lyskilder, der er mekanisk fleksible, ultratynde og delvist gennemsigtige. Desuden er de potentielt billigere at producere. Det åbner op for helt nye måder at integrere enhederne på, da disse egenskaber fx vil gøre det muligt at fremstille papirtynde solceller eller lyskilder, der kan rulles ud.

En oplagt mulighed vil være at integrere sådanne enheder i vinduer, da man kan fremstille solceller, der er gennemsigtige for den synlige del af lysspektret og primært absorberer det infrarøde lys. Dermed vil vinduerne kunne producere strøm, uden at det går væsentligt ud over lysindfaldet. På samme måde kan man fremstille farverige celler, der designes efter bygningen, de sidder på. Ligeledes vil lyskilder kunne integreres i vinduer og gennem intelligent styring sørge for et konstant lysindfald fra vinduet – uafhængigt af, om det er solskin eller gråvej.

Trods de åbenlyse fordele er der stadig teknologiske udfordringer, der skal løses, før de organiske energiteknologier for alvor kan vinde indpas. Enhederne har således generelt en lavere effektivitet og en begrænset levetid i forhold til de enheder, der anvender de uorganiske halvledermaterialer, som typisk anvendes på markedet i dag. Grundet en intensiv forskningsindsats verden over er

der dog sket væsentlige fremskridt de senere år, og fremtiden er nu lysere end nogensinde for organisk energiteknologi.

## Organiske tyndfilm

### – grundstenen i organisk energiteknologi

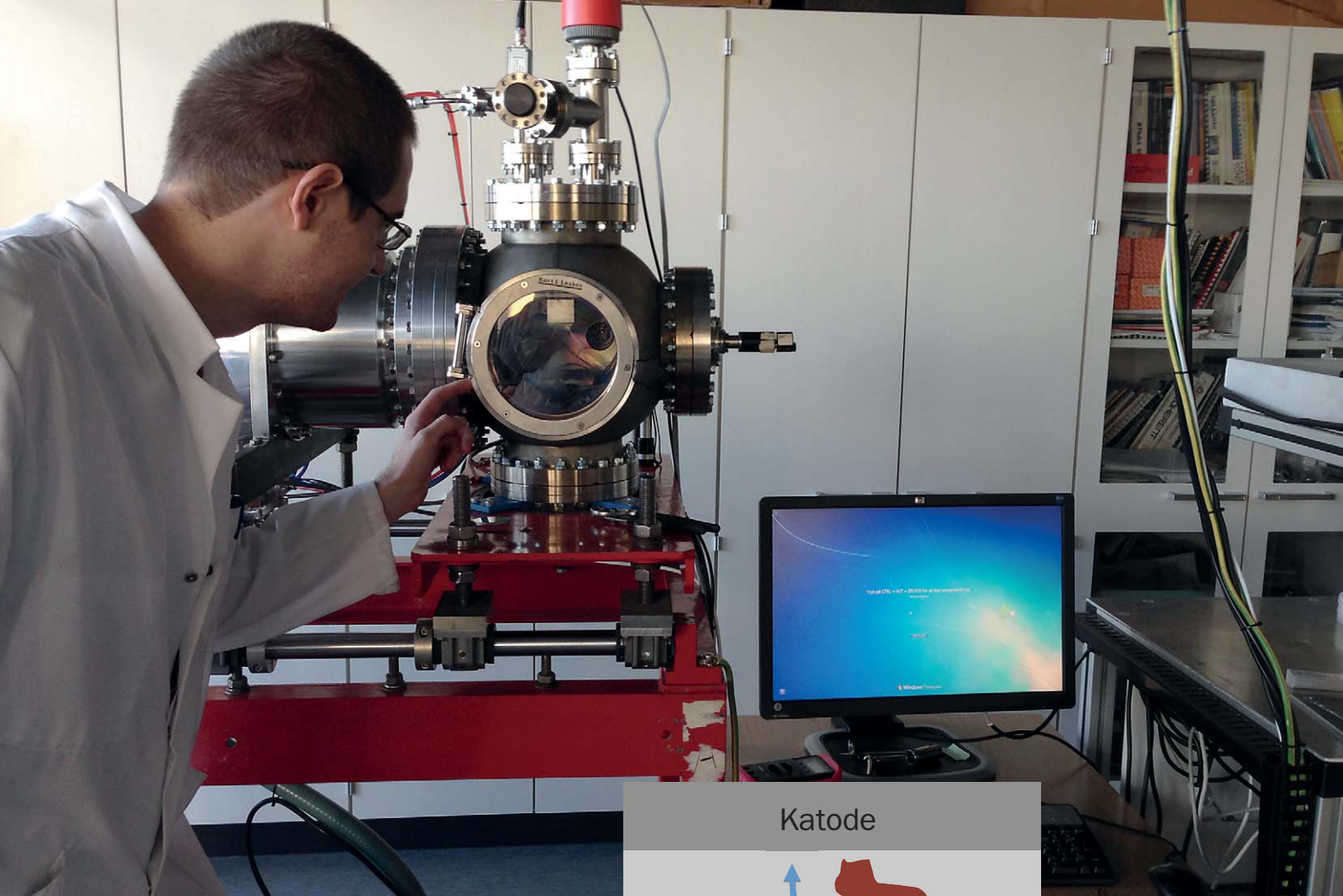
Hvad enten det drejer sig om fremstilling af organiske solceller eller lyskilder er grundstenen i komponenterne de organiske tyndfilm, der i begge tilfælde har elektrisk kontakt til to elektroder. Tyndfilmen kan enten bestå af polymerer eller små organiske molekyler, der kan påføres enten ved pådampning eller fra en opløsning vha. såkaldt spin coating eller en print-teknologi. Lagene er typisk ikke tykkere end ca. 100 nm, hvilket er cirka tusind gange tyndere end et ark papir.

I solceller skal den ene af elektroderne som minimum være transparent, så det indkomne lys kan trænge igennem. Det er også muligt at lade begge elektroder være transparente, hvilket giver solceller der er delvist gennemsigtige.

## Organiske solceller

De organiske tyndfilm, der indgår i solceller, består af en blanding af to materialer, der fungerer som hhv. elektron-donor og elektron-acceptor. Når lyset absorberes i tyndfilmen vil der dannes et såkaldt elektron-hul-par, som kan opsplittes til frie elektroner og frie huller i de to forskellige lag. Således donerer elektrondonor-laget elektroner til elektronacceptor-laget i grænsefladen mellem de to materialer, hvor opsplitningsprocessen finder sted. De frie ledningsbærere – dvs. elektronerne og hullerne – transporteres herefter til hhv. top- og bundelektroden, hvor de opsamles og der dannes elektrisk energi.

En af de største udfordringer i omdannelsen af lys til elektrisk energi i organiske solceller er at opnå en



↑ Pådampningsanlæg til fremstilling af organiske solceller og lystransistorer hos NanoSYD. De organiske tyndfilm pådampes ved at opvarme materialet i højt vakuum, hvilket giver ultra-rene organiske lag. Fremstilling af elektroderne foregår ligeledes ved termisk pådampning.

Fotograf: Morten Madsen

effektiv opsplitning af elektron-hul-par til frie elektroner og huller og samtidig få de dannede frie ladningsbærere transporteret effektivt til elektroderne. Det skyldes, at elektron-hul-par har en meget kort levetid og derfor skal opsplittes kort tid efter, de er dannet, da de ellers vil henfalde, og den absorberede energi vil gå tabt.

Hurtig opsplitning kan opnås ved at fremstille en organisk tyndfilm med meget små domæner (nanostrukturer) af det elektrondonerende og det elektronaccepterende lag. Ved at opdele tyndfilmen i små domæner får man en stor grænseflade mellem de to materialer og dermed også et stort areal, hvor opsplitning af elektron-hul-par kan finde sted. Domænerne, der dannes af de to materiale-typer, skal dog samtidig udformes således, at de frie elektroner og huller kan transporteres igennem deres respektive materiale-type og opsamles af elektroderne. Det giver store udfordringer i produktionen af de organiske tyndfilm. Selvom der er opnået store forbedringer på dette område, forskes der stadig i at optimere den interne struktur i organiske solceller, så effektiviteten af solcellerne øges.

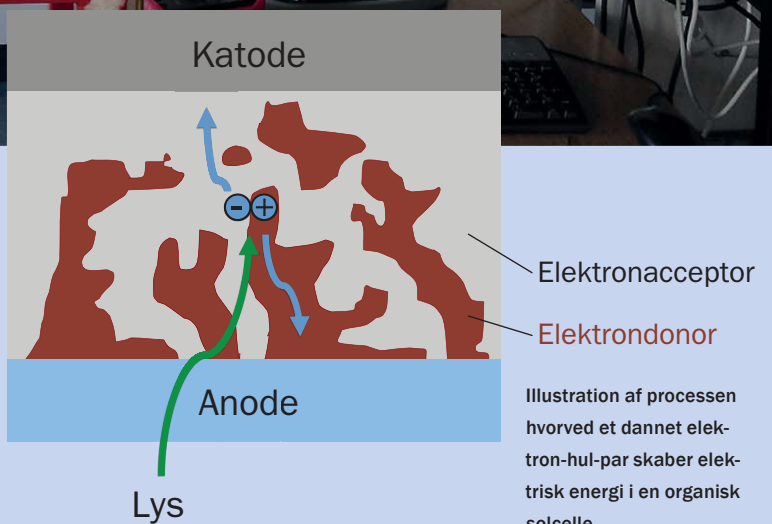
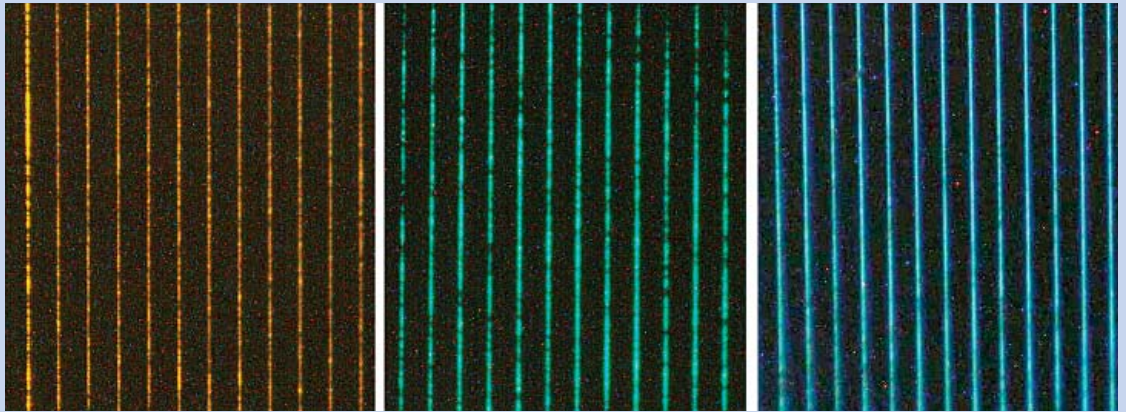


Illustration af processen hvorved et dannet elektron-hul-par skaber elektrisk energi i en organisk solcelle.

### Øget effektivitet

En af metoderne til at øge cellernes effektivitet er at fremstille tyndere celler, hvorved de dannede elektroner og huller skal transporteres en relativt kort afstand for at kunne opsamles af elektroderne. Det har dog den ulempe, at en mindre del af lyset vil blive absorberet af de tynde lag, og man må derfor ty til andre strategier for at indfange lyset i cellen. Hos NanoSYD forsker vi bl.a. i at integrere lysindfangende nanostrukturer i cellen, og vi har fremstillet fleksible solceller med en samlet tykkelse på omkring 10  $\mu\text{m}$  (inklusive substrat) med integrerede diffraktions-gitre i cellerne til forøgelse af lysabsorptionen i de organiske tyndfilm. Diffraktionsgitrene sørger for, at lys med bestemte bølgelængder spredes, når det rammer gitrene, og dermed øges dets optiske vejlængde i cellernes aktive organiske lag. Lysets øgede optiske vejlængde gør, at en større del af lyset vil blive absorberet i cellerne.



↑ **Fleksible organiske solceller** med en samlet tykkelse på omkring 10  $\mu\text{m}$  fremstillet hos NanoSYD. Solcellerne har integrerede diffraktionsgitter til forøgelse af lysabsorptionen og dermed cellernes effektivitet.

Til højre: Organiske lyskilder fremstillet hos NanoSYD baseret på tre forskellige tyndfilmsmaterialer, hvilket giver hhv. rødt, grønt og blåt lys.

Arbejdet med at optimere materialernes elektriske og optiske egenskaber samt tyndfilmens indre struktur har de seneste år væsentligt forøget de organiske solcellers effektivitet. De bedste laboratoriefremstillede organiske solceller i dag har en effektivitet på 12 %, hvilket er en fordobling i forhold til rekorden for fem år siden. Til sammenligning har kommercielle silicium-solceller i dag en effektivitet på op imod 20 %, men disse har også mere end 30 års udvikling bag sig.

### Organiske lystransistorer

Et andet hastigt voksende felt er organisk lysteknologi, hvor organiske tyndfilm benyttes som et materiale, der udsender lys. Typisk indgår en eller flere organiske tyndfilm i en sandwich-struktur med top- og bundkontakter, som tilsammen danner en såkaldt organisk lysdiode eller *OLED* (fra engelsk: *organic light-emitting diode*). I display-industrien vinder OLED-skærme frem og mange smartphones har i dag en OLED-baseret skærm, og også større OLED-enheder til fladskærms-tv er på trapperne. Det næste store område for OLED-teknologi forventes at blive til belysning, hvor man i dag bruger fx halogenpærer eller (uorganiske) lysdioder.

En organisk lysdiode virker ved, at når den påtrykkes en spænding, dannes der elektron-hul-par i den organiske tyndfilm, der efterfølgende omdannes direkte til lys. Farven på lyset kan justeres ved at ændre sammensætningen af de organiske molekyler i lysdioden. På den måde opnår man en naturlig farve lys, når man kombinerer materialer, som udsender lys i forskellige farver.

Hvor de organiske lysdioder forventes at slå igennem inden for belysningsområdet indenfor få år, er det dog muligt, at de hurtigt vil blive udkonkurreret af de såkaldte organiske lystransistorer. Det skyldes bl.a., at en høj effektivitet kræver ladningsbærer-balance. Det betyder, at omtrent det samme antal elektroner og huller skal transporteres til den organiske tyndfilm, hvor de kan mødes og danne elektron-hul-par, som omdannes til lys. I en transistor er der en såkaldt gate-kontakt, som gør det muligt at kontrollere strømmen gennem det orga-

niske materiale mere præcist ved at styre elektron- og hul-strømmen uafhængigt af hinanden og dermed opnå den ønskede ladningsbærer-balance. Det har gjort det muligt at opnå meget energieffektive lystransistorer, som har potentiale til konkurrere med de konventionelle belysningsteknologier. Lystransistorerne er dog indtil videre kun på laboratorie-stadiet, og der ligger derfor fortsat et stort arbejde forude inden de vil være at finde på butikernes hylder. Ved NanoSYD forsker vi også i at optimere organiske lystransistorer ved brug af organiske nanokrystaller, som pga. deres krystalstruktur har forbedrede elektriske egenskaber.

### På vej mod en kommerciel teknologi

En stor del af udfordringen i at få organiske solceller og lystransistorer til at slå igennem på det kommercielle marked ligger i at kunne fremstille enhederne på større skala og forbedre deres levetid. Netop disse to aspekter skal to nye forskningsprojekter ved NanoSYD dykke ned i. Projekterne er henholdsvis et europæisk ph.d. netværk, hvor der oprettes 14 nye ph.d.-projekter indenfor organisk energiteknologi og et internt SDU projekt, hvor kompetencer og udstyr indenfor organisk energiteknologi samles i en nyoprettet forskningsenhed. Til formålet vil der blive opsat et større pådampningsanlæg, som kan fremstille effektive organiske solceller og lystransistorer på større skala.

Vi vil samtidig undersøge og optimere levetiden af de producerede enheder ved detaljerede studier af de nedbrydningsmekanismer, der er på spil, og som giver de organiske komponenter en forholdsvis kort levetid. Med optiske karakteriseringsteknikker vil vi kunne kortlægge, hvordan nedbrydningen foregår og dermed give ideer til, hvordan man kan modvirke de nedbrydende mekanismer i fremtiden.

Projekterne foregår i samarbejde med europæiske universitetspartnere og med nationale og internationale virksomheder. Målet er dels at gøre vejen mod kommerciel organisk energiteknologi kortere, og dels at uddanne kvalificerede forskere indenfor et område, der på mange måder går en lys fremtid i møde. ■

### Videre læsning

[www.sdu.dk/nanosyd/](http://www.sdu.dk/nanosyd/)

Hansen et al. *Nanotechnology*, 24, 145301 (2013)

Liu et al. *Organic Electronics*, 11, 1096 (2010) og *Organic Electronics*, 12, 1724 (2011)