

POLYMERERNE DER IKKE VIL KNÆKKES

– den organiske solcellerevolution
er på vej

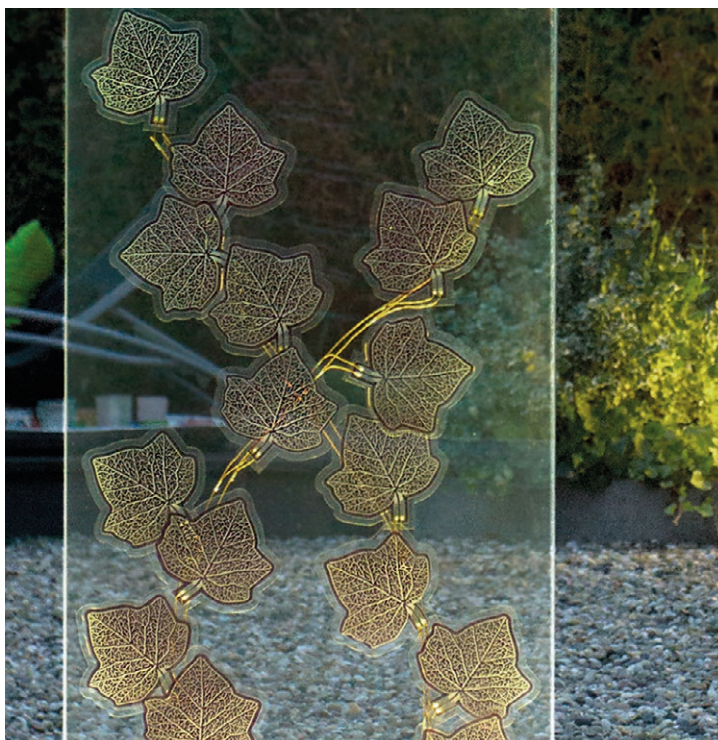
Organiske solceller er nu i laboratoriet tæt på at være lige så effektive som traditionelle solceller. Forskerne arbejder på at rydde de sidste hindringer af vejen for, at organiske solceller kan blive hvermandseje.

På et tidspunkt om ikke så forfærdelig mange år vil den måde, som vi mennesker udnytter solens energi på, sandsynligvis have ændret sig markant. Vi vil måske ikke kunne se det med det blotte øje, men ændringen vil være fundamental.

Vores vinduer er formentlig dækket med et tyndt og gennemsigtigt lag film, vores tage er dækket af et tyndt lag film og selv vores tøj er dækket med et tyndt lag film. Dette tynde lag film er solceller, der producerer strøm ved hjælp af Solens energi, og så er solcellerne organiske.

Med i denne transformation af måden at høste energi fra Solen på er en gruppe forskere fra Syddansk Universitet (SDU). De er med til at skubbe teknologien bag organiske solceller det sidste stykke vej, så de kan komme fra laboratoriet og ud i den virkelige verden.

»Mennesker bruger mere og mere energi, og vi kan ikke blive ved med at bruge fossile brændstoffer til at producere den. Derfor har vi brug for at udnytte alle de vedvarede energikilder, og her er Solen et sikkert valg, fordi den uden problemer



Eksempel på et kommercielt solcelleprodukt, som er udformet som dekorative blade og sat op på et stykke glas. Foto: www.opvius.com

kan forsyne os med alt den energi, vi skal bruge. De solceller, vi i dag benytter til at høste Solens energi, har dog en lang række begrænsninger, som organiske solceller ikke har, og derfor er organiske solceller interessante,« fortæller adjunkt Vida Engmann fra Mads Clausen Institutets OPV-gruppe i Sønderborg.

Omkostningseffektive og fleksible

Et af problemerne med de nuværende uorganiske solceller er, at de ofte bliver lavet af silicium eller galliumarsenid, der respektive er enten dyre, miljøbelastende, energiomkostningstunge eller lavet af sjældne materialer. Det er med

andre ord ikke altid en fuldstændig "grøn" løsning at lave grøn energi, da de materialer og processer, som indgår i produktionen af uorganiske solceller eller for den sags skyld vindmøller, ikke nødvendigvis alle er grønne.

Ydermere er uorganiske solceller ofte nogle tunge og ufleksible strukturer, der skal monteres på en dertil indrettet mekanisk konstruktion, eksempelvis på en mark eller på et hustag. En stor del af omkostningen ved at installere uorganiske solceller går faktisk til netop at montere panelerne på denne konstruktion.

Hvis solceller skal blive en af de helt store spillere på fremtidens energimarked, er der dermed en masse udfordringer at tage sig af for de forskere, som skal udvikle måder at høste Solens energi på. Problemet kræver helt nye løsninger på flere niveauer.

»Der er nogle indlagte begrænsninger ved de solceller, som vi hovedsageligt benytter os af i dag, og de begrænsninger skal vi overkomme for at gøre solenergi til en mere attraktiv løsning i forhold til at løse klima-/energikrisen,« siger Vida Engmann.

Mange fordele i forhold til uorganiske solceller

Sammenlignet med de uorganiske solceller er organiske solceller en helt anden ting. De er opbygget af lange polymerkæder (kæder, der består af gentagne kulstofbaserede molekyler), og modsat plastik, tøj og overtræk på møbler, der også er lavet af lange polymerkæder, har disse specielle polymerkæder evnen til at lede strøm. Den evne stammer fra strukturen i polymerkæderne, som består af skiftevis enkelt- og dobbeltbindinger hele vejen langs kædens længde. Derudover er kæderne udstyret med såkaldte aromatiske ringe, som definerer polymerkædens evne til at optage sollys. Jo længere kæden er, des mere sollys kan den absorbere. Dette gør det muligt for polymerkæder at absorbere store

Vida Engmann

Vida Engmann er adjunkt ved Mads Clausen Institutet på Syddansk Universitet. Hun fik sin uddannelse på Faculty of Electrical Engineering and Computing ved University of Zagreb i Kroatien i 2009. Derefter skrev hun frem til 2014 sin ph.d. ved Institute of Physics på Ilmenau University of Technology, Tyskland. I 2014 flyttede hun til Danmark og blev postdoc ved NanoSYDs OPV-gruppe, som ledes af professor Morten Madsen, på Syddansk Universitet, hvor hun siden 2017 har været ansat som adjunkt.

Vida Engmanns forskningsinteresser er organiske solceller, polymernedbrydning, stabilisering af organiske materialer samt un-



Vida Engmann har desuden modtaget prisen L'Oréal UNESCO For Women in Science 2019

dersøgelser af organiske solcellers mekanik og levetid.
engmann@mci.sdu.dk

mængder lys, selvom de kun er få nanometer tykke og i tillæg ultra lette. Denne egenskab gør også, at organiske solceller kan laves gennemsigtige og bøjelige og formes til at have næsten en hvilken som helst struktur.

Ydermere er organiske solceller billigere at producere end de uorganiske, og en undersøgelse fra Danmarks Tekniske Universitet har vist, at blandt alle vedvarende energiformer er solenergi produceret ved hjælp af organiske solceller den energiform, der selv efterlader det laveste energiftryk – altså koster mindst energi at lave i forhold til energiudbytet. Samtidig har organiske solceller det laveste CO₂-aftryk på miljøet. Det gør det mange steder til en klar fordel at bruge organiske solceller til at lave grøn energi og strøm.

Sidst, men ikke mindst, behøver organiske solceller i modsætning til uorganiske solceller ikke direkte sollys for at fungere. De kan operere godt under diffus belysning eller sågar indendørs, hvis det skal være, dog med et mindre energiudbytte grundet den lavere belysning.

Ifølge Vida Engmann kan man forestille sig:

- Man benytter organiske solceller direkte på vinduer, så vinduerne bliver strømproducerende uden at miste deres gennemsigtighed. Det er endda muligt at kombinere solcellerne med et batteri og forbinde det til LED-lamper. Solcellerne kan derved producere elektricitet om dagen og lagre det i batterier, hvorefter LED-lamperne kan få strøm fra batteriet, når mørket falder på, så vinduerne i sig selv kan udsende lys, eksempelvis når det er gråt og kedeligt udenfor klokken 14:37 i december.
- Organiske solceller kan rulles ud som en film på et hustag, så hele taget bliver strømproducerende uden behov for store grimme metalkonstruktioner. Udefra kan man næppe se, at taget producerer strøm.
- De organiske solceller kan benyttes i forskellige strukturer, hvor det æstetiske er i fokus. At gøre en genstand strømproducerende kan i fremtiden blive lige så let som at vikle den ind i ét enkelt

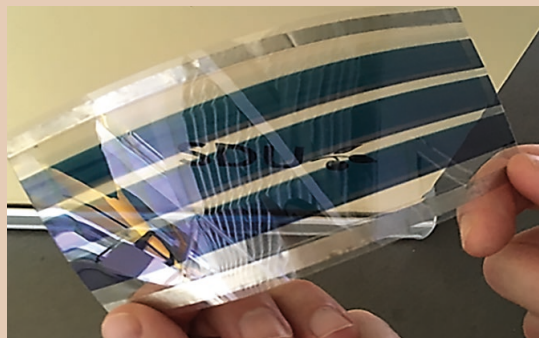


Sådan laver forskere organiske solceller

Organiske solceller er historisk set lavet ud fra et meget simpelt princip. I kernen af solcellerne er et lag af lange polymerkæder, som virker som elektrondonorer, og et lag af små molekyler, der virker som elektronacceptorer. Når Solens stråler rammer lagene, overføres ladningsbærere i form af en elektron fra elektrondonoren til elektronacceptoren. Dette er en solcelles hovedfunktion, og derfor kaldes dette lag for det aktive lag.

På hver sin side af henholdsvis elektrondonoren og elektronacceptoren er en anode og en katode, der kan trække elektrisk energi til at tænde eksempelvis en elpære ud af systemet. Katoden og anoden består af for eksempel indiumtinoxid (ITO) og aluminium, og ind mellem dem og det aktive lag ligger to tynde transportlag med eksempelvis zinkoxid oven på indiumtinoxid-laget og molybdænoxid før aluminiumslaget. Designet er med til at skabe en mere effektiv transport af elektricitet ud af systemet og minimere tab i processen. Samlet set udgør elektroderne, transportlagene og polymererne i midten en tynd energiproducerende sandwich, som bare skal have en smule lys for at producere strøm.

Helt så simpelt er det dog ikke, når vi taler om moderne organiske solceller. Frem for at have to lag af organiske materialer mellem en anode og en katode består kernen i moderne organiske solceller af et nano-mix af elektrondonorer og elektronacceptorer. Grunden til det er, at mixet giver donor- og acceptorlaget større berøringsflade og dermed bedre forudsætninger for hurtig ladningsoverførsel.



Transparent, fleksibelt organisk solcellemodul fra laboratoriet på SDU. Foto: SDU

Anode - fx sølv
Hultransportlag - fx molybdænoxid
Aktivlag
Elektrontransportlag - fx zinkoxid
Katode - fx indiumtinoxid
Substrat (plastfolie)

Opbygningen af en typisk organisk solcelle.

Ud over de funktionelle dele består organiske solceller også af en masse stabiliserende lag, som har til formål at beskytte systemet mod omgivelserne, så det ikke nedbrydes af alt fra ilt til UV-lys. Derudover indeholder mange organiske solceller også elektronblokerende lag, som sikrer, at elektronerne ryger den rigtige vej i systemet.

lag husholdningsfilm. De forskellige komponenter i organiske solceller kan endda opløses i blæk, så de kan printes direkte på andre materialer.

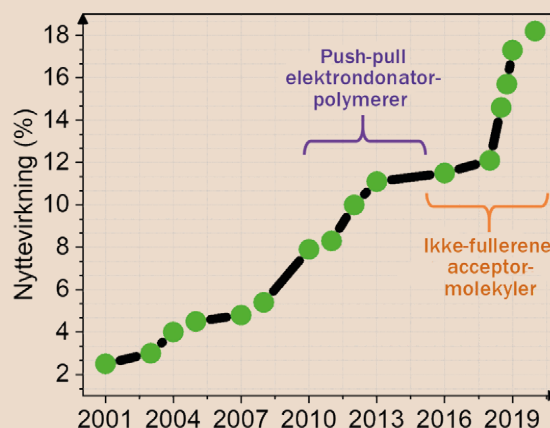
»Der er blandt andet lavet et projekt i Frankrig, hvor man ville installere solceller i nogle gamle landsbyer, men det måtte ikke gå ud over landsbyernes æstetiske og kultu-

relle udtryk, specielt omkring de gamle kirker. Der benyttede man så organiske solceller, fordi de stive strukturer og sorte overflader i uorganiske solceller aldrig ville være

Verdensrekorden i strømproduktion med organiske solceller

Nyttevirkningen for en solcelle angiver, hvor stor en brøkdel eller procent af den tilførte solenergi, der omdannes til brugbar elektricitet. Kommercielle uorganiske solceller har normalt en nyttevirkning på 15-22 procent. Verdensrekorden for en siliciumbaseret solcelle er 26,7 procent. Den blev sat af japanske Kaneka Corporation i foråret 2017.

Organiske solceller har altid haltet efter de uorganiske, men i april 2018 lykkedes det forskere fra USA at opnå en nyttevirkning på 15 procent, hvilket var en ny rekord. Den faldt dog allerede den 1. januar, hvor kinesiske forskere opnåede en nyttevirkning på 18,2 procent. De kinesiske forskere mener endda, at det er muligt at få nyttevirkningen over 25 procent, hvilket for alvor vil kunne konkurrere med nyttevirkningen for uorganiske solceller, der trods alt har haft 30 års udvikling mere på bagen.



Figuren viser udviklingen i nyttevirkning af organiske solceller over tid.

blevet accepteret. De organiske solceller kunne derimod integreres i omgivelserne,« forklarer Vida Engmann.

Organiske solceller har den fordel, at de kan have hvilken som helst farve, så i Frankrig var det muligt at opsætte dem i forskellige former og farver, der var lettere at skjule i bevoksningen, og på den måde bevare landsbyernes udtryk.

Firmaer laver tøj med organiske solceller i

Vida Engmann fortæller, at fremtiden højst sandsynligt kommer til at blive strømforsynet af en kombination af organiske og uorganiske solceller. De uorganiske kommer stadig til at dominere på hustage og marker, mens de organiske kommer til at indgå meget mere subtilt i vores hverdag. De kan indgå i alt fra strømproducerende vinduer og bygninger til strømproducerende tøj.

For nylig var Vida Engmann til en stor kongres om uorganiske solceller, International Summit on Organic and Hybrid Photovoltaic Stability (ISOS), og her havde innovative firmaer præsenteret deres prototypeideer til blandt andet at indarbejde solcellerne i tøj, så tøjet kunne oplade en mobiltelefon. Andre havde lavet simple konstruktioner, hvor organiske solceller

holdt gang i et apparat til at tælle, hvor mange gange en dør åbnede, eller hvor mange poletter der blev fyldt i en maskine. Et firma havde endda udviklet skitøj, hvor en alarm automatisk ringede til alarmcentralen, hvis personen med jakken blev begravet af en lavine. Alarmen blev opladet med organiske solceller, der var integreret i skitøjet.

»De organiske solceller har nogle applikationsmuligheder, som vi slet ikke kommer i nærheden af med de uorganiske solceller. Det gør dem interessante, og de to kan jo komplementere hinanden,« siger Vida Engmann.

Nyt molekyle booster nyttevirkningen

De organiske solceller kommer dog ikke uden om deres egen stribe af problemer, som forskere som Vida Engmann netop nu forsøger at løse.

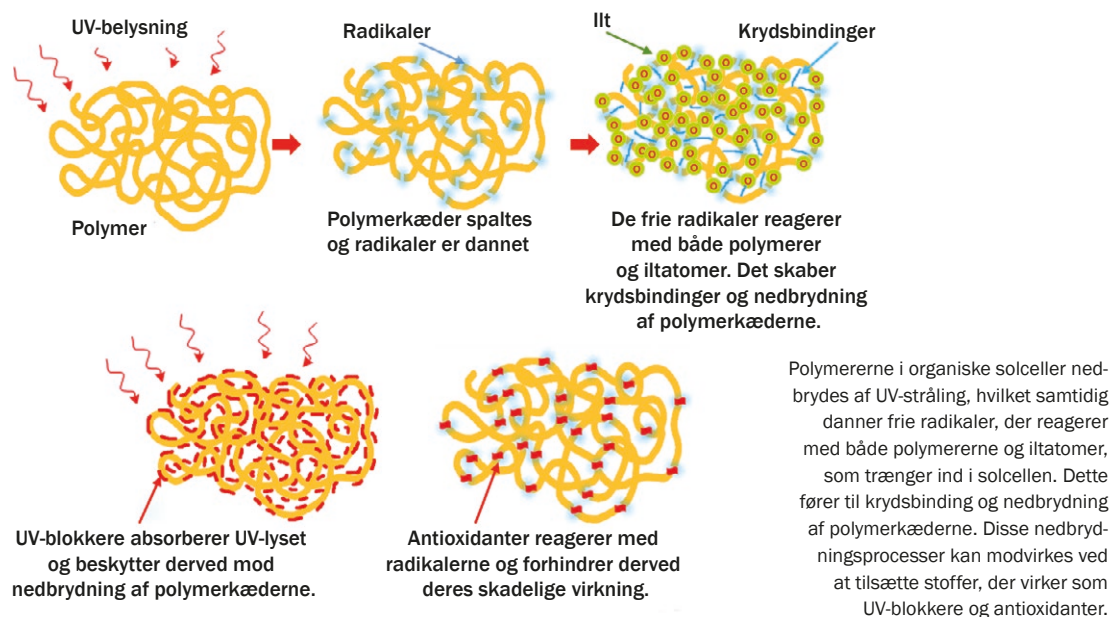
Det første og altoverskyggende problem er nyttevirkningen i de organiske solceller i forhold til de uorganiske. Kommercielle siliciumsolceller kan udnytte tæt ved 20 procent af lyset fra Solen, og i mange år har tallet for de organiske solceller ligget væsentligt lavere, hvilket har gjort dem uattraktive som alternativ. Det har dog ændret sig, så organiske solceller i dag (i hvert fald på forskningsplan) kan opnå en nyt-

tevirkning på 18 procent, og barren flyttes måned for måned.

Årsagen til gennembruddet inden for nyttevirkningen med organiske solceller er udviklingen af mere komplekse og mere effektive donor- og acceptormolekyler.

Den første store forbedring af nyttevirkningen, som i 2007 lå på 4,5 procent og ramte 15 procent i 2015, kom med udviklingen af en ny type donor-molekyler, de såkaldte push-pull molekyler. Disse polymerer er sammensat af henholdsvis elektronrige regioner, der skubber elektroner fra sig, og elektronfattige regioner, som trækker elektroner til sig. Samlet skaber polymererne hurtigere transport af elektroner gennem solcellen.

En anden komponent, der har øget nyttevirkningen i de organiske solceller, er de såkaldte ikke-fullerene acceptormolekyler. I mange år har lagene i de organiske solceller indeholdt fullerener, der er organiske molekyler (C_{60}) formet som en kugle, der agerer elektronacceptor. Indenfor de seneste to til tre år er der dog sket en udvikling inden for de organiske solceller på grund af fremkomsten af ikke-fullerene elektronacceptorer. Det er små molekyler med evnen til at absorbere et bredere spektrum af sollys og



derfor også evnen til at skabe mere strøm.

»Udviklingen af ikke-fullerene elektronacceptorer er en revolution inden for vores felt, og det fik nyttevirkningen i solcellerne til at stige markant. De første effektive ikke-fullerene elektronacceptore indtog scenen omkring 2016, og i dag ser vi næsten hver måned nye rekorder i forhold til nyttevirkningen i organiske solceller netop på grund af dem. Vi er oppe på 18 procent og nærmer os de 20 procent, som i flere år har været standard for de kommercielle, ikke-organiske solceller,« fortæller Vida Engmann.

Vida Engmann forklarer dog også, at forskere indtil videre kun ser den høje nyttevirkning i laboratoriet, mens nyttevirkningen falder med omkring en tredjedel, når de organiske solceller bliver produceret under industrielle betingelser.

»Der bliver dog investeret massivt i forskningsinstitutioner og start-up-virksomheder, der adresserer problemet og forsøger at finde måder, hvorpå nyttevirkningen fra laboratorierne kan oversættes til nyttevirkning i den virkelige verden. Det er ikke en helt nem proces og kræver mange optimeringer af lagene inden i solcellerne, hvilket er noget, som vi også

forsøger at forbedre her på SDU, blandt andet i professor Morten Madsens forskningsenhed,« siger Vida Engmann.

Organiske solceller vil fungere godt på Mars

Når solcellerne holdes under optimale lysbetingelser og i iltfri omgivelser, fungerer de rigtig fint med høj energiudnyttelse. Når de til gengæld bliver udsat for primært UV-lys og ilt samtidigt, falder effektiviteten og dermed også den genererede elektricitet, hvilket er en udfordring for teknologien.

Dette skyldes, at når polymerkæder absorberer lys, bliver de ødelagt, hvilket reducerer kædernes evne til at absorbere mere lys og dermed producere elektricitet. Når polymerkæderne bliver brudt, bliver der desuden dannet frie radikaler, som tiltrækker elektroner, der derved ikke bliver omdannet til strøm. Disse radikaler kan også reagere med ilt i omgivelserne og dermed oxidere materialet og ændre på dets kemiske egenskaber.

Et vigtigt fokusområde for forskere er derfor at øge stabiliteten af organiske solceller, blandt andet ved at indkapsle dem på samme måde som astronauter indkapsles af en beskyttende dragt. Alligevel finder ilt og vand i form af damp

altid gennem indkapslingen og ind i solcellen, så problemet mangler stadig en endelig løsning.

Ydermere bliver solcellerne også mindre transparente og mindre fleksible med mere indkapsling, hvilket er to attraktive egenskaber ved organiske solceller. En mulig løsning kunne være at syntetisere donor- og acceptor-molekyler med mere stabile strukturer, men indtil videre er alle de nuværende state-of-the-art højeffektive materialer ret ustabile.

Det er her, Vida Engmanns forskning kommer ind i billedet.

»Det er meget svært at undgå at få ilt ind i systemet, og det kan vi ikke helt undgå, men vi kan designe forskellige løsninger, som får nedbrydningen af solcellerne til at gå langsommere, så de bevarer deres høje kapacitet for at producere energi længere. Organiske solceller vil fungere rigtig godt ude i rummet eller på Mars, hvor der ikke er noget ilt, men der skal arbejdes lidt mere på også at få dem til at fungere her på Jorden,« griner hun.

Reducerer nedbrydningen af organiske solceller

Den tilgang, som Vida Engmann har pioneret til at reducere nedbrydningen af organiske solceller, hedder "additive-assisted stabi-

lization". Den går meget simpelt ud på at blande stabiliserende elementer ind mellem donor- og acceptor-materialerne i de aktive lag i solcellerne.

Disse elementers rolle er at forhindre eller i det mindste reducere det mekaniske stress, som ender med at knække polymerkæderne og skabe frie radikaler. Et af de elementer, som Vida Engmann arbejder med, er et UV-absorberende materialer, som også findes i solcremer og beskytter huden mod Solens skadelige UV-stråler. Disse materialer er rigtig gode til at absorbere UV-delen af sollys og dermed beskytte de resterende lag i fotocellerne. På den måde bliver UV-lyset absorberet og frigivet som varme, mens polymerkæderne bliver forskånet for at gå i stykker.

En anden type materiale er anti-oxidanter, som man typisk finder i hudplejeprodukter, herunder cremer til at modvirke aldring. Disse materialer er rigtig gode til hurtigt at interagere med de frie radikaler i

Energikilde/teknologi	Tilbagebetalingstid for energi (år)	CO ₂ -udledning (kg/kWh)
Vind	0,39	0,027
Mono og poly Si-solceller	1,12	0,032 - 0,36
Amorfe Si-solceller	1,13*	0,011 - 0,226
CdTe solceller	0,44*	0,025
Organiske solceller	0,08*	0,01 - 0,06
Vandkraft	0,5	0,013 - 0,04
Geotermisk	0,54	0,041
Biomasse	5-10	0,045
Naturgas	-	0,751

Sammenligning af forskellige vedvarende energiteknologier i forhold til deres CO₂-udledning og tilbagebetalingstid. Efter Krebs et al. Adv. Mater., Vol 26, s 29-39 (2014), *opdateret fra www. opvius.com

polymererne (og i vores hud) og forhindre yderligere skader i de aktive lag i solcellerne.

Der er dog det problem, at i modsætning til huden skal solcellerne beholde deres elektriske og optiske egenskaber, så de kan absorbere og omsætte lys til strøm. Derfor må de materialer, som Vida Engmann putter ind i fotocellerne, ikke kompromittere solcellernes funktion på nogen måde.

»I vores studier har vi udviklet en metode til at kunne screene og ud-

vælge materialer, der ikke influerer på solcellernes funktion. Ved hjælp af denne metode har vi opnået signifikante forbedringer i stabiliteten af forskellige former for fullerene-baserede solceller. Vores test-solceller har øget effektudbyttet med en faktor 10, hvilket er verdensrekord til dato. På nuværende tidspunkt videreudvikler vi denne metode til også at kunne benytte den på de nye ikke-fullerene-baserede solceller med speciel fokus på dobbelt stabilisering, hvilket inkluderer både mekanisk og fotooxidativ stabilitet,« siger Vida Engmann.

Referencer

E. Destouesse, M. Top, J. Lamminaho, H.-G. Rubahn, J. Fahlteich, M. Madsen "Slot-die processing and encapsulation of non-fullerene based ITO-free organic solar cells and modules" Flexible and Printed Electronics 4, 045004 (2019)

V. Turkovic, M. Madsen "Inhibiting Photo-oxidative Degradation in Organic Solar Cells using Stabilizing Additives", Book chapter in "Devices from Hybrid and Organic Materials", World Scientific (2019); https://doi.org/10.1142/9789813270541_0012

V. Turkovic, S. Engmann, N. Tserkezos, H. Hoppe, U. Ritter, G. Gobsch "Long-term stabilization of organic solar cells using hindered phenols as additives", ACS Applied Materials & Interfaces 6, p18525 (2014); <http://dx.doi.org/10.1021/am5024989>

LabQuest 2

Digital dataopsamling



USB



Kompatibel med Go Direct sensorer!

Den mest brugervenlige datalogger til undervisningsbrug - nogensinde...

- Dataopsamling via USB, Wi-Fi eller Bluetooth - tilslut op til 10 sensorer samtidigt
- Brug den med iPad, iPhone, Android, PC og Mac og del med 5 eller flere elever - **kan også bruges i felten!**
- Tilslut over 90 forskellige kablede sensorer og 40 trådløse, som kan tilsluttes via Bluetooth Smart eller direkte via USB-kabel - alle sensorer med AutolD
- 5 indbyggede sensorer: Lyd - lufttemp.- lys - GPS - acc.meter
- Indbygget periodisk system, dansk software, gratis opdatering og 5 års garanti
- Fungerer også som alm. måleinstrument med sensor

Best.nr. Labquest2

BESTSELLERPRIS kr. 3.350,-

Go Direct™

Nu mere end 40 trådløse sensorer!

Kompatibel med LabQuest!



Nu kan eleverne dataopsamle direkte i felten på mobilen, iPad, tablet eller PC/Mac via Verniers gratis App Graphical Analysis 4, der findes på alle platforme. Kan anvendes direkte til mobil eller som trådløs sensor til LabQuest2, som så kan deles via Wi-Fi...

Iltsensor gas

Måler oxygenkoncentrationen i luft og lufttemp.
Måleområde: 0-100% (0-1000 ppt) O₂

Best.nr. GDX-O2

GO DIRECT PRIS kr. 2.365,-

CO₂-gas sensor

Måler CO₂, temperatur og relativ fugtighed. Måleområde: 0-100.000 ppm

Best.nr. GDX-CO2

GO DIRECT PRIS kr. 2.295,-

Oxygen-sensor

Til måling af oxygen i væske

Måleområde: 0-20 mg/L, 0-300%

Best.nr. GDX-ODO

GO DIRECT PRIS kr. 3.595,-

Se mange flere Go-Direct på skolebutik.dk

Alle priser er excl. moms og gældende indtil andet angives

skolebutik.dk

Se mere på vores webshop:
www.skolebutik.dk
- eller ring 4470 4000
Familiedrevet siden 1987...

Godkendt af e-handelsorden

