

Statusnotat for solceller 2006

Af Ivan Katic, Teknologisk Institut, august 2006

For en del år siden lød budskabet optimistisk: "Solceller bliver hele tiden bedre og prisen halveres hvert 7. år", og de fleste solceller er da også i dag så gode, at modulproducenterne rask væk giver 20-25 års ydelsesgaranti. Det er ikke gået helt som spået med prisen, men at solcellerne virker og har succes kan ses af den voldsomme vækst på ikke mindst det tyske marked. Den stærke efterspørgsel har nu fuldstændig drænet markedet for silicium til solceller, og har på det seneste medført svagt stigende priser. Den nuværende "siliciumkrise" kan umiddelbart løses på to måder, enten ved at bygge nye anlæg til oprensning af råsilicium, eller ved at satse mere på solcelletyper, som kræver mindre eller intet silicium. Denne artikel beskriver den sidste mulighed, og fokuserer især på de solcelletyper og fremstillingsmetoder, som enten er i pilotproduktion eller på vej til at komme det.

Siliciummangel giver nye muligheder for tyndfilm-moduler

I dag har de krystallinske solceller en markedsandel på mere end 90%, og er dermed totalt dominerende på det globale marked. På grund af flaskehalsproblemer i produktionen af solcelle-silicium kommer der nu, efter nogen års pause, atter fokus på tyndfilm-solceller. De største fordele ved tyndfilm baseret på amorft silicium (a-Si), kobber-indium-diselenid (CIS) og cadmium-tellurid (CdTe) er det lave materiale- og energiforbrug til fremstillingen. Grunden til at de ikke har haft en større markedsandel er bl.a. at det først for nylig er blevet muligt at fremstille dem i store formater og med dokumenteret holdbarhed. Hvilken type er så bedst indenfor den nye solcelle-generation, og hvordan ser de ud?

CIS for effektivitet

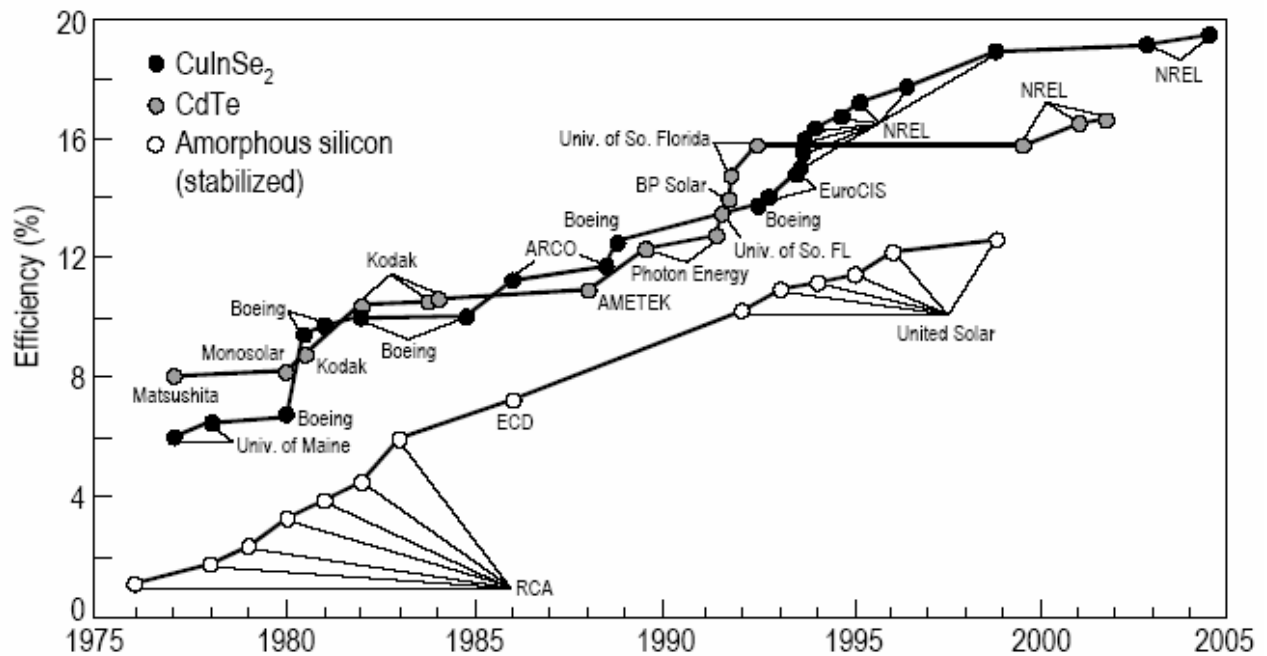
På grund af den teoretisk set høje effektivitet er der mange firmaer som koncentrerer sig om CIS-teknologien. Elselskabet Showa Shell Sekiyu og bilproducenten Honda planlægger at bygge nye produktionsanlæg i Japan. I USA har firmaer som Daystar, Nanosolar og Terra Solar Global igangsat anlæg for pilotproduktion. I Tyskland bygger pionerfirmaet Würth Solar et nyt produktionsanlæg med 10 MW kapacitet for en investering på 77 millioner Euro.

I CIS-celler består det aktive halvledermateriale af kobber, indium og selen. Undertiden indgår også gallium, og cellen betegnes da CIGS. CIS-laget er kun ca. 0,003 mm tykt, altså ca. 100 gange tyndere end en krystallinsk siliciumcelle. CIS-materialet bliver i vakuumkammer fordampet og derefter udfældet på et underglas med et tyndt lag molybdæn, som virker som bagsidekontakt. Som forsidekontakt benyttes en transparent leder bestående af zinkoxid doteret med aluminium. CIS-celler udmærker sig ved, at der ikke sker nogen lysinduceret ældning, som ved amorft silicium, derimod kan fugt nedbryde cellen. Det er derfor vigtigt at forseglingen er af god kvalitet. Virkningsgraden for kommercielle moduler ligger på 7,5-9,5%. Den maksimale modulstørrelse er ca. 1,2m x 0,6m, strukturen er homogen og ensartet sort.



CIS-moduler fra Shell

The Best One-of-a-Kind Laboratory Cell Efficiencies for Thin Films (Standard Conditions)



CdTe for økonomi

Mens der globalt er mere end et dusin udviklere og producenter af CIS-solceller, er der kun fem, som er aktive på området CdTe-tyndfilm. Kun to af disse, Antec Solar i Tyskland og First Solar i USA producerer CdTe-celler i kommerciel skala. Ifølge eksperter på området har CdTe-moduler det største potentiale for billiggørelse fordi produktionsprocessen er relativ simpel.

CdTe-moduler er bygget op ved at påføre flere lag på overglasset: Først en transparent ledende film (ofte indium-tinoxid), derefter et tyndt cadmium-sulfid mellemlag, og endelig et cadmium-tellurid absorberlag. Til sidst anbringes en metallisk bagsidekontakt. CdTe nedbrydes ikke af lyset, og er som kemisk forbindelse ugiftig og meget stabil, men rent (gasformigt) cadmium skal som tungmetal håndteres i lukkede kamre under fremstillingen.

Virkningsgraden for CdTe-moduler andrager 6-9% og udformingen kan vælges frit. Den maksimale størrelse er ca. 1,2m x 0,6m, og tyndfilmen er ca. 0,008 mm tyk. Strukturen er homogen, med farvespil fra mørkegrøn til sort.

Som eksempel på, hvor CdTe-moduler anvendes i dag kan nævnes Grundfos' pumpesystemer. Modulerne fungerer ved høj spænding og kablingen bliver derfor billigere, desuden kan modulerne ikke misbruges til 12V batteriopladning.



CdTe-modul fra Antec

Mikromorfe Si-celler for lavt siliciumforbrug

Amorfe siliciumceller hører til familien af tyndfilm. Den fotoaktive halvleder er i dette tilfælde amorft (formløst/ikke-krystalliseret) silicium, som pådampes et bærende underlag, oftest glas. På grund af den høje lysabsorption kan man teoretisk nøjes med et 0,001 mm tykt lag. Det lave materialeforbrug medfører en betragtelig energibesparelse ved fremstillingen sammenlignet med krystallinsk silicium.

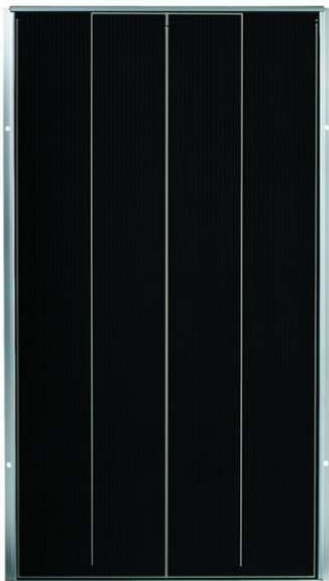
Amorft (formløst) silicium er langt den mest udviklede tyndfilm siliciumteknologi. Imidlertid er effektiviteten kun 5-8%, hvilket er utilfredsstillende i nogle sammenhænge. Desuden nedbrydes amorfe siliciumceller af sollys i den første driftsperiode, men stabiliserer sig så på et lavere niveau. Denne ulempe kan der rettes op på med brugen af mikro-krystallinsk silicium, som er en blandet fase af ekstremt små siliciumkrystaller og amorft silicium. Ved at kombinere amorfe og mikrokrySTALLINSKE celler kan man lave en såkaldt mikromorf tandemsolcelle med højere effektivitet.

De bedste silicium-tandemceller er i dag oppe på ca. 12% effektivitet, og potentialet er ca. 20% for stakkede celler.

Disse celler skal bl.a. undersøges nærmere i Europas hidtil største tyndfilmsprojekt (ATHLET).

Formen på amorfe/mikromorfe solceller kan vælges frit. Standardmoduler findes op til 0,77m x 2,44m, men større enheder kan bestilles. Moduler i metalfolie og kunststof findes, og kan i modsætning til glasmoduler bøjes uden at tage skade. Strukturen er homogen, og farven rødligbrun til sort.

Firmaet CSG Solar har som de første markedsført et krystallinsk tyndfilmmodul. CSG står for crystalline silicon on glass, og modulet har en effektivitet på 7,3%.



Amorft silicium-modul

PEC for billig produktion

Foto-elektro-kemiske solceller er et ret nyt område og kendes også under de engelske betegnelser DSC, dye-sensitized solar cell og photo-electro-chemical cell. Denne celletype har den ringeste effektivitet, men også det største potentiale for billiggørelse. Den er indtil nu kun fremstillet i pilotproduktion af det australske firma Dyesol samt japanske Peccell.



Australske DSC moduler til facadeintegration, effekten er ca. 50 W/m²

Teknologi	CIS	CdTe	Mikro-Si	PEC/DSC
Producenter	Sulfurcell, Würth Solar, Shell	Antec BP solar First Solar	CSG Solar Kaneka	Peccell Dyesol/GreatCell
Modulvirkningsgrad	6-11%		7,3-12%	0,8-5% (pilot)
Største moduleffekt	80	80	100	?

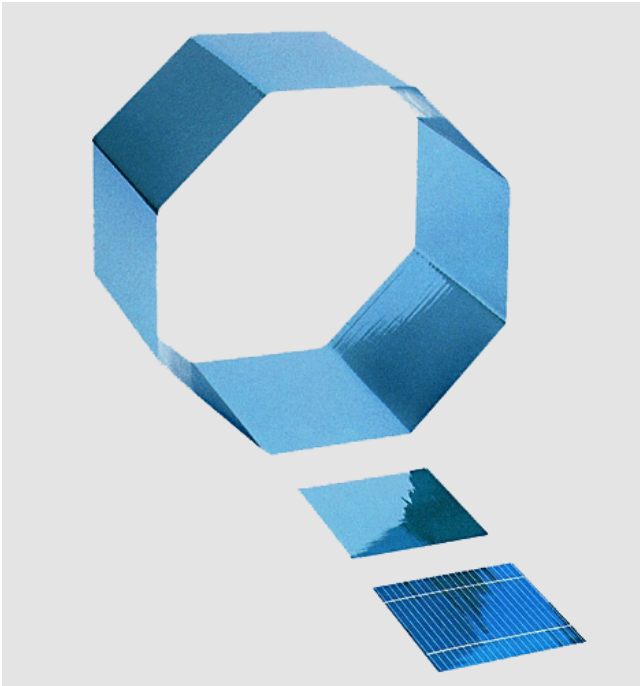
Tabel. Markedsførte eksempler på den nye generation af tyndfilmsolceller

Ny produktionsteknik for krystallinske celler

For at forenkle fremstillingen samt reducere materialeforbruget ved fremstilling af traditionelle silicium-wafers er der nu udviklet forskellige metoder til trækning af tynde siliciumbånd direkte fra et smeltebad. Båndet har den ønskede tykkelse for en celle og skal derfor ikke bearbejdes mekanisk, bortset fra afkortning i passende stykker. Båndtræk-metoden har gode muligheder for at reducere prisen på siliciumsolceller, og der er flere markedsmodne metoder:

Polykrystallinske EFG-siliciumceller

Ved denne type bliver et ottekantet rør med en sidelængde på 10 cm og en vægtykkelse på 0,28 mm trukket direkte op af et smeltebad, mens det krystalliserer. Fra de otte sider udskæres cellerne så med laserteknik. De færdige celler minder om monokrystallinske i udseende, og kan nå en virkningsgrad på ca. 14%.



Polykrystallinske String Ribbon-siliciumceller

Her bliver to meget varme kul- eller kvartsstrengene trukket lodret op af et smeltebad, mens et siliciumbånd udpænder sig mellem de to strengene. Det krystalliserer i et 8 cm bredt bånd (Ribbon) med en tykkelse på 0,3 mm. Båndet kan herefter skæres op i celler af passende længde. Denne type kan opnå virkningsgrader på ca. 12%, farven mørk blålig til grålig og med en ensartet struktur.

"Mono"krystallinske Dendritic Web-celler

Ligesom ved string ribbon, bliver et smalt siliciumbånd her trukket op af smelten, typisk 5 cm bredt. Krystalstrukturen er monokrystallinsk, eller strengt taget to-krystallinsk. Båndet tilskæres i 10 cm lange celler, der på grund af den meget ringe tykkelse på 0,1 mm er bøjelige ned til en radius på 15 cm. Virkningsgraden er ca. 13%, farven blålig og struktur, som almindelige monokrystallinske celler.

Polykrystallinske Apex-celler

Apex-cellen er det første praktiske eksempel på en tyndfilmcelle af krystallinsk silicium. Et siliciumholdigt, og elektrisk ledende keramiksubstrat, erstatter her den nedre del af solcellen. Det aktive siliciumlag bliver lagt på underlaget i en kontinuert proces og i en tykkelse på 0,03-0,1 mm. Der kan fremstilles store celler med samme egenskaber og struktur som traditionelle polykrystallinske celler. Virkningsgraden er 9,5%, formen kvadratisk op til ca. 20 cm x 20 cm.

Sfæriske solceller

Det canadiske firma SSP Spheral Solar Power producerer polykrystallinske solceller ud fra relativt urent, og dermed billigere, silicium. Processen består i, at der udkrystalliseres bittesmå siliciumkugler, hvor urenhederne trækker ud på ydersiden, hvorfra de kan fjernes. De mange kugler deponeres på en fleksibel stålfolie, og modulerne kan derfor udføres fleksible. Moduler fås op til 200W med en virkningsgrad på 8-10%.

	Teknologi	
Struktur	Tyndfilm: Integreret i modulfremstillingen	Wafer (traditionel): Byggeblokke som lamineres sammen i et modul
<i>Monokrystallinsk</i>		Si (Dendritic Web)
<i>Polykrystallinsk</i>	Si (CSG)	Si (EFG, Apex, Ribbon)
<i>Amorf</i>	Si, CIS, CdTe, PEC	

Tabel: Sammenhæng mellem cellestruktur, tykkelse og materiale for nye typer markedsførte solceller

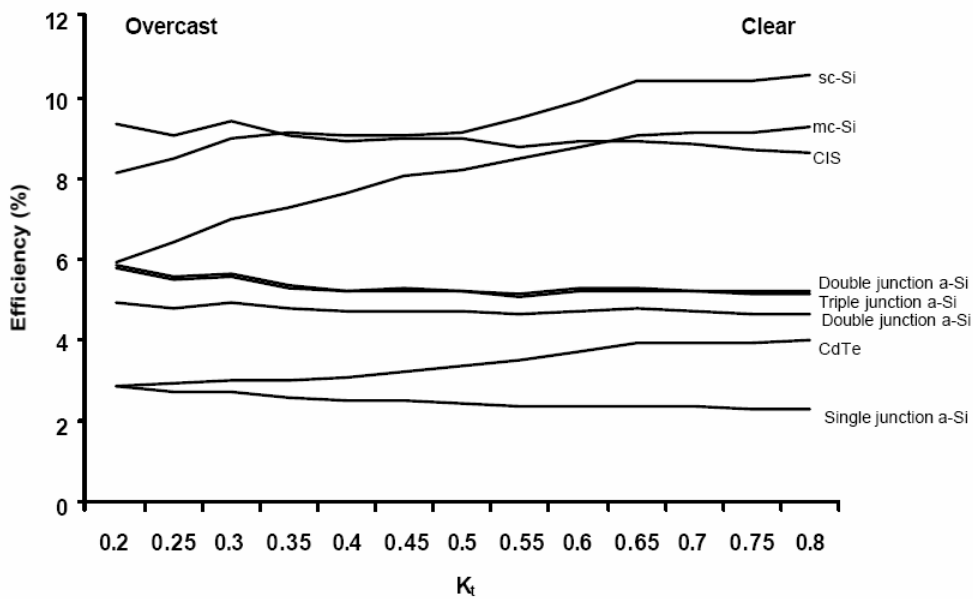
Den virkelige ydelse

Solcellers effekt opgives ved et sæt standardbetingelser, hvor solindstrålingen svarer til en klar og kølig dag, men da effektiviteten afhænger af såvel lysintensitet, spektralfordeling og temperatur, er det ikke så enkelt at omsætte dette tal til en årlig energiproduktion. Der er kun gennemført få praktiske målinger, hvor de forskellige teknologier er blevet systematisk sammenlignet, herunder EU-projektet PV-COMPARE. Her blev 11 forskellige modultyper for nogle år siden sammenlignet i henholdsvis Storbritannien og Mallorca. Resultaterne viser en klar fordel til flerlags amorfe siliciummoduler samt CIS i et tempereret klima, hvor meget energi hentes ved overskyet vejr. Det kunne være interessant at få dette efterprøvet i Danmark med den nye generation af moduler.

Table 2. Normalised power outputs from the Mallorcan and the UK arrays

Sub-array		kWh/kWp Mallorca (h)	kWh/kWp UK (h)	%
Unisolar US64	a-Si	1429	838.6	58
ASE 30 DG-UT	a-Si	1706	968.8	56
Solarex Millennia	a-Si	1555	904.1	58
Intersolar Gold	a-Si	937	479.2	51
Evergreen	mc-Si	1265	841.4	66
Astropower	mc-Si	1036	736.3	71
Solarex MSX 64	mc-Si	1201	765.9	63
ASE 300 DG UT	mc-Si	1352	784.7	58
BP Solar 585	sc-Si	1341	773.8	58
Siemens ST40	CIS	1590	1003.9	63
BP Solar Apollo	CdTe	1007	558.8	56

Tabel over målt årligt udbytte fra de undersøgte modultyper



Graf som viser effektivitet som funktion af skydække for de undersøgte moduler

Sammenfatning

Som det fremgår, er der en sand vifte af afprøvede teknologier og solcelletyper at vælge imellem allerede i dag, og det er derfor påfaldende så ens de danske solcelleprojekter tager sig ud – langt de fleste indeholder blå eller sorte celler af krystallinsk silicium, med det arkitektoniske udtryk det nu engang fører med sig. Ved integration af solceller i den danske bygningsmasse skal vi måske til at prøve nye muligheder. Det er jo ikke sikkert at det bliver alle bygninger, der skal have den samme standardløsning. Kreative arkitekter og ingeniører opfordres hermed til at tage tråden op, nu hvor solceller (sammen med solvarme) bliver en helt naturlig og uundværlig del af lavenergi-byggeriet.

Kilder:

- 1) J. Luther, Fraunhofer ISE: Photovoltaik – Energielieferant der Zukunft, Oktober 2005
- 2) Intersolar 2006 Newsletter, www.intersolar.de
- 3) Photon International, Market Survey Solar Modules 2006
- 4) PV-COMPARE: Direct Comparison of Eleven PV Technologies at Two Locations in Northern and Southern Europe

