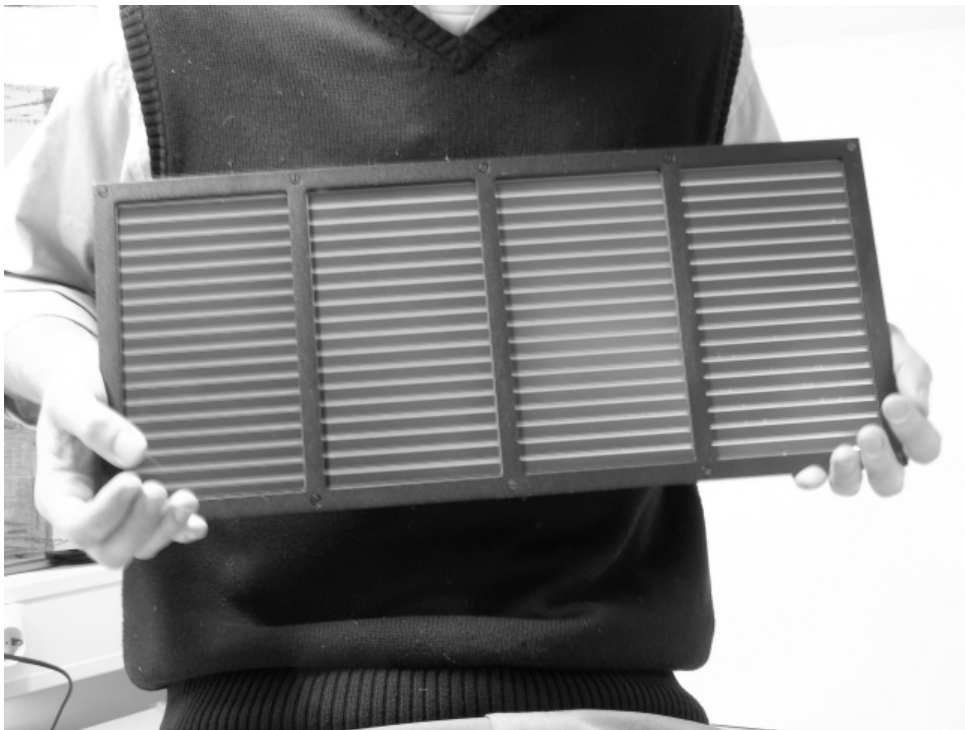


Grätzel-solcellsmoduler för utomhusapplikationer, fas 2



Henrik Pettersson

Sammanfattning

Projektet "Grätzel-solcellsmoduler för utomhusapplikationer, fas 2" har genomförts på IVF Industriforskning och Utveckling AB i Mölndal under perioden juni 2003 till december 2004.

Grätzel-solcellteknikens möjlighet jämfört med konkurrerade tekniker är att realisera PV-produkter till låg kostnad/ W_{peak} i kombination med en låg investeringskostnad för att initiera en produktionsanläggning. Det senare är viktigt eftersom det möjliggör produktion hos mindre bolag samt minskar risktagandet i samband med att initiera en produktion.

Verksamheten tekniska aktiviteter har resulterat i monolitiska Grätzel-solceller med verkningsgrader upp till 7 % vid en ljusintensitet på 100 W/m^2 . Modultillverkningen har skalats upp till en storlek på $10 \times 20 \text{ cm}^2$ utnyttjande industriella tillverkningsmetoder. Dessa celler och moduler kommer att utvecklas vidare under 2005 i det av Statens Energimyndighet finansierade projektet "Flexibla Grätzel-solceller", vilket utgår från projektresultaten och erfarenheterna från IVF och Ångström Solar Center i Uppsala.

Summary

The project "Monolithic Dye PV Modules for Outdoor Applications" has been performed at IVF Industrial Research and Development Corporation in Mölndal over the period June 2003 to December 2004.

The possibility of the dye-sensitised solar cell technology compared to other PV technologies is to realise PV products with low cost/ W_{peak} in combination with a low investment cost for setting up a production unit. The latter is important since it opens for production by smaller companies and reduces the risk related to commercialisation.

The technical efforts of the project have resulted in monolithic dye PV cells with efficiencies up to 7 %. The module preparation has been scaled up to module sizes of 200 cm^2 using industrial manufacturing methods. These devices will be further developed in 2005 in the project "Flexible Solar Cells". This project, financed by the Swedish Energy Agency, joins the experiences from IVF and Ångström Solar Center in Uppsala.

Inledning

Detta dokument sammanfattar aktiviteterna i projektet ”Grätzel-solcellsmoduler för utomhusapplikationer, fas 2” som har löpt från juni 2003 till december 2004. Projektet har genomförts på IVF Industriforskning och Utveckling AB i Mölndal. Verksamheten har samfinansierats av Statens Energimyndighet, Göteborg Energis Forskningsstiftelse samt IVF.

Grätzel-solcellen

Grätzel-solcellen introducerades i slutet av 80-talet. Dess grundidé, en fotoelektrokemisk cell bestående av en ljusabsorberande färgämnessensitiserad halvledare, en motelektrod och en elektrolyt hade då redan varit ett forskningsobjekt under lång tid. Det var emellertid upphovsmannen till Grätzel-cellen, Professor Michael Grätzel vid Tekniska Högskolan i Lausanne (EPFL), Schweiz, som lyckades uppnå verkningsgrader som medförde att tekniken blev intressant ur ett kommersiellt perspektiv. Det fanns främst två tekniska orsaker till dessa förbättringar:

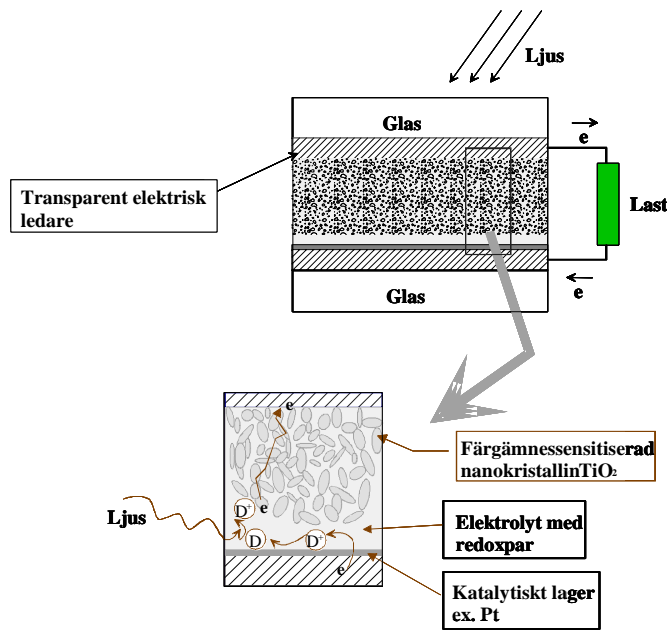
- 1 Introduktionen av nya färgämnen med de rätta egenskaperna (hög ljusabsorption och lång livslängd för elektronerna i det exciterade tillståndet)
- 2 Användandet av skrovliga nanokristallina elektrodytor istället för som tidigare plana ytor gjorde att den aktiva elektrodytan, och därmed cellutbytet, drastiskt ökade.

Uppbyggnad och lite teori

Uppbyggnaden för en konventionell Grätzel-solcell illustreras i Figur 1. På ett substrat med ett transparent elektriskt ledande skikt, arbetelektroden, finns den färgämnessensitiserade nanokristallina titandioxidfilmen. Den porösa strukturen hos denna elektrod möjliggör att en elektrolyt kan fylla alla tomrum i strukturen. På ett andra substrat, motelektroden, finns ett katalytiskt skikt (vanligtvis platina) som överför elektroner till elektrolyten (vilken inkluderar ett redoxpar).

Funktionen kan kortfattat beskrivas genom att följa elektroners väg genom systemet:

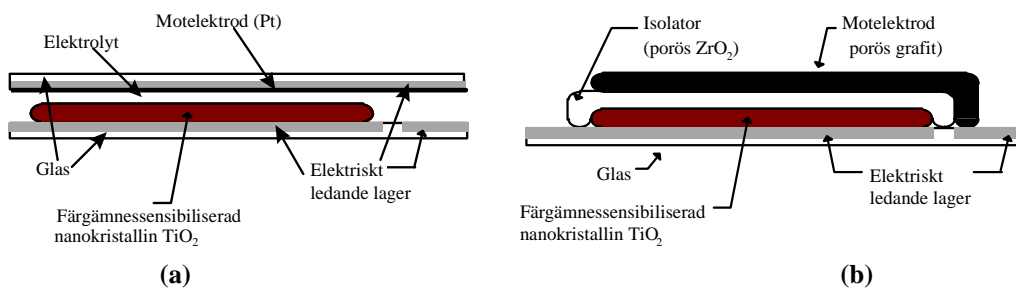
- 1 Ljusenergin absorberas av en färgämnesmolekyl och ger upphov till elektronexcitation i denna
- 2 färgämnets exciterade elektroner injiceras i halvledaren (titandioxiden) och vandrar genom dess porösa struktur till glasets ledande skikt
- 3 elektronerna utför ett arbete i den yttre kretsen
- 4 vid motelektroden tas elektronerna upp av elektrolytens redoxpar
- 5 det joniserade färgämnet erhåller ny elektron från elektrolytens redoxpar



Figur 1 Tvärsnitt av och elektronflöden i en Grätzel-solcell

Monolitiska Grätzel-solceller

Det finns två etablerade koncept för att tillverka Grätzel-solcellsprototyper, oftast benämnda sandwich och monolitiskt (Figur 2). På IVF används det monolitiska cellkonceptet, dvs en elektrodstruktur bestående av tre lager applicerade ovanpå varandra. Detta koncept öppnar för en enklare produktionsteknik och lägre material- och tillverkningskostnader vid jämförelse med sandwich-konceptet.



Figur 2 Koncept för Grätzel-celler; (a) sandwich och (b) monolitiskt.

Bakgrund till projektet

Under perioden juni 2001 till januari 2003 genomfördes på IVF Industriforskning och utveckling AB FoU-projektet "Grätzel-solcellsmoduler för utomhusapplikationer". Projektet finansierades av Statens Energimyndighet, Göteborg Energi ABs stiftelse för forskning och utveckling samt IVF. Projektets övergripande mål var att försöka skala upp den befintliga processtekniken som IVF utvecklat för monolitiska Grätzel-solceller avsedda för inomhusapplikationer mot moduler för utomhusapplikationer. Projektresultaten var lovande. Solcellerna skalades upp från en storlek på 20 cm² till 100 cm². Samtidigt förbättrades verkningsgraden vid utomhusbelysning från mindre än 0,1 % till 5,2 %. Vidare analyserades tillverkningskostnaderna för att initiera och driva en produktionslina. Detta indikerade en låg tillverkningskostnad och en jämförelsevis mycket låg investeringskostnad för att initiera en produktion. Detta motiverade en fortsatt utveckling av modulerna. Projektets andra fas har genomförts under perioden juni 2003-december 2004.

Projektets huvudresultat

Vi lyckades snabbt att förbättra solcellernas verkningsgrad från de 5.2 % som uppnåddes under projektets första fas (juni 2001-mars 2003). Efter de inledande sex projektmånaderna hade vi uppnått en verkningsgrad på 6.2 % vid 100 W/m² (ca 5 % vid 1000 W/m²). Efter ytterligare sex månader hade denna stigit till 6.7 % vid 100 W/m² (6.0 % vid 1000 W/m²). Detta var resultatet av kontinuerliga och systematiska förbättringar av solcellens motelektrod, isolerande skikt och elektrolyt. Parallellt med arbetet att förbättra verkningsgraden skalade vi under denna period även upp storleken på modulerna till 200 cm² samt tillverkade inledande demonstrationsexemplar.

Under projektets avslutande sex månader intensifierades arbetet med modultillverkning. Verkningsgraden för en typisk modul uppmättes till 6.6 % (aktiv TiO₂ area) vid 100 W/m². Detta är ett mycket viktigt resultat eftersom det starkt indikerar att samma verkningsgrad kan uppnås på en modul som på de mindre testceller vi arbetat med. Det bör dock poängteras att modulverkningsgraden vid höga ljusintensiteter var lägre (4.6 % vid 1000 W/m²) jämfört med värdena för testceller. Detta kan förklaras med att de individuella seriekopplade cellerna var för breda vilket medförde ohmiska energiförluster. I projektets slutskede sattes fyra moduler samman till en demonstratorpanel.

Projektets primära tekniska fokus har varit att påvisa att intressanta verkningsgrader kan uppnås med den utvecklade tekniken samt att moduler kan tillverkas. Detta har tagit mycket tid och skett på bekostnad av omfattande stabilitetstester. Som ett resultat av detta har höga verkningsgrader uppnåtts med ett system som inte är långtidsstabil vid belysning. Orsaken till detta är valet av elektrolyt. Det har inte funnits tid att förbättra stabiliteten genom att använda alternativa elektrolytblandningar inom ramen för detta projekt.

Parallellt med det tekniska arbetet har förutsättningarna för en kommersiell framtid för Grätzelcellen analyserats. Vi bedömer att Grätzelcellteknikens möjlighet jämfört med konkurrerade tekniker är att realisera PV-produkter till låg kostnad/ W_{peak} i kombination med en låg investeringskostnad. En mindre investeringskostnad är viktigt eftersom det möjliggör produktion hos mindre bolag samt minskar risktagandet i samband med att initiera en produktion.

Projektets leveranser

Projektets inledande leverans rapporterades i projektets statusrapport från december 2003 (Bilaga 1). Projektets nästa två leveranser rapporterades i statusrapporten från juni 2004 (Bilaga 2).

I detta dokument redovisas projektets återstående leveranser, d v s arbetet med en demonstrator (Leverans 4), de senaste verkningsgradsresultaten (Leverans 5), de inledande stabilitetsresultaten (Leverans 6) samt en analys av förutsättningarna för en kommersiell framtid för Grätzelcellen (Leverans 7).

Publikationer och patent

De vid tillfället uppnådda projektresultaten presenterades vid ISES 2003-konferensen i Göteborg [1]. En ny publikation beträffande de senaste projektresultaten är under framtagande.

Inga patentansökningar har lämnats in under projektet. Den förseglingsteknik vi använder är patentsökt (inlämnat 2001) [2]. Status på patentfamiljen är att den svenska ansökan är beviljad medan den europeiska och den amerikanska ansökan är under utvärdering hos respektive patentverk. Patentfamiljen förvaltas av IVF.

För industriell tillverkning av de solcellsmoduler vi arbetar med krävs med stor sannolikhet, förutom ovan nämnda förseglingspatent, en licens från den tekniska högskolan i Lausanne (EPFL) som bland annat innehar grundpatentet på det monolitiska konceptet. Vi vet inte om något ytterligare licensbehov men kan inte utesluta att det skulle kunna krävas vid industriell exploatering.

Samarbeten

Erfarenheter och idéer har kontinuerligt utbytts med Anders Hagfeldt och Gerrit Boschloo vid Ångström Solar Center, Uppsala universitet. Samarbetet har varit av värde för båda parter då vi har kunnat dra nytta av varandras erfarenheter. Vidare har alla verkningsgradsmätningar på våra testceller utförts i Uppsala. Inget avtal för immaterialrätter har varit aktuellt eftersom inga patentansökningar har genererats inom detta projekt.

Vi har även fortsatt tidigare rapporterade samarbeten med följande partners:

- Fraunhoferinstitutet i Freiburg: screentryckningspastor för det isolerande skiktet

- Tekniska högskolan i Lausanne (EPFL): elektrolyter
- ECN (Holland): screen-tryckningspastor för TiO₂-skiktet

Parallellt med detta projekt har IVF även deltagit i EU-projektet Nanomax. Tillsammans med sex andra europeiska partners (Fraunhoferinstitutet, ECN, Krakows universitet, Tekniska Högskolan i Lausanne, London Imperial College, Greatcell Solar/STI) har vi utvecklat nya processer, koncept och material för nanokristallina solceller. Projektet har varit ett mycket bra komplement till det i detta dokument rapporterade projektet.

Personal

Ett antal personer har varit inblandade i projektet. Henrik Pettersson har varit projektledare och även starkt engagerad i det laborativa arbetet. Dr Taduesz Gruszecki har agerat som problemlösare för diverse tekniska problem. Det löpande laborativa arbetet har periodvis utförts av praktikanter Lars-Henrik Johansson och Stefan Koller.

Fortsättning på verksamheten

Verksamheten kommer år 2005 att drivas vidare i det av Statens Energimyndighet finansierade projektet "Flexibla Grätzelceller" som utgår från projektresultaten och erfarenheterna från Ångström Solar Center (ÅSC) och IVF. Denna verksamhet eftersträvar att ta fram en kostnadseffektiv DSC teknologi för storskaliga energitillämpningar. En central målsättning är realiserande av en pilotlina för tillverkning av Grätzelceller på plastsubstrat före år 2008.

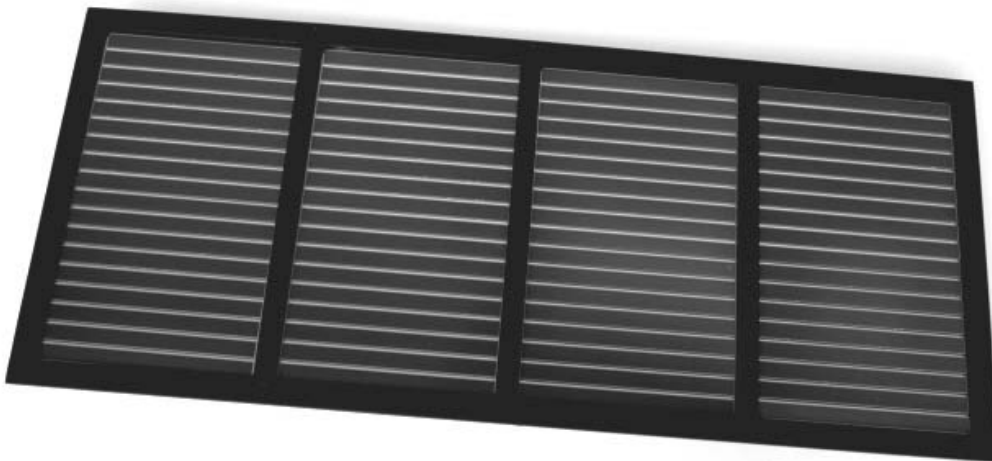
Referenser

- 1 H. Pettersson et al., "Upgrading long-term stable low-power monolithic dye PV module to high-power applications", ISES 2003 i Göteborg, juni 2003
- 2 Patentfamilj inlämnad i Europa och USA baserad på den svenska ansökan "Metod för tillverkning av förseglade monolitiska elektrokemiska system och förseglat elektrokemiskt system".

Rapportering av projektets återstående leveranser

Leverans 4 Demonstrator

Fyra stycken moduler har satts samman till en paneldemonstrator vars storlek är ca 40 x 80 cm² (Figur 1). På grund av felaktig leverans vid beställning av strukturering av det ledande skiktet på glasskivorna som modulerna byggs på, är utbytet på demonstratorn mycket lågt. Vi valde emellertid att bortse från detta problem eftersom det inte fanns tillräckligt med tid kvar i projektet för att beställa ny glasstrukturering. Då korrekta glas används kommer utbytet att vara i paritet med det som redovisas i Leverans 5.



Figur 1. Demonstratorpanel (ca 40 x 80 cm²) bestående av fyra moduler (10 x 20 cm²).

Leverans 5 Verkningsgradmätningar, omgång 3

Testceller

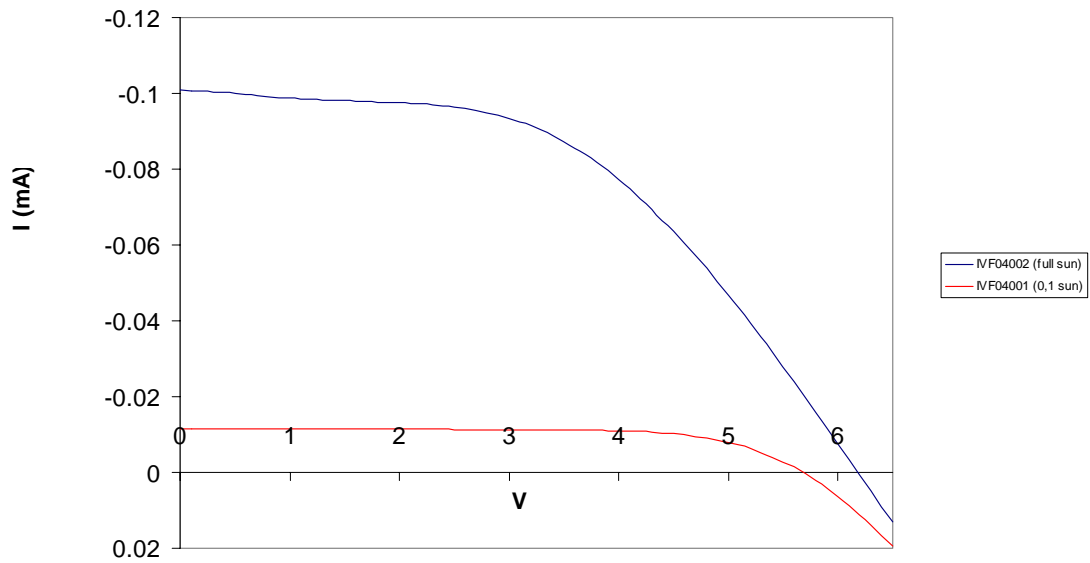
Vi har använt samma testcellsdesign som rapporterats tidigare i projektet (se Leverans 1 i statusrapporten från december 2003). Detta innebär att på en och samma glasplatta (80 cm^2) byggs 5 stycken separata celler (ca 3 cm^2).

Alla verkningsgradmätningar på testcells nivå har utförts vid Uppsala universitet. Inga betydande förbättringar har uppmätts under de avslutande sex projektmånaderna. De material och metoder som ger de högsta verkningsgradsnoteringarna har levererat upp till 6.9 % vid 100 W/m^2 . Vid höga ljusstyrkor (1000 W/m^2) är fortfarande utbytet något lägre (6 %) trots att det har förbättrats jämfört med projektets tidigare resultat. Skillnaden mellan verkningsgraden vid olika ljusintensiteter orsakas av någon eller några av följande förlustfaktorer:

- Motelektrod katalyserar otillräckligt
- Ohmiska energiförluster i glasets ledande skikt och i motelektroden
- Diffusionsbegränsningar hos elektrolyten

Moduler

Modulernas verkningsgrad kunde inte mätas i Uppsala eftersom lampan inte kunde homogent belysa en tillräckligt stor yta. Dessa mätningar har istället utförts vid energiforskningsinstitutet ECN i Holland. Då även deras utrustning var begränsad till celler med en storlek av $10 \times 10 \text{ cm}^2$ delades modulerna i två delar före mätning. Mätningarna har utförts med två lampor, en klass A solsimulator och en Steuernagel simulator, vilka båda har givit i princip identiska värden. Verkningsgraden för en typisk sådan modul uppmättes av ECN till 6.6 % (aktiv TiO_2 area) vid 100 W/m^2 , se Figur 2. Detta är ett mycket viktigt resultat eftersom det starkt indikerar att samma verkningsgrad kan uppnås på modulnivå som på de testceller vi arbetat med. Det bör dock poängteras att modulverkningsgraden vid höga ljusintensiteter var lägre (4.6 % vid 1000 W/m^2) än för testcellen. Detta kan förklaras med att de individuella seriekopplade cellerna var för breda vilket medförde ohmiska energiförluster.



Figur 2. *IV-karakteristik för modul med 8 seriekopplade celler. Kurvorna representerar mätning vid 100 W/m² (6.6 % verkningsgrad) samt vid 1000 W/m² (4.6 % verkningsgrad).*

Leverans 6 Stabilitetstester

Inledning

Utgångspunkten för detta projekt var att vi på IVF hade utvecklat långtidsstabila Grätzelceller avsedda för inomhusapplikationer. Cellerna prestanda var dock begränsad till inomhusförhållanden. Trots goda utbyten vid inomhusbelysning var verkningsgraden vid stark solbelysning mycket låg (<0.5 % verkningsgrad). Vidare degraderades cellerna då de utsattes för temperaturer överstigande 40°C. Det tog därefter lång tid att påvisa att intressanta verkningsgrader kunde uppnås vid stark belysning. Då detta hade uppnåtts inleddes arbetet med att kombinera dessa verkningsgrader med långtidsstabilitet.

Målet med de inledande stabilitetstesterna har varit att få en övergripande känsla för var stabilitetsproblemen ligger hos de monolitiska celler vi tillverkat. Stabilitetstesterna har utförts vid Uppsala universitet där celler har utsatts för kontinuerlig belysning under olika förhållanden samt långtidsförvaring vid höga temperaturer (50°C respektive 80°C). Innan de accelererade testerna påbörjades förvarades cellerna i mörker under sju månader. Ingen förändring av verkningsgraden kunde detekteras under denna tid.

Belysningstester

Belysningstesterna har tydligt visat att det finns ett fundamentalt problem i cellkemin hos det undersökta systemet. Utbytet har kontinuerligt sjunkit vid långtidsbelysning. Orsaken till detta finns med största säkerhet att finna i elektrolytblandningen och/eller kombinationen av förseglingsmaterial och elektrolyt. Detta kommer att utredas under 2005.

Värmetester

Värmetesterna har bekräftat att långtidsförvaring vid 80 °C kraftigt försämrar cellernas prestanda. Efter 1 månad hade utbytet försämrats med 50 %. Vid förvaring vid 50 °C under samma period var dock utbytet oförändrat. Problemet vid höga temperaturer är sannolikt förknippat med valet av förseglingsmaterial alternativt kombinationen av förseglingsmaterial och elektrolyt. Under 2005 kommer vi att;

- utreda vilken arbetstemperatur en monolitisk Grätzelcell uppnår vid utomhusanvändning
- utföra samma förvaringstester vid temperaturer mellan 50 och 80 °C
- genomföra samma tester med olika elektrolytblandningar samt förseglingsmaterial

Slutsatser stabilitetstester

Vi har under projektet fokuserat på att påvisa att intressanta verkningsgrader kan uppnås med den utvecklade tekniken. Detta har tagit mycket tid och skett på bekostnad av omfattande stabilitetstester. Som ett resultat av detta har höga verkningsgrader uppnåtts med ett system som inte är långtidsstabil vid belysning, sannolikt på grund av valet av elektrolyt. Det har inte funnits tid att utvärdera stabiliteten med alternativa elektrolytblandningar inom ramen för detta projekt. Detta kommer emellertid att få hög prioritet under 2005.

Leverans 7 Analys av förutsättningarna för en kommersiell framtid för Grätzelsolcellen

Introduktion

En kartläggning av förutsättningarna för kommersialisering av Grätzelsolcellen måste bearbetas från många infallsvinklar, såväl marknadsmässiga, tekniska som patentmässiga. En annan relevant fråga är hurvida en framtida kommersialisering kan ha en svensk förankring. Nedan presenteras vår bild av läget i skrivande stund.

Möjligheten för Grätzelsolcellen

Den globala solcellsproduktionen ökar årligen med ca 30 %. Användningen av solceller bedöms allmänt bli en allt viktigare del av den storskaliga elförsörjningen. Dagens konventionella solceller brukar kallas för den första generationen solceller och baseras på kisel. Tekniken har egentligen bara två brister - nämligen att de är för dyra och att de har för lång energiåterbetalningstid. Produktionskostnaden ligger idag på ca 3 \$/W_{peak}. På sikt behöver solceller tillverkas med en kostnad lägre än 1 \$/W_{peak}. Den så kallade CIS-tunnfilmstekniken utgör den andra generationen solceller och bedöms vara den teknik som först utmanar kiselbaserade celler. För en tredje generation solceller finns två huvudspår; högeffektiva solceller baserade på mycket avancerade halvledarmaterial och molekylära eller "kemiska" solceller. Existensberättigandet för molekylära solceller bygger på möjligheten att dels producera dem ännu billigare än andra generationens solceller, dels genom unika egenskaper för design och kundanpassning. Grätzelsolcellen är den ledande teknologin för de molekylära solcellerna inom den tredje solcellsgenerationen. Grätzelsolcellsteknikens möjlighet jämfört med konkurrerade tekniker är således att realisera PV-produkter till låg kostnad/W_{peak} i kombination med en låg investeringskostnad som möjliggör produktion hos mindre bolag. En mindre investeringskostnad minskar även risktagandet i samband med att initiera en produktion.

Patentsituationen för Grätzelsolcellen

Det som internationellt har accepterats som grundpatentet (publicerat under WO 9116719) för denna solcellsteknik innehas av Professor Grätzels arbetsgivare, den tekniska högskolan i Lausanne (EPFL). Med detta patent i botten har EPFL byggt upp en patentportfölj kring solcellstekniken som licensieras till kommersiella intressenter. Knappt 15 licenser har sålts genom åren, de flesta till europeiska företag men även japanska, amerikanska och australiensiska företag finns bland licenstagarna.

År 2008 kommer grundpatentet att löpa ut. Trots att EPFL har en rad andra patent inom tekniken så kommer deras ställning sannolikt att försvagas då grundpatentet

inte längre gäller. Detta ger externa aktörer en chans att lansera och exploatera sina idéer och immaterialrätter utan licens från EPFL.

Beträffande den monolitiska tekniken som har utvecklats i det rapporterade projektet, så innehar IVF en familj av patent och patentansökningar för den förseglingprocess som används. Denna ansökan är beräknad att accepteras i Europa och USA under år 2005. Denna förseglingsteknik har visat sig vara ett viktigt led i att tillverka monolitiska moduler. Det är dock viktigt att poängtera att även grundpatentet för den monolitiska tekniken innehas av EPFL och att detta inte löper ut förrän någon gång runt år 2015. För en kommersiell exploatering av projektresultaten i form av egentillverkning av moduler krävs sålunda i dagsläget en licens från EPFL.

Det bör även poängteras att det finns en enorm mängd patent och patentansökningar som baseras på Grätzelcellen. I dagsläget är det sannolikt ingen som har en god översikt. Det kan därför inte uteslutas att ytterligare licenser skulle krävas vid en kommersiell exploatering av de monolitiska modulerna.

Omvärldsanalys Grätzelcellen

Grätzelcellen är fortfarande ett växande FoU-område. Antalet aktörer som utvecklar tekniken har vuxit mycket snabbt de senaste åren. Drygt 30 företag sägs bedriva FoU i Japan, minst fem forskningsartiklar publiceras i veckan o s v. Detta inkluderar omfattande aktiviteter hos en rad stora företag, exempelvis Fuji, Toyota och Hitachi. I Europa har BASF initierat en stor satsning inom området. En rad andra storföretag bevakar passivt teknikutvecklingen.

De kommersiella försök som hittills har genomförts har inte varit speciellt framgångsrika. De inledande kommersialiseringsförsöken kom från små schweiziska företag såsom Greatcell Solar, Asulab och Glass Trösch. Ingen av dessa lyckades introducera solcellsprodukter på marknaden. I USA har det riskkapitalfinansierade bolaget Konarka erhållit stor uppmärksamhet för sina stora utspel inom området. De har emellertid ännu inte uppvisat några kommersiella produkter. Slutligen så skedde den första kommersiella tillverkningen av Grätzelcellmoduler i Australien hos företaget Sustainable Technologies Australia. Denna stoppades emellertid under 2003. Enligt våra uppgifter berodde detta på tekniska problem. Företaget är dock fortfarande aktivt inom FoU. De försöker dessutom etablera sig i Europa. Som ett led i detta har de förvärvat tidigare nämnda Greatcell Solar i Schweiz.

Beträffande den monolitiska tekniken som utvecklats i detta projekt så står vi oss mycket väl vid en internationell jämförelse. I själva verket så tillverkar vi just nu de bästa monolitiska testcellerna och modulerna i världen. Detta är mycket anmärkningsvärt eftersom det är allmänt vedertaget att den monolitiska tekniken har stora tillverkningstekniska och kostnadsrelaterade fördelar jämfört med den konventionella Grätzelcellen som byggs på två substrat. Det är även ett faktum att många företag utan framgång har försökt att utveckla den monolitiska tekniken. Vi tror att orsaken till att vi har lyckats helt enkelt är att ingen annan har lyckats utveckla en så bra motelektrod och processteknik.

Den monolitiska teknik vi har utvecklat kan utgöra stommen för en kommersialisering. Det krävs dock ytterligare FoU i form av omfattande stabilitetstestning samt modulutveckling. Vidare är det önskvärt att uppnå ytterligare kostnadsreduktion för att öka konkurrenskraften mot andra solcellstekniker.

Vägen mot svensk kommersialisering av Grätzelsolcellen

Sammantaget kan det konstateras att en lång rad internationella företag av varierande storlek försöker att kommersialisera Grätzelsolcellstekniken. Faktum är dock att enligt vår bedömning är tekniken ännu inte är tekniskt redo för kommersialisering, d v s verkningsgrad och stabilitet är ännu inte tillräckligt bra för ett tillräckligt lågt tillverkningspris. Vi förutser därför att flera av dessa aktörer kommer att ha svårt att överleva de närmaste åren. Detta öppnar vägen för FoU-organisationer som har hunnit ägna den erforderliga tiden och insatsen åt att ta fram nästa generations material och metoder. En annan möjlighet för kommersialisering är att på något sätt nischas som underleverantör för den förväntade nya industrisektorn kring Grätzelcellen, exempelvis genom tillverkning av produktionsutrustning eller en kritisk materialkomponent. En annan kommersialiseringsmöjlighet är att inrikta sig på licensiering av patent. Detta är dock en affärsmodell som sällan lyckas om den inte är ett komplement till egenproduktion.

Svenska aktörer var mycket snabba på att initiera utveckling av Grätzeltekniken och har en bra position ur ett internationellt FoU-perspektiv. Uppsala universitet var en av de första forskargrupperna som kunde reproducera Grätzels upptäckter. Detta har i förlängningen bidragit till etablerandet av Ångström Solar Center där Grätzelcellen har en viktig plats. IVF har deltagit i två stora EU-projekt. Det nuvarande projektet Nanomax inkluderar alla stora FoU-aktörer inom området förutom Uppsala universitet. Generellt kan sägas att det inom Sverige har pågått två oberoende men förbundna satsningar på Grätzelcellstekniken, d v s aktiviteterna kring Henrik Pettersson i Göteborg och aktiviteterna kring Anders Hagfeldt i Ångström Solar Center. Tillsammans utgör dessa en unik nationell kombination av materialkunnande och processkunnande för Grätzelsolceller. För att en svensk aktör skall delta i kommersialiseringen av Grätzelcellen krävs en fokuserad nationell satsning där dessa aktiviteter förenas. Detta kommer att genomföras i det av Statens Energimyndighet finansierade projektet "Flexibla Grätzelsolceller" som inleddes 2005-01-01 och som utgår från projektresultaten och erfarenheterna från ASC och IVF.

Grätzel-solcellsmoduler för utomhusapplikationer, fas 2

Inledning

Detta dokument sammanfattar aktiviteterna i projektet ”Grätzel-solcellsmoduler för utomhusapplikationer, fas 2” under perioden juni – december 2003.

Dokumentet inkluderar projektets första leverans. Projektet har fortlöpt enligt planerna och inga ändringar behöver för närvarande göras i projektplanen.

Fokus under den aktuella perioden har varit att förbättra solcellernas verkningsgrad från de 5.2 % som uppnåddes under projektets första fas. Den nya högsta verkningsgradsnoteringen är 6.2 %. Detta har uppnåtts genom systematisk och kontinuerlig förbättring av solcellens motelektrod. Ytterligare förbättringar kan uppnås genom förbättring av i synnerhet valet av glas, titandioxid, isolator och elektrolyt. Vi är för närvarande mycket förhoppningsfulla att under projektet kunna demonstrera de 7 % som diskuteras i projektplanen.

Samarbeten

Projektets ambitionsnivå är mycket högt i förhållande till dess storlek. För att utnyttja projektmedlen så effektivt som möjligt har vi etablerat samarbeten med följande organisationer:

- Uppsala universitet: karakterisering av cellerna. För närvarande diskuteras ett fördjupat samarbete beträffande stabilitetstester och analyser av nedbrytningsprocesser i cellerna.
- Fraunhoferinstitutet i Freiburg: utveckling av screen-tryckningspastor för det isolerande skiktet
- Tekniska högskolan i Lausanne (EPFL): utveckling av elektrolyter.

Vidare deltar IVF, parallellt med detta projekt, i EU-projektet Nanomax. Tillsammans med sex andra europeiska partners försöker vi finna nya koncept och material för nanokristallina solceller. Nanomax inkluderar inga aktiviteter på monolitiska celler. Projektet är ett mycket bra komplement till det i detta dokument beskrivna projektet.

Publikationer och patent

Våra resultat från fas 1 av projektet presenterades vid ISES 2003 konferensen i Göteborg i juni 2003. Ytterligare en publikation är under planeringsstadiet.

Inga patentansökningar har lämnats in under den aktuella perioden.

Personal

Ett antal personer har varit inblandade i projektet. Henrik Pettersson har varit projektledare och även starkt engagerad i det laborativa arbetet. Taduesz Gruszecki har agerat som problemlösare för diverse tekniska problem. Det löpande laborativa arbetet har utförts av praktikanterna Lars-Henrik Johansson och Stefan Koller.

Projektets fortsatta aktiviteter

Projektet följer dess plan. Vi avser att följa projektplanen och således fortsättningsvis arbeta med följande områden:

Moduler

Första steget blir att tillverka moduler av storleken 200 cm² (Leverans 2) Därefter kommer under projektets avslutande del sådana moduler att sättas samman till moduldemonstratorer (Leverans 4).

Fortsatt förbättring av verkningsgraden

Vi kommer fortsätta att fokusera på att höja verkningsgraden genom förbättringar av delkomponenterna (Leverans 3 och 5). I synnerhet kommer vi eftersträva att förbättra glaset, titandioxiden, elektrolyten samt isolatorn. För att ytterligare höja verkningsgraden vid högre ljusintensiteter kommer vi även fortsätta att utveckla motelektroden.

Stabilitetstester

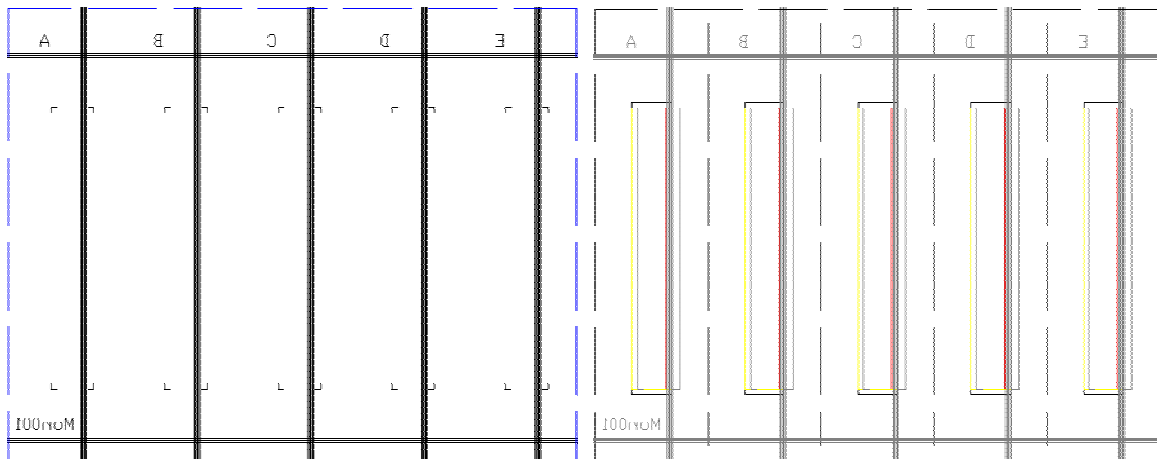
Tidigare erfarenheter har visat att långtidsstabiliteten hos Grätzelcellen är starkt förknippad med valet av elektrolyt. Vi avser därför att initiera långtidsstabilitetstester så snart som utvecklingen av elektroderna (titandioxid, isolator och kol) är avklarad. Detta innebär att stabiliteten hos celler tillverkade med olika elektrolyter kan utvärderas.

Rapportering av projektets leveranser t o m december 2003

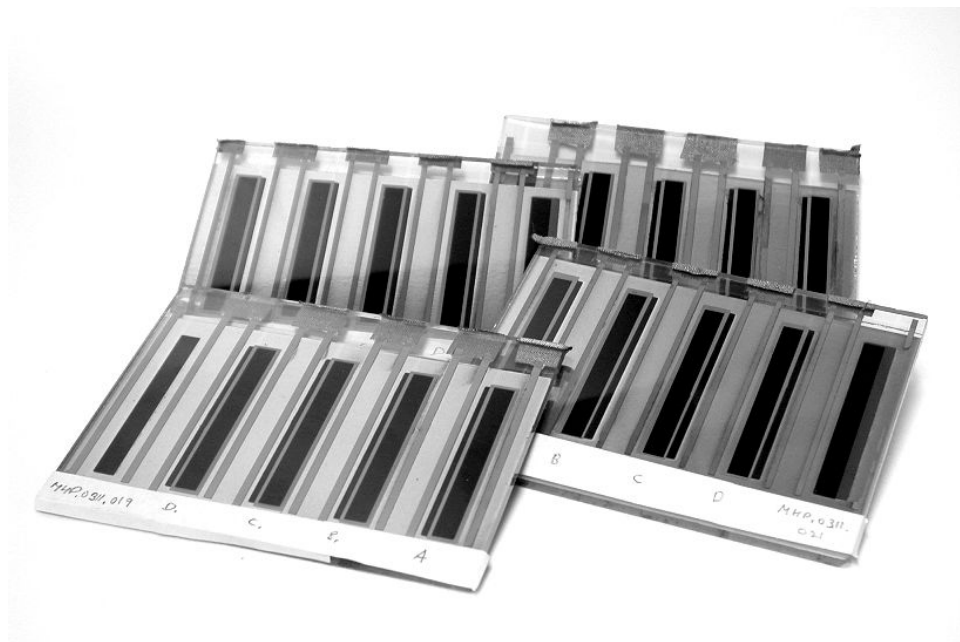
Leverans 1: Verkningsgradsmätningar, omgång 1

Design

En ny celldesign har tagits fram (Figur B1.1). På en och samma glasplatta (80 cm²) byggs 5 st separata celler (ca 3 cm²). Tillverkningstekniken är identisk med den som används för seriekopplade moduler. Det är mycket tidsbesparande att kunna genomföra jämförande tester på enkelceller istället för på moduler som gjordes under projektets första fas.



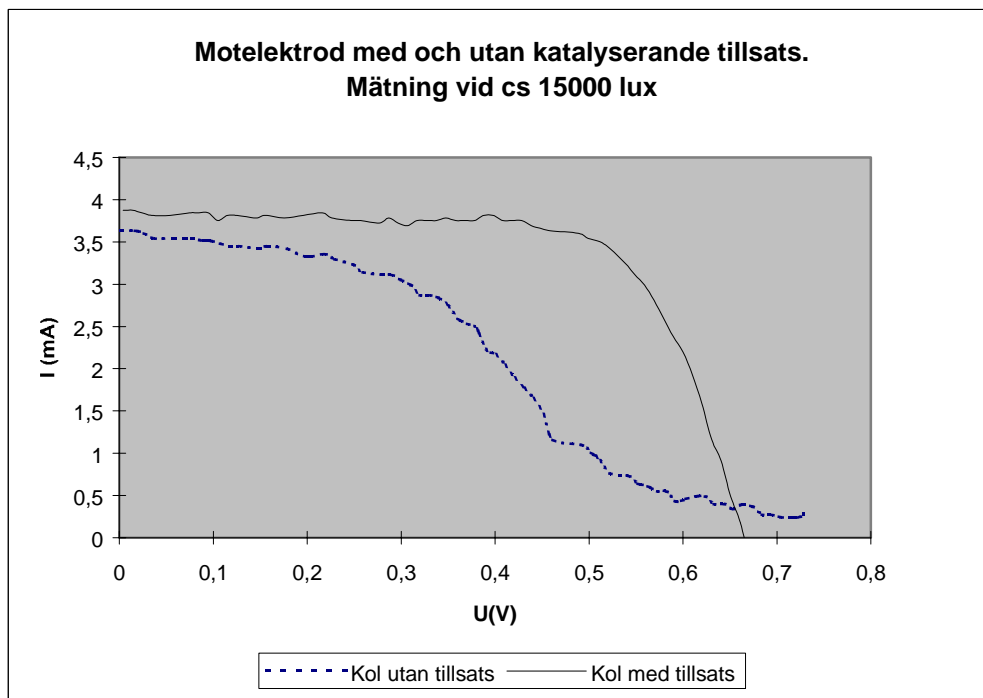
Figur B1.1. Design av struktur, till vänster endast strukturering och glaskant, till höger hela cellen.



Figur B1.2. Testplattor inkluderade fem separata celler.

Materialutveckling

Vi har fokuserat på fortsatt utveckling av motelektroden. Motelektroden i en monolitisk Grätzelsolcell skall leda ström bra och vara en god katalysator för elektrolytens redoxpar. Kolets ledningsförmåga har vi kunnat kontrollera bland annat genom att variera tjockleken på elektroden. Den begränsande faktorn har varit att motelektroden inte har katalyserat elektrolytens redoxpar tillräckligt bra. Förbättringarna har åstadkommit genom att tillsätta olika katalyserande material. Detta har kraftigt förbättrat solcellens utbyte (Figur B1.3).



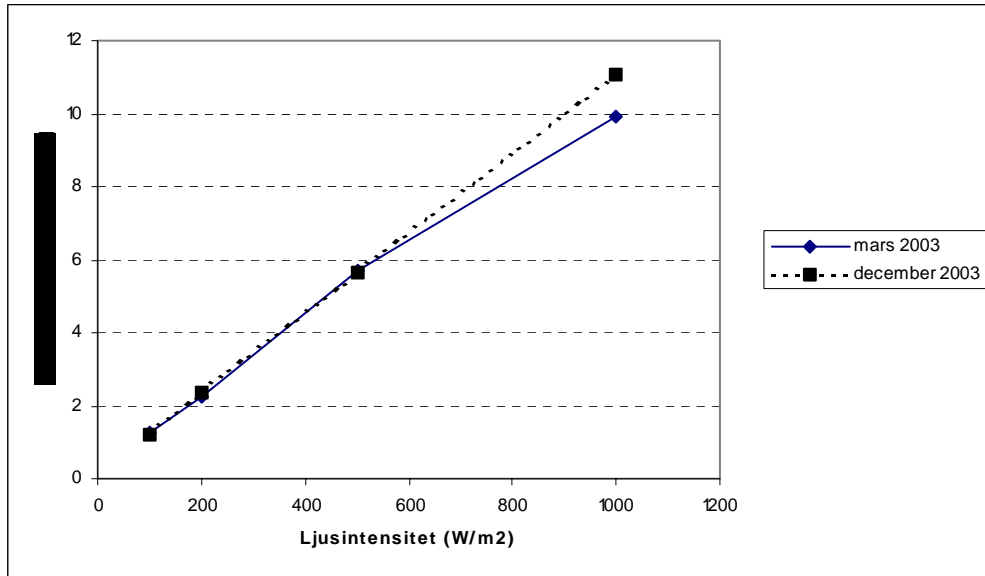
Figur B1.3. Effekten av katalyserande tillsats i motelektroden. Ström-spänningskarakteristik för solcell med motelektrod av kol samt samma motelektrod med katalyserande tillsats.

Resultat

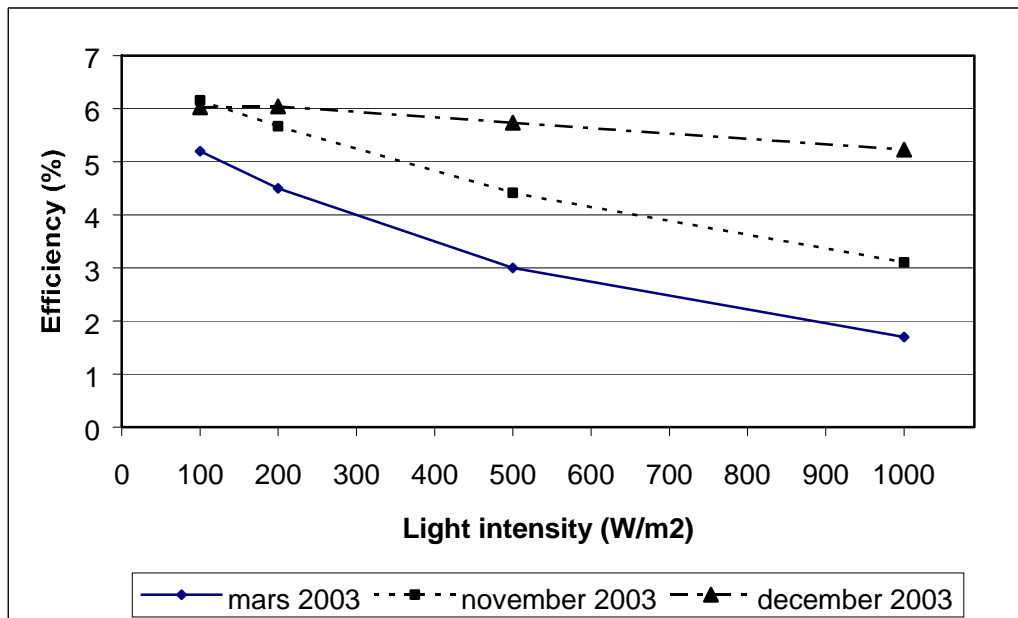
Alla verkningsgradsmätningar har utförts vid Uppsala universitet. Verkningsgraden har systematiskt förbättrats. Den bästa cellen har givit 6.2 % vid 100 W/m^2 vilket skall jämföras med de 5.2 % som var bästa resultatet under projektets första fas.

Vi har mätt våra celler vid fyra ljusintensiteter, 100 W/m^2 , 200 W/m^2 , 500 W/m^2 samt 1000 W/m^2 . En viktig parameter hos solcellen är strömlinjariteten, det vill säga kortslutningsströmmen som funktion av ljusintensiteten. För första gången har vi lyckats uppnå strömlinjaritet upp till 1000 W/m^2 (Figur B1.4). Detta har kraftigt underlättat arbetet med att förbättra verkningsgraden vid högre ljusintensiteter (Figur B1.5). Vi har fortfarande inte riktigt samma verkningsgrad vid 100 W/m^2 som vid 1000 W/m^2 men är på mycket god väg att uppnå detta (6 %

respektive 5 %). Den troligaste förklaringen är att motelektrodens katalytiska förmåga fortfarande inte är tillräckligt bra och/eller att laddningsöverföringen mellan motelektroden och elektrolytens redoxpar inte fungerar tillfredsställande. Detta utreds för närvarande. Vi är förhoppningsfulla att ytterligare kunna förbättra resultaten vid de högsta ljusintensiteterna.



Figur B1.4. Kortslutningsströmmen som funktion av ljusintensiteten.



Figur B1.5 Verkningsgraden som funktion av ljusintensiteten för bästa cellen från november 2003, bästa cellen från december 2003 och med den bästa cellen under projektets första fas (mars 2003).

Grätzel-solcellsmoduler för utomhusapplikationer, fas 2

Inledning

Detta dokument sammanfattar aktiviteterna i projektet *Grätzel-solcellsmoduler för utomhusapplikationer, fas 2*, under perioden januari – juni 2004. Dokumentet inkluderar projektets leveranser nummer 2 och 3. Projektet har fortöpt enligt planerna och inga ändringar behöver för närvarande göras i projektplanen.

Fokus under den aktuella perioden har varit att förbättra solcellernas verkningsgrad från de 6.2 % som uppnåddes i december 2003 samt att designa och tillverka moduler (200 cm²).

Den nya högsta verkningsgradsnoteringen är 6.7 %. Detta har främst uppnåtts genom förbättringar av solcellens elektroder. Ytterligare mindre förbättringar förväntas genom förbättring av färgämne, titandioxid och elektrolyt.

Modultillverkningen har skalats upp till 200 cm² och de första modulerna har tillverkats. Vi söker för närvarande en samarbetspartner som har den erforderliga utrustningen för att karakterisera moduler av denna storlek.

Samarbeten

Vi har fördjupat de tidigare rapporterade samarbetena med följande partners:

- Uppsala universitet: karakterisering av cellerna. Stabilitetstester kommer att inledas inom kort.
- Fraunhoferinstitutet i Freiburg: utveckling av screen-tryckningspastor för det isolerande skiktet
- Tekniska högskolan i Lausanne (EPFL): utveckling av elektrolyter.

Vi kommer även att inleda ett samarbete med ECN (Holland) för att utveckla screen-tryckningspastor för TiO₂-skiktet samt för rening av färgämnet.

Publikationer och patent

En ny publikation beträffande de senaste resultaten är under framtagande.

Inga patentansökningar har lämnats in under den aktuella perioden.

Personal

Ett antal personer har varit inblandade i projektet. Henrik Pettersson har varit projektledare men även starkt engagerad i det laborativa arbetet. Tadesz Gruszecki har agerat som problemlösare för diverse tekniska problem samt arbetat

med modultillverkning. Det löpande laborativa arbetet har till viss del även utförts av praktikanten Lars-Henrik Johansson.

Projektets fortsatta aktiviteter

Projektet följer dess plan. Vi avser att även i projektets avslutande del följa projektplanen och således fortsättningsvis arbeta med följande områden:

Demonstratorer 30 x 40 cm²

De moduler av storleken 200 cm² som har tagits fram under våren 2004 kommer att vidareutvecklas. Därefter kommer sådana moduler att sättas samman till moduldemonstratorer (Leverans 4).

Fortsatt förbättring av verkningsgraden

Vi kommer att fortsätta att fokusera på att höja verkningsgraden genom förbättringar av delkomponenterna (Leverans 5). I synnerhet kommer vi eftersträva att förbättra titandioxiden, elektrolyten samt färgämnet.

Stabilitetstester

Stabilitetstesterna kommer att utföras på testcellerna i samarbete med Uppsala universitet.

Analys av förutsättningarna för en kommersiell framtid för Grätzel-solcellen

Under projektets avslutande månader kommer vi att, utgående från de erfarenheter som projektet resulterat i, att analysera förutsättningarna för en kommersiell framtid för Grätzel-solcellen. I första hand kommer vi att utgå från de moduler som utvecklats, men även Grätzel-solcellens framtid ur ett bredare perspektiv kommer att diskuteras.

Rapportering av projektets leveranser t o m juni 2004

Leverans 2: Modul 200 cm²

En ny moduldesign har tagits fram (Bild B2.1) för tillverkning av moduler av storleken 200 cm². Varje modul inkluderar 18 seriekopplade celler. Totalt är 74 % av modulytan beklädd med titandioxid. Detta är något högre än de 70 % som användes för modulen på 100 cm² som tillverkades i projektets första fas. Tillverkningstekniken är identisk med den som används för testceller som används för verkningsgradsmätningar. Kraven på precision vid appliceringsprocesserna är dock mycket hårdare vid framställningen av en modul.

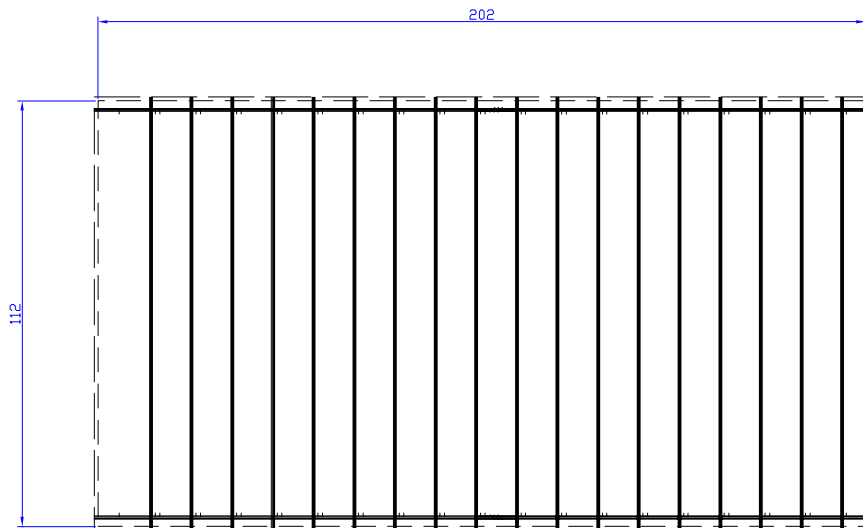


Bild B2.1 Design av glasstruktur för modulen

För att omvandla designen till moduler har en rad specialtillverkade verktyg tagits fram, exempelvis för tryck- och infärgningsprocesserna. Detta har möjliggjort en framgångsrik tillverkning av de första modulerna (Bild B2.2). För närvarande söker vi efter ett testlaboratorium som kan karakterisera verkningsgraden för modulerna. Tyvärr kan inte utrustningen vid Fysikalisk-kemiska institutionen i Uppsala användas eftersom den inte kan belysa så stora ytor homogent.

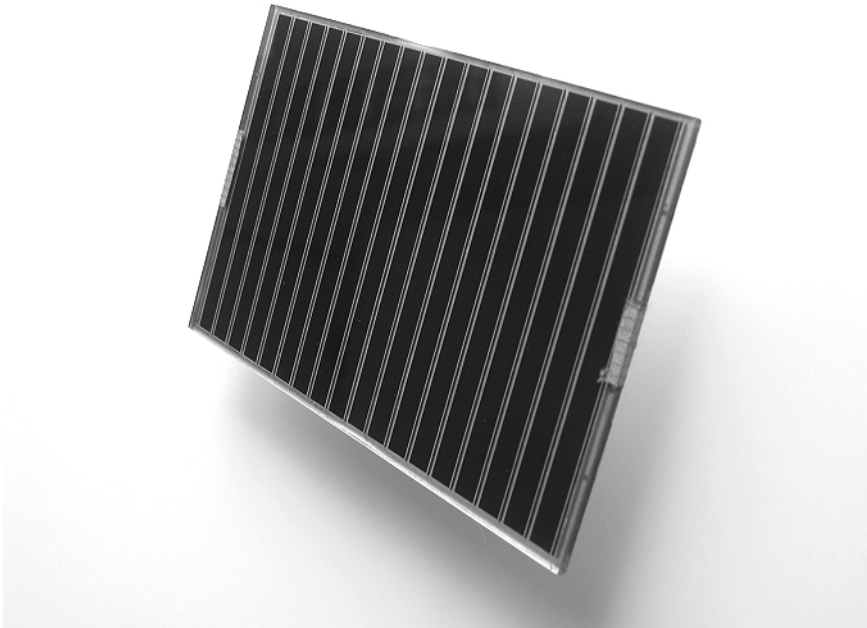


Bild B2.2 Inledande exemplar av modul av storleken 200 cm²

Leverans 3: Verkningsgradsmätningar, omgång 2

Design

Vi har använt samma celldesign som rapporterats tidigare i projektet (se Leverans 1 i statusrapporten från december 2003). Detta innebär att på en och samma glasplatta (80 cm²) byggs 5 st separata celler (ca 3 cm²).

Materialutveckling

Under den aktuella perioden har vi bytt ut det glassubstrat som solcellen byggs på. Det nya glaset har bättre transmission för synligt ljus jämfört med det vi tidigare använde. Detta resulterade i en ökning av kortslutningsströmmen. Utbytet har även förbättrats genom att göra tjockare titandioxidfilmer. Fortsatt kontinuerlig utveckling av solcellens motelektrod har resulterat i bättre utbyte vid höga ljusintensiteter.

Resultat

Alla verkningsgradsmätningar har utförts vid Uppsala universitet. Verkningsgraden har systematiskt förbättrats. Den bästa cellen har givit 6.7 % vid 100 W/m² vilket skall jämföras med de 6.2 % som var bästa resultatet under hösten 2003.

Kortslutningsströmmen är linjär vid ljusstyrkor från 100 W/m² till 1000 W/m². Trots detta avtar fortfarande verkningsgraden vid höga ljusintensiteter, dock inte i samma omfattning som tidigare (Bild B2.3). Orsakerna till detta analyseras i samarbete med Uppsala universitet. Förhoppningsvis kommer detta att resultera i ytterligare förbättrat utbyte vid högre ljusintensiteter.

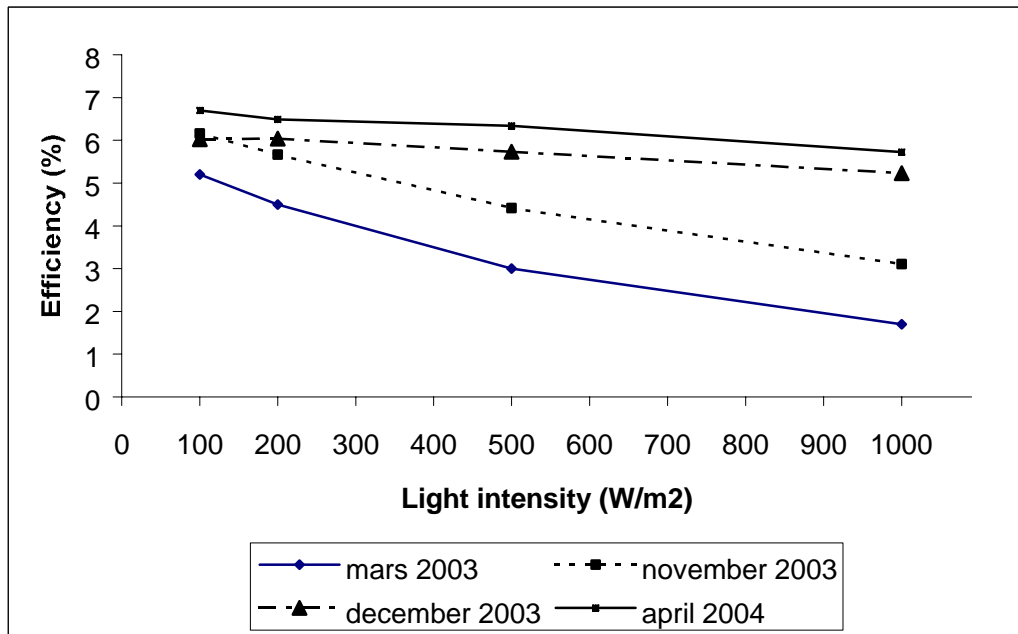


Bild B2.3 Verkningsgraden som funktion av ljusintensiteten för den bästa cellen från april 2004, den bästa cellen från december 2003, den bästa cellen från november 2003 och med den bästa cellen under projektets första fas (mars 2003)