



UPPSALA
UNIVERSITET

Ångström Solar Center

Årsrapport 2003




Energimyndigheten



KONTAKTPERSONER

Programdirektör

Lenart Malmqvist
tel: 0431-727 23 fax: 0431-752 19
e-post: lenart.malmqvist@mail.bip.net

Programsekreterare

Anders Hagfeldt
tel: 018-471 36 42 fax: 018-471 36 54
e-post: anders.hagfeldt@fki.uu.se

Tunfilmssolceller

Marika Edoff
tel: 018-471 72 49 fax: 018-55 50 95
e-post: marika.edoff@angstrom.uu.se
Uwe Zimmermann
Tel: 018-471 31 17 fax: 018-55 50 95
e-post: uwe.zimmermann@angstrom.uu.se

Nanokristallina solceller

Anders Hagfeldt
tel: 018-471 36 42 fax: 018-471 36 54
e-post: anders.hagfeldt@fki.uu.se
Garrit Boschloo
tel: 018-471 36 61 fax: 018-471 36 54
e-post: garrit.boschloo@fki.uu.se

Smarta fönster

Arne Roos
tel: 018-471 31 30 fax: 018-50 01 31
e-post: arne.roos@angstrom.uu.se
Gunnar Niklasson
tel: 018-471 31 01 fax: 018-50 01 31
e-post: gunnar.niklasson@angstrom.uu.se
Per Hedvall
tel: 021-13 92 29
e-post: perhedvall@msn.com

Programvärd: Uppsala universitet

Kontaktperson Uppsala universitet:
Sven Kullander
tel: 018-10 12 37, fax: 018-471 38 42

Årsrapporten 2003 sammanställdes
av Ångström Solar Centers
medarbetare i samarbete med
journalist Hans Halling.
Tryck: Halmstad Tryckeri,
april 2004. Upplaga: 500 ex.



Innehåll

Programdirektören har ordet 4

Forskning inom områdena

Tunntilmssolceller 6

Nanokristallina solceller 8

Smarta fönster 10

Röster om arbetsmetoderna 12

Programorganisation 2003 17

Industriell relevans 19

Tekniska arbetsplaner 21

Personal 2003 25

**Andra projekt, valda publiceringar
och avhandlingar 26**



Programdirektören har ordet

Året 2003 var det sjunde året i Ångström Solar Center programmet – ÅSC – ett år då vi börjar skönja vad programmet kan komma att leda till. År 2004 kommer att bli programmet sista verksamhetsår.

De två finansierarna av ÅSC programmet, MISTRA och Energimyndigheten, förväntar sig att bra forskning skall genomföras och att resultatet av denna skall lämnas över till en industriell partner för fortsatt kommersiell utveckling så att de resulterande produkterna kan påverka samhällsutvecklingen mot förnyelsebar energi och med solenergin i särskilt fokus.

Under 2003 har arbetet med att finna industriella partners blivit allt intensivare. Under den processen har det blivit allt mer uppenbart att programmet tre områden möter olika marknadssituationer och olika möjligheter att attrahera industriella partners och finansiella investerare. Detta skapar en situation som gör att den i programmet början gemensamma fokuseringen för forskningsinsatserna separeras i olika vägar och sätt att nå målet - en framgångsrik fortsättning mot ett nyttiggörande av resultaten i ett samhällsperspektiv.

Tunnfilmprogrammet för utveckling av nästa genera-

tion solceller har under 2003 varit framgångsrikt i att länka sina forskningsresultat vidare och har attraherat ett konsortium bestående av starka svenska industriföretag samt två venture capital företag, Sjätte AP-fonden och det norska Energy Future Invest. Ett särskilt bolag, Solibro AB, har finansierats för att genomföra en första fas av en Pilot anläggning i full produktions-skala. Ägare till Solibro AB är ABB, Vattenfall, Sydkraft, Sjätte AP fonden, EFI samt Uppsala Universitet Utvecklings AB, Teknikbrostiftelsen och grundarna. Energi-myndigheten har bidragit med ett mycket viktigt stöd. Målet är att skala upp den del av processen som utgör den tekniska kärnan till full kommersiell storlek. Detta steg är kostnadsberäknat till 32 millioner svenska kronor.

Forskningsområdet nanokristallina solceller har under 2003 dragit slutsatsen att denna visionära elektrokemiska teknologi behöver en fördjupad förståelse av de molekylära processerna i en sådan cell. Programområdet har successivt fokuserat sina resurser till dessa frågeställningar. Denna ansats och de resultat som kommit fram under året har rönt stor uppmärksamhet internationellt

och då särskilt från stora japanska och europeiska företag som aktivt arbetar med denna visionära teknik. Stort intresse för samverkan har uttryckts och samtal i denna riktning pågår för närvarande.

Forskningsområdet smarta fönster har under 2003 koncentrerat sina resurser mot problemställningar kring en nischprodukt. I ett andra steg avser man att vidga tillämpningarna av tekniken mot mer energirelaterade mål. Ett antal forskare har tillsammans med Uppsala universitet utvecklings AB och Teknikbrostiftelsen startat aktiviteter i företaget Chromogenics Sweden AB. Ett intensivt arbete för att söka en större industriell partner pågår.

Mycket framgångsrika forskningsresultat har också kommit fram under året. Ett anmärkningsvärt resultat från Tunnfilmgruppen är att man lyckats framställa en CIGS solcell utan det mycket tunna skikt av det miljöovänliga ämnet Cd som krävts för att uppnå goda prestanda för en CIGS cell. Att helt och hållet få bort ämnet Cd från denna typ av solcell har under många år varit ett mål för många forskargrupper. ÅSC gruppen lyckades med detta och har framställt en cell helt



utan Cd och med samma prestanda som de bästa "vanliga" innehållande mycket lite Cd.

Under 2003 har NSC gruppen gjort fundamentala bidrag till förståelsen av det komplicerade molekylära system som den elektrokemiska solcellen utgör.

Utöver detta har gruppen under 2003 använt betydande resurser för att finna nisch tillämpningar för inomhus-tillämpningar – en teknik NSC gruppen behärskar och utvecklat färdigt. En kartläggning av marknaden på europeisk nivå visar på en växande marknad för autonoma strömförsörjningssystem för strömsnål elektronik med tillämpningar för t.ex. förpackningar, leksaker och sensorer av olika slag. Väl fungerande prototyper för sådana ändamål har framställts tillsammans med användare. Tyvärr har man bedömt att marknaden för ögonblicket varit alltför splittad och att tidpunkten för en marknadsintroduktion därigenom varit alltför tidig.

Arbetet inom SWIN gruppen har koncentrerats mot att lösa produktionsrelaterade problem liksom mot några fundamentala problemställningar beträffande infärgningsmekanismen. Förbät-

ringar av den elektriska ledningsförmågan hos den transparanta ledaren och förbättringar av de elektriska anslutningarna, har resulterat i kortare omslagstider. Produktionsutbytet har också förbättrats genom utveckling av en förbehandling av jonledaren före lamineringen.

Lärdomen från arbetet med att försöka överföra akademiskt forskningsarbete till världen utanför akademien är att tidigt bygga upp ett paket med svar på alla de frågor som finansiella investerare ställer. Exempel på sådana frågor och trovärdighetskriterier är; - kontroll över immateriella rättigheter, att upphovsmännen är beredda att ta en personlig risk och att några är beredda att följa med projektet in i en osäker framtid. Därtill är en genomtänkt och omsorgsfullt utformad affärsplan som beskriver den möjliga marknaden och vägen dit – en absolut nödvändighet för att skapa tillräcklig trovärdighet utanför universitetet.

Lennart Malmqvist
Programdirektör
Ångström Solar Center
April 2004



Tunnfilmssolceller

Vårt arbete inom CIGS-gruppen syftar till att utveckla och utvärdera tillverkningsmetoder för att kunna producera tunnfilmssolceller med hög verkningsgrad och till låg kostnad. Det material vi har valt att utnyttja för att absorbera solljuset och omvandla det till elektrisk energi är Cu(In,Ga)Se₂, som vi kallar CIGS. CIGS har hög optisk absorptionsförmåga, vilket betyder att man kan använda mycket tunna skikt och ändå absorbera alla de viktigaste våglängderna i solljuset. Det räcker med 1 mikrometer. Den andra stora fördelen med materialet är dess stora tolerans mot variationer i sammansättning. Detta innebär att det under tillverkningen kan tillåtas vissa variationer i processparametrar utan att verkningsgraden på de färdiga modulerna påverkas, vilket ökar utbytet av bra moduler i tillverkningen. Ett stort utbyte är nödvändigt för att få kostnadseffektivitet för storskalig tillverkning av solcellsmoduler. Resultaten av CIGS-gruppens forskning har nått tillräcklig mognad för att attrahera stora svenska företag att satsa på tekniken. Resultatet av dessa satsningar är ett avknopningsföretag, Solibro AB, se notisen på sidan 20

Forskningsresultat

Vårt forskningsområde är uppdelat i två delar i enlighet med målen i ÅSC. Task 1, Production Technology, är den mer tillämpade forskningen som behandlar frågeställningar inom områdena processkontroll och långtidsstabilitet. Forskningsresultat från dessa områden är de viktigaste för att kunna överlämna forskningsresultat till en industriell partner, åtminstone på kort sikt. Task 2, Next Generation CIGS, blickar mot framtiden och forskar på förbättringar i processerna, som till exempel ökning av deponeringshastighet och minskad materialåtgång. Även miljörelaterade frågor hamnar inom Task 2.

Task 1A, Production technology – Cell Baseline Fabrication

I början av verksamheten inom forskningsprogrammet Ångström Solar Center var arbetet med baseline fokuserat mot att kontrollera de olika processerna för att göra solceller och att verifiera detta statistiskt. Detta arbete gick snabbt framåt och resulterade i en välfungerande processkedja med alla nödvändiga komponenter för att reproducerbart kunna tillverka solceller med hög verkningsgrad. Sedan

dess har baseline utvecklats vidare till att bli ett arbetsredskap för att testa reproducerbarheten hos nyutvecklade processteg. En ytterligare motivering till att arbeta med baseline är att hålla all utrustning i vårt laboratorium i gott skick. Det är en nödvändighet för att kunna göra bra och relevanta experiment.

Under 2003 har baseline utnyttjats för att testa CIGS-processen i Monsieur Pilote, vårt nyaste system för att göra CIGS-skikt. Dessutom har vår nya process för att göra helt Cd-fria solceller testats i baseline med gott resultat.

Task 1B, Production technology – Process Control

Med begreppet processkontroll, som det definieras i Task 1B, menas att kontrollera själva CIGS-processen. Denna forskningsdel innehåller grundläggande studier av CIGS-materialets egenskaper och hur dessa utnyttjas för processkontroll, men även studier av källorna som används för förångning av koppar, indium, gallium och selen.

Ett av de viktigaste resultaten inom detta område har varit att förbättra stabiliteten hos förångningskällorna i Monsieur Pilote och att utnyttja detta för att förbättra utbytet av bra material.



Under en av flera 8-9 timmar långa kontinuerliga körningar i Monsieur Pilote, har solceller med verkningsgrad över 14 % tillverkats av CIGS från olika tidpunkter under hela körningen. Ännu har vi inte kommit ända fram till slutmålet 95 % utbyte, men vi är på god väg!

Task 1C, Production technology – Solar Cell Modules
CIGS-solcellsmodulernas långtidsstabilitet är ett viktigt forskningsområde. För verklighetsnära och relevant klimattestning är det nödvändigt att tillverka kompletta solcellsmoduler, inte bara testceller. Fram till idag har vår utrustning för att tillverka moduler begränsat den maximala modulstorleken till 5x5 cm². För att kunna göra en ändamålsenlig inkapsling liknande den som finns på fullskaliga moduler behövs en kant på åtminstone 1 cm runt modulen. Detta är möjligt med vår nya modulstorlek, 12,5x12,5 cm², som blivit verklighet under 2003. CIGS-skikten för modulerna kommer från Monsieur Pilote och alla andra processer är också våra egna. Det ledande ZnO-skiktet är vår nuvarande flaskhals, tills den nya utrustningen som är speciellt ägnad åt ZnO levereras i maj 2004. Försök med

klimattestning av inkapslade 12,5x12,5 cm² moduler har inletts, både i klimatkammare och i vår testanläggning på taket.

Task 2A, Next generation CIGS – Low Cost Absorbers
Även om förutsättningarna för att tillverka CIGS-skikt till låg kostnad är goda med den nuvarande processen finns det utrymme för förbättringar. Forskningen som handlar om nästa generation CIGS-processer ägnas åt ändå snabbare deponeringstider och ännu tunnare CIGS-skikt. Den optiska absorptionen för CIGS är tillräcklig för tjocklekar ner mot 1 mikrometer, men vi försöker driva utvecklingen mot ändå tunnare skikt. Våra solceller som är 0,5 mikrometer tjocka uppvisar förluster i verkningsgrad som till allra största delen beror på minskad absorption. Ett sätt att komma runt problemet med absorptionsförluster för dessa extremt tunna skikt är att använda ett optiskt reflektorlager. I teorin kan detta öka absorptionslängden till det dubbla. Under 2003 har vi undersökt lämpliga material till optisk reflektor. Resultaten är lovande och har lett till en patentansökan.

forts. på sid 21

Viktiga resultat under 2003

Minimodule på Ångströms tak

En inkapslad minimodul i storleken 12,5x12,5 cm² har installerats i testanläggningen på Ångströmlaboratoriets tak. Denna modul är den första producerade i den kompletta mikropilotlinjen.

Optiskt reflektorlager

Ett reflektormaterial som testats med lovande resultat under 2003 är ZrN. En patentansökan har lämnats in.

Nytt cellrekord i Monsieur Pilote

De hittills bästa solcellerna med CIGS tillverkat i vårt effektiva system Monsieur Pilote har en verkningsgrad på 16,4 %. CIGS från Monsieur Pilote har en förångningstid på endast 15 minuter, vilket är en minskning med tre fjärdedelar jämfört med vår tidigare baseline på 60 minuter.

Kadmiumfria solceller

De goda resultaten från 2002 med Cd-fria solceller har upprepats under 2003. En patentansökan har lämnats in baserad på denna forskning.



Nanokristallina solceller

Under 2003 har vi fokuserat vårt tillämpade arbete mot utveckling av flexibla plastsolceller för olika typer av inomhustillämpningar. En marknadsintroduktion av NSC teknologin kommer med största sannolikhet att starta med sådana typer av nisch-tillämpningar. Vi har uppnått goda stabilitetsresultat där plastceller har utsatts för kontinuerlig inomhusbelysning under mer än 10 000 timmar utan att nämnvärt förlora effekt. Seriekopplade plastmoduler har kunnat driva enkla displayer för en leksaksprototyp under mer än 2000 timmars inomhusbelysning. Vi har tagit fram en ny prototyp för trådlös kommunikation som utvärderades av företaget TagMaster AB, Kista. Prototypen uppfyllde de geometriska och elektriska krav som ställdes av företaget.

Positiv marknadsstudie

Vårt utvecklingsarbete av flexibla NSC solceller för inomhustillämpningar är slutfört och ett av NSCs huvudmål inom ÅSC programmet – att ta fram två solcellsprototyper för inomhusbruk – är alltså uppfyllt. Genom en överraskande positiv marknadsstudie rörande kommersiella möjligheter inom Europa drog vi under året slut-

satsen att NSC teknologin är redo för en kommersiell utveckling av olika inomhusmarknader. En sådan aktivitet ska fokusera mot marknadsaspekter och är därför inte längre någon del av NSC projektet inom ÅSC. NSCs fokus flyttades därför under året från utvecklingen av den kontinuerliga tillverknings-tekniken till de fundamentala forskningsaspekterna där målet är att ta fram strategier för utveckling av nya material som ska leda till bättre verkningsgrad och stabilitet.

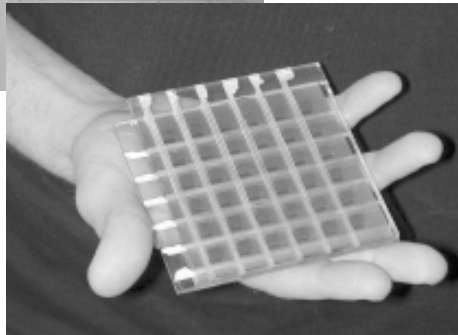
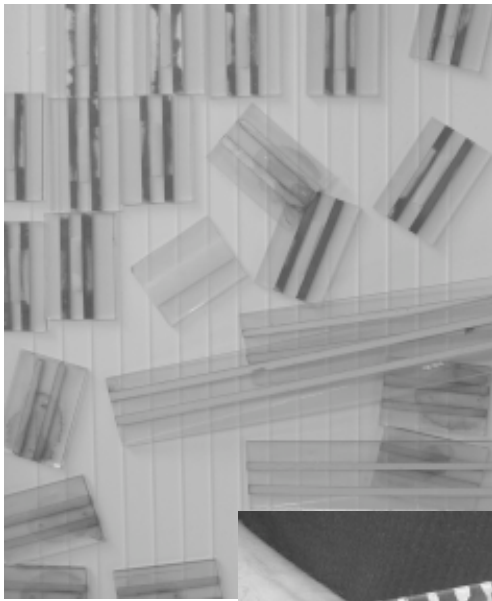
Under 2003 har vi identifierat de två interna huvudförlusterna i solcellen. Vi förlorar drygt en halv volt i elektronöverföringssteget mellan elektrolyt och färgämne och den största förlusten av laddningar fås då elektroner reagerar med elektrolyten då de transporteras genom den porösa TiO_2 filmen till kontakten.

Som ett exempel på vår materialutveckling kan nämnas de försök vi gör med att ersätta den vätskebaserade elektrolyten. Koppar-tiocyanat (CuSCN) uppfyller de flesta krav som finns för en fast oorganisk elektrolyt. Ett huvudproblem är dock att homogent fylla upp det nanoporösa oxidskiktet med

CuSCN . Vi har i samarbete med Fysiska Institutionen, Uppsala, och Hahn-Meitner Institut, Berlin, studerat växelverkan mellan färgämne och CuSCN . Vi har observerat att färgämnet starkt binder till CuSCN -ytan vilket också påverkar färgämnets absorptionsegenskaper av solljuset. Vi studerar nu hur detta kan påverka till exempel verkningsgraden i en komplett solcell.

Forskningsutmaning

Den stora forskningsutmaningen för oss är att identifiera hur hela systemet ska optimeras då den färgämnes-sensiterade nanostrukturerade solcellen är ett komplext system där de olika komponenterna växelverkar på ett intrikat sätt. Det är därför väsentligt att studera de olika interna elektronprocesserna i kompletta solceller. Detta ställer krav på användning av relevanta mätmetoder – en utveckling av tekniker vi har döpt till "Tool-box". Konceptet har under året breddats från att enbart inrikta sig mot att ta fram nya mättekniker mot att inkludera provberedning, 36 solceller kan nu beredas på ett substrat – 'masterplate', och insamling av data i en gemensam databas. Två nya mättekniker har



tagits fram, PhotoInduced Absorption spectroscopy (PIA) och mätning av spännings-transienter.

Datorsimuleringar

Riktigt kopplat till experiment kan datasimuleringar ge kraftfull information. Vi har simulerat betydelsen av den nanostrukturerade geometrin

genom att studera Brownsk dynamik hos laddningsbärarna i solcellssystemet. Med denna typ av simulering kan vi också i framtiden inkludera t ex elektrostatiska effekter och kinetik.

Det är nu mer än tio år sedan som den nanostrukturerade

forts. på sid 21



Viktiga resultat under 2003

Prototypspecifikationer

Uppfyllt ett av NSCs huvudmål – att ta fram två inomhusprototyper som uppfyller avnämarnas kravspecifikation.

Inomhustillämpningar

Forskningsarbetet rörande inomhustillämpningar är slutfört.

Nya mättekniker

Utvecklat två nya och unika mättekniker inom tool-box konceptet.

Nya modeller

Utvecklat nya simulerings- och laddnings- transportsmodeller.



Smarta fönster

Forskningen om smarta fönster går ut på att utveckla material för energieffektiva fönster. Forskningen har sin tyngdpunkt på en elektrokrom folie (EC-foil), med varierbar transmission av solstrålning och synligt ljus. Transmissionen påverkas genom att man applicerar en spänning på ca 1.5 volt mellan två genomskinliga elektroder. På så sätt kan t ex ett fönster tillverkas som kan blockera stark solstrålning för att undvika onödig uppvärmning och bländning under varma somrardagar, och som kan göras helt genomskinligt när solinstrålningen är lägre. Målet med forskningen är att utveckla och testa den elektrokroma folien så att sådana smarta fönster kan bli verklighet och medverka till byggande av uthålligt energieffektiva byggnader.

Energieffektivitet

Smarta fönster har sin förväntade huvudtillämpning i kontorsbyggander. Då denna teknologi är relativt ny har smarta fönster ännu inte fått något genomslag på marknaden. Energieffektiviteten kan därför bara uppskattas från ett fåtal fullskaliga installationer och från datoriserade byggnadssimuleringar. Inom organisationen "International Energy Agency" har man inom ett forskningsprojekt

studerat energiförbrukningen i en kontorsbyggand utrustad med smarta fönster, med intressanta resultat. Energiförbrukningen för komfortkyla kan således reduceras avsevärt genom att använda smarta fönster i stället för traditionella fönster. Dessutom visar simuleringsresultaten att effektbehovet kan reduceras, något som kan ha stor betydelse för att kapa topparna i energiförbrukningen i samhället. Det är t o m möjligt att smarta fönster kan bli ett alternativ till luftkonditionering i tempererade klimat och att dyrbara eldrivna anläggningar därmed kan undvikas. Idag står en ökad installation av luftkonditionering för en stor andel av den årliga ökningen av elförbrukningen i Europa. En undersökning av styrstrategin i en kontorsbyggnad i Rom gav det förväntade resultatet att personer som arbetar i ett kontor med smarta fönster själva vill kunna styra när fönstret skall vara mörkt eller ljust. Förutom lägre energiförbrukning ökar den personliga komforten med användande av smarta fönster genom att temperaturskillnader och problem med bländning reduceras.

Den elektrokroma folien – forskning och utveckling

Forskningen inom området smarta fönster har varit foku-

serad på utveckling av flexibla elektrokroma folier med dynamiska optiska egenskaper, som kan styras med en låg elektrisk spänning. Folien består av två polymera substrat, som båda är belagda med ett transparent elektriskt ledande skikt. Dessa är i sin tur belagda med elektrokroma filmer av wolframoxid och nickeloxid och har sedan laminrats ihop till en enda folie. Den grundläggande forskningen har strävat efter att förstå vilken inverkan oxidernas exakta sammansättning och kristallstruktur har på de optiska egenskaperna. Wolframoxid har framställts under varierade förhållanden för att studera inverkan av olika parametrar. Nickeloxidbaserade blandoxider har studerats med avseende på deras höga transmission av synligt ljus i det ljusa tillståndet. Bättre förståelse av olika mekanismer för jontransporten i materialen och hur jonerna ingår i oxidernas kristallstruktur förväntas leda till förbättrade optiska egenskaper, bättre dynamik och längre livslängd.

Omslaget mellan ljust och mörkt tillstånd uppnås genom att en låg spänning (1.5 volt) läggs över de två genomskinliga elektroderna. Processen påminner mycket om upp- och urladdning av



laddningsbara batterier. Omslagstiden begränsas av den maximala ström som kan flyta. En reduktion av det elektriska motståndet reducerar därför omslagstiden. Under året har olika elektriskt ledande oxider utvärderats och olika tekniker för att anbringa kontakter för ström och spänning har testats. Kantförseglingen är betydelsefull för livslängden och olika tekniker har testats. Resultaten kommer att utnyttjas vid planering av en framtida produktionsanläggning. Prototyper med en storlek på upp till 20 x 30 cm² har testats. De tillverkningstekniker som testats förväntas gå att skala upp till full fönsterstorlek.

Tillämpningar

Ett demonstrationsfönster har iordningställt tillsammans med en av Sveriges ledande fönstertillverkare, Elitfönster. Det drivs av några ficklampsbatterier monterade i karmen. Fönstret består av fyra glas i A4-storlek och kan lätt transporteras till konferenser och möten. För att på sikt kunna tillverka folien i fönsterstorlek anser vi det nödvändigt att först tillverka produkter av mindre storlek. Lyckligtvis finns ett antal lämpliga nischprodukter som kan tillverkas från folier av storlek 20 x 30 cm². En uppskalning av pro-

duktionen till denna storlek kan alltså med fördel utnyttjas för nischmarknader, och därmed ge värdefulla erfarenheter inför en ytterligare uppskalning. En av de mer lovande produkterna är ett visir för motorcykelhjälm. Ett antal sådana visir har tillverkats och testats under verkliga förhållanden av ett urval testförare. En styrenhet har tagits fram som låter föraren styra transmissionen genom visiret. Andra nisch tillämpningar är avbländningsbara backspeglar och mindre fönster inom transportsektorn. En Europeisk tillverkare av skidglasögon har visat stort intresse för vår elektrokroma folie.

Den elektrokroma folien blir till ett smart fönster först när en fungerande kontrollenhet styr fönstrets tillstånd. Det är viktigt att en sådan enhet fungerar så att den inte utsätter de aktiva skikten för en alltför hög spänning eller överladdning. Användaren måste kunna kommunicera med styrenheten t ex genom någon form av fjärrkontroll. Några olika system har testats under året och befunnits fungera. Exakt vilken strategi som är lämpligast beror på tillämpningen.



Viktiga resultat under 2003

Energieffektivitet

Resultaten indikerar att i ett moderat centraleuropeiskt klimat kan luftkonditioneringsanläggningar helt ersättas av smarta fönster.

Omslagstid

Ledningsförmågan hos den transparenta elektroden och kantkontakten har stor betydelse för omslagstiden. Förbättringar har lett till en minskning med 50%.

Elektrolyttillverkning

Särskild förbehandling har lett till förbättrade resultat och högre pålitlighet hos den laminerade folien.

Styrstrategi

En ny strategi för att applicera spänningen har lett till bättre livslängd.

Produktionsanläggning

De valda metoderna kan skalas upp till industriell skala. Detta arbete motsvarar ett första steg mot en framtida produktionsanläggning.



ÅSC forskar med industrirelevans

Fokuserat program i universitetsmiljön

Ångström Solar Center har som mål att skapa vetenskaplig grund för tillverkning av solenergirelaterade produkter som är konkurrenskraftiga på marknaden, så att övergången till ett miljömässigt uthålligt samhälle underlättas. Programmet finansieras av MISTRA och Energimyndigheten. År 2003 var det sjunde verksamhetsåret och 2004 blir det sista.

Forskningen är i hög grad av tillämpad natur, även om det också finns starka drag av grundforskning i programmet. Riktade forskningsinsatser av detta slag kan ibland vara kontroversiella inom akademierna. Några synpunkter på programmets arbetsformer tas upp i denna artikel som bygger på samtal med doktorander, seniora forskare, programansvariga samt styrelsens ordförande.

"Min avhandling var ganska grundforskningsinriktad. Som forskarstuderande kände jag av programmets mål att nå industriella produkter och viss stress för att uppnå resultat och täta rapporteringar om delmålen. Rapporteringen belastade inte mig personligen, men jag upplevde att stämningen var stressad. Det



Anna Karin Jonsson

som var mycket positivt för mig som doktorand var att få inblick även i andra forskargrupperns arbete. På så sätt sattes det egna arbetet in i ett större perspektiv", säger Anna Karin Jonsson, som 2002 disputerade med avhandlingen *Charge Transport in Transition Metal Oxide Thin Films and Electrochromic Devices*.

Året därpå disputerade Olle Lundberg med avhandlingen *Band Gap Profiling and High Speed Deposition of Cu(In,Ga)Se₂ for Thin Film Solar Cells*:

"Min avhandling var mer tillämpningsinriktad. Jag gav mig kanske inte så mycket tid till att gräva i 'varför-frågor' utan var fokuserad på resulta-

ten, vilket passar bra i det här programmet. Programmets stabilitet och tryggheten med finansiering under hela forskarutbildningstiden kändes bra. Ambitionen att samarbeta med de andra grupperna i programmet var bra, men jag tycker inte att det blev så mycket av det i praktiken".

Olle Lundberg är en av delägarna i ett företag som startats för att exploatera forskningsresultat från tunnfilmsgruppen. Nu arbetar han halva tiden på universitetet och halva tiden i företaget.

"Jag tror inte det blir något problem med gränsdragningarna mellan uppdragen. Arbetsuppgifterna är åtskilda



Olle Lundberg



och mycket väl definierade. Men själva processen när vissa medarbetare skulle vara med i företaget och andra inte, var bekymmersam. Det tror jag att de flesta upplevde. Alla i gruppen har ju bidragit på något sätt”.

Ovanliga mål

En annan av delägarna i företaget är Marika Edoff, som under 2003 successivt tagit över programansvaret för tunnfilmsgruppen sedan professor Lars Stolt, tidigare programansvarig och förgrundsfigur för tunnfilms-solcellerna, övergått till att i huvudsak ägna sig åt vidareutveckling av produktionstekniken i Solibro AB.

”Vi har akademiska mål som till exempel att hålla kurser för studenter, examinera forskarstuderande och publicera i vetenskapliga tidskrifter, men vi har också ett annat viktigt mål som är att få fram forskningsresultat som är kommersiellt realiserbara också på ganska kort sikt. Det är inte den akademiska världen särskilt van vid och det passar inte självklart in i universitetskulturen”, säger Marika Edoff

”Eftersom universitetsforskningen och spin-off-företagsverksamheten i vårt fall har så lika mål är det



Marika Edoff tog under 2003 över som projektledare för tunnfilmsdelen.

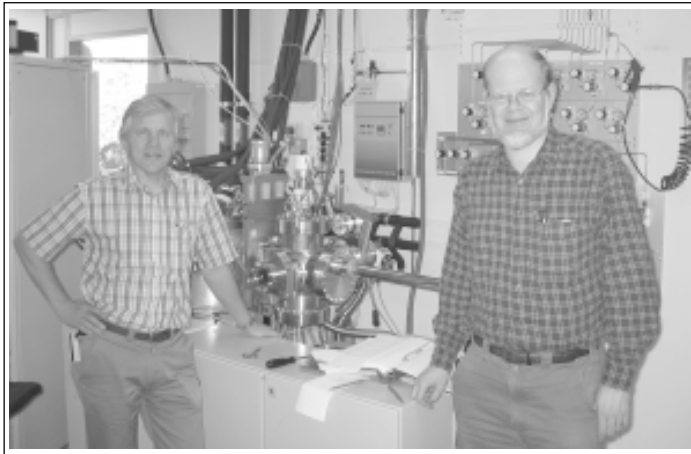
extra noga att dra tydlig skiljelinje mellan de två områdena. Vårt spin-off företag har därför särskilda avtal med universitetet”.

För övrigt tycker hon att det mest speciella med Ångström Solar Center att det är ett så stort program, och att forskarna känner ett ansvar för att det ska gå bra och att forskningen kommer till nytta.

”Det har varit ovanligt lätt att skapa en grupp eftersom vi arbetar mot gemensamma mål. Alla arbetar i tidsbegränsade projekt och med eget budgetansvar. Det har varit väldigt bra. Visst kan det vara jobbigt att ha krav på sig, men

det är ju också något positivt. Under årens lopp har vi prövat olika varianter på projektadministration. Vi fastnade för en modell som gör att våra möten blir väldigt effektiva. Uppdelningen i konkreta projekt gör att det snabbt märks om någon fastnat av en eller annan anledning. Då får man bita i det sura äpplet och rapportera nollresultat. Det har hänt”.

”En svårighet som vi tyvärr delar med många andra forskargrupper är att vi är väldigt beroende av externa forskningsmedel. I vårt fall är det så mycket som 80-90% av vår finansiering som kommer utifrån. De anställda i grup-



Arne Roos och Gunnar Niklasson i laboratoriet som används för att utveckla smarta fönster.

pen har därför ingen anställningstrygghet, utan får finna sig i att få sin anställning förlängd med ett år i taget. När Ångström Solar Center tar slut i år vet vi inte vad som händer. Just nu kämpar vi för en fortsättning på forskningen”, säger Marika Edoff.

Effektivt med delmål

”Att arbeta med tekniska tillämpningar är inget ovanligt för vår avdelning, inte heller de månatliga rapporteringarna. Däremot har det varit något nytt att dela upp arbetet i många småprojekt. Projekten är från 1-2 personmånader till 6-7 personmånader långa. Styrningen av verksamheten är effektivare med många delmål. Det ger

ett verktyg som både handledare och doktorander kan utnyttja, det blir lättare att fokusera. Vi tycker att det har fungerat bra för vår del”, säger Arne Roos som är programledare för forskningen om smarta fönster, SWIN.

Det har varit ett stort engagemang för att nå industriell användning av forskningen. Sex forskare är med i ett företag som har patent och know-how för industriell tillverkning. I en nära framtid räknar man med att vissa nischer blir kommersiellt intressanta. En stor fördel i sammanhanget är att kunna starta med relativt små produkter och dra lärdomar av den tillverkningen innan man skalar upp till

större fönsterprodukter.

”Vi har lagt stor vikt vid prototypkonstruktion under fas II av programmet. Viss publicering har fått vänta på patentansökan, men i stort sett har vi publicerat oss enligt normala vetenskapliga rutiner, men allt know-how publiceras ju inte. Exempelvis började vi titta på polyesterfolier 1999, men publicerade något om det först hösten 2003”, säger Gunnar Niklasson, professor vid Fasta tillståndets fysik, UU, och forskningsansvarig i SWIN.

Både Arne Roos och Gunnar Niklasson anser att det, i ett program som Ångström Solar Center, är viktigt att programstyrelsens och universitetets ansvar klarläggs ordentligt från början.

Spännande tillämpningsmöjligheter

Gruppen för nanokristallina solceller arbetar med mycket ung teknologi som kan få stor betydelse i ett längre perspektiv när de nanokristallina solcellernas verkningsgrad kan mäta sig med de konventionella solcellernas. Det finns ett begynnande industriellt intresse för de tillverkningsprocesser som utvecklas inom Ångström Solar Center, men marknaden för de tilltänkta produkterna är fragmenterad. Gruppen har låtit en konsult



göra en marknadsundersökning och tror att de nanokristallina solcellerna till att börja med kan finna sin marknad i inomhusprodukter där attraktiv design har stor betydelse.

”Det är väldigt spännande att arbeta med forskning som har en kommersiell inriktning, det har gett oss nya viktiga erfarenheter. Vi har en bra lagkänsla i gruppen, men har haft problem i samband med att patentfrågor dykt upp. Det ledde till att vi helt släppte patenttankarna”, berättar Anders Hagfeldt, som leder gruppen.

Han tror inte att doktoranderna påverkats särskilt mycket av programmets starkt tillämpade inriktning, eftersom grundforskning och tillämpad forskning har naturliga samband. Men det har inte varit självklart att använda doktorander i den här forskningen som syftar till att bygga en industri. Man har framför allt anställt forskningsingenjörer och post-docs.

”Det har varit mycket lärorikt att arbeta i det här programmet. Bland annat har vi lärt oss att man måste skriva realistiska avtal redan från början och tidigt tänka på patentfrågorna. Uppstarten av ett program är viktig, där



Anders Hagfeldt, projektledare för utvecklingen av nanokristallina solceller.

måste finansierarna lägga mycket krut”.

Anders Hagfeldt tycker att organisationen fungerat bra och inriktningen på projekt likaså. Det har gett bra kontroll över ekonomin och samtidigt skapat förståelse i styrelsen för verksamheten, som rapporterats månadsvis.

Programmets ordförande, Dag Sigurd, kommenterar att det är en stor fördel att ha haft alla att arbeta i väldefinierade projekt med tydliga delmål, milestones. Inte minst för de yngre medarbetarna, som t.ex. doktoranderna. Alla lär sig också vilka resurser ett projekt kräver,

och att använda den kunskapen till att, med bättre precision, planera nya projekt.

”Att programmet har tydligt uttalade mål betyder att forskarna måste angripa just de problem som leder mot målen, och överge andra frågeställningar. De metoder som används skall vara vetenskapliga och leda till vetenskapliga publikationer som doktorander och forskare skall kunna använda i meriteringssyfte”.

Inte friktionsfritt

Det här arbetssättet är inte friktionsfritt inom ett universitet med starka traditioner av



nyfikenhetsdriven forskning. Styrelsen för ÅSC har valt att leda programmet genom visioner och målstyrning, och lämnat stor frihet i genomförandet.

”Problem har uppstått när forskarna fått klart för sig att det kommer att vara svårt att nå målen och att man därför riskerat del av sin framtida finansiering. I stort sett har vi fått gehör för målen och efter en tid har i stort sett alla tyckt att de varit bra och stimulerande. Driver man en målstyrd verksamhet måste det finnas metoder för uppföljning. I början var det ett visst motstånd mot projektuppföljning.”

”Styrelsen har hanterat uppkomna problem på ett pragmatiskt sätt. ÅSC har haft en styrelse med en universitetsperson och fyra externa industriella representanter. Min uppfattning är att just den externa styrelsen har varit bra och kunnat agera med en vidare erfarenhetsbakgrund än en styrelse med mer universitetsinterna personer”, säger Dag Sigurd.

Vilken är den huvudsakliga lärdomen för framtida liknande program?

”Att göra klart alla avtal innan man betalar ut några pengar, vilket är en allmän erfarenhet och inte specifikt för denna typ av program.”

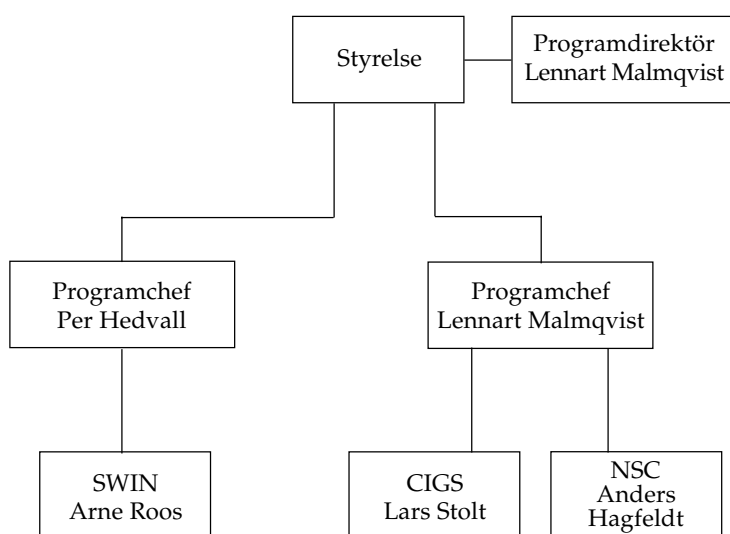
Hans Halling

Programorganisation 2003

I slutet av 2000 beslutade MISTRA och Energimyndigheten att fortsätta finansieringen av ÅSC i en andra fas, ÅSC II. ÅSC II bygger på samma projekt som i första fasen och pågår i fyra år.

Organisation

Ångström Solar Center var organiserat på följande sätt under 2003:



Styrelsen för Ångström Solar Center II

Styrelsen hade under 2003 följande sammansättning:

ordförande

Dag Sigurd

Industrifonden

ledamöter

Lennart Apleberger

Luleå tekniska universitet

Lars Gertmar

ABB Corporate Research

Tommy Cervin

f.d. Sydkraft AB

Sven Kullander

Uppsala universitet

adjungerade

Britt-Marie Bertilsson

MISTRA

Irene Kolare

Uppsala universitet

Maria Malmqvist

Statens energimyndighet

Lennart Malmqvist

Programdirektör ÅSC II

Per Hedvall

Programchef, SWIN

Information

Ångström Solar Center vänder sig utåt med information i många former för att förankra forskningen i samhället bland företag och industriella aktörer samt universitets- och forskningsvärlden.

Under 2003 har vi:

- Producerat 3 doktorer och 1 licentiat.
- Publicerat 26 vetenskapliga artiklar
- Presenterat ett 20-tal konferensbidrag (posters, rapporter och föreläsningar) och ett 20-tal föreläsningar i samband med utställningar och kurser samt för skolor och företag.
- Deltagit i 6 EU-projekt.
- Samarbetat med ett 20-tal forskargrupper vid andra universitet och företag.

Patent

Avtalet med Forskarpatent i Uppsala AB har under perioden 1996-2004 lett till 26 uppfinnaranmälningar, varav hittills 4 har resulterat i patent och 9 i patentansökningar.

Programmets rambudget

Programmets rambudget för hela verksamhetsperioden till och med år 2004 är 80 Mkr. Av detta belopp har 20 028 kkr förbrukats under 2003.

I rambudgeten har styrelsen fastslagit planeringsramar för vart och ett av programmets projektområden.

Budget för perioden 01-01-01 till 04-12-31 (kSEK)

Nettobidrag från MISTRA/Energimyndigheten		80 000
Universitetsoverhead, inklusive hyra	17 325	
Styrelse	100	
Programadministration	3 500	
Projektområde Tunnfilmssolceller	25 000	
Projektområde Nanokristallina solceller	15 000	
Projektområde Smarta fönster	10 000	
Reserverat för patentutredningar och -ansökningar	600	
Information	900	
Högskolemoms	3 200	
Till förfogande	4 375	
Totalt	80 000	80 000

Upparbetning av medel under perioden 03-01-01 till 03-12-31

Programadministration	1 699
Programgemensam information	465
Tunnfilmssolceller	5 411
Nanokristallina solceller	3 034
Smarta fönster	3 037
Ind. ref.gruppen	109
Patentkostnader	318
Program Invest	391
Högskolemoms	1 024
Overhead	4 540
Totalt använt under perioden	20 028



Industriell relevans i ett ÅSC perspektiv

Ångström Solar Center programmet genomförs i två faser. Under den 4 år långa första fasen anlades en bred syn på var de vetenskapliga möjligheterna fanns och var vägen framåt mot tillämpning kunde finnas för förnyelsebar energi och därtill hörande tillämpningar för teknik baserad på solenergi. I den 4 år långa fas II av programmet valdes de mest lovande spåren ut från vart och ett av de tre programområdena för en mer fokuserad ansträngning att nå de uppsatta målen.

Målet är formulerat på följande sätt. Forskningsresultaten skall vara så attraktiva för en stark kommersiell partner att resultaten kan överlätas till denne för fortsatt produktutvecklingsarbete och kommersialisering. Forsknings och utvecklingsresultaten från programmet kan därigenom göras tillgängligt för marknaden och allmänheten så att en påverkan på samhället och miljön uppnås.

Tunnfilmstekniken CIGS och Smarta fönster tekniken representerar båda en cirka 20 år gammal upptäckt och är därigenom jämförelsevis mogna forskningsområden. Tekniken för nanostrukturerade solceller är cirka 10 år gammal och representerar därigenom en yngre upptäckt. Målet för CIGS och Smarta

fönster teknologierna är att finna en stark industriell partner beredd att utveckla produkter, marknadsföra dessa och därigenom ge tekniken en plats i den kommersiella verkligheten. Gruppen som arbetar med de nanostrukturerade solcellerna har som mål att finna en stark industriell part-

ner tillsammans med vilken man kan utveckla tekniken vidare mot också ett industriellt förverkligande.

Innan uppstarten av programmet fas II definierade programmet styrelse en prioriteringsordning för olika sätt att nå målen. Denna prioriteringslista definierades på följande sätt:

Prioritet	Mottagare	Föredragen ägare
1.	Befintligt företag i Sverige	Svenskt globalt verkande tillverkningsföretag
2.	Start-up företag i Sverige	Svenskt konsortium
3.	Start-up företag i Sverige	Utländskt globalt verkande tillverkningsföretag
4.	Utländskt företag	

Den grundläggande tanken är att mottagaren av forskningsresultaten skall ha viljan, den finansiella styrkan, kunskan- det att utveckla forskningsresultaten till produkter och se till att dessa når marknaden.

Om man betraktar programmet situation sett i perspektiv av de år 2000 uppsatta målen så utvecklas Tunnfilmsområdet inom programmet kommersiellt vidare av ett svenskt konsortium bestående av starka aktörer, genom företaget Solibro AB. Smarta fönsterområdet inom programmet

har nått den 3dje prioriteringen och skapat ett start-up företag Chromogenics Sweden AB, men är fortfarande i sökfasen efter nödvändigt kapital och en industriellt stark partner. Området nanostrukturerade solceller har genom sin fokusering på forskningsfördjupning blivit en attraktiv partner för de största japanska och europeiska företagen som arbetar med denna teknik. Samtal om samverkan pågår.

Kommersiella partners presenteras på nästa sida.



Solibro AB

Bildades 2000.

Målsättning: Att kommersialisera den teknik för billiga effektiva solceller baserade på CIGS, som utvecklats inom Ångström Solar Center.

Ägare och investerare: Tre stora svenska företag, ABB, Vattenfall och Sydkraft, och två finansiella investerare, Sjätte AP-fonden och Energy Future Invest AS, investerar 16,5 Mkr i företaget. Uppsala Universitet Holding AB och Teknikbrostiftelsen i Uppsala har bidragit under uppstartsperioden och är också delägare i företaget tillsammans med fyra forskare inom Ångström Solar Center.

Utvecklingsplan: Solibro AB startade sin verksamhet i september 2003 sedan alla överenskommelser undertecknats. I den första fasen är uppgiften att skala upp tillverkningsprocessen för CIGS-skikt till större areor (60 cm x 120 cm) och samtidigt uppfylla kraven på hög verkningsgrad. Teknikutvecklingen inom Ångström Solar Center stöds av Energimyndigheten med ca 15 Mkr. Fasen bedöms kunna avslutas till början av 2006.

I en andra fas skall Solibro AB uppföra en tillverkningsanläggning och starta produktion av kommersiella solcellsmoduler. Detta kommer att ställa krav på ytterligare finansiering.

Chromogenics Sweden AB

Bildades 2002.

Målsättning: Att vara världsledande tillverkare av flexibla elektrokroma folier med styrbar transmittans

Affärsidé: Att tillsammans med kunder utveckla, tillverka produkter baserade på elektrokroma folier

Ägare: UUAB, Teknikbrostiftelsen, forskare inom SWIN

Satsar på nischprodukter med mindre area som t ex motorcykelvisir, sportglasögon och backspeglar.

Avser att tillverka elektrokroma fönster för energibesparing i byggnader. Den flexibla folien möjliggör satsning på en eftermarknad i befintligt byggnadsbestånd och inte bara nyproduktion.

Kontakter med underleverantörer och samarbetspartners för produktion av själva folien

Kontakter med kunder som kan använda folien i sina produkter

Vissa nyckelprocesser skyddade av patent

Har levererat testprover till kunder för ett fakturerat belopp på nära 1 Mkr.



forts från sid 7

Task 2B: Next generation CIGS – Cd Free

Kadmium är ett miljöfarligt ämne som bör undvikas i mesta möjliga mån. I vår baselineprocess ingår idag en ytbehandlingsprocess som innehåller Cd. I de färdiga solcellerna finns ett tunt Cd-innehållande skikt (CdS) som är resultatet av denna ytbehandling. Tjockleken på detta skikt är cirka 0,04 mikrometer, eller mindre än 1 % av tjockleken på alla de aktiva lagren i solcellen, vilket motsvarar mindre än 20 ppm av en färdig in-kapslad modul. Detta är så lågt Cd-innehåll att man kan klassificera en skrotad modul som vanligt ofarligt avfall, men vi vill ändå undvika Cd helt. Ett mycket lovande alternativ till CdS är Zn(O,S) tillverkad med en metod som heter Atomic Layer Deposition (ALD). Resultaten från vår forskning 2003 visar att vi kan uppnå lika höga verkningsgrader med denna metod som med vår konventionella CdS-process. Även för Zn(O,S)-processen har vi lämnat in en patentansökan. Under 2004, som är det sista året av det nuvarande ÅSC-programmet, kommer vi att ägna huvuddelen av forskningen i Task 2B åt hur denna process kan bli möjlig att använda för massproduktion av solcellsmoduler.

forts från sid 9

solcellen upptäcktes av professor Grätzel och hans medarbetare. Fortfarande är flera av de fundamentala frågorna kring hur solcellen fungerar oklara och intensivt debatterade. Ett sådant exempel gäller hur laddningarna transporteras och vad som driver dem i systemet. Det mest etablerade konceptet utgår från en makroskopisk diffusionsprocess där elektronerna rör sig genom olika sk 'trap-tillstånd'. Mängden

av dessa fällor och deras egentliga roll i transportprocessen är dock oklar och vi har under året ifrågasatt deras betydelse genom att anta att flaskhalsen för elektrontransporten sitter i en energi-barriär mellan de olika TiO₂ partiklarna som bygger upp det nanoporösa nätverket. Denna 'barriär-modell' kommer också att ha betydelse för de olika elektriska egenskaperna i solcellen, något som vi nu utvärderar och försöker verifiera experimentellt.

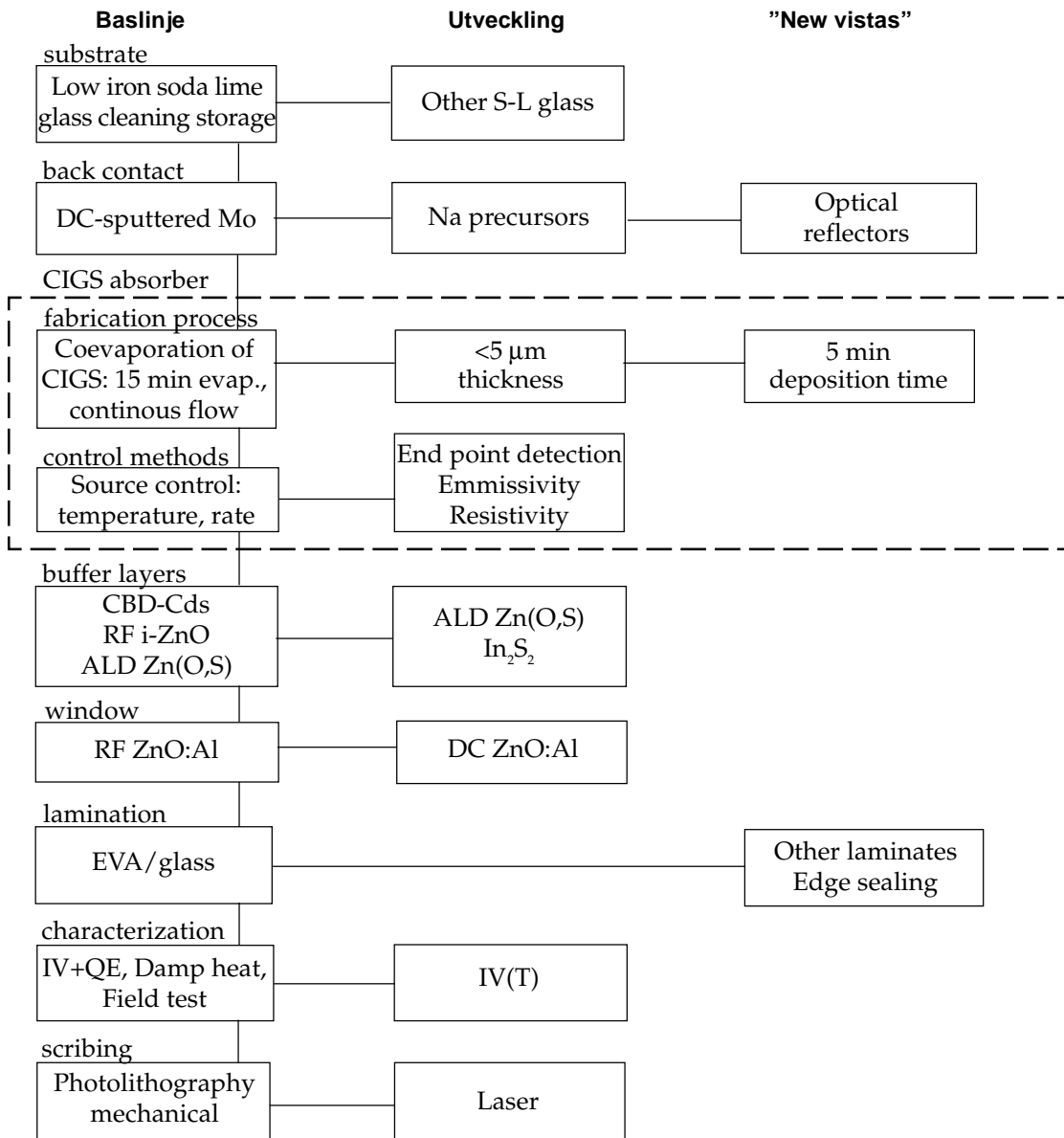
Tekniska arbetsplaner

Forskargrupperna använder en gemensam struktur för sina arbetsplaner, ett vertikalt perspektiv på processer och frågeställningar i förhållande till deras industriella mogenhet. Baslinjen representerar en tänkt produktionsenhet där de olika processtegen är

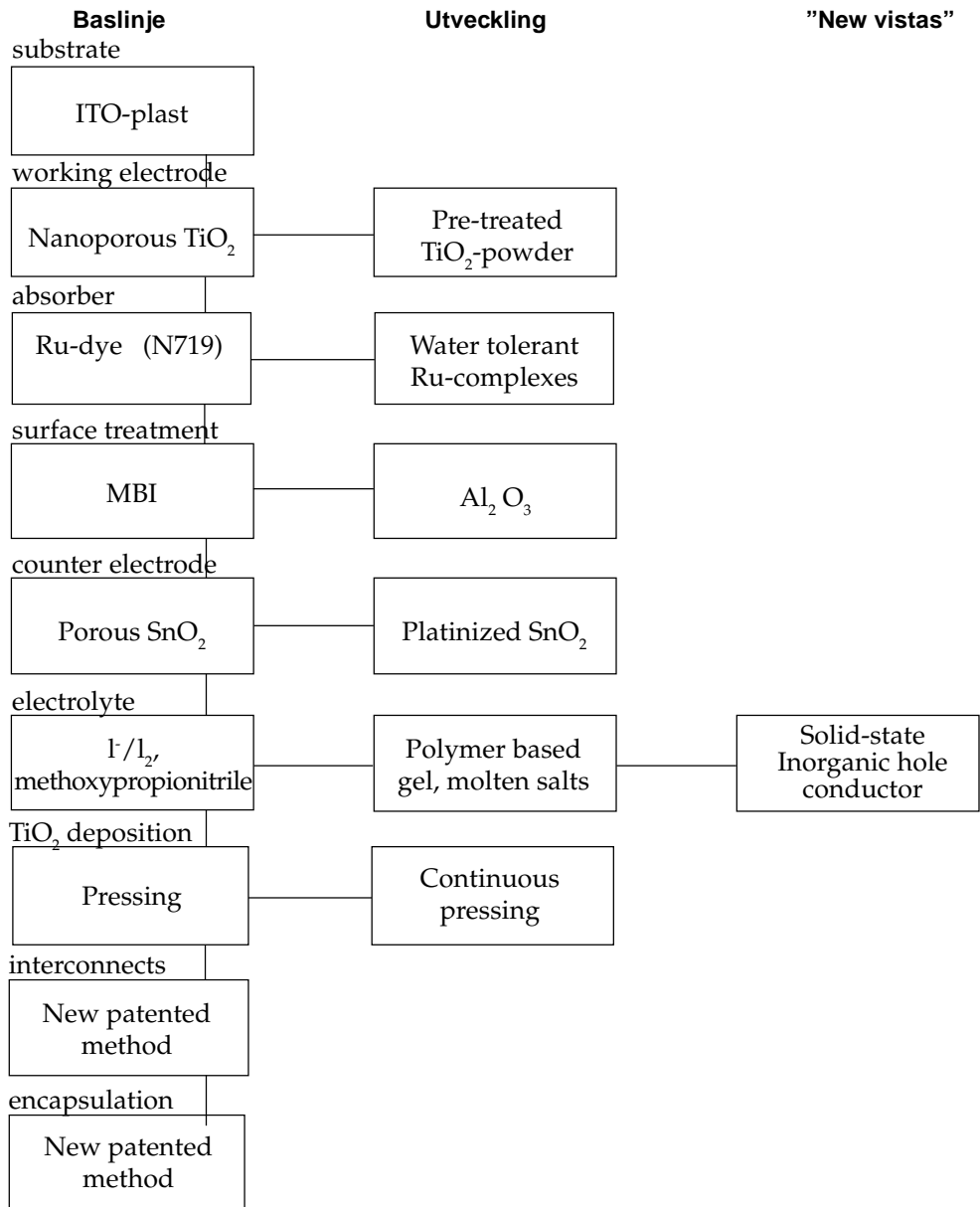
valda så att de har största möjliga säkerhet och uppskalbarhet. Utvecklingsnivån har alternativa processteg, som när de demonstrerats vara bättre än motsvarande baslinjesteg implementeras i baslinjen. New vistas, nya idéer, är mer spekulativa projekt.



TUNNFILMSSOLCELLER

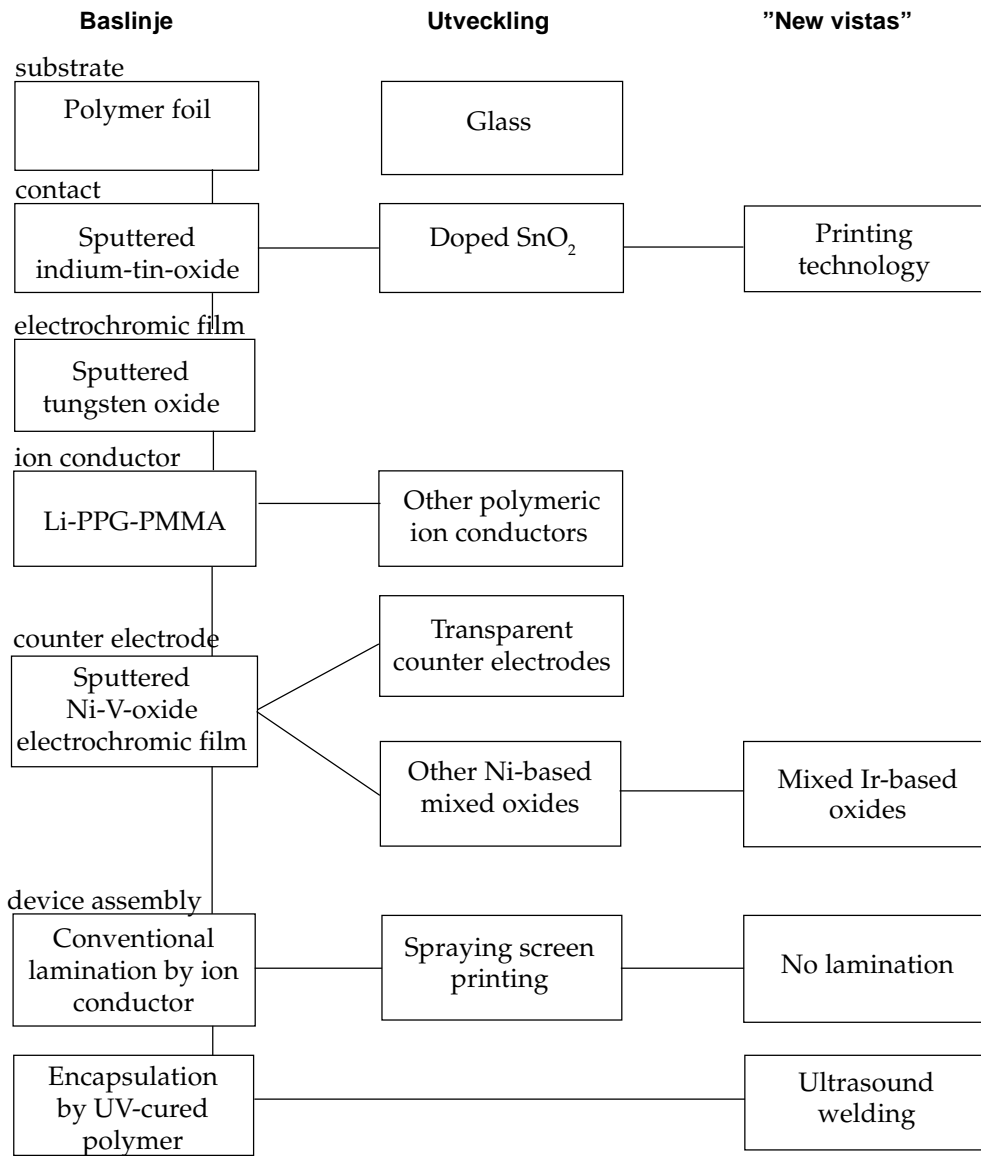


NANOKRISTALLINA SOLCELLER





SMARTA FÖNSTER



Personal 2003

Personal i Ångström Solar Center under 2003. Personer markerade med * är verk-samma inom forsknings-området, men finansieras av andra källor.

Programledning

**Programdirektör,
Solceller:**
Lennart Malmqvist

Anders Hagfeldt
Marika Edoff
Uwe Zimmerman
Gerrit Boschloo

**Programdirektör,
Smarta fönster:**
Per Hedvall

Arne Roos
Gunnar Niklasson

Tunnsfilmssolceller

Professor

Lars Stolt

Forskare

Marika Edoff (projekt-
ledare)

John Kessler

Johan Wennerberg

Uwe Zimmermann

Doktorander

Olle Lundberg

Ulf Malm

Jonas Malmström

Charlotte Platzer-Björkman

Jens Schöldström

Jan Sterner

Forskningsingenjörer

Björn Kuzavas

Peter Neretnieks

Einar Söderman

Marta Ruth

Sara Woldegiorgis

Nanokristallina solceller

Professor

Sten-Eric Lindquist *

Universitetslektorer

Anders Hagfeldt

Emad Mukhtar

Forskare

Viviane Aranyos

Gerrit Boschloo

Egbert Figgemeier

Henrik Lindström

Doktorander

Kristofer Fredin *

Helena Greijer-Agrell

Jarl Nissfolk *

Forskningsingenjörer

Anna Holmberg

Eva Magnusson

Erik Petersson

Göran Svensk

Smarta fönster

Professorer

Gunnar Niklasson

Arne Roos

Forskare

Maurizio Furlani

Greger Gustavsson

Anna Karin Jonsson *

Richard Karmhag

Doktorander

Jonas Backholm *

Esteban Avendano *

Lars Berggren

Anna-Lena Larsson *

Forskningsingenjörer

Andris Azens

Shuxi Zhao *

Andra projekt, valda publikationer och avhandlingar

Forskargrupperna inom Ångström Solar Center deltar i en rad andra program nationellt och internationellt, några med anknytning till programmets verksamhetsområde. Även dessa redovisas i sammanställningen här bredvid.

Tunntilmssolceller

Valda artiklar

Influence of the Cu(In,Ga)Se₂ Thickness and Ga Grading on the Solar Cell Performance
Olle Lundberg, Marika Bodegård, Jonas Malmström och Lars Stolt
Progress in Photovoltaics: Science and Applications 11, (2003), 77-88

Cu(In,Ga)Se₂ thin films grown with a Cu-poor/rich/poor sequence: Growth model and structural considerations
J Kessler, C Chityuttakan, J Lu, J Schöldström och Lars Stolt
Progress in Photovoltaics : Science and Applications 11, (2003), 319-331

Studentpris

Atomic Layer Deposition of Zn(O,S) buffer layers for high efficiency Cu(In,Ga)Se₂ solar cells
C. Platzer-Björkman, J. Kessler och L. Stolt
3rd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Osaka, Japan, 2003

Bokkapitel

Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Chapter 13 : Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cells
W N Shafarman och Lars Stolt, Wiley, 2003

Nanokristallina solceller

Valda artiklar

Gerrit Boschloo och Anders Hagfeldt
Photoinduced absorption spectroscopy of dye-sensitized nanostructured TiO₂
Chemical Physics Letters 370 (381-386) 2003

V. Aranyos, J. Hjelm, A. Hagfeldt och H. Grennberg
Tuning the properties of ruthenium bipyridine dyes for solar cells by substitution on the ligands - characterisation of bis[4,4'-di(2-(3-methoxyphenyl)ethenyl)-2,2'-bipyridine][4,4'-dicarboxy-2,2'-bipyridine]ruthenium(II) dihexafluorophosphate.
Dalton Transactions 7,(1280-1283) 2003

Helena Grejjer-Agrell, Jan Lindgren och Anders Hagfeldt
Degradation mechanisms in a dye-sensitized solar cell studied by UV-VIS and IR spectroscopy
Solar Energy 75 (169-180) 2003

Andra projekt

Extremely Thin Absorber (ETA) solar cells.
HPRN-CT-2000-00141



Smarta fönster

Valda artiklar

A. Azens och C.G. Granqvist:
Electrochromic smart windows: Energy efficiency and device aspects.
J. Solid State Electr ochem., 7
64-68 (2003)

A. Azens, G. Gustavsson, R.
Karmhag och C.G. Granqvist:
Electrochromic devices on pol-
yester foil.
Solid State Ionics, 165 1-5
(2003)

E. Avendano, A. Azens,
J. Isidorsson, R. Karmhag,
G.A. Niklasson och C.G. Gran-
qvist: Optimized Nickel-Oxide-
Based Electrochromic Thin
Films.
Solid State Ionics, 165 169-173
(2003).

Avhandlingar

Doktorer

Helena Grejjer-Agrell:
*Interactions in Dye-sensitized
Solar Cells.* (NSC)

Johan Hjelm:
*Conducting Polymers Contain-
ing In-Chain Metal Centres.
Eelectropolymerisation and
Charge Transport.* (NSC)

OlleLundberg
*Band Gap Profiling and High
Speed Deposition of
Cu(In,Ga)Se₂ for Thin Film
Solar Cells.* (Thin Film)

Licentiat

Lars Berggren:
*Optical absorption in amorphous
LixWOy.* (SWIN)



UPPSALA
UNIVERSITET

Ångström Solar Center
Postadress: att: Anders Hagfeldt
BMC, Box 579, 751 23 Uppsala
www.asc.angstrom.uu.se/index.html