

iii POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Globalt sett kommer ca 85% av energitillförseln från fossila bränslen såsom kol, olja och gas. Föroreningar och utsläpp från dessa har på sistone identifierats som problematiska då de kan leda till klimatförändringar, till exempel global uppvärmning. Andra konsekvenser av användandet av fossila bränslen är, försämrad luftkvalitet och försurning av både mark och sjöar. Alla dessa påverkar människor på ett negativt sätt som är svårt att bedöma i monetära termer. Fossila bränslen produceras dessutom väldigt långsamt och är därför en begränsad energikälla som kan ta slut.

Att vara miljömedveten är inte alltid så enkelt. Ofta kostar miljövänliga produkter mer och dessutom debatteras det till exempel om huruvida etanol och elbilar egentligen leder till mindre koldioxidutsläpp. Elbilar marknadsförs som ett miljövänligt alternativ eftersom de inte släpper ut avgaser vid drift, men det är förmodligen ingen miljövänlig produkt om elektriciteten för att ladda dessa bilar huvudsakligen kommer från fossila bränslen. I högt kontaminerade storstäder kan elbilar dock leda till en lokal luftförbättring. Dessutom krävs att man har med alla betydande faktorer i en analys av fördelar eller nackdelar med ny teknologi. Från tillverkning och drift till skrotning. Detta kallas för livscykelanalys när man analyserar ett besluts miljöpåverkan, vilket i praktiken inte alltid är så enkelt.

I takt med att det globala energibehovet blir större som konsekvens av den globala ekonomin med dess tillväxt och resulterande ökande energianvändning kommer det bli mer och mer viktigt att övergå från fossila bränslen till förnyelsebara energikällor som ryggraden i tillförseln av energi och elektricitet. Direkt solenergi har den överlägset största potentialen bland förnyelsebar energi och ca 1 timme av solenergin som når jorden är tillräckligt för hela årets energibehov på hela jorden. Trots det utgör den direkta utvinningen av solenergi till elektricitet bara en liten del (ca 0.1%) av den globala energitillförseln år 2008. Detta beror bland annat på att elektricitet från solceller kostar mycket per kWh jämfört med till exempel kolkraft.

Nanoteknik kanske kommer ändra på detta. Med nanoteknologi är det nu möjligt att tillverka material på helt nya sätt som inte var möjligt förut. Man kan till exempel bygga upp ett material atom för atom i tunna trådar som kallas nanotrådar. Solceller baserade på nanotrådar är en ny typ av solceller med bra optisk förmåga som har potential att nå höga verkningsgrader. Samtidigt används mindre halvledarmaterial och antireflexbehandling av ytan är inte lika nödvändigt som hos de kommersiella kisel-baserade solcellerna. Detta är på grund av nanotrådarnas geometri som bildar veck och korrugerar ytan på solcellen.

Kommersiella solceller består oftast av endast en slags halvledare. De solcellerna med högst verkningsgrad idag är gjorda med multipla halvledar-material, så kallade multi-junction solceller. Dessa har spänning mellan materialen på grund av olika avstånd mellan atomer i olika material. För dessa solceller behöver man minska risken för att materialet går sönder på grund av interna spänningar mellan materialen vilket kräver en tidsödande och komplex framställningsprocess.

Men på grund av de små kontaktytorna på en nanotråd är det möjligt att växa liknande strukturer med mindre krav på att matcha ämnen med avseende på gitteravstånd. Detta gör det möjligt att absorbera solens ljusspektrum på ett mycket mer effektivt sätt. Multi-junction solceller bedöms ha bäst användning när man koncentrerar solljuset (till exempel med en Fresnel-lins eller speglar) då de består av material som absorberar effektivt men som är relativt kostsamma på grund av begränsad förekomst i jordens skorpa.

Den teoretiskt högsta verkningsgraden för en solcell med ett halvledar-material är 37% (koncentrerat solljus på 1000 solar). Medan för en solcell med flera lager av halvledarmaterial är denna gräns ca 70% (36 lager med koncentrerat solljus på 1000 solar)

Nanotrådar gör det möjligt att dra ned på materialkostnader samtidigt som verkningsgraderna kan vara höga vilket gör att det kan bli mer ekonomiskt motiverat att producera solceller i stor skala.

Om man tittar på NRELs (National Renewable Energy Lab) graf med verkningsgraden på kommersiella solceller kan man se att det inte händer speciellt mycket bland de kommersiella kisel-solcellerna medan solceller baserade på nanostrukturer har en verkningsgrad som har utvecklats exponentiellt de senaste 2-, 3 åren.

Lunds universitet är en av de i bästa i världen på att växa nanotrådar av hög kvalitet i jämna rader och har år 2012 lyckats producera en rekordcell med verkningsgraden 13.8% baserad på InP(Indium Phosphide)nanotrådar. Detta kan man läsa om i tidskriften Science. Science är en utav de mest prestigefyllda vetenskapliga tidskrifterna och har ett utav det största inflytandet inom vetenskapsvärlden globalt.

Jag har gjort flera mätningar av spatiellt upplöst fotoström på SCIL 51-84 som hade 7 stycken nanotrådssolceller. Nanotrådarna var gjorda av InP och hade en diameter som var cirka 200 gånger tunnare än ett hårstrå.

Under detta examensarbete har det fokuserats på att vidareutveckla och bedöma en mätuppställning för mätning av fotoströmmar. Mätuppställningen bestod utav en laser, som fokuserades genom diverse optisk apertur till en mycket liten yta. Provet flyttades mekaniskt med mycket små steg av en mekanisk translations-plattform styrt från en dator. Resultatet blev att lasern belyste små delar av provet i taget i en scan. Fotoströmmen mättes kontinuerligt upp av en elektrometer och resultatet av mätningarna visades upp på en dator grafiskt.

Fyra sorts defekter undersöktes närmare och de namngavs efter sitt karakteristiska utseende avseende fotoströmsbild samt dess utseende i mikroskop. Defekterna kallades för: partikel, lång spricka, gröna klumpar och stor grön dalsänka.

Den långa sprickan visade sig dels vara avsaknad av nanotrådar och dels trådar av signifikant varierande storlek. Orsaken till denna defekt bedöms ha att göra med ett tidigt processsteg vid tillverkningen av solcellen(kanske redan vid själva mönstringen av de katalytiska guldpartiklarna som används för att starta växt av nanotrådar).

Partikel och gröna klumpar kunde tas bort med syreplasma-etsning(reactive ion etching with oxygen plasma). De optiska defekterna som kunde tas bort visade sig därför vara resist på solcellen. När defekterna etsades bort blev solcellen mer uniform och verkningsgraden ökade lokalt med ca 40% jämfört med innan etsning.

Den stora gröna dalsänkan minskade fotoströmmen med ca 99% procent och gick ej att tas bort med syreplasma etsning. Detta tyder på att resisten befinner sig under frontkontakten av solcellen bestående av TIO(Indium Tin Oxide) som är det översta lagret, eller möjligtvis ett lager under detta som det dielektriska lagret av SiO₂(Silicon dioxide). Defekten som kallades för stor grön dalsänka är viktiga att undvika i framtiden eftersom de har en större negativ inverkan på verkningsgraden än defekterna som kallades för gröna klumpar men också för att det krävs mer för att etsa bort något som befinner sig under TIO eller det dielektriska lagret av SiO₂.

Även begränsningar och förslag på förbättringar i mätuppställningen av fotoström diskuteras. En rad praktiska förbättringar skulle göra mätuppställningen mycket bättre. Exempel på sådana justeringar är att använda mer färger vid presentation av fotoströmsbilden och programmera så att datorn inte försöker styra provet utanför translationsstegets gränser. En fysisk spärr som hindrar mikroskopet att komma under en viss gräns, till exempel 0.5 mm ovanför provet med solceller skulle undvika risken att beröra eller orsaka skador på provet som man gör mätningar på. Nuvarande mikroskopkamera visar endast gråskala. En kamera som kan visa färger vore praktiskt eftersom många av defekterna på provet har en distinkt färg. Den nuvarande kameran är däremot bra på att visa kontraster där det inte finns många defekter.

Det mekaniska translationssteget kan röra sig i steg så små som 10nm och bedöms därför inte ha utnyttjats till dess fulla potential än. Fast när translationssteget blir små, oftast under 700nm uppstår två stycken slags problem. Det första är att intensitets-variationer i lasern börjar märkas och att fotoströmsbilden brukar krascha i x-led.

Intensitetsvariationerna tros vara viktiga att stabilisera om man vill kunna producera fotoströmsmätningar som kan visa fotoströmmen från enskilda nanotrådar över ett större område. Just nu går det redan att lösa upp fotoströmmen från enskilda nanotrådar fast man måste scanna över ett så litet område att det många gånger är svårt att med säkerhet avgöra vilket område som scannades. Scannar man över större områden blir de systematiska felen från till exempel det mekaniska translationssteget försumbara eftersom man med säkerhet kan se vilket område som scannats om man scannar större områden.

Intensiteten från lasern skulle kunna stabiliseras över tid genom att kontinuerligt mäta upp intensiteten från lasern både före och efter det spatiala filtret på mätuppställningen och sedan normalisera för denna intensitet i datorns mjukvara. Stabilisering av lasern kan även åstadkommas med ett system som involverar en AOM(Acousto-Optic Modulator).

Detta arbete ledde till identifiering av defekter i material och tillverkning samt hur mätuppställningen skulle kunna förbättras. Informationen som erhöles vid identifiering av de fyra slags defekterna kan användas för att minimera föroreningar som resist i steg vid produktionen av nanotråds-solcellerna.

Arbetet ledde även till en utvärderingsteknik som i detta arbete kallas för *inverted image*. *Inverted image* metoden går ut på att bilda sig en uppfattning av topografin på en solcell genom att detektera intensiteten på diffust ljus från en närliggande solcell. Detta betyder att risken att åstadkomma fysiska skador på solcellen i princip är obefintliga. Det är även möjligt att snabbare att upptäcka oplanerade höjdavvikelser på nanotrådssolceller jämfört med AFM(Atomic Force Microscopy). På det stora hela gav detta arbete information om hur man i framtiden kan tillverka nanotrådssolceller av hög kvalité.