

# Grätzel Solcellen

- Fremstil din egen solcelle

Find Instruktionsvideo på: <http://inano.au.dk/schools/bestil-et-besoeg/>

Det er relativt simpelt at fremstille sin egen Grätzel solcelle. Solcellen består af to forskellige elektroder, som hver består af et stykke ledende glas, hvorpå de aktive lag lægges. De to stykker glas skal være cirka lige store, så overvej det, når I beslutter hvilke glasstykker, der skal påføres hvilken overflade.

Fremstillingen er her opdelt og beskrevet i tre dele: En for hver af de to elektroder og til sidst samling og karakterisering af solcellen.

## Step 1: Fremstilling af TiO<sub>2</sub> elektrode

Hvis I er to eller flere i gruppen kan step 1A og step 1B eventuelt udføres samtidigt.

### Materialer, step 1

- 1 stk. glas (ca. 2x2 cm<sup>2</sup>) belagt med et transparent ledende lag. (Husk at I skal bruge et stykke i samme størrelse til den anden elektrode i step 2)
- Opslemning af nanokrystallinsk titandioxid, f.eks. Degussa P25 TiO<sub>2</sub> i fortyndet eddikesyre.
- Brombær – friske eller optøede.
- Værktøj/Udstyr: Ethanol, Linsepapir, Scotch tape, pasteur pipetter, glasstang, petriskål, evt. glasskærer (husk briller, hvis I selv skærer glas).

### 1A: Klargøring af glas-substrater

Klargør begge glasstykker (både til step 1 og 2). Glasstykkerne gøres rene for fedt og snavs vha. ethanol og linsepapir. De lægges på bordet med den ledende side op af (den ledende side kan findes ved at måle modstanden med et multimeter. Modstanden skal være omkring 50 Ω fra hjørne til hjørne på den ledende side, se Figur 1). Læg det ene glas stykke til side indtil step 2 og forsæt med det andet.



*Figur 1. Den ledende side af glasset findes ved at måle modstanden hen over glasset vha. et multimeter og to prøveledninger.*



*Figur 2. TiO<sub>2</sub>-opslemningen påføres glasset vha. tape-støbeformen og en glasstang: Glasstangen trækkes langs tapen for at fordele opslemningen*

## 1B: Påføring af TiO<sub>2</sub>-film

Påføringen kræver en vis fingersnilde, tålmodighed og måske lidt held - det er ikke altid at filmen bliver pæn første, anden eller tredje gang.

På den ledende side af glasset sættes et stykke Scotch tape langs den ene kant, så det dækker 4-5 mm af den ledende overflade. Langs den modsatte kant sættes tape, så det dækker 1-2 mm af den ledende overflade. Alle stykker med tape skal være så lange at enderne kan bruges til at sætte glasset fast til bordet med. Eventuelle luftbobler kan fjernes fra tapen ved at trække glasstangen henover. Tapen virker nu som en støbeform for jeres TiO<sub>2</sub>-film.

Brug pistillen til at overføre en klat (hellere for meget end for lidt) af jeres opslemning til glassubstratet; hellere for meget end for lidt. Fordel dråben ved at trække glasstangen langs tapen fra den ene ende af formen til den anden, mens glasstangen trykkes let mod tapen, se Figur 2. Tapen sikrer en homogen tykkelse på TiO<sub>2</sub>-filmen. Gentag evt. bevægelsen, hvis filmen ikke bliver pæn, men gør det hurtigt: Hvis filmen når at tørre, trækkes der streger, og den skal laves forfra. Hvis ikke det lykkedes at få lavet en jævn film, skylles TiO<sub>2</sub>-laget af under vandhanen og glasset renses igen med lidt ethanol - så er I klar til prøve igen. Når I er tilfredse med filmen, fjernes tapen inden filmen tørrer (ellers risikerer I at trække filmen med af).

## 1C: TiO<sub>2</sub>-filmen hærdes

Filmen hærdes ved at opvarme den til ca. 450 °C i 30 minutter.

### Materialer (Genbruges i step 2)

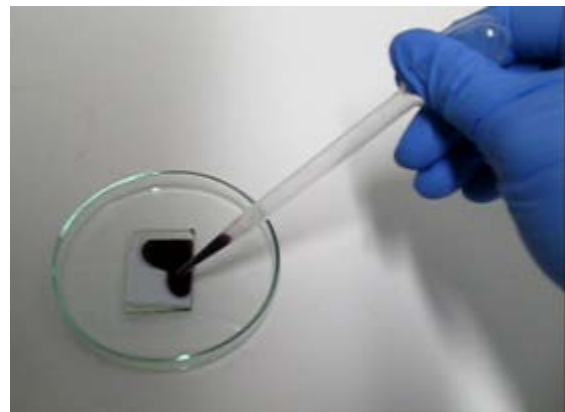
- Varmluftspistol (500 °C)
- Trefod m. net
- Forsøgsstativ

Placer TiO<sub>2</sub>-glasstykkerne på trefoden og spænd varmpistolen fast i forsøgsstativet, således at pistolens munding er ca. 15 cm over trefoden, se Figur 3. Tænd varmpistolen på 500 °C (trin 2). Husk at tage tid. Efter 5 min kan pistolen evt. sænkes til 5-10 cm afstand.

Mens TiO<sub>2</sub>-elektroden hærdes, fremstilles carbon-elektroden (Step 2). Efter 30 min køles glasstykkerne af på trefoden.



*Figur 3. TiO<sub>2</sub>-filmen hærdes ved 450-500 °C i 30 min under en varmpistol.*



*Figur 4. Farvning af TiO<sub>2</sub>-filmen: Filmen "suger" farvestof til den farvet hele vejen igennem.*

### 1D: TiO<sub>2</sub>-filmen Farves

Mos brombær og adskil saften fra bær/kerner. Glasstykkerne med TiO<sub>2</sub>-filmen lægges forsigtigt ned i en petriskål og saften fra bærrene dryppes på TiO<sub>2</sub>-filmen med en pasteur pipette, se Figur 4. Lad det ligge i et par minutter til filmen er farvet lilla hele vejen igennem, kontroller dette ved at kigge på elektroderne fra undersiden. Skyl forsigtigt (men grundigt!) overskydende saft og evt. kerner af med vand. Skyl herefter med ethanol og lad filmen tørre på et stykke papir.

## Step 2. Fremstilling af grafit elektrode

### Materialer, step 2

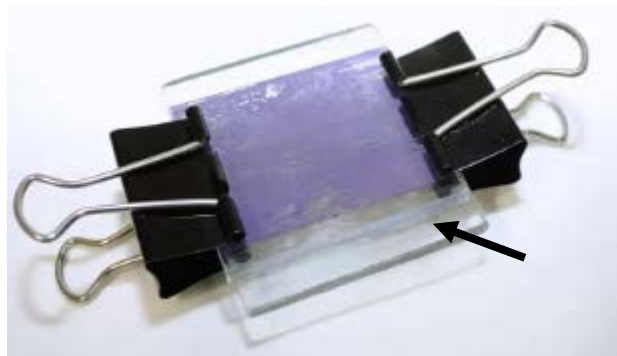
- 1 stk. glas (ca. 2x2 cm<sup>2</sup>) belagt med et transparent ledende lag. (Husk at det skal passe i størrelsen til den anden elektrode i step 1)
- Blyant
- Ethanol
- Linsepapir

### 2A: Fremstilling af carbon elektrode

Tag det tilsidelagte glasstykke (fra step 1A) og mal et jævnt carbonlag på den ledende side, se Figur 5. Skyl overskydende carbon af med ethanol og lad elektroden tørre på et stykke papir. Placer eventuelt 5 min under varmluftspistolen ved samme temperatur som TiO<sub>2</sub>-filmen. Dette giver et mere holdbart carbon-lag.



*Figur 5. Fremstilling af modelektrode: Et arafit laa påføres alassets ledende side.*



*Figur 6. Grätzel solcelle. De to elektroder vender med de aktive lag mod hinanden og holdes sammen af to brevklemmer. Pilen highlighter forskydningen af de to plader.*

## Step 3. Samling og karakterisering af solcelle

### Materialer, step 3

Samling:

- Iodelektrolyt bestående af 0,5M kaliumiodid og 0,5M iod i ethylenglykol
- Gummihandsker
- Pipette
- Brevclips til at holde glasstykkerne sammen

Karakterisering:

- Kraftig lyskilde (Fx. malerlampe)
- 2 multimetre m. ledninger (5 stk.)
- Krokodillenæb
- Variabel modstand

### 3A: Samling af solcellen

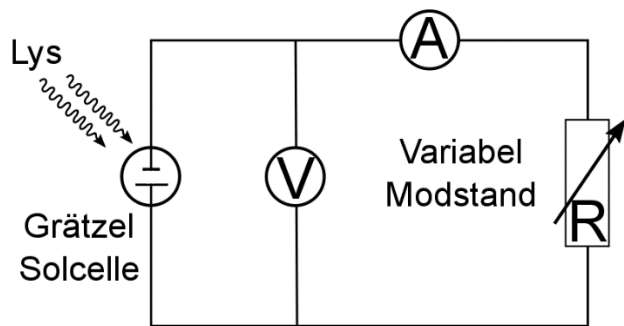
TiO<sub>2</sub>-elektroderne farvet med brombær er nu klar til brug. Det samme er modelektroderne med det tynde grafitlag. Modelektroden lægges ovenpå TiO<sub>2</sub>-elektroden så den 4-5 mm brede stribe med frit glas, altså glas uden TiO<sub>2</sub>-film, stikker ud. Sæt en klemme på de to ender af cellen hvor kanterne af glasset flugter, som vist på Figur 6.

Lige før du karakteriserer din solcelle: Læg en lille dråbe elektrolyt på det frie glas ved en af de forskudte samlinger (Se pil på Figur 6). **Benyt handsker når elektrolytten håndteres!** Elektrolytten skulle gerne blive trukket ind i solcellen vha. kapillære krafter. Når du kan se elektrolytten er trukket gennem hele solcellen kan du tørre evt. overskydende elektrolyt af glasset. Du er nu klar til at starte dit eget solcellefirma, men lad os først teste cellen inden dollartegnene i øjnene bliver alt for store.

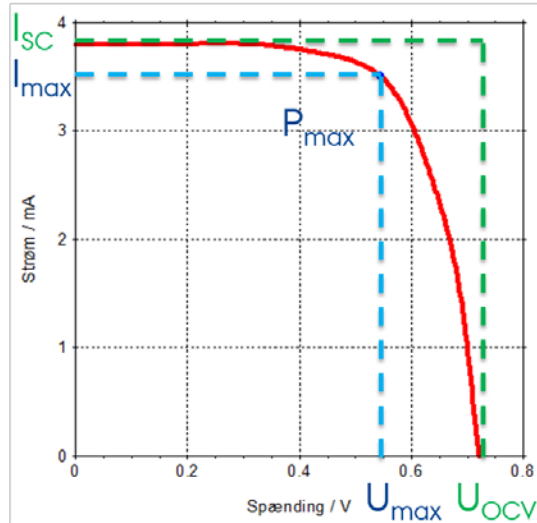
### 3B: Byg karakteristik-kredsløb

Forbind de to multimetre, solcelle og den variable modstand som sidder i det såkaldte protoboard som vist på kredsløbsdiagrammet Figur 7 (spørg instruktoren hvis I er i tvivl om hvordan man benytter et protoboard).

Sæt solcellen fast i et stativ foran lampen i 10-15 cm afstand. Det er vigtigt at solcellen ikke bevæges under målingen, da det vil ændre mængden af lys der rammer solcellen. Hvis man har teknisk snilde nok til at hænge lampen op så den lyser ned på bordet, hvor man så lægger solcellen, er det også rigtig fint.



Figur 8: Kredsløbsdiagram til måling af solcelle karakteristisk.



Figur 7: Ideel U,I-karakteristik af solcelle med markering af de vigtigste parametre.

### 3C: Måling af karakteristisk

En karakteristisk af en solcelle er en graf der viser strømmens afhængighed af spændingen over solcellen for en given konstant lysintensitet. Man skal her huske på at en solcelle er en strømkilde og ikke en spændingskilde (som fx. et batteri). Spændingskarakteristikken udmåles vha. et kredsløb som det viste Figur 7.

Forbindelsen mellem solcellen og det ydre kredsløb laves ved at klemme et krokodillenæb om hver af de to elektroder, der hvor det frie glas stikker ud fra solcellen. Spændingsfaldet over solcellen er det samme som spændingsfaldet over den variable modstand, da resten af kredsløbet gerne skulle være tabsfrit.

Tænd lampen og start målingen med  $R=0$ , dvs. en kortsluttet celle. Den i amperemetret målte strøm kaldes kortslutningsstrømmen og er den største strøm solcellen kan give. Typisk vil denne strøm stige de første minutter efter at lampen er blevet tændt. Vent med at gå videre indtil strømmen ikke længere stiger noget særligt. Skruer vi op for modstanden får vi fra Ohms lov et spændingsfald på

$$U = R \cdot I$$

over modstanden og dermed også over solcellen. Hvis ikke strømmen er helt nul når den variable modstand er maksimal så prøv at "åbne" kredsløbet ved at hive en af enderne af ledningerne i protoboardet op. Der kan nu ikke længere løbe nogen strøm og den målte spænding er den højeste spænding som solcellen kan give. Denne spænding kaldes for den åbne kredsløbs spænding.

Ved at måle og plotte sammenhørende værdier af strømstyrke og spændingsfald kan man få en graf som den der er vist på Figur 8. Typisk ligger punkterne dog nærmere på en ret linje end på en kurve som den viste.

### 3D: Bestemmelse af nyttevirkning fra målt karakteristik

For at kunne bestemme nyttevirkningen af solcellen er man nødt til at vide hvor meget lys der ramte solcellen under målingen af karakteristikken. Dette gøres ved at måle intensiteten af lyset der kommer fra lampen på det sted hvor solcellen befandt sig under målingen. Denne måling foretages med et såkaldt powermeter.

Derudover skal man kende det effektive areal af solcellen, hvilket måles med en lineal (husk at trække eventuelle afskallede områder fra!). Efterfølgende kan man finde solcellens arbejds punkt som er det punkt hvor cellen afgiver den største effekt:

$$P = U \cdot I$$

på Figur 8 er dette punkt markeret med  $(U_{max}, I_{max})$ . Ved at sammenligne dette tal med den energi der er i lyset der rammer solcellen, kan man så beregne cellens maksimale nyttevirkning:

$$\eta = \frac{E_{nyttig}}{E_{total}} = \frac{E_{solcelle}}{E_{lampe}} = \frac{P_{max}/A_{solcelle}}{E_{lampe}} = \frac{(U_{max} \cdot I_{max})/A_{solcelle}}{E_{lampe}}$$