

Grätzelsolcellen

- Fremstil din egen solcelle



Link til instruktionsvideo

Det er relativt simpelt at fremstille sin egen Grätzelsolcelle, næsten udelukkende med ting fra husholdningen.

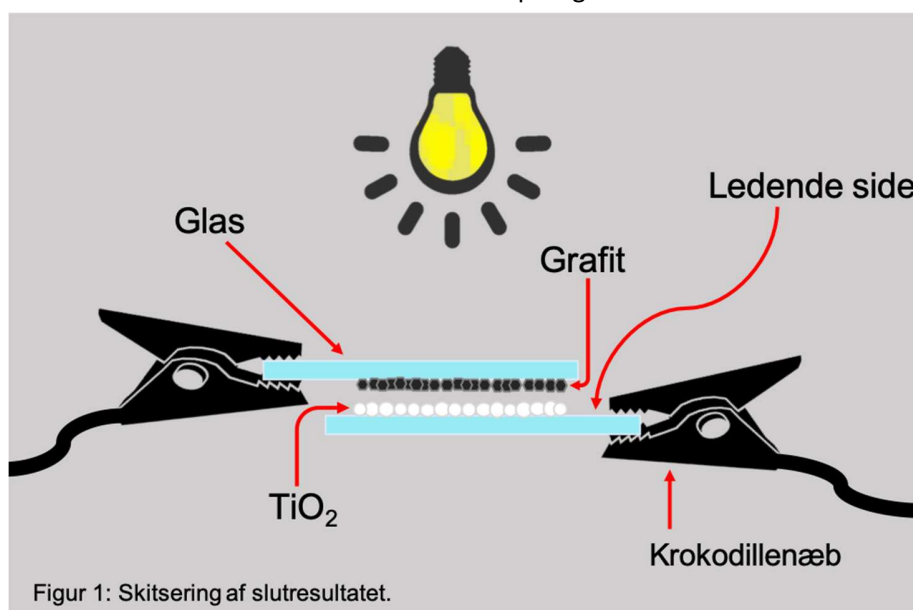
Solcellen består af to forskellige elektroder, den ene med en positiv ladning og den anden med en negativ. Hver elektrode er (i denne øvelse) et stykke glas der er overfladebehandlet sådan at den ene side af glasset ledende. Det er på den ledende side vi arbejder og påfører de aktive lag i solcellen.

De to stykker glas der bliver brugt til en solcelle skal være cirka lige store.

Fremstillingen er her opdelt og beskrevet i tre dele:

1. Fremstilling af den første elektrode
2. Fremstilling af den anden elektrode
3. Samling og karakterisering af solcellen

For at få en bedre forståelse af slutresultatet kan man se på Figur 1.



Step 1: Fremstilling af TiO₂-elektrode

Materialer, step 1

- 2 stk. glas belagt med et transparent ledende lag (Det ene stykke skal bruges til den anden elektrode i step 2)
- Opslemning af nanokrystallinsk titandioxid (TiO₂, 2M)
- Brombærsaft
- Udstyr: Ethanol, linsepapir, tape, pasteur pipetter og petriskål

1A: Klargøring af glasstykker

Læg glasstykkerne med den ledende side opad. Denne findes ved at benytte et multimeter som ohmmeter (Figur 2). Den ledende side er den, hvor der kan måles en modstand når ledningerne placeres forskellige steder på glasset. Rens glassene for fedt og snavs med linsepapir og ethanol. Der skal kun TiO₂ på det ene glasstykke, og halvdelen af glassene lægges derfor til side for nu.

1B: TiO₂-filmen påføres

Brug handsker!

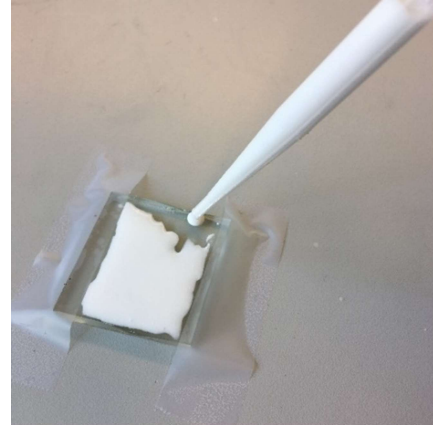
Påføringen kræver en vis fingersnilde, tålmodighed og måske lidt held - det er ikke altid at filmen bliver pæn første gang.

På den ledende side af glasset sættes et stykke 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 (Figur 3). Tapen virker nu som en støbeform for jeres TiO₂-film. Sørg for at tapen sidder tæt til glasset, så TiO₂ opslemningen ikke løber ind under tapen.

TiO₂-opslemningen danner bundfald når den står i lang tid. Sving derfor TiO₂-opslemningen let rundt i flasken (med låg på!) før TiO₂-opslemningen påføres. Brug pipetten til at overføre TiO₂-opslemning til glassubstratet (hellere for meget end for lidt, men prøv jer frem). Sørg for at TiO₂-opslemningen dækker hele glasset og er jævnt fordelt. Hvis ikke det lykkes at få lavet en jævn film, eller TiO₂-opslemningen løber under tapen, skylles TiO₂-laget af under vandhanen og glasset renses igen med lidt ethanol - så er du klar til prøve igen.



Figur 2. Den ledende side af glasset findes ved at måle modstanden hen over glasset vha. et multimeter og to prøveledninger.



Figur 3. TiO₂-opslemningen fordeles på glasset i tape-støbeformen med en pipette til en jævn film.

1C: TiO₂-filmen hærdes

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

Materialer (genbruges i Step 2)

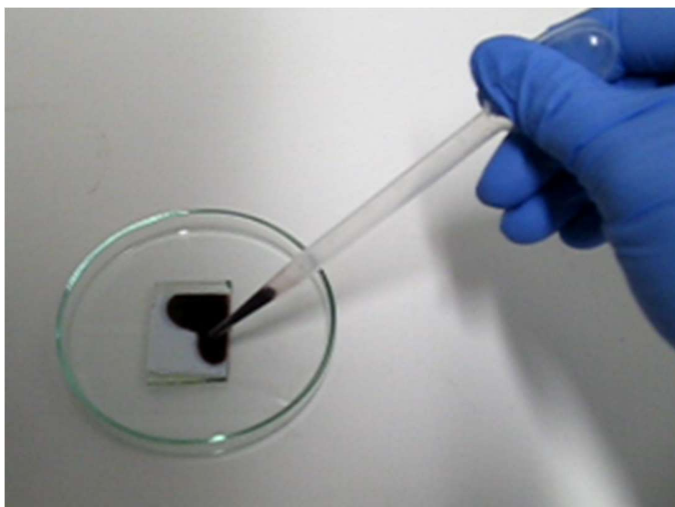
- Varmluftspistol (450 °C)
- Trefod med net
- Forsøgsstativ

Løft forsigtigt TiO₂-glasstykket af bordet mens tapen stadig sidder på. Hvis tapen fjernes med det samme, risikerer TiO₂-opslemningen af løbe ud og dække resten af glasset. Placer TiO₂-glasstykket på trefoden og spænd varmluftspistolen fast på forsøgsstativet med en **metal** trefingerklemme, således at pistolens munding er ca. 20 cm over trefoden (se Figur 4). **(OBS: Kun én varmluftspistol må tilsluttes hver enkelt sikringsgruppe, så vi undgår at sikringerne springer – spørg instruktøren hvis du er i tvivl).**

Tænd varmepistolen - den er allerede indstillet til 450°C. TiO₂-filmen skal have 30 minutter, husk at tage tid. Efter ca. 3 min burde TiO₂-filmen begynde at tørre. Sluk varmepistolen og fjern tapen fra TiO₂-glasstykket. Vær opmærksom på at glasset er varmt. Tapen skal fjernes før TiO₂-filmen er helt tør, ellers risikerer man at trække hele filmen af. Glasstykket, nu uden tape, lægges tilbage under varmepistolen og varmer videre indtil de 30 minutter er gået. Mens TiO₂-elektroden hærdes, fremstilles grafit-elektroden (se Step 2). Efter 30 min køles TiO₂-glasstykkerne af på trefoden.



Figur 4. TiO₂-filmen hærdes ved 450°C i 30 min under en varmepistol.



Figur 5. Farvning af TiO₂-filmen: Filmen "suger" farvestof til den er farvet hele vejen igennem.

1E: TiO₂-filmen farves

Det er vigtigt at TiO₂-filmen er kølet helt af før den farves, da man ellers risikerer at brombærsaften skyller filmen af. Glasset er kølet tilpas ned når man kan røre ved det uden at det føles varmt. Efter glasstykket med TiO₂-filmen er kølet helt af lægges det ned i en petriskål og brombærsaft dryppes på TiO₂-filmen med en pasteur pipette indtil TiO₂-filmen er dækket til (se Figur 5). Lad det ligge i et par minutter til filmen er farvet lilla hele vejen igennem. Man kan kontrollere at farven er løbet hele vejen igennem ved at kigge på elektroden fra undersiden. Skyl meget forsigtigt (men grundigt!) den overskydende saft af med vand vha. en sprøjteflaske. Skyl herefter på samme måde med ethanol og lad filmen tørre på et stykke papir.

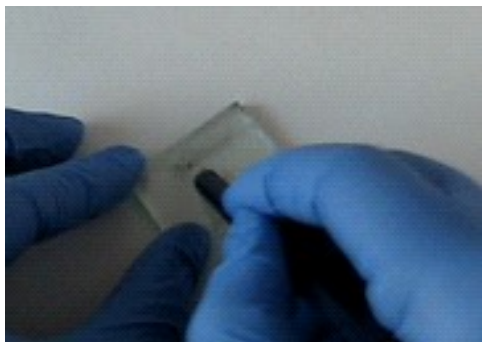
Step 2. Fremstilling af grafit-elektrode

Materialer, step 2

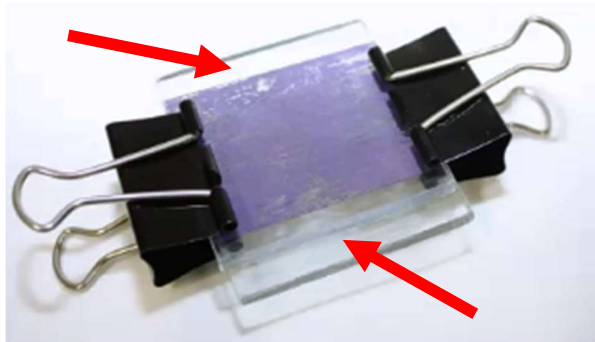
- 1 stk. glas belagt med et transparent ledende lag (renset i Step 1A)
- Blyant
- Ethanol
- Linsepapir

2A: Fremstilling af grafit-elektrode

Tag det tilsidelagte glasstykke (fra step 1A) og mal et jævnt carbonlag med blyant på den ledende side (se Figur 6). Skyl overskydende carbon af med ethanol og lad elektroden tørre på et stykke papir. Placer 5 min under varmluftspistolen ved samme temperatur som TiO₂-filmen. Dette giver et mere holdbart grafitlag.



Figur 6. Fremstilling af grafitelektrode: Et grafit lag påføres glassets ledende side.



Figur 7. Grätzelsolcelle. De to elektroder vender med de aktive lag mod hinanden og holdes sammen af brevklemmer. Pilen highlighter forskydningen af de to plader. Det er i forskydningen at elektrolytten indføres, og her at krokodillenæbene sættes på.

Step 3. Samling og karakterisering af solcelle

Materialer, step 3

Samling:

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

Karakterisering:

- Kraftig lyskilde (fx. malerlampe)
- 2 multimetre
- 5 ledninger
- Krokodillenæb
- Variabel modstand

3A: Samling af solcellen

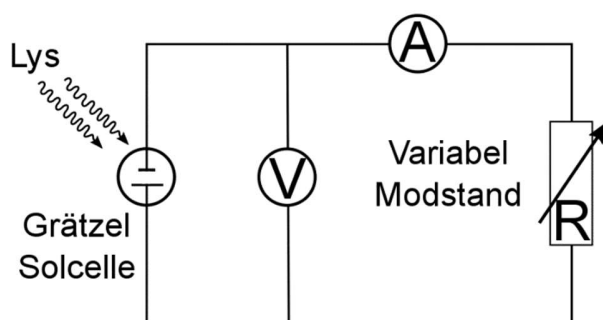
TiO₂-elektroden farvet med brombærsaft er nu klar til brug. Det samme er grafitelektroden med det tynde grafitlag. Modelektroden lægges ovenpå TiO₂-elektroden så den 4-5 mm brede stribe med frit glas, altså glas uden TiO₂-film, stikker ud. Sæt en klemme på de to andre sider, hvor kanterne af glasset flugter, som vist på Figur 7.

Solcellen er færdig når elektrolytten tilsættes. Få instruktøren til at lægge en lille dråbe elektrolyt på det frie glas ved en af de forskudte samlinger (se pil på Figur 7). Elektrolytten bliver trukket ind i solcellen vha. kapillære kræfter. Når du kan se at elektrolytten er trukket gennem hele solcellen kan du tørre evt. overskydende elektrolyt af glasset. **Efter elektrolytten er tilføjet skal du bruge handsker når du rører ved solcellen! Skift handsker når du har rørt ved solcellen, så du ikke smør elektrolyt på udstyret.**

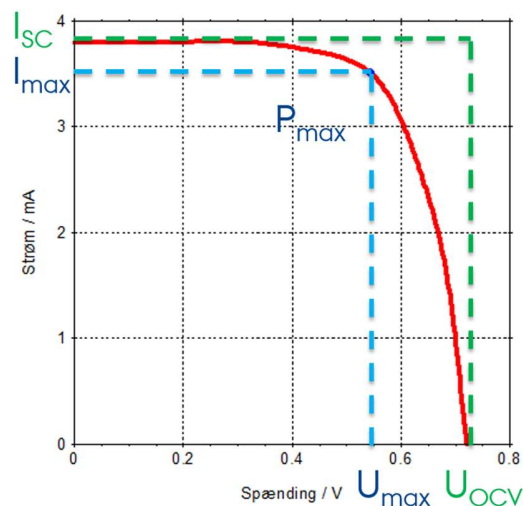
3B: Byg karakteristik-kredsløb

Forbind de to multimetre, solcelle og den variable modstand, som vist på kredsløbsdiagrammet i Figur 8 (spørg instruktoren hvis du er i tvivl om hvordan man benytter den variable modstand). De store blå multimetre bruges som amperemeter, mens de små gule multimetre bruges som voltmeter. Lad være med at tænde lampen før du er helt klar til at måle, da solcellen godt kan tabe effekt over tid når den bliver belyst.

Solcellen skal vende med grafitelektroden mod lyset for at få den største effekt. Opstillingen skal laves sådan, at solcellen placeres med en konstant aftand og vinkel til lampen. Jo mere af solcellens overflade der peger parallelt mod lampen, jo højere strømstyrke kan solcellen præstere. Solcellen skal gerne stå omkring 15-20 cm fra lampen. Man kan placere solcellen på flere måder, f.eks. ved at hænge den op i et stativ, eller ved at stille den op langs noget. 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. Det er vigtigt at solcellen ikke bevæges under målingen, da det vil ændre mængden af lys der rammer solcellen. Check eventuelt med instruktøren om kredsløbet ser rigtigt ud før i begynder at måle.



Figur 8: Kredsløbsdiagram til måling af solcelle karakteristik.



Figur 9: Ideel U,I-karakteristik af solcelle med markering af de vigtigste parametre.

3C: Måling af karakteristik

En karakteristik af en solcelle er en graf der viser strømstyrkens (I) afhængighed af spændingen (U) over solcellen for en konstant lysintensitet. Man skal her huske på at en solcelle er en strømkilde og ikke en spændingskilde (som fx. et batteri). Spændingskarakteristikken måles vha. et kredsløb som det viste Figur 8.

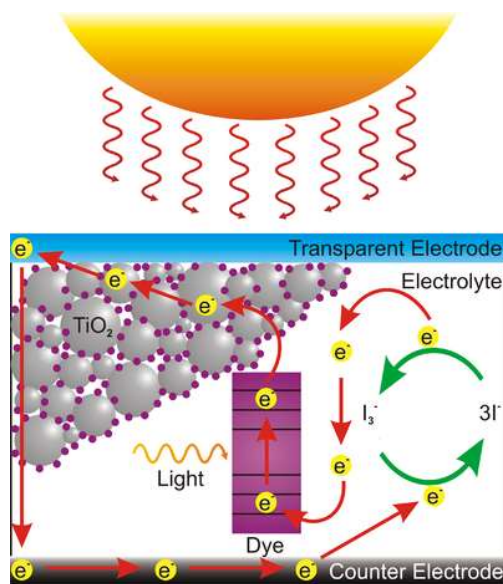
Forbindelsen mellem solcellen og det ydre kredsløb laves ved at klemme et krokodillenæb om hver af de to elektroder, der hvor det frie glas stikker ud fra solcellen. Spændingsfaldet over solcellen er det samme som spændingsfaldet over den variable modstand, da resten af kredsløbet gerne skulle være tabsfrit.

Nu skal sammenhængende værdier af strøm og spænding noteres ved forskellige modstande. Det kan med fordel gøres ved at tage billeder af multimetrene hver gang man har rykket den variable modstand, og så skrive værdierne ind når du er færdig med at måle. På den måde kan man måle flere datapunkter hurtigere. Generelt vil værdierne være lidt ustabile, og noter derfor bare den værdi der står efter et par sekunder. Læg værdierne ind i Excel for at se karakteristikkurven. Ved at måle og plotte sammenhørende værdier af strømstyrke og spændingsfald kan man få en graf som den der er vist på Figur 9. Typisk ligger punkterne dog nærmere på en ret linje end på en kurve som den viste. Tænd lampen og start målingen uden modstand ($R=0$), dvs. en kortsluttet celle. Dette gøres ved at fjerne den variable modstand og forbinde de to ledninger direkte med hinanden. Den i amperemetret målte strøm kaldes kortslutningsstrømmen og er den største strøm solcellen kan give. Modstanden sættes nu ind i kredsløbet igen. Skruer vi op for modstanden får vi fra Ohms lov et spændingsfald på

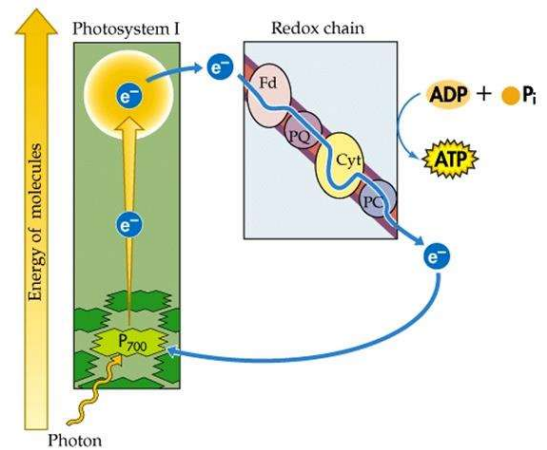
$$U = R \cdot I$$

over modstanden og dermed også over solcellen. Mål så mange forskellige punkter som muligt, ved at skrue på den variable modstand. Man kan se at modstanden varierer ved at man får forskellige værdier på multimetrene. De fleste målepunkter vil sandsynligvis ligge i den ene ende af den variable modstand, hvor strømstyrken er størst. Det sidste målepunkt der skal tages er den åbne kredsløbsspænding. Det er det punkt hvor modstanden er størst. Modstanden i kredsløbet er størst når en ledning tages ud. Når en ledning er taget ud kan der ikke længere løbe nogen strøm og den målte spænding er den højeste spænding som solcellen kan give. Spændingskarakteristikken fra Grätzelsolcellen kan eventuelt sammenlignes med en kommerciel silicium solcelle, ved at tilslutte silicium solcellen til kredsløbet og gentage målingerne. Det er vigtigt at silicium solcellen placeres med samme afstand og vinkel til lampen som Grätzelsolcellen, så de modtager samme mængde lys. Man skal også overveje om der er forskel på arealet af solcellerne.

Solcelle teori



Grätzelsolcelle kredsløb



Fotosyntese kredsløb

Grätzelsolcellen tager udgangspunkt i nogle af de samme principper som planter fotosyntese: Naturlige pigmenter indfanger solens energi. Solens energi rammer elektroner i farvestofmolekylerne, og energien bruges til at excitere elektronerne. At elektronerne bliver exciterede, betyder at de får en meget højere energi end normalt. I fotosyntese bliver denne energi omdannet til kemisk energi, ved at bruge energien til at lave kemiske bindinger som bruges til at producere sukker. I solcellen bliver energien brugt som elektrisk energi ved at elektronerne sendes rundt i et kredsløb hvor den kan bruge energien til at lave noget arbejde, f.eks. til at få en lampe til at lyse, før de sendes tilbage til solcellen.

For at elektronerne kan sendes rundt i et kredsløb, skal solcellen skal danne frie elektroner. Frie elektroner er elektroner der får så høj energi at de kan forlade deres eget atom, og derfor kan bevæge sig mere frit rundt i f.eks. kobberledningerne i kredsløbet. De frie elektroner produceres i farvestofmolekylerne, når de rammes af det synlige lys og bliver exciterede. Farvestof molekylerne sidder på overfladen af titaniumdioxid nanopartikler, som kan indfange elektronerne og sende dem videre. Det er vigtigt at titaniumdioxid er nanopartikler, da nanopartikler har markant større overfladeareal end normale partikler. Det betyder at der kan være mange flere farvestof molekyler på, og derfor kan vi fange meget mere lys.

Titaniumdioxid laget er i kontakt med den ene glasplade. Glaspladen kan lede strøm på den ene side og elektronen kan derfor hoppe fra titaniumdioxid laget til glaspladen, og videre ud i det elektriske kredsløb gennem krokodillenæbet på ledningen. Glas er ikke normalt ledende, men her er den ene side blevet dækket med et tyndt, usynligt metallag som godt kan lede strøm.

Ude i kredsløbet kan elektronerne f.eks. få en pære til at lyse, hvorved den bruger noget af dens energi. Bagefter kommer elektronen tilbage til solcellen på den anden glasplade med en lavere energi. Kulstoflaget på den anden glasplade hjælper elektronen med at komme ud i elektrolytvæsken. Elektrolytten er vigtig for at fuldføre kredsløbet og sørge for at elektroner kan blive ved med at løbe rundt. En elektrolyt er en væske der består af ioner, dvs. ladede molekyler. Elektrolytten her består af jod som kan være på to forskellige former i væsken: I_3^- og $3I^-$. Hvis man tæller efter ser man at forskellen er to elektroner. Når elektronen forlader farvestofmolekylerne mangler de en elektron, og kan derfor ikke lave mere strøm før de får den igen. De får elektronen tilbage fra elektrolytten, ved at den går fra den ene form til den anden. Når elektronen kommer tilbage på den anden side af solcellen, bliver den brugt til at føre elektrolytten tilbage på den form hvor den startede, en slags genopladning, og så er kredsløbet sluttet. Elektrolytten fungerer altså som en slags bro mellem den anden glasplade med grafitlaget og farvestofmolekylerne.