



FOTOWOLTAIKA

Energia+Technologia=Szkola+Zawod - Technologie energii odnawialnej w szkołach
dla wykwalifikowanych pracowników przyszłości

Energie+Technik=Schule+Beruf - Erneuerbare Energietechnik macht Schule
für Fachkräfte der Zukunft

Partner projektu: Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Al. Piastów 17, PL 70-310 Szczecin

JAKIE MAMY OGNIWA SŁONECZNE?



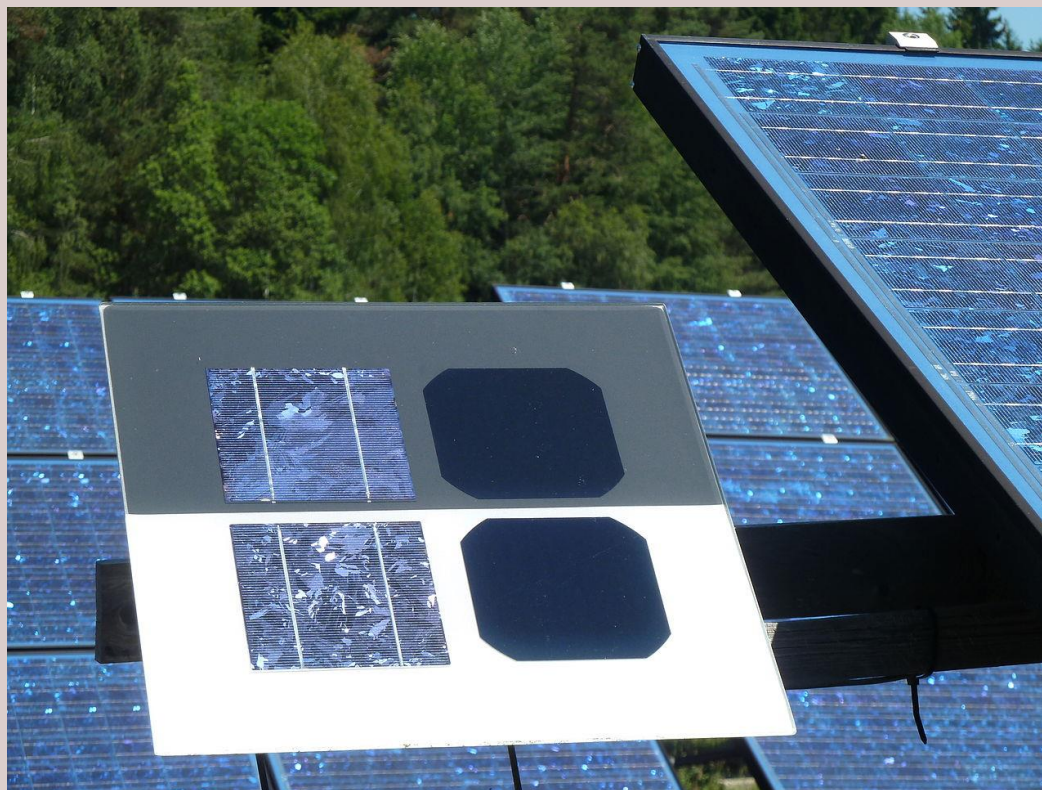
1. Grubowarstwowe (półprzewodniki)

Krzemowe ogniwa (mono- oraz polikrystaliczne) -

0.2-0.4 mm

18-20% sprawności

Polikrystaliczne oraz
monokrystaliczne ogniwa

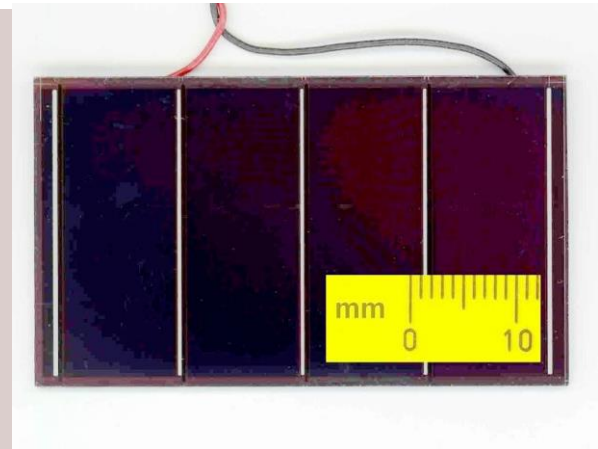


źródło: <https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle>

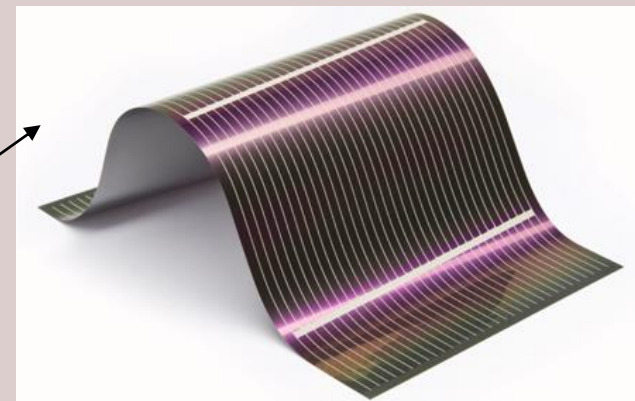
JAKIE MAMY OGNIWA SŁONECZNE?

2. Cienkowarstwowe (półprzewodniki):

- **Krzem amorficzny** (wymaga tylko 1% krzemu w porównaniu do konwencjonalnych ogniw), zastosowanie w małych urządzeniach (np. kalkulator), 10-20% sprawności
- **Arsenek galu** - 30% sprawności, zastosowanie w kosmosie
- **Tellurek kadmu** - 10% sprawności
- **Selenek miedzi, indu i galu** - ok. 17% sprawności



źródło: <https://de.wikipedia.org/wiki/Solarzelle>



źródło: www.itwissen.info/CIGS-copper-indium-gallium-selenide-CIGS-Modul.html

JAKIE MAMY OGNIWA SŁONECZNE?

- **Organiczne**

Dotychczas 12% sprawności i krótka żywotność (max. 5.000 h)

- **Uczulane barwnikiem – ogniwa Grätzel’a**

Organiczny barwnik zamienia światło na energię elektryczną,

10% sprawności i ograniczona żywotność ze względu na agresywne elektrolity

- **Elektrolity półprzewodnikowe**

Np. roztwór tlenku miedzi/ NaCl

Ograniczona wydajność i niezawodność



źródło: www.fmf.uni-freiburg.de/de/projekte/materialien-fuer-energiespeicherung-und-konversion-1



źródło: www.dbz.de/imgs/102510203_5aad19a683.jpg

PRODUKCJA KRZEMOWYCH OGNIW SŁONECZNYCH



- **Materiał bazowy krzem** - drugi najczęściej występujący pierwiastek chemiczny w skorupie ziemskiej
- Występuje w formie **krzemianów i piasku kwarcowego (SiO_2)**



PRODUKCJA KRZEMOWYCH OGNIW SŁONECZNYCH



Produkcja krzemu wysokiej czystości:

1. **Rozdzielanie atomów O_2 przy wysokich temperaturach ($2.000^{\circ}C$)**
= redukcja >> Rezultat: surowy krzem o czystości 98-99%
(polikrystaliczny)
2. **Czyszczenie surowego krzemu** np. przy użyciu chlorku wodoru >>
Wynik = trichlorosilan
3. **Depozycja krzemu** w temperaturze $1.000 - 1.200^{\circ}C$ w długich prętach >> Wynik: hiper czysty krzem (99.99% monokrystaliczny)



RODZAJE KRZEMOWYCH OGNIW SŁONECZNYCH



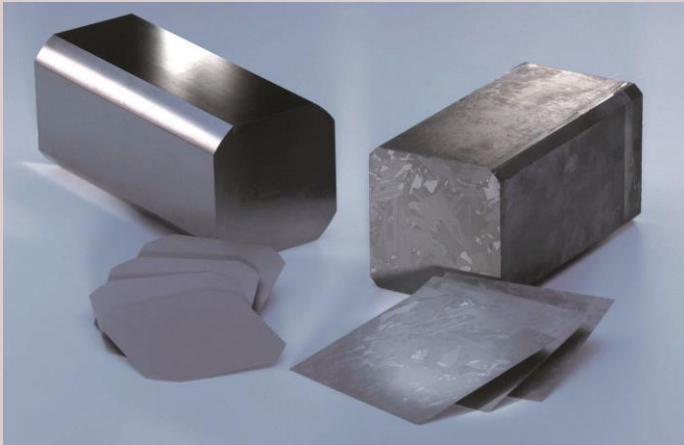
Typ	Sprawność η [%]	Struktura	Zastosowanie
Amorficzne ogniwa	10 - 12	Para krzemu lub innych półprzewodników osadzona na szklanej płycie	Małe urządzenia (kalkulator), moduły solarne
Polikrystaliczne ogniwa	14 - 20	Składa się z wielu małych kryształów	Moduły solarne
Monokrystaliczne ogniwa	15 - 22	Jeden duży kryształ krzemu	Moduły solarne, Solarmobil, lotnictwo

PRODUKCJA KRZEMOWYCH OGNIW SŁONECZNYCH

Produkcja ogniw monokrystalicznych

Topienie krzemu i odlew z tygla:

- Umieszczenie zarodka krystalizacji w wytopie a następnie jego powolne wyciągnięcie - wysokiej czystości krzem krystalizuje się na zarodku



Quelle: www.elektrotechnik.vogel.de



Quelle: www.euroquarz.de

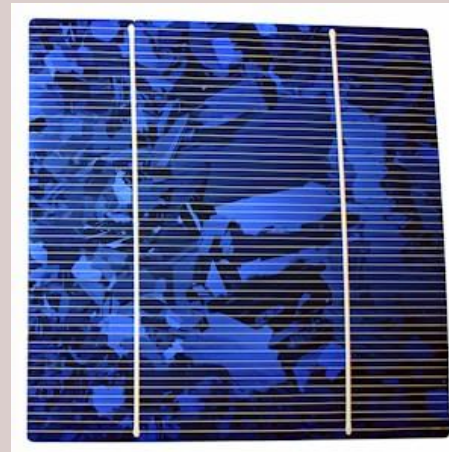
PRODUKCJA KRZEMOWYCH OGNIW SŁONECZNYCH:



Produkcja ogniw polikrystalicznych:

- Odlewanie sztabek krzemu
- Po ochłodzeniu tworzą się osobne, duże kryształy

Wycinanie wafli krzemowych



PRODUKCJA KRZEMOWYCH OGNIW SŁONECZNYCH



Wykończenie

- Domieszkowanie wafli
- Aplikacja transparentnej, antyrefleksyjnej powłoki
- Nakładanie kontaktów metodą sitodruku



**Jak powstają ogniwa fotowoltaiczne–
Wideo 7 min**

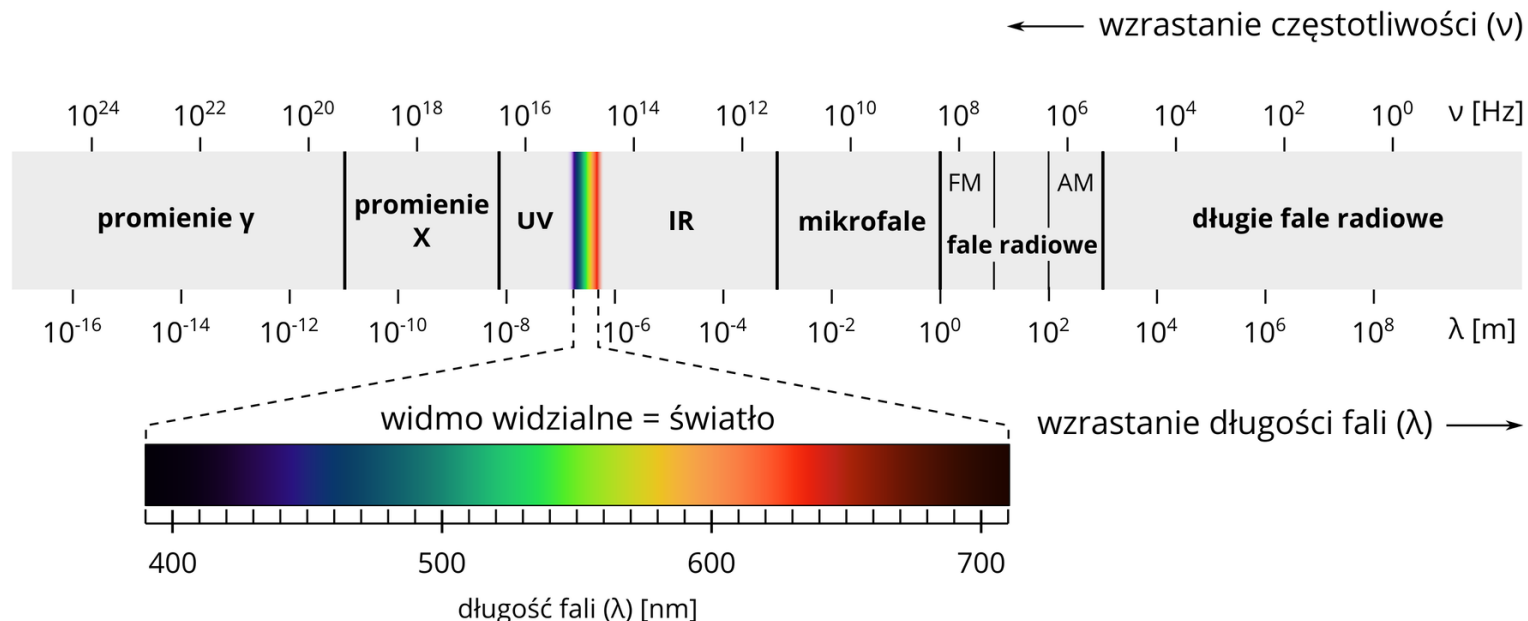
<https://www.youtube.com/watch?v=oHxhmXnB45E>

PYTANIA



- Co się dzieje w ogniwie słonecznym?
- W jaki sposób zamienia się światło na prąd?
- Jaką barwę ma światło?
- Jakie światło ma najwięcej energii?

JAKI KOLOR MA ŚWIATŁO?

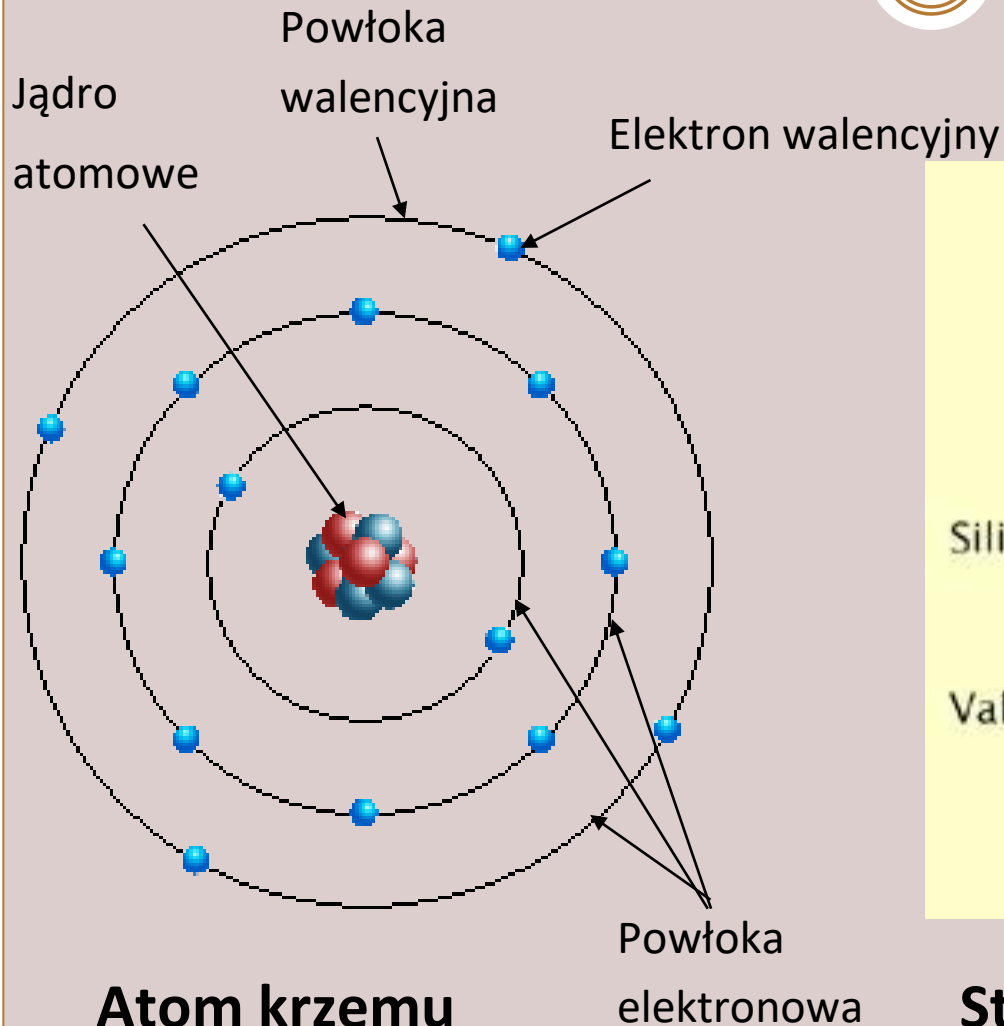


Źródło: <https://zpe.gov.pl/a/promieniowanie-termiczne-cial-stalych/D1BZobvVo>

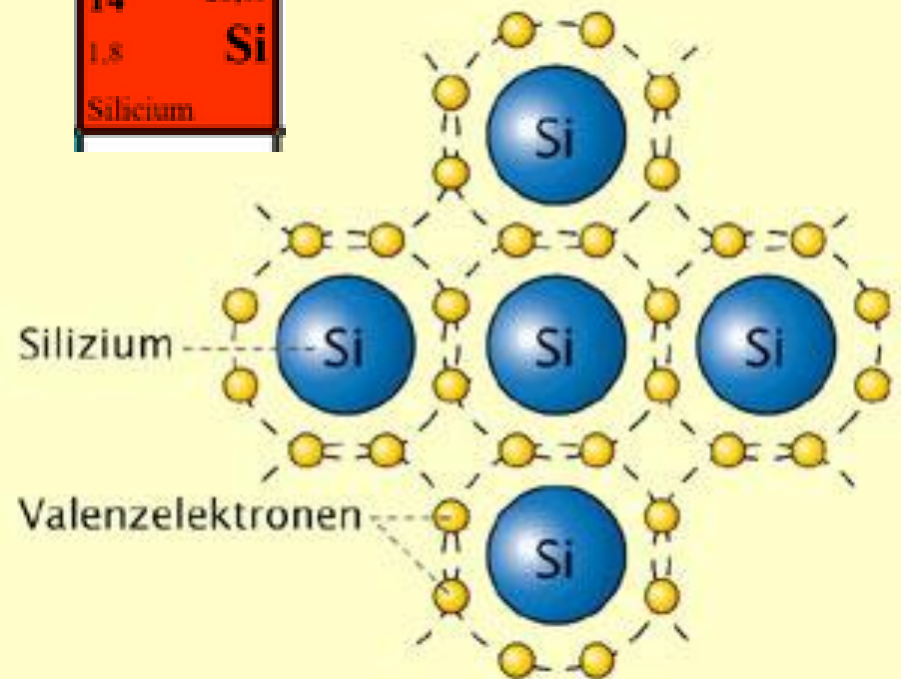
W fizyce kwantowej mówi się także o „kwantach światła”, których energia zależy od długości fali. Im krótsza długość fali, tym większa częstotliwość i większa energia kwantu.

Niebieskie światło ma więcej energii niż czerwone

KRZEM / STRUKTURA ATOMU I KRYSZTAŁU



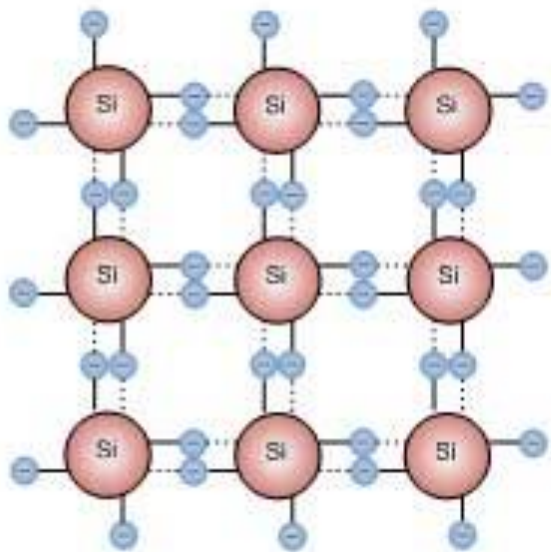
14	28,09
1,8	Si
Silicium	



Struktura kryształu krzemowego

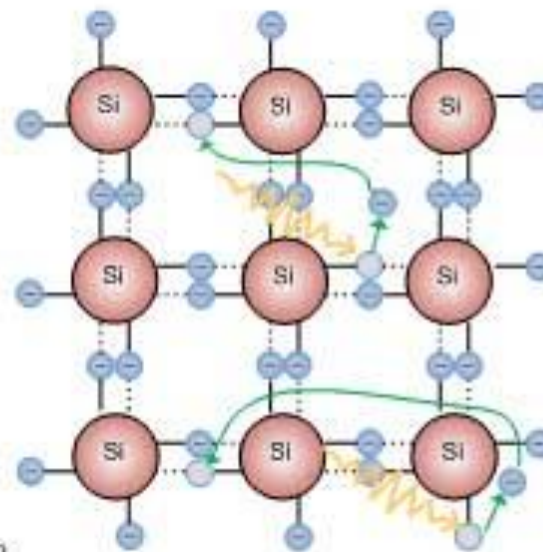
KRZEM – OGNIWO SŁONECZNE

Matryca ogniwa krzemowego (ok. 0 K, nieoświetlona)



© Norbert Auer 2013

Matryca ogniwa krzemowego- reakcja na światło



Jądro Si



Absorbpcja/
rekombinacja



Elektrony



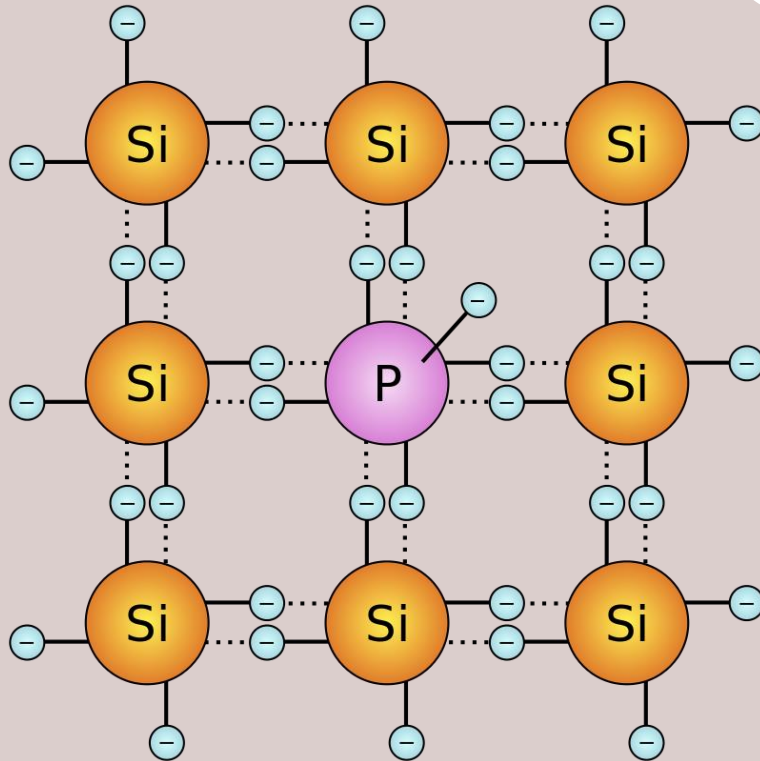
Dziury



Kwanty
światła

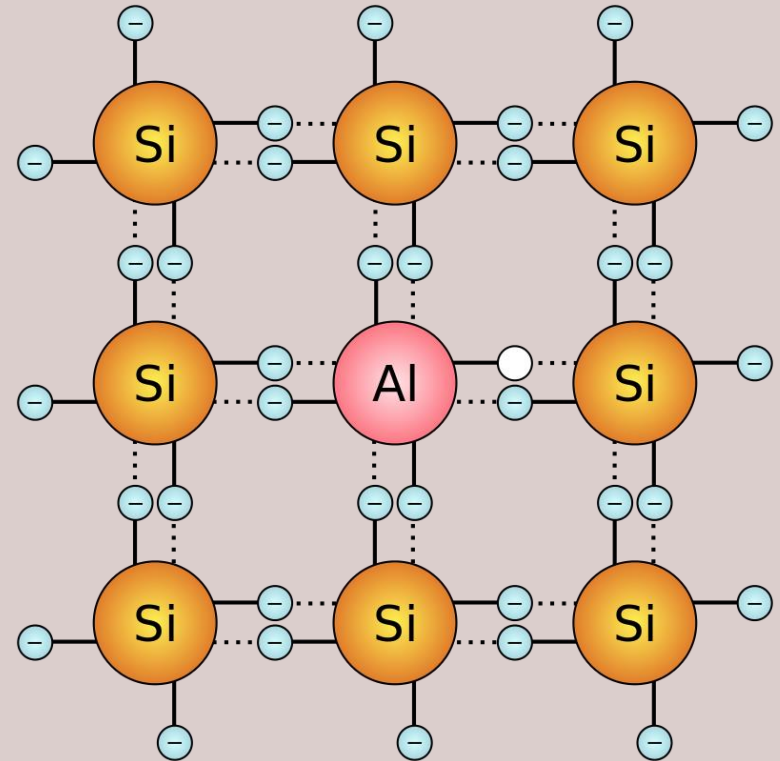
źródło: <https://photovoltaiksolarstrom.com/solarzelle-funktion/>

KRZEM – OGNIWO SŁONECZNE / WYŻSZA PRZEWODNOŚĆ DZIĘKI DOMIESZKOWANIU



Typ n: wprowadzenie 5 wartościowego pierwiastka w matrycę krzemową
>> 1 wolny elektron

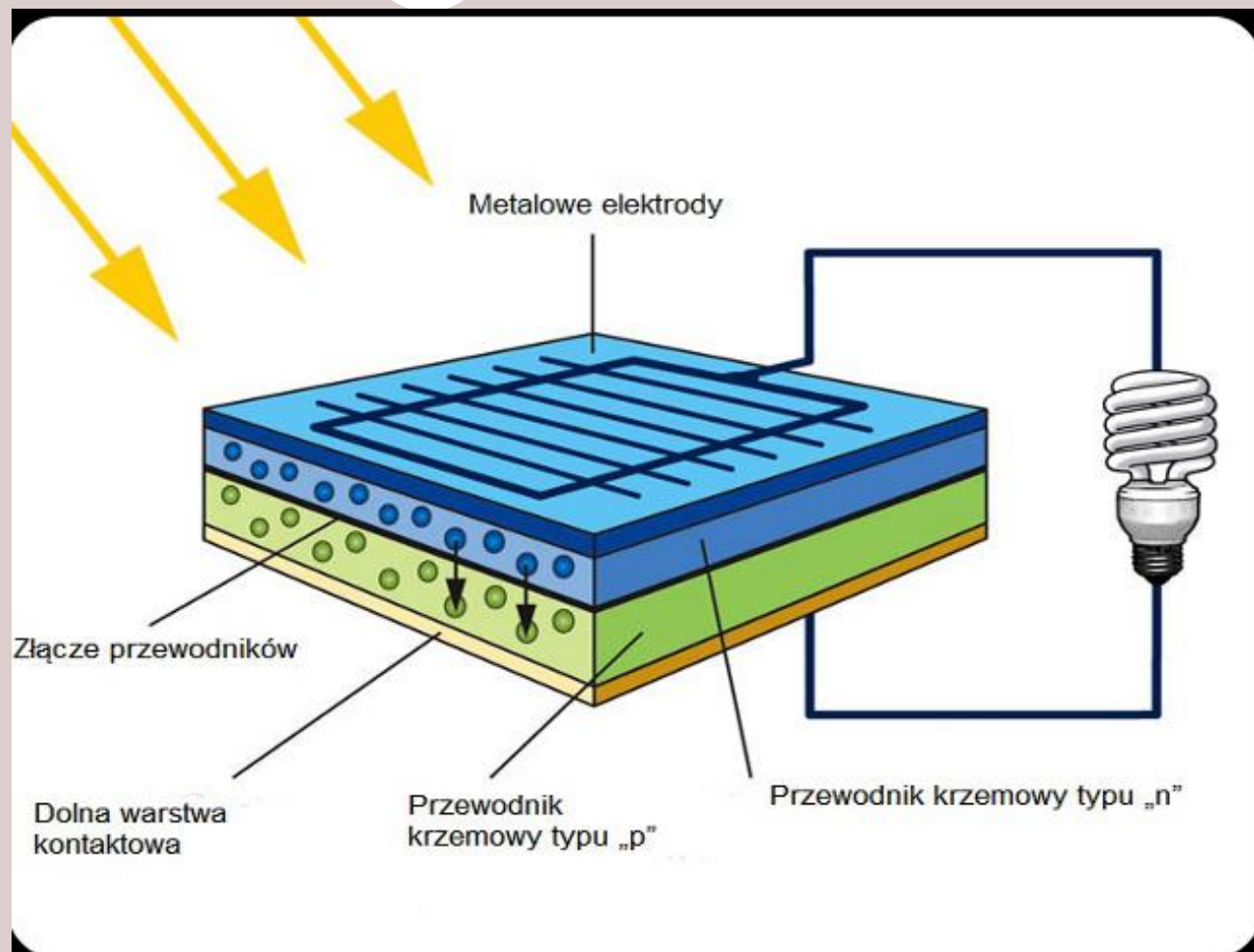
źródło: <https://de.wikipedia.org/wiki/Dotierung>



Typ p: wprowadzenie 3 wartościowego pierwiastka w matrycę krzemową >> dziura elektronowa

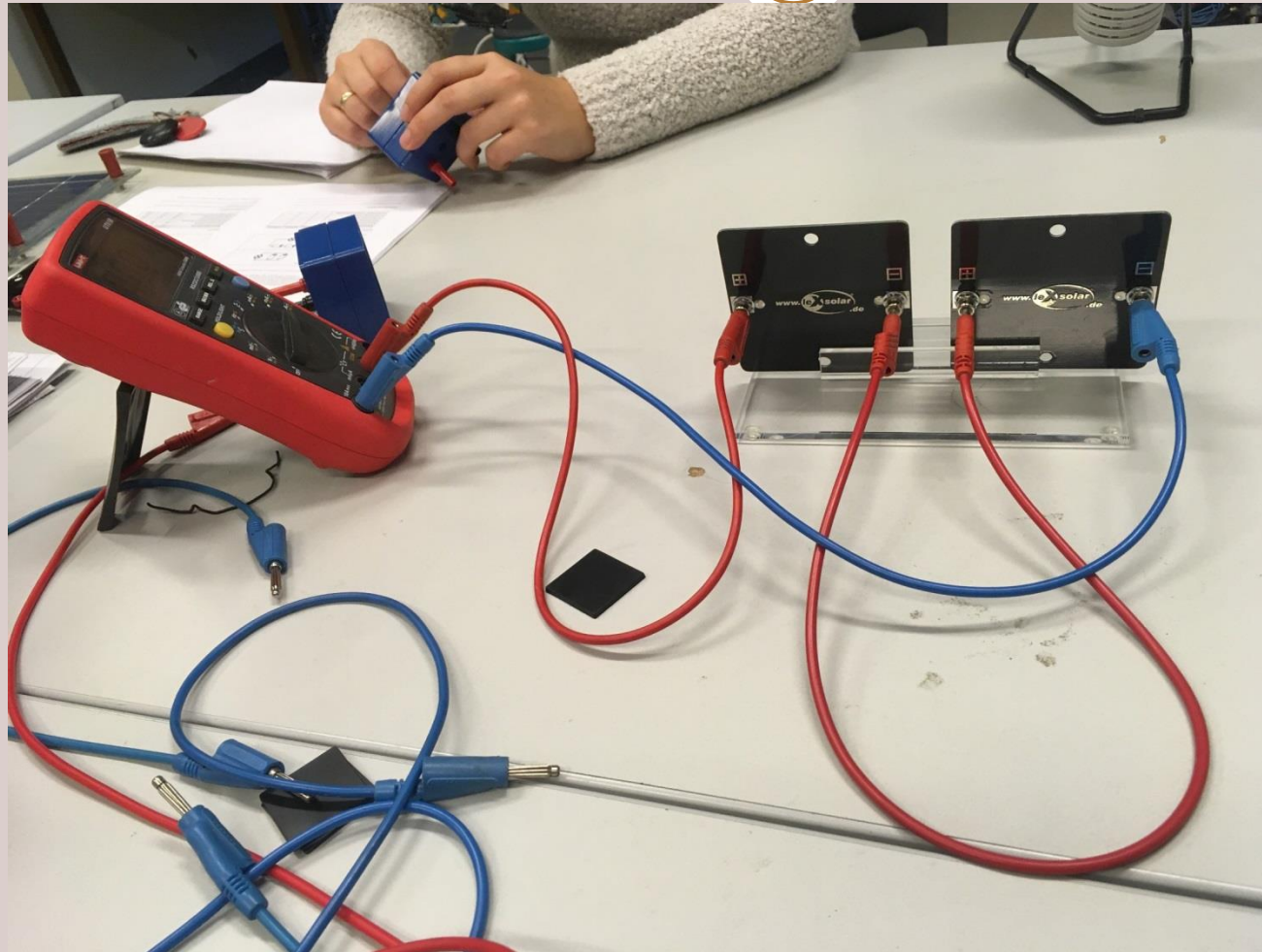
KRZEM – OGNIWO SŁONECZNE

Budowa ogniwa solarnego



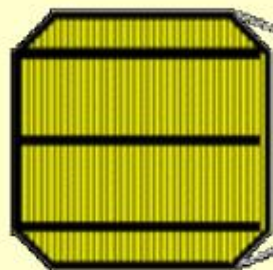
źródło: <https://www.zielona-firma.biz/fotowoltaika/ogniwo-sloneczne/>

EKSPERYMENTY Z ENERGIA SŁONECZNĄ

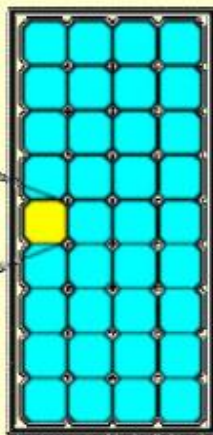


badanie
ogniwa
słonecznego

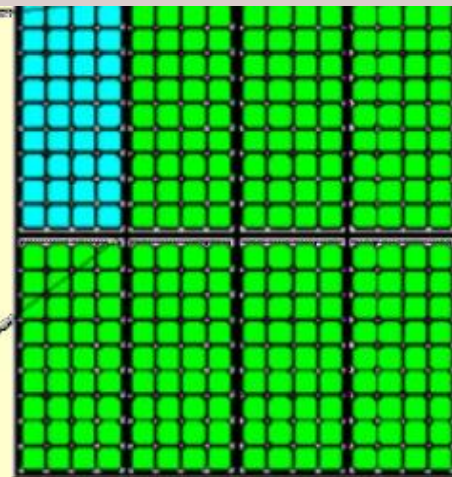
KRZEM OGNIWO SŁONECZNE – MODUŁ SOLARNY



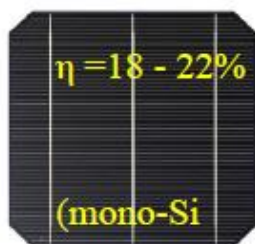
Ogniwo solarne



Moduł solarny

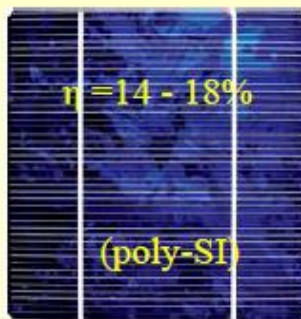


Panel solarny



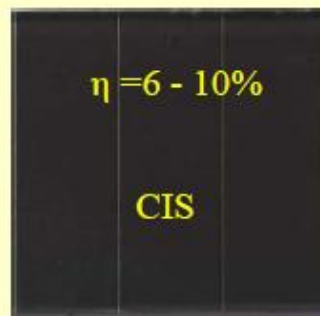
$\eta = 18 - 22\%$

(mono-Si)



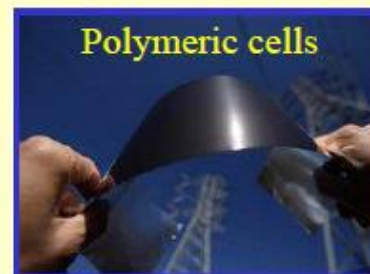
$\eta = 14 - 18\%$

(poly-Si)



$\eta = 6 - 10\%$

CIS



Polymeric cells

OGNIWO GRÄTZEL'A (OGNIWO BARWNIKOWE)

- Ogniwo Grätzel'a jest ogniwem słonecznym
- Nazwany na cześć wynalazcy- Michael Grätzel
- Zamiast krzemu do wytwarzania prądu jest użyty pewien barwnik
- Opracowane w latach 80-tych (patentowane w 1992)

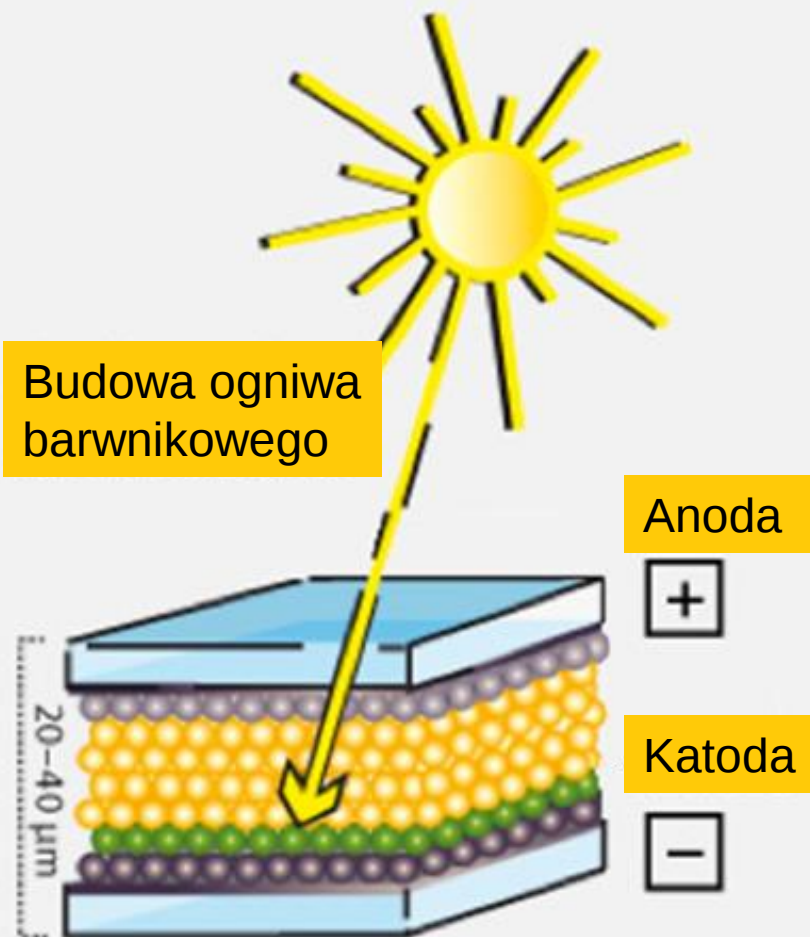


źródło: https://www.dbz.de/imgs/102510196_fb92cff33a.jpg



źródło: https://www.dbz.de/imgs/102510203_5aad19a683.jpg

OGNIWO GRÄTZEL'A (OGNIWO BARWNIKOWE) – JAK DZIAŁA?

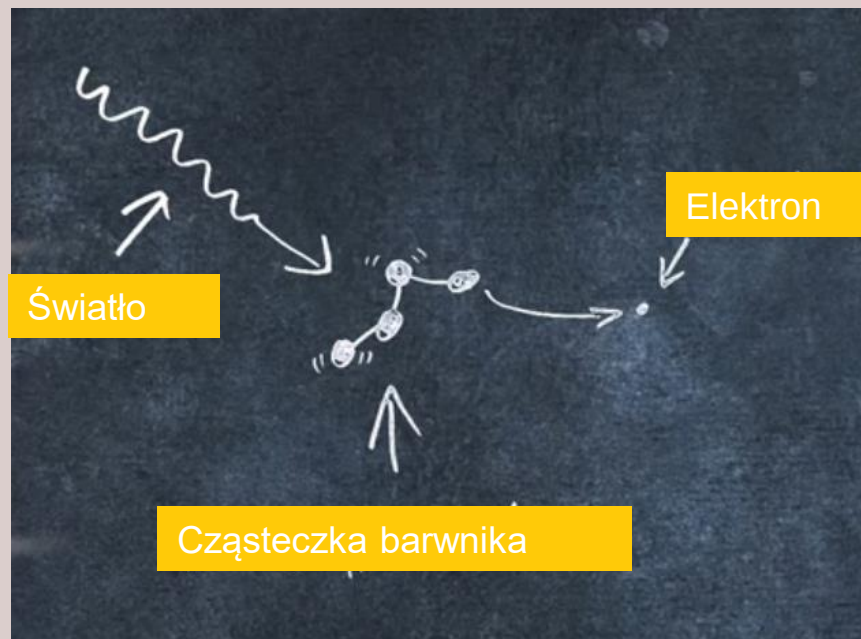


- Szkło (z naniesioną warstwą przewodzącą np. dwutlenku cyny)
- Półprzewodnik (przeważnie platyna)
- roztwór jodu w jodku potasu (elektrolit)
- Chlorofil
- Warstwa półprzewodnikowa (TiO_2)



OGNIWO GRÄTZEL'A (OGNIWO BARWNIKOWE) – JAK DZIAŁA?

- Działanie zainspirowane roślinami: zamiana światła na energię przy pomocy barwników
- Barwnik - ruten >> absorbuje światło
- Naświetlone cząstki barwnika osiągają stan o wyższej energii >> Cząsteczki oddają jeden ze swoich elektronów



Źródło:

https://www.youtube.com/watch?list=PLIK_JXw2dOnMox7oIM51MGbJzfCst92kU&v=qWvGNMwFwOk&feature=emb_title

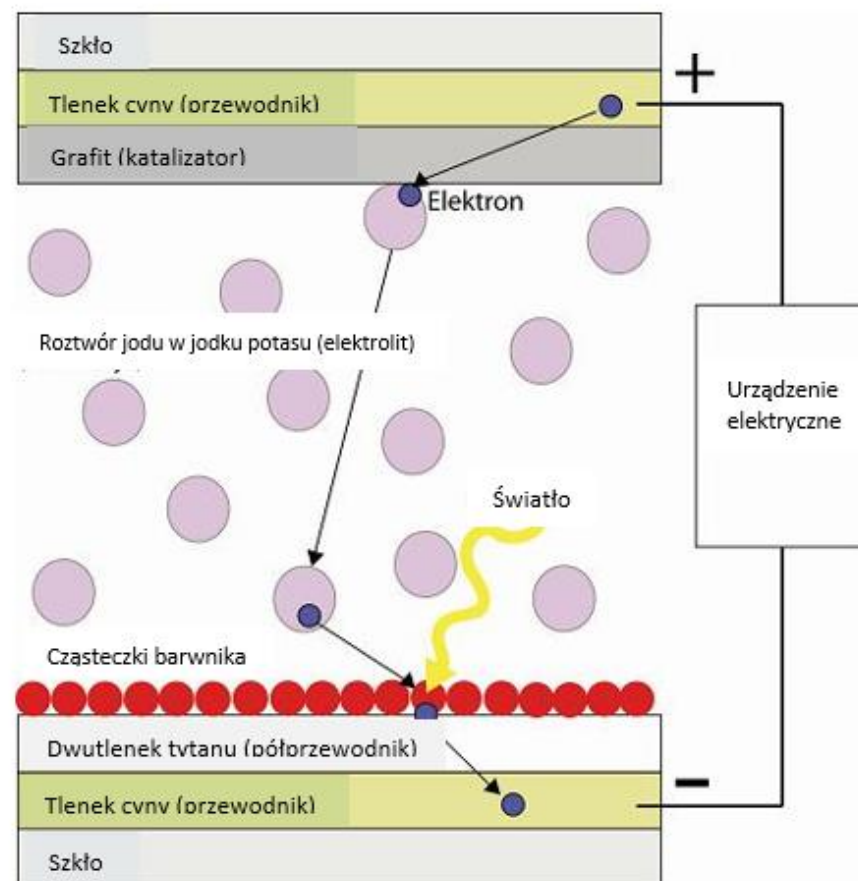
OGNIWO GRÄTZEL'A (OGNIWO BARWNIKOWE) – JAK DZIAŁA?

Potrzebne materiały

- ☑ 2 szklane płytki (np. slajdy mikroskopowe)
- ☑ Dwutlenek cyny (SnO_2)
- ☑ Dwutlenek tytanu (TiO_2) albo biała pasta do zębów
- ☑ Barwnik (np. Herbata z hibiskusa, sok winogronowy)
- ☑ Grafit (np. ołówek, węgiel drzewny)
- ☑ Elektrolit (np. NaCl lub KCl)
- ☑ Światło (np. lampa)
- ☑ Multimetr

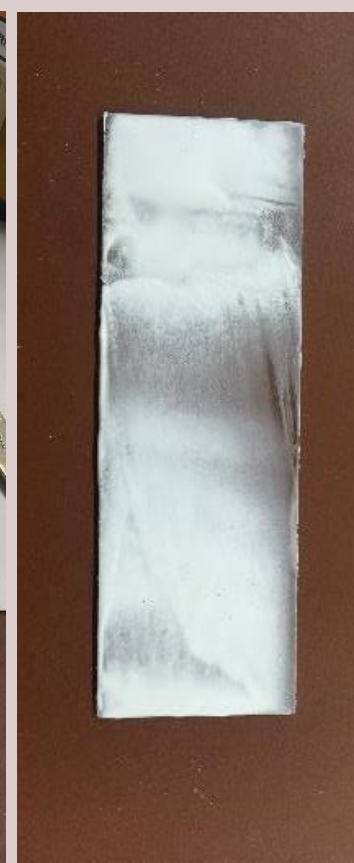
Dodatkowo będziesz potrzebować

- ☑ Pędzel lub szpatułka
- ☑ Taśma klejąca
- ☑ Strzykawka
- ☑ Wacik
- ☑ Woda destylowana
- ☑ Suszarka do włosów
- ☑ Podkład i fartuch



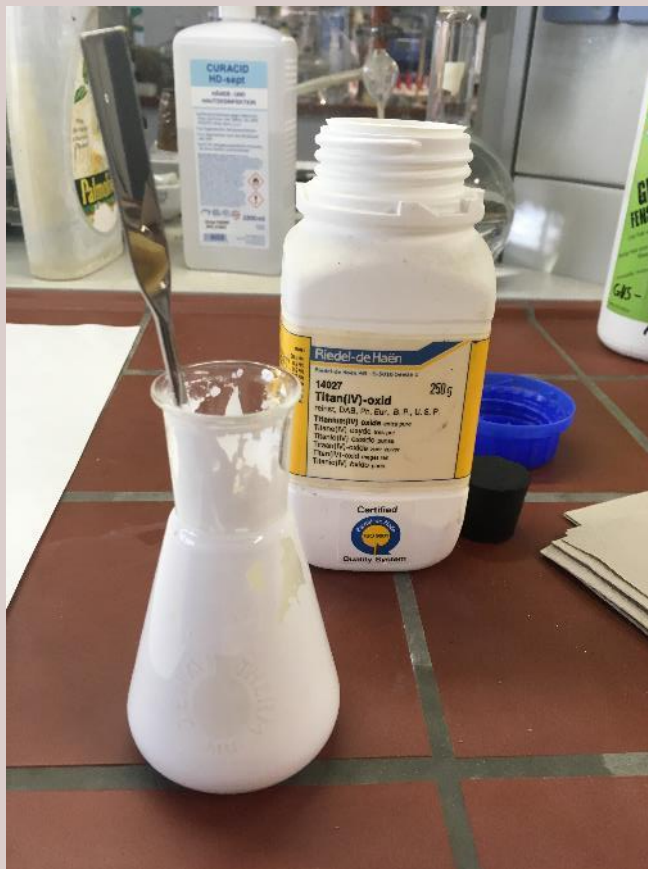
OGNIWO GRÄTZEL'A (OGNIWO BARWNIKOWE)- EKSPERYMENT

- **Krok 1:** Nałóż dwutlenek cyny lub chlorek cynku na dwa szklane nośniki i pozostaw do wyschnięcia



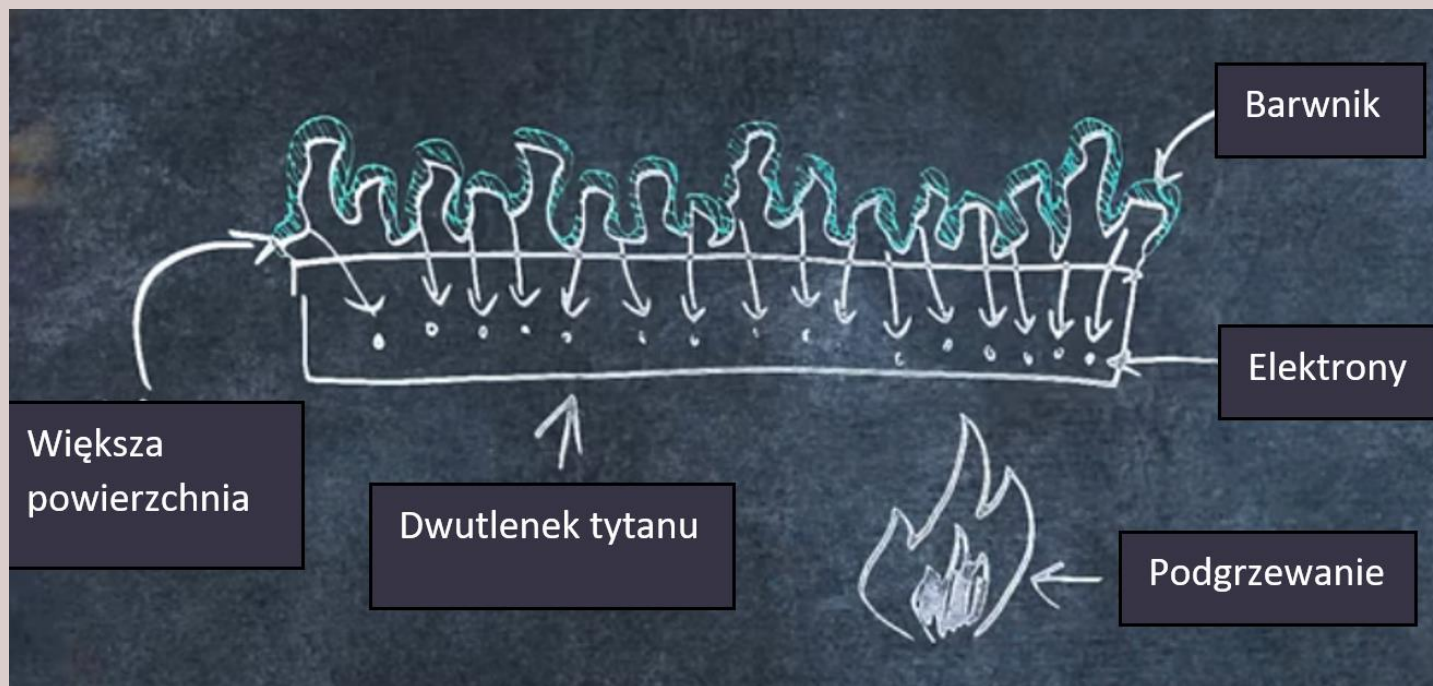
OGNIWO GRÄTZEL'A (OGNIWO BARWNIKOWE)- EKSPERYMENT

- **Krok 2:** Nałożyć dwutlenek tytanu jako drugą warstwę i wysuszyć suszarką



OGNIWO GRÄTZEL'A (OGNIWO BARWNIKOWE)- EKSPERYMENT

- Warstwa dwutlenku tytanu - po podgrzaniu tworzy się struktura o dużej powierzchni
- Barwnik może osadzać się na powierzchni
- Dwutlenek tytanu przewodzi **elektrony oddane przez barwnik przez elektrolit do anody**



Źródło: https://www.youtube.com/watch?list=PLIK_JXw2dOnMox7oIM51MGbJzfCst92kU&v=qWvGNMwFwOk&feature=emb_title

OGNIWO GRÄTZEL'A (OGNIWO BARWNIKOWE)- EKSPERYMENT

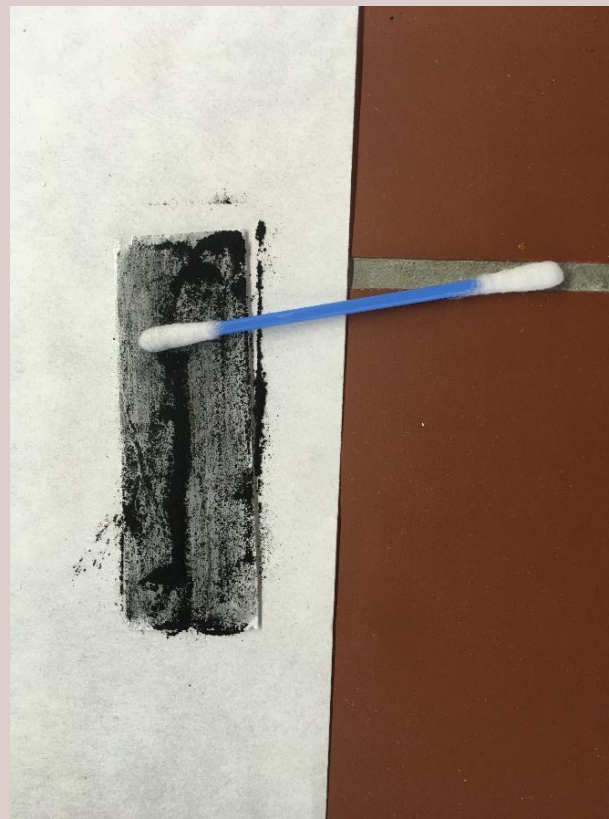
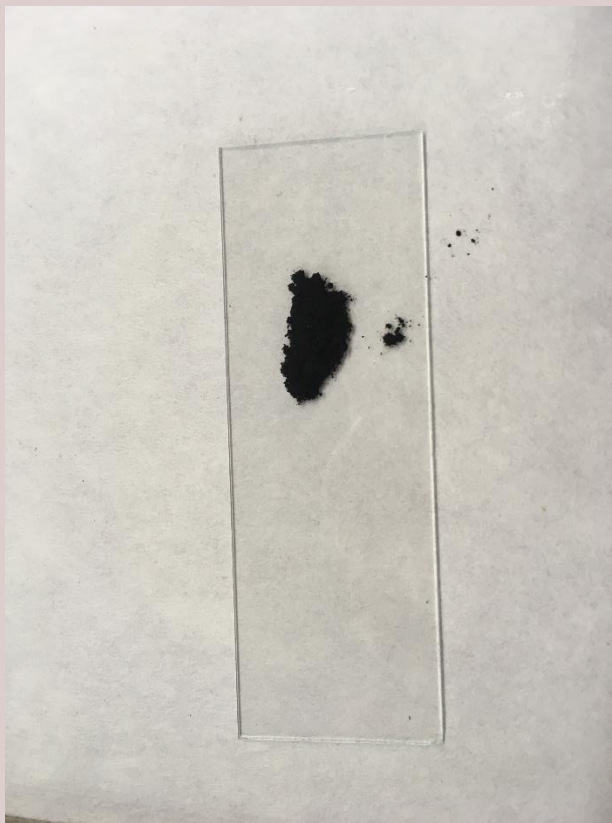


- **Krok 3:** Nałóż herbatę z hibiskusa, sok winogronowy lub inne barwniki jako trzecią warstwę i wysusz suszarką



OGNIWO GRÄTZEL'A (OGNIWO BARWNIKOWE)- EKSPERYMENT

- **Krok 4:** Pokryj grafitem (węgiel drzewny lub ołówek) drugi szklany nośnik (już wcześniej pokryty dwutlenkiem cyny)

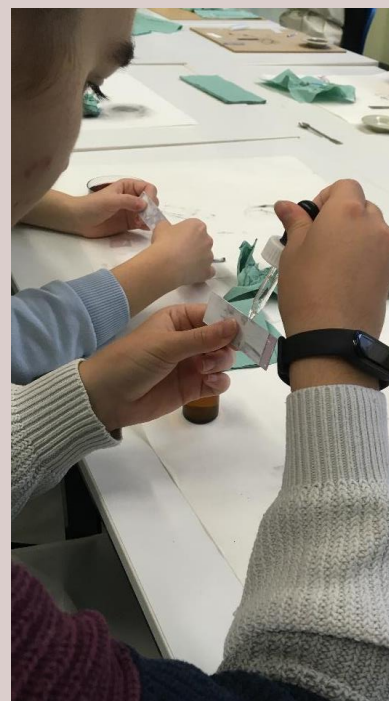


OGNIWO GRÄTZEL'A (OGNIWO BARWNIKOWE)- EKSPERYMENT



- **Krok 5:** Połącz dwa szklane nośniki z lekkim przesunięciem (warstwa barwnika powinna być na warstwie grafitu) i dodaj z boku po kropelce elektrolitu lub nakap na warstwę barwnika, lekko je dociśnij i w razie potrzeby skleić taśmą klejącą

Gotowe!!



OGNIWO GRÄTZEL'A (OGNIWO BARWNIKOWE)- EKSPERYMENT

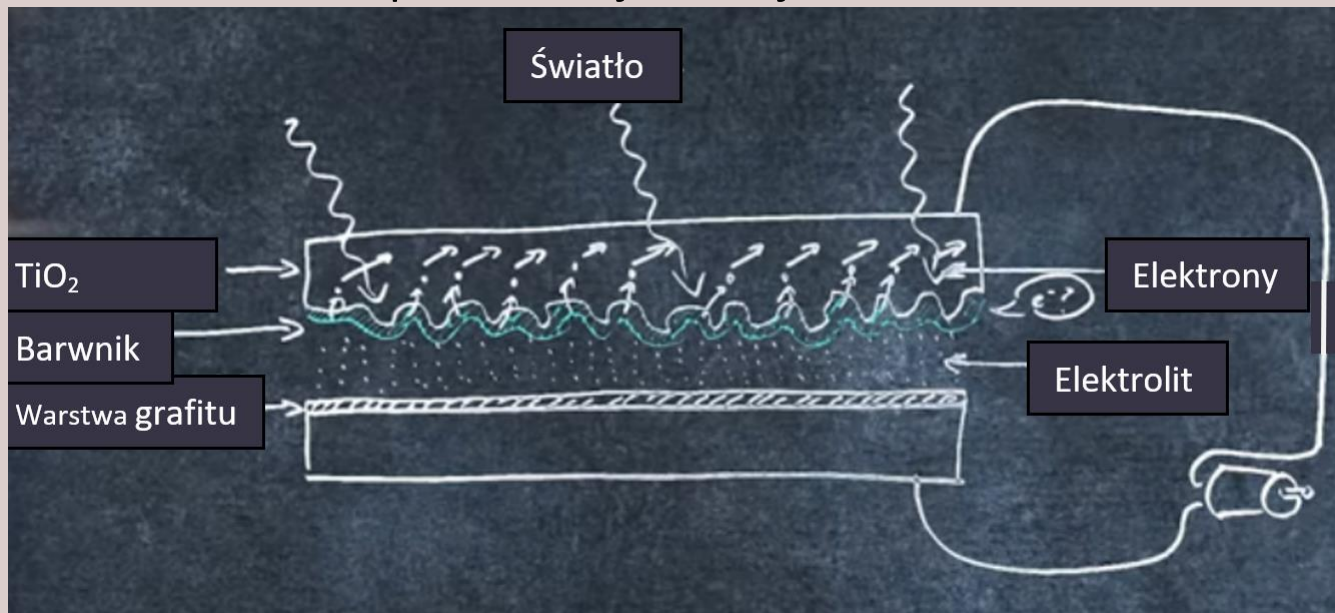


- **Krok 6:** Podłącz multimetr do ogniwa Grätzel'a (katoda i anoda) i zmierz napięcie



OGNIWO GRÄTZEL'A (OGNIWO BARWNIKOWE)- EKSPERYMENT

Elektrony uwolnione przez cząsteczkę barwnika docierają do anody (-) poprzez przewodzący je dwutlenek tytanu. Stamtąd są one prowadzone do katody (+) przez obwód zewnętrzny. Poprzez katodę (+) teraz już nie wzbudzony elektron wraca z powrotem do ogniwa przez cienką warstwę grafitu, który działa jak katalizator. Elektrony łączą się z elektrolitem, który transportuje je do barwnika i w efekcie końcowym temu barwnikowi ponownie je oddaje.



źródło: https://www.youtube.com/watch?list=PLIK_JXw2dOnMox7oIM51MGbJzfCst92kU&v=qWvGNMwFwOk&feature=emb_title