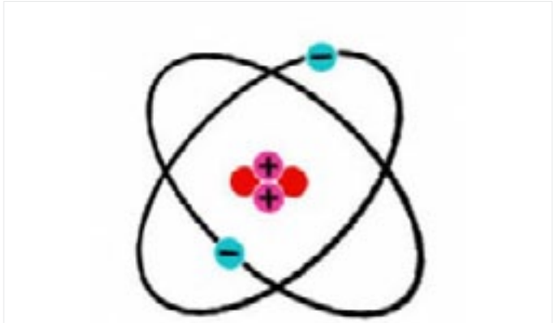
Ogniwa fotowoltaiczne i ich rodzaje

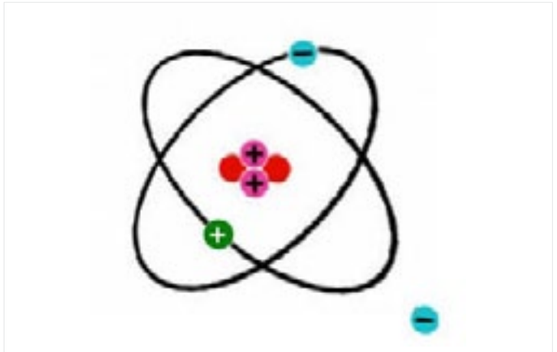
O budowie, działaniu i sprawności

KRZYSZTOF GNYRA

Rynek fotowoltaiki rozwija się bardzo dynamicznie. Stale poszukuje się nowych rozwiązań przetwarzania energii słonecznej na elektryczną. Przede wszystkim tanich w produkcji i o jak najwyższej sprawności. Niezależnie od tego, ogniwa PV możemy podzielić na trzy podstawowe generacje, w których stosuje się ogniwa PV wykonane z różnych materiałów i o różnej budowie.



1 Budowa atomu – jądro atomowe składające się z protonów: „+” i neutronów: „0”; elektrony krążące po różnych orbitach: „-”. Atom w stanie równowagi: 2 protony („+”) i 2 elektrony („-”)



2 Ucieczka elektronu z orbity, na której powstaje „dziura”, która ma ładunek dodatni („+”). Po ucieczce elektronu, ładunek elektryczny atomu zmienia się na dodatni – więcej „+” niż „-”. „Dziura” może zostać zapełniona przez inny elektron poruszający się w przewodniku

Najpierw: zasada działania ogniwa PV (fot. 1 i 2)

Żeby zobaczyć, jak działa ogniwo fotowoltaiczne, musimy zajrzeć do jego budowy na poziomie atomu. Każda rzecz i każdy materiał składa się z ogromnej liczby atomów.

Pojedynczy atom składa się z jądra, zbudowanego z protonów, które mają ładunek dodatni („+”) i neutronów o ładunku obojętnym („0”).

Wokół jądra, po różnych orbitach, krążą elektrony posiadające ładunek ujemny („-”), tzw. chmura elektronów.

Ładunek elektryczny atomu znajdującego się w stanie naturalnym wynosi: 0. Bo w każdym atomie jest tyle samo elektronów („-”), co protonów („+”). Jest to tzw. stan równowagi – tyle samo „plusów” co „minusów”.

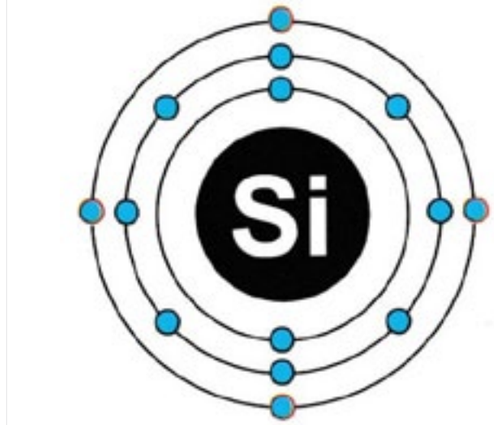
Na ostatniej powłoce, tzw. walencyjnej, znajdują się elektrony najsłabiej związane z jądrem atomu. Tym samym „łatwo” mogą uciec z tej orbity.

Uwolniony elektron może przemieszczać się w przewodniku. A ruch elektronów to nic innego, jak przepływ prądu elektrycznego.

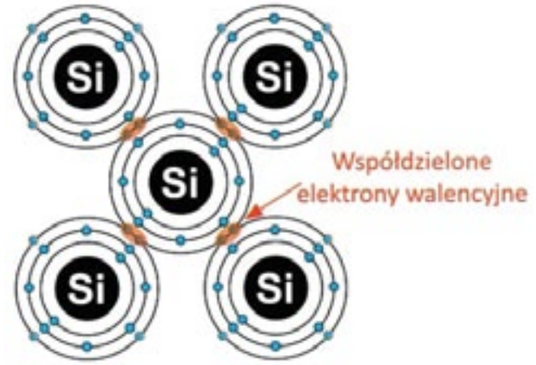
W miejscu sTąd uciekł elektron pozostaje tzw. dziura, która ma ładunek dodatni: „+”. W tym stanie atom zmienia swój ładunek elektryczny na dodatni, bo jest więcej protonów niż elektronów.

Dziura może zostać zapełniona przez inny elektron poruszający się w przewodniku.

Elektrony potrafią się przemieszczać w przewodach elektrycznych (i innych elementach przewodzących prąd), przenosząc tym samym energię – energię elektryczną. Nośnikami prądu są więc: elektrony i dziury.



3 Budowa atomu krzemu (Si)

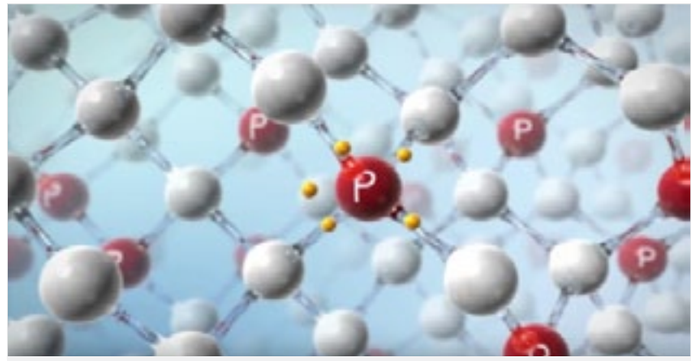


4 Budowa kryształu krzemu

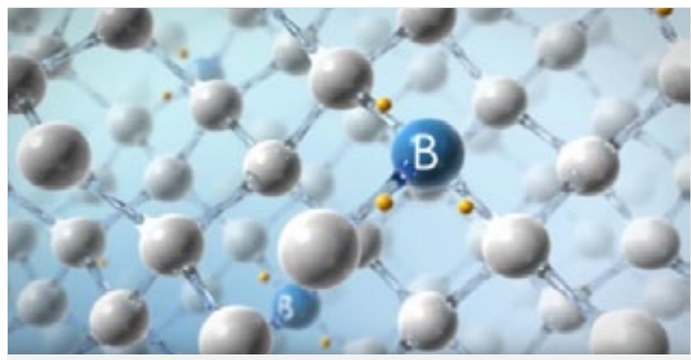
Krzemowe ogniwa fotowoltaiczne (fot. 3 i 4)

Krzemowe ogniwo fotowoltaiczne składa się z atomów krzemu. Pięć atomów tworzy komórkę elementarną kryształu krzemu. Mają one wspólne elektrony walencyjne (na ostatniej orbicie).

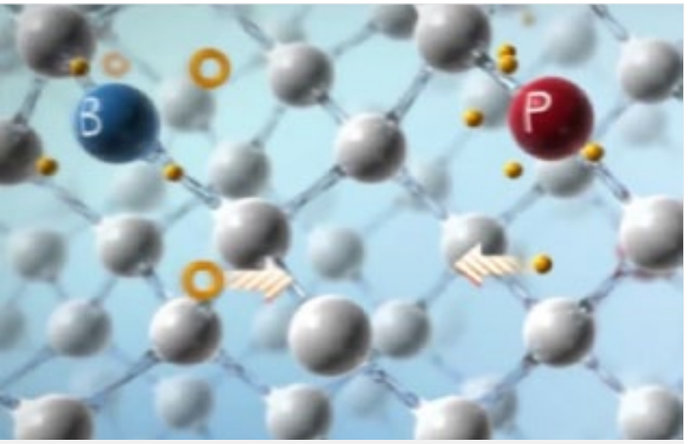
Atom krzemu ma cztery elektrony walencyjne. Łączą się one w pary z elektronami sąsiednich atomów.



5a Struktura atomowa krzemu z dodanymi atomami fosforu (P)



5b Struktura atomowa krzemu z dodanymi atomami boru (B)



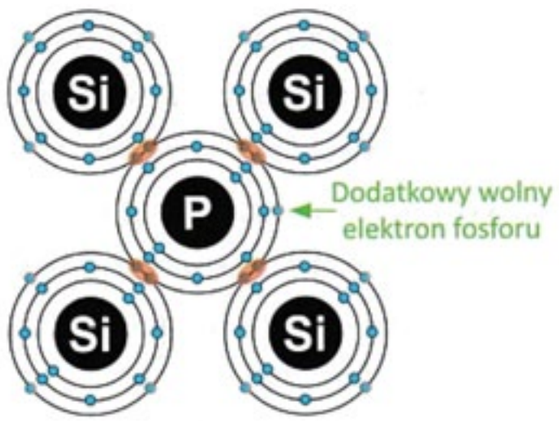
6 Negatywne elektrony („-”) i pozytywne dziury („+”) dążą do wyrównania potencjałów – zgodnie z zasadą, że przeciwieństwa przyciągają się do siebie

W efekcie tego, każdy atom krzemu otacza 8 elektronów walencyjnych: 4 własne i 4 z sąsiednich atomów. Czysty krzem nie zawiera zbyt wiele elektronów walencyjnych, co sprawia, że charakteryzuje się małą przewodnością. Dlatego stosuje się tzw. domieszkowanie, czyli do kryształu krzemu wprowadza atomy innych pierwiastków.
Uzyskuje się w ten sposób tzw. **półprzewodniki domieszkowane**, np. krzem typu „n” i typu „p” (fot. **7**).

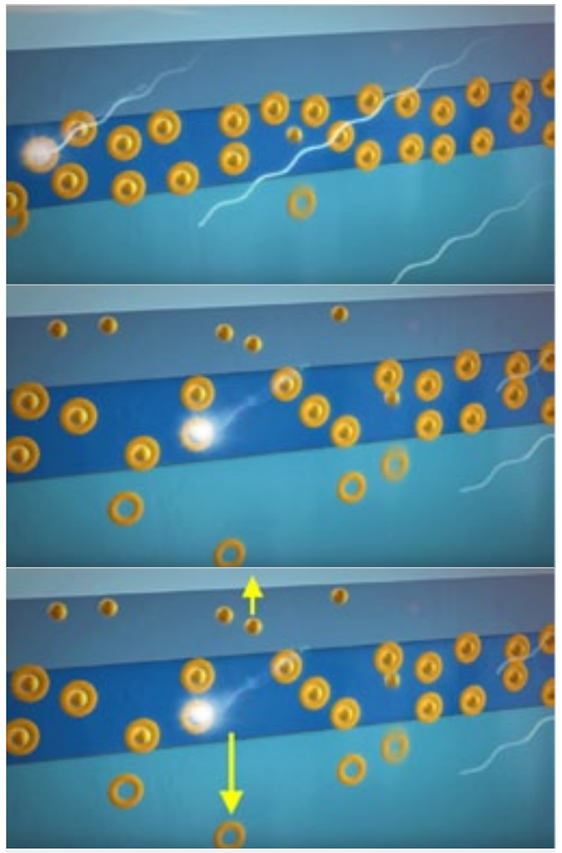
Aby wystąpił efekt fotowoltaiczny (fot. **5a** i **5b**), do kryształu krzemu wprowadza się atomy fosforu (P) i boru (B).Fosforem domieszkuje się tzw. **krzem typu n** (Si+P) – atom fosforu (P) zajmuje miejsce jednego atomu krzemu (Si). A że ma 5 elektronów walencyjnych, czyli o jeden więcej niż atom krzemu, pojawia się dodatkowy elektron pozbawiony pary („-”). **Krzem typu p** uzyskuje się przez domieszkowanie borem (Si+B). Tutaj również atom boru zastępuje jeden atom krzemu. Ma on 3 elektrony walencyjne, czyli o 1 mniej niż atom krzemu. Tym samym, w krysztale pojawia się „dziura” (o ładunku „+”).
W wyniku różnic liczby elektronów, negatywne elektrony („-”) i pozytywne dziury („+”), dążą do wyrównania potencjałów – zgodnie z zasadą, że przeciwieństwa przyciągają się do siebie. Inaczej mówiąc, elektrony chcą zapełnić dziury (fot. **6**).

Złącze typu „p-n”

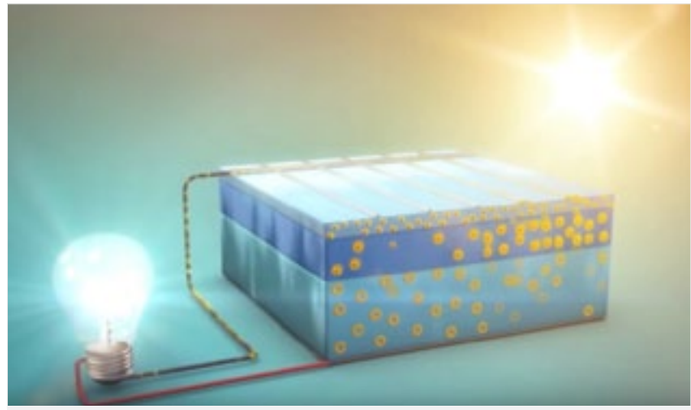
W ogniwie fotowoltaicznym możemy więc wyróżnić 2 warstwy o zróżnicowanej budowie atomowej. W dolnej krzem z borem (Si+B), a w górnej – krzem z fosforem (Si+P).
W sąsiedztwie tych warstw powstaje tzw. warstwa przejściowa, w której elektrony zapełniły dziury.
Proces poruszania się elektronów jest tym intensywniejszy, kiedy na ogniwo PV padają promienie słoneczne. Fotony padające na ogniwo docierają do warstwy przejściowej i rozbijają wiązania elektron-dziura, powodując tym samym oderwanie się elektronów, które mogą się przemieszczać (fot. **8**).
Elektrony przemieszczają się do obszaru krzemu typu „n”, a dziury do obszaru typu „p”. W efekcie tego, po obu stronach płytki ogniwa PV powstają odwrotnie naładowane pola elektryczne, których potencjał nieustannie wzrasta – przybywa elektronów w obszarze „n” i dziur w obszarze „p”.
Po nałożeniu na ogniwo słoneczne metalowych kontaktów (elektrod), elektrony wybierają drogę najmniejszego oporu, powodując przepływ energii elektrycznej przez odbiornik, np. żarówkę (fot. **9**).



7 Krzem typu „n” (po lewej), z jednym elektronem pozbawionym pary. Po prawej, krzemy typu „p” z jednym elektronem będącym w parze z dziurą



8 Promienie słoneczne (fotony) rozbijają wiązania i uwalniają elektrony, które mogą się przemieszczać



9 Przepływ elektronów z obszaru „n” (Si+P), przez odbiornik, do obszaru „p” (Si+B)

Podsumowując, zasada działania ogniwa PV opiera się na absorbowaniu promieniowania świetlnego (słonecznego, sztucznego), docierającego do odpowiednio ukształtowanej struktury z krzemu, która stanowi diodę półprzewodnikową, czyli złącze p-n.

Rodzaje ogniw PV

Rynek fotowoltaiki rozwija się bardzo dynamicznie. Stale poszukuje się nowych rozwiązań przetwarzania energii słonecznej na elektryczną. Przede wszystkim tanich w produkcji i o jak najwyższej sprawności. Niezależnie od tego, ogniwa PV możemy podzielić na trzy podstawowe generacje, w których stosuje się ogniwa PV wykonane z różnych materiałów i o różnej budowie. Istnieje wiele kryteriów podziału ogniw PV i produkowanych z nich modułów fotowoltaicznych.

Ogniwa I generacji

Są to ogniwa z krzemu z pojedynczymi złączami typu p-n. Produkowane są niemal w 100% z krzemu i mają tradycyjne złącze p-n. Moduły wykonane z ogniw I generacji dominują na rynku ze względu na korzystny sto-

Fot. Viessmann

10 Moduł monokrystaliczny

sunek ceny do sprawności, która wynosi ok. 15-23%. W tej grupie spotkamy moduły PV: monokrystaliczne i polikrystaliczne.

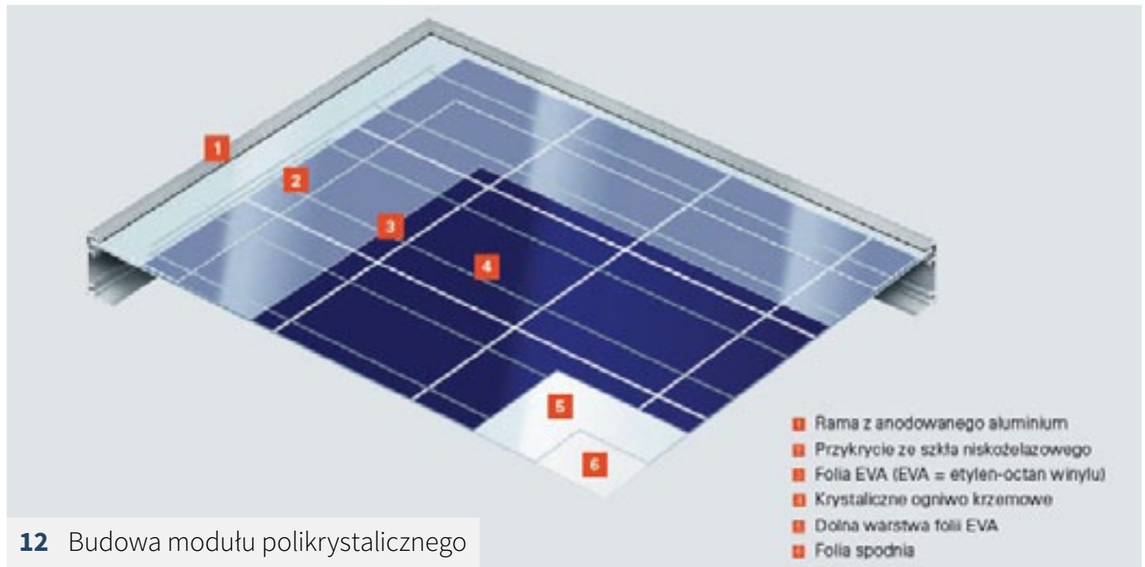
Fot. Viessmann

11 Marmurkowa struktura ogniw polikrystalicznych

Moduły monokrystaliczne (fot. 10) – składają się z ogniw monokrystalicznych, które mają charakterystyczne ścięte rogi. Sprawność modułu wynosi zwykle: 20-23%, a moc modułu: ok. 300 Wp.

Moduły polikrystaliczne (fot. 11, 12, 13) – wykonane z ogniw polikrystalicznych. Sprawność modułu wynosi zwykle między: 16-18%, moc ok. 250-280 Wp. Ogniwa składają się z kwadratowych płytek, bez ścięcia. Nie mają jednolitego koloru – w niektórych miejscach ogniwo ma jaśniejszy, a w innych ciemniejszy kolor. Do ogniwa może zostać dodany barwnik, przez co uzyskuje się bardziej jednolity kolor. Stosowane są również specjalne przyciemniane szyby (barwione), które „zasłaniają" kolor ogniwa krzemowego, przez co uzyskuje się lepszy efekt wizualny. Jeszcze do niedawna moduły monokrystaliczne były znacznie droższe od polikrystalicznych – droższe o ok. 50%. Obecnie, ta różnica nie jest tak duża i można powiedzieć, że stopniowo zanika.

Fot. Viessmann



12 Budowa modułu polikrystalicznego

Ogniwa II generacji (fot. 14)

Ogniwa te określane są jako cienkowarstwowe. Są to ogniwa zbudowane często z innych pierwiastków niż krzem, np. tellurku kadmu (CdTe), mieszaniny miedzi, galu, indu, selenu (CIGS) lub z krzemu amorficznego, który znacznie łatwiej uzyskać niż krzem monokrystaliczny. Proces produkcji takich ogniw jest mniej energochłonny i łatwiejszy, w porównaniu z ogniwami krzemowymi. Są przez to znacznie tańsze w produkcji, jak również tańsze dla klienta końcowego.

Główną wadą ich jest niska sprawność, sięgająca ok. 7-16%. Dlatego są rzadziej stosowane, bo mniejsza sprawność oznacza konieczność zastosowania większej liczby modułów (moduły zajmują większą powierzchnię np. dachu).

Perowskity

Nowa technologia ogniw cienkowarstwowych opracowana przez Polkę, Olgę Malinkiewicz. Charakteryzuje się szybką i łatwą produkcją. Polega na naniesieniu sprayem cienkiej warstwy perowskitów na dowolny materiał, np. na folię. Sprawność dochodzi do 20%, w przyszłości może osiągnąć nawet 30%. Cena perowskitu, w przeliczeniu na moc, jest nawet 10-krotnie niższa od krzemu. Ale perowskity mają znacznie krótszą żywotność od krzemu. Technologia ta jest obecnie badana i udoskonalana.

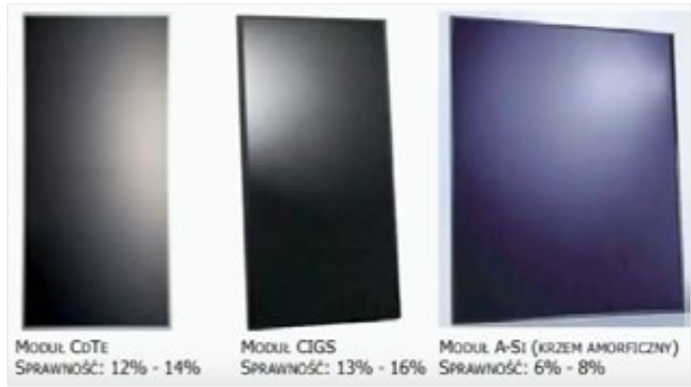
Ogniwa III generacji

Ciągle trwa poszukiwanie rozwiązań jako alternatywy dla złączy p-n, np. technologie bazujące na podpatrywaniu roślin (fotosynteza), wykorzystaniu różnej rozszerzalności materiałów itp.

Najpopularniejsze w tej grupie są ogniwa DSSC oraz ogniwa polimerowe. Ich sprawność nie przekracza zwykle ok. 5%, ale zaletą jest bardzo niski koszt produkcji. W chwili obecnej mają minimalny udział w rynku, ale w ciągu kilku lat może się to zmienić.

Fot. Viessmann

13 Polikrystaliczne moduły PV



14 Przykłady modułów II generacji

Każdego roku zauważyć można wiele nowości wprowadzanych na rynek fotowoltaiki. Zmiany w konstrukcji modułów lub ich ogniw, coraz wyższa sprawność modułów, poszukiwanie całkiem nowych rozwiązań itd. Warto być na bieżąco i śledzić branżę, żeby wiedzieć „co w trawie piszczy".

Ciekawostka: Fotoogniwo III generacji – bateria słoneczna z jeżyn