

# Baterie słoneczne

Dr Małgorzata GÓRSKA

## 1. Wykorzystanie energii słonecznej

Ostatnio coraz częściej mówi się o „kryzysie energetycznym”, to znaczy o wyczerpaniu się podstawowych surowców energetycznych, takich jak ropa naftowa i węgiel.

W poszukiwaniach nowych źródeł energii zwrócono uwagę na możliwość wykorzystania energii słonecznej. Ma ona wiele zalet — jest powszechnie dostępna, bezpłatna (jak dotąd), niewyczerpalna przynajmniej przez następnych kilka miliardów lat, bezpieczna i w dodatku nie niszczy środowiska. Wykorzystanie promieniowania słonecznego nie jest zresztą pomysłem nowym — przeciwnie, jest dosłownie „stare jak świat”. Rośliny czerpią energię do życia wyłącznie ze Słońca, a używane przez nas powszechnie paliwa w postaci drewna, węgla czy ropy naftowej są właśnie pochodzenia roślinnego. Tak więc wykorzystujemy energię słoneczną zmagazynowaną przez rośliny w ciągu kilku okresów geologicznych. Niestety, zapasy te wyczerpujemy znacznie prędzej niż możemy liczyć na ich odnowienie i dlatego teraz poszukujemy szybszych i bardziej bezpośrednich sposobów wykorzystania energii słonecznej. Konwencjonalne metody to wykorzystanie siły wiatru i spadku wód (nie należy zapominać, że zawdzięczamy je oddziaływaniu Słońca na atmosferę). Nowocześniejsze jest wykorzystanie promieniowania słonecznego w zakresie podczerwieni — ciepła i w zakresie widzialnym — światła. Skoncentrowaną wiązką promieniowania słonecznego można np. nagrzać do temperatury kilkuset stopni grzejnik silnika cieplnego — można w ten sposób wykorzystać około 25% dostarczonego ciepła.

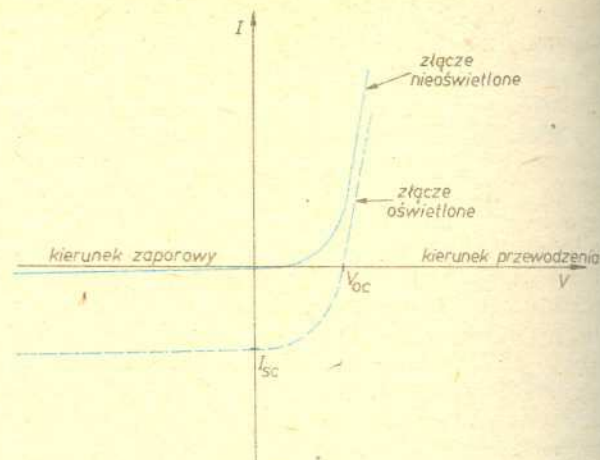
Promieniowanie w zakresie widzialnym możemy za to przekształcić bezpośrednio w energię elektryczną. Urządzenia służące do tego celu to właśnie baterie słoneczne, które działają dzięki istnieniu efektu fotowoltaicznego.

## 2. Efekt fotowoltaiczny

W półprzewodniku część elektronów należy do wiązań atomowych i ma ograniczone możliwości ruchu, a część może swobodnie poruszać się w kryształach i te elektrony mają oczywiście wyższe energie. Różnica między najwyższą energią dostępną elektronom wiązań i najniższą, jaką mają elektrony swobodne, zwana jest przerwą energetyczną. Jeżeli elektron wiązania uzyska energię równą lub większą od tej przerwy, to może oderwać się od wiązania i stać się elektronem swobodnym, pozostawiając lukę w wiązaniach. Luki takie można opisać jako cząstki o ładunku dodatnim, zwane dziurami. Jeżeli w półprzewodniku liczba elektronów swobodnych przewyższa znacznie liczbę dziur (różnica takie powstają w wyniku obecności defektów lub domieszek), to nazywamy go półprzewodnikiem typu n, typu p zaś, gdy dziur jest znacznie więcej niż elektronów swobodnych.

Układ, w którym półprzewodnik typu p i półprzewodnik typu n znajdują się w bezpośrednim kontakcie, zwany jest złączem p-n. Charakterystyka prądowo-napięciowa złącza p-n przedstawiona jest na rys. 1 linią ciągłą. Jest ona, jak widać, niesymetryczna. Gdy dodatni biegun napięcia przyłożymy do obszaru p, a ujemny do obszaru n, to taki kierunek pola sprzyja dyfuzji swobodnych elektronów z obszaru n do p (i dziur w przeciwnym kierunku) i powoduje przepływ prądu. Jest to kierunek przewodzenia. Odwrotne przyłożenie napięcia powoduje opróżnienie obszaru złącza ze swobodnych nośników

i zahamowanie dyfuzji, a więc prąd przestanie płynąć. Ścisłej mówiąc, będzie płynął prąd, ale bardzo mały, ograniczony małą liczbą swobodnych elektronów w półprzewodniku typu p i dziur w półprzewodniku typu n. Ten kierunek napięcia i prądu nazywamy kierunkiem zaporowym.



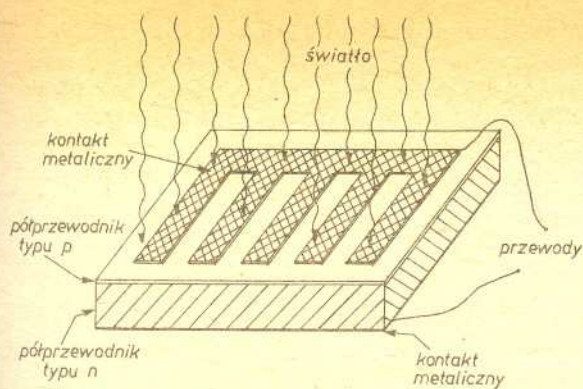
Rys. 1. Charakterystyka prądowo-napięciowa złącza p-n.

Energia fotonu w widzialnej części promieniowania słonecznego jest większa niż przerwa energetyczna w typowych półprzewodnikach. Światło padające na półprzewodnik może więc przekazać swą energię elektronom wiązań, które dzięki temu mogą stać się elektronami swobodnymi (pozostawiając po sobie dziury). Jeżeli oświetlimy złącze p-n, to po obu stronach złącza powstanie dodatkowa liczba swobodnych elektronów i dziur. Zwiększenie liczby swobodnych elektronów po stronie p i dziur po stronie n złącza spowoduje wzrost prądu zaporowego (jego natężenie, jak pamiętamy, zależy właśnie od liczby tych nośników). Charakterystyka prądowo-napięciowa złącza „przesunie się” więc pod wpływem oświetlenia w kierunku zaporowym o wartość prądu ( $I_{sc}$ ) proporcjonalną do natężenia światła. Jest ona zaznaczona na rys. 1 linią przerywaną. Na rysunku tym widać również, że gdy prąd nie płynie (a więc gdy obwód jest otwarty), na końcach złącza powstanie pod wpływem oświetlenia napięcie ( $V_{oc}$ ). Jak się okazuje, nie może być ono dowolnie duże. Jego wartość nie przekracza wartości przerwy energetycznej podzielonej przez ładunek elektronu (w typowych złączach od 1 do 2 V). Powstawanie napięcia pod wpływem oświetlenia to właśnie efekt fotowoltaiczny.

## 3. Baterie słoneczne

Złącze p-n, w którym pod wpływem światła słonecznego powstaje napięcie, to ogniwo słoneczne. Takie ogniwo naszkicowane jest w powiększeniu na rys. 2 (w praktyce grubość ogniwa nie przekracza 0,5 mm). Na kryształach typu n osadzona jest cienka warstwa typu p (lub odwrotnie, to nie ma większego znaczenia). Światło pada na całą powierzchnię warstwy. Jeżeli jest ona dostatecznie cienka — od kilku do kilkudziesięciu mikronów — to światło przenika przez nią i dociera do granicy z półprzewodnikiem typu n, a więc do obszaru złącza, gdzie wywołuje efekt fotowoltaiczny. W ten sposób wykorzystujemy całą powierzchnię złącza, a nie tylko jej część, jak przy oświetleniu bocznym. Kontakt prądowy od strony oświetlonej ma zwykle kształt siatkowy lub „grzebieniowy” — aby nie zasłaniać światła, a jednocześnie zapewnić równomierny przepływ prądu przez całe ogniwo.

Kilka takich ogniw połączonych szeregowo lub równolegle tworzy zapowiedzianą w tytule baterię słoneczną.



Rys. 2. Schematyczny szkic ogniw słonecznych.

Z jakich półprzewodników robi się baterie słoneczne? Przede wszystkim — z krzemu. Baterie krzemowe są to na razie jedyne baterie, które działają niezawodnie i weszły do produkcji na skalę przemysłową. Krzem jest materiałem tanim i dostępnym — otrzymuje się go z  $\text{SiO}_2$ , czyli po prostu — z piasku! Niestety — krzem jako materiał jest wprawdzie tani, ale za to technologia otrzymywania krzemu półprzewodnikowego — bardzo droga. Dlatego też ostatnio poszukuje się coraz intensywniej półprzewodników, z których można by robić tanie baterie słoneczne (choćby nawet nieco gorsze niż krzemowe). Otrzymuje się baterie słoneczne o coraz to innych własnościach,

a ich opisy wypełniły już całe tomy. Na razie jednak baterie krzemowe wciąż jeszcze wychodzą zwycięsko z wszelkiej konkurencji.

#### 4. Zastosowanie baterii słonecznych

Przejdźmy teraz do praktycznego stosowania baterii słonecznych. Przede wszystkim interesuje nas moc prądu, jaki możemy z takiej baterii otrzymać. Strumień padającego na Ziemię promieniowania słonecznego wynosi około  $100 \text{ mW/cm}^2$ . W produkowanych obecnie bateriach krzemowych udaje się wykorzystywać 15% energii padającego promieniowania. Tak więc bateria słoneczna o powierzchni  $1 \text{ m}^2$  dostarczy nam  $150 \text{ W}$  mocy. Nie jest to, jak widać, dużo i na razie musimy zrezygnować z marzeń o samochodzie z napędem słonecznym. Za to, jeżeli dysponujemy powierzchnią  $1 \text{ km}^2$  baterii słonecznych, to otrzymamy moc  $150 \text{ MW}$ , a więc średnią elektrownię. Eksperymentalne elektrownie słoneczne buduje się już w wielu krajach, przede wszystkim w Stanach Zjednoczonych. Wprowadzić są one bardzo drogie, ale za to „paliwo” nie nie kosztuje i w dodatku nie musimy się martwić o jego wyczerpanie.

Elektrownie słoneczne to jeszcze przyszłość. Już dziś natomiast baterie słoneczne torują sobie coraz szerszą drogę w przemyśle elektronicznym. Stosuje się je w miniturządzeniach, takich jak kalkulatory czy elektroniczne zegarki oraz we wszystkich satelitach i statkach kosmicznych.



## Zadania

Redaguje dr Krzysztof S. NOWIŃSKI

**M 374.** Na płaszczyźnie leży  $n$  kół o równych promieniach i rozłącznych wnętrzach. Wykazać (nie odwołując się do twierdzenia o czterech barwach), że można tak pokolorować nasze koła czterema barwami, iż żadna para kół stycznych nie będzie pomalowana tym samym kolorem. Podać przykład, w którym nie jest możliwe takie pokolorowanie trzema barwami. Rozwiązanie na str. 7.

**M 375.** Rozwiązać równanie

$$x = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \dots}}$$

$n$  kresek ułamkowych  $\dots \frac{1}{1 + \frac{1}{x}}$

Rozwiązanie na str. 10.

**M 376.** Rozwiązać równanie  $16 \cos \frac{x}{7} \cos \frac{2x}{7} \cos \frac{4x}{7} \cos \frac{8x}{7} = 1$ .

Rozwiązanie na str. 7.

Redaguje mgr Tomasz TRATKIEWICZ

**F 158.** Na metalowe zwierciadlane podłoże napyłono warstwę emulsji fotograficznej. Przy prostopadle padającym świetle zaczerwienienie emulsji wystąpiło w odległości  $d$  od zwierciadła.

a) Jaka była długość fali padającego światła?

W jakiej odległości wystąpi drugie zaczerwienienie?

b) Co zaobserwujemy oglądając zdjętą z podłoża emulsję oświetloną białym światłem?

Rozwiązanie na str. 13.

**F 159.** W przyrządach optycznych w celu wyeliminowania strat światła spowodowanych odbiciem napyla się na powierzchnię szkła cienką warstwę przezroczystej substancji. Grubość i współczynnik załamania warstwy dobrane są tak, aby promienie odbite od szkła i warstwy całkowicie się wygaszały. Dobrać parametry warstwy napyłonej na płaską płytkę szklaną o współczynniku załamania  $n$  tak, by nie występowało odbicie światła o długości fali  $\lambda$  padającego prostopadle do powierzchni płytki.

Rozwiązanie na str. 7.