

Nazwisko

Data

Nr na liście

Imię

Wydział

Dzień tyg.

Godzina

Ćwiczenie 374

Badanie fotoogniwa

Badanie zależności natężenia prądu fotoelektrycznego od odległości źródła światła od powierzchni fotoogniwa.

r [m]										
r^{-2} [m ⁻²]										
I_f [μA]										

Sprawdzanie prawa pochłaniania światła

Liczba płytek, n	0	1	2	3	4	5	6
I_f [μA]							
$\ln I_f$							

Ćwiczenie 374. Badanie fotoogniwa

Zasada działania fotoogniwa

W fotoogniwach wykorzystane jest *zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne*, które polega na uwalnianiu elektronów walencyjnych z wiązań atomowych w kryształach półprzewodnikowych. Oswobodzone elektrony pozostają wewnątrz kryształu i mogą poruszać się w nim swobodnie. Miejsce po uwolnionym elektronie może zająć elektron z wiązania sąsiedniego. Wtedy brak elektronu w wiązaniu, czyli tzw. *dziura*, przenosi się do wiązania sąsiedniego. Zatem zarówno fotoelektrony jak i dziury mogą przemieszczać się w kryształach, a tym samym przewodzić prąd. Efektem wewnętrznego zjawiska fotoelektrycznego jest, więc, zwiększone przewodnictwo elektryczne kryształu.

Elektrony walencyjne mają energię zawartą jedynie w pewnym przedziale wartości energii zwanym *pasmem walencyjnym*. Podobnie, elektrony przewodnictwa przyjmują wartości energii tylko z *pasma przewodnictwa* (leżącego powyżej pasma walencyjnego). W półprzewodniku pasmo przewodnictwa i pasmo walencyjne oddzielone są wzbronionym dla elektronów przedziałem energii zwanym *pasmem wzbronionym* lub *przerwą energetyczną*. Szerokość tej przerwy E_g równa jest energii wiązania elektronów walencyjnych. Wartość E_g określa minimalną częstotliwość ν_g światła, które zdolne jest przenieść elektron z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa. Warunkiem uwolnienia elektronu jest, aby energia fotonu, $E_f = h\nu_f$, była większa od E_g :

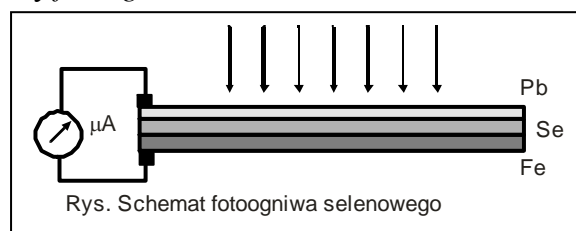
$$h\nu_f \geq E_g = h\nu_g, \quad (1)$$

h — stała Plancka. Dla przykładu, w selenie szerokość przerwy energetycznej wynosi 2 eV. Oznacza to, że maksymalna długość fali świetlnej, zdolnej do uwolnienia elektronu walencyjnego w tym półprzewodniku, wynosi około 620 nm (światło pomarańczowe). Wartość tę obliczamy z zależności między długością i częstotliwością fali świetlnej: $\lambda_{\max} = c/\nu_g$.

Jeżeli elektron przewodnictwa i dziura znajdą się w tym samym miejscu w półprzewodniku wówczas elektron zajmie wolne miejsce w wiązaniu i obydwa nośniki prądu znikają. Proces taki nazywamy *rekombinacją*. Liczba rekombinacji w jednostce czasu jest zależna od liczby nośników prądu i gdy w miarę upływu czasu oświetlania powierzchni półprzewodnika nośników przybywa, wzrasta również liczba rekombinacji. Po pewnym czasie ustala się równowaga dynamiczna, w której dodatkowa liczba nośników zależy od liczby generowanych par elektron–dziura w jednostce czasu, czyli od natężenia oświetlenia. Światło dociera tylko do warstw przypowierzchniowych półprzewodnika i aby zwiększyć wpływ oświetlenia, fotoczuły materiał powinien mieć jak najmniejszą grubość i jak największą powierzchnię.

Zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne w warstwach podwójnych, z których każda charakteryzuje się innym typem przewodnictwa, przejawia się w postaci *efektu fotowoltaicznego*. Polega on na tym, że oświetlone warstwy podwójne, np. złącze typu metal–półprzewodnik, stają się źródłem prądu elektrycznego. Światłoczułe warstwy podwójne nazywamy *fotoogniwami*.

Schemat ideowy fotoogniwa selenowego pokazano na rysunku obok. Na żelaznej płytce, spełniającej także rolę elektrody, znajduje się cienka warstwa selenu, na którą napyłono przezroczystą warstewkę ołowiu lub złota, stanowiącą drugą elektrodę ogniwa.



Na złączu metal–półprzewodnik wytwarza się bardzo cienka warstwa zaporowa nieruchomych ładunków dodatnich po stronie metalu i ujemnych po stronie półprzewodnika. Jest ona wynikiem dyfuzji elektronów z metalu do półprzewodnika pod wpływem znacznej różnicy w koncentracji nośników ładunku w metalach i półprzewodnikach. Warstwa zaporowa uniemożliwia dalszy przepływ elektronów do półprzewodnika.

Naświetlenie powierzchni złącza od strony przezroczystej warstwy ołowiu powoduje uwolnienie dodatkowych elektronów swobodnych w selenie, które pod wpływem różnicy potencjałów w warstwie zaporowej natychmiast przechodzą do napyłonej warstwy ołowiu, ładując ją ujemnie względem dolnej elektrody żelaznej, do której światło nie dochodzi. W wyniku tego w obwodzie uzyskanym przez połączenie biegunów fotoogniwa popłynie prąd elektryczny, którego natężenie I_f jest proporcjonalne do natężenia oświetlenia E powierzchni fotoogniwa.

Natężenie oświetlenia E równe jest mocy promieniowania padającego na jednostkę powierzchni, czyli łącznej energii fotonów padających na jednostkę powierzchni w jednostce czasu.

Zależność $I_f = f(E)$ można łatwo sprawdzić w przypadku punktowego źródła światła. Natężenie oświetlenia powierzchni, pochodzące od punktowego źródła światła, jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości r od źródła światła:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha, \quad (2)$$

gdzie I — natężenie źródła światła (jest to moc promieniowania wysyłanego przez źródło punktowe w obrębie jednostkowego kąta bryłowego), α — kąt padania światła (kąt pomiędzy prostą prostopadłą do powierzchni, a promieniem padającym). Ponieważ E jest proporcjonalne do r^{-2} , wykres zależności prądu fotoelektrycznego I_f od r^{-2} jest zarazem wykresem zależności I_f od natężenia oświetlenia E powierzchni fotoogniwa. Zależność $I_f = f(r^{-2})$ powinna być linią prostą (przy odległościach, dla których można pominąć wymiary liniowe źródła światła).

Absorpcja promieniowania

Przechodząc przez środowiska przezroczyste, światło ulega osłabieniu, głównie przez pochłanianie. Zgodnie z prawem Lamberta, natężenie światła przenikającego I maleje wykładniczo wraz ze wzrostem grubości warstwy pochłaniającej:

$$I = I_0 e^{-kx}, \quad (3)$$

I_0 — natężenie światła padającego na warstwę absorbującą, k — współczynnik pochłaniania, charakterystyczny dla danej substancji. Przez natężenie światła rozumie się tutaj moc promieniowania przechodzącego przez jednostkową powierzchnię, prostopadłą do kierunku światła.

Zależność (3) można sprawdzić umieszczając na drodze światła padającego na fotoogniwo płytki szklane jednakowej grubości. Ze względu na proporcjonalność natężenia prądu fotoelektrycznego I_f do natężenia światła I , funkcja $I_f = f(n)$, gdzie n — liczba płytek, powinna być krzywą wykładniczą. Zatem wykres zależności logarytmu naturalnego z natężenia prądu I_f od liczby płytek n na drodze wiązki światła, $\ln I_f = f(n)$, powinien być liniowy.

Wykonanie ćwiczenia

Badanie zależności prądu fotoelektrycznego od odległości źródła światła od powierzchni fotoogniwa.

1. Montujemy fotoogniwo na ławie optycznej i ustawiamy je daleko od źródła światła, na początku ławy optycznej.
2. Podłączamy fotoogniwo do mikroamperomierza („plusem” do „plusa” w przypadku miernika wskazówkowego). W mikroamperomierzu cyfrowym wykorzystujemy wejścia „COM” i „mA” a przełącznik zakresów ustawiamy na „ μA ” (będą mierzone wartości prądu stałego rzędu od kilku do kilkudziesięciu mikroamperów).
3. Włączamy lampę i przeprowadzamy pomiary prądu fotoelektrycznego I_f przy różnych odległościach r fotoogniwa od **włókna** żarówki. Odległości te zmniejszamy, co 0,05 m, od wartości maksymalnej (1 m) do nie mniejszej niż 0,5 m.
4. Obliczamy dla każdego r wartość r^{-2} i sporządzamy wykres $I_f = f(r^{-2})$.

Sprawdzanie prawa pochłaniania światła w środowiskach przezroczystych

1. Ustawiamy fotoogniwo w odległości 40÷50 cm od źródła światła.
2. Przed fotoogniwem umieszczamy statyw z ramką wypełnioną płytkami szklanymi.
3. Zapisujemy początkowe wskazania mikroamperomierza i po każdej wyjętej płytce szklanej.
4. Sporządzamy wykres zależności logarytmu naturalnego z natężenia prądu I_f od liczby płytek n na drodze wiązki światła, $\ln I_f = f(n)$.

Przeprowadzamy analizę uzyskanych wykresów.

Rachunek błędów

Badanie zależności $I_f = f(r^{-2})$. Błąd bezwzględny Δr^{-2} obliczamy metodą różniczki zupełnej:

$$\Delta(r^{-2}) = \left| \frac{\partial r^{-2}}{\partial r} \right| \cdot \Delta r \quad \Rightarrow \quad \Delta(r^{-2}) = \frac{2 \cdot \Delta r}{r^3}, \quad \Delta r = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

Błąd pomiaru ΔI_f określamy na podstawie dokładności wykorzystywanego przyrządu.

- W przypadku miernika wskazówkowego $\Delta I_f = \frac{K \cdot Z}{100}$;
 Z — maksymalna wartość prądu dla danego zakresu pomiarowego, K — klasa miernika podana w okienku pomiarowym.
- W przypadku miernika cyfrowego dokładność podana jest w instrukcji przyrządu. Można tutaj przyjąć, że wynosi ona $0,5 \mu\text{A}$.

Sprawdzanie prawa pochłaniania. Dla danego n zaznaczamy na wykresie $\ln I_f = f(n)$ błędy bezwzględne $\Delta \ln I_f$ (wyznaczone metodą różniczki zupełnej),

$$\Delta \ln I_f = \frac{\Delta I_f}{I_f}.$$

Jeżeli wykorzystujemy miernik elektroniczny, ze względu na niezbyt duże zmiany natężenia prądu, można przyjąć błąd względny $\frac{\Delta I_f}{I_f} = 0,02$ dla wszystkich pomiarów I_f .

Błędy obliczamy dla dwóch lub trzech punktów pomiarowych i na wykresie zaznaczamy prostokąty błędów wokół tych punktów.