

Pracownia Fizyki Molekularnej

Ćw. 2. FOTOPRĄDY POWIERZCHNIOWE W WARSTWACH TETRACENU

Zagadnienia teoretyczne do samodzielnego przygotowania

1. Rodzaje wiązań krystalicznych.
2. Defekty struktur molekularnych.
3. Pasmowa teoria budowy ciał stałych.
4. Stany wzbudzone układów molekularnych. Ekscytony.

Zadania do wykonania:

1. Zmierzyć charakterystykę spektralną badanej warstwy tetracenu przy ustalonych wartościach natężenia światła i napięcia przyłożonego do próbki. Pomiary powtórzyć dla kilku wartości napięcia, wybranych przez prowadzącego ćwiczenie.
2. Dla długości fali odpowiadającej maksimum fotoprądu, przy stałej wartości napięcia zasilającego, wyznaczyć zależność natężenia fotoprądu od natężenia promieniowania oświetlającego próbkę. Pomiary powtórzyć dla kilku wartości napięcia, tych samych co w pkt.1.
3. Wykonać wykresy zależności $i(\lambda)$. Przedstawić wszystkie krzywe uzyskane dla różnych wartości napięcia U na jednym wykresie wraz z widmem absorpcji warstwy tetracenu (dostępne u prowadzącego ćwiczenie).
4. Wykonać wykresy zależności $\log i = f(\log I_0)$. Dla uzyskanych krzywych znaleźć współczynniki kierunkowe. Otrzymane wartości zebrać w tabeli.
5. Na podstawie uzyskanych w punktach 1 i 2 wyników, wykreślić zależność $\log i = f(\log U)$ dla długości fali odpowiadającej maksimum fotoprądu, biorąc wartości średnie fotoprądów zmierzone przy wyznaczaniu zależności $i(\lambda)$ i $i(I_0)$. Wyznaczyć współczynnik kierunkowy prostej.

Literatura

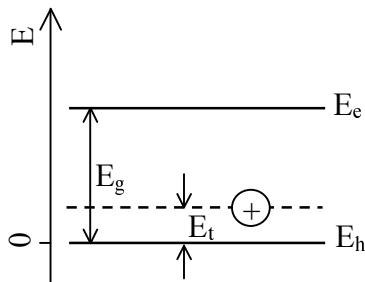
- [1] Godlewski J.: Własności optyczne i elektryczne molekularnych ciał stałych. Gdańsk 1996.
- [2] Kittel C.: Wstęp do fizyki ciała stałego. Warszawa: PWN 1991.
- [3] van der Ziel A.: Podstawy fizyczne elektroniki ciała stałego. Warszawa: PWN 1980.

W ćwiczeniu dokonuje się pomiaru fotoprądu powierzchniowego przepływającego przez cienką warstwę tetracenu w funkcji długości fali oraz natężenia padającego na nią światła. Z pomiarów uzyskuje się informacje dotyczące mechanizmów fotogeneracji swobodnych nośników ładunku. Pomiaru są wykonywane na próżniowo naporowanych warstwach tetracenu o planarnej geometrii elektrod.

1. Podstawowe własności materiałów molekularnych.

W materiałach molekularnych takich jak kryształy poliacenów, do których zaliczamy min. tetracenu, cząsteczki są związane siłami van der Waalsa, które są jednymi z najsłabszych wiązań krystalicznych. Ze względu na charakter wiązań, materiały te mają niskie temperatury topnienia i sublimacji, są bardzo miękkie i charakteryzują się wysokim współczynnikiem ściśliwości. Niewielkie energie wiązania struktur molekularnych powodują łatwość tworzenia defektów, których obecność ma bezpośredni wpływ na transport energii i ładunku. Słabe energie wiązania sprawiają ponadto, że cząsteczki w kryształach w dużym stopniu zachowują swoją indywidualność, a ich poziomy energetyczne ulegają względnie małym zmianom w porównaniu z poziomami molekuł swobodnych. Materiały molekularne są izolatorami o energetycznej przerwie wzbronionej przekraczającej 2 eV, wąskich pasmach walencyjnych i przewodnictwa (≈ 1 eV), niskich wartościach koncentracji samoistnej nośników swobodnych ($n \leq 10^4 \text{ cm}^{-3}$). Przepływ prądu w tych materiałach jest, więc możliwy w obecności kontaktów wstrzykujących nośniki ładunku (iniekcja nośników ładunku) albo promieniowania generującego nośniki nadmiarowe (fotogeneracja w objętości kryształu).

2. Pułapki nośników ładunku.



Rys. 1. Schemat pułapki dziurowej.

Stany energetyczne zlokalizowane w przerwie pomiędzy pasmami swobodnych elektronów (E_e) i dziur (E_h), mające zdolność pułapkowania swobodnych nośników ładunku nazywamy pułapkami. Źródłem pułapek w kryształach są niedoskonałości ich struktury, lub obce wtrącenia, a ich gęstość w kryształach molekularnych osiąga typowe wartości: 10^{14} - 10^{16} cm^{-3} . Ważnym parametrem opisującym pułapkę jest jej głębokość (E_t), którą definiuje się jako różnicę energii nośnika na poziomie lokalnym i energii nośnika w idealnej sieci (rys. 1.). W rzeczywistym kryształach wartości E_t zawsze tworzą pewien rozkład energetyczny. Wyróżniamy następujące funkcje rozkładu głębokości pułapek

względem energii, którymi przybliża się rozkłady rzeczywiste:

a) rozkład wykładniczy:

$$h(E) = \frac{H}{\ell kT} \exp\left(-\frac{E}{\ell kT}\right), \text{ gdzie } \ell = \frac{T_C}{T},$$

gdzie H – całkowita koncentracja pułapek, T_C parametr charakteryzujący rozkład pułapek.

b) rozkład Gaussa:

$$h(E) = \frac{H}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(E - E_t)^2}{2\sigma^2}\right),$$

gdzie σ - standardowe poszerzenie funkcji Gaussa, $H/\sqrt{2\pi}\sigma$ - maksymalna wartość koncentracji pułapek na jednostkę energii występująca dla głębokości $E = E_t$.

3. Fotogeneracja nośników ładunku.

Fotogeneracja jest procesem powstawania swobodnych nośników ładunku w układzie w wyniku absorpcji światła. W przypadku, gdy absorbowany jest jeden foton mówimy o fotogeneracji jednofotonowej, natomiast możliwa jest również fotogeneracja wielofotonowa, która zachodzi gdy w układzie powstają swobodne nośniki ładunku w wyniku absorpcji dwu lub więcej fotonów.

Dla procesu jednofotonowego możemy wyróżnić dwa rodzaje fotogeneracji:

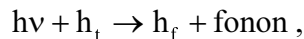
- *fotogenerację powierzchniową*, zachodzącą z udziałem ekcytonów, które ulegając dysocjacji na elektrodzie lub też zanieczyszczeniu powierzchniowym, wstrzykują do układu swobodne ładunki dodatnie lub ujemne,

- *fotogenerację objętościową*, w przypadku, której ładunek powstaje w objętości.

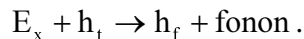
Proces powierzchniowy zachodzi wówczas, gdy długość dyfuzji ekcytonów jest mniejsza od głębokości wnikania światła padającego na układ. W wyniku tego procesu są wprowadzane do układu głównie dziury. Prawdopodobieństwo wstrzyknięcia tą drogą elektronów jest znikome ze względu na obecność w obszarze przypowierzchniowym głębokich pułapek wychwytyjących elektrony oraz wysoką szybkość rekombinacji elektronów na elektrodzie. W praktyce trudno jest jednoznacznie określić, który z wymienionych procesów odpowiada za generację nośników ładunku danego znaku. Najczęściej stosowane kryterium wskazuje na dominację procesu powierzchniowego wówczas, gdy wydajność kwantowa generacji nośników ładunku jest wprost proporcjonalna do współczynnika absorpcji światła.

4. Prądy fotowzmożnione.

Zjawisko wzrostu prądu spowodowane optycznym uwalnianiem nośników spułapkowanych nazywa się *fotowzmożnieniem prądu*, a prąd, który w takich warunkach płynie przez układ nazywany jest *prądem fotowzmożnionym*. Uwalnianie optyczne może być zarówno rezultatem bezpośredniego oddziaływania foton – nośnik spułapkowany (h_t), które zachodzi według schematu:



albo pośredniego z udziałem ekcytonów zarówno singletowych, jak i tripletowych (E_x) :



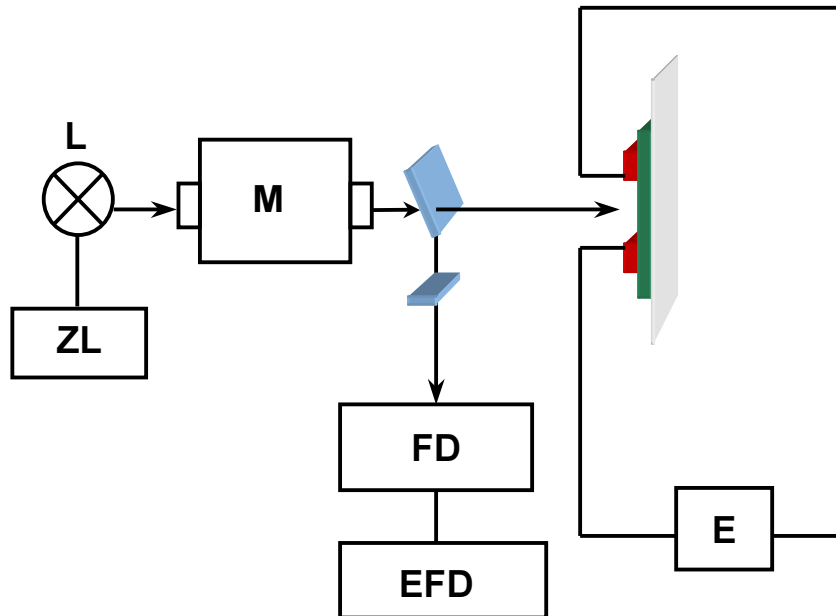
W warunkach oświetlania układu światłem z zakresu absorpcji singletowej, lub tripletowej, proces uwalniania nośników z pułapek przez ekcytony, przebiega efektywniej od uwalniania bezpośredniego z udziałem fotonów.

Teoretycznie przewidywane zależności $i(U)$ i $i(I_0)$ dla prądów fotowzmożnionych zależą silnie od rozkładu energetycznego pułapek względem energii. Wyprowadzone relacje pomiędzy prądem fotowzmożnionym oraz napięciem i natężeniem światła, otrzymane w obecności wykładniczego i monoenergetycznego rozkładu pułapek zebrano w tabeli.

Rozkład pułapek	Przewidywane zależności $i(U)$ i $i(I_0)$
wykładniczy	$i \sim U^2$ oraz $i \sim I_0^{1-\frac{1}{n}}$
monoenergetyczny	$i \sim U^2$ oraz $i \sim I_0$

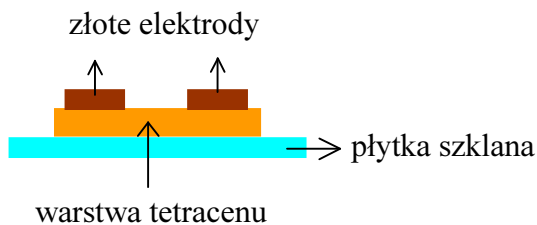
Aparatura i metoda pomiaru.

Układ doświadczalny używany do pomiaru fotoprzewodnictwa przedstawiony jest schematycznie na rys. 2.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego. Wprowadzono następujące oznaczenia: L – lampa oświetlająca ksenonowa, ZL – zasilacz lampy, M – monochromator, FD – fotodioda, EFD – elektrometr mierzący prąd fotodiody, E – elektrometr mierzący prąd przepływający przez próbkę.

Korzystając z układu pomiarowego, którego schemat przedstawiony jest na rys. 2. należy zbadać zależności natężenia fotoprądu od długości fali (charakterystyka spektralna $i(\lambda)$) oraz natężenia padającego na próbkę promieniowania ($i(I_0)$).



Rys. 3. Schemat próbki.

Próbka, której schemat przedstawiony jest na rys. 3. umieszczona jest w komorze pomiarowej. Do próbki przyłutowane są kontakty służące do jej zasilania napięciem z elektrometru (E), który rejestruje również wartości przepływającego przez nią fotoprądu. Do oświetlenia próbki poprzez monochromator służy lampa ksenonowa. Układ pomiarowy jest skalowany tak, że znana jest wartość natężenia wiązki światła o danej długości fali padającego na próbkę. Dokładną wartość natężenia światła można ustalić zmieniając

szerokość szczeliny monochromatora, co spowoduje zmianę wskazania wartości prądu fotodiody. Odczytana z elektrometru wartość prądu fotodiody (i_{FD}) i wzięty z tabeli skalowania układu współczynnik (B), pozwalają obliczyć dokładną wartość liczby fotonów padających na 1 cm^2 powierzchni oświetlanej w ciągu 1 s, przy pomocy wzoru:

$$I_0 = \frac{i_{FD}}{B \times 10^{-22}}.$$