

**P50**

**Dariusz KOTOWSKI, Bogumiła KUTRZEBA-KOTOWSKA,  
Ryszard SIGNERSKI i Jan GODLEWSKI**

*Katedra Fizyki Zjawisk Elektronowych, Politechnika Gdańska, ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk*

## **Fotoprądy powierzchniowe w warstwach tetracenu**

### **1. Wstęp**

W wyniku oświetlania materiałów organicznych, zaopatrzonych w odpowiednie kontakty elektryczne, kwantami światła o energii poniżej przerwy energetycznej otrzymuje się wzrost prądu. Tego typu fotoprzewodnictwo, zwane prądami fotowzmoconymi wynika z uwalniania nośników ładunku z pułapek poprzez ekscytony lub fotony [1, 2].

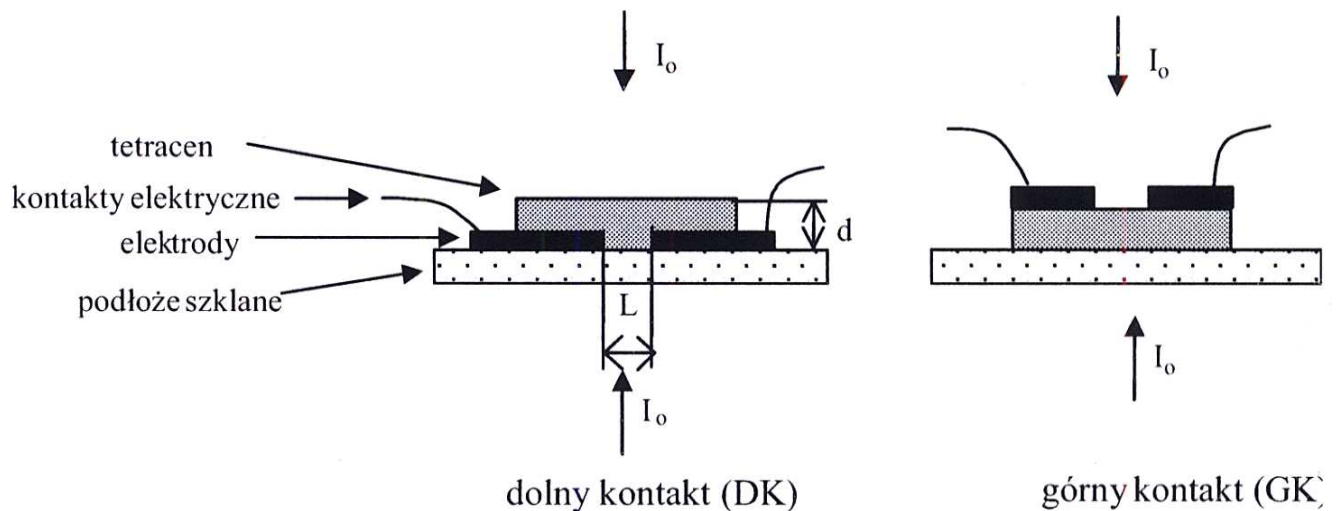
Zwykle, w przypadku oświetlenia materiałów organicznych światłem z zakresu absorpcji ekscytonowej uwalnianie nośników ładunku za pomocą fotonów jest zanedbywalnie małe w porównaniu z uwalnianiem ekscytonowym [3, 4]. Wynikające z ekscytonowego uwalniania prądy fotowzmocone, mogą być używane jako metoda do badań oddziaływań ekscyton tripletowy – spułapkowany nośnik ładunku. Oddziaływania te mogą zachodzić w pobliżu powierzchni badanych warstw i dawać informacje o właściwościach warstw molekularnych w obszarach przypowierzchniowych. Badania przypowierzchniowej struktury i właściwości warstw molekularnych badane były dotychczas, między innymi, metodami: obserwacji mikroskopowych [5], iniekcji nośników ładunku [6], odbicia światła [7] lub dyfrakcji promieni Roentgena [8].

Celem tego komunikatu jest analiza prądów fotowzmoconych występujących w różnych warunkach przewodnictwa powierzchniowego w próżniowo naporowanych warstwach tetracenu (Tc).

### **2. Warunki eksperymentalne**

Do badań używane były warstwy tetracenu o grubości ok. 0.75  $\mu\text{m}$ , naporowane na podłoże szklane. Próbki zaopatrzone zostały w złote elektrody tworzące z badanymi warstwami kontakty omowe. Elektrody naniesione zostały w dwóch konfiguracjach — bezpośrednio na podłoże szklane, (dolny kontakt — DK) lub na górną stronę napyłanej warstwy materiału organicznego (górny kon-

takt — GK). Schematycznie przedstawione to jest na rys. 1. Tak przygotowane warstwy oświetlane były światłem monochromatycznym w kierunku prostopadłym do powierzchni tetracenu, zarówno od strony podłoża lub od strony przeciwległej podłożu, badanej warstwy (rys. 1.).



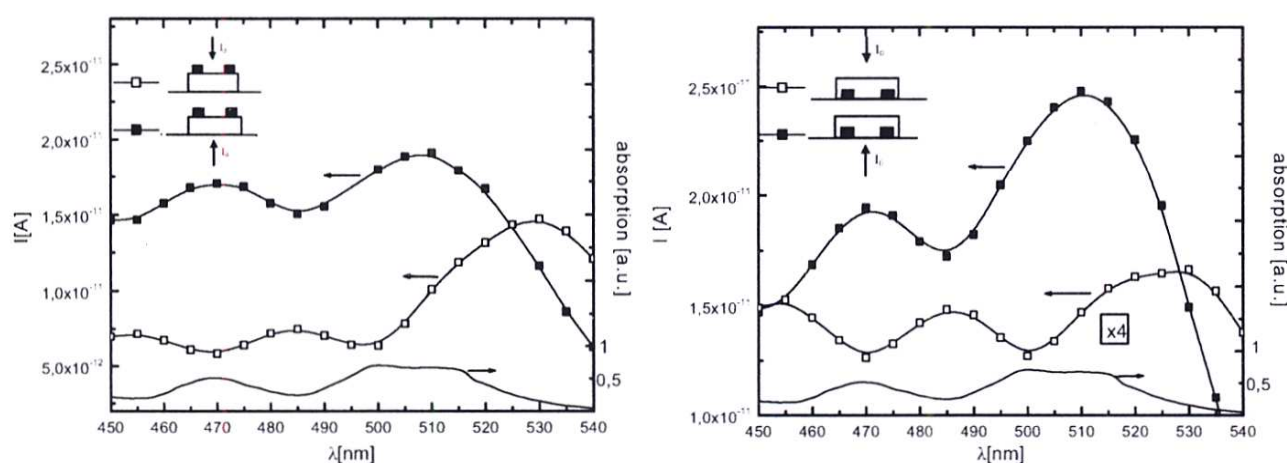
**Rys. 1.** Schemat próbek z próżniowo naporowywanymi warstwami tetracenu z dolnymi i górnymi kontaktami. Możliwe kierunki oświetlenia światłem o natężeniu ( $I_0$ ) pokazano za pomocą strzałek

Jako źródło światła użyta została lampa ksenonowa typu KB 5703 150 W, a uzyskiwane prądy mierzone były przy użyciu elektrometru typu Keithley 487. Ponadto, podczas eksperymentu była znana wartość natężenia wiązki światła ( $I_0$ ) o danej długości fali padającego na próbkę.

### 3. Wyniki doświadczalne i ich analiza

Przedstawione dane eksperymentalne zostały uzyskane na warstwach tetracenu z odległością pomiędzy elektrodami  $L = 0.2$  mm, przy oświetlaniu warstw zarówno od strony podłoża lub od strony przeciwległej podłożu. Natężenie oświetlenia ( $I_0$ ), użytego podczas pomiarów, miało maksymalną wartość  $10^{15}$  fotonów/cm<sup>2</sup>s. Rysunek 2 przedstawia charakterystyki spektralne fotoprądów powierzchniowych otrzymane dla warstw Tc przy dwóch kierunkach oświetlenia.

Dla porównania widm fotoprądów z widmami absorpcji światła w warstwie tetracenu na rys. 2 przedstawiono również za pomocą linii ciągłej widmo absorpcji tetracenu [9]. Spektralne charakterystyki fotoprądu wykazały wprost proporcjonalną zależność od widma absorpcji (zależność symbatyczna) w przypadku oświetlania warstw od strony podłoża, zaś zależność odwrotnie proporcjonalną (zależność antybatyczna) od widma absorpcji w przypadku oświetlania badanych warstw od strony przeciwległej podłożu.



**Rys. 2.** Charakterystyki spektralne fotoprądu w warstwach tetracenu, uzyskane dla odległości pomiędzy elektrodami  $L = 0,2$  mm, w przypadku zastosowania do górnych kontaktów (wykres lewy) i dolnych kontaktów (wykres prawy). Oświetlenie warstw było od strony podłoża lub przeciwległej podłożu (zgodnie ze schematem w lewym górnym rogu). Wyniki zostały otrzymane przy napięciu  $U = 20$  V i natężeniu oświetlenia  $I_0 = 10^{15}$  fotonów/cm<sup>2</sup>s

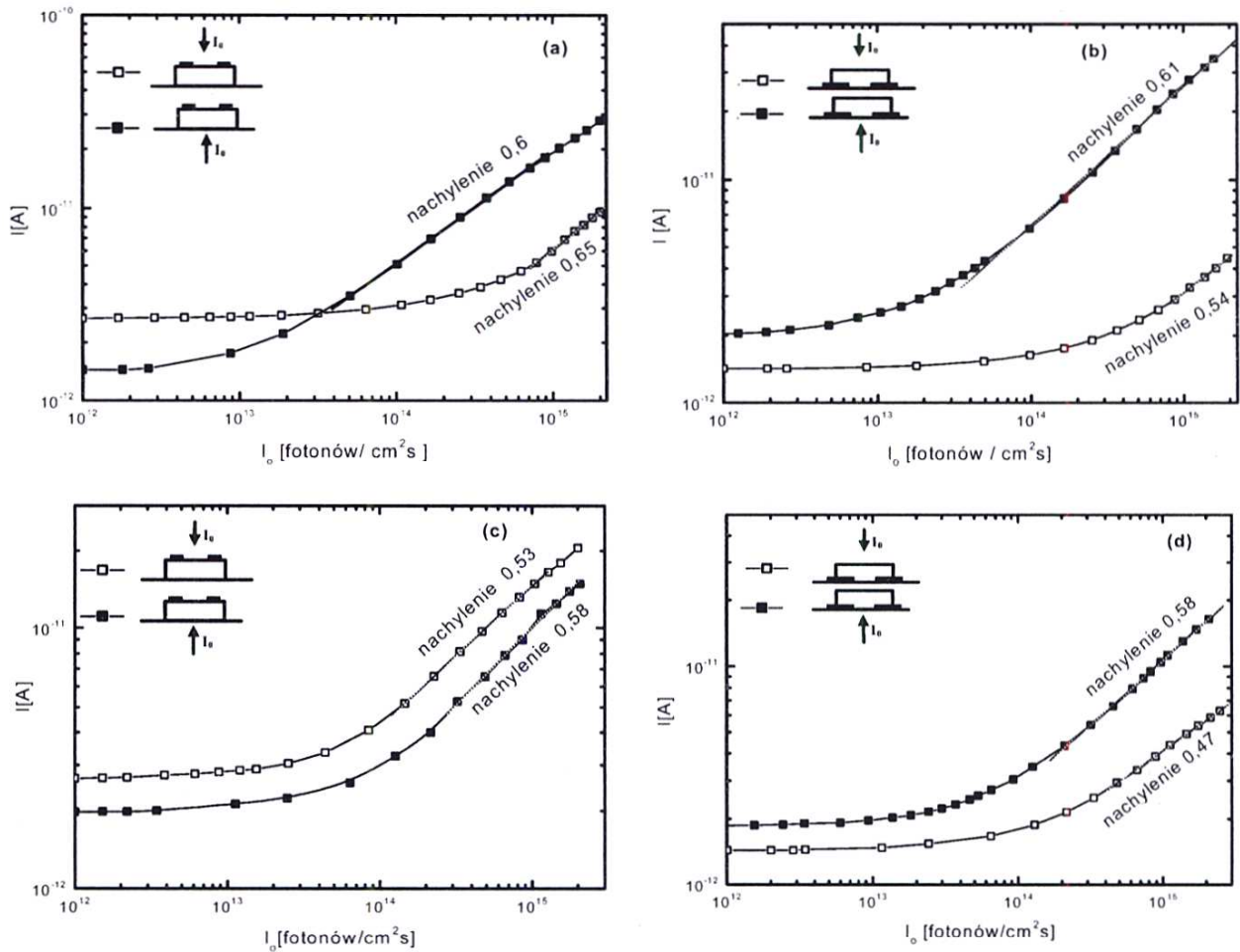
Celem dalszej analizy zależności doświadczalnych dotyczących typowych fotoprądów powierzchniowych, przeprowadzone zostały również badania w zakresie charakterystyk prądowo-natężeniowych oraz prądowo-napięciowych przy oświetleniu warstw od strony podłoża jak i strony przeciwległej podłożu.

Rys. 3 przedstawia charakterystyki powierzchniowych prądów fotowzmożnionych w funkcji natężenia padającego oświetlenia. Badane warstwy oświetlane były światłem monochromatycznym o długościach fal  $\lambda = 505$  nm (rys. 3 (a) i (b)) oraz  $\lambda = 530$  nm (rys. 3 (c) i (d)). Długość fali  $\lambda = 505$  nm odpowiada silniejszej, natomiast  $\lambda = 530$  nm słabszej absorpcji światła w warstwie tetracenu

Analiza tych wyników wskazuje na różnice pomiędzy wartościami nachyleń powierzchniowych prądów fotowzmożnionych w funkcji natężenia oświetlenia, uzyskanych w przypadku oświetlenia od strony podłoża i od strony przeciwległej podłożu badanych warstw. Generalnie, dla prądów o wartościach przewyższających prądy ciemne nachylenia tych charakterystyk wynoszą od około 0.5 do 0.6. Dla charakterystyk uzyskanych dla oświetlenia światłem o długości fali  $\lambda = 505$  nm, można zaobserwować, że od strony podłoża wzrost powierzchniowych prądów fotowzmożnionych rozpoczyna się od mniejszych wartości natężenia oświetlenia niż w przypadku oświetlenia od strony przeciwległej podłożu. W przypadku oświetlenia światłem o długości fali  $\lambda = 530$  nm, położenie wzrostu charakterystyk prądowo-natężeniowych w funkcji oświetlenia nie zależy od sposobu oświetlenia.

W przypadku charakterystyk prądowo-napięciowych, powierzchniowe prądy fotowzmożnionych dla obu długości są ponadliniowe (nachylenie  $> 1$ ). Warty podkreślenia jest fakt, że dla długości fali  $\lambda = 505$  nm pojawia się

różnica pomiędzy wartościami fotoprądów powierzchniowych, uzyskanych dla przypadku oświetlenia od strony podłoża lub od strony przeciwległej podłożu. Ten efekt staje się również niezauważalny w przypadku oświetlenia badanych warstw światłem o długości fali  $\lambda = 530$  nm.



**Rys. 3.** Charakterystyki powierzchniowych prądów fotowzmoconionych w funkcji natężenia padającego oświetlenia w przypadku warstw z dolnymi i górnymi kontaktami (według schematów w lewych górnych rogach). Wyniki zostały uzyskane dla długości fal  $\lambda = 505$  nm (wykresy (a) i (b)) i  $\lambda = 530$  nm (wykresy (c) i (d)) przy napięciu  $U = 20$  V, dla odległości pomiędzy elektrodami  $L = 0.2$  mm

Charakterystyki spektralne fotoprądu wykazały symbatyczną zależność do widma absorpcji w przypadku oświetlenia warstw od strony podłoża oraz antybatyczną relację do widma absorpcji w przypadku oświetlenia badanych warstw od strony przeciwległej podłożu. Wyniki te prowadzą do wniosku, że uwalnianie spułakowanych nośników ładunku odbywa się szczególnie intensywnie przy oświetlaniu warstw od strony podłoża. Ponadto, dla obydwu konfiguracji próbek, tzn. w przypadku DK oraz GK, zawsze rejestrowaliśmy wyższe wartości fotoprądów przy oświetlaniu warstw od strony podłoża (rys. 2). Właściwość tę można skorelować z tym, że padające światło uwalnia spułakowane nośniki ładunku, proporcjonalnie do współczynnika absorpcji ( $j \sim \kappa$ , zależność symbatyczna) (rys. 3). Z kolei, przy oświetlaniu warstw od strony przeciwległej podłożu spułakowane nośniki ładunku są uwalniane tylko

przez ekscytony generowane tuż przy powierzchni podłoża, gdzie intensywność światła jest mniejsza i wytwarzanych jest mniej swobodnych nośników ładunku. To prowadzi do odwrotnie proporcjonalnej zależności fotoprądu względem współczynnika absorpcji ( $j \sim \exp(-kd)$ , antybatyczna zależność).

#### 4. Wnioski końcowe

Wyniki badań doświadczalnych fotoprądów powierzchniowych wykazały wprost proporcjonalną zależność fotoprądu od współczynnika absorpcji światła przy oświetlaniu badanych warstw od strony DK oraz odwrotnie proporcjonalną zależność fotoprądu od współczynnika absorpcji światła przy oświetlaniu badanych warstw od strony GK.

Zjawisko to prowadzi do wniosku, że istnieją różne efektywności uwalniania spułapkowanych nośników ładunku przez ekscytony od strony podłoża szklanego i od strony przeciwległej podłożu. Wydajność uwalniania nośników ładunku w warstwach tetracenu jest większa od strony podłoża.

Różnice właściwości elektrycznych, optycznych i strukturalnych napylanych warstw organicznych mają istotne znaczenie dla budowy elementów elektroniki molekularnej.

#### Literatura

1. Kao K.C., Hwang W., *Electrical Transport in Solids*, (Pergamon Press, Oxford/New York 1981).
2. Pope M. and Swenberg C.E., *Electronic Processes in Organic Crystals*, (Clarendon Press, New York 1982).
3. Jarosz G., Godlewski J., *Phys. Stat. Solid (b)*, **199**, 467 (1997).
4. Kotowski D., Godlewski J., *Molecular Physics Report*, **36**, 174 (2002).
5. Overney R.M., Howald L., Frommer J., Meyer E. and Guentherodt H., *J. Chem. Phys.*, **94**, 8441 (1991).
6. Signerski R., Kalinowski J., Koropecy I. and Nespurek S., *Thin Solid Films*, **121**, 175 (1984).
7. Godlewski J., Kalinowski J., Stizza S. and Davoli I., *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **218**, 159 (1992).
8. Akimichi H., Inoshita T., Hotta S., Noge H., Sakaki H., *Appl. Phys. Lett.*, **63**, 3158 (1993).
9. Geactinov N.E., Pope M., Kallman H., *J. Chem. Phys.*, **45**, 2639 (1966).