ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z. 60 Nr kol. 999

Bogusława ADAMOWICZ
Stanisław KOCHOWSKI

ZASTOSOWANIE METODY FOTONAPIĘCIA POWIERZCHNIOWEGO DO BADAŃ POWIERZCHNI PÓŁPRZEWODNIKÓW

Streszczenie. W pracy opisano podstawy teoretyczne zjawiska fotonapięcia powierzchniowego ΔV_s w zakresie energii światła większej od szerokości przerwy energetycznej półprzewodnika i możliwości wykorzystania pomiarów tego efektu do badania własności powierzchni, na przykładzie realnej powierzchni krzemu typu p i n. Przedstawiono wyniki pomiarów zależności fotonapięcia powierzchniowego od temperatury, w zakresie 300-430K, uzupełnione zależnościami ΔV_s od natężenia i energii światła, które dostarczyły informacji na temat wartości potencjału powierzchniowego, drogi dyfuzji nośników mniejszościowych oraz parametrów stanów powierzchniowych badanego materiału.

1. WSTĘP

Oświetlenie półprzewodnika światłem o energii większej od szerokości przerwy energetycznej wywołuje zaburzenie równowagi termodynamicznej wskutek bipolarnej generacji nośników ładunku [1-3]. Nadmiarowe elektrony i dziury ulegają segregacji w przypowierzchniowym polu elektrycznym ,powodując obniżenie powierzchniowej bariery potencjału V_s. Część nośników rekombinuje lub zostaje wychwycona przez elektronowe stany powierzchniowe. Ponadto różnica wartości ruchliwości elektronów i dziur powoduje, że dyfundujące w głąb półprzewodnika nośniki nadmiarowe rozdzielają się ,wywołując tzw. efekt Dembera. Wszystkie te zjawiska prowadzą do zmiany zakrzywienia pasm energetycznych na powierzchni półprzewodnika ΔV_s, określanej jako fotonapięcie powierzchniowe .

Wartość fotonapięcia powierzchniowego zależy zarówno od parametrów objętościowych jak i powierzchniowych półprzewodnika. Dokonując pomiaru ΔV_s w funkcji natężenia i energii światła lub temperatury, można uzyskać informacje na temat takich parametrów stanów powierzchniowych, jak funkcja ich rozkładu energetycznego oraz przekroje czynne na wychwyt nośników ładunku, a także potencjał powierzchniowy i droga dyfuzji nośników mniejszościowych [1-9].

W tej pracy wykorzystano pomiary temperaturowej zależności fotonapięcia powierzchniowego ,uzupełnione pomiarami ΔV_s w funkcji natężenia i długości fali światła do określenia własności realnej powierzchni krzemu typu p i n. Dodatkowo zarejestrowano zależności widmowe i temperaturowe fotoprzewodnictwa $\Delta\sigma$ które umożliwiły wyznaczenie szybkości rekombinacji powierzchniowej i koncentracji nadmiarowych nośników ładunku w różnych tem-

peraturach [7,10]..

Kompleksowe pomiary ΔV_s i $\Delta\sigma$ pozwoliły na porównanie doświadczalnych i teoretycznych zależności fotonapięcia powierzchniowego od temperatury.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE

2.1. Zależność fotonapięcia powierzchniowego od natężenia i energii światła

W ogólnym przypadku zależność ΔV_s od natężenia światła I_o jest złożona. Jednak dla dostatecznie dużych wartości I_o zagięcie pasm energetycznych na powierzchni zmniejsza się aż do całkowitego ich wyprostowania, a efekty związane z pułapkowaniem nośników zanikają [2]. Fotonapięcie powierzchniowe osiąga wówczas stan nasycenia:

$$\lim_{I_o \to \infty} \Delta V_s = -V_s \tag{1}$$

Pomiar nasycenia fotonapięcia powierzchniowego w funkcji natężenia światła jest szeroko stosowaną metodą wyznaczania wartości potencjału powierzchniowego V_s [1,3-5,7,8].

Zależność fotonapięcia powierzchniowego od współczynnika pochłaniania światła α, który jest funkcją długości fali, ma postać [7]:

$$f(\Delta V_s) = \frac{I_o \alpha}{1 + \alpha L} \tag{2}$$

gdzie f jest pewną funkcją ΔV_s, I_o- natężeniem światła padającego na powierzchnię półprzewodnika, a L - drogą dyfuzji nośników mniejszościowych.

Muszą być przy tym spełnione następujące założenia: $\alpha d \ll 1$ (gdzie d jest grubością próbki), w obszarze przypowierzchniowym istnieje stan tzw. quasi-równowagi termodynamicznej oraz $d \gg L$.

Na zależności (2) oparta jest prosta metoda pomiaru, służąca do wyznaczania efektywnej drogi dyfuzji nośników mniejszościowych. Należy w tym celu , przy różnych długościach fali ,dokonać pomiaru natężenia światła I_o, wywołującego tę samą wartość fotonapięcia powierzchniowego ΔV_s. Ponieważ lewa strona równania będzie wówczas wielkością stałą, po przekształceniu otrzymuje się:

$$I_o = \text{const}\ (1/\alpha + L) \tag{3}$$

Zależność natężenia światła I_o, unormowanego do stałej wartości ΔV_s, od odwrotności współczynnika pochłaniania światła α^{-1} jest linią prostą,

przecinającą oś odciętych w punkcie -L. Ważną zaletą metody jest to, że zarówno pomiaru natężenia światła, jak i fotonapięcia powierzchniowego można dokonać w jednostkach względnych.

2.2. Zależność fotonapięcia powierzchniowego od temperatury

Teoretyczny model zjawiska fotonapięcia powierzchniowego, z uwzględnieniem pułapkowania i rekombinacji nośników ładunku przez stany powierzchniowe o ciągłym rozkładzie, został opracowany przez Lile`a [11], na bazie modelu Garretta i Brattaina.

Model ten oparty jest na założeniu pełnej jonizacji domieszek oraz istnieniu stanu quasi-równowagi termodynamicznej w obszarze przypowierzchniowym po oświetleniu. Dotyczy małych sygnałów fotonapięcia powierzchniowego ($\Delta V_s < 1$) oraz małych poziomów wstrzykiwania nadmiarowych nośników ładunku.

Wychodząc z warunku generacji bipolarnej ($\Delta n = \Delta p$) i niezmienności ładunku w obszarze powierzchniowym po oświetleniu : $Q_t = Q_{ss} + Q_{sc} + Q_d = const$ (gdzie Q_{ss} - ładunek w stanach powierzchniowych, Q_{sc} -przestrzenny ładunek przypowierzchniowy, Q_d - stały ładunek w tlenku pokrywającym powierzchnię półprzewodnika), uzyskuje się, przy założeniu że ładunek Q_d nie zmienia się wraz ze zmianą oświetlenia i potencjału powierzchniowego, następującą relację:

$$\Delta V_s^* = -\frac{kT}{q}(\gamma_p - 1)\left.\frac{\partial Q_{sc}/\partial\gamma_p + \partial Q_{ss}/\partial\gamma_p}{\partial Q_{sc}/\partial v_s + \partial Q_{ss}/\partial v_s}\right|_{\gamma_p \to 1} \tag{4}$$

gdzie: γ_p - współczynnik wstrzykiwania mniejszościowych nośników ładunku, zdefiniowany jako $\gamma_p = (p_o + \Delta p)/p_o$,
$p_o, \Delta p$ - równowagowa i nadmiarowa koncentracja dziur,
v_s - potencjał powierzchniowy w jednostkach kT/q,
k, T, q - stała Boltzmanna, temperatura i ładunek elementarny.

Pochodne cząstkowe związane z ładunkiem Q_{sc} można obliczyć, korzystając z wyrażenia opisującego wartość tego ładunku w trakcie oświetlenia:

$$Q_{sc} = \pm[\varepsilon\varepsilon_o kT(n_b + p_b)]^{1/2} F(u_b, v_s, \gamma_p) \tag{5}$$

gdzie: $F(u_b, v_s, \gamma_p) = [F_s^2 + 4(\gamma_p - 1)\exp(-u_b)\sinh^2(0.5v_s)/\cosh u_b]^{1/2}$ (6)
$\varepsilon, \varepsilon_o$ -stała dielektryczna półprzewodnika i próżni,
n_b, p_b -koncentracja elektronów i dziur w objętości,
$u_b = (E_F - E_i)/kT$, E_F, E_i - poziom Fermiego w objętości półprzewodnika domieszkowego i samoistnego.

Funkcja F_s ma postać :

$$F_s=\sqrt{2}[\cosh(u_b+v_s)/\cosh u_b - v_s\tanh u_b - 1]^{1/2} \tag{7}$$

Znak "+" w wyrażeniu (5) odnosi się do przypadku, gdy $v_s<0$, natomiast znak "-" do przypadku $v_s>0$.

Wykorzystując założenie $\gamma_p \to 1$, otrzymuje się wyrażenie na fotonapięcie powierzchniowe w postaci :

$$\Delta V_s^* = \frac{kT}{q}\frac{\Delta n^* \pm 2[\varepsilon\varepsilon_o kT(n_b+p_b)]^{1/2}\sinh^2(0.5v_s)+\exp u_b\cosh u_b F_s(\partial Q_{ss}/\partial\gamma_p)}{n_i \pm[\varepsilon\varepsilon_o kT(n_b+p_b)]^{1/2}[\sinh(v_s+u_b)-\sinh u_b]+\cosh u_b F_s(\partial Q_{ss}/\partial v_s)} \tag{8}$$

gdzie Δn^*-koncentracja nośników nadmiarowych na granicy przestrzennego ładunku przypowierzchniowego i objętości.

Pochodne cząstkowe związane z ładunkiem zlokalizowanym w stanach powierzchniowych można obliczyć, korzystając z wyrażeń:

$$\frac{\partial Q_{ss}}{\partial v_s} = -\int_{E_v}^{E_c}\frac{qN_{ss}(E)dE}{4\cosh^2[0.5(E/kT-u_s)]} \tag{9}$$

oraz:

$$\frac{\partial Q_{ss}}{\partial\gamma_p} = \exp(-u_b)\int_{E_v}^{E_c}\frac{qN_{ss}(E)\Lambda dE}{4\cosh^2[0.5(E/kT-u_s)]} \tag{10}$$

gdzie E-energia elektronu określona względem E_i ze znakiem plus, gdy poziom E leży powyżej E_i lub ze znakiem minus, gdy znajduje się poniżej tego punktu,

$$\Lambda=\cosh u_b\tanh[0.5(-E/kT-u_s)+0.5\ln(r_v/r_c)]+\sinh u_b \tag{11}$$

$$u_s=v_s+u_b \tag{12}$$

r_v/r_c-stosunek prawdopodobieństwa wychwytu dziury z pasma walencyjnego i elektronu z pasma przewodnictwa przez stany powierzchniowe.

Ponieważ pod wpływem światła pochłanianego przy powierzchni powstaje w półprzewodniku fotowoltaiczny efekt Dembera, który ma zawsze znak dodatni, mierzone fotonapięcie powierzchniowe jest sumą:

$$\Delta V_s=\Delta V_s^* + U_D \tag{13}$$

gdzie $$U_D=\frac{kT}{q}\frac{\mu_n-\mu_p}{\mu_n+\mu_p}\ln\frac{\sigma^*}{\sigma} \tag{14}$$

σ, σ^* -przewodnictwo ciemne i w trakcie oświetlenia,
μ_n, μ_p -ruchliwości elektronów i dziur.

Porównując doświadczalne i teoretyczne zależności $\Delta V_s(T)$, obliczone na podstawie opisanego modelu, można uzyskać informacje o funkcji energetycznego rozkładu stanów powierzchniowych i ich przekrojach czynnych na wychwyt elektronów i dziur. W tym celu należy znać temperaturowe zależności koncentracji i ruchliwości nośników ładunku w objętości oraz zmianę z temperaturą potencjału powierzchniowego i koncentracji nośników nadmiarowych Δn^*.

3. EKSPERYMENT

Pomiary fotonapięcia powierzchniowego ΔV_s w funkcji temperatury (w zakresie 300-430K) i długości fali światła (w zakresie 500 - 1000 nm) przeprowadzono w próżni rzędu 10^{-3}Pa, typowej dla badań realnej powierzchni półprzewodników, w układzie przedstawionym na schemacie 1.

Zastosowano metodę stałego kondensatora i modulowanego strumienia świetlnego (rys.2a). Jedną okładkę kondensatora stanowiła uziemiona próbka krzemu, natomiast drugą - półprzeźroczysta warstwa złota naparowana na szklaną płytkę, umieszczoną w odległości około 40 μm od badanej próbki (rys.2b).Takie rozwiązanie struktury kondensatorowej, z próżnią jako warstwą dielektryka, zabezpieczało powierzchnię półprzewodnika przed zetknięciem z obcym ciałem ,co było szczególnie istotne przy zmianie temperatury próbki.

Sygnał ΔV_s z elektrody pomiarowej podawany był do wzmacniacza elektrometrycznego o wysokiej rezystancji wejściowej (R_{we}=6.8x$10^9\Omega$), a następnie - do nanowoltomierza homodynowego i rejestratora XY.

Aby wyznaczyć bezwzględną wartość amplitudy ΔV_s, dokonano kalibracji układu metodą porównania amplitudy sygnału fotonapięcia powierzchniowego wywołanego światłem, z amplitudą sygnału ΔV_s wywołanego wzorcowym napięciem prostokątnym podawanym z generatora [12,13].

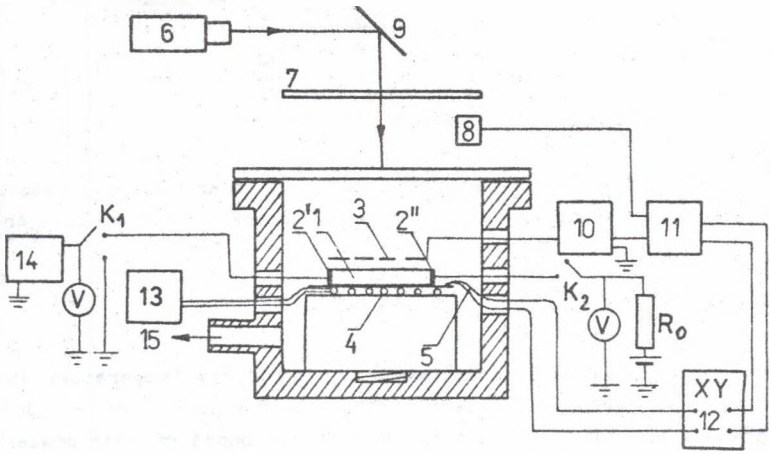
Poziom szumów fotonapięcia powierzchniowego wynosił 50 μV.

Światło padające na powierzchnię próbki modulowano mechanicznie z częstotliwością 40 Hz. Była ona tak dobrana, aby ładunek powolnych stanów powierzchniowych nie zmieniał się pod wpływem oświetlenia.

Do wywołania ΔV_s i $\Delta\sigma$ o małej amplitudzie zastosowano światło o długości fali 632.8 nm, emitowane przez laser He-Ne o mocy 1mW. Pomiary nasycenia ΔV_s przeprowadzono natomiast przy użyciu silnego źródła światła -lampy halogenowej o mocy 75W. Do wyznaczania charakterystyk ΔV_s i $\Delta\sigma$ wykorzystano monochromator SPM-2, oświetlony lampą wolframową.

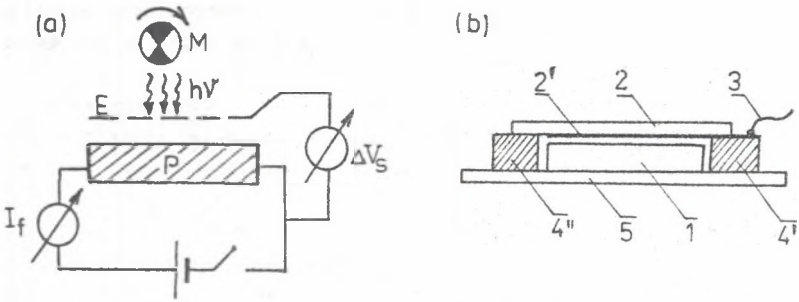
Temperaturę próbki zmieniano poprzez zmianę temperatury podłoża z szybkością 2K/min. Maksymalny błąd określenia temperatury oszacowano na ±5K.

Badaniom poddano krzem typu p o rezystancji właściwej ρ=15Ωm i koncen-



Rys.1.Schemat układu pomiarowego:
1-próbka, 2-kontakty omowe, 3-elektroda pomiarowa, 4-grzejnik, 5-termopara Ni-NiCr, 6-źródło światła, 7-modulator , 8-fotodioda, 9-zwierciadło, 10-wzmacniacz elektrometryczny, 11-nanowoltomierz homodynowy, 12-rejestrator XY, 13-stabilizowany zasilacz prądowy, 14-generator impulsów prostokątnych, 15-przejście do układu próżniowego.

Fig.1.Scheme of the measuring system:
1-sample, 2-ohmic contacts, 3-measuring electrode, 4-heater, 5-Ni-NiCr thermocouple, 6-light source, 7-chopper, 8-photodiode, 9-mirror, 10-electrometer, 11-lock-in, 12-XY recorder, 13-stabilized current supply, 14-square wave generator, 15-into vacuum.



Rys.2.(a)Schemat metody pomiaru fotonapięcia powierzchniowego:
1-próbka, 2-elektroda pomiarowa, 3-modulator.
(b)Schemat struktury kondensatorowej do pomiaru fotonapięcia powierzchniowego:
1-próbka, 2-płytka szklana z półprzeźroczystą warstwą złota 2`, 3-doprowadzenie elektryczne, 4`,4``-płytki dystansowe z miki, 5-podłoże ceramiczne.

Fig.2.(a)Scheme of measurement of the surface photovoltage effect:
1-sample, 2-electrode,3-chopper.
(b)Scheme of the condenser structure for measurement of the surface photovoltage:
1-sample,2-glass plate with the semitransparent gold layer 2`,3-electrical connection,4`,4``-mica spacer,5-alumina plate.

tracji domieszek $C_B = 1.2\times10^{19}$ m^{-3} oraz krzem typu n o $\rho = 11$ Ωm i $C_B = 3.7\times10^{18}$ m^{-3}. Przeznaczone do pomiarów próbki miały kształt prostopadłościanów o wymiarach: 12x5x0.28 mm. Przed pomiarami powierzchnię próbek poddano trawieniu w 46% kwasie HF, płukaniu w acetonie oraz wielokrotnemu płukaniu w wodzie dejonizowanej.Ponadto próbki wygrzewano w próżni w temperaturze 700K w ciągu 2h.

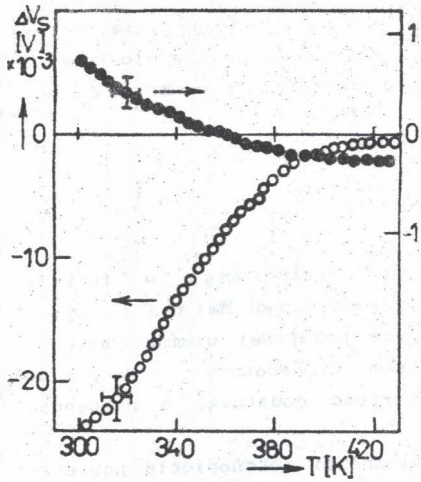
4. WYNIKI POMIARÓW I DYSKUSJA

Doświadczalne zależności fotonapięcia powierzchniowego w funkcji temperatury dla próbek Si typu p i n przedstawiono na rys.3. Dla materiału typu p zaobserwowano w temperaturze pokojowej ujemną wartość ΔV_s, zmierzającą do zera wraz ze wzrostem temperatury . Natomiast dla materiału typu n , ΔV_s przyjmowało wartość dodatnią, a następnie zmieniało znak w pewnej temperaturze .

Na rysunku 4 zamieszczono przykładowe zależności fotonapięcia powierzchniowego od natężenia światła w ustalonych temperaturach dla próbek Si-p i n, które pozwoliły na wyznaczenie zależności potencjału powierzchniowego w funkcji temperatury. Zestawiono je na rysunku 5. Osi odciętych przyporządkowano w tym przypadku zależną do temperatury wielkość Φ_s, równą odległości E_F od E_i na powierzchni półprzewodnika, którą obliczono na podstawie wartości V_s i parametrów objętościowych badanego materiału (n_b,p_b, μ_n,μ_p), wyznaczonych metodą efektu Halla. Widoczna jest komplementarność krzywych $V_s(\Phi_s)$ dla krzemu typu p i n, co sugeruje ciągłość procesów elektronowych zachodzących na obu tych powierzchniach wraz ze zmianą Φ_s, i więc także podobieństwo charakteru rozkładu stanów powierzchniowych , bez względu na typ domieszkowania objętościowego .Wartości potencjału powierzchniowego w temperaturze pokojowej - dodatnie dla Si-p i ujemne dla Si-n, wskazują na stan zubużenia w obszarze przypowierzchniowym po zastosowanej obróbce technologicznej powierzchni. Stan taki jest charakterystyczny dla realnej powierzchni wielu półprzewodników [4,5,14].

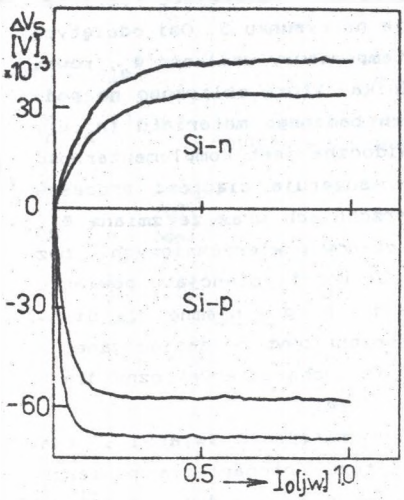
Na rysunku 6 przedstawiono typową zależność natężenia światła I_o,dla różnych długości fali,wywołującego tę samą wartość fotonapięcia powierzchniowego, w funkcji odwrotności współczynnika pochłaniania światła α^{-1}.Na tej podstawie , posługując się metodyką opisaną w rozdziale 2.1, wyznaczono wartość efektywnej drogi dyfuzji nośników mniejszościowych L. Parametr ten pozwolił na obliczenie koncentracji nadmiarowych nośników ładunku Δn^* [15].

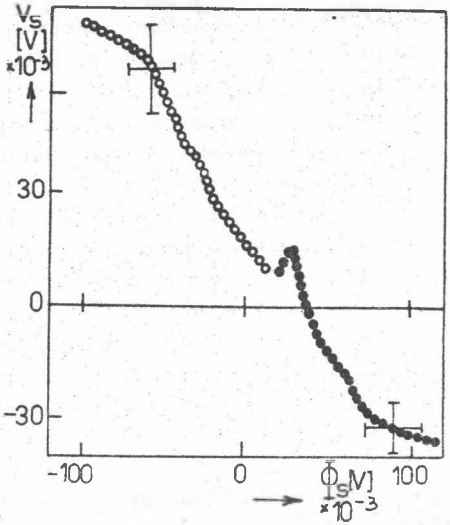
Analizę teoretyczną zależności fotonapięcia powierzchniowego od temperatury przeprowadzono na podstawie opisanego w rozdziale 2.2 modelu Lile`a tego zjawiska, z uwzględnieniem we wzorach (9) i (10) rozkładu energetycznego stanów powierzchniowych w postaci dwóch grup: akceptorów i donorów. Funkcję rozkładu N_{ss} przyjęto w postaci [16]:



Rys.3.Doświadczalne zależności fotonapięcia powierzchniowego od temperatury dla próbek Si typu p(o) i n(•).

Fig.3.Experimental dependences of the surface photovoltage on temperature for Si samples of p(o) and n(•) type.



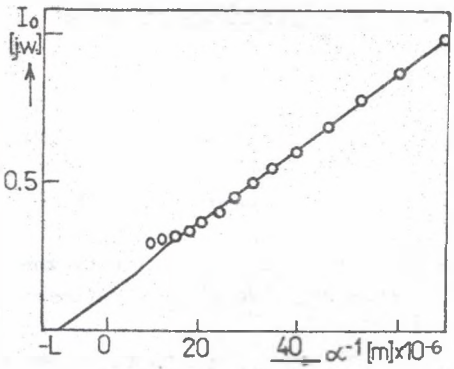


Rys.4.Wybrane zależności fotonapięcia powierzchniowego od natężenia światła, zarejestrowane w różnych temperaturach dla próbek Si typu p i n.

Fig.4.Selected dependences of the surface photovoltage on light intensity, registered at various temperatures for Si samples of p and n-type.

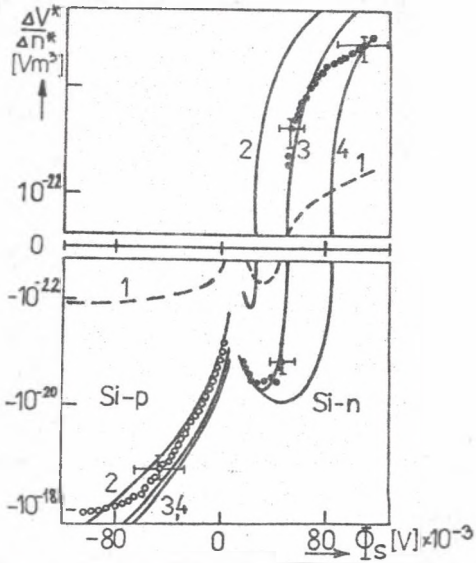
Rys.5.Doświadczalne zależności potencjału powierzchniowego od Φ_s dla próbek Si typu p(o) i n(•).

Fig.5.Experimental dependences of the surface potential on Φ_s for Si samples of p(o) and n(•) type.



Rys.6.Typowa zależność natężenia światła I_o, unormowanego do stałej wartości fotonapięcia powierzchniowego od odwrotności współczynnika pochłaniania światła α^{-1} dla próbki Si-p.

Fig.6.Typical dependence of light intensity I_o,normalized to the constant value of the surface photovoltage on the reciprocal, absorption light coefficient α^{-1} for Si-p sample.



Rys.7.Doświadczalne zależności $\Delta V_s^*/\Delta n^*$ od Φ_s dla próbek Si typu p(∘) i n(•)

Krzywe teoretyczne:

(1)A=B=0, (2)A_o=5x10^{13}m^{-2}eV^{-1}, B_o=1x10^{14}m^{-2}eV^{-1}, a_o=b_o=0.15, ln(r_v/r_c)$_a$=7, ln(r_v/r_c)$_d$=-3; (3)A_o=1x10^{14}m^{-2}eV^{-1}, B_o=1x10^{15}m^{-2}eV^{-1}, a_o=0.15, b_o=0.5, ln(r_v/r_c)$_a$=7, ln(r_v/r_c)$_d$=-3; (4)A_o=1x10^{13}m^{-2}eV^{-1}, B_o=1x10^{15}m^{-2}eV^{-1},a_o=0.15, b_o=0.5, ln(r_v/r_c)$_a$=7, ln(r_v/r_c)$_d$=-3.

Fig.7.Experimental dependences of $\Delta V_s^*/\Delta n^*$ on Φ_s for Si-p(∘) and n(•) type.

Theoretical curves:

(1)A=B=0; (2)A_o=5x10^{13}m^{-2}eV^{-1}, B_o=1x10^{14}m^{-2}eV^{-1}, a_o=b_o=0.15, ln(r_v/r_c)$_a$=7 ln(r_v/r_c)$_d$=-3; (3)A_o=1x10^{14}m^{-2}eV^{-1}, B_o=1x10^{15}m^{-2}eV^{-1}, a_o=0.15, b_o=0.5, ln(r_v/r_c)$_a$=7, ln(r_v/r_c)$_d$=-3; (4)A_o=1x10^{13}m^{-2}eV^{-1}, B_o=1x10^{15}m^{-2}eV^{-1},a_o=0.15, b_o=0.5, ln(r_v/r_c)$_a$=7, ln(r_v/r_c)$_d$=-3.

$$N_{ss} = A\exp(aE/kT)+B\exp(-bE/kT) \qquad (15)$$

gdzie A,a,B,b - współczynniki funkcji rozkładu.

Założono następujące zależności tych współczynników od temperatury:

$$A=A_o(T/T_o)^{1.5} \quad , \quad B=B_o(T/T_o)^{1.5} \qquad (16)$$

$$a=a_o(T/T_o) \quad , \quad b=b_o(T/T_o) \qquad (17)$$

gdzie T_o=300K,

A_o, B_o, a_o, b_o - wartości współczynników A,B,a,b w temperaturze 300K.

Przyjęto ponadto niezmienność z temperaturą parametru r_v/r_c.

Na rysunku 7 zestawiono punkty doświadczalne i krzywe teoretyczne $\Delta V_s^*/\Delta n^*$ od temperatury, dla Si-p i n, uzyskane dla wybranych wartości parametrów stanów powierzchniowych.

Widoczna jest zgodność zależności eksperymentalnych i teoretycznych, obliczonych dla Φ_s, odpowiadających Si-p i n, przy jednym zestawie wartości parametrów stanów powierzchniowych. Fakt ten potwierdza wniosek dotyczący jednakowego rozkładu energetycznego stanów powierzchniowych zarówno dla próbek Si-p, jak i n, poddanych tej samej technologii przygotowania powierzchni.

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone eksperymenty wykazały przydatność pomiarów fotonapięcia powierzchniowego do badań realnej powierzchni półprzewodnika.

Zależności ΔV_s od temperatury, natężenia i energii światła pozwoliły na uzyskanie szeregu informacji dotyczących takich parametrów badanych próbek, jak: potencjał powierzchniowy V_s, droga dyfuzji nośników mniejszościowych L oraz parametry rozkładu stanów powierzchniowych.

Metoda fotonapięcia powierzchniowego okazała się bardzo czuła zarówno na potencjał powierzchniowy V_s, jak i położenie poziomu Fermiego Φ_s [15], regulowane poprzez zmianę temperatury próbki.

LITERATURA

[1] C.G. Scott, C.E. Read; Ed.: Surface Physics of Phosphors and Semiconductors, Academic Press, London 1975.

[2] V.A. Zujev, A.V. Sachenko, K.B. Tolpygo: Nieravnovesnye pripoverkhnostnye protsessy v poluprovodnikakh i poluprovodnikovykh priborakh, Sovietskoje Radio, Moskwa 1977.

[3] G.P. Pieka, Fiziczeskiye yavleniya na poverkhnosti poluprovodnikov, Viszcza Szkola, Kiev 1984.

[4] S. Kuźmiński: Acta Phys. Pol. A69 (1986) 1075.

[5] S. Kuźmiński, K. Pater: Acta Phys. Pol. A71 (1987) 181.

[6] A.M. Goodman: J. Appl. Phys. 53 (1982) 7561.
[7] N. Kasupke, M. Henzler: Surf. Sci. 54 (1976) 111.
[8] B. Adamowicz, S. Kochowski: Surf. Sci. 200 (1988) 172.
[9] B. Adamowicz, S. Kochowski: Acta Univ. Wratislav. No 1025 (1988) 13.
[10] V.A. Pietrusevich: Fiz. Tverd. Tela 1 (1959) 1695.
[11] D.L. Lile: Surf. Sci. 34 (1973) 337.
[12] E.O. Johnson: Phys. Rev. 111 (1958) 153.
[13] L.G. Meiners: Thin Solid Films 56 (1979) 201.
[14] H. Yamagishi: J.Phys. Soc. Japan 25 (1968) 766.
[15] B. Adamowicz: Badania procesów elektronowych na realnej powierzchni krzemu metodą fotonapięcia powierzchniowego, Praca doktorska, Pol.Sl. Gliwice 1988 (nie publikowana).
[16] A.V. Rzhanov: Elektronnyje processy na poverkhnosti poluprovodnikov, Nauka, Moskwa 1975.

Recenzent: Prof. dr hab. Anna T. Szanynok

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОВЕРХНОСТНОГО ФОТОНАПРЯЖЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Р е з ю м е

В работе описаны теоретические основы поверхностного фотонапряжения ΔV_s для энергии света больше чем ширина запрещенной зоны полупроводника. Представлены тоже результаты исследований реальной поверхности кремния n и p типа. На основе измерений температурной зависимости поверхностного фотонапряжения от температуры вместе с измерениями ΔV_s от интенсивности и энергии света получены величины поверхностного потенциала, длины диффузии неосновных носителей и параметров поверхностных состояний.

APPLICATION OF THE SURFACE PHOTOVOLTAGE EFFECT
TO INVESTIGATIONS OF SEMICONDUCTOR SURFACE

Summary

In the work a theory of the surface photovoltage phenomenon ΔV_s evoked by light with energy larger then the semiconductor energy band gap is presented. Possibility of applying of this effect to investigations of the real surface of p and n type Si is also described. The examinations of the surface photovoltage on temperature completed by the measurements of the ΔV_s versus intensity and energy of light have yielded the informations about value of the surface potential, the minority carrier diffusion lenght and parameters of surface states.