Instytut Technologii Elektronowej, Zakład Charakteryzacji Struktur Nanoelektronicznych (1), ACREO Szwecja (2)

# Określanie schematów pasmowych struktur MOS na podłożu SiC(4H)

**Streszczenie.** W celu określenia schematów pasmowych struktur MOS wykonanych na podłożu z węglika krzemu SiC(4H) wykorzystano szereg technik charakteryzacji: elektrycznych, optycznych oraz fotoelektrycznych. Szczególnie przydatne są pomiary fotoelektryczne, które pozwalają na wyznaczenie wysokości barier potencjału na powierzchniach granicznych dielektryka, jak również pozwalają na określenie położenia energetycznego stanów powierzchniowych na granicy SiO<sub>2</sub>/SiC. Praca przedstawia wyniki pomiarów wykonanych na kondensatorach MOS z aluminiową bramką Al oraz z warstwą dielektryka wykonaną w dwóch różnych technologiach (chemiczne osadzanie i termiczne utlenianie).

**Abstract**. In order to determine band diagrams of the MOS structures made on SiC(4H) substrate several measurement techniques were used: electrical, optical and photoelectric methods. Particularly photoelectric methods are useful since they allow determination of barrier heights at the both dielectric interfaces. In this work measurement results performed on MOS capacitors with aluminum metal gate and with different dielectric layers (chemical deposition and thermal oxidation) are presented. **Band diagrams of the MOS structures made on SiC(4H) substrate** 

**Słowa kluczowe**: struktura MOS, schemat pasmowy, stany powierzchniowe. **Keywords**: MOS structure, band diagram, interface states.

doi:10.12915/pe.2014.09.24

# Wstęp

Węglik krzemu SiC jest związkiem półprzewodnikowym, który ze względu na swoje właściwości jest niezwykle atrakcyjnym materiałem podłożowym do zastosowań w nowoczesnej elektronice. Niewątpliwą zaletą SiC jest dużo większa przerwa zabroniona  $E_G$  (w zależności od politypu wynosi odpowiednio: 3C - 2,38, 6H - 3,02, 4H - 3,26 eV) [1] w stosunku do przerwy energetycznej krzemu Si (1,12 eV). Przyrządy półprzewodnikowe oparte na węgliku krzemu mogą pracować w warunkach bardziej ekstremalnych w stosunku do przyrządów krzemowych, m.in. dla wyższych temperatur i częstotliwości oraz są bardziej odporne na napięcia przebicia [1,2].

Jednym z ograniczeń napotkanych w rozwoju technologii podłożowej SiC jest wytworzenie warstwy dielektryka SiO2 tak, aby uzyskać dobrej jakości powierzchnię graniczną SiO<sub>2</sub>/SiC. O ile technologia termicznego utleniania jest porównywalna do technologii stosowanej dla krzemu (dielektryk wykazuje podobną odporność na napięcia przebicia) [3,4] to w przypadku SiC gęstość stanów powierzchniowych (pułapek) na granicy SiO<sub>2</sub>/SiC pozostaje na poziomie ok. 2 rzędy wielkości wyższym  $(10^{11} \div 10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{cm}^{-2})$  od gęstości pułapek na granicy SiO<sub>2</sub>/Si. Powoduje to, że ruchliwość elektronów w warstwie inwersyjnej na powierzchni SiC jest zdecydowanie mniejsza (20 cm<sup>2</sup>/Vs) niż w jego objętości (700 cm<sup>2</sup>/Vs) [5]. Zmniejszenie gęstości stanów powierzchniowych staje się kluczowe także z tego powodu, że są one przyczyną występowania prądów upływu oraz powodują zwiększenie wartości napięcia progowego.

W pracy porównano wyniki pomiarów struktur MOS wytworzonych na podłożu z węglika krzemu SiC(4H) z okrągłą aluminiową bramką różniących się technologią wytwarzania warstwy dielektryka SiO<sub>2</sub>: wspomagane plazmowo chemiczne osadzanie (ang. plasma enhanced chemical vapor deposition – PECVD) oraz termiczne utlenianie (ang. thermal oxidation – THERMAL). Porównanie wyników badań miało na celu wykazać, która z metod wytwarzania dielektryka SiO<sub>2</sub> pozwala na otrzymanie lepszej jakości interfejsu SiC(4H)/SiO<sub>2</sub> wyrażonej tutaj jako liczba (gęstość) stanów powierzchniowych na granicy SiO<sub>2</sub>/SiC i tym samym dostarczyć informacji dotyczących właściwości fizycznych badanych struktur.

Korzystając z całej gamy metod badawczych: elektrycznych, optycznych oraz fotoelektrycznych określone zostały schematy pasmowe struktur Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H).

## Dane eksperymentalne

Kondensatory MOS wytworzone zostały na 4" płytkach SiC(4H) o orientacji (0001). Warstwa epitaksjalna typu n o grubości ok. 10 µm została na powierzchni domieszkowana azotem na poziomie 5÷6·10<sup>15</sup> cm<sup>-3</sup>. Dla jednej grupy struktur warstwę dielektryka wytworzono w standardowym procesie termicznego utleniania (THERMAL) w temperaturze 1250°C w atmosferze N2O:N2(1:3) w czasie 14h. Otrzymana grubość warstwy dielektryka wyniosła ~53 nm. W drugiej grupie struktur dielektryk wytworzono przy użyciu wspomaganego plazmowo procesu chemicznego osadzania (PECVD) w temperaturze 300°C, a następnie struktury utleniono w suchym tlenie w temperaturze 1150°C w czasie 3h. W rezultacie otrzymano warstwę dielektryka o grubości ~45 nm. Metodą rozpylania plazmowego (200 W, 8 mTorr) na potrzeby przeprowadzenia pomiarów fotoelektrycznych na obu typach struktur wykonano półprzezroczyste bramki aluminiowe (~20 nm). Kontakt spodni wykonano z materiału TiW (~100 nm) metodą rozpylania plazmowego (1,5 kW).

#### Procedury pomiarowe i wyniki pomiarów

W celu określenia schematu pasmowego struktury MOS konieczne jest wykonanie szeregu pomiarów przy użyciu różnych technik pomiarowych oraz wyznaczenie wielu parametrów elektrycznych badanych struktur. Do podstawowych metod charakteryzacji kondensatora MOS zaliczyć można elektryczny pomiar charakterystyki pojemnościowo-napięciowej  $C(V_G)$ . Na podstawie tego pomiaru można wyznaczyć wiele bardzo istotnych parametrów badanej struktury, a do najważniejszych zaliczają się: koncentracja domieszkowania podłoża półprzewodnikowego N<sub>D</sub> (określana z nachylenia charakterystyki  $C^2(V_G)$ ), grubość warstwy dielektryka  $t_{OX}$ (określana na podstawie wartości pojemności struktury dla stanu akumulacji) oraz napięcie wyprostowanych pasm w półprzewodniku V<sub>FB</sub>. Napięcie V<sub>FB</sub> pełni w technologii MOS bardzo szczególną rolę, gdyż wpływa na wartość napięcia progowego V<sub>T</sub> tranzystora MOS, czyli pośrednio wpływa na zakresy częstotliwości i temperatur pracy tranzystora oraz decyduje o mocy przez niego pobieranej [6]. Istnieje wiele metod określania wartości  $V_{FB}$  [6,7], a na potrzeby tej pracy napięcie to wyznaczano na podstawie charakterystyki potencjału powierzchniowego opisującej zależność półprzewodnika  $\phi_S$  od napięcia bramki  $V_G$  (dla  $\phi_S$  = 0 napięcie  $V_G = V_{FB}$ ) [6].

Na rysunku 1 przedstawiono charakterystyki  $C(V_G)$  zmierzone na strukturach Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) z dielektrykiem: PECVD (rys.1a) oraz THERMAL (rys.1b). Pokazano także charakterystyki  $C^*(V_G)$  zmierzone dla stanu oświetlenia struktury (ich rola będzie omówiona w dalszej części) oraz charakterystyki obliczone dla przypadku idealnej struktury MOS. Wielkość przesunięcia pomiędzy zmierzoną a obliczoną charakterystyką  $C(V_G)$  jest miarą wielkości ładunku efektywnego  $Q_{eff}$  na granicy SiO<sub>2</sub>/SiC(4H). Przesunięcie zmierzonej charakterystyki  $C(V_G)$  w kierunku bardziej dodatnich napięć  $V_G$  świadczy o istnieniu ujemnego ładunku  $Q_{eff}$  i jak widać na rysunku 1 ładunek ten jest większy dla struktur z dielektrykiem THERMAL.



Rys.1. Charakterystyki  $C(V_G)$ ,  $C^*(V_G)$  zmierzone dla stanu zaciemnienia i oświetlenia struktury oraz obliczone dla idealnej struktury Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) z dielektrykiem: a) PECVD oraz b) THERMAL

Kolejną grupą metod charakteryzacji struktur MOS są metody optyczne pozwalające na określenie właściwości optycznych badanych struktur. Jedna z technik pracy jest pomiarowych użytych w elipsometria spektroskopowa, za pomocą której określono współczynniki poszczególnych warstw struktury: optyczne n współczynnik załamania oraz k – współczynnik ekstynkcji, a także wyznaczono grubości warstw bramki  $t_{Al}$  = 20 nm oraz dielektryka  $t_{OX}$  = 45,91 nm (PECVD) oraz  $\vec{t}_{OX}$  = 53,55 nm (THERMAL). Parametry te posłużyły do obliczenia charakterystyk optycznych RTA (R - część światła odbitego od struktury, T - część światła zaabsorbowanego w materiale podłoża oraz A – zaabsorbowanego w materiale bramki) [8]. Charakterystyki RTA wykreślone w funkcji długości fali światła  $\lambda$  przedstawione zostały na rysunku 2. Obliczenia wykonano dla struktur Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) z dielektrykiem: PECVD (rys.2a) oraz THERMAL (rys.2b).



Rys.2. Charakterystyki optyczne  $RTA(\lambda)$  obliczone dla struktur Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) z dielektrykiem: a) PECVD ( $t_{0X}$  = 45,91) oraz b) THERMAL ( $t_{0X}$  = 53,55 nm). Określona z pomiarów elipsometrycznych i przyjęta do obliczeń grubość bramki aluminiowej wynosiła  $t_{Al} \approx 20$  nm

Określenie właściwości optycznych badanych struktur nabiera znaczenia w sytuacji kiedy konieczne jest wyznaczenie wartości wysokości barier potencjału na obu powierzchniach granicznych dielektryka, czyli na granicy bramka-dielektryk – bariera  $E_{BG}$  i granicy półprzewodnikdielektryk – bariera E<sub>BS</sub>. Określenie wartości obu tych parametrów jest możliwe dzięki zastosowaniu fotoelektrycznych metod pomiaru. Metody te wykorzystują zjawisko fotoemisji wewnętrznej zachodzącej na skutek dostarczenia elektronom w materiale emitera odpowiedniej energii (za pomocą fotonów promieniowania świetlnego) do pokonania bariery potencjału na granicy dielektryk-emiter [9]

Różnorodność technik fotoelektrycznych pozwala na określenie wielu różnych parametrów elektrycznych struktury, które nie mogą być wyznaczone innymi metodami bądź też są dokładniej wyznaczane przy użyciu metod fotoelektrycznych. Wśród tych parametrów wyróżnić należy efektywną kontaktową różnicę potencjałów  $\phi_{MS}$ , której dokładność określania jest nie gorsza niż ± 5 mV [10,11]. Opracowana przez nas metoda wyznaczania wartości  $\phi_{MS}$ polega na pomiarze charakterystyki prądowo-napięciowej  $I_F(V_G)$  dla różnych długości fali światła  $\lambda$ . Z otrzymanych charakterystyk wyznacza się tę, która jest najbardziej symetryczna w otoczeniu punktu  $I_F$  = 0. Punkt przecięcia tej charakterystyki z osią napięcia V<sub>G</sub> wskazuje na wartość napięcia wyprostowanych pasm w dielektryku,  $V_G = V_{G0}$ . Przykład wyników pomiarów charakterystyk  $I_F(V_G)$  dla struktury Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) z dielektrykiem THERMAL pokazano na rysunku 3.



Rys.3. Charakterystyki  $I_F(V_G)$  zmierzone dla różnych długości fali  $\lambda$  z zakresu  $\lambda$  = 200÷210 nm na strukturze Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) z dielektrykiem THERMAL

Kolejnym parametrem określonym na podstawie fotoelektrycznych pomiarów jest potencjał powierzchniowy półprzewodnika dla stanu wyprostowanych pasm w dielektryku  $\phi_{S0}$ . Parametr ten określa się na podstawie pomiaru oświetlonej charakterystyki  $C^*(V_G)$  [12], której przykłady dla struktur z dielektrykiem PECVD oraz THERMAL przedstawiono odpowiednio na rysunku 1a i 1b.

Wartości obu parametrów: napięcia  $V_{G0}$  oraz potencjału  $\phi_{S0}$  pozwalają wyznaczyć wartość efektywnej kontaktowej różnicy potencjałów  $\phi_{MS}$  przy użyciu zależności [10,11]:

$$\phi_{MS} = V_{G0} - \phi_{S0}$$

gdzie:  $V_{G0}$  – napięcie wyprostowanych pasm w dielektryku,  $\phi_{S0}$  – potencjał powierzchniowy półprzewodnika dla stanu wyprostowanych pasm w dielektryku,  $V_G$  =  $V_{G0}$ .

Niewątpliwie największą zaletą metod fotoelektrycznych jest wspomniana już wcześniej możliwość określenia wysokości barier potencjałów  $E_{BG}$  i  $E_{BS}$ . Wykonując pomiar charakterystyk spektralnych fotoprądu  $I_F$  w funkcji długości fali  $\lambda$  dla różnych bramki  $V_G$  przy użyciu fotoelektrycznej metody Fowlera [9,13] wyznacza się wydajność kwantową procesu fotoemisji z emitera  $Y^{I/p}$ . Wartość wykładnika potęgi p w opisie parametru wydajności Y zależy od rodzaju emitera i przyjmuje się p = 2 dla fotoemisji z metalu oraz p = 3 dla fotoemisji z półprzewodnika [9]. Dla napięcia  $V_G < 0$  bada się fotoemisję z bramki, dla  $V_G > 0$  z podłoża struktury MOS. Przykłady charakterystyk  $I_F(\lambda)$  zmierzonych na strukturach Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) dla napięć  $V_G > 0$  pokazano na rysunku 4a (PECVD) oraz rysunku 4b (THERMAL).





Rys.4. Charakterystyki spektralne  $I_F(V_G)$  zmierzone dla dodatnich napięć  $V_G$  na strukturach Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) z dielektrykiem: a) PECVD oraz b) THERMAL

Do wyznaczenia zależności wydajności kwantowej  $Y^{l/p}$ od energii fotonów hv oprócz zmierzonych charakterystyk  $I_F(\lambda)$  (rys.4) posłużyły także charakterystyki  $RTA(\lambda)$  (rys.2). Określając moc światła zaabsorbowaną w materiale emitera (A - dla fotoemisji z bramki, T - z podłoża) obliczone $zostały zależności <math>Y^{l/p}(hv)$  dla barier  $E_{BG}$  (p = 2) i  $E_{BS}$  (p = 3). Na rysunku 5 przedstawiono wyniki obliczeń charakterystyk  $Y^{l/3}(hv)$  dla struktury PECVD (rys.5a) i THERMAL (rys.5b).



Rys.5. Wydajność kwantowa  $Y^{1/3}$  w funkcji energii fotonów  $h\nu$  określona na podstawie pomiarów fotoprądów  $I_F$  z rysunku 4. Pomiary wykonano na strukturach Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) z dielektrykiem: a) PECVD oraz b) THERMAL. Przerywane linie pionowe wskazują zakresy energii  $h\nu$  przyjęte do dalszych obliczeń wysokości bariery potencjału  $E_{BS}$  (p = 3).

Na zależnościach  $Y^{1/3}(h\nu)$  pokazanych na rysunku 5 można, dla każdego z napięć  $V_G$ , wyodrębnić prostoliniowe odcinki, których ekstrapolacja do osi Y = 0 pozwala określić charakterystyczne wartości energii  $h\nu(Y=0)$ . Wartości tych energii wykreślone w funkcji pierwiastka ze spadku napięcia na dielektryku  $V_{OX}$ , leżą na prostej, której ekstrapolacja do wartości  $V_{OX} = 0$  wskazuje na wartość szukanej bariery potencjału  $E_{BS}$  (zależność Schottky'ego [9]). Taka sytuacja została przedstawiona na rysunku 6 odpowiednio dla struktur Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) z dielektrykiem PECVD oraz THERMAL.



Rys.6. Wartości energii hv(Y=0) wykreślone w funkcji pierwiastka ze spadku napięcia na dielektryku  $V_{OX}$  otrzymane dla struktur Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) z dielektrykiem PECVD i THERMAL. Otrzymane wartości wysokości bariery potencjału na granicy półprzewodnikdielektryk  $E_{BS}$  wynoszą odpowiednio:  $E_{BS}$  = 5,94 eV (PECVD) oraz  $E_{BS}$  = 5,73 eV (THERMAL)

Wysokość bariery  $E_{BS}$  dla struktury Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) z dielektrykiem PECVD wynosi  $E_{BS}$  = 5,94 eV i pozostaje w zgodzie z danymi literaturowymi (~6 eV) [9,14]. Niższą wartość bariery,  $E_{BS}$  = 5,73 eV, odnotowano dla struktury z dielektrykiem THERMAL. Jest tak, gdyż elektrony emitowane do pasma przewodnictwa dielektryka pochodzą nie tylko z pasma walencyjnego SiC(4H), ale również z poziomów o dużej gęstości stanów powierzchniowych zlokalizowanych na granicy SiO<sub>2</sub>/SiC [14]. W przypadku struktury z dielektrykiem PECVD taka dodatkowa emisja elektronów nie została zaobserwowana co może potwierdzać, że gęstość stanów powierzchniowych jest mniejsza. Takie porównanie wyników pozwala wnioskować, że technologia wytwarzania dielektryka SiO2 metodą PECVD nie wprowadza w pobliżu szczytu pasma walencyjnego E<sub>V</sub> istotnej gęstości stanów powierzchniowych na granicy SiO2/SiC i z tego względu jest bardziej obiecująca punktu widzenia zastosowania Z jej nowoczesnych przyrządach półprzewodnikowych SiC.

Dla struktur z dielektrykiem PECVD obserwuje się większe nachylenie prostej  $hv(Y=0) = f(V_{OX}^{1/2})$  niż w przypadku struktur z dielektrykiem THERMAL (rys.6). Efekt ten tłumaczony jest większym wpływem siły obrazowej powodującej spadek wartości wysokości bariery  $E_{BS}$  na granicy SiO<sub>2</sub>/SiC dla większych natężeń pola w dielektryku [9,14].

Za naturę fizyczną stanów powierzchniowych oraz ich aktywność elektryczną odpowiadają w głównej mierze atomy węgla C na powierzchni SiC oraz pułapki w dielektryku SiO<sub>2</sub> przy jego granicy z SiC [14]. Węgiel występuje w dwóch formach: w postaci klastrów  $sp^2$  o energiach zawierających się pomiędzy szczytem pasma walencyjnego  $E_V$  a środkiem pasma zabronionego SiC(4H) oraz w postaci klastrów grafitu [14,15]. Pułapki w SiO<sub>2</sub> energetycznie zlokalizowane są w pobliżu pasma przewodnictwa  $E_c$  i są ściśle związane z defektami powstającymi na skutek technologicznego procesu termicznego utleniania [15].

Na podstawie wyników pomiarów wielu parametrów elektrycznych struktur MOS (m.in.  $V_{FB}$ ,  $\phi_{S0}$ ,  $E_{BG}$ ) przy użyciu kilku technik pomiarowych można skonstruować odpowiednie schematy pasmowe tych struktur. Schematy te określone dla dwóch stanów polaryzacji struktury: dla stanu wyprostowanych pasm w dielektryku ( $V_G = V_{G0}$ ) oraz dla stanu wyprostowanych pasm w półprzewodniku ( $V_G = V_{G0}$ ) zostały przedstawione na rysunku 7. W tabeli 1 zebrano wyniki pomiarów wszystkich pokazanych na rysunku 7 (i nie tylko) parametrów badanych struktur.



Rys.7. Schematy pasmowe struktury Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) otrzymane dla różnych napięć polaryzacji struktury: a) dla napięcia wyprostowanych pasm w dielektryku ( $V_G = V_{G0}$ ) oraz b) dla napięcia wyprostowanych pasm w półprzewodniku ( $V_G = V_{FB}$ )

Tabela 1. Wyniki pomiarów i obliczeń parametrów elektrycznych struktur Al-SiO<sub>2</sub>-SiC(4H) z dielektrykiem wytworzonym w dwóch różnych procesach technologicznych: PECVD i THERMAL.

<u> </u>			
		dielektryk PECVD	dielektryk THERMAL
$E_{BG}$	[eV]	3,60	3,48
$E_{BS}$		5,94	5,73
$E_{VG}$		5,30	5,42
$E_{VS}$		2,96	3,17
χ		2,68	2,47
$Q_{eff}$	[C/cm <sup>2</sup> ]	-1,14·10 <sup>-8</sup>	-5,15·10 <sup>-8</sup>
$N_{eff}$	[cm <sup>-2</sup> ]	7,12·10 <sup>10</sup>	3,21·10 <sup>11</sup>
$\phi_{F}$	[V]	-1,42	-1,41
$\phi_{MS}$		0,35	0,64
$\phi_{S0}$		-0,01	-0,11
$V_{G0}$		0,34	0,53
$V_{FB}$		0,49	1,44
Vox		0,15	0,80

## Podsumowanie

W przedstawiono kompleksowe wyniki pracy charakteryzacji struktur MOS opartych na podłożu z węglika krzemu SiC(4H) z aluminiową bramką oraz z dielektrykiem wykonanym metodą chemicznego osadzania (PECVD) oraz (THERMAL). termicznego utleniania Zastosowanie elektrycznych, optycznych i fotoelektrycznych technik pomiaru pozwoliło na wyznaczenie wielu parametrów elektrycznych struktury MOS, przy użyciu których skonstruowano odpowiednie schematy pasmowe tych struktur. Szczególna uwage zwrócono na pomiary fotoelektryczne, które pozwoliły na wyznaczenie wysokości barier potencjałów po obu stronach dielektryka oraz wskazały na istnienie stanów powierzchniowych zlokalizowanych w przerwie zabronionej SiC(4H) dla struktur z dielektrykiem THERMAL. Istnienie tych stanów przypisuje się atomom węgla na powierzchni granicznej SiO<sub>2</sub>/SiC występujących w postaci klastrów sp<sup>2</sup>. W przypadku struktur z dielektrykiem PECVD nie stwierdzono występowania tych stanów.

### LITERATURA

- Ruff M., Mitlehner M., Helbig R., SiC devices: Physics and numerical simulation, *IEEE Trans. Electron Devices*, 41 (1994), n.6, 1040-1054
- [2] Morkoc H., Strite S., Gao G.B., Lin M.E., Sverdlov B., Burns M., Large-band gap SiC, III-V nitride, and II-VI ZnSe - bases semiconductor device technologies, *J. Appl. Phys.*, 76 (1994), n.3, 1363-1398
- [3] Friedrichs P., Burte E.P., Schorner R., Dielectric strength of thermal oxides on 6H-SiC and 4H-SiC, *Appl. Phys. Lett.*, 65 (1994), n.13, 1665-1667
- [4] Alok D., McLarty P.K., Baliga B.J., Interface properties of MOS structures on n-type 6H-SiC, *Appl. Phys. Lett.*, 64 (1994), n.21, 2845-2846

- [5] Schorner R., Friedrichs P., Peters D., Stephani D., Significantly improved performance of MOSFET's on silicon carbide using the 15-R SiC polytype, *IEEE Electron Device Lett.*, 20 (1999), n.5, 241-244
- [6] Nicollian E.H., Brews J.R., MOS Physics and Technology, J.Wiley and Sons, New York, 1982
- [7] Piskorski K., Przewłocki H.M., Metody określania napięcia wyprostowanych pasm w półprzewodniku w strukturze MOS, *Elektronika*, 10 (2010), 18-22
- [8] Powell R.J., Photoinjection into SiO<sub>2</sub>: Use of optical interference to determine electron and hole contributions, *J. Appl. Phys.*, 40 (1969), n.13, 5093-5101
- [9] Afanas'ev V.V., Internal Photoemission Spectroscopy. Principles and Applications, Elsevier, 2008
- [10] Przewłocki H.M., Internal photoemission characteristics of metal-insulator-semiconductor at low electric fields in the insulator, J. Appl. Phys., 85 (1999), n.9, 6610-6618
- [11] Przewłocki H.M., Theory and applications of internal photoemission in the MOS system at low electric fields, *Solid-State Electron.*, 45 (2001), 1241-1250
- [12]Krawczyk S., Przewłocki H.M., Jakubowski A., New ways to measure the work function difference in MOS structures, *Revue Phys. Appl.*, 17 (1982), 473-480
- [13] Fowler R.H., The analysis of photoelectric sensitivity curves for clean metals at various temperatures, *Phys. Rev.*, 38 (1931), 45-56
- [14] Afanas'ev V.V., Bassler M., Pensl G., Schulz M.J., Band offsets and electronic structure of SiC-SiO<sub>2</sub> interfaces, *J. Appl. Phys.*, 79 (1996), n.6, 3108-3114
- [15] Afanas'ev V.V., Intrinsic SiC/SiO<sub>2</sub> interface states, *Phys. Stat. Sol.*(*a*), 162 (1997), 321-337

Autorzy: mgr inż. Krzysztof Piskorski, dr hab. inż. Henryk M. Przewłocki, prof. ITE, Instytut Technologii Elektronowej, Zakład Charakteryzacji Struktur Nanoelektronicznych, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, E-mails: <u>kpisk@ite.waw.pl</u>; <u>hmp@ite.waw.pl</u>.