

Tadeusz PUSTELNY

BADANIA POTENCJAŁU POWIERZCHNIOWEGO W ARSENKU GALU
METODĄ AKUSTYCZNYCH FAL POWIERZCHNIOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania zjawiska akustoelektrycznego, zachodzącego w układzie warstwowym piezoelektryczny falowod - półprzewodnik, do wyznaczania potencjału powierzchniowego w półprzewodnikach. Metodą akustyczną zostały wyznaczone wartości potencjału powierzchniowego w różnie domieszgowanych próbkach arsenku galu.

1. WSTĘP

W układzie warstwowym piezoelektryk - półprzewodnik pole elektryczne fali powierzchniowej propagującej się w piezoelektrycznym falowodzie wnikając do półprzewodnika wzbudza w nim nośniki nadmiarowe, a także powoduje ich dryf. Wiąże się z tym pojawienie się stałych prądów elektronowych - jednego w kierunku rozchodzenia się fali powierzchniowej, drugiego w kierunku prostopadłym do powierzchni półprzewodnika. Po czasie równym czasowi relaksacji Maxwellowskiej, poprzeczny prąd zostaje skompensowany prądem dyfuzji, związanym z nowym, nierównowagowym rozkładem ładunku. Powstaje różnica potencjałów pomiędzy powierzchnią półprzewodnika, a jego wnętrzem. Zjawisko to w literaturze jest określane jako efekt akustoelektryczny poprzeczny.

W pracy [2] została przeprowadzona dokładna analiza zjawiska akustoelektrycznego poprzecznego. Otrzymano tam następujące wyrażenia wiążące napięcie akustoelektryczne poprzeczne z wielkościami charakteryzującymi własności półprzewodnika:

$$U_{AE} = K \frac{\mu_n^2 \cdot n_b - \mu_p^2 \cdot p_b + n_i \frac{L_i}{L} (\mu_n^2 G_n - \mu_p^2 G_p)}{\mu_p \cdot p_b + \mu_n \cdot n_b + n_i \frac{L_i}{L} (\mu_p G_p + \mu_n G_n)} R \quad (1)$$

gdzie

$$R = \frac{\omega [\mu_n n_b + \mu_p n_b + n_i \frac{L_i}{L} (\mu_p G_p + \mu_n G_n)]}{\epsilon_0^2 (\epsilon_s + \epsilon_p)^2 \omega^2 + q^2 [\mu_n n_b + \mu_p p_b + n_i \frac{L_i}{L} (\mu_n G_n + \mu_p G_p)]^2} \quad (2)$$

oraz: K - stała, zależna od parametrów układu pomiarowego,

μ_n, μ_p - ruchliwości elektronów i dziur w półprzewodniku,

n_b, p_b - koncentracje objętościowe elektronów i dziur,

n_i - koncentracje nośników w półprzewodniku samoistnym,

L_i - długość promienia ekranowania Debye'a w półprzewodniku samoistnym,

L_e - efektywna długość promienia ekranowania Debye'a na powierzchni półprzewodnika,

ϵ_n, ϵ_p - przenikalności dielektryczne półprzewodnika i piezoelektrycznego falowodu,

G_n, G_p - funkcje Kingstona drugiego rodzaju.

Wyrażenia G_n, G_p są złożonymi funkcjami elektrostatycznego potencjału na powierzchni półprzewodnika. Zależą również od wielkości zakrzywienia pasm energetycznych na powierzchni. Wartość potencjału powierzchniowego w półprzewodniku można zmieniać zewnętrznym polem elektrycznym, prostopadłym do badanej powierzchni. Ponieważ zewnętrzne pole elektryczne wnika do półprzewodnika tylko na głębokość L_e , to nie zmienia jego własności objętościowych. Tak więc o przebiegu napięcia akustoelektrycznego i jego zmianach w konkretnej próbce półprzewodnikowej decydują własności powierzchniowe próbki. Wyrażenia (1) i (2) oraz eksperymentalna zależność napięcia akustoelektrycznego od zewnętrznego, prostopadłego do powierzchni pola elektrycznego mogą stanowić podstawę do wyznaczania potencjału powierzchniowego w półprzewodniku.

W pracy [5] metodą efektu akustoelektrycznego poprzecznego zostały przeprowadzone pomiary efektywnego czasu życia nośników mniejszościowych, typu przewodnictwa powierzchniowego, wpływu pułapkowania powierzchniowego na przewodnictwo elektryczne w funkcji zewnętrznego poprzecznego pola elektrycznego, a także badania wpływu na te wielkości czasu przebywania próbek GaAs w atmosferze powietrza.

2. WYNIKI EKSPERYMENTU

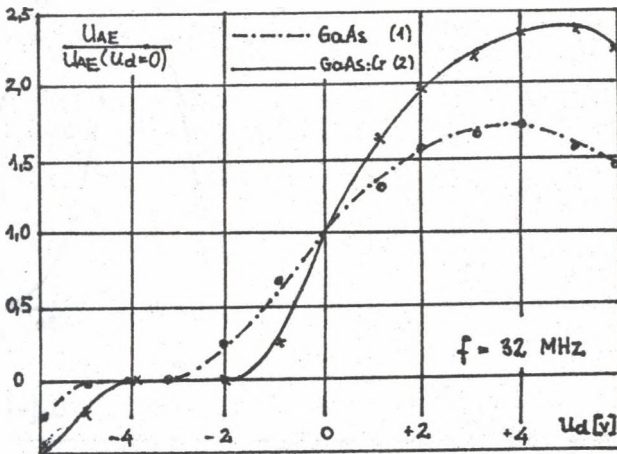
Badania eksperymentalne potencjału powierzchniowego zostały przeprowadzone w układzie pomiarowym przedstawionym w pracy [3]. Badania przeprowadzono dla trzech różnie domieszkowanych próbek GaAs. Parametry próbek przedstawiono w tabeli 1.

Otrzymane doświadczalnie zależności U_{AE} od napięcia zewnętrznego U_d dla próbek nr 1 i 3 przedstawiono na rysunku 1. Na wykresach zostały podane względne wartości napięcia akustoelektrycznego poprzecznego, odniesione do wartości napięcia U_{AE} otrzymanego wtedy, gdy napięcie zewnętrzne U_d

przykładane prostopadłe do badanej próbki było równe zero.

Tablica 1

Nr			ρ [Ω cm]		u_s [-]	$q\phi_s$ [eV]
1	GaAs	samoistny	8×10^7	[110]	-14.0	0.44
2	GaAs:Cr	8.6×10^{16}	6.0×10^6	[110]	-16.5	0.50
3	GaAs:Te	1.5×10^{16}	2.7×10^7	[111]	-19.1	0.57



Rys. 1. Eksperymentalna zależność napięcia akustoelektrycznego U_{AE} od napięcia zewnętrznego U_d (próbki nr 1,2).

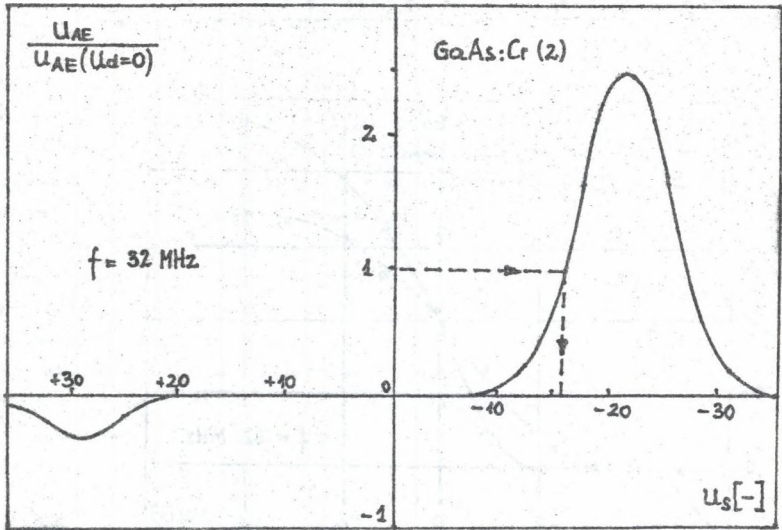
Fig. 1. Experimental dependence $U_{AE} = f(U_d)$ for GaAs (samples N^o1,2).

3. WYZNACZANIE POTENCJAŁU POWIERZCHNIOWEGO

Ze względu na złożoną postać zależności poprzecznego napięcia akustoelektrycznego U_{AE} od potencjału powierzchniowego u_s (wzór (1) i (2)) wykorzystywaną przy wyznaczaniu potencjału powierzchniowego półprzewodnika, obliczenia przeprowadzono w sposób numeryczny. Wykorzystując eksperymentalną zależność $U_{AE} = f(U_d)$ (rys. 1) oraz teoretyczną zależność $U_{AE} = f(u_s)$ (rys. 2) można zaproponować metodę wyznaczania potencjału powierzchniowego w półprzewodniku.

Wartość teoretyczna napięcia akustoelektrycznego U_{AE} wyznaczona jest z dokładnością do dowolnej multiplikatywnej stałej (stała K we wzorze

(1)). Stała K można tak dobrać, by maksimum U_{AE} na charakterystyce teoretycznej $U_{AE} = f(u_s)$ i maksimum na charakterystyce eksperymentalnej $U_{AE} = f(U_d)$ miały tę samą wartość. Na charakterystyce $U_{AE} = f(U_d)$ wartość $U_{AE} = 1$ odpowiada sytuacji, gdy napięcie zewnętrzne U_d przyłożone do próbki jest równe zero. $U_{AE} = 1$ na charakterystyce teoretycznej $U_{AE} = f(u_s)$ przypada więc dla wartości potencjału powierzchniowego w półprzewodniku (rys. 2).



Rys. 2. Teoretyczna zależność napięcia akustoelektrycznego U_{AE} od potencjału powierzchniowego u_s (próbka nr 2).

Fig. 2. Theoretical dependence of the amplitude U_{AE} on the surface potential u_s (sample N^o 2).

Wyznaczone tą metodą wartości potencjału powierzchniowego dla badanych próbek GaAs są przedstawione także w tabeli 1. Dla rzeczywistej powierzchni GaAs wartości potencjału powierzchniowego wyznaczone metodą efektu akustoelektrycznego były rzędu 0,5 V.

W celu porównania dla próbki nr 2 został przeprowadzony pomiar potencjału powierzchniowego metodą spektroskopii fotonapięcia powierzchniowego. Wartość potencjału powierzchniowego otrzymana metodą spektroskopii fotonapięcia wynosiła 0,48 V, a metodą efektu akustoelektrycznego wynosiła 0,50 V.

Można uznać, że wyniki otrzymane dwoma różnymi metodami są w pełni zgodne.

LITERATURA

- [1] Opilski A., Pustelny T., New Acoustic Method of the Investigation of the Fast Surface States in Semiconductors, Archives of Acoustics, 2, 10, 53-56, 1985.
- [2] Davari B., Semiconductor Surface Characterization Using Transvers Acoustoelectric Voltage Versus Voltage Measurements, J. Appl. Phys. 1, 54-56, 1983.
- [3] Kubik Z., An Acoustic Method of Calculating Surface Potential in a Semiconductor, Acoustic Letters, 8, 2, 20-23, 1984.
- [4] Kubik Z., Praca doktorska, Uniwersytet Gdański, 1984.
- [5] Pustelny T., Investigation of the Electrical Surface Potential in Semiconductors by Using Acoustic Methode, Molecular and Quantum Acoustic, 7, 47-53, 1986.

Recenzent: Doc. dr Zygmunt Surowiak

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОВЕРХНОСТНОГО ПОТЕНЦИАЛА В GaAs
С ИСПОЛЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

Резюме

В работе описаны возможности исследования акустоэлектрического эффекта для определения электрического поверхностного потенциала в полупроводниках. Представлены результаты экспериментальных исследований поверхностного потенциала в GaAs легированным Cr и Te.

INVESTIGATIONS OF THE ELECTRICAL SURFACE POTENTIAL IN GaAs
BY USING THE TRANSVERSE ACOUSTOELECTRIC METHODE

Summary

In this paper possibilities of using of acoustoelectric phenomenon in determination of electrical surface potential in semiconductors are described. The experimental results of investigations of the surface potential obtained in Te and Cr- doped GaAs are presented.