ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Seria: MATEMATYKA - FIZYKA z. 33

Nr kol. 622

1979

Maria BUREK Zenon CEROWSKI Józef KAPRYAN Zdzisław KUBIK

POMIARY EFEKTU AKUSTOELEKTRYCZNEGO W STRUKTURZE WARSTWOWEJ PIEZODIELEKTRYK - PÓŁPRZEWODNIK

> Streszczanie. W artykule opisaliśmy metodykę eksperymentu, budowę stanowiska pomiarowego oraz przedstawiliśmy wyniki pomiarów efektu akustoelektrycznego w strukturze warstwowej piezodielektryk-półprzewodnik.

1. WSTĘP

Na możliwość powtania efektu akustoelektrycznego w strukturze warstwowej piezodielektryk – półprzewodnik wskazano po raz pierwszy w pracy [1]. Została tam rozwinięta teoria efektu akustoelektrycznego, jak również wskazano na szereg jego charakterystycznych cech.

Efekt akustoelektryczny powstaje w strukturze warstwowej na skutek przenikania do półprzewodnika pola elektrycznego towarzyszącego rozchedzacej sie po powierzchni piezodielektryka fali powierzchniowej. Pole to posiada zarówno składową podłużną jak i prostopadłą do stykających się powierzchni półprzewodnika i piezodielektryka i zanika ono na skutak ekranującego działania swobodnych nośników prądu od powierzchni półprzewodnika do jego głębi na odległość rzędu wartości promienia ekranowania Debey'a r_n, jeżeli k r_n <<1 (k – liczba falowa) lub w przeciwnym wypadku na odległość rzędu k-1 [2], [8]. "Porywające" działanie fali powierzchniowej na swobodne nośniki prądu w graniczących z piezodielektrykiem warstwach półprzewodnika prowadzi do powstania podłużnego akustoelektrycznego pola, a zanikanie składowej prostopadłej elektrycznego pola w głąb półprzewodnika uwarunkowuje powstanie poprzecznego efektu jako różnicy potencjałów między powierzchnią półprzewodnika a jego głębszymi warstwami.

Nawiązując, do teorii efektu akustoelektrycznego w strukturach warstwowych [1], dla podłużnego efektu akustoelektrycznego ma miejsce odpowiedniość typu Weinreicha:

$$E_{AK}'' = \frac{\alpha r.W}{en_{V}} \frac{F}{d}$$

(1)

a wielkość poprzecznego napięcia akustoelektrycznego dana jest wzorem:

$$v_{AE}^{\perp} = -\frac{\omega_{F} WF}{en_{O} v_{S} \omega \tau_{M}} \left[1 + \frac{1}{2 \left[1 + 2 \sqrt{1 + (\omega \tau_{M})^{2}} \right]} - 2\%r_{D} \frac{1 + \sqrt{1 + (\omega \tau_{M})^{2}}}{1 + 2 \sqrt{1 + (\omega \tau_{M})^{2}}} \right].$$
(2)

gdzie:

$$\mathscr{X} = \operatorname{Re}\left[\frac{1}{r_{\mathrm{D}}}\sqrt{1 + i\omega t_{\mathrm{M}}}\right]$$
(3)

W przypadku prowadzonych przez nas pomiarów zawsze był spełniony warunek w $T_{\rm M}$ <<1, co pozwala wyrażenie (2) zapisać w prostszej postaci:

$$v_{AE}^{\perp} = \frac{\alpha WF}{en_{o}V_{s}\omega\tau_{M}},$$
(4)

gdzie:

OŞ		-	współczynnik tłumienia elektronowego fali powierzchniowej,					
W		-	moc fali powierzchniowej na jednostkę szerokości fali,					
F,	F'	-	dodatnie liczby określone stałymi sprężystymi ośrodka i					
			własnościami półprzewodnika,					
TM		-	makswelowski czas relaksacji,					
е,	n _o , V _s	-	odpowiednio, ładunek elektronu, koncentracja swobodnych r					
			śników, prędkość fali powierzchniowej.					
ω		-	częstość fali,					
d		-	grubość płytki półprzewodnikowej,					
r		-	promień ekranowania Debay'a.					

Efekt akustoelektryczny był obserwowany przy rozchodzeniu się fali powierzchniowej w piezopółprzewodnikach [3], a także w strukturze warstwowej półprzewodnik – piezodielektryk bez i z kontaktem akustycznym [4, 5].

Poprzeczny i podłużny efekt akustoelektryczny badaliśmy w strukturze warstwowej Si - Bi₁₂SiO₂₀ przy częstotliwościach fali powierzchniowej 17.2; 17.3; 29; 29,5 MHz w warunkach kontaktu akustycznego pomiędzy piezodielektrykiem i półprzewodnikiem. Zmierzyliśmy zależność efektu akustoelektrycznego od natężenia fali powierzchniowej i od oporności półprzewodnika.

2. METODYKA EKSPERYMENTU

Badania przeprowadziliśmy w strukturze Bi₁₂S10₂₀-Si. Piezodielektryk miał grubość 3 mm, a jego robocza powierzchnia była optycznie wypolerowana.

42

Pomiary efektu akustoelektrycznego...

Do wzbudzanie fali powierzchniowej stosowaliśmy przetworniki międzypalczaste, których częstotliwość robocza wynosiła 17,2; 17,3; 29; 29,5 MHz, szerokość wypromieniowanego atrumienia fali – 3 mm. Jako półprzewodnik stosowaliśmy płytki krzemu różnych wymiarów typu n lub p, orientacji (111), które przykładaliśmy do roboczej powierzchni piezodielektryka. Kontakty omowe umieszczone były na swobodnej powierzchni płytki Si. Uzyskiwaliśmy je przez naniesienie próżniowe Au z dodatkiem Sb w temperaturze 450°C. W charakterze wyjściowego materiału używaliśmy typowego krzemu produkcyjnego o opornościach od 8 do 1000 J2 cm.

Podłużny efekt akustoelektryczny prowadził do powstania pola akustoelektrycznego wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali powierzchniowej i powstania różnicy potencjałów na omowych kontaktach płytki Si. Jego wielkość określaliśmy przez odczyt cyfrowy napięcia na kontaktach płytki za pomocę oscyloskopu stroboskopowego z przetwarzaniem analogowo-cyfrowym.

Poprzeczny efekt akustoelektryczny, uwarunkowany składową elektrycznego pola fali powierzchniowej, prostopadłą do powierzchni, prowadził do powstania różnicy potencjałów między powierzchnią półprzewodnika, stykającą się z piezodielektrykiem a jego głębokimi warstwami. Jego wielkość określaliśmy również ze pomocą oscyloskopu stroboskopowego jako różnicę potencjałów między zwartymi i uziemionymi kontaktami płytki (w celu wyaliminowania podłużnego efektu), a metalowym peskiem (sondą) umieszczonym pod piezodielektrykiem po jego nie roboczej stronie. Czes trwanie prostokątnej paczki falowej (w.cz.) mogliśmy regulować w dowolnych granicach. Dobieraliśmy go tak, by nie następowało zniekształcenie odbieranego na oscyloskopie stroboskopowym impulsu napiecie efektu akustoelektrycznego. Płytka Si była przykładana w miejscu maksymalnego natężenia fali powierzchniowej, co stwierdzaliśmy za pomocą sondy napięciowej. W niektórych doświadczeniach zmienialiśmy oporność próbek za pomocą oświetlenia. Oświetlaliśmy próbki lampą halogenową.

Schemat stanowisk pomierowych dla efektu podłużnego pokazuje rys. 1, poprzecznego rys. 2.

Gdzie

1) generator w.cz.,

2) generator modulujący paczkę falową i synchronizujący pracę całości,

3) oscyloskop stroboskopcwy,

4) przetwornik enalogowo-cyfrowy oscyloskopu stroboskopowego,

 5) dwukanałowy oscyloskop do pomiaru napięcia w.cz. na przetworniku, słuzący również do regulacji pracy układu,

- 6) wzmacniacz,
- 7) źródło światła,
- 5) synchronizacja.

Ne rysunku 3 przytoczyliśmy zależność podłużnego efektu skustoslektrycznego E^{'''} w funkcji natężenia fali powierzchniowej (na osi rzędnych



Rys. 1. Układ do pomiaru podłużnego efektu akustoelektrycznego



Nys. 2. Układ do pomiaru poprzecznego efektu akustoelektrycznego



Rys. 3. Zależność podłużnego efektu skustoelektrycznego E_{AK} od natężenia fali powierzchniowej (na osi rzędnych kwadrat napięcia na przetworniku nadawczym U²)



porności właściwej krzemu

zostały naniesione wartości kwadratu napięcia wejściowego na przetworniku nadawczym U²). Numery krzywych oznaczają numer kolejny badanych płytek Si. Na rysunku 4 podaliśmy rezultaty pomiaru podłużnego sfektu akustoelektrycznego $E_{AK}^{''}$ w zależności od oporności Q płytki Si nr 53, zmisnianej poprzez jej oświetlanie. Rysunek 5 pokazuje wyniki pomiaru poprzecznego efektu akustoelektrycznego V_{AK}^{\perp} w funkcji natężenia fali powierzchniewej (na osi rzędnych kwadrat napięcia na przetworniku nadawczym U²).



danych przez nas kryształach Si efakt akustoelektryczny podłużny i poprzeczny nie jest liniową funkcją natężenia fali powierzchniowej (rysunki 3. 5). Fakt ten można wytłumaczyć akustoprzewodnością. Efekt akustoprzewodności [6. 7] polega na tym, że pod wpływem rozchodzącej się fali powierzchniowej zmienia się oporność półprzewodnika w przybliżeniu odwrotnie proporcjonalnie do napięcia wejściowego przetwornika (ściślej, jest to związane z pułapkowaniem na powierzchni półprzewodnika [5]). W związku z tym przy wzroście natężenia fali akustycznej oporność płytki maleje, powodujęc również malenie efektu akustoelektrycznego w stosunku do oczekiwanej teoretycznej zależności liniowej [3]. Zależność podłużnego efektu akustoelektrycznego od oporności jest dla wyższych wartości oporności tak jak oczekiwaliśmy liniowa (rys. 4). Natomiast dla niskich przestaje być liniowa, co tłumaczy także efekt akustoprzewodności.

45

M. Burek i inni

Tabela 1

Nr rys,	Nr krzywej	Тур	Częst. fali [MHz]	Czas paczki [µ9]	Oporność właściwa [Ωcm]	Nap. na przetw. [V]	Wymiary płytki [mm ³]
	26	p.	17,3	3	148		0,2x6,2x6
-	38	р	17,3	3	380	1	0,2x5,2x5,9
5	48	р	17,3	3	300		0,2x6x5,6
	52	р	17,3	3	322		0,2x5x5.9
4	53	n	17,0	3	310	58	0,03x4x12
	65	р	19,5	2	1000	Constant of the	0,2x4x3,5
5	66	р	29,0	1,5	457		0,2x4x3,5

Wyniki przytoczonych przez nas pomiarów są powtarzalne, jeżeli sposób każdorazowego oczyszczania powierzchni roboczej płytek Si jest taki sam. Świadczy to o istotnym wpływie stanu powierzchni półprzewodnike na wielkość efektu akustoelektrycznego. Podłużne pole akustoelektryczne w próbkach typu n zawsze było skierowane w stroną rozchodzenia się fali, a w półprzewodnikach typu p w przeciwną stroną. Taka polaryzacja podłużnego pola odpowiada faktowi "pchania" nośników większościowych przez falę powierzchniową w graniczących z piezodielektrykiem warstwach półprzewodnika w kierunku jej rozchodzenia się.

3. DYSKUSJA REZULTATÓW

Jak wynika z teorii [1], podłużny efekt akustoelektryczny jost nieparzysty a poprzeczny – parzysty w odniesieniu do zmiany kierunku rozchodzenia się dźwięku na przeciwny. Z teorii wynika również fakt unoszenia nośników większościowych przez falę powierzchniową w kierunku jej rozchodzenia się i to zarówno w próbkach typu n jak i p (podłużny efekt) i od powierzchni w głąb półprzewodnika (poprzeczny efekt).

Otrzymane rezultaty eksperymentalnego badaria efektu akustcelektrycznego w strukturze Si-Bi₁₂SiO₂₀ potwierdzają więc zasadnicze wnioski teorii [1]. Tak znak podłużnego pola akustoelektrycznego jak i poprzecznej SEM zawsze odpowiadały teorii. Zależność efektu akustoelektrycznego dla małych natężeń fali powierzchniowej również odpowiada wnioskom wynikającym z teorii [1], natomiast dla większych natężeń występują odchylenia, gdyż literatura [1] nie uwzględnie wpływu pułapek na propagację fali powierzchniowej [3, 5, 6, 8].

46

Pomiary efektu skustoslektrycznego.

LITERATURA

- [1] Guliajew Ju.W., Karabanow A.Ju., Kmita A.N., Miedwied A.W., Tursunow Sz.: FTT. 12. 2595, 1970.
- [2] Guliajew Ju.W.: ŻETF, 47, 2251, 1964.
- [3] Morozow A.J.: FTT, 7, 2482, 1966.
- [4] Kmits A.N., Miedwied A.W.: FTT, 14, 9, 1972.
- [5] Guliajew J.W., Kmita A.N., Miedwied A.W., Szibanowa N.N., Fiediriec W.N.: FTT, 17, 12, 1975.
- [6] Fischer C., Zucker J., Conwell E.M.: Applied Physics Letters, 17, 6, 1970.
- [7] Guliejew Ju.W., Listwine N.N.: FTP, 6, 11, 1972.
- [9] Opilski A.: Archiwum Akustyki, 11, 1, 1976.

ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ ЛЬЕЗОДИЕЛЕКТРИК - ПОЛУПРОВОДНИК

Fesюме

В статьк им описали методику эксперимента, постройку измерительной системы а также мы передали результаты измерений акустозлектрического еффекта в слоистой структуре пьезодиелектрик - полупроводник.

MEASUREMENT OF ACOUSTOELECTRIC EFFECT IN PIEZODIELECTRIC -SEMICONDUCTOR LAMINAR STRUCTURE

Summary

In this publication is described the experimental method, the construction of measuring setup and the results of measurements of acoustoelectric effect in piezodielectric - semiconductor laminar structure.

STORAGE.