ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1970

Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z. 15 Nr kol. 285

TADEUSZ ZAKRZEWSKI
Katedra Fizyki Technicznej
Politechniki Śląskiej

UDZIAŁ ELEKTRONÓW TERMOEMISJI W PROCESIE PRZEWODNICTWA ELEKTRYCZNEGO CIECZY DIELEKTRYCZNYCH

Streszczenie. W pracy omówiono szereg charakterystycznych zależności związanych z generowaniem i przenoszeniem nośników naładowanych w cieczach dielektrycznych, przy zastosowaniu elektronów emisji termoelektronowej. Na podstawie otrzymanych wyników wyciągnięto wnioski dotyczące udziału wolnych elektronów w procesie przewodnictwa elektrycznego.

Wstęp

Badając procesy generowania i przenoszenia nośników naładowanych w cieczach dielektrycznych w przeważającej większości przypadków stosowano jako czynnik jonizujący promieniowanie elektromagnetyczne X czy γ [1, 2, 3] lub promieniowanie korpuskularne typu α, β [4, 5].

Odmienną metodę badania tych procesów zaproponowali T. Sato i S. Nagao [6], którzy użyli jako źródła promieniowania zewnętrznego elektronów pochodzących z termoemisji. Metoda ta zmodyfikowana przez innych badaczy pozwoliła wyciągnąć szereg interesujących wniosków dotyczących udziału wolnych elektronów w procesie przewodnictwa elektrycznego cieczy dielektrycznych. Autor [7] znacznie rozszerzył badania prowadzone tą metodą

przez zastosowanie układu blokującego w obwodzie katody oraz przez wprowadzenie dodatkowej siatki sterującej, co pozwoliło na zdjęcie charakterystyk energetycznych. Oryginalną jest również zastosowana metoda pomiaru ruchliwości nośników ujemnych w cieczy w wyniku ich naświetlenia elektronami termicznymi.

1. Charakterystyki prądowo-energetyczne

Wyznaczając zależność zmian prądu w funkcji energii kinetycznej "wstrzykiwanych" do cieczy elektronów w przypadku zmian energii 2-20 eV, zależność prądu wzbudzonego od energii kinetycznej jest wyraźnie liniowa, przy czym prąd wzbudzony szczególnie dla małych energii kinetycznych nieznacznie zależy od natężenia pola elektrycznego w ciekłym dielektryku. Zależność prądu od natężenia pola staje się coraz bardziej widoczna dla wzrastających energii kinetycznych. Proste reprezentujące zależność $I = f(E_k)$, dla energii kinetycznej $E_k = 0$ przecinają się w granicach błędu pomiarowego w początku układu współrzędnych (I, E_k), co wskazuje, że wzbudzenie cieczy jest efektem przestrzennym a procesy powierzchniowe jak wtórne promieniowanie, dyfuzja czy absorpcja jonów grają mniejszą rolę. W przypadku stopniowego powiększenia energii kinetycznej do wartości 35 eV, obserwuje się dalszy liniowy niewielki wzrost prądu przewodzenia, natomiast po przekroczeniu wartości $E_k = 40$ eV ma miejsce inny mechanizm przewodzenia, który charakteryzuje się eksponencjalnym przebiegiem zależności $I = f(E_k)$ w każdej stosowanej temperaturze. W tym przypadku zależność prądu wzbudzonego od energii kinetycznej wstrzykiwanych elektronów oraz dla różnych temperatur jest dość dobrze spełniona przez równanie:

$$I = \frac{\theta}{k.T} \exp\left(-\frac{\xi}{k.T}\right) \exp\left(\varphi E_k\right) \qquad (1.1)$$

gdzie $\varphi = 0{,}015$, $\theta = 0{,}162.10^{-9}$, $\xi = 0{,}161$.
W wyższych temperaturach zaobserwowano dość duże fluktuacje prądu wzbudzonego, które znacznie utrudniały przeprowadzenie pomiarów, szczególnie fakt ten zaznaczał się w temperaturze $t = 60^{o}C$ i dlatego poszczególne punkty pomiarowe dla tego przypadku obarczone są znacznym błędem.

Równanie (1.1) można prosto uogólnić i wyrazić je w zależności od natężenia pola elektrycznego E, w tym przypadku można napisać:

$$I = \frac{\theta}{k.T} \exp\left(-\frac{A - B.E}{k.T}\right) \exp\left(\varphi E_k\right) \qquad (1.2)$$

gdzie: $A = 0{,}966$, $B = 1{,}51 . 10^{-3}$, $\theta = 0{,}162 . 10^{-9}$, $\varphi = 0{,}015$
Wykreślając zależność prądu wzbudzonego od odwrotności temperatury w skali półlogarytmicznej dla wzrastających wartości energii kinetycznej elektronów termoemisji dają się wyraźnie zaobserwować dwa obszary przewodzenia prądu wzbudzonego w cieczy.

2. Ruchliwość nośników ujemnych w olejach silikonowych

Do pomiaru ruchliwości nośników ujemnych generowanych w cieczach dielektrycznych zastosowano oryginalną metodę pojedynczych impulsów elektrycznych blokujących strumień elektronowy z katody. Pomiary ruchliwości nośników ujemnych w olejach silikonowych wskazały na zależność mierzonej wartości ruchliwości od energii kinetycznej wstrzykiwanych do cieczy elektronów. W przypadku stosowania małych wartości energii kinetycznej elektronów, mniejszych od 10 eV powstają w cieczy nośniki któ-

rych ruchliwość jest o wiele większa niż wynikało by to z badań przeprowadzonych przez B. Jachyma [8] który do swych badań stosował promieniowanie elektromagnetyczne. Zwiększając energię kinetyczną termoelektronów do wartości około 100 eV daje się zaobserwować powolny spadek ruchliwości która dąży do wartości stałej dla $E_k > 100$ eV. Stwierdzono ponadto, że dla wszystkich badanych olejów silikonowych nośniki generowane w dielektryku przez elektrony, których energia kinetyczna jest mniejsza od 10 eV, spełniają dość dobrze prawo Stoksa-Waldena natomiast w przypadku większych wartości energii kinetycznej $E_k = 600$ eV współczynnik wykładniczy w równaniu $u \cdot \eta^{-n} = \text{const}$ jest większy od jedności i wynosi 1,13. Wartości energii aktywacji procesu ruchliwości w przypadku małych energii $E_k = 10$ eV są nieznacznie mniejsze od wartości energii aktywacji dla procesu lepkości. Natomiast dla większych energii kinetycznych, wartości energii aktywacji ruchliwości nośników ujemnych są nieznacznie większe od wartości energii aktywacji dla lepkości.

3. Dyskusja wyników

Na podstawie otrzymanych wyników można przypuszczać, że w przewodnictwie elektrycznym cieczy dielektrycznych wzbudzonym przez elektrony termoemisji mamy do czynienia z dwoma różniącymi się procesami przewodzenia co najprawdopodobniej jest związane z dwoma różnymi mechanizmami przewodzenia i generowania ładunków elektrycznych w cieczy. Nie można na podstawie otrzymanych wyników z całą pewnością rozstrzygnąć natury nośników elektrycznych, jednak nie można wykluczyć udziału wolnych elektronów w procesie przewodzenia, szczególnie w przypadku stosowania małych wartości energii kinetycznych wstrzykiwanych elektronów. Natomiast w przypadku wyższych energii kinetycznych

należy przypuszczać, że mamy do czynienia z jonizacją cieczy i wówczas obserwuje się nośniki o charakterze analogicznym jak podczas działania promieniowania elektromagnetycznego.

LITERATURA

[1] Adamczewski I. - Acta Phys. Pol. 3, 235, 1934.
[2] Adamczewski I. - idem 4, 427, 1935.
[3] Adamczewski I. - Ann. de Phys. 8, 309, 1937.
[4] Nikuradse A. - Das flüssige Dielektrikum, Berlin 1934.
[5] Geata F. - II Nuovo Cimento 26, 1173, 1962.
[6] Sato T., Nagao S. and Toriyama Y. - Brit. J. Appl. Phys., 7, 297, 1956.
[7] Zakrzewski T. - Dysertacja, Gliwice, 1969.
[8] Jachym B. - Dysertacja, Gdańsk, 1964.