

H. MURLAK-STACHURA, M. PIŁAT

### Ekstrakcja jonów ze sfer przykatodowych wyładowania jarzeniowego

#### WPROWADZENIE

Przy badaniu plazmy często należy określić koncentrację i rodzaj jonów biorących udział w procesach plazmowych. Podczas gdy do wyznaczania koncentracji elektronów są do dyspozycji metody, które umożliwiają przeprowadzenie pomiarów w plazmie zamkniętej w naczyniu, to jony można na ogół badać po wyciągnięciu przez otwór w ścianie naczynia. Problem ekstrakcji jonów pojawia się zarówno przy badaniu reakcji jonowo-cząsteczkowych [1,2], jak i w pracach, w których obiektem głównego zainteresowania są procesy zachodzące w plazmie [3].

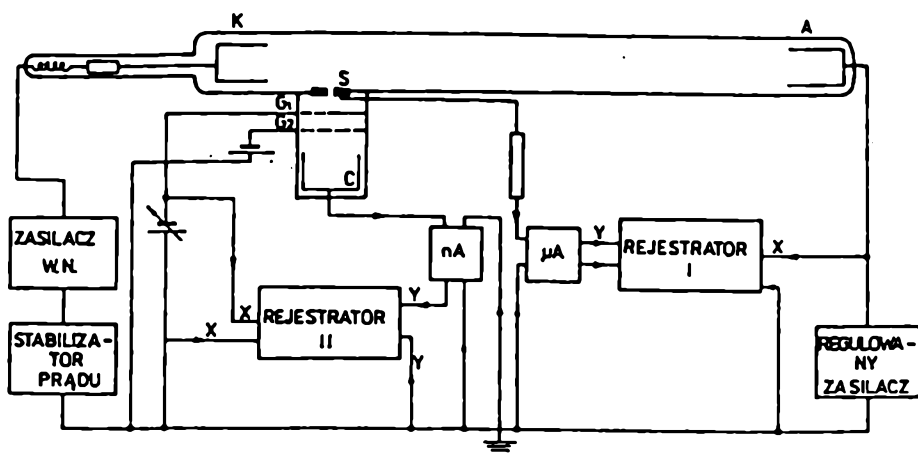
Jeśli celem badań jest określenie rodzajów jonów obecnych w wyładowaniu oraz ich stosunków ilościowych, zaburzenie plazmy spowodowane przez sondę ekstrakcyjną jest mniej ważne, natomiast przy analizie procesów w wyładowaniu jest konieczne, aby próbkowanie nie zakłócało plazmy.

Wśród prac dotyczących analizy masowej i energetycznej wyładowania jarzeniowego można wyróżnić dwie grupy. Jedną stanowią badania promieni kanalikowych, kiedy elektrodą wyciągającą jest katoda z otworem, przez który wydostają się jony przyspieszone katodowym spadkiem potencjału. Druga grupa prac dotyczy zorzy dodatniej stref katodowych wyładowania. Przy badaniu poświaty ujemnej autorzy pracy [4] zastosowali specjalną konstrukcję wyładowania, umożliwiającą wyciąganie jonów od strony katody. Jednakże analiza jonów z pozostałych stref wyładowania (ciemnia Faradaya, kolumna dodatnia) jest możliwa, gdy stosuje się małą elektrodę z otworem, umieszczoną na ścianie rury do wyładowań.

Celem tej pracy było określenie zaburzenia plazmy spowodowanego przez sondę ekstrakcyjną umieszczoną na ścianie rury. Wyznaczono funkcje rozkładu jonów względem energii dla różnych potencjałów polaryzacji sondy. Pomiary przeprowadzono dla poświaty ujemnej i ciemni Faradaya. Stanowią one jedno ze źródeł informacji o zaburzeniu plazmy spowodowanym przez sondę.

## UKŁAD EKSPERYMENTALNY

Schemat układu pomiarowego przedstawia ryc. 1. Wylądowanie jarzeniowe zachodziło w rurze o długości 110 cm i średnicy 5,5 cm. Ruchoma katoda umożliwiała ekstrakcję jonów z różnych stref wylądowania. Na ścianie rury umieszczona była płaska platynowa sonda z otworem o średnicy 0,2 mm. Średnica sondy wynosiła 1 mm, a jej grubość 0,04 mm. Za sondą S w komorze ekstrakcyjnej umieszczono układ siatek hamujących. Siatki zostały wykonane z drutów wolframowych o średnicy 0,1 mm, ustawionych równolegle w odległości 1 mm jeden od drugiego. Siatka  $G_1$  znajdowała się w odległości 6 mm za sondą z otworem. Do tej siatki przykładano potencjał hamujący jony. Odległość siatki  $G_1$  i  $G_2$  wynosiła 4 mm. Jony zbierane były przez kolektor C w postaci puszeki Faradaya o średnicy 10 mm i długości 20 mm. Kolektor umieszczony był w odległości 5 mm za siatką  $G_2$ . Siatka  $G_2$  znajdowała się na potencjale ujemnym względem  $G_1$ , jak również względem kolektora. Wartość tego potencjału została tak dobrana, aby zredukować do zera prąd elektronów wtórnych. Tak spolaryzowana siatka  $G_2$  nie wpływa na wartość strumienia jonów dochodzących do kolektora, a tym samym nie zmienia kształtu funkcji rozkładu.



Ryc. 1. Schemat aparatury pomiarowej

Dwa układy pomp, połączone oddzielnie z komorą ekstrakcyjną i rurą do wylądowań, poprzez system zaworów, pozwalają na uzyskanie ciśnienia rzędu  $10^{-6}$  Tr. Układ dozowania gazu o pojemności 10 l połączony z rurą poprzez kapilarę, odpompowywano, a następnie ustalano taką wartość ciśnienia, aby gaz napływający do rury kompensował jego ubytek na skutek wypływu przez otwór w sondzie.

Układ zasilania rury składa się z zasilacza i stabilizatora prądu po stronie katody oraz z regulowanego zasilacza o stabilizowanym napięciu po stronie anody. Potencjał sondy ekstrakcyjnej zmieniano poprzez zmianę potencjału anody.

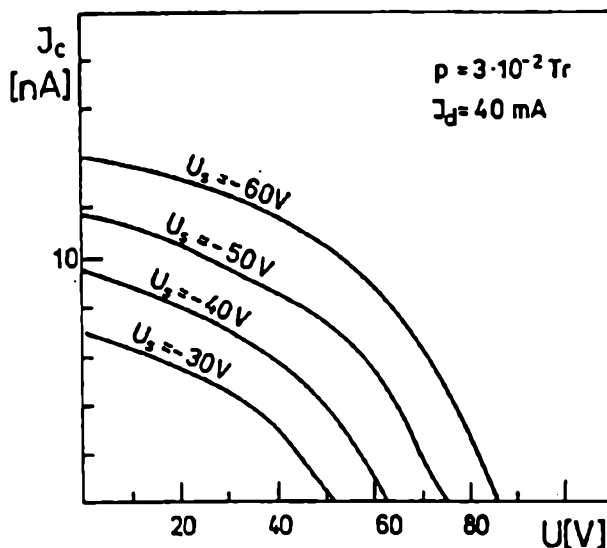
Badano jony wyciągane z poświaty ujemnej i ciemni Faradaya. Pomiary wykonano dla wyładowania jarzeniowego w azocie. Przy ustalonym ciśnieniu  $p$  i natężeniu prądu wyładowania  $I$  mierzono:

- charakterystykę sondy  $S$ ,
- zależność natężenia prądu kolektora  $I_c$  od napięcia hamującego  $U$  na siatce  $G_1$ .

Krzywe  $I_c = f(U)$  wykreślano na rejestratorze X-Y. Pomiary wykonano dla różnych potencjałów polaryzacji sondy ekstrakcyjnej. We wszystkich przedstawionych wynikach potencjał sondy  $S$  został odniesiony do potencjału pływania. Z charakterystyk  $I_c = f(U)$  drogą różniczkowania otrzymywano wykresy  $\frac{dI}{dU} = F(U)$ , a następnie funkcje rozkładu [6].

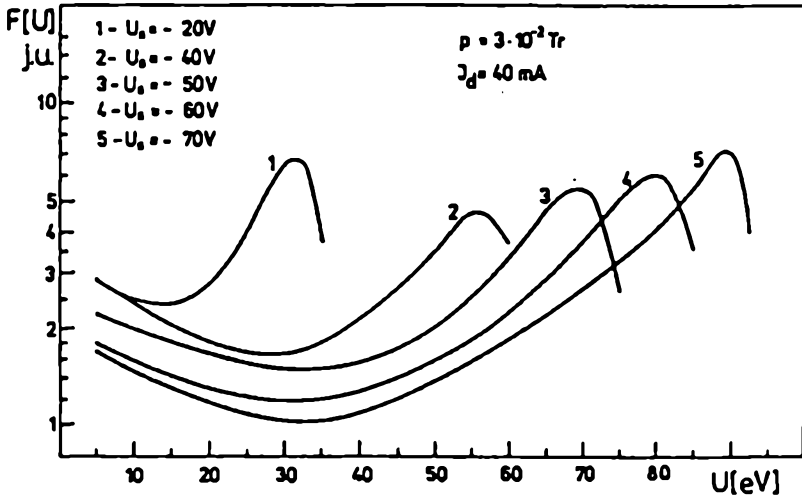
#### WYNIKI POMIARÓW

Na ryc. 2 przedstawiono uzyskane na rejestratorze X-Y krzywe natężenia prądu kolektora  $I_c$  w funkcji napięcia hamującego  $U$ , przykładanego do siatki  $G_1$ . Krzywe odpowiadają różnym potencjałom polaryzacji sondy  $S$ .

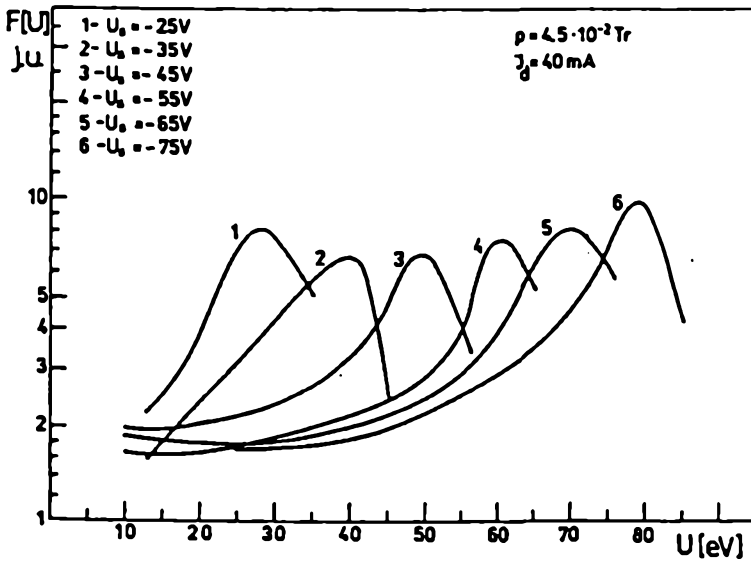


Ryc. 2. Natężenie prądu jonów dochodzących do kolektora w funkcji potencjału hamującego  $U$  przy różnych potencjałach sondy ekstrakcyjnej  $U_S$

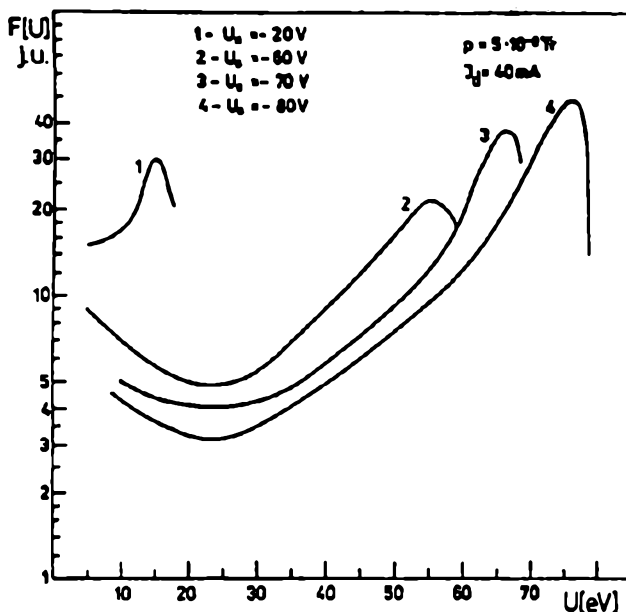
Ryciny 3, 4 przedstawiają funkcje rozkładu jonów wyciąganych z ciemni Faradaya przy stałym natężeniu prądu wyładowania a różnych wartościach ciśnienia:  $3 \cdot 10^{-2}$ ,  $4,5 \cdot 10^{-2}$  Tr. Dla każdego z tych ciśnień wyznaczono krzywe rozkładu dla różnych potencjałów polaryzacji sondy ekstrakcyjnej. Wszystkie otrzymane funkcje rozkładu mają wyraźne maksimum. I tak dla potencjału polaryzacji sondy ( $-20$  V) maksimum funkcji jest dla energii około 30 eV (Ryc. 3.). W miarę polaryzowania sondy potencjałem coraz bardziej ujemnym maksimum funkcji rozkładu przesunę się w stronę większych energii. Przesunięcie to jest proporcjonalne do zmiany potencjału sondy próbkującej. Zwiększa



Ryc. 3. Funkcje rozkładu jonów względem energii dla różnych potencjałów polaryzacji sondy ekstrakcyjnej  $U_S$  — ciemnia Faradaya



Ryc. 4. Funkcje rozkładu jonów względem energii dla różnych potencjałów polaryzacji sondy ekstrakcyjnej  $U_S$  — ciemnia Faradaya



Ryc. 5. Funkcje rozkładu jonów względem energii dla różnych potencjałów polaryzacji sondy ekstrakcyjnej  $U_s$  — poświata ujemna

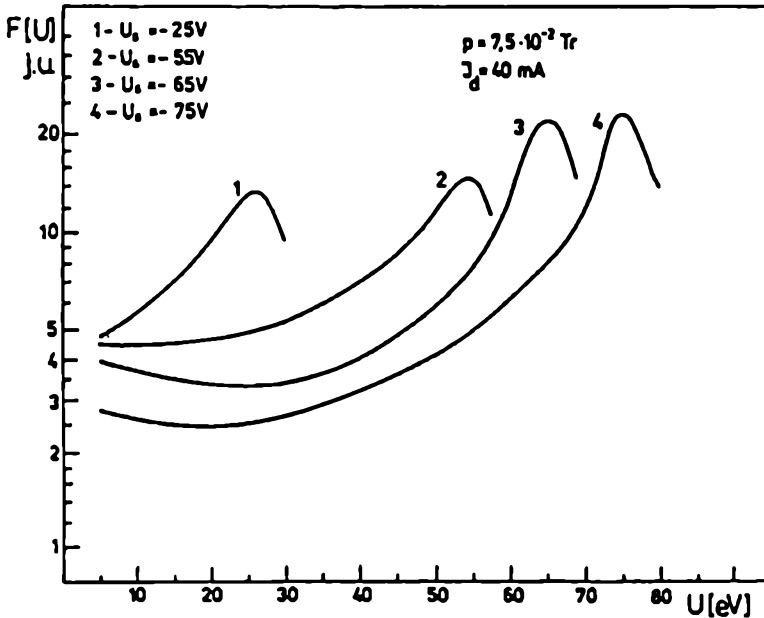
się również przedział energii wyciąganych jonów, a to pociąga za sobą zmianę kształtu funkcji rozkładu. Podobne zależności występują przy pozostałych badanych ciśnieniach.

Na ryc. 5, 6 przedstawiono funkcje rozkładu jonów wyciąganych z poświaty ujemnej. Przy ustalonym ciśnieniu i natężeniu prądu wyładowania wyznaczono funkcje rozkładu jonów dla różnych potencjałów polaryzacji sondy ekstrakcyjnej. Wpływ tego potencjału na położenie maksimum, jak i kształt funkcji rozkładu jest podobny, jak w przypadku pomiarów wykonywanych dla ciemni Faradaya.

#### PODSUMOWANIE

Na podstawie tradycyjnej teorii Langmuira, przy założeniach braku generacji jonów w warstwie i płaskiej granicy plazma—warstwa, rozkład energii jonów powinien być maxwellowski [6]. Należałoby przypuszczać, że widmo energetyczne w całości powinno przesuwac się wzdłuż skali energii, przy zmianie potencjału plazma—sonda. Oprócz tego przesunięcia kształt krzywej rozkładu powinien pozostawać niezmienny.

Otrzymane funkcje rozkładu jonów wyciąganych ze stref przykatodowych różnią się znacznie od funkcji rozkładu Maxwella. Niewątpliwie jednym z głównych czynników wpływających na funkcje rozkładu jonów jest potencjał polaryzacji sondy ekstrakcyjnej. Położenie maksimum funkcji rozkładu na osi energii jest jego liniową



Ryc. 6. Funkcje rozkładu jonów względem energii dla różnych potencjałów polaryzacji sondy ekstrakcyjnej  $U_S$  — poświata ujemna

zależnością. Zmiana potencjału polaryzacji sondy wpływa na kształt funkcji rozkładu, jak również na przedział energii wyciąganych jonów. W badanych przypadkach przy zmianie potencjału polaryzacji sondy ekstrakcyjnej od  $(-20 \text{ V})$  do  $(-75 \text{ V})$  następowała zmiana przedziału energii wyciąganych jonów od  $30 \text{ eV}$  do około  $90 \text{ eV}$ .

Otrzymane wyniki pozwalają wyciągnąć wnioski o zakłóceniu próbkowania jonów sondowanym przez sondę ekstrakcyjną. Oznacza to, że jony wyciągane w ten sposób w rzeczywistości nie reprezentują badanej plazmy.

#### LITERATURA

- [1] Fehsenfeld F. C., Schmeltekopf A. C., *J. Chem Phys.*, 44 (1966), 4087.
- [2] Ferguson E. E., *Advances in Electronics and Electron Physics*, 18, Academic Press, New York 1968.
- [3] Knewstubb P. F., Tickner A. W., *J. Chem. Phys.*, 36 (1962), 674, 684.
- [4] Pahl M., Lindinger W., Howorka F., *Z. Naturforsch.*, 27a (1972), 678.
- [5] Wroński Z., Pilat M., *Vacuum*, 38 (1988), 547.
- [6] Engel A., *Ionized Gases*, Oxford 1965.