

Instytut Fizyki UMCS, 20-031 Lublin, pl. M. Curie-Skłodowskiej 1

HELENA MURLAK-STACHURA, ZDZISŁAW WROŃSKI

*Spektrum masowo-energetyczne jonów azotu
bombardujących katodę wyładowania jarzeniowego*

The Mass-Energy Spectrum of Nitrogen Ions
Bombarding the Glow Discharge Cathode

6670

1. WPROWADZENIE

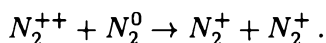
Ciężkie i szybkie cząstki — generowane w spadku katodowym wyładowania jarzeniowego — powodują modyfikację katody bombardując jej powierzchnię. Ten proces jest stosowany w praktyce zarówno ze względu na prostotę technicznych rozwiązań, jak na łatwość uzyskania dużych gęstości strumienia bombardujących cząstek. Ostateczny efekt modyfikacji zależy od spektrum energetycznego cząstek; charakter tego spektrum określony jest przez wiele parametrów wyładowania jarzeniowego. W niniejszym artykule prezentowane są wyniki badania rozkładów energetycznych jonów azotu bombardujących aluminiową katodę.

2. WYNIKI POMIARÓW

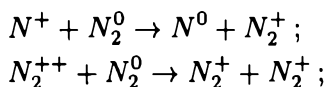
Za pomocą filtru Wiena połączonego z 90° magnetycznym spektrometrem mas analizowano skład masowo-energetyczny promieni kanalikowych

pochodzących ze specjalnego źródła jonów. Wyładowanie jarzeniowe zachodzi w źródle z płaską katodą, przesłoniętą wykonaną z metalu tarczą z otworem. Obecność przesłony pozwala na umiejscowienie małej plamki katodowej na otworze ekstrakcyjnym spektrometru oraz zapewnia bardziej stabilne wyładowanie. Szczegółowy opis źródła i aparatury pomiarowej przedstawiony jest w artykule [1].

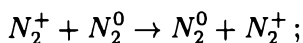
Badano wyładowanie jarzeniowe w azocie. W widmie masowo-energetycznym jonów azotu, generowanych w spadku katodowym wyładowania, występują jony N_2^+ oraz nierozróżnialne między sobą jony N^+ i N_2^{++} . Widma masowo-energetyczne jonów N_2^+ mają charakterystyczne maksima dla energii odpowiadającej połowie spadku katodowego. Maksimum przesuwa się w stronę wyższych energii przy obniżaniu ciśnienia. Charakter otrzymanych rozkładów wskazuje na dominującą rolę procesu wymiany ładunku jon-obojętna molekula. Można przypuszczać, że proces powstawania jonów N_2^+ jest podobny do tego, jaki ma miejsce w przypadku jonów O_2^+ [2]. Jony N_2^+ powstają również w procesie wymiany ładunku



Jednak w badanym przypadku ilość jonów N^+/N_2^{++} była bliska ilości jonów N_2^+ . Natomiast w wyładowaniu w tlenie [2] obserwowano małe ilości jonów O^+/O_2^{++} . Przyczyną tego są różnice między przekrojami czynnymi charakterystycznymi dla wymiany ładunku. W przypadku azotu przekrój czynny charakterystyczny dla wymiany ładunku dla procesów



jest dużo mniejszy od przekroju czynnego dla procesu



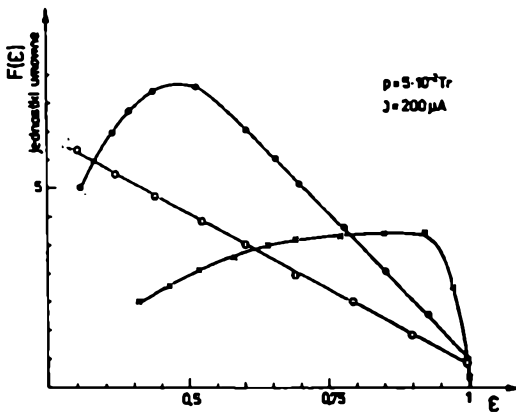
patrz [3]. Stąd zanikanie jonów N_2^+/N_2^{++} , na korzyść jonów N_2^+ , jest znikome. Natomiast w tlenie wartości odpowiednich przekrojów są porównywalne, stąd silne zanikanie jonów O^+/O_2^{++} na korzyść jonów O_2^+ .

Prezentowany w artykule [4] model teoretyczny, pozwalający wyznaczyć funkcje rozkładu jonów względem energii z rozwiązania równania Boltzmann, wykorzystano do wyznaczenia widma masowo-energetycznego jonów N_2^+ . Według tego modelu rozkład energetyczny jonów głównych (np. N_2^+) określony jest formułą

$$F(\varepsilon) = \text{const} \exp(-\phi\varepsilon)/\sqrt{\varepsilon}, \quad (1)$$

gdzie: ε jest znormalizowaną energią (tzn. stosunkiem energii rzeczywistej do energii uzyskiwanej w spadku katodowym). Parametr ϕ jest charakterystyczny dla danej funkcji rozkładu i określony przez parametry plazmy, takie jak: natężenie prądu wyładowania, wartość napięcia spadku katodowego, masa atomowa jonu oraz makroskopowe przekroje czynne na wymianę ładunku i na jonizację elektronami [5].

Otrzymane z formuły (1) funkcje rozkładu porównano z wynikami eksperymentalnymi. Z porównania wynika, że zmierzone funkcje rozkładu znacznie odbiegają od otrzymanych na drodze teoretycznej, szczególnie w obszarze małych energii. Krzywe teoretyczne osiągną maksimum dla zerowych energii i ich nachylenie jest inne. Nachylenie funkcji rozkładu wynikające z modelu teoretycznego reprezentowane jest przez parametr ϕ . Niedobór jonów w obszarze małych energii jest charakterystyczny dla pomiarów spektrum energetycznego jonów spadku, określonych metodą spektrometrii mas [6]. Jest on skutkiem rozogniskowującego działania pola elektrycznego obszaru tuż przy otworze ekstrakcyjnym, trudnego do zlikwidowania w tej metodzie. Na to rozogniskowanie jest mniej czuła metoda siatek [2], która jednak nie umożliwia rozróżnienia rodzajów jonów.

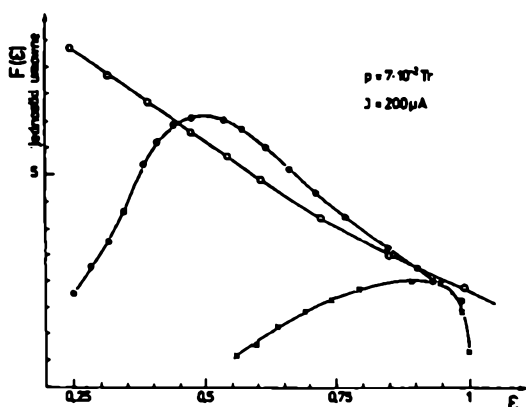


Ryc. 1. Spektrum masowo-energetyczne jonów. Wyniki doświadczalne dla: ● = N_2^+ i x = N^+/N_2^{++} ; o — krzywa teoretyczna dla N_2^+ ; $\phi = 2,4$

Mass-energy distribution of nitrogen ions. ● = N_2^+ and x = N^+/N_2^{++} — experimental distributions; o — distribution calculated from formula (1) for N_2^+ ; $\phi = 2.4$

3. WNIOSKI

Rozkłady masowo-energetyczne, otrzymane dla jonów generowanych w spadku katodowym wyładowania jarzeniowego w azocie, wskazują na dominującą rolę procesu wymiany ładunku jon-obojętnej molekuła. Podobną rolę procesu wymiany ładunku obserwowano wcześniej w wyładowaniu jarzeniowym w tlenie [2]. Funkcje rozkładu jonów N_2^+ uzyskane z modelu



Ryc. 2. Spektrum masowo-energetyczne jonów. Wyniki doświadczalne dla: ● = N_2^+ i $x = N^+/N_2^{++}$; ○ — krzywa teoretyczna dla N_2^+ ; $\phi = 2$

Mass-energy distribution of nitrogen ions. ● = N_2^+ and $x = N^+/N_2^{++}$ — experimental distributions; ○ — distribution calculated from formula (1) for N_2^+ ; $\phi = 2$

teoretycznego przedstawionego w artykule [4] różnią się znacznie od otrzymanych eksperymentalnie. Przyczyny tych rozbieżności są bardzo złożone.

LITERATURA

- [1] Wroński Z., *Vacuum*, 35 (1985) 271.
- [2] Wroński Z., Piłat M., *Vacuum*, 38 (1988) 547.
- [3] McDaniel E. W., *Collision Phenomena in Ionized Gases*, New York 1964.
- [4] Wroński Z., *Vacuum*, 40 (1990) 387.
- [5] Wroński Z., Sullivan J. and Pearce C. G., *J. Phys. D. a. Appl. Phys.*, 27 (1994) 533.
- [6] Bondarenko A., *J. Tech. Fiz.*, 46 (1976) 2535.

SUMMARY

The mass-energy composition of nitrogen ions generated in the glow discharge cathode drop was analyzed. Mass-energy spectra of N_2^+ ions and indistinguishable N^+ and N_2^+ ions were obtained. The N_2^+ ions spectra have characteristic maxima of energy equivalent to half the cathode drop.

On the basis of the theoretical model shown in paper [4] the functions of ion distribution for N_2^+ in relation to energy was obtained. However, they differ considerably from those obtained experimentally. The causes of these discrepancies are highly complex.