

A. Latuszyński
D. Mączka
A. Wasiak

Instytut Fizyki Uniwersytetu
Marii Curie-Skłodowskiej,
Lublin

J. Partyka

Politechnika Lubelska

WYTWARZANIE JONÓW WIELOKROTNIE NAŁADOWANYCH DLA CELÓW IMPLANTACYJNYCH

1. WSTĘP

W następstwie oddziaływania jonów średnich energii z atomami naświetlanej tarczy, a także na skutek działania strumów odrzutu na sieć krystaliczną można w zadany sposób zmieniać strukturę naświetlanego materiału i jego skład chemiczny. Konsekwencją takich właściwości jest bardzo szerokie wykorzystanie wiązek jonowych dla celów praktycznych. Niektóre z tych zastosowań wymagają głębokiej penetracji naświetlanego materiału tj. odpowiednio wysokich energii kinetycznych bombardujących cząstek. Budowane dla takich eksperymentów specjalne urządzenia, tzw. implantatory mają z reguły dodatkowy układ przyspieszający cząstki do żądanej energii, zwykle nie przekraczającej 300 - 500 keV. W znaczącym jednak procencie głębokie implantacje jonowe wykonywane są także przy pomocy elektromagnetycznych separatorów izotopów, które budowane były dla różnorodnych eksperymentów fizycznych, np. z zakresu fizyki jądrowej średnich i niskich energii. W takich przypadkach koniecznym jednak staje się korzystanie z jonów wielokrotnie naładowanych, bowiem w tradycyjnych separatorach napięcia przyspieszające jony nie przekraczają najczęściej 50 + 70 kV.

W niniejszej pracy zaprezentowane zostały doświadczenia Zespołu Implantacji IF UMCS w prowadzeniu głębokich implantacji przy zastosowaniu jonów wielokrotnie naładowanych. Opisujemy w niej krótko konstrukcję źródła jonów, podajemy niektóre charakterystyki źródła oraz rutynowe warunki pracy aparatury przy generacji jonów wielokrotnych. W zakończeniu pokazujemy przykład wykorzystania podwójnie naładowanych jonów dla celów badania mechanizmu hamowania jonów Ti^{++} w GaAs.

2. KONSTRUKCJA ŹRÓDŁA JONÓW

Strumienie jonów wielokrotnie naładowanych były wytwarzane przy pomocy plazmowego źródła jonów typu Sideniusa, którego zasadę działania można znaleźć w szeregu publikacjach 1,2. Źródło to cechuje zwarta i prosta konstrukcja, łatwa obsługa oraz stosunkowo wysoka niezawodność i żywotność rzędu kilkadziesiąt godzin w typowych warunkach pracy urządzenia. Schemat ideowy źródła pokazany został na rys. 1. Zasadniczym elementem urządzenia jest cylindryczna komora wyładowań, ograniczona z jednej strony grafitową płytką z otworem do ekstrakcji jonów 1, z drugiej tantalowym parownikiem dla substancji stałych 5. Spirala 2 z drutu wolframowego ϕ 1 mm spełnia rolę katody. Parownik 5 i cylinder 3 posiadają potencjał anody. Poszczególne części komory wyładowań oddzielone są od siebie izolatorami wykonanymi z azotku boru 4. Opisana konstrukcja źródła umożliwia otrzymywanie zarówno jonów pierwiastków gazowych jak i ciał stałych. W przypadku tych pierwszych gaz podawany jest do komory wyładowań poprzez odpowiedni przewód 5. Wytwarzanie jonów ciał stałych wymaga uprzedniej zamiany próbki w stan pary. W tym celu próbka umieszczona jest w parowniku 5, ogrzewanym ciepłem wydzielanym w czasie pracy źródła. Strumień par regulujemy poprzez zmianę położenia parownika wewnątrz rurki gradientowej 3. Zakres roboczych temperatur parownika zawiera się w granicach $400 + 2000^{\circ}C$. Komora wyładowań źródła znajduje się wewnątrz cylindrycznej osłony termicznej, która jest zamontowana na standartowym korpusie ze stali kwasoodpor-

nej, chłodzoną wodą w obiegu wymuszonym. Korpus posiada przepusty prądowo-próżniowe oraz służę służącą do wymiany ładunku ciała stałego bez niszczenia próżni w zasadniczej objętości źródła. Rys. 2 pokazuje całość konstrukcji źródła.

3. CHARAKTERYSTYKI PRACY ŹRÓDŁA JONÓW

Celem znalezienia optymalnych warunków pracy źródła przy wytwarzaniu jonów wielokrotnie naładowanych wykonano szereg podstawowych charakterystyk urządzenia. W szczególności zbadano zależność emitowanych prądów jonowych od parametrów wyładowania łukowego w źródle. Rys. 3 pokazuje typową zależność natężenia prądu jonów o różnych stanach ładunkowych od napięcia łuku. Przykład dotyczy jonizacji ksenonu. Obserwowany przebieg krzywych świadczy o dominującym udziale procesu jonizacji stopniowej w wytwarzaniu jonów wielokrotnie naładowanych. Jeśli by bowiem jony wielokrotnie naładowane powstawały w procesie zderzenia jednokrotnego typu atom-elektron, wówczas przebieg zależności I U byłby podobny do krzywej przekroju czynnego na jonizację atomu elektronami w funkcji ich energii kinetycznej. Oznacza to, że dla wyższych napięć anodowych prądy jonowe powinny maleć, czego nie potwierdza eksperyment. Rys. 4 pokazuje inną ważną charakterystykę urządzenia, a mianowicie zależność prądu jonów wielokrotnie naładowanych od prądu wyładowania łukowego w źródle. Zmianę prądu wyładowania uzyskano poprzez regulację prądu żarzenia katody. Wzrost tego ostatniego powoduje z kolei podwyższenie temperatury katody, a tym samym zwiększenie jej emisji elektronowej. Ostatni czynnik wpływa na liczbę aktów jonizacji w komorze wyładowań źródła i w konsekwencji na natężenie prądu jonowego emitowanego przez źródło. Natężenie prądu jonów wielokrotnych emitowanych ze źródła zależy również od koncentracji cząstek znajdujących się wewnątrz komory wyładowań. Na rys. 5 podano przykład tej zależności dla Xe. Pokazane krzywe dla jonów wielokrotnych posiadają wyraźne maxima. Obserwowany spadek natężenia prądu jonowego można wyjaśnić niszczeniem jonów wielokrotnych w następstwie zjawiska wymiany ładunków pomiędzy cząstkami o róż-

nych stanach ładunkowych. Dominującymi są tutaj zderzenia typu jon wielokrotny - atom obojętny. Podobne rezultaty uzyskano dla innych badanych pierwiastków. Znalezione optymalne wartości parametrów pracy źródła przy otrzymywaniu jonów wielokrotnych zebrano w tabeli 1.

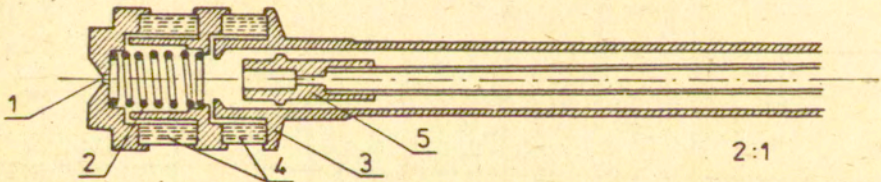
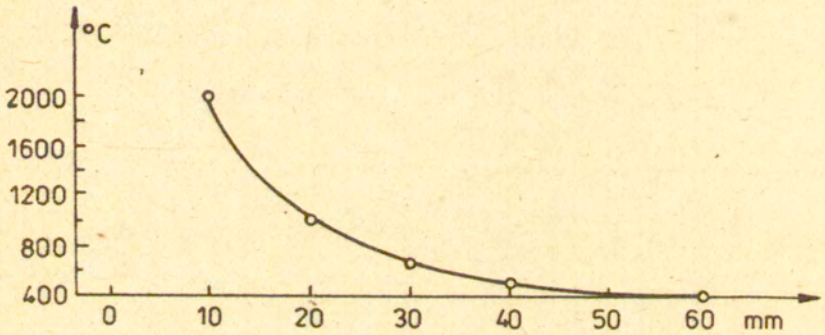
Przykład wykorzystania jonów wielokrotnych dla badania mechanizmu hamowania cząstek w ciele stałym pokazuje rys. 6. Punkty doświadczalne, uzyskane metodą spektrometrii mas jonów wtórnych SIMS, perzentują rozkład głębokościowy jonów pojedynczo i podwójnie naładowanych tytanu w arsenku galu 3. Dla uzyskania jednakowej energii kinetycznej cząstek w przypadku jonów Ti^+ stosowano napięcie przyspieszające $U = 150$ kV, zaś dla Ti^{++} - $U = 75$ kV. Krzywa ciągła przedstawia symulację komputerową rozkładu głębokościowego jonów Ti metodą Monte Carlo.

LITERATURA




- 1 G. Sidenius, Proc. Inter. Conf. on Electromagnetic isotope Separators Marburg, F.R. Germany /1970/ p. 423.
- 2 A. Latuszyński, D. Mączka, J. Juszkiewicz, Proc. of the Fourth International Conference, Berchtesgaden, Fed. Rep. of Germany September 13-17 /1982/, 106
3. J. Sielanko, M. Sowa, W. Szyszko, J. Zinkiewicz, L. Gładuszeński, L. Gładuszeński, Annales UMCS, Sectio AAA, 38 /1983/ 105.

Tabela 1.

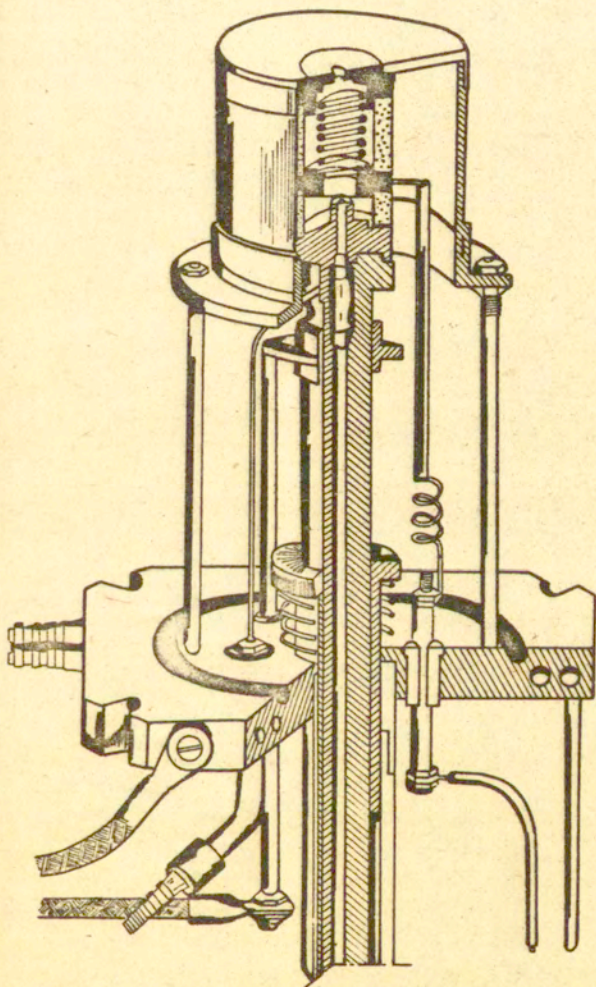
Pierwiastek	materiał próbki	ładunek jonu	warunki pracy źródła jonów		prąd jonowy I/ μ A/
			Napięcie anodowe Ua/V/	temperatura pracy źródła T $^{\circ}$ C	
Ti	TiCl	Ti $^{+}$	70	~1300	40
		Ti $^{++}$	100		3,5
		Ti $^{+++}$	120		0,4
In	In /metal/	In $^{+}$	50	~1000	45
		In $^{++}$	85		4
		In $^{+++}$	115		0,5
Zn	Zn /metal/	Zn $^{+}$	75	~400	40
		Zn $^{++}$	100		2
		Zn $^{+++}$	125		0,2
Cd	Cd /metal/	Cd $^{+}$	80	~800	18
		Cd $^{++}$	110		1,5
		Cd $^{+++}$	135		0,2
P	P $_2$ O $_5$	32 $_P^{+}$	80	~200	50
		32 $_P^{++}$	115		6
Pierwiastek	materiał próbki	ładunek jonu	warunki pracy źródła jonów		prąd jonowy I/ μ A/
			Napięcie anodowe Ua/V/	strumień gazu, Q [$\frac{cm^3}{min}$ Tr]	
Xe	Xe /gaz /	129 $_{Xe}^{+}$	180	~4	10
		129 $_{Xe}^{++}$	200		1,2
		129 $_{Xe}^{+++}$	400		0,2
Kr	Kr /gaz/	86 $_{Kr}^{+}$	110	~6	2,4
		86 $_{Kr}^{++}$	250		0,1
		86 $_{Kr}^{+++}$	300		0,01



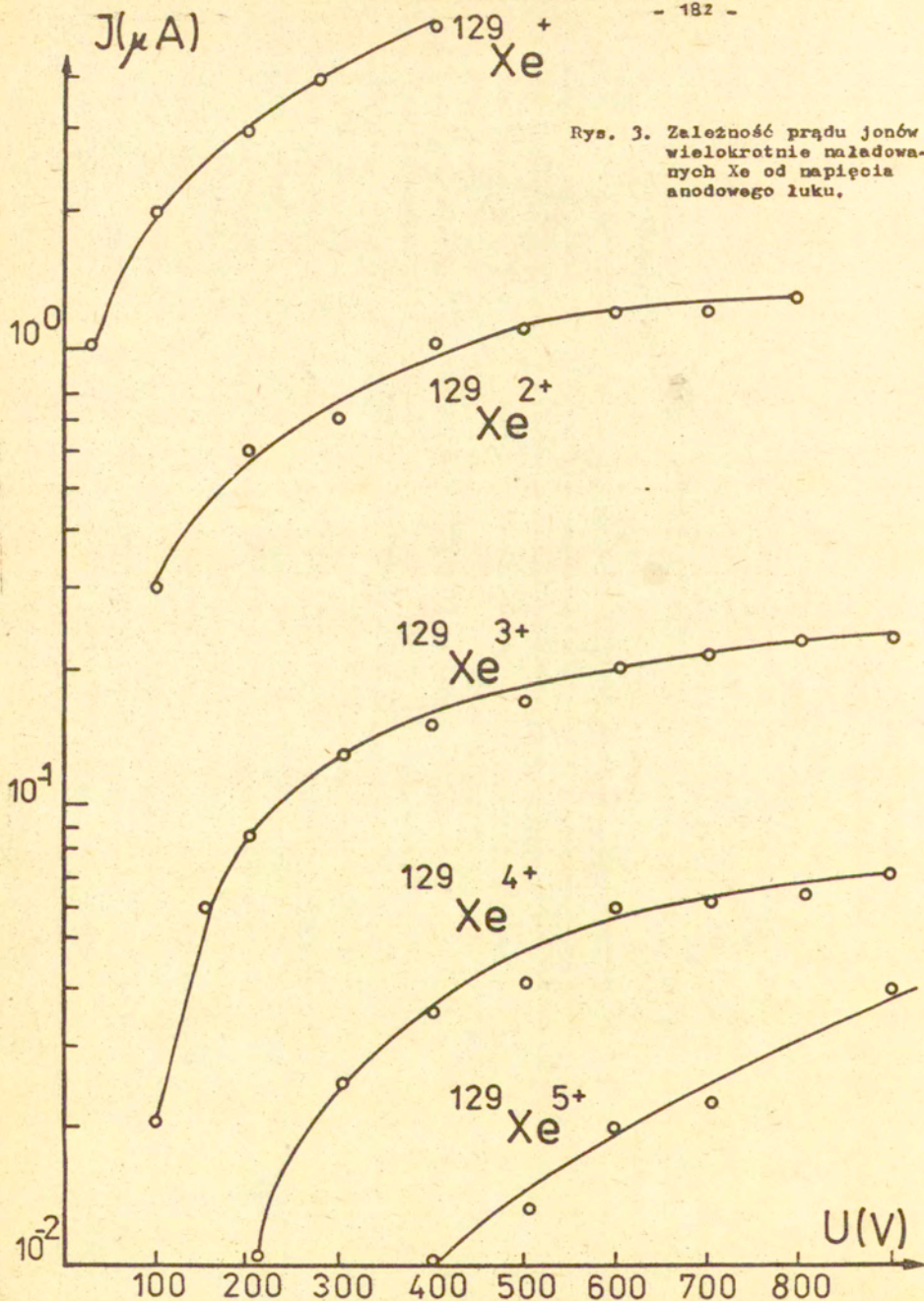
- 1 - otwór ekstrakcyjny
- 2 - katoda
- 3 - anoda
- 4 - izolator
- 5 - parownik

-  - Ta, Mo grafit
-  - BN
-  - W

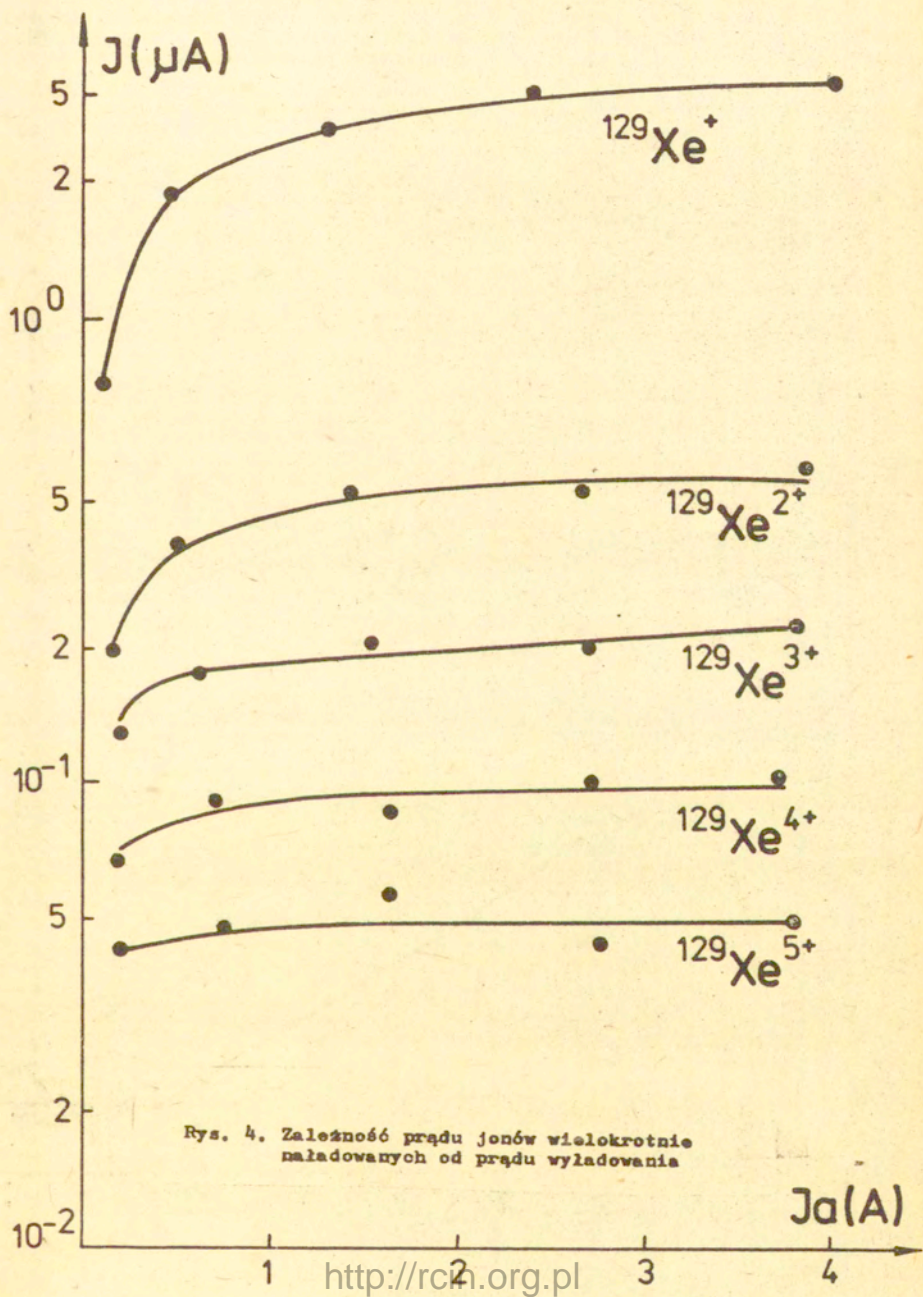
Rys. 1. Schemat źródła jonów



Rys. 2. Ogólny widok źródła jonów

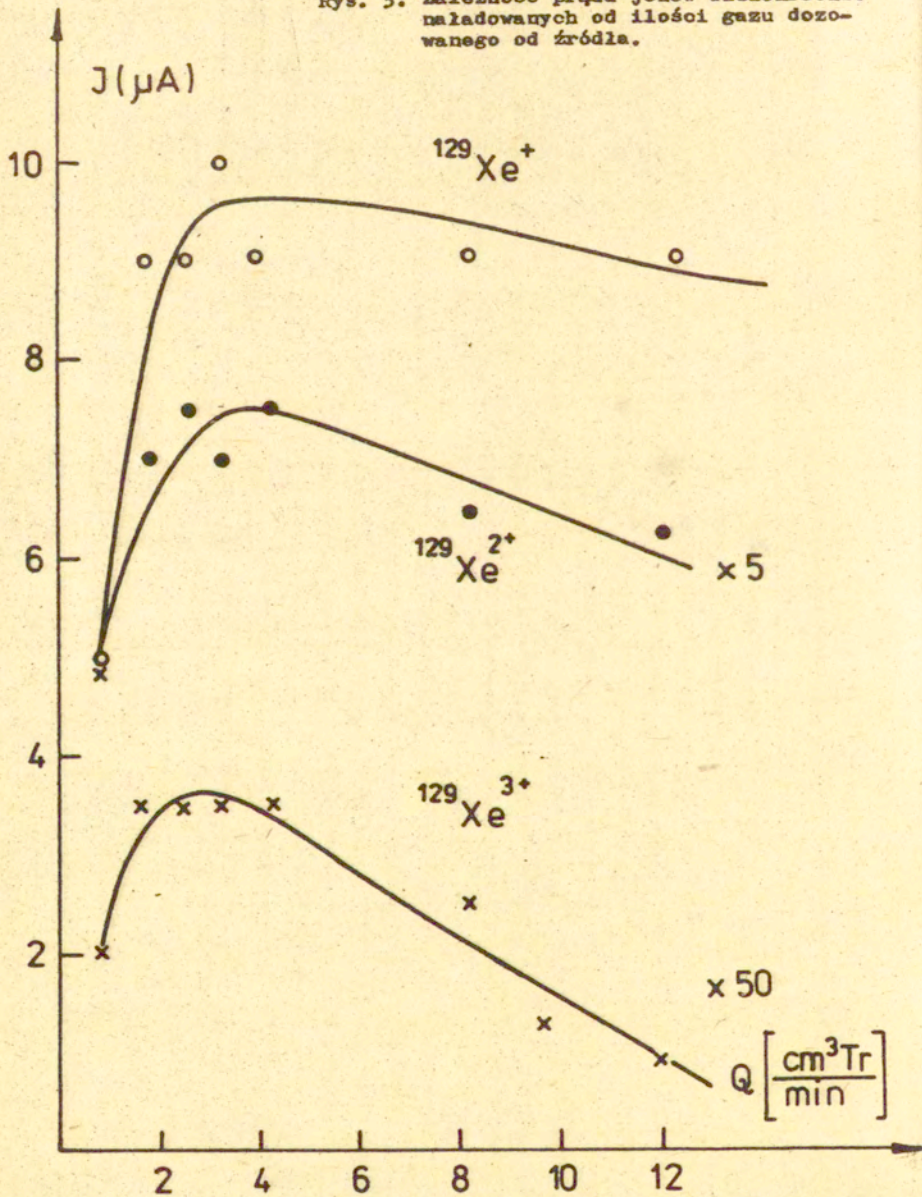


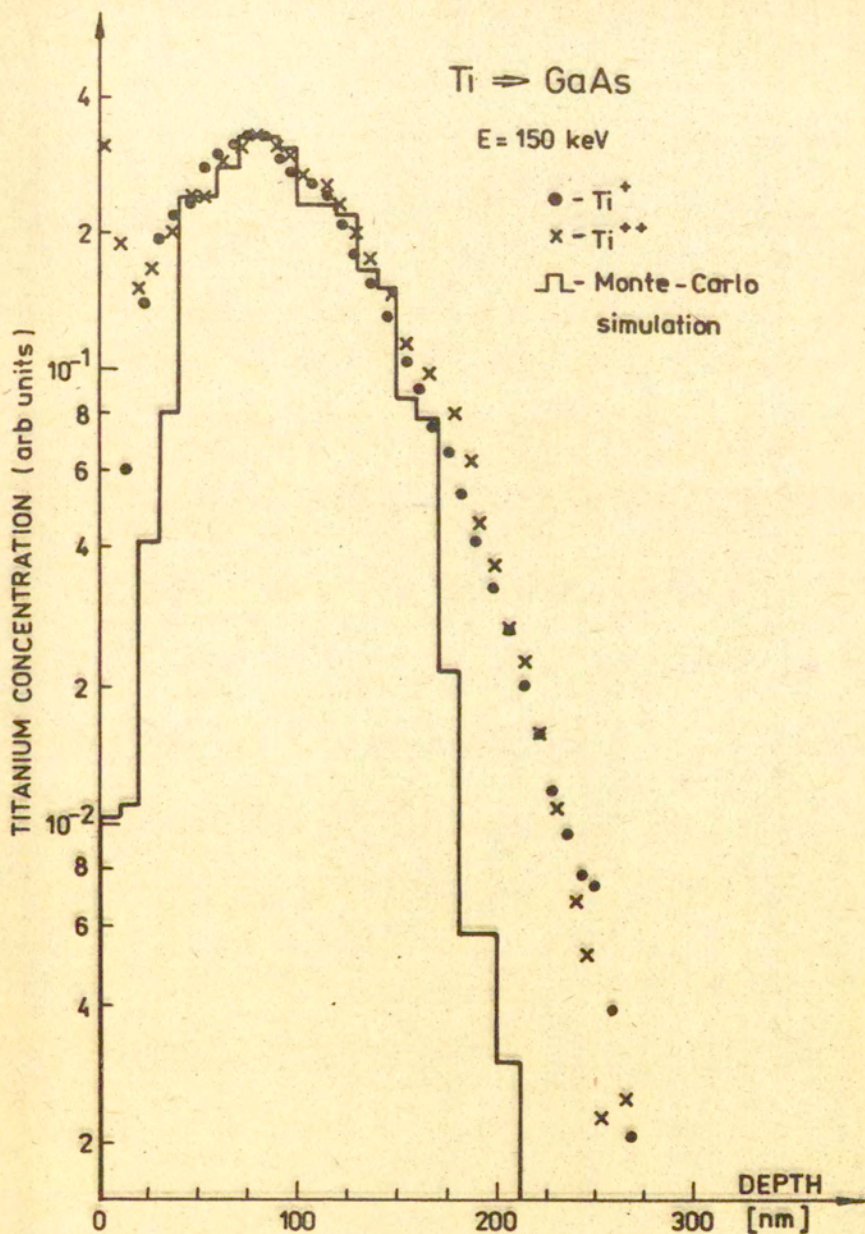
Rys. 3. Zależność prądu jonów wielokrotnie naładowanych Xe od napięcia anodowego łuku.



Rys. 4. Zależność prądu jonów wielokrotnie naładowanych od prądu wyładowania

Rys. 5. Zależność prądu jonów wielokrotnie naładowanych od ilości gazu dozowanego od źródła.





Rys. 6. Rozkład głębokościowy jonów Ti⁺ i Ti⁺⁺ w GaAs.