

INSTYTUT MASZYN PRZEPIYWOVYCH
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

redakcja

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPIYWOVYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

65

WARSZAWA—POZNAŃ 1974

P A Ń S T W O W E W Y D A W N I C T W O N A U K O W E

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW
MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

KOMITET REDAKCYJNY — EXECUTIVE EDITORS
KAZIMIERZ STELLER — REDAKTOR — EDITOR
JERZY KOŁODKO · JÓZEF ŚMIGIELSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA — EDITORIAL OFFICE

Instytut Maszyn Przepływowych PAN, 80-952 Gdańsk,
skr. pocztowa 621, ul. Gen. Józefa Fiszer 14, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1974

Printed in Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE — ODDZIAŁ W POZNANIU

Nakład 400+90 egz.	Oddano do składania 31 V 1974 r.	
Ark. wyd. 14. Ark. druk. 11.	Podpisano do druku 2 XII 1974 r.	
Papier ilustrac. kl. V, 70 g 70×100 cm.	Druk ukończono w grudniu 1974 r.	
Nr zam. 449/30.	F-15/1068.	Cena zł 42,—

DRUKARNIA UNIwersytetu IM. A. MICKIEWICZA W POZNANIU

JERZY MIZERACZYK, JERZY KONIECZKA

Gdańsk

Badania eksperymentalne natężenia linii $\lambda = 4416\text{\AA}^{\circ} \text{Cd}^{+}$ w wyładowaniu He-Cd w dwuanodowej rurze wyładowczej*

W pracy opisano dwuanodową rurę wyładowczą, przeznaczoną dla laserów jonowych na parach metali. Przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych emisji spontanicznej promieniowania wyładowania He-Cd ($\lambda = 4416\text{\AA}$) w dwuanodowej rurze wyładowczej.

1. Wstęp

Wykorzystanie zjawiska kataforezy [1] dla uzyskania jednorodnej koncentracji jonów metalu wzdłuż rury wyładowczej było zwrotnym momentem dla rozwoju techniki laserów jonowych na parach metali [2, 3, 4]. W wyniku zastosowania zjawiska kataforezy uproszczono znacznie konstrukcję laserów jonowych na parach metali oraz uzyskano wzrost mocy promieniowania laserów. Uproszczenia konstrukcyjne polegały przede wszystkim na pominięciu zewnętrznego grzania rury wyładowczej i na redukcji liczby źródeł par metalu w zasadzie do jednego.

Istnieje szereg odmian klasycznej wersji rury wyładowczej stosowanej w laserach jonowych na parach metali [5]. Zaproponowane w nich zmiany konstrukcyjne mają między innymi na celu zwiększenie stopnia jednorodności rozkładu koncentracji jonów metalu wzdłuż rury wyładowczej, zmniejszenie szumów mocy generowanego promieniowania, a także zmniejszenie prawdopodobieństwa napylenia metalem wewnętrznej powierzchni okienek Brewstera.

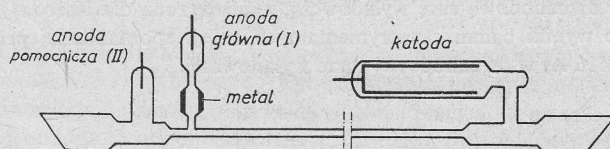
Jedną z odmian klasycznej konstrukcji rury wyładowczej jest wersja zaproponowana przez Silfvasta i Szeto [6]. Zmiana konstrukcyjna, zaproponowana przez wymienionych uczonych polega na odpowiednim rozmieszczeniu wzdłuż rury wyładowczej pierścieni z metalu (lub jednego pierścienia w obszarze przyanodowym dla krótkich rur wyładowczych), które grzane prądem wyładowania są źródłami par metalu. Taki sposób wprowadzania par metalu do wyładowania eliminuje użycie tradycyjnego źródła par metalu w postaci przyanodowego zbiornika, grzanego piecem o wysokiej stabilności temperaturowej. Inną zaletą konstrukcji Silfvasta i Szeto jest zapewnienie wysokiego stopnia jednorodności rozkładu koncentracji jonów metalu wzdłuż rury wyładowczej oraz znaczne zmniejszenie szumów mocy wyjściowej. Jednakże ta konstrukcja nie zapewnia, w szero-

* Praca wykonana w ramach problemu resortowego PAN-19, grupa tematyczna 4.

kim zakresie, niezależnej regulacji natężenia prądu wyładowania i ciśnienia par metalu. Może to mieć istotny wpływ na osiągnięcie warunków pracy, optymalnych ze względu na moc promieniowania lasera.

2. Nowe rozwiązanie konstrukcyjne rury wyładowczej

Na rys. 1 przedstawiono schemat nowego rozwiązania konstrukcyjnego rury wyładowczej przeznaczonej dla laserów jonowych na parach metali. W przedstawionym rozwiązaniu konstrukcyjnym rury wyładowczej zrezygnowano, podobnie jak w wersji Silfvasta i Szeto, z tradycyjnego źródła metalu w postaci przyanodowego zbiornika grzanego piecem. Nowa konstrukcja rury umożliwia niezależną regulację natężenia prądu wyładowania i ciśnienia par metalu.



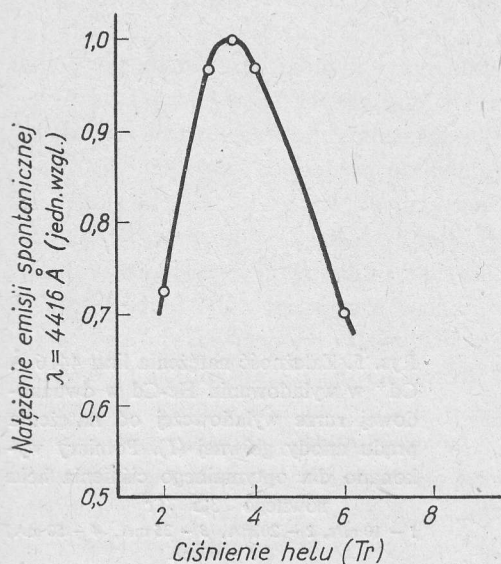
Rys. 1. Schemat dwuanodowej rury wyładowczej

Istota rozwiązania polega na zastosowaniu dwóch anod: głównej (I) i pomocniczej (II). W pobliżu anody głównej umieszcza się metal tak, jak pokazano na rys. 1. Podczas wyładowania w rurze wyładowczej, wypełnionej gazem buforowym, metal paruje, grzany prądem płynącym do anody głównej. Zjonizowane pary metalu zostają wskutek katarforezy wprowadzone do obszaru czynnego rury wyładowczej, a następnie są transportowane w sposób ciągły do katody. Dobierając odpowiednio wartości natężeń prądów obu anod można uzyskać optymalne warunki generacji promieniowania laserowego, określone przez koncentrację jonów metalu i natężenie prądu w obszarze czynnym rury wyładowczej.

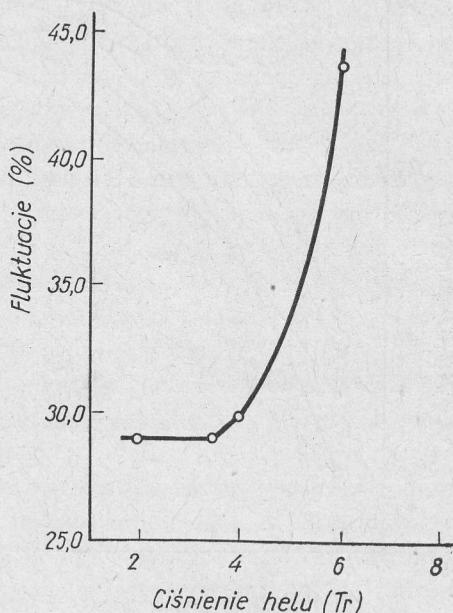
3. Wyniki eksperymentalne

Giallorenzi i Ahmed [7] zauważyli, że zależności mocy promieniowania oraz natężenia emisji spontanicznej linii $4416 \text{ \AA}$ lasera He-Cd^+ w funkcji takich parametrów makroskopowych, jak ciśnienie helu, natężenie prądu wyładowania i ciśnienie par kadmu w rurze wyładowczej mają podobny charakter. Korzystając z tej cechy lasera He-Cd^+ , przebadanie własności laserowych wyładowania He-Cd w zaproponowanej dwuanodowej rurze wyładowczej można było ograniczyć do zbadania natężenia emisji spontanicznej laserowej linii $4416 \text{ \AA}$ jako funkcji parametrów makroskopowych wyładowania.

Modelowa dwuanodowa rura wyładowcza, o budowie jak pokazano na rys. 1, wykonana została ze szkła pyrexowego. Obie anody wykonano z wolframu, natomiast katodę wykonano z aluminium. Średnica rury wyładowczej wynosiła 3 mm , a długość czynna około 250 mm .

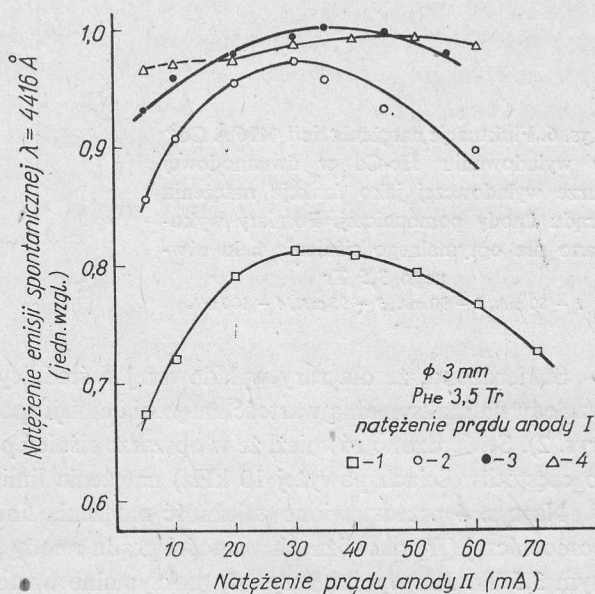


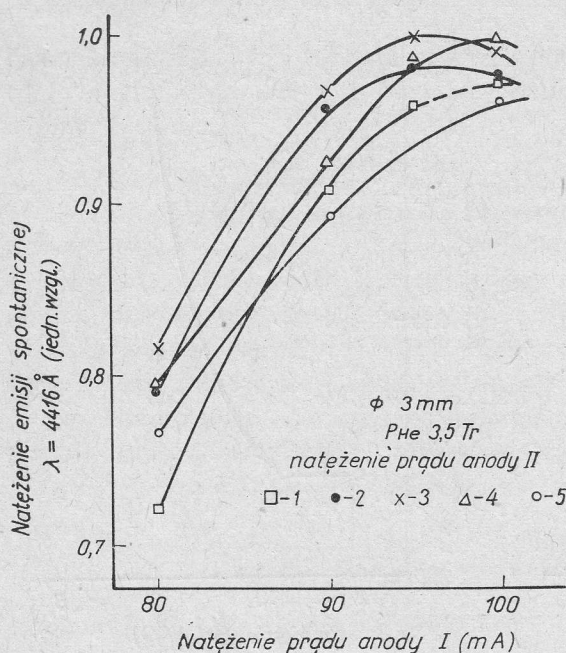
Rys. 2. Zależność natężenia linii 4416 Å Cd^+ w wyładowaniu He-Cd w dwuanodowej rurze wyładowczej od ciśnienia helu



Rys. 3. Fluktuacje natężenia linii 4416 Å Cd^+ w wyładowaniu He-Cd w dwuanodowej rurze wyładowczej w funkcji ciśnienia helu

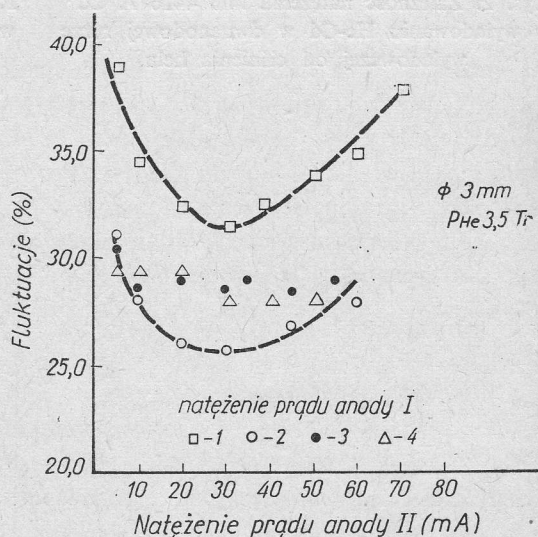
Rys. 4. Zależność natężenia linii 4416 Å Cd^+ w wyładowaniu He-Cd w dwuanodowej rurze wyładowczej od natężenia prądu anody pomocniczej (II). Pomiary wykonano dla optymalnego ciśnienia helu równego 3,5 Tr





Rys. 5. Zależność natężenia linii 4416 Å Cd⁺ w wyładowaniu He-Cd w dwuanodowej rurze wyładowczej od natężenia prądu anody głównej (I). Pomiary wykonano dla optymalnego ciśnienia helu równego 3,5 Tr
1 - 10 mA, 2 - 20 mA, 3 - 35 mA, 4 - 50 mA, 5 - 60 mA

Rys. 6. Fluktuacje natężenia linii 4416 Å Cd⁺ w wyładowaniu He-Cd w dwuanodowej rurze wyładowczej jako funkcja natężenia prądu anody pomocniczej. Pomiary wykonano dla optymalnego ciśnienia helu równego 3,5 Tr
1 - 80 mA, 2 - 90 mA, 3 - 95 mA, 4 - 100 mA



Stwierdzono, że dla rury wyładowczej o średnicy 3 mm optymalne ciśnienie helu, ze względu na maksymalną wartość natężenia emisji spontanicznej linii 4416 Å wynosi 3,5 Tr (rys. 2). Stwierdzono również, że w obszarze ciśnień poniżej 4 Tr fluktuacje szybkozmienne (o częstotliwościach powyżej 10 kHz) natężenia linii 4416 Å są najmniejsze (rys. 3).

Na rys. 4 przedstawiono zależność natężenia linii 4416 Å od natężenia prądu anody pomocniczej (II) dla różnych wartości prądu anody głównej (I), przy ciśnieniu helu równym 3,5 Tr. Jak wynika z rys. 4, maksymalne wartości natężenia linii 4416 Å otrzymuje

się przy prądach anody pomocniczej w granicach 30 - 50 mA, w zależności od natężenia prądu anody głównej. Oznacza to, że odpowiednie zwiększenie prądu płynącego przez optycznie czynną część rury wyładowczej, przy ustalonym prądzie anody głównej, powoduje w każdym rozpatrzonym przypadku korzystny wzrost natężenia linii 4416 Å. Na rys. 4 linią przerywaną zaznaczono obszar wyładowania niestabilnego.

Na rys. 5 przedstawiono zależność natężenia linii 4416 Å w funkcji natężenia prądu anody głównej, przy ustalonym prądzie anody pomocniczej. Maksymalną wartość natężenia linii 4416 Å otrzymuje się przy natężeniach prądów anody głównej i pomocniczej równych odpowiednio 95 mA i 35 mA. Prąd płynący przez część optycznie czynną rury wyładowczej dla tego przypadku równa się 130 mA; wartość ta uważana jest za optymalną w laserze He-Cd⁺, którego rura wyładowcza ma średnicę 3 mm [8, 9, 10].

Na rys. 6 przedstawiono zależność fluktuacji natężenia linii 4416 Å od natężenia prądu anody pomocniczej, przy różnych wartościach natężenia prądu anody głównej. Najmniejsze wartości szumów występują dla warunków pracy określonych przez prądy anody głównej i pomocniczej odpowiednio równe 90 mA i 30 mA. Są to wartości nieco różne od optymalnych ze względu na maksymalną wartość natężenia linii 4416 Å. Prawdopodobnie, jaką daje się zauważyć na rys. 6, jest występowanie minimalnych szumów dla warunków pracy bliskich optymalnym ze względu na maksymalne natężenie linii 4416 Å. W optymalnych warunkach pracy rury wyładowczej szumy wynoszą od 25 do 33%.

4. Wnioski

Badania eksperymentalne wyładowania He-Cd w dwuanodowej rurze wyładowczej wykazały, że przy takiej konstrukcji rury wyładowczej uzyskano możliwość niezależnej, w zakresie istotnym dla generacji promieniowania laserowego, regulacji natężenia prądu wyładowania i ciśnienia par kadmu w obszarze czynnym rury wyładowczej. Dzięki temu łatwo można dobrać warunki pracy rury takie, aby natężenie linii laserowej 4416 Å było maksymalne. Dobranie optymalnych warunków pracy w laserze z dwuanodową rurą wyładowczą jest łatwiejsze niż w jednosegmentowym laserze Silfvasta i Szeto, ideowo identycznym z nieoptymalizowaną (natężenie prądu anody pomocniczej równe zero) proponowaną konstrukcją. Jak wynika z rys. 4 po optymalizacji warunków pracy dwuanodowej rury wyładowczej uzyskuje się co najmniej 10% wzrost natężenia linii laserowej 4416 Å.

Fluktuacja natężenia linii 4416 Å w rozpatrywanym wyładowaniu są duże i wynoszą około 30%. Jednakże ze względu na efekt uśredniania się szumów emisji spontanicznej [6, 11], należy oczekiwać znacznie mniejszych wartości szumów mocy promieniowania lasera z dwuanodową rurą wyładowczą.

W następnym etapie pracy przewiduje się wykonanie lasera He-Cd⁺ z dwuanodową rurą wyładowczą i przebadanie jego własności.

Autorzy pragną podziękować Panu mgr inż. J. Chojnackiemu i Panu J. Ziemanowi za pomoc w przygotowaniu części elektronicznej eksperymentu.

Literatura

- [1] G. Francis, *The Glow Discharge at Low Pressure*. Encyclopedia of Physics, XXII, Springer Verlag, Berlin 1956, 195 - 201.
- [2] J. R. Fendley i in., *Characteristic of a Sealed-off He³⁻¹¹⁴Cd Laser*. R. C. A. Rev., 30, 3, 422 - 428 1969.
- [3] T. P. Sosnowski, *Cataphoresis in the Helium-Cadmium Laser Discharge Tube*. J. Appl. Phys., 40, 13, 5138 - 5144, 1966.
- [4] J. P. Goldsborough, *Stable, Long Life, CW Excitation of Helium-Cadmium Lasers by dc Cataphoresis*. Appl. Phys. Letters, 15, 6, 159 - 161, 1969.
- [5] J. Mizeraczyk, *Lasery jonowe na parach metali o pracy ciągłej*. Prace IMP, z. 65, 1974.
- [6] W. T. Silfvast, L. H. Szeto, *Simplified Low-Noise He-Cd Laser with Segmented Bore*. Appl. Phys. Letters, 19, 10, 445 - 447, 1971.
- [7] T. G. Giallorenzi, S. A. Ahmed, *Saturation and Discharge Studies in the He-Cd Laser*. I.E.E.E. J. Quantum Electronics, QE-7, 1, 11 - 17, 1971.
- [8] J. P. Goldsborough, *Continuous Laser Oscillation at 3250 Å in Cadmium Ion*. I.E.E.E. J. Quantum Electronics, QE-5, 2, 133, 1969.
- [9] D. T. Hodges, *Helium-Cadmium Laser Parameters*. Appl. Phys. Letters, 17, 1, 11 - 13, 1970.
- [10] T. P. Sosnowski, M. B. Klein, *Helium Clean-up in the Helium-Cadmium Laser Discharge*. I.E.E.E. J. Quantum Electronics, QE-7, 8, 425 - 426, 1971.
- [11] J. Mizeraczyk i in., *Badania stabilności lasera He-Cd o wzbudzeniu w kolumnie dodatniej wyladowania jarzeniowego*. Biuletyn IMP nr 00/765/1973.

**Экспериментальное исследование интенсивности линии 4416 Å Cd⁺
в разряде He-Cd в двуханодной разрядной трубке**

Резюме

В настоящей работе описана двуханодная разрядная трубка предназначенная для лазеров на ионах металлов. Схема разрядной трубки представлена на рис. 1. Исследования интенсивности спонтанной эмиссии линии $\lambda = 4416 \text{ Å}$ показали, что в случае описанной разрядной трубки можно простым способом определить оптимальные условия работы лазера с точки зрения мощности его эмиссии. Результаты исследования спонтанной эмиссии разряда смеси He-Cd ($\lambda = 4416 \text{ Å}$) представлены на рис. 4 и 5.

Investigations of 4416 Å Cd⁺ Line Intensity of a He-Cd Discharge in a Two-Anode Discharge Tube

Summary

A two-anode discharge tube for ion metal-vapour lasers is described. A diagrammatic arrangement of the tube is shown in Fig. 1. Investigations of spontaneous emission intensity of the $\lambda = 4416 \text{ Å}$ Cd⁺ line in the He-Cd discharge proved that with the discharge tube under consideration it is possible to select, in a straightforward and easy manner, operating conditions of the laser optimum with regard to its output power. The results of the investigations are shown in Figs. 4 and 5.