



SRF



**Modelowanie rozkładu pól magnetycznych służących do prowadzenia wiązki plazmy
powstającej w wyładowaniach łukowych**

P. Strzyżewski¹⁾, J. Langner¹⁾, R. Mirowski¹⁾, M.J. Sadowski¹⁾,
S. Tazzari²⁾ i J. Witkowski¹⁾

¹⁾Instytut Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana (IPJ), 05-400 Otwock-Swierk, Polska,
e-mail: p.strzyzewski@ipj.gov.pl

²⁾The Tor Vergata University and INFN-Roma2, Rome, Italy

Contribution to the 15th Symposium PTZE, Ciechocinek, Poland

Submitted for the 15th Symposium PTZE, Ciechocinek, Poland, Sept. 1-3, 2005.

Modelowanie rozkładu pól magnetycznych służących do prowadzenia wiązki plazmy powstającej w wyładowaniach łukowych

**P. Strzyżewski¹⁾, J. Langner¹⁾, R. Mirowski¹⁾, M.J. Sadowski¹⁾,
S. Tazzari²⁾ i J. Witkowski¹⁾**

¹⁾*Institut Problemów Jądrowych im. Andrzeja Soltana (IPJ), 05-400 Otwock-Swierk, Polska,
e-mail: p.strzyzewski@ipj.gov.pl*

²⁾*The Tor Vergata University and INFN-Roma2, Rome, Italy*

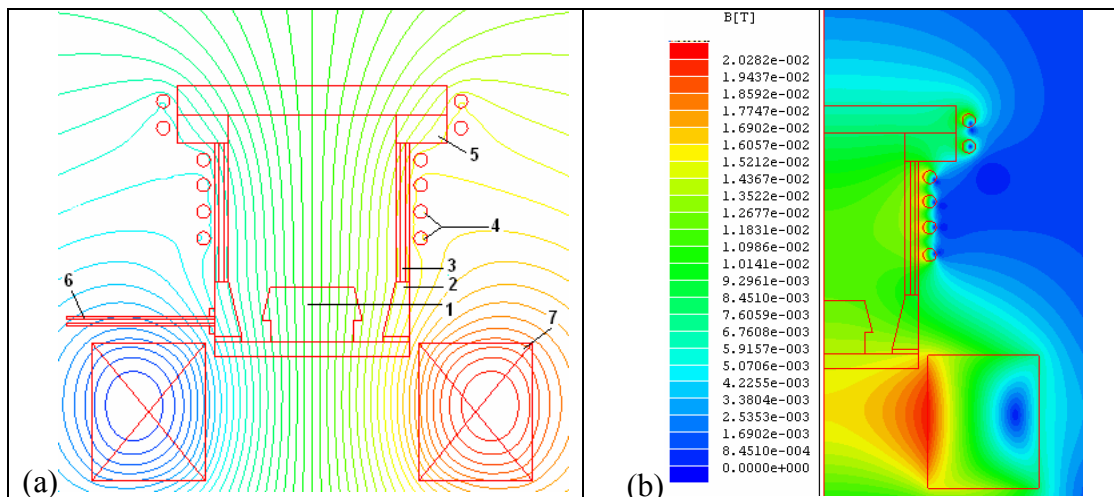
Technologia nanoszenia cienkich warstw za pomocą łuku elektrycznego przy obniżonym ciśnieniu (vacuum arc) jest znana od wielu lat i coraz częściej stosowana w badaniach naukowych i przemyśle [1]. Za pomocą tej technologii możliwe jest wytwarzanie cienkich warstw praktycznie dowolnego metalu (w zależności od składu chemicznego katody) lub związków chemicznych, np. tlenków lub azotków (w zależności od składu katody i stosowanego gazu roboczego). Główną wadą wyładowań łukowych realizowanych w warunkach próżniowych, przy ich stosowaniu do nakładania cienkich warstw, jest występowanie mikro-kropeł metalu, które osiadając na powierzchni substratu zaburzają jednorodność nakładanej warstwy. Ta wada może czasami dyskwalifikować omawianą metodę technologiczną. Dla wyeliminowania tej wady projektuje się specjalne układy, tzw. *filtry magnetyczne*, których zadaniem jest wyeliminowanie mikro-kropeł z użytkowego strumienia plazmy.

Zasada działania filtrów mikro-kropeł nie jest skomplikowana. Polega ona na zakrzywieniu toru wiązki plazmy polem magnetycznym i oddzieleniu cięższych mikro-kropeł, które są odchylane w znacznie mniejszym stopniu [2]. Jony i elektrony mogą być transportowane przez zewnętrzne pole magnetyczne od źródła do miejsca ich depozycji. Natomiast mikro-krople nie są podatne na działanie tego pola i osiadają na ściankach kanału magnetycznego. Pole magnetyczne potrzebne do transportu plazmy nie musi być duże (wystarczy kilka lub kilkanaście mT), co wystarcza do namagnetyzowania elektronów, które poruszają się wówczas ruchem śrubowym wzdłuż linii sił pola magnetycznego. Taka wartość pola jest jednak za mała do namagnetyzowania jonów, ale ze względu na oddziaływania elektrostatyczne (studnię potencjału) łuku elektrycznego, jony poruszają się za elektronami.

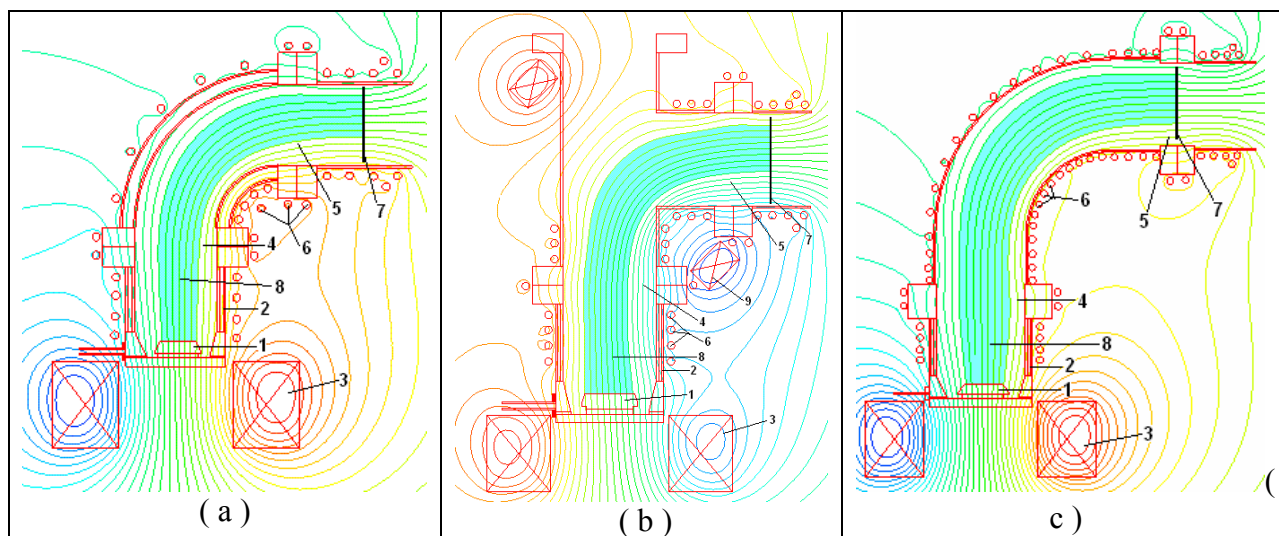
Prezentowany artykuł przedstawia wyniki symulacji rozkładu pola magnetycznego w obszarze źródła plazmy łukowej oraz w trzech różnych układach filtrujących (w 2 filtrach magnetycznych typu Aksenova, które różnią się promieniem krzywizny, oraz w filtrze typu „T”). Symulacje komputerowe zostały wykonane i zoptymalizowane przy pomocy programu Maxwell 2D. Wykonano je głównie w układzie płaskim XY, a tam gdzie to było możliwe (np. w układzie źródła plazmy) wyniki zostały zweryfikowane symulacjami dla układu cylindrycznego. Na podstawie symulacji zaprojektowano i wykonano specjalne uzwojenia (cewki) do generacji pola magnetycznego.

Rys. 1, na którym przedstawiono wyniki obliczeń, pokazuje, że pole jest najsilniejsze w obszarze przy-katodowym (osiągając wartość ok. 12 mT), a dalej nieznacznie słabnie. Takie rozwiązanie zapewnia właściwe wprowadzenie wiązki plazmy do dalszej części kanału magnetycznego. Rys. 2 prezentuje rozkład pola magnetycznego w trzech rozpatrywanych filtrach magnetycznych, przystosowanych do pracy w warunkach ultra-wysokiej próżni (UHV). Wadą filtru (a) jest znacznie większa wartość indukcji magnetycznej w pobliżu wewnętrznego zagięcia kanału magnetycznego, niż w jego zewnętrznej części. Ta niejednorodność pola może powodować duże straty plazmy na ściankach filtru (ze względu na tzw. dryf gradientowy plazmy). Filtr (c), posiadający najmniejszy promień krzywizny, charakteryzuje się najlepszą jednorodnością pola magnetycznego. Poza tym, linie sił pola na

wyjściu tego filtru są najmniej przesunięte do góry, co może gwarantować lepszą jednorodność nanoszonych warstw. Konstrukcja filtru typu T (wersja b) zapewnia bardzo dobrą filtrację mikro-kropeł i wysoki współczynnik transmisji jonów, ale pole magnetyczne musi być odpowiednio skorygowane dodatkową cewką. Obecnie prowadzone są badania eksperymentalne, które mają na celu sprawdzenie efektywności zaprojektowanych filtrów z punktu widzenia jakości filtracji, współczynnika transmisji jonów i stabilności wyładowania.



Rys. 1. Obliczony rozkład linii (a) i wartości indukcji (b) pola magnetycznego w źródle plazmy łukowej. Oznaczenia: 1- katoda, 2 – anoda, 3 – płaszcz wodny do chłodzenia ścianek anody, 4 – kable silno-prądowe, 5 – kołnierz CF100, 6 – układ wprowadzania wiązki laserowej służącej do inicjacji łuku, 7 – główna cewka magnetyczna.



Rys. 2. Rozkład linii pola magnetycznego: (a) oraz (c) – dla różnych filtrów typu Akzenova, (b) – dla filtru typu „T”. Oznaczenia: 1 – katoda, 2 – anoda, 3 – główna cewka magnetyczna, 4 – wylot filtru, 5 – wlot filtru, 6 – silno-prądowe kable, 7 – kolektor jonów, 8 – strumień plazmy, 9 – cewka korygująca.

Niniejsze prace zostały wykonane przy częściowym wsparciu finansowym z European Community-Research Infrastructure Activity, FP6 „Structuring of the European Research Area” (CARE, contract number RII3-CT-2003-506395).

- [1] R. L. Boxman, P. J. Martin, D. Sanders (Eds.), *Handbook of Vacuum Arc Science and Technology*, Noyes, New York, 1996.
 [2] I. Akzenov et al., *Transport of macroparticles in magnetized plasma ducts*, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol. 24, No. 1, pp 226-234, 1996.