

Ar と N₂ を用いたガスパフ Z ピンチにおける水の窓領域での放射

Radiation of Ar and N₂ Gas-Puff Z Pinch in the Water Window Region

○安藤丈晃¹, 高杉恵一²

*Takeaki Ando¹, Keiichi Takasugi²

1. はじめに

ガスパフ Z ピンチプラズマとは、プラズマに大電流が流れることにより $J \times B$ の自己磁場圧縮作用が強くなり、プラズマ自身が圧縮・加熱されてできる、高温高密度の状態のプラズマである。そのプラズマの中でも局所的に温度が高い部分をホットスポットと呼び、このホットスポットからは、輻射光である極端紫外 (EUV) や水の窓領域の軟 X 線が発生する。水の窓とは、炭素には吸収されて水にはほとんど吸収されない、生きたままの細胞組織を観察出来る 2.3~4.4nm の波長領域のことである^[1]。現在、この軟 X 線を用いた生体組織の高分解能観察に適した観察法として、軟 X 線顕微鏡の開発が各大学および研究機関で行われている。本研究室でも過去に Ar, He, Xe, Sn, Li を用いた実験が行われたが、Ar の場合において水の窓領域のスペクトルが確認されている。

そこで本研究では、軟 X 線顕微鏡への光源としての利用を目指し、ガスパフ Z ピンチという手法を用いて、まずは Ar での再現実験を行い、次に今まで使用したことのない N₂ ガスの水の窓領域でのスペクトルを狙って実験を行った。

2. 実験装置

実験は本研究室の SHOTGUN I 装置 (図 1) および斜入射分光器 (図 2) を用いて行った。本実験の SHOTGUN I 装置は、プラズマへの高効率なエネルギーの注入が可能で、繰り返し放電の行える小型の高温高密度プラズマ生成装置である。本装置のパラメータは、充電電圧 25kV、コンデンサー容量 24μF、放電電流 0.3MA、充電エネルギー10kJ であり、電極はグラファイトで、噴出ガスは 5 気圧の Ar および N₂ ガスを用いた。放電回数はそれぞれ 5 ショットである。

斜入射分光器 (図 2) は、1~20nm の極端紫外 (EUV) から水の窓領域の光が測定可能な装置である。SHOTGUN I 装置に接続し、放電を行った際、プラズマから放射された軟 X 線が反射型回折格子 (格子定数 d) に入射角 α で入射し、反射角 β で反射する。ここで、

$\alpha=87^\circ$, $d=1/1200[\text{mm/lines}]$ であり、分光データの記録には全て X 線フィルム (Kodak Biomax-MS) を使用した。

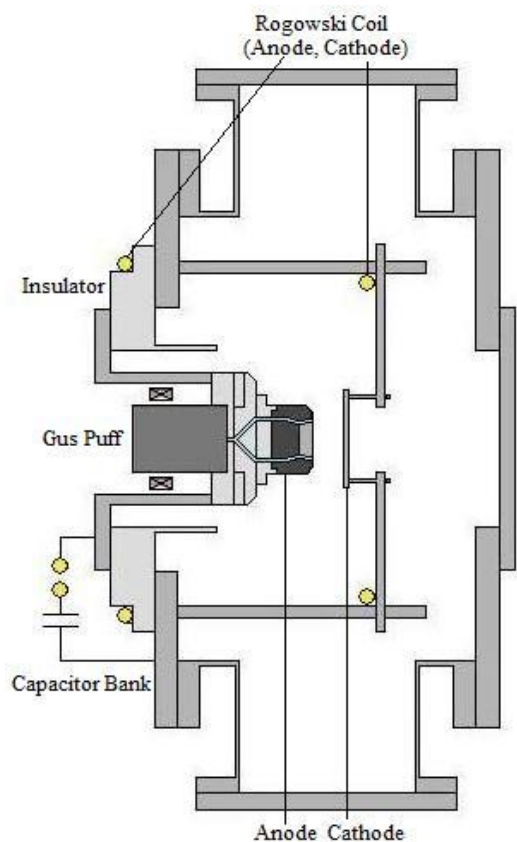


図 1. SHOTGUN I 装置

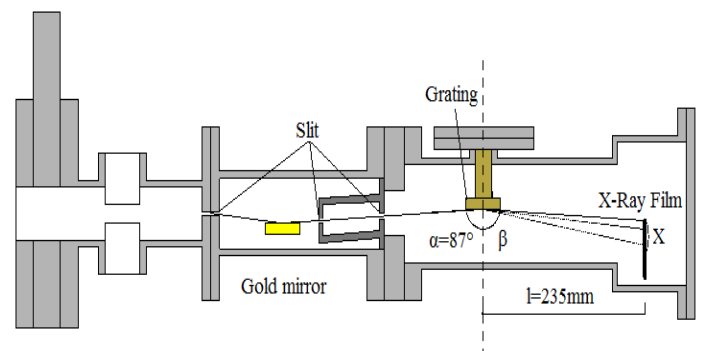


図 2. 斜入射分光器

1 : 日大理工・院 (前)・量子 2 : 日大・量科研

3. 実験結果

図 3 は Ar ガスを用いて、遅延時間を 0.37ms とし、充電電圧 25kV で 5 ショット行った実験結果である。4 次スペクトルにおいて、波長 4.4nm の位置で水の窓領域内の ArX のスペクトルが確認出来た。ここで、スペクトルが強く光りやすいものと考え、He,Ne,F 様イオンは希ガスの電子配列を持つことから、安定して存在確率が高い為、他の遷移によるスペクトルよりも強度が強く光りやすい。そこで、研究室のデータベース^[2]と実験結果を比較した結果、波長 4.40nm 付近で $2s^2 2p^5 - 2s^2 2p^4 3s$ の遷移を持つ ArX の F 様イオンのスペクトルが強く表れた可能性が高いということが考えられる。

図 4 は N₂ ガスを用いて、遅延時間を 0.28ms とし、充電電圧 25kV で 5 ショットを行った実験結果である。N₂ ガスにおいては、充電電圧およびショット数を同じにして、遅延時間を 0.20, 0.24, 0.28, 0.32, 0.37, 0.40ms と変更して実験を行った。それぞれの実験結果を見比べた結果、今回は黒化度が比較的高く、スペクトル線が一番はっきり表れている、遅延時間：0.28ms の時の実験結果を採用した。N₂ ガスにおいては 1 次スペクトルの波長 1.84, 2.86, 4.28nm 付近で水の窓領域内のスペクトルが複数確認出来た。Ar の結果同様、データベースと実験結果を比較した結果、波長 2.86nm 付近で $1s^2 - 1s2p$ の遷移を持つ NVI の He 様イオンのスペクトルが強く表れた可能性が高いということが考えられる。

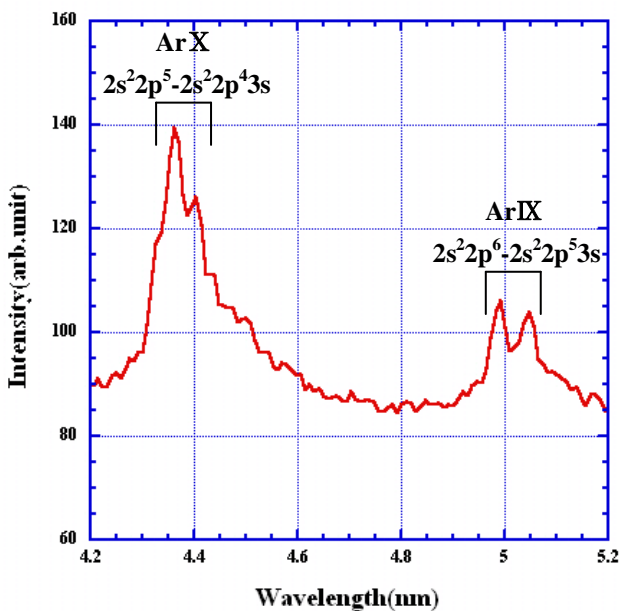


図 3. Ar ガスの軟 X 線スペクトル (25kV, 5shot)

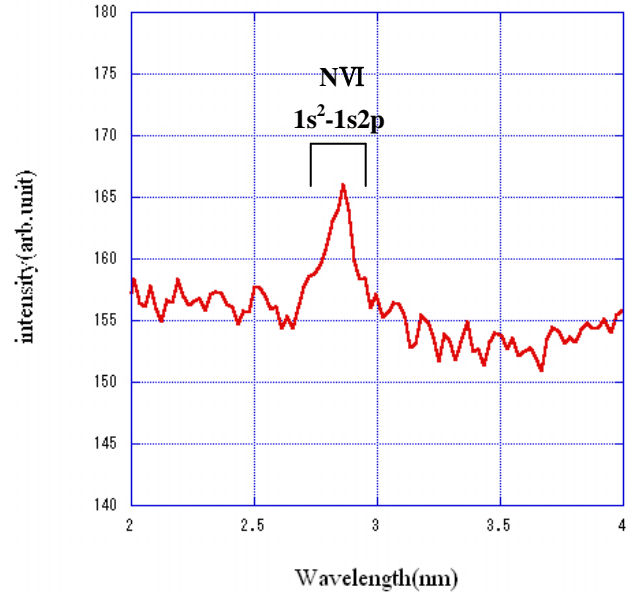


図 4. N₂ ガスの軟 X 線スペクトル (25kV, 5shot)

4. まとめ

今回、Ar および N₂ ガスを用いた水の窓領域でのスペクトルを狙ったガスパフ Z ピンチ放電実験を行った。結果、Ar では波長 4.40nm 付近で $2s^2 2p^5 - 2s^2 2p^4 3s$ の遷移を持つ ArX の F 様イオンのスペクトル、N₂ ガスでは波長 2.86nm 付近で $1s^2 - 1s2p$ の遷移を持つ NVI の He 様イオンのスペクトルがそれぞれ確認出来た。

5. 参考文献

- [1] 原田哲男, 羽田野忠, 山本正樹「軟 X 線実験室顕微鏡用の多層膜結像鏡開発」, PF NEWS, Vol.25, No.2, 28.(2007)
- [2] Raymond L. Kelly, “Atomic and Ionic Spectrum Lines below 2000 Angstroms:Hydrogen through Krypton Part 1”, Physical and Chemical Reference Data Vol.16, No.1, 82, 403.(1987)