

# ガスパフZピンチプラズマの空間構造とX線放射

成澤理

指導助教授 高杉恵一

## 1 はじめに

ガスパフZピンチプラズマは、再現性がよく反復使用が容易であり、X線源としての応用が注目されている。放射されるX線はピンチの瞬間にパル的に放射し、X線空間分布測定から、光源がホットスポットとそのまわりの雲状の構造からなっていることがわかっている。ここでホットスポットとは、局所的な高温高密度領域の強力なX線源であり、 $m=0$ 不安定性によって発生し、X線空間像ではプラズマの中心軸付近に点として現れる [1]。しかしながら、これに対し雲状の構造は今まであまり解明されていなかった。また、ヨハンソン型結晶分光器を用いたX線分光測定から、ArのHe様 (Ar XVII) やLi様 (Ar XVI)、Feの $K_{\alpha}$ 線などが放射されていることがわかっている [2]。

この研究では、雲状の構造を明らかにするために、凸型結晶分光器を用いてArガスパフZピンチプラズマから放射されるX線の空間的な分光測定を行った。また、集光目的としてGCC(Glass Capillary Converter)を使用するためには、放電の際に放出される物質によるダメージを考えなければならない。その放出物質の発生源や特性を理解するためにスパッタリングピンホールカメラを用いて発生源の空間的な観測を行った。

## 2 X線分光測定

予備的な実験として凸型結晶分光器を用いて広い波長領域のX線分光測定を行った結果、銅の電極を用いたとき、ArのHe様に加え今まで観測されていないH様のスペクトル線が観測された。この結果を踏まえて結晶の手前にスリットを置き、空間的なX線分光測定を行った。これにより、凸型結晶分光器による半径方向への広がりに加えスリットによるZ軸方向の分布も観測できる (図1)。

この実験によって得られたX線分光画像及びそのスペクトル強度分布を図2及び図3に示す。ここで図2は電極にCuを、図3は電極にAlを使用したときのもので、共に200ショットの積分画像である。また、スペクトル強度分布のグラフはブラッグの反射式における反射次数が $n=3$ に対応している。

実験結果から、電極がCuのときは予備的な実験の結果と同様にArのHe様とH様のスペクトルが観測でき、H様については陽極側に偏って現れた。これに対し、電極がAlのときはHe様のスペクトルしか観測できなかった。また、各々1.4~2.0 Åに波長と強度が異なる大きな広がりを持ったスペクトルが観測できた。

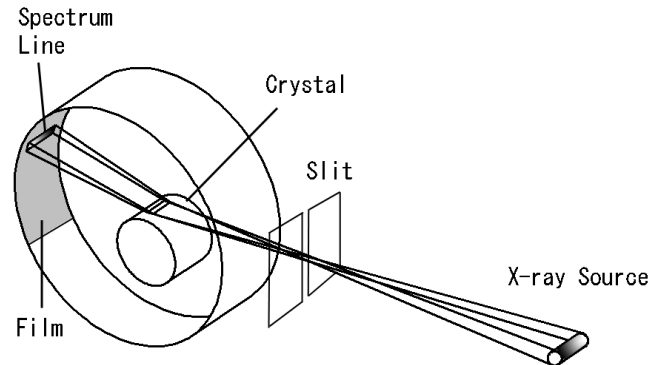


図1: 凸型結晶分光器

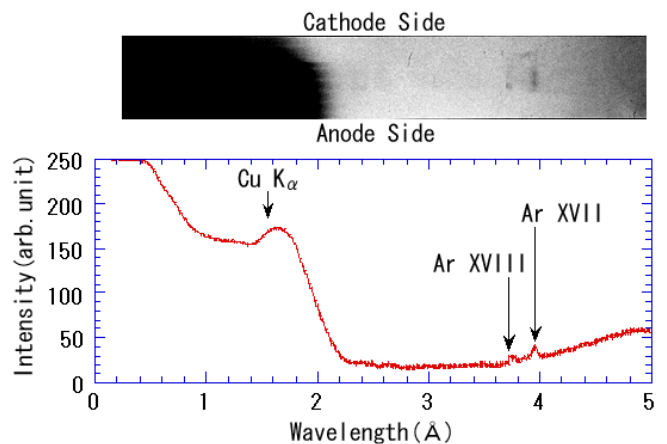


図2: X線の分光画像及びスペクトル強度分布 Cu

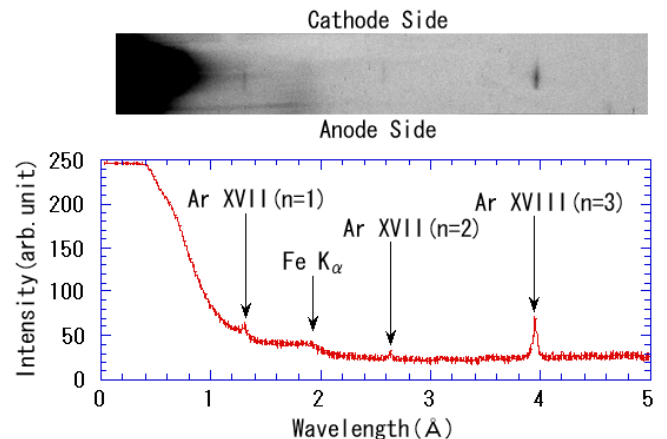


図3: X線の分光画像及びスペクトル強度分布 Al

ここで、図 2,3 で得られた Ar の He 様及び H 様の分光画像と X 線ピンホール画像とを比較したものを図 4 に示す。この図のスペクトル線の幅から Ar の He 様の光源の大きさを計算した結果、プラズマ柱の半径方向に対して両電極とも 6mm 程度の広がりを持っていることがわかった。これはピンホール画像に写っている雲状の構造の広がりには十分小さいことと、ホットスポットの半径方向へのばらつきが収まる程度の広がりであることから、Ar の He 様のスペクトルはホットスポットからの放射されていると考えられる。Ar の H 様のスペクトルに関しては He 様に比べて像がシャープで陽極表面付近に分布していることから、ホットスポットからの放射であることがわかるが、その有無については放射損失に関係していることが推測される。つまり、電極が Cu のときは Ar に対する原子量  $Z$  が大きいこと、放射損失の影響により陽極付近のホットスポットがより小さく収縮して高温高密度状態になり発生し、電極が Al のときは Ar に対する原子量  $Z$  が小さいこと、放射損失による影響が少なく発生していないということが考えられる。

1.4 Å ~ 2.0 Å に現れた像は、Ar の He 様と H 様の像に比べて幅が広いことと、X 線ピンホール画像でみられるように、電極が Al のときより Cu のときの方が雲状の構造からの放射が強いことを表していると考えられる。したがって、これらは雲状の構造から放射されており、電極が Cu のときは Cu の  $K_{\alpha}$  線、電極が Al のときは Fe の  $K_{\alpha}$  線であることがわかった。

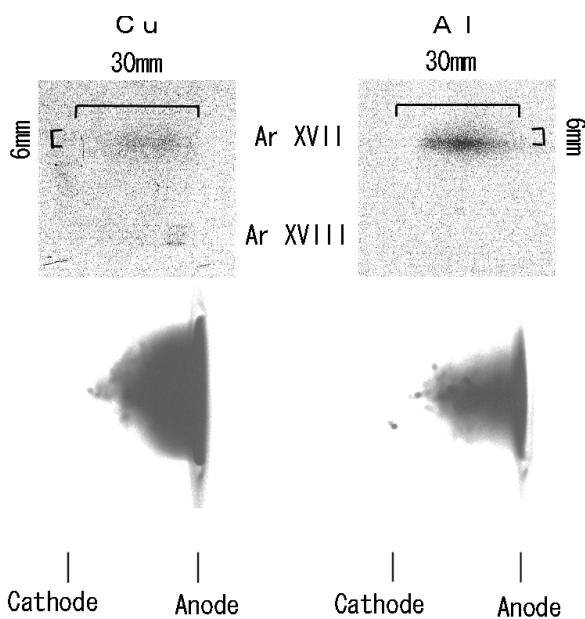


図 4: X 線の分光画像とピンホール画像

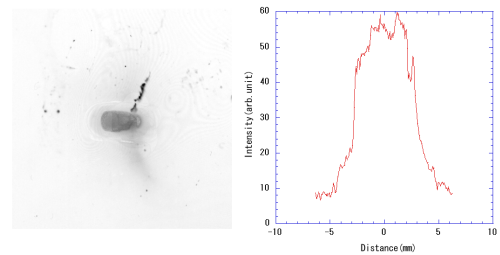


図 5: スパッタ物質の空間分布画像と堆積強度分布

### 3 スパッタ源の空間分布の観測

スパッタリングピンホールカメラを用いて放出物質の発生源の観測を行った。このとき、ピンホールは 1 ~ 5mm のものを使用し、図 5 に 4mm のピンホールを使用したときに得られたスパッタ物質の空間分布画像及びその強度分布を示す。実験結果から 1 ショットあたりのスパッタ物質の堆積量を求めたところピンホールの径よりも電極物質に依存していることがわかった。この実験では、電極が Cu に比べて Al のときの方がスパッタ物質の堆積量が多いという結果が得られた。

また、スパッタ物質の堆積強度分布からその発生源大きさを求めたところ 10 ~ 15mm 程度の広がりを持っていることがわかった。したがって、放電により放出されるスパッタ物質は、発生源の大きさからプラズマから放出されていることが考えられる。

### 4 まとめ

今回の研究の結果から、Ar ガスパフ Z ピンチプラズマではホットスポットからの放射は Ar の K 殻放射が支配的であることがわかり、雲状の構造からは電極や真空管壁に含まれる物質の  $K_{\alpha}$  線が放射されていることがわかった。したがって雲状の構造は、電極や放電管壁に使用されている金属が放電により溶けて、主に中性原子が電極間に分布し構成され、そこに電子ビームが走っていることが考えられる。また、スパッタ物質はプラズマの崩壊時に雲状の構造に関係して放出されているのと推測できる。

### 参考文献

- [1] K. Takasugi, T. Miyamoto, K. Moriyama and H. Suzuki, AIP Conf. Proc. **299**, 251 (1993).
- [2] E. O. Baronova, K. Takasugi, V. V. Vikhrev and T. Miyamoto, Proc. 13th Int. Conf. High Power Particle Beams 784 (2001).