

課題名(タイトル):

## 不安定核生成における熱負荷と放射線損傷計算

利用者氏名: ○大西 哲哉(1)

理研における所属研究室名: (1) 仁科加速器科学研究センター実験装置開発室 RI・電子散乱装置開発チーム

### 1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

仁科加速器科学研究センター SCRIT 電子散乱施設では、世界初の電子・不安定核散乱実験を目指している。施設の基幹装置の一つとして、ウランの光核分裂反応を用いた不安定核イオン源が開発されている。このイオン源では、2000℃近くに熱したウラン標的に電子ビームを照射することで、寿命の短い(数十ミリ秒から数十秒)不安定核を生成する。生成された不安定核は熱運動によって標的から引き出され、イオン化した後にビームとして活用される。

本研究ではシミュレーション計算を用いて、照射時の生成粒子や $\gamma$ 線等の発生場所及び軌跡を導出し、機器への熱負荷や放射線損傷の評価を目的とする。また、機器メンテナンスを考慮した遮蔽による対策も検討する。それに加えて、高温となっている標的及びイオン源全体を計算することにより、機器の熱分布やひずみ等を評価し、より効果的な標的や機器の設計を目的とする。また、得られた熱分布を検討することにより、不安定核の引き出し法の効率化を目指す。

### 2. 具体的な利用内容、計算方法

計算は、ウランの光核分裂反応による不安定核生成及び各種粒子の輸送計算と、高温時における各機器の熱負荷計算に分かれる。前者は、原子力科学研究所にて開発されている重イオン輸送総合コード Phits を使用し、MPI ライブラリを用いた並列計算でモンテカルロシミュレーションを行う。計算では、生成された不安定核だけでなく生成時に発生する $\gamma$ 線やその他の粒子の輸送計算を行い、様々な機器との反応過程を取り込んでいる。不安定核生成という統計事象を取り扱っているため、様々な核種の影響(放出する放射線や与えるエネルギー)及び局所分布などをみるためには計算回数(統計)を上げる必要がある。そのためクラスタシステムを利用した大規模計算を行っている。後者の計算には、有限要素計算コード ANSYS を用いたモデリング計算を行い、各機器の熱分布やひずみなどを

詳細に計算している。特にヒーターに電流を流し、電気-伝熱-機械の連成計算を行うことで、より現実に近い計算を行う。より詳細な分布を得るために、大規模計算を行う必要がある。

### 3. 結果

現在、表面電離イオン源に使用しているカソードヘッドは、特にバリウムなどのイオン化に高温(1500℃以上)が必要な元素で用いた場合、1~2ヶ月ほどしか保たない。これは、抵抗加熱によって高温を実現するために肉厚の薄い部品を使用しているからである。必要な温度を維持しつつ、寿命を延ばすために、本年度は新しいカソードヘッドの設計・計算を行い、その結果を基に実機の製作及び運用を行った。

図1に、新しいカソードヘッドの ANSYS モデルを示した。従来のものと比較すると、付け根の部分テーパ形状にすることで厚みを増やし、構造的強度を増やした。従来は 0.7 mm で一様だったのに対し、テーパ形状は最大 1.5 mm まで厚さを増やしている。

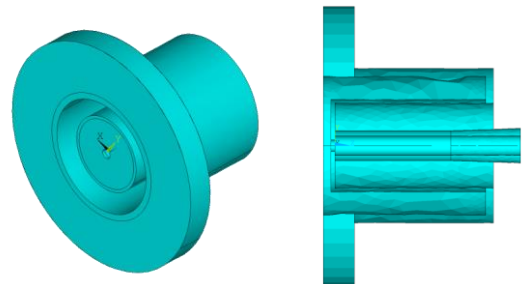


図1: テーパー構造を持つカソードヘッド。左図: イオン取り出し口からみた立体図。右図: 断面図。

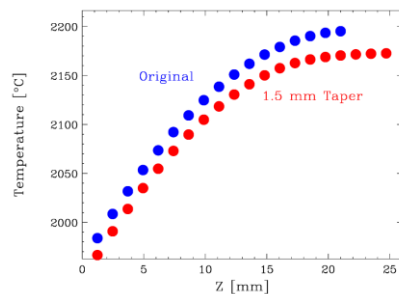


図2: 内側円筒部におけるビーム軸方向の温度分布。

赤点: テーパー形状。青点: 従来の形状

従来の形状及び新規テーパー形状を用いた内側円筒部の温度分布の計算結果を図2に示した。両方とも180 Aを流した場合の計算結果である。テーパー形状はテーパ一部の抵抗値が小さくなったため、温度上昇が若干抑えられ、従来のものよりも数十度低めの結果になっている。同時に変位量も小さい値となっていた。この温度差をイオン化効率に換算すると、30%台のイオン化効率に対して、2~3%程度の差になる。

ANSYS 計算の結果、テーパー形状を用いることで、若干イオン効率が下がるものの、変位量を小さくできることが分かった。そこで、実際にテーパー形状のカソードヘッドを製作し、運用を行った。その結果、約三ヶ月程度の連続運転を行っても特に問題は生じなかった。同等のイオン化効率まで電流値を増やした時に、寿命がどのくらいなるのかについては、今後の長期運用を通じて調べていく予定である。

#### 4. まとめ

本年度は ANSYS を用いて、テーパー形状のカソードヘッドの設計・計算を行った。その後、計算結果を基に実際に製作・運用を行い、当初の目的であった使用寿命を延ばすことができた。

#### 5. 今後の計画・展望

今後も引き続き新しいイオン源の設計・製作を行い、不安定核イオンビームの高効率・安定供給を目指していく。また、加速器の大強度化に伴い、放射化の問題が徐々にでてきたので、放射線計算を進め対策を検討していく予定である。