

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。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 γ 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 γ 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

本年度は、供給可能な元素の種類を増やすために、従来の電子衝突型に加えて、表面イオン化イオン源を導入した。これはイオン化室壁面を 1000℃以上に加熱し、原子が壁面に接触した際に電子を剥ぎ取り、イオン化する方式である。そのため表面イオン化イオン源ではイオン化室の温度分布が重要になる。そこで ANSYS によるモデル計算を行い、イオン化室温度分布の計算を行った。加熱には、大電流による抵抗加熱を用いるため、ANSYS 計算においては、電流-伝熱の連成解析を行った。

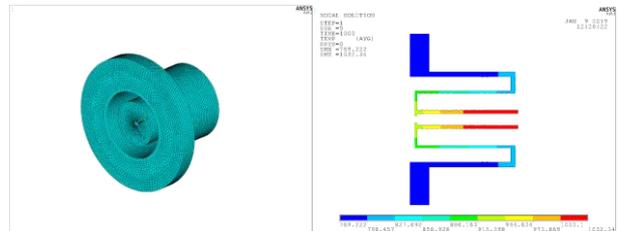


図 1: 現状のイオン化室先端部。中央円筒がイオン化室。左図:3D モデル、右図:温度分布の断面図(120A 印加した場合)

今回製作した装置の計算結果を図 1 に示した。中央円筒部のイオン化室は厚さ 0.7mm で内径 2.5 mm である。測定では 120A を流した時に先端部が 900℃だったので、計算もそれに近い値になるようにパラメータ(特に境界における熱伝導係数)を調整した。

上記の計算結果を基に、イオンビームの蓄積量や供給量を増やすために、大きいイオン化室を持つイオン源の計算を行った。イオン化室は厚み 0.7mm 内径 3.2 mm と大きくした。抵抗値が下がるため、加熱補助のためにフィラメントを追加し、輻射の効果を考慮した。計算結果を図2に示す。

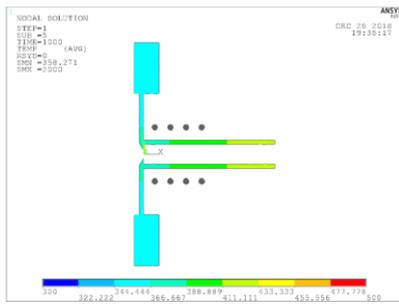


図 2: 拡張したイオン化室とフィラメントを追加した場合の温度分布断面図(120A 印加した場合、フィラメントは 2000℃ 固定)

図2の結果から、拡張イオン化室の温度低下が大きく、フィラメントの輻射だけでは足りないことが分かった。流す電流値を大きく増やすか、フィラメントから電子を放出・加速し、イオン化室を電子で叩く必要が分かった。現在、イオン化室の構造の再検討と共にフィラメント等による加熱方法の最適化を行っている。

4. まとめ

今年度は表面イオン化方式のイオン源の温度分布を計算した。実際の測定と比較からパラメータを決定し、その結果を基に、新しいイオン化室・加熱方式の検討を行った。

5. 今後の計画・展望

来年度も引き続き表面イオン化方式のイオン源の検討を行う。現在は計算を簡単にするためにイオン源の一部をモデル化しているが、もうすこしモデルを拡張し、より現実に即した計算を行っていく予定である。さらに現在検討をすすめているカスプ型イオン源等の新規イオン源の計算を進める予定である。

輸送計算の方についても、加速器増強計画の検討が進められているため、早急に進めていく予定である。