

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°C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、現在構想中のカプス型イオン源の構造計算を行った。これは、従来用いられている電子衝突型イオン源の構造を変更し、イオン化室の周囲にカソード電極を配置、その外側に電子加熱用フィラメントを配置したものである。フィラメントを負電位にすることで、放出された電子はカソード電極に衝突し、カソード電極を加熱する。高温のカソード電極から再度電子が放出され、正電位にしたイオン化室に向かって加速していく。イオン化室の開口部から内部に侵入した電子が、目的の不安定核と衝突し、イオン化を行う。高いイオン化効率を得るためには、イオン化室の開口率を大きくする必要があるが、高温時における構造も維持しないといけない。そこで、ANSYS 計算を用いた検討をスタートした。図1に計算結果の1例を示した。この例では高温時での変形を重視し、開口部縁を太くした場合になっている。計算温度は一様に2000°Cとした。

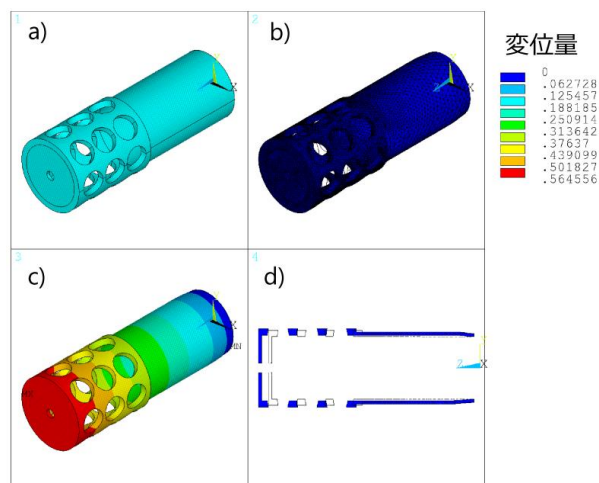


図1: カプス型イオン化室構造計算。a) 元形状 b) 2000°Cでの形状 c) 全体における変位分布 d) 中心部の断面図

図1の計算結果によれば、長手方向の伸長はあるものの、開口部自体のひずみはそれほど大きくないという当初の予測通りの結果が得られた。最適化のためには、開口部

の形状を色々に変え、開口率を重視した場合などの計算が必要である。さらに、一様加熱だけでなく、フィラメント加熱によるカソード電極の温度分布を取り込んでいく必要がある。

4. まとめ

本年度は、ANSYS を用いて、カプス型イオン源の構造計算をスタートさせた。最初のモデル計算では、開口部の歪みはそれほど大きくないことが分かった。

5. 今後の計画・展望

現在検討をすすめているカプス型イオン源の最適化を、行っていく予定である。特にフィラメント加熱を取り込んだ現実的な温度分布に基づく構造計算を行っていく予定である。また、現状のイオン化室周りのモデル化だけでなく、イオン源全体の計算を行っていきたい。

上記以外にも、現在進行中の加速器増強に対応するため、放射線計算も進めていく予定である。