

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 黒澤 仁

原子法レーザー同位体分離は、有望なウラン濃縮法の一つである。この濃縮法においては、レーザー光の照射により ^{235}U 原子を励起・イオン化し、生じたプラズマからイオンを電場により回収する。そのため拡散やドリフトによるイオンの損失を減らし効率的なイオン回収を行うためには、電場中でのプラズマの挙動を把握する必要がある。

第1章は序論である。同位体分離の様々な分野に於ける応用例を列举し、また各種の同位体分離法についての説明が述べられている。レーザー法同位体分離において、陰極をプラズマの両側に2枚平行に並べ、中央上方に陽極を配置し両側の陰極から回収する構造（M型電極）を紹介している。更に数値解析を行う場合、プラズマ電子が熱平衡状態にあるという仮定の下に、イオンの運動のみを考慮したモデルが用いられてきたことを述べている。このモデルでは、プラズマ空間電位を求めることができず、正確なプラズマ挙動の解析を行うためには、電子の運動も考慮したモデルを用いた数値解析が必要であると提案している。

第2章では、電場中のプラズマの概要を説明し、プラズマの挙動を記述するための理論について述べている。プラズマの挙動は輸送理論により記述でき、流体近似を用いた支配方程式により数値解析が行えることを示している。プラズマ中のイオンの挙動を計算するためには、電子が熱平衡分布にあるという仮定を用いて、1流体モデルを用い、プラズマ電位を求めるためには、電子の運動をも考慮した2流体モデルを用いることを説明している。第3章では、2次元1流体モデルを用いた数値解析を行い、M型電極を用いた際のイオン回収挙動を従来の平行電極構造を用いた場合と回収イオン電流、イオンの空間分布について比較している。これにより平行電極構造では、プラズマの片側に置かれた陰極からのみイオンが回収されるのに対して、M型電極構造では、平行電極構造の2倍の速度でイオンが回収され、要する時間が半分になることが示されている。

第4章では、2次元1流体モデルを用いた数値解析により、プラズマ中のイオン及び中性原子の衝突の影響を調べている。 ^{235}U プラズマ中に大量に存在する ^{238}U の中性原子と ^{235}U イオンとの衝突による荷電交換を、電極構造、プラズマ密度等のパラメーターをかえて比較している。これにより、密度が大きくなると荷電交換により、無視できない量の ^{238}U イオンが生じ、このため目的とする ^{235}U の分離効率が低下することが示されている。

第5章では、電子の運動をも考慮した1次元2流体モデルを用いて数値解析を行い、定常

電場を印加した平行電極構造中のプラズマの初期挙動とプラズマ電位の形成過程を調べている。プラズマ電子が初期において陽極側へ大きく移動する結果、プラズマの陽極側の電位が低く、陰極側の電位が高い反転的な分布を示している。また印加電圧が高く、プラズマ電子温度が高く、プラズマ密度が小さいほど、プラズマ電位が高くなることが示されている。

第6章では、平行電極構造において1次元2流体モデルを用いて数値解析を行い、光電離プラズマの初期挙動と電位の形成に関して、定常電場を印加した場合と、パルス電場を印加した場合との比較を行っている。パルス電場と定常電場を用いた場合と比較して、プラズマ電位の振動が小さく、電位の値も低くなることを示している。また、パルス電場の場合には定常電場よりも、電子温度の電位に与える影響が大きくなるのに対して、印加電圧の影響が小さくなり、更にプラズマ密度が小さいほど電位が低くなり、二種の電場によりプラズマの初期挙動及びプラズマ電位が大きく異なることが示されている。

第7章では、レーザー光照射領域を拡大してプラズマと電極との間の間隔を狭めるとで、プラズマ電位を向上させる手法を提案している。数値解析を行った結果、定常電場を印加した場合には、照射領域の拡大により、プラズマ電位が向上することが示されている。これに対して、パルス電場を用いた場合には、プラズマ電位は向上せず、むしろ低下することが示されている。

第8章では、単純化したモデルを用いてプラズマ電位を、理論的に求める手法を提唱している。このモデルにおいては、陰極からプラズマ電子が反発されることにより生じる過渡イオン鞘の厚さと、これによって電場が遮蔽されるまでに、陽極に回収されるプラズマ電子の量からプラズマ電位を計算するものである。このモデルを用いた場合、定常電場中のプラズマ電位の印加電圧及びプラズマ密度への依存性が、流体モデルを用いた数値解析の結果と一致し、モデルの有効性が示されている。

最終章は結論であり、本論文で行われた数値解析によって示された、M型電極構造の有効性、イオンと中性原子間の荷電交換の影響、プラズマ電位の形成過程に関する成果がまとめられている。

以上のように、本論文は流体モデルを用いた数値解析を行うことにより、原子法レーザー同位体分離において効率的なイオン回収のための分析を行い、またプラズマ電位の形成過程を明らかにしたもので、同位体分離及びプラズマ応用の進展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。