

| | |
|----------|---|
| 氏名 | 藤 沢 博 |
| 学位(専攻分野) | 博士 (理 学) |
| 学位記番号 | 論 理 博 第 1242 号 |
| 学位授与の日付 | 平成 6 年 5 月 23 日 |
| 学位授与の要件 | 学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当 |
| 学位論文題目 | A cw 4-rod RFQ Linac (連続波 4 ロッド高周波四重極型線形加速器) |

論文調査委員 (主 査)
教授 井上 信 教授 野田 章 教授 政池 明

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は半導体製造に用いられる次世代イオン注入機として有望視される小型高周波イオン加速器の基礎的研究から実機的设计製作にいたるまでの一貫した研究の報告である。

従来の 100 keV 級のイオン注入機においては直流高電圧方式の加速器が用いられる。しかしこれでは 1 MeV 級になると絶縁や X 線発生の問題があり、大型化するとともに放射線管理上も困難が生じる。高周波を用いた繰り返し加速の方式では電極に発生する電圧が 100 kV 程度なので小型で管理しやすい加速器ができる。とくに最近使われだした高周波四重極型 (RFQ) 線形加速器はイオン源から出たビームを予備加速しないでほとんど失うことなく加速できる利点がある。本論文ではこの RFQ 型線形加速器の原理を採用し重イオンをパルス的ではなく連続的に加速する加速管の研究を行っている。

このためにまず小型化を目指して 4 ロッド型という、4 本の加速電極をなん枚かの板で支える方式をモデルを作って検討した。この型の高周波共振構造として 4 本の電極のうち 2 本ずつを支える板を 2 枚組にして 3 組配置するより、6 枚の板を等間隔に配置した方が特性が良いことを発見した。次に連続運転に耐えられる冷却構造を検討した。

このような検討の後、実物の設計を行った。この際、電極の各部が分解可能な設計を行っている。まず加速電極をアルミニウムで作成し、高周波特性を測定した。この結果、支え板のある方向とは反対側の電場がやや高く、4 本の電極の構造上の中心と電場の対象軸とがややずれているものの、このことも含め予想される高周波電場が発生していることが確かめられた。そこで加速電極も銅の本物にして、高周波電力テストを行った。この結果 50 kW 程度の連続運転が可能であることが確かめられた。

一方イオン源から加速管までのビーム輸送系についても従来以上に注意深い設計を行っている。例えばビーム光学上 2 次の補正項を偏向磁石の設計に取り入れている。

最終的にフリーマン型のイオン源から出て来るヘリウム、炭素、窒素のイオンを加速することに成功している。さらにこの加速されたイオンビームの特性を測定し、計算機によるシミュレーションと比較して

いる。特に高周波電力を下げた時のビームのエネルギー分布の変化が計算機によるシミュレーションで定性的に再現できることを示している。

論文審査の結果の要旨

申請者は半導体製造におけるイオン注入機の次世代装置として注目される 1 MeV 級のイオン加速器の開発を主たる動機として、新しいタイプの加速器の研究を行っている。従来のイオン注入機はエネルギーが低く直流高電圧を発生させる方法が主であるが、これでは MeV 級になると絶縁の問題、高エネルギー X 線の発生の問題等が生じる。このため装置が大型化し、また放射線管理を必要とする。申請者はこの困難を克服するために、最近本学化学研究所等で開発された高周波 4 重極型 (RFQ) 線形加速器の原理に注目した。化学研究所にあるものは陽子加速を目的とするもので高周波周波数を 400 MHz 以上と高くし、このことで小型化に成功した 4 ベーン型の RFQ である。しかし、重イオン用には粒子が重いために加速がゆっくりと行われ、これに合わせて 30 MHz 程度の低い周波数の高周波電力を用いる必要がある。したがって 4 ベーン型では高周波加速管の直径が非常に大きくなるという欠点がある。申請者はこの欠点を避けるために 4 本の電極を板で支えるいわゆる 4 ロッド型 RFQ の構造を研究した。

申請者はまず、この新しい高周波共振構造についていろいろなパラメータを変えたモデルを製作して共振周波数、高周波電場分布等の測定を繰り返し行い、その結果、当初考えられていた 4 本の電極の内 2 本ずつを支える板をペアにして 3 組配置する構造よりも、6 枚を等間隔で配置する方が優れていることを発見した。これは加速管の構造研究としては重要な価値ある成果といえる。

また従来の線形加速器の多くはパルス的に運転を行うために平均の電力消費は少なく加速管の冷却が容易であるが、申請者はイオン源から出てきたイオンを連続的に加速することをめざしており、電極の冷却を検討した結果、分解可能でしかも小型で連続運転にたえる重イオン用の RFQ の設計が可能になった。4 ロッド型で心配された熱の問題を分解可能な構造で実現した意義は大きい。

さらに申請者は、イオン源からのイオンを無駄なく加速管まで導くビーム光学上の設計に当たっても従来重視されなかった 2 次の補正項まで取り入れ、優れた入射系を考察した。

最終的に以上の成果を取り入れた加速器の実機を製作し、その高周波特性を測定、評価しビーム加速テストを行った結果、ヘリウム、炭素、窒素などのイオンの加速に成功した。この型の加速器による重イオン加速の成功は初めてであり、高く評価される。また高周波電力を変化させたときのビームのエネルギースペクトルの変化の測定と計算機によるシミュレーションとの比較をし、興味あるデータを得ている。

以上のように連続運転用 4 ロッド RFQ 型重イオン線形加速器を実機での完成まで行った点で、本研究の価値はきわめて高く評価できる。よって本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認められる。