

[P 1 - 7]

## Long Time Operation of a Variable Energy RFQ Linac

Kensuke Amemiya, Junya Ito, and Katsumi Tokiguchi

Hitachi, Ltd., Power & Industrial Systems R & D Division  
7-2-1 Ohmika-cho, Hitachi-shi, Ibaraki 319-12, Japan

### Abstract

High energy ion implantation is used for semiconductor device fabrications and material surface modifications. A new MeV implanter system using a variable energy RFQ linac, which is driven by an rf resonance circuit having an external variable inductance type coil, is developed. The RFQ system is set so that the acceleration energy of aluminum ions is 1.0 MeV, and is tested for continuous operation. Results show that more than 3 hours operation is possible using this implanter system.

### エネルギー可変型RFQライナックの長時間運転性能

#### 1. はじめに

近年、高エネルギーイオン打込み技術は半導体への不純物導入法、或いは金属、セラミックス材料等の表層改質法等への幅広い応用が試みられており、研究が盛んに行われている。産業分野への応用を考えるとビーム電流値はスルーットを決める重要な要素であり、装置開発上、ビーム輸送系、ビーム加速系におけるビーム電流損失を極力抑える必要がある。

RFQは、静電加速、DTL等と比べて透過率が大きく、しかもコンパクトであるため、半導体製造装置に適していると考えられる。しかし、従来の空洞共振タイプのRFQは加速エネルギーを変えることができず、イオン種、エネルギーの選択肢がほとんどできないのが欠点である。

そこで、4-ロッド型RFQの外部にインダクタンス可変型のコイルを設け、共振周波数を大幅に変化できるようにしたエネルギー可変型のRFQを開発した。今回、1 MeVのアルミニウムを加速しながらRFQの連続運転性能をテストしたので、イオン源性能と合わせてRFQの長時間連続運転試験結果について、報告する。

#### 2. 実験装置

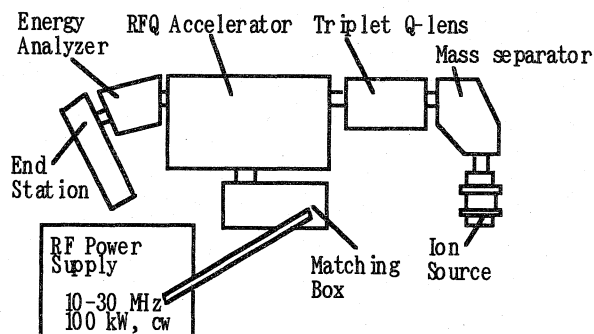


図1 高エネルギーイオン打込み装置配置図

図1にエネルギー可変型RFQを使用した高エネルギーイオン打込み装置の配置図を示す。イオン源はマイクロ波放電型の多価イオン源で、固体試料の蒸気発生を目的として蒸発炉を径方向から導入パイプを介して設置したものである(図2)。プラズマ室は内径90mmの円筒プラズマ室であり、プラズマ室には軸方向のミラー磁場と円周方向の8極の多極磁場を配位した。マイクロ波透過窓には2枚の石英円板を使用した。プラズマ室の内側には、タンタル製の円筒管を挿入した。これはプラズマの接する壁の温度を高温に保つためのものである。ビーム引出し系は、電子の逆流を防ぐために加速-減速方式を採用した。

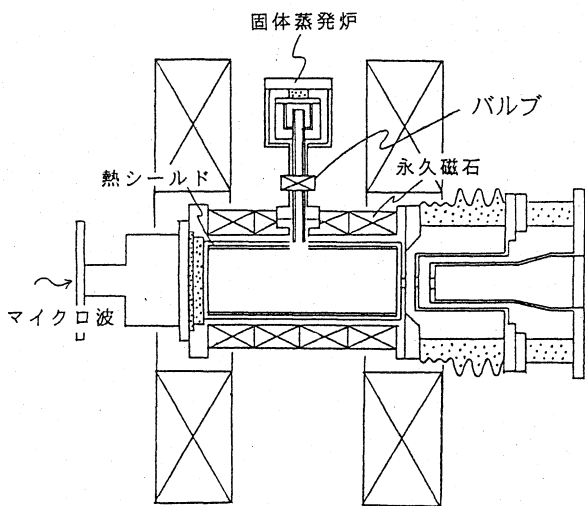


図2. イオン源概略図

固体試料蒸発炉は安定動作温度として600°C以下を想定して設計したものである。試料は $AlCl_3$ である。蒸発炉とイオン源との間にはバルブを設け、ガス流量を調節できるようにした。

RFQ加速部はRFQ電極と付替式のL可変回路で構成され、RFQ電極のキャパシタンスとワンターンコイルのインダクタンスとで共振を取る構造となっている(図3)。RFQ電極は、全長が約2.3mの無酸素銅製で中心部を水冷してある。それぞれの電極は矩形枠に固定され、アルミナ碍子で支持されている。このRFQ電極とワンターンコイルは全長2.5m、幅1.5mの真空チャンバに納められている。高周波電力のカップリング

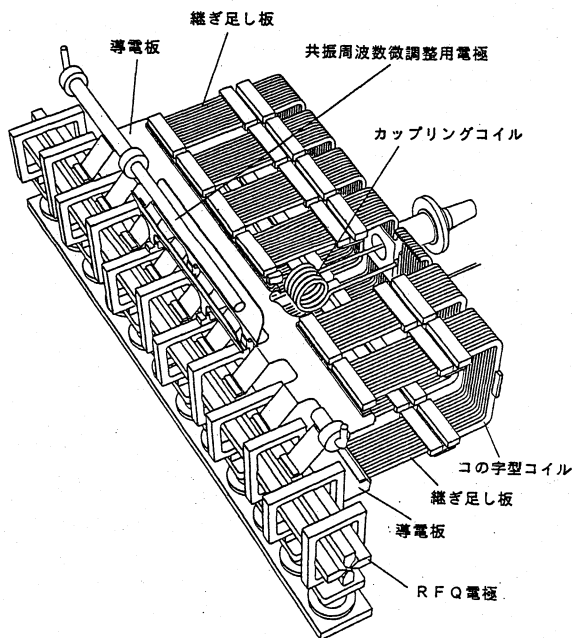


図3. RFQ加速部の共振構造

は、ワンターンコイルと同軸状に組み込んだ一次コイルから供給した。

高周波電源は、周波数10~30MHz、最大出力100kWの大出力高周波電源を用いた。現状では、最大で70kW程度まで回路に電力を供給できる。電力投入の上限は、RFQ電極間の放電によるところが大きい。

RFQ加速部を出射したビームを磁場型エネルギーフィルタで $10^\circ$ 偏向させ、イオン打込み室に導入した。エネルギーフィルタのギャップ長は50mmで、打込み室との間にはゲートバルブ及び打込み電流測定用ファラデーカップを設置した。

打込み室の概略を図4に示す。打込み方式は回転円板を半径方向に機械走査する方式で、イオンビームは固定である。10枚の6インチウエハを円板の円周上にセットできる。円板は720rpmの速度で高速回転しながら、往復約1分の速度でスキャン運動をする。10枚のウエハはそれぞれ水冷式の回転円板上に貼り付けたクールシートに乗せ、その上からクランプで抑えつける。

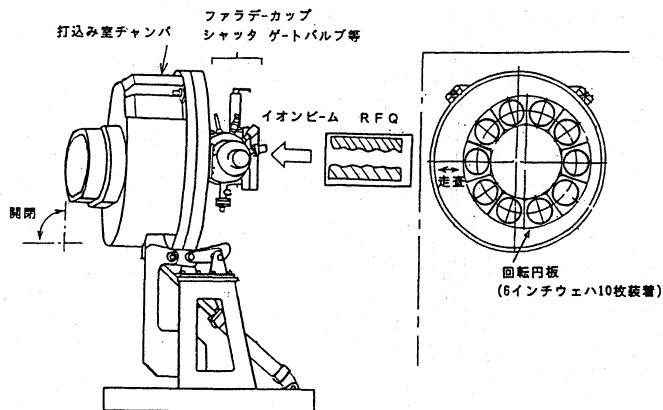


図4. 打込み室概略図

### 3. 実験結果

#### 3.1 イオン源特性

##### (1) $AlCl_3$ の質量スペクトル

図5に $AlCl_3$ の質量スペクトルの一例を示す。このスペクトルはガス圧力が $1.8 \times 10^{-4}$  Pa、吸収マイクロ波電力が630Wのときの結果である。打込み室における $Al^{2+}$  (1MeV)の電流値が最大となるようにイオン源調整をした時のスペクトルである。アルミニウムの2価イオン $Al^{2+}$ の電流値と1価イオン $Al^+$ の電流値の比率は18%程度である。

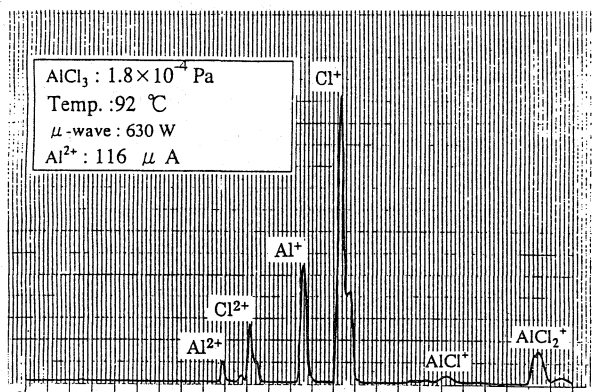


図5. AlCl<sub>3</sub>の質量スペクトル

(2) イオン源寿命

一日5時間程度の運転を連日続け、運転時間の積算でイオン源寿命を測定した。まずAlCl<sub>3</sub>のガス試料であるが、5gを充填したところ約40時間の運転で全てを消費した。充填量は2倍程度は増加できるので、初期充填量を増やせば長寿命化は可能である。また、蒸発炉のバルブは長時間運転でも全く問題がなく、十分に長時間加熱使用に耐え得る。

石英製のマイクロ波透過窓はプラズマ室側表面に薄いAl膜が付着するが、マイクロ波の反射が少し増す程度で40時間以上は問題なく動作できる。これは、プラズマ中で分解してできた塩素ガス等が、付着したAl膜をエッチングするためである。

(3) 蒸発炉温度の安定度

図6に打込み試験時の蒸発炉温度の安定度を測定した結果を示す。PID制御パラメータはオートチューニングで決定した。室温から昇温を始めてから96°Cの設定温度を解除するまでの時間は6時間28分であり、96°Cで一定動作させた時間は4時間36分である。設定温度に対し、蒸発炉温度が1°C以内で安定に制御されていることが

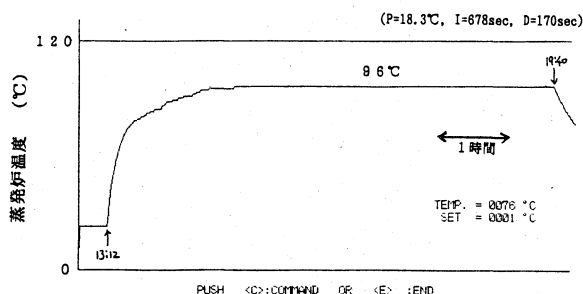


図6. 蒸発炉温度安定度

分かる。

3.2 RFQ加速器の長時間運転

(1) 加速特性

図7にAl<sup>2+</sup>(1.0 MeV)加速電流のRF電力依存性を示す。RFQ加速電流は9kWまでは電流値がゼロでその後上昇し始め、16kWではほぼ最大値に達している。16kWの投入電力で設計電圧が発生しているとすれば、シャント抵抗:Zsは約44kΩと求まる。

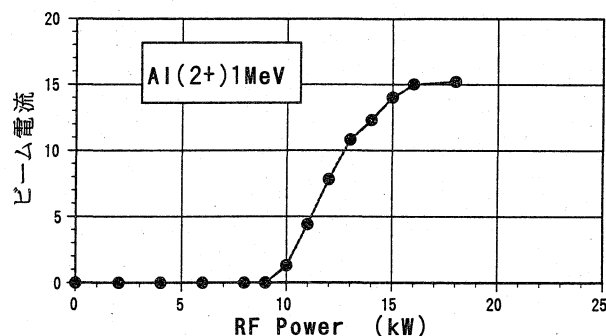


図7. Al<sup>2+</sup>加速電流のRF電力依存性

(2) 連続運転試験結果

RFQ加速部の連続運転試験の結果、16kWのRF電力を3時間以上連続投入できることがわかった。これは高周波誘導過熱によるRFQ碍子の破損を避けるためであり、これ以上の電力を投入するには碍子の構造変更、冷却等が必要と思われる。今後は、一日8時間の連続運転ができる実用レベルまで持っていく。

4. 結論

エネルギー可変型のRFQ加速器を使用したMeVイオン打込み装置で、アルミニウムイオンの1MeV加速長時間運転性能をテストした。その結果、RFQシステムの連続運転性能が3時間以上あることがわかった。今後はシステムの過熱対策等で、実用レベルへ近づけていく。

なお、本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構の「超先端加工システムの追加研究」における共同研究の結果得られたものをまとめたものである。