

Pulse mode operation and implantation characteristics of a variable energy RFQ linac

Kensuke Amemiya, Junya Ito, 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 0.9 MeV, and is tested for long time pulse mode operation and dose uniformity. Results show that more than 8 hours operation is possible using this implanter system, and dose uniformity is less than 0.7 %.

エネルギー可変型RFQのパルス運転と打込み特性

1. はじめに

高エネルギーイオン注入技術は、半導体への不純物導入、或いは金属、セラミックス等の表層改質分野への応用などで幅広く応用が試みられている。産業分野への応用を考えると、ビーム電流値はスループットを決める重要な要素であり、装置の開発上、ビーム加速系における電流損失は極力抑える必要がある。

RFQは、静電加速方式、DTL等比べて透過率が高く、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では加速エネルギーを変えることができず、イオン種及びエネルギーの多様性の面で問題がある。

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て、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、現在開発中である。今回、加速エネルギーの高エネルギー化を目的としてRFQ加速器のパルス運転化を実施し、0.9 MeVのアルミニウムイオンを加速してRFQの長時間運転性能を調べた。また、パルス運転時のイオン打込み均一性も合わせて測定したので、これらの結果についても報告する。

2. 実験装置

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注入装置の配置図を示す。イオン源はマイクロ波放電型のガス試料用多価イオン源に、固体試料用の蒸発炉を径方向から増設したものである。固体蒸発炉にはAlCl₃試料をセットして、温度を100℃程度に設定した。引出し電圧はDC12kVである。

RFQ加速部はRFQ電極と付替式のL可変回路(コの字型コイル)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2)。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。

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。今回、図3に示すような電源出力のパルス化を実施し、デューティを変化できるように改造した。

RFQ加速部を出射したビームを磁場型エネ

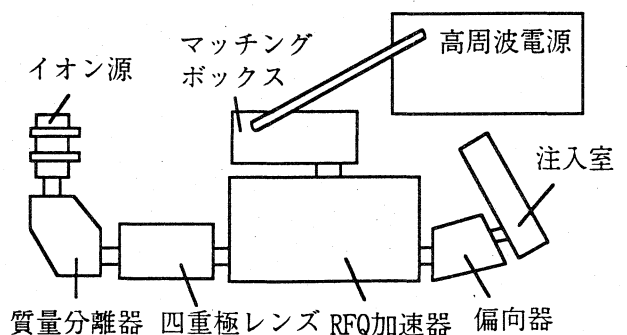


図1. 高エネルギーイオン注入装置

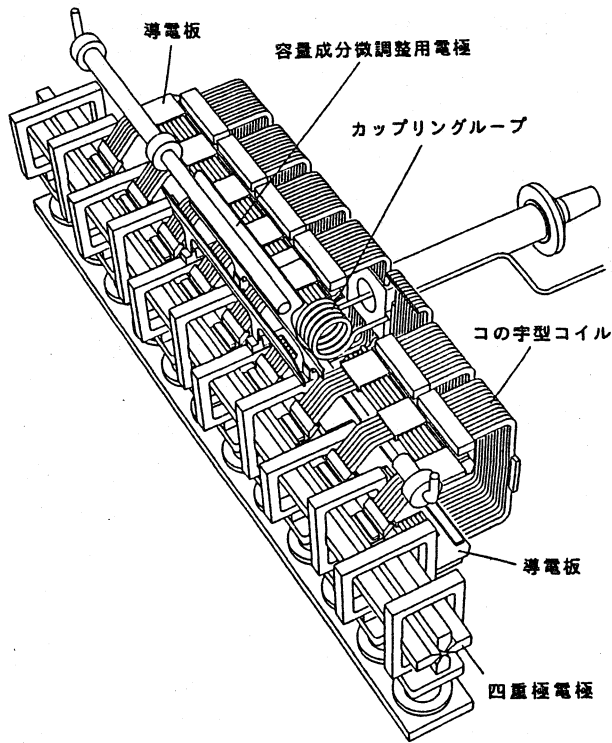


図 2. RFQ加速部の共振構造

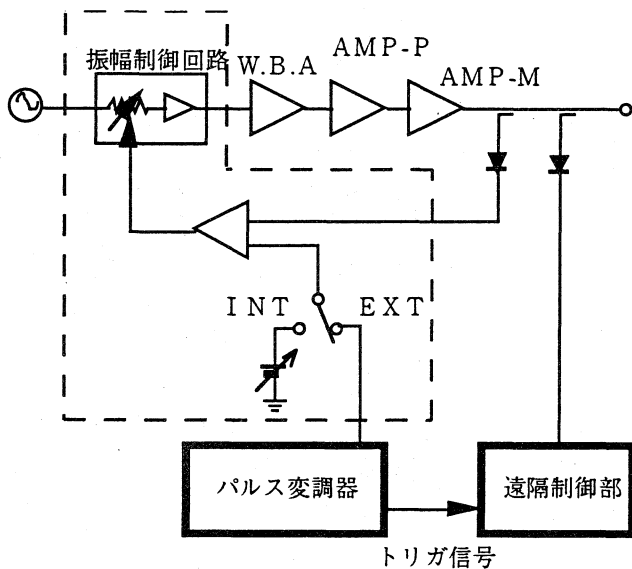


図 3. 高周波電源のパルス化回路図
 ルギーフィルタで偏向させ、イオン打込み室に導入した。打込み方式は回転円板を半径方向に機械走査する方式(図4)である。10枚の6インチウエハを円板の円周上にセットできる。円板は560rpmの速度で回転しながら、往復約1分の速度でスキャン運動をする。

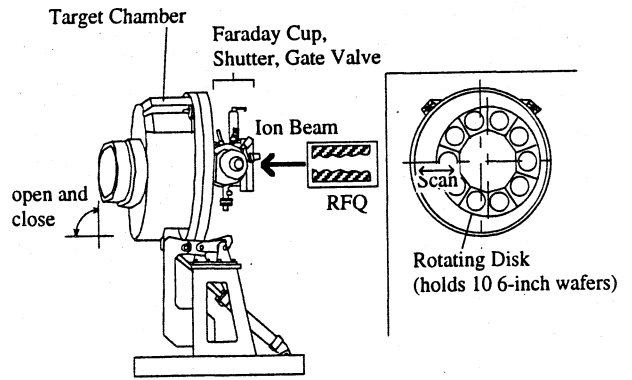


図 4. 打込み室概略図

3. 実験結果

3.1 電源電圧振動

電源保護のため、パルス化による電源増幅器の誘導過電圧を観測した。図5に、負荷にダミーロードを使用して最終段出力を40kWにしたときの、終段プレート電圧の波形観測結果を示す。これは、立上り、立下り時間が10msec、パルス幅が500msec、繰り返しが1Hzの場合の測定結果である。プレート電圧の定格(連続):12kVに対して、過電流設定は120%まで行えるので、過電圧は14.4kV(連続)まで許容されることになる(耐電圧は15kVまで保証)。本図から、立上り、立下り部分でともに2kV程度変動しているが、一番問題となる立下り時の終段プレート電圧は13.5kV以下なので、立上り、立下りの時間を10msec以上に設定すれば全く問題のないことがわかる。

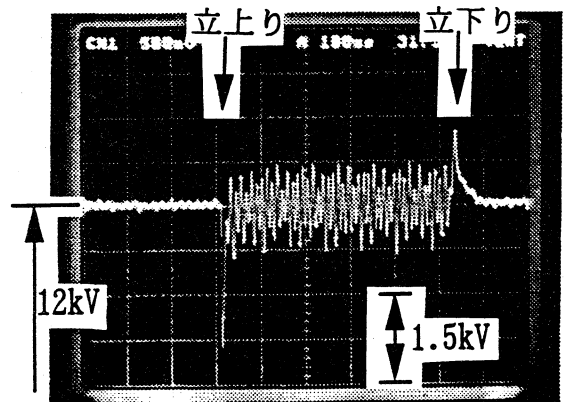


図 5. 終段プレート電圧の波形変動

3.2 加速ビーム特性

図6に、パルス加速ビームの波形観測結果を示す。上(CH1)は比較のために示したパルス変調器の出力波形、下(CH2)は N^+ (0.53 MeV) のパルス加速ビーム波形である。実験の結果、最大で $750 \mu A$ の加速ビームが得られた。高周波投入電力の立上り途中はまだ電圧が不十分で加速されていないが、投入電力がピークに達した段階で瞬時的に加速ビームが現われていることがわかる。加速電流波形の歪、遅れ等は見られず、実用上問題のない性能であると言える。

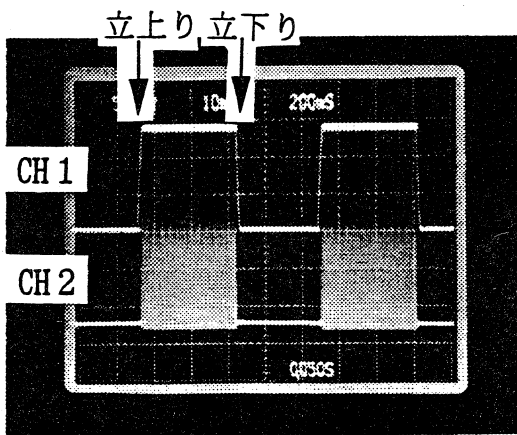


図6. 加速ビーム特性

3.3 長時間運転性能

図7に、今回実施したパルス運転モードの長時間運転試験結果と、比較のために連続モードでの試験結果を示す。縦軸は加速器へ投入する電力に対する反射電力の比率である。この比率は、負荷の特性インピーダンスの変化を表わす指標として用いた。連続発振の電力を投入した

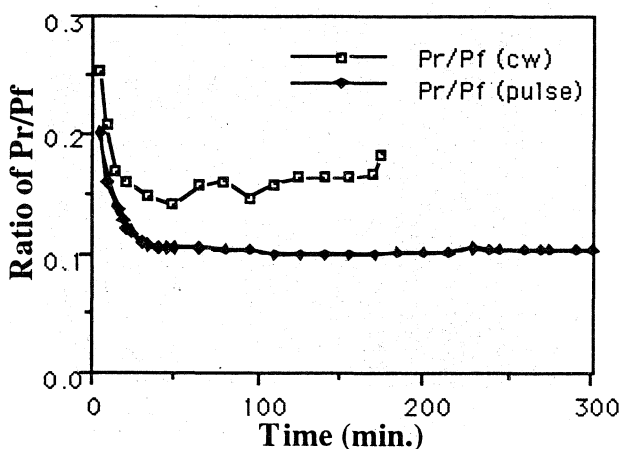
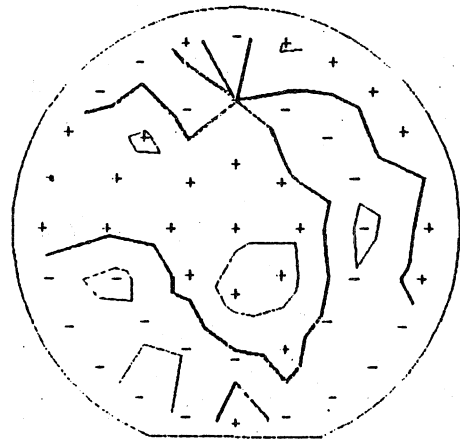


図7. パルス運転の長時間運転結果

場合は175分で反射電力の急激な上昇が見られ、電力投入を停止した。パルス発振の電力を投入した場合は、300分以上にわたって安定な加速性能が得られていることがわかる。なおパルス運転では、最大で8時間まで加速した実績がある。図から、パルス運転により、十分な安定性が得られていることがわかる。

3.4 ウエハ面内均一性

図8に、Duty: 50%でA1イオン打込み処理をしたウエハを熱拡散処理した後の表面シート抵抗の分布測定結果を示す。測定結果は、標準偏差(1σ)が0.7%であった。本結果から、パルス注入によっても、従来の直流ビーム注入時と同等の1%以下の均一なイオン注入処理ができることがわかる。



Duty: 50% ($1\sigma=0.7\%$)

図8. ウエハ面内の打込み均一性

4. 結論

エネルギー可変型のRFQ加速器を使用したMeVイオン注入装置で、アルミニウムイオンの0.9 MeV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8時間以上であることがわかった。またSiウエハへのパルスビーム注入試験の結果、面内均一性が0.7%以下であり、従来と同等の性能であることがわかり、以上から、本装置が実用上全く問題のない性能であると言える。