

[13P-07]

## DEVELOPMENT OF A CONTINUOUSLY VARIABLE ENERGY RFQ LINAC FOR SiC SEMICONDUCTOR DEVICE FABRICATION

K. Amemiya<sup>\*1)2)</sup>, T. Yasuda<sup>1)3)</sup>, H. Onose<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Ultra-low Loss Power Device Technologies Research Body / R&D Association for Future Electron Devices (UPR/FED)

<sup>2)</sup>Hitachi, Ltd., Power & Industrial Systems R&D Laboratory  
Omika-cho 7-2-1, Hitachi-shi, Ibaraki, 319-1221 JAPAN

<sup>3)</sup>Hitachi, Ltd., Hitachi Research Laboratory  
Omika-cho 7-1-1, Hitachi-shi, Ibaraki, 319-1292 JAPAN

### Abstract

High energy ion implantation is very important for SiC power semiconductor devices. To form an implanted aluminum box-profile, continuously variable energy RFQ (CVE-RFQ) linac was newly constructed. The linac is a bottom-settled type RFQ structure with double tunable plates. The resonance frequency range of this cavity is from 11.8 to 29.3 MHz, and Q-value of the cavity is over 5000. Beam acceleration test was carried out using Ar ions. Result showed that the ions were accelerated from 12keV to 450keV using an r.f. power of 2.7 kW.

### SiC 素子作製の連続エネルギー可変型RFQ 加速器の開発

#### 1. はじめに

MeV 領域の高エネルギーイオンビーム技術、特に大電流の線形加速器技術は、半導体デバイス製造への適用の他、医療用加速器システムの前段加速器への応用が考えられる。半導体分野では、年々微細化

する Si の LSI 分野で、高エネルギーイオン注入装置が不可欠な設備となってきている。また、近年の省エネルギー施策としての超低損失電力素子技術開発で、SiC 等の新しい素子基板の製造プロセスにおいて MeV 注入装置(図1)の必要性が増している。

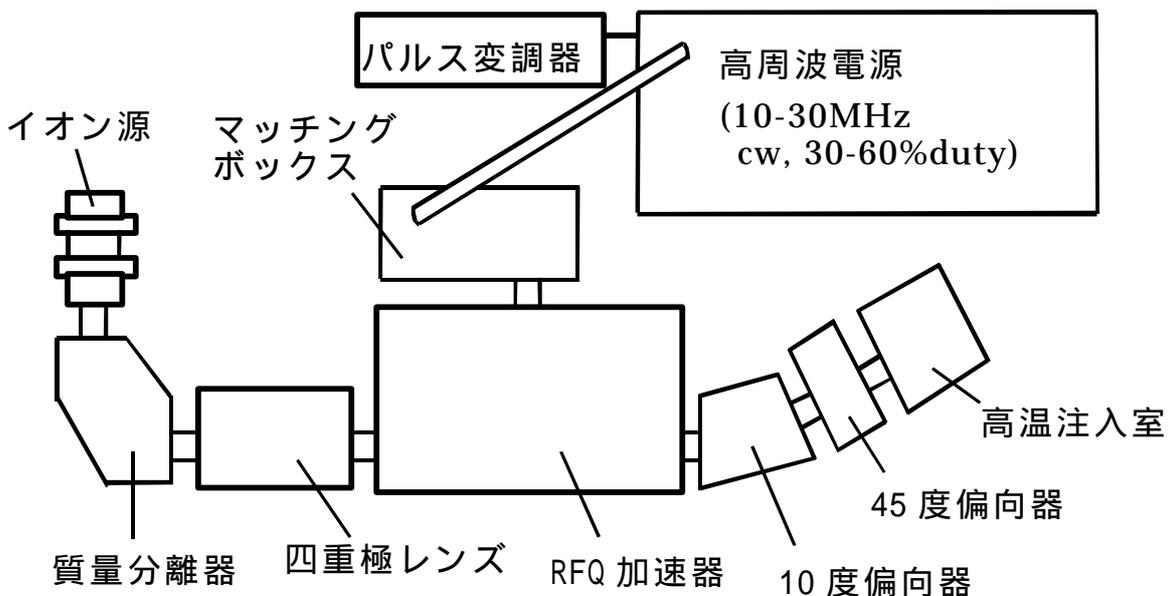


図1 連続エネルギー可変 RFQ イオン注入装置

\*amemiya@erl.hitachi.co.jp, Tel:0294-53-3111

例えば、 $10^{15}\text{cm}^{-2}$  以上の高ドーズ打込みには、少なくとも従来の MeV 装置の 1 ~ 2 桁高いミリアンペアオーダのビーム電流が必要となる。MeV 領域でミリアンペアオーダのイオンビームを生成するには加速器内部に強集束レンズを持つ高周波加速器が有利であり、中でも高周波四重極 (Radio Frequency Quadrupole; RFQ) 加速器がコンパクト性もあり最も有力と考える。

一方、物理学研究用の加速器システム、或いは医療用加速器システム等においても、主リング加速器の前段入射器としてミリアンペアオーダの大電流線形加速器が要求されており、一つの応用分野として考えられる。特にシンプルで高効率の加速器構造は電力利用効率の点で重要なファクターと言える。

以上の応用分野では、特に半導体分野ではイオンの加速エネルギーを可変にすることが必要であり、従来の固定エネルギー型の RFQ 加速器を発展させて連続的にエネルギー可変型の RFQ 装置を開発する必要がある。SiC を使用した素子ではイオン注入後のアニールによる熱拡散が期待できないため、電力用素子では特に、直接深い領域へのイオン注入が必須となる。本研究の目的は、電力用 SiC 素子のボックスプロファイル作成用に、従来になく大電流が加速できる連続エネルギー可変型の RFQ 加速器を開発することであり、これを使用して、将来的には素子製

造用プロセス技術を確立していくことである。

## 2 . SiC デバイス構造

図 2 に接合型 FET の断面構造図を示す。図に示すように、n 型 SiC 基板上の p 型不純物領域にボックス型プロファイルを形成する。エネルギーは最大で 2 MeV を想定し、低エネルギー領域まで 5 ~ 7 段階に分けてイオン注入を実施する。イオン種としては、B、Al 等のイオンが考えられる。

## 3 . 連続エネルギー可変型 RFQ 加速器

図 3 に連続エネルギー可変型構造の RFQ 加速器構成図を示す [ 1 ] RFQ 電極は、4 ロッドのうち左右の 2 本の電極を縦長の電極棒 (縦棒) で支持し、上下の 2 本の電極を横長の電極棒 (横棒) で支持している。縦棒は底面に直接接続し、横棒は上面からつり下げた仕切板の下端に接続する。共振周波数を変えるために、上下方向に 2 枚の可動板を移動させる。2 枚の可動板の移動は同一の向きになっている。RFQ 電極を底面に設置することによって可動板をシンプルに 2 枚で構成することができる。また、2 枚を同時にタイミングをとって移動させることで可動板位置を正確に決定でき、左右の空洞の面積を容易に対称構造とすることができる。また可動板の移動方向が図 3 のような方向になっている理由は、可動板の

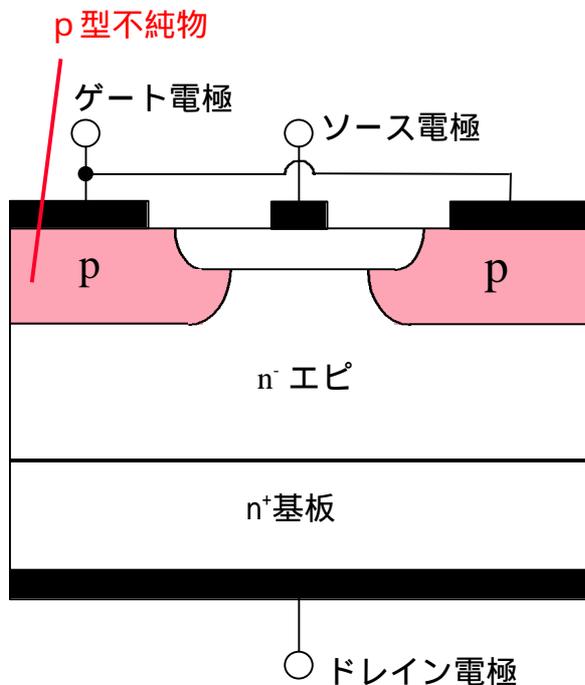


図 2 接合型 FET 断面図 (プレーナ構造)

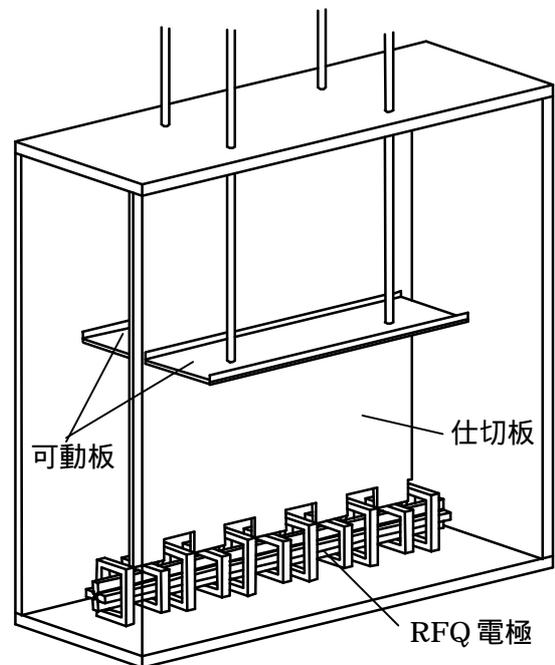


図 3 連続エネルギー可変型 RFQ 加速器

移動距離にほぼ比例したインダクタンス変化を生じさせることができるためである。本構造に関しては、RFQ 電極間の静電容量を平行平板で模擬したモデル共振器の構造解析を実施し、共振範囲を調べて設計した [ 2 ]

#### 4 . 結果及び考察

##### ( 1 ) 共振周波数

図 4 に、可動短絡板を移動範囲の下端(0mm)から上端(1770mm)まで変化させた時の共振周波数の変化を示す。周波数領域は 11.8~29.3MHz と求まった。既設の高周波電源の周波数可変範囲は 10~30MHz なので、この範囲内に収まる構造とすることができた。重イオン加速用ということもあり周波数を低く設定しているため、チャンバの高さも 2m 程度と高くなっている。

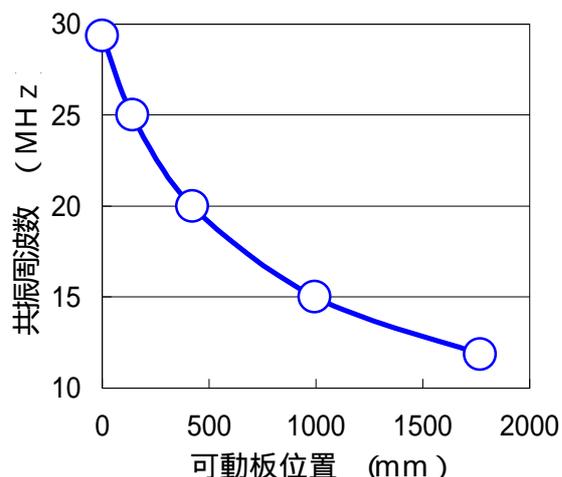


図 4 RFQ 加速器の共振周波数

##### ( 2 ) Q 値

図 5 に、空洞の Q 値の測定結果を示す。測定は給電側からシンセサイザで周波数を掃印し、共振点のピックアップ出力の発生電圧特性から求めた。測定した Q 値は 4300 から 5300 の範囲であり、従来の外部共振型のエネルギー可変型 RFQ [ 3 ] に比べて、少なくとも 3 倍以上の高い値が得られた。外部共振型では、真空内での連続的なエネルギー可変ができなかったため、これで短時間にボックスプロファイル形成ができることになる。

##### ( 3 ) 加速予備試験

Ar イオンを用いて低電力での予備加速実験を

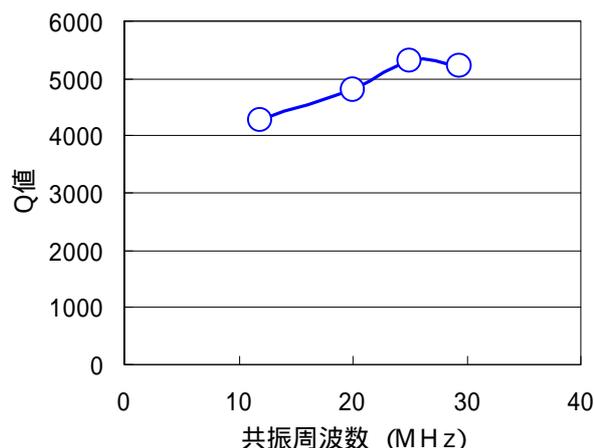


図 5 RFQ 加速器の Q 値

実施した。運転周波数は 11.8MHz で、12.3keV で入射した Ar<sup>+</sup> イオンを 452keV まで加速することが確認できた。この時の電力は 2.7kW である。これで原理加速確認ができたことになり、今後は電力投入試験を実施していき、高エネルギー化を図る予定である。

#### 謝辞

高周波の加速空洞に関して有益な助言を頂戴致しました、高エネルギー加速器研究機構の新井重昭教授に深く感謝申し上げます。

本研究は、通産省工業技術院ニューサンシャイン計画の一環として(財)新機能素子研究開発協会(FED)が、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から委託を受け実施している「超低損失電力素子技術開発」の成果を含む。

#### 参考文献

- [1] 日本国特許：第 2835951 号、「エネルギー可変型 RFQ 加速装置およびイオン打込み装置」
- [2] 雨宮、小野瀬：「エネルギー可変型 RFQ 加速器の電磁場解析」、第 2 回応用加速器・関連技術研究シンポジウム予稿集、123 頁(1999 年 12 月、東京)
- [3] K. Amemiya, et al., High energy aluminum ion implantation using a variable energy RFQ ion implanter, Proceedings of 1998 International Conference on Ion Implantation Technology (IIT98), pp.288-291 (1999)