

Design Study of IHQ type Linac for Heavy Ion Implantation

Toshiyuki HATTORI, Yoshiyuki OGURI, Masahiro OKAMURA,
Yousuke TAKAHASHI, Kouichi TAKEUCHI, Toshihiro AIDA
and Kimikazu SASA

Research Laboratory for Nuclear Reactors,
Tokyo Institute of Technology, 2-12-1, Ohokayama, Meguro-ku, Tokyo 152 Japan

ABSTRACT

An interdigital-H type linac structure with focusing finger electrodes (IHQ) has been studied for heavy ion implantation. The IHQ type linac is designed for acceleration of particles with $q/A \geq 1/11$ from 15 keV/amu to 100 keV/amu. The acceleration frequency is 20 MHz and cavity length is about 0.8 m. The transverse acceptance (X, Y) are about 130-140 π mm mrad on condition with synchronous phase -30° .

高エネルギー重イオン注入装置用IHQ型線形加速器の研究

1. 概要

長さ1 m以内で核子当り8又は15 keVから100 keVまでAs程度の重イオンを加速する半導体用高エネルギー重イオン注入装置として20 MHz IHQ型線形加速器の設計をしたので報告する。

2. はじめに

現在半導体生産用に利用されている高エネルギー重イオン注入装置はBを核子当り100 keVぐらいまで加速可能なタンデム型静電加速器が一般に使用されている。より注入深さを大きくすること、及びより重いAs等を核子当り100 keVまで加速するには大型の数MV静電加速器が必要になり生産工場には不向きになる。そこで重イオンの低エネルギー加速に適したRFQ型線形加速器による加速が考えられるが、長さが大きくなることと、必要な高周波パワーが100 kWを越えることになりやはり不適當である。B程度のイオンを核子当り100 keVとしても長さ2 mのRFQ型で50 kWを必要とする。そこでRFQ型より加速効率が3倍以上良く、小型化が可能でさらに電力効率は10倍以上良く数kWの低パワーですむIHQ型線形加速器を使用することを考えた。

2. 入射イオン源

イオン源として近年多価高強度重イオン生成に成功している多価重イオン用ECRイオン源を採用した。Bの1価イオンを加速できる性能を持たせるとAsは7価イオンでよくなることで、加速イオンの価数と質量数の比は $\epsilon = 1/11$ 以上とした。Bの1価イオンであれば約1 mAが可能であろう。またAsの生成イオン電流は、現在東工大、核研、放医研、日本製鋼所との共同研究を行っている10、14 GHzのECRイオン源性能がフランス、グルノーブルの10 GHz CAPLISと同レベルに達したので、CAPLISの性能を仮定する。これからAsの7価イオンは数100 μ A発生させることが十分可能である。この結果入射イオンに必要な加速高圧電源は88 kV (入射核子当り8 keV) 又は165 kV (入射核子当り15 keV) である。

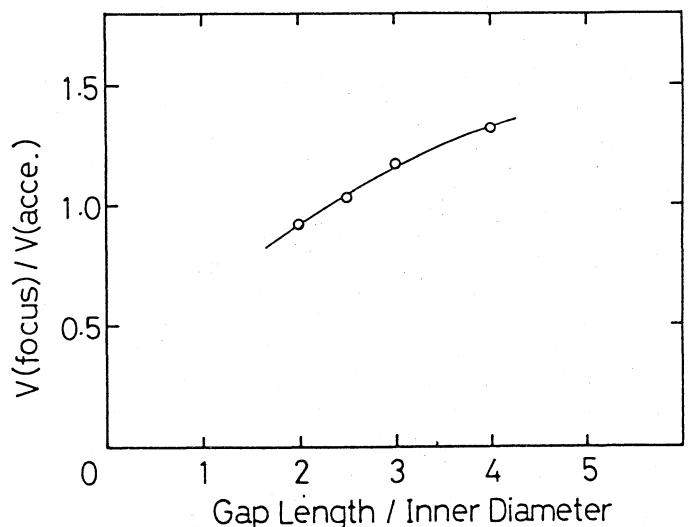


図1 ギャップの加速と収束電場の積分値の比

2. 加速空洞デザイン

今まで I H Q 型線形加速器は運転周波数 1 0 0 M H z で陽子を 8 0 0 k e V から 2 M e V ま で加速した東工大プロトタイプ I H Q 型の例が一例が有るだけである。東工大プロトタイプ I H Q 型と類似のドリフト・チューブとフィンガー構造を仮定した。磁石モデルによる収束と加速電圧の測定データを図 1 に示す。低エネルギーではセル長さが短い為図 1 のデータ中に有る最短の場合としてドリフト・チューブ穴径の 2 倍をドリフト・チューブ間ギャップに採るタイプを仮定した。その結果図 1 に示す様に収束電場と加速電場の積分比は約 9 0 % となる。2 M e V プロトタイプ I H Q 型線形加速器のドリフト・チューブ及びフィンガー直径は 1 6 m m であったが、低エネルギーから加速することを考えて 1 4 m m とし、ギャップは 2 8 m m である。空洞共振周波数を 2 0 M H z とし核子当り 1 5 k e V から加速することを仮定した。

加速空洞長さは 1 m 以内、加速ギャップは 1 0 個とし東工大プロトタイプ I H Q 線形加速器の加速電圧分布 (図 2) の様に仮定し軌道計算を行った。

3. 粒子の軌道計算

軌道計算は安定位相を 3 0 度とし加速ギャップ中間で位相による R F 発散力とフィンガーによる R F 4 重極力を受けることになる。薄肉レンズ近似によるマトリックス計算をおこなった。位相による R F 発散力を

$$\Delta_{RF} = \pi e \varepsilon V T \sin \phi / m_0 c^2 \beta^3 \gamma^3 \lambda = \pi e \varepsilon V T \sin \phi / 2 E \beta \gamma^2 \lambda \quad \text{とした。}$$

ここで V はギャップ間の加速電圧、 ε はイオンの電価数と質量数の比、T はトランジト・タイムファクター、 ϕ はイオンの位相、 m_0 は陽子静止質量、E は核子当りのイオンの運動エネルギー、 λ は高周波の自由空間波長である。

R F による 4 重極力を薄肉レンズ近似とし焦点距離は

$$f_{RFQ} = (\cot KL) / K$$

$$K = e \varepsilon R V / 2 T \cos \phi / m_0 v^2 r^2 = e \varepsilon R V T \cos \phi / 4 E r^2 \quad \text{とした。}$$

ここで r は収束用フィンガーの半径、R は R F 4 重極電極の加速電圧に対する比で図 1 に示す様にこの場合 R = 0. 9 2 である。L は収束 4 重極の実質長さでこの場合 1. 8 c m としている。

核子当り 1 5 k e V (8 k e V) の A s ⁷⁺ や B ⁺ イオンを核子当り 1 0 0 k e V まで加速する場合の軌道計算を行った。図 3 に 1 5 k e V 入射の横方向 (X , Y) の粒子軌道とアクセプタンスを示す。E C R イオン源からの規格化エミッタンスを 0. 5 π m m \cdot m r a d と仮定すると入射 1 5 k e V (ビームエミッタンス 8 8 π m m \cdot m r a d) の場合は十分アクセプトし加速が可能である。8 k e V (ビームエミッタンス 1 2

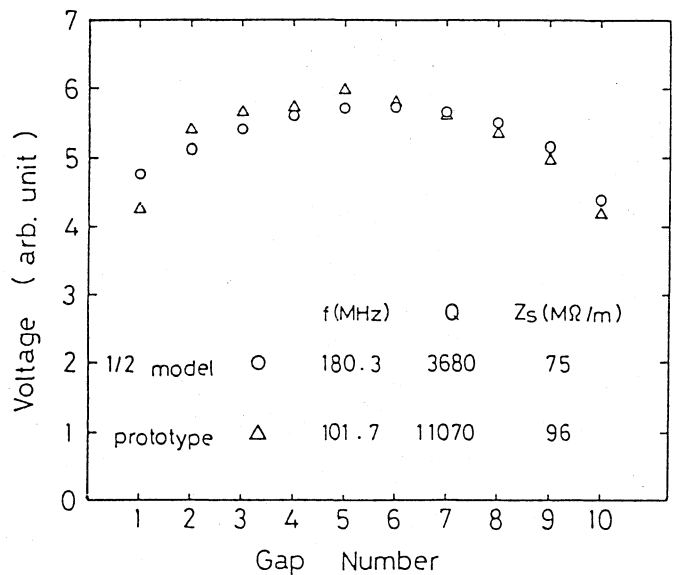


図 2 プロトタイプ I H Q の各ギャップの電圧分布

Parameters of IHQ Linac for As acceleration

Acceleration Particle	B., As
Energy Input	15(8) keV/u
Output	100 keV/u
Operation Frequency	20 MHz
Synchronous Phase	-30°
RF Power	≤ 5 kW
Number of Cell	10
Focusing Sequence	FD
Element	RFQ with Finger
Drift Tube Bore Diameter	14 mm
Outer Diameter	42 mm
Gap Distance	28 mm
Voltage	127 kV
Tank Inner Length	80 cm
Vacuum System	520 l/s TMP

0 π mm \cdot mrad) の場合は全てをアクセプト加速するには 200 mrad 以上の急角度でイオンを入射する必要がある。これを回避するためには RFQ 型線形加速器が採用しているラジアル・マッチャー的な初めの収束電圧を弱めた構造を考える必要がある。

4. As 加速用 IHQ 線形加速器

As を核子当り 100 keV まで加速する IHQ 線形加速器をデザインし、加速空洞長 80 cm で必要パワー 5 kW 以下のコンパクトなイオン注入装置が完成した。その主要パラメータを表 1 に示す。また 3 m \times 5 m のコンパクトな高エネルギー重イオン注入装置を設計した。図 4 に装置の図を示す。

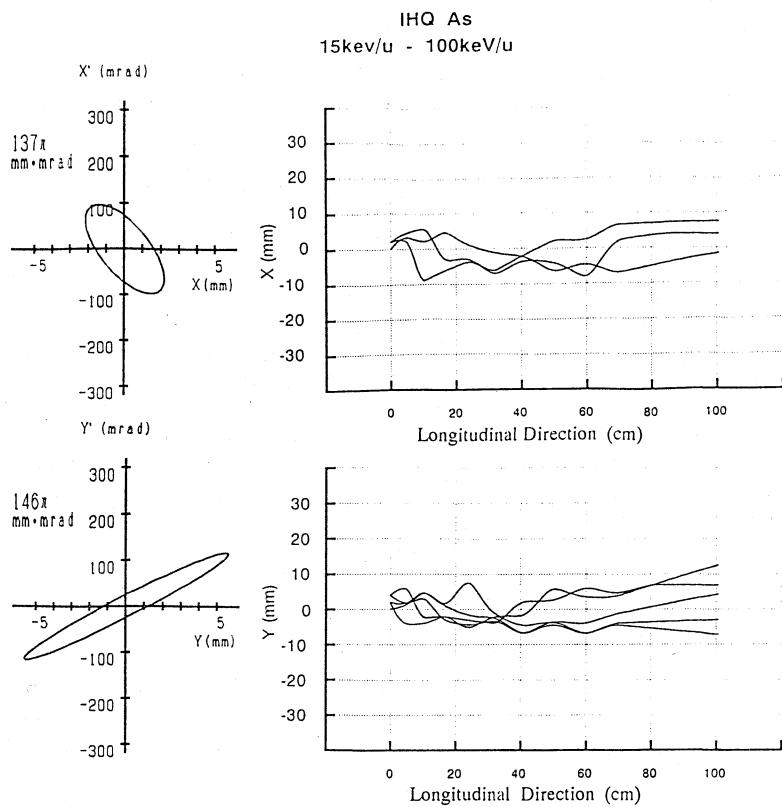


図 3 粒子軌道とアクセプタンス

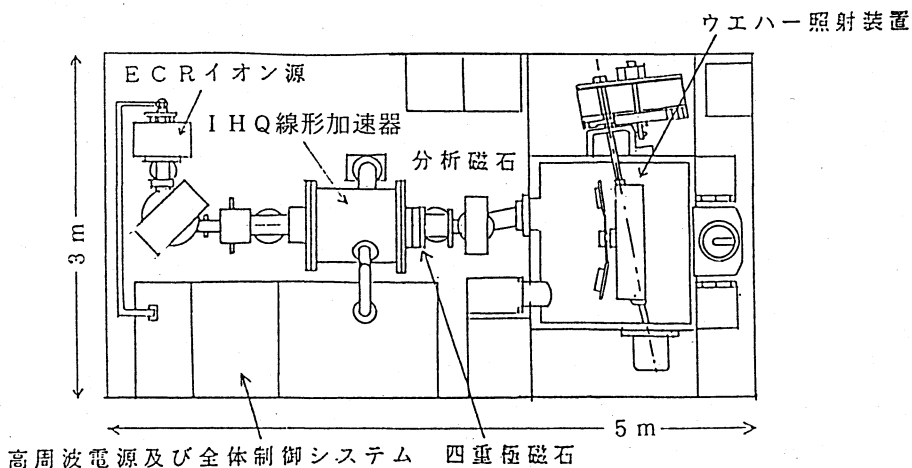


図 4 高エネルギー重イオン注入装置の配置図