

DESIGN AND SIMULATION OF CAVITY FOR APF-IH TYPE LINAC

○ LU Liang^A, Toshiyuki Hattori^A, Noriyosu Hayashizaki^A
Taku Ito^A, Takuya Ishibashi^A
^ATokyo Institute of Technology
2-12-1-N1-25, Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8550

Abstract

A new IH-type DT (drift tube) Linac, which will be used as an implanter of semiconductor industrial, is being designed now. IH structure has an amazing merit which is its power efficiency that is 5–20 times higher than that of other RF linear accelerators in the low and middle energy range. Therefore, it is possible to generate higher voltages (2–5 times) than in other system with the same RF feeding power. We choose APF system to focus beam. And in order to obtain higher transmission, a special unique structure adopting double bunch was designed in the initial two cells. We are using PARMILA and PMLOC as simulation soft to calculate orbit computation, and using MICROWAVE STADIO to simulate electromagnetic field distribution.

APF-IH型線形加速器空洞のデザインとシミュレーション

1. はじめに

IH (Interdigital-H) 型線形加速器注入機の開発研究を目的とした私たちは、低コスト、高電力効率、高加速率で半導体製造に使えるIH加速器をデザインしようとしている。この重イオン注入機は加速できる粒子が¹¹B と ³¹P になっている。スケジュールとしては、線形加速器の設計、軌道計算、空洞電磁場シミュレーション、そして実機の加速器を作り、⁴He⁺ と ³¹P²⁺の加速テストをする順になっている。

IH 型線形加速器の特徴は、IH 型共振構造 (IH加速空洞にドリフト・チューブ型線形加速器) がTE₁₁₁モードで励起される円筒状の空洞共振器で、低・中エネルギー領域において、Alvarez型やRFQ型の5~20倍の電力効率を持つという特長があるため、従来型と同じ程度のRFパワーを投入することで(2~5倍の)高電圧を発生する事が出来、小型で、高加速率の入射器を実現できる。本研究では、ビームの収束にはAPF (Alternating Phase Focus) 構造を採用した。APF法より、同期位相がプラス、マイナス交互になるようにセル配列を決定する。このAPF法により、この加速器は収束するセル(軸方法発散)と発散セル(位相安定)をもつ事になる。このため、軸対象の加速構造にとって、空洞全体で粒子を安定に加速することが期待できる。

IH型線形加速器は、ドリフトチューブ間に加速電場を発生させるため、加速器空洞内に発生する電場分布、もしくは加速器の共振周波数を容易に調整する事ができない。また、IH空洞は三次元構造のため、各ドリフトチューブ間で発生する電場形状が非対称成分を生じ、一つのドリフトチューブ間での粒子運動から空洞全体での粒子運動を評価することができなく、三次元空洞高周波電磁場シミュレーションよ

り、電場を計算し粒子計算をする必要がある。

2. 軌道計算とシミュレーション

本研究では、8個のドリフト・チューブで9セルのIH構造を設計している。軌道計算には、ソフトPARMILAとPMLOCを使用し、キャビティ電場分布シミュレーションには、Microwave studioを使っていた。

2.1 PARMILAによる軌道計算

PARMILAにより、セルごとのエネルギー分布とTransit time factorを求めた。Transit time factorの例がFig.2のTFになり、PARMILAによる最終セルのデザイン結果がFig.1になる。

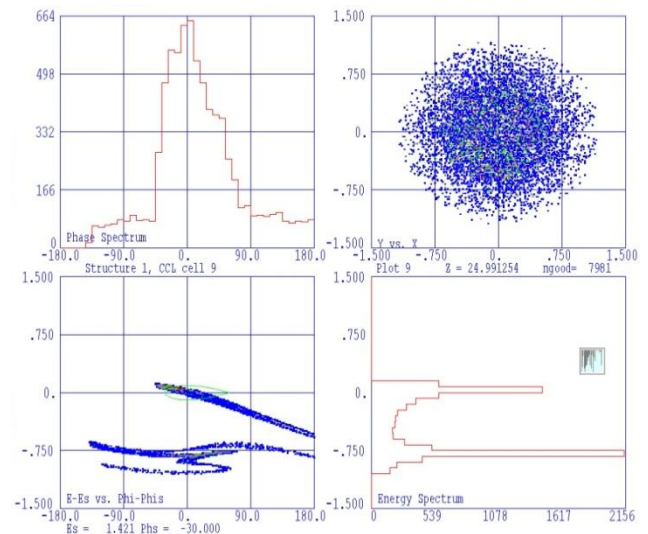


Fig.1: 最終セルのビーム様子

2.2 PMLOCによる軌道計算

PMLOC 軌道計算コードは thin lens 近似の原理により本研究室で開発され、実行してきたソフトである。このPMLOC軌道計算ソフトを通して、繰り返し位相パターンごとのドリフトチューブテーブルを作成し、バンチ位相幅を求め、そのバンチ内粒子の横方向アクセプタンス量を求めた。本研究では、加速方向と横方向が共にアクセプタンスの大きい最適位相 $\pm 30^\circ$ を選択した上に、最初2セルをダブルバンチャー(double buncher)構造を採用した。軌道計算の例をTable.1にとし、位相変化の様子をFig.2にとする。

```

CHARGE NUMBER      = 2
INJECTOR VOLT.     = 310[kV]
INJECTOR ENERGY   = 620[KeV]
                   ( 20[KeV/nuc])
RADIO FREQUENCY    = 60[MHz]
NUMBER OF CELLS    = 9
MAX. PEAK GAP VOLT = 146[kV]
    
```

I	V	PHI	TF	DW	W	BETA	LS	LC	LG	LD	L
	[kV]	[°]		[KeV]	[KeV]		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0	43.5	-90	.0000	0.0	620.0	.0066	16.4	0.0	8.0	0.0	0.0
1	43.5	-90	.6885	0.0	620.0	.0066	21.8	21.8	8.0	13.8	21.8
2	87.0	-30	.6976	115.1	725.1	.0071	23.6	23.6	8.0	15.6	45.4
3	93.0	30	.7972	127.7	852.8	.0077	19.2	19.2	8.0	11.2	64.6
4	87.0	30	.8686	130.9	983.7	.0083	13.7	13.7	8.0	5.7	78.4
5	81.5	-30	.7898	111.5	1095.2	.0087	21.8	21.8	8.0	13.8	100.1
6	87.0	-30	.7293	109.9	1205.1	.0091	30.4	30.4	8.0	22.4	130.6
7	92.0	30	.7995	127.4	1332.5	.0096	24.0	24.0	8.0	16.0	154.6
8	87.0	30	.8753	131.9	1464.4	.0101	16.8	16.8	8.0	8.8	171.3
9	43.5	-30	.8000	60.3	1524.7	.0103	25.7	29.7	8.0	21.7	201.0

Table.1: ドリフト・チューブテーブル

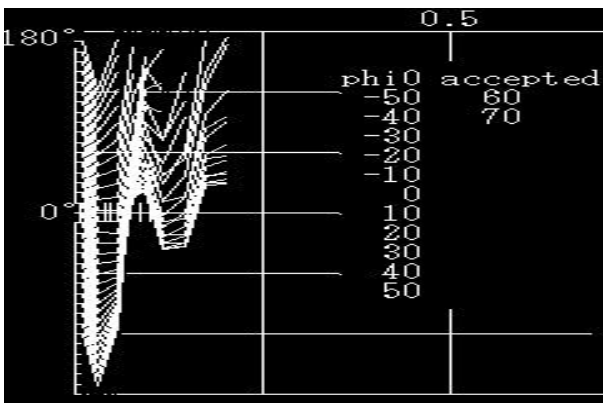


Fig.2: 加速位相が $\pm 30^\circ$ 付近での変化様子

2.3 Microwave Studioによる三次元電磁場シミュレーション

IH型線形加速器の場合は特に加速ギャップに発生する電場形状に非対称成分が発生するため、三次元電磁場解析をこの非対称成分を評価する方法を考えた。

空洞電磁場シミュレーションソフトはParmila、とPMLOCの粒子軌道計算の元で、Microwave Studioを使用している。ParmilaとPMLOCのビームのシミュレーション計算により、加速器の空洞設計を行っていった。この設計の元で、SolidWorksを使って加速器の構造部品それぞれをデザインし、最後に各部品

をアセンブリした。このアセンブリした加速器の入射エネルギー、周波数などの入射条件を設定した上で、Microwave Studioを使って加速器の軸方向に沿う電場分布をシミュレーションを行った。3次元メッシュの図の結果をFig.3に示し、加速軸方向の電場分布例をFig.4に示している。

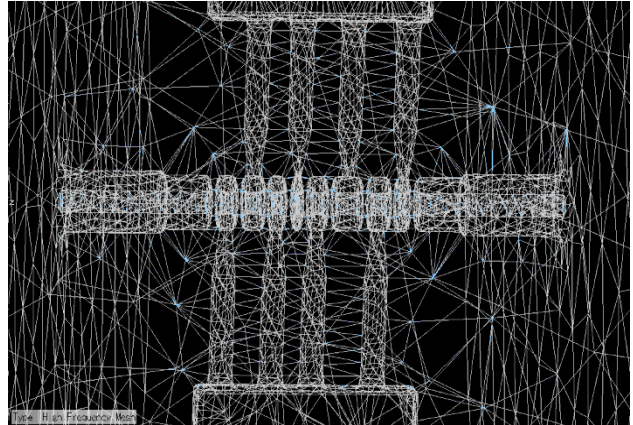


Fig.3: 3Dによるメッシュ分割

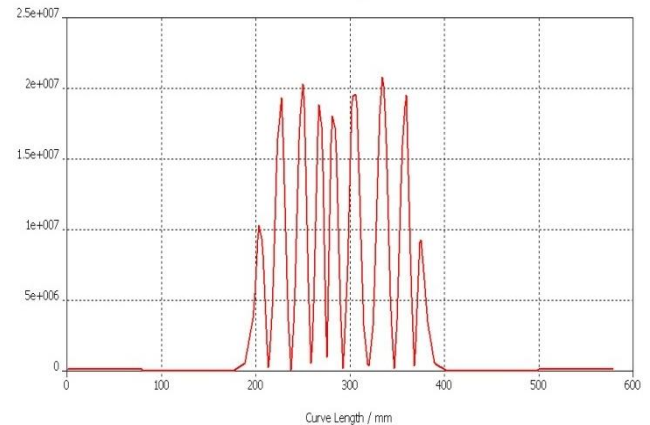


Fig.4: 加速方向の電場分布

3. まとめ

今回の計算機実験は複数のソフトを用いて、加速器デザインと三次元電磁場シミュレーションを行った。また、デザインとギャップ間電場のシミュレーション結果について考察を行った。

3.1 デザイン評価

今回のデザインはコンパクトな IH 線形加速器注入器の設計を目的とした。本加速器は 9 セルの構造で、収束には APF 収束法を採用した。トランスミッションの図Fig.5によると、同期粒子トランスミッションが16%になり、トータルトランスミッションが43.1%に達した。このシミュレーション結果からみると、APF収束法による線形加速器の設計と加速が出来たと考えられる。

また、効率的に粒子を加速させるため、等電場分布を採用した。等電場分布は一部分の電場集中がなく、効率的に発生した電場を加速に使用することができる。設計に当たって、加速粒子、入射エネルギー、

出射エネルギー、運転周波数等の具体的な基礎パラメーターをTable.2に示す。これらのパラメーターを基にデザインしたリニアックはFig.6に示す。

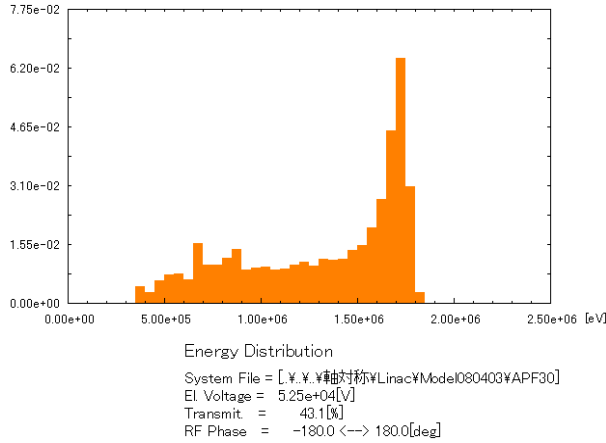


Fig.5: 加速方向のエネルギー分布

Charge to mass ratio (q/A)	3/31
Frequency (MHz)	60
Input energy (ke V/u)	20
Output energy (ke V/u)	49
Cell numbers	9
Bore (mm)	9
Synchronous Phase	-30° → 30°

Table.2 Main parameters of APF-IH DTL

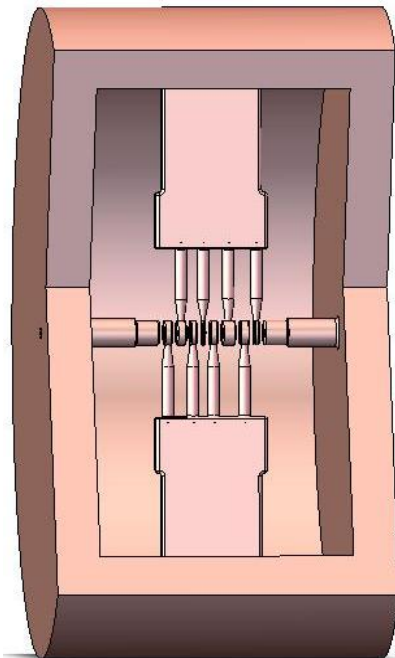


Fig.6: シミュレーションに用いたモデル

3.2 ギャップ電場評価

本シミュレーションでは、Microwave Studioを用いて、三次元電磁場分布を求めた。しかし最初と最後のギャップ電圧を除いて、他のギャップ電圧が等

しい設計値と比べると、Microwave Studioの計算では、大きな差を示した(Fig.7)。この原因はAPF収束法による各セルの加速位相が異なり、各セルの長さもそれぞれに異なる。特に4番目のドリフト・チューブが最短であるため、DTにしみ込んだ電圧の影響が最大になり、ギャップ電圧は最低になった。各ギャップ間の電圧の差を出来るだけ小さくするために、Microwave Studioの電圧データを利用して、PMLOCを用いて同じモデルで繰り返し計算を行った。繰り返し計算の方法は、Microwave Studioの結果を用いて、比例した値を再びPMLOCに代入し計算を行った。4繰り返し計算の結果では、各ギャップ間の電圧差が明らかに小さくなり、収束出来た結果を得た。この結果は(Fig.8)に示す。

この結果からみると、モデル用いた三次元電磁場シミュレーションは繰り返し計算が必要なのは分かった。また、加速器実機を製作するとき、事前測定することも必要なのは分かる。

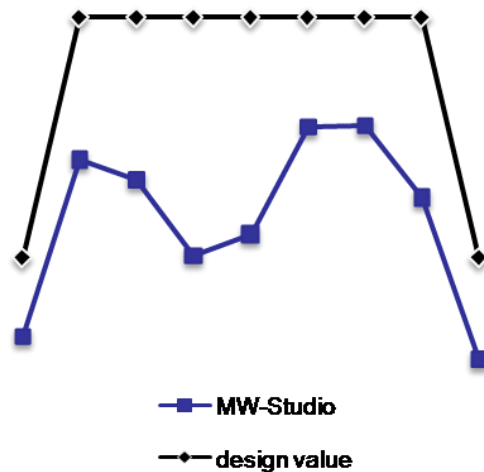


Fig.7: 加速方向の電場分布

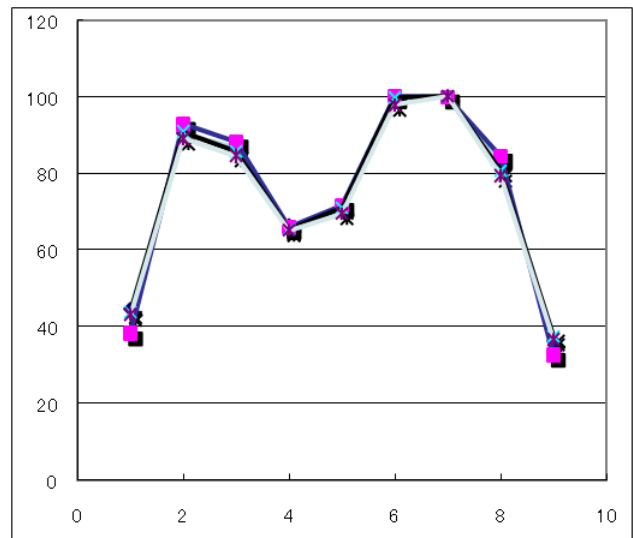


Fig.8: 電場分布の繰り返し計算