

[F18p13]

Design of $C_{60,70}$ fullerene IH Linac and Injector

S.Majima^{A)}, T.Hattori, S.Matsui, K.Sasa, T.Ito, H.Tomizawa, N.Hayashizaki, N.Sakamoto, T.Yoshida, S.Yamada^{B)}, E.Osvath^{C)}, D.Dudu^{C)} and H.Schubert^{D)}

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

A) Hitachi, Ltd., B) National Institute of Radiological Sciences
C) Institute of Physics and Nuclear Engineering, Romania, D) HSI Comp., Germany

Abstract

A new system for production and acceleration of multiply charged C_{60} and C_{70} fullerene ions is being desogned for basic studies on cluster physics and Inertial Cnfinement Fusion (ICF) driver. Multiply charged fullerene ions are produced by electron impacts. The energy of the electron and the extracted fullerene ions is variable. Ions selected by the 1st analyzing magnet are aimed and accelerated up to 100 kV through an accelerating column. Accelerated ions are analyzed again through the 2nd analyzing magnet. The ion source generates C_{60}^+ (8.4nA), C_{60}^{2+} (4.5nA), C_{60}^{3+} (1.6nA). C_{60}^+ , C_{60}^{2+} and C_{60}^{3+} are accelerated up to 100, 200, and 300 keV, respectively.

The IH linac was designed to accelerate C_{70}^+ ion ($\epsilon=1/840$) from 0.2 keV/u to 3.2 keV/u with an APF focusing and an operation frequency of 10 MHz.

$C_{60,70}$ フラーレン加速IH線形加速器の設計と入射器

1.はじめに

クラスター慣性核融合[1]の象徴として、またフラーレンと薄膜やガスとの相互作用の物理は非常に興味深いことより C_{60} フラーレンの発生と加速に関する研究を開始した。

C_{60} の電子衝撃型イオン源を分析系と共に開発した。そしてイオン源を高圧ターミナルの上に乗せ C_{60} 多価イオンを発生させると共に価数を分析しそれらのイオンを100kVで加速することに成功した。主に発生量の多い1価、2価、3価をそれぞれ100keV, 200keV, 300keVに加速した。この前段加速の現状とさらに電荷/質量数=1/840 (C_{70}^+)以上のクラスターを核子当たり0.2keVから3.2keVまで加速するIH型線形加速器を設計したので報告する。

2.フラーレン多価イオンの発生

坩堝から昇華した C_{60} フラーレンをフィラメントからの熱電子を加速し電子衝撃でフラーレンをイオン化するイオン源を開発した。坩堝と熱電子発生フィラメントは独立に電圧が掛かる構造となっており、発生イオンのエネルギーを一定にしてボンバード電子のエネルギーを変えられる構造となっている。坩堝は2mmφのアルミナ製で、熱電子発生フィラメントと坩堝ヒーターはタンタル線で製作した。図1に電子衝撃型イオン源とイオン分析系を

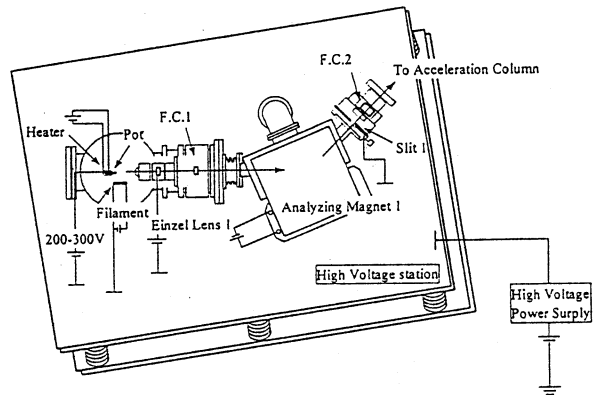


図1 Layout of the Ion Source

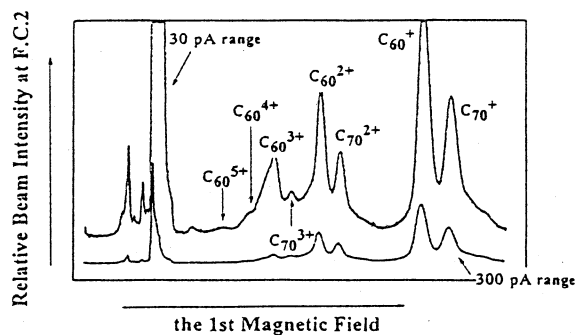


図2 Spectrum of multiply charged fullerene

示す。イオン源から引き出されたイオンはアイン

ツェル・レンズ(EL)で収束後45°分析電磁石で偏向されスリットで価数を分析される。図2に200Vで引き出された時のフラレンイオンのスペクトルを示す。 $C_{60}:C_{70}=77:22$ のフラレン試料を使用しているためC70のイオンも検出された。フラレンイオンとしては C_{60}^+ , C_{60}^{2+} , C_{60}^{3+} , C_{60}^{4+} , C_{60}^{5+} , C_{70}^+ , C_{70}^{2+} , C_{70}^{3+} が検出された[2]。このスペクトルはスリットを1mmに絞った高分解能条件で測定している。100kVで加速する場合はスリットを10~20mmに拡げてビーム強度を上げて各イオンを加速した。

3. 100kV 加速前段加速器

フラレン多価イオン源と手持ちの100kV 高圧電源と振り分け電磁石を使ってフラレン加速前段加速器を計画した。イオン源、分析系、真空排気系とそれぞれの電源を4本の碍子で絶縁された2台の架台の上に乘せた高圧ターミナルを製作した。図3に前段加速器の全体図を示す。100kVの加速管には200kvイオン注入装置の170kV 加速管を使用した。高圧ターミナル部にイオン分析スリットの後にELを挿入して加速に適したビームに調整している。加速されたフラレンはファラデーカップ(FC)4の位置に炭素薄膜(1~5 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ の各種のターゲット)を挿入して、加速フラレンの固体薄膜との相互作用(エネルギーロスや荷電変換)に関する研究を行っている。ターゲットを通過したビームを3連静電4重極で収束後第2分析電磁石で15°偏向してスリット3とFC6で分析している。図4に分析後の $C_{60}^{3+} 300\text{keV}$ と $C_{60}^{2+} 200\text{keV}$ のスペクトルを示す。分析された電流量は1nAを加速して数十pAであった[3]。

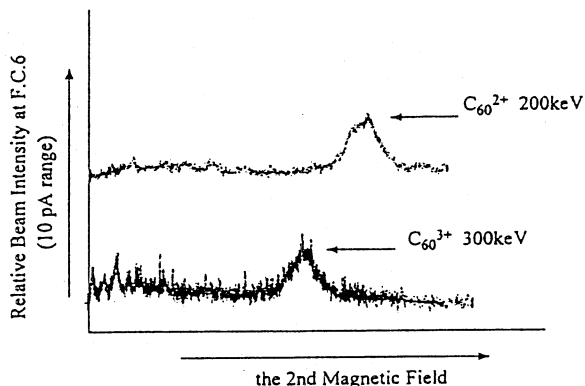


図4 Spectrum of accelerated fullerene ions

4. フラレン加速線形加速器

前段加速として200kVから500kV 加速を考えても、質量数が1000程度の1価クラスターでは0.2keVから0.5keVのエネルギーを持つだけでエネルギーは非常に低い。そのため低エネルギー加速に優れたRFQ型線形加速器が良いと一般に思われている。しかしRFQ型では $e\sim 1/1000$ が極端に小さいため加速周波数を非常に低くしなければ成らない。RFQ型ではビームを加速する以前にラジアルマッチャーやバンチャーセクションに多くのセルを必要とし、低周波数ではその部分が非常に長くなる。又加速率、電力高率も非常に低いため、加速器が非常に長大になり、高周波源も非常に大きくなる。

一方IH加速構造は低速領域で高シャントインピーダンスを示し、それを積極的に使うことで高加速率が可能である。フラレンの場合空間電荷効果が影響するほどのビーム電流が入射しないことで、

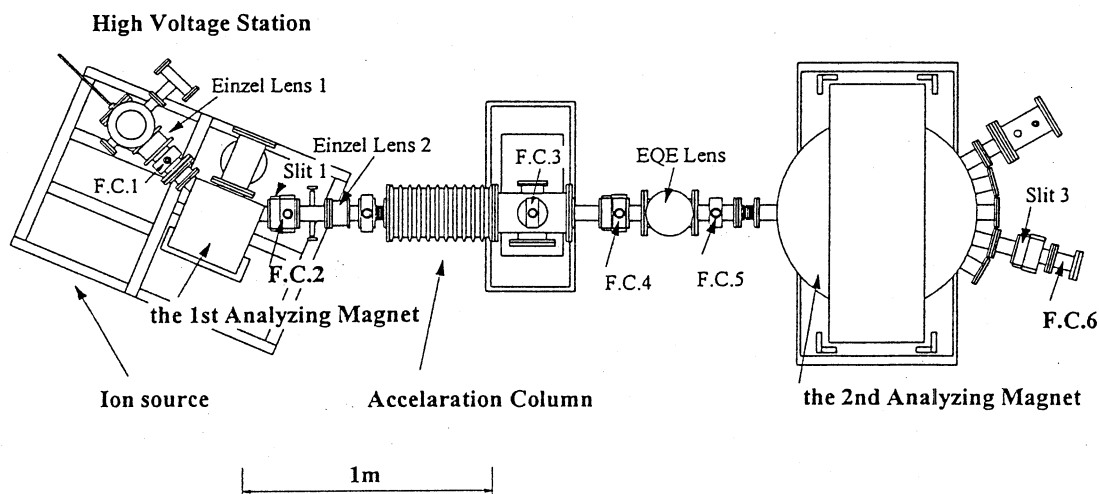


図3 Layout of fullerene ion acceleration system up to 100 kV

APF (Alternative Phase Focusing) 収束を利用してフラーレンを収束し高加速率で加速するAPF-IH型線形加速器を設計した。

現在放医研と共同研究で低エネルギー (12.5 keV/u) からAPF収束型で重イオンを加速することを実証するプロトタイプAPF-IH型線形加速器を設計、製作中である。この設計方法と同様な方法でデザインした。

フラーレン線形加速器の設計方針は以下である。

①ドリフトチューブ型加速構造から入射セル長は最低10mm以上必要となるので加速周波数は10MHzと仮定した。

②10MHzのIH空洞共振器は非常に大きな空洞径を必要とするが現在服部研究室が所有している中で最大直径を持つ重イオン注入機用IHQ型線形加速空洞 (200cm直径) を内部ドリフトチューブの改造によって利用することを考えた、その結果加速長は60cm以内となる。

③粒子の収束はAPFを使って軌道計算を行う。

④加速電圧は0.2keV/uから3.2keV/uまで速度が増加するに従って増加する電圧傾斜型電圧分布を採用した。

表1にフラーレン加速APF-IH線形加速器の主要パラメータを示す。収束に採用したAPF収束の収束シーケンスは安定位相を-, -, +, + (DDFF) のシーケンスとして、第一ギャップは -90° としてバンチ効果をもたせた。トランスバースと位相方向のアクセプタンスのサーチの結果最も良かった -90° , -30° , 30° , 30° , -30° , -30° , 30° , 30° の場合の各位相にたいするトランスバース・アクセプタンスの

表-1 フラーレン加速用APF-IH線形加速器の設計パラメータ

Acceleration Particle (q/A)	C^{60+} , $C^{70+} \geq 1/840$
Input Energy	0.2 keV/u
Output Energy	3.2 keV/u
Operation Frequency	10 MHz
Synchronous Phase	$-90^\circ, -30^\circ, 30^\circ, 30^\circ$
Number of Cell	24
Cavity Length	104 cm
Cavity Diameter	200cm
Focusing Sequence	$-30^\circ, -30^\circ, 30^\circ, 30^\circ$
Transverse Acceptance	$232 \pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$
Longitudinal Acceptance	40°
Transmission	60 % by Buncher
Acceleration Voltage/Gap	57 ~ 256 kV
Acceleration Rate	2.5 MV/m

位相楕円を図5に示す。この結果位相で 40° 、トランスバースで $270\pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ のアクセプタンスを持つことが分かった。表1に C_{70}^+ を0.2keV/uから3.2keV/uまで加速するAPF-IH線形加速器の主要パラメータを示す。バンチャーを挿入することでビームを数十パーセント加速位相に乗せることが可能になる。

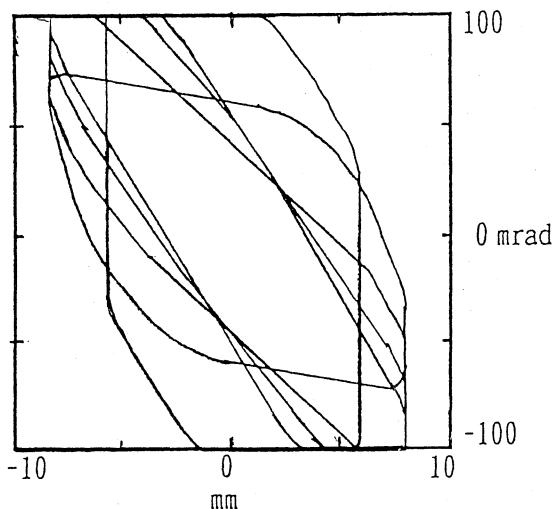


図5 Transverse Acceptance of Phase

4. まとめと将来計画

カーボンフラーレンを電子衝撃型イオン源で C_{60}^+ , C_{60}^{2+} , C_{60}^{3+} , C_{60}^{4+} , C_{60}^{5+} , C_{70}^+ , C_{70}^{2+} , C_{70}^{3+} の多価イオンを生成した。そしてイオンの高強度条件で C_{60}^+ (8.5nA), C_{60}^{2+} (4.5nA), C_{60}^{3+} (1.6nA) を発生させた。イオン源と分析系及び電源類を製作した高電圧ターミナル上に乗せ多価イオンを100kV加速で100keV, 200keV, 300keVに加速することに成功した。またさらに200kV電源での加速を計画している。一方 $\epsilon=1/840$ 以上のクラスターを0.2keV/uから3.2keV/uまで加速可能なAPF収束のIH線形加速器を設計した。APF収束でも十分に安定に加速できることが軌道計算で分かった。重イオン注入機用IHQ型線形加速器の実験終了後内部を改造してフラーレン加速線形加速器を製作することを計画している。

参考文献

- [1] N.Tahir, Nucl. Inst. and Meth., B 88(1994)127
- [2] T.Yoshida, K.Sasa, T.Ito, N.Hayashizaki, K.Isokawa, S.Majima and T.Hattori: Proc. of 21st Linear Accelerator Meeting in Japan, 21(1996)272-204.
- [3] S.Majima, T.Yoshida, N.Hayashizaki, K.Isokawa, T.Ito, K.Sasa and T.Hattori: Nucl. Inst. and Meth., A(1998) in printing.