

線形加速器用カーボンクラスターイオン生成 ECR イオン源

青木 学^{1A)}、服部 俊幸^{A)}、高橋 康之^{A)}、柏木 啓次^{A)}、畑 寿樹^{A)}、山本 和男^{A)}、
高野 淳平^{A)}、土屋 和利^{A)}、長江 大輔^{A)}

^{A)}東京工業大学原子炉工学研究所

〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1

概要

本研究では、線形加速器入射用イオン源として、高強度のカーボンクラスターイオンを得るために 2.45GHz ECR イオン源を用いてそれらを生成することを目指している。今回は、その利点および問題点、実際の装置の設計、実験の現状を報告する。

1. はじめに

フラーレンを代表とする、カーボンクラスターはその物理的性質が大変注目されている。それらの代表的なものとして、立体構造に起因する性質（金属内包フラーレン）、螺旋などに起因する電気伝導性（回路素子として利用）などがある。

また、従来の単原子ビームとは違ってクラスタービームは、高エネルギーが高密度に集中したパルスビームとみなすことができる。そしてまた、クラスタービームのターゲット衝突の際に、構成する多数の原子による単原子では考えられないような効果を生み出すことも期待されている。

これらを効率的に研究、または産業用に使用するためにあたって、イオンビーム化するのは非常に有効な手段であると考えられる。本研究では、これらのカーボンクラスターイオンを高強度に生成し、分析することを主目標としている。

2. カーボンクラスター C60

カーボンクラスターを構成する炭素原子間の結合は、 sp^2 結合である。この結合は、S 軌道 1 個と、P 軌道 2 個が混成して作る結合である。一般的に sp^3 結合で構成されるダイヤモンドは非常に固いと考えられているが、 sp^2 結合と sp^3 結合の一本同士を比較すると、 sp^2 結合の方が強い結合となる。

しかしながらグラファイトを構成する sp^2 結合のイメージからすると柔らかい。これは、層状構造がずれるためである。したがって、このずれを引き起こすグラファイトの多層構造の脆さを克服する形が必要となる。これに対してフラーレンでは、 sp^2 結合が一層の構造となっている。これは平面構造しか取れないゆえの sp^2 結合の多層構造の欠点を見事に取り除いていることになる。

¹E-mail:01m19011@nr.titech.ac.jp

また、フラーレンはその構造が完全な対称形になっており物性研究等において理想的な条件を備えているといえよう。

3. 2.45GHz ECR イオン源を用いる利点

前述した通り ECR イオン源を用いてクラスターをイオン化するには数々の問題点が存在する。しかしながらあえてこのイオン源に取り組むのは、以下の点である。

3.1 高いイオン化効率

本研究室では従来型イオン源 図 1 に示す通り、るつぼで気化させたフラーレンに対し、熱電子フィラメントより発生した電子シャワーを相互作用させる方法でイオン化に取り組んできた。この方法と比較して ECR は電子密度が $10^{11} \sim 10^{12}$ (個 cm^{-3}) と大きい。また、ミラー磁場を用いたプラズマ閉じ込め構造を採用して、プラズマと試料の相互作用時間を長く、エレクトロンサイクロトロン加速で高い電子エ

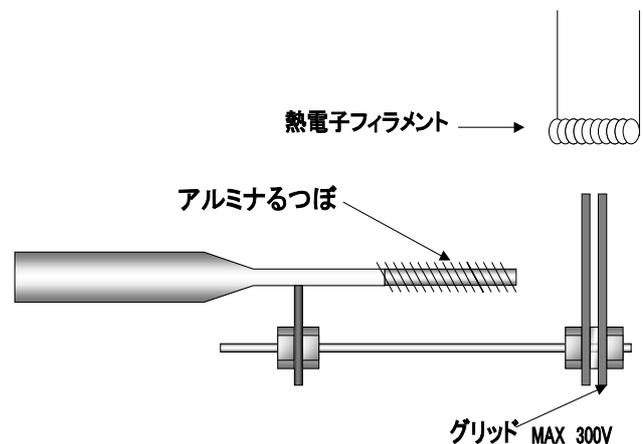


図 1 従来型イオン源

ネルギーを実現する。このことにより、高いイオン化効率を可能とすると期待される。

3.2 プラズマの制御性

今回取り組んでいる ECR イオン源は、2.45GHz と比較的低い周波数を用いている。このことは、プラ

ズマに供給するエネルギーが低いということの意味する。しかしながら、この ECRIS のミラー磁場は多価重イオン生成用に設計されたもので、電子閉じ込めにすぐれている。したがって、低エネルギーでもプラズマの着火を期待できる。このことより、低いエネルギー領域でプラズマを制御して、クラスターイオン源としての最適パラメータを探るのに適していると考えられるのである。

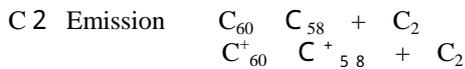
4. クラスタ - イオン生成の問題点

本研究において、クラスターの中でも特にフラレーン C₆₀ に注目して研究を進めていく。

まず、イオン生成の問題点となると考えられるのは、従来のような単原子をイオン化するのではなく、クラスターをイオン化することにあると考えられる。

ECRIS では第3節で述べたように、イオン生成するにあたって試料をプラズマと相互作用させるのだが、ECRIS はイオン化効率が良い反面、クラスターに以下のようなことが起こると考えられる。

4.1 クラスタの崩壊



4.2 サポートガス、残留ガスとの反応および副生成物の発生

ヘテロフラレーン生成 C₅₉N、C₅₉B
内包フラレーン生成の可能性 C₆₀@B

これらの効果より、狙ったイオンビーム強度低下が予想されるのである。

5. 実験装置および改良点

5.1 実験装置概要

まず、実験装置概要図を図2に示す。2つのソレノイドコイル、六極永久磁石によるプラズマ閉じ込め構造を持つプラズマチェンバー内に、2.45GHzのRFおよび試料を供給することによりイオンを生成する。つぎに、発生したイオンを最大20KV程度で引き出す。その後、ビームはアインツェルレンズで収束される。引出し口とアインツェルレンズの間には、出

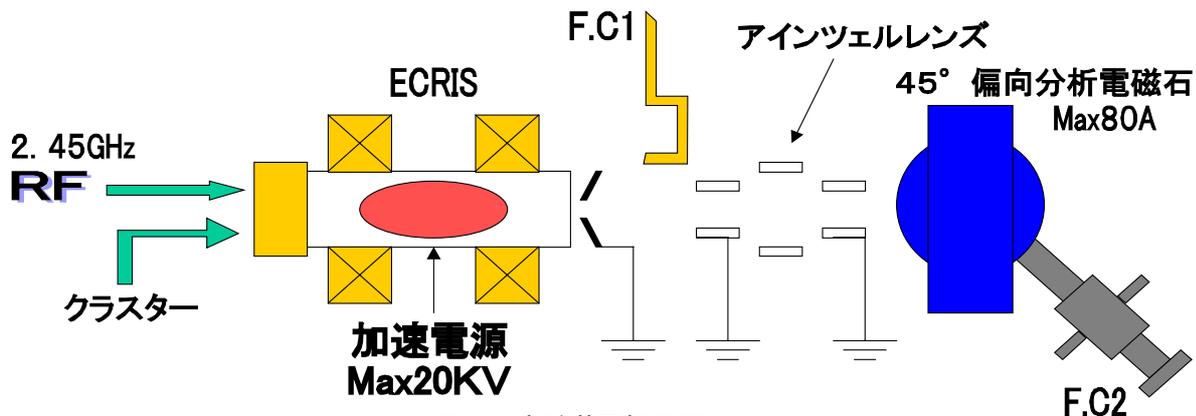


図2 実験装置概要図

し入れ可能なファラデーカップが設置されている。収束後ビームは45度偏向分析マグネットで分析され、ファラデーカップにより測定される。

5.2 試料投入口

本研究では、2.45GHz ECR イオン源に固体試料フラレーンを投入する。そのためにもマイクロオープンで直接に固体を気化、または直接プラズマに挿入といった2系統の試料投入法を追加する改良をおこなった。図3、図4に試料投入口を示す。

5.3 マイクロオープン

フラレーンの気化に関しては、図5に示すマイク



図3 試料投入口

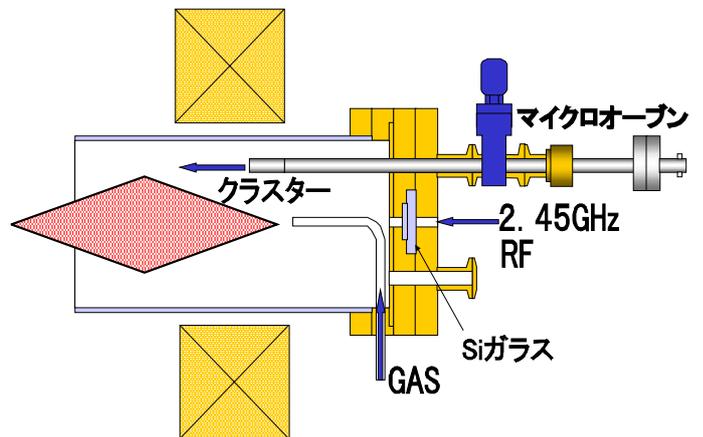


図4 試料投入口模式図

ロオープンを作成した。0.1mm 白金フィラメントに 30~50W相当の電力を供給する。また、フラーレンは内径4mmの石英ガラス管に詰めて炉心に挿入される、そして約 800 程度で昇華すると考えられる。そのために炉心の素材には融点の高い石英ガラスを用いている。



図 5 マイクロオープン

6. 今後の展開とまとめ

本研究では、クラスターイオンビームを高強度に生成するために ECRIS をイオン源として採用した。そのためにイオン源をガス試料に加え固体試料をも使用できるように、試料投入口の改良、固体試料昇華用マイクロオープンの作成、を行った。

今後の計画としては、クラスターイオン生成のための最適パラメーターを探る。TOF 法でカーボンクラスターの崩壊定数などを測定して、ECRIS 内のクラスターの挙動を調べる。そして第 4 節の問題点で述べた、副生成物ヘテロフラーレンの生成制御の可能性を探る。といった研究が予定されている。

また将来、このイオン源は本研究室の高橋 康之氏によって行われている「 C_{60} クラスタービームと炭素薄膜相互作用研究」の線形加速器用イオン源として使用される予定である。この研究では、原子間衝突領域である数 KeV/amu 程度のエネルギーオーダーで、クラスタービームと炭素薄膜の相互作用を取り扱っている。

参考文献

- [1] E.Kolodney,B.Tsipinyuk and A.Bekkerman “THERMALLY ACTIVATED DECAY PROCESSES OF ISOLATED SUPERHOT C_{60} IN MOLECULAR BEAM”,Fullerene Science And Technology,6(1),67-102(1998)
- [2] R.Geller “Electron Cyclotron Resonance Ion Sources and ECR Plasmas”
- [3] S.Biri,A.Valek, and L.Kenez,A.Janossy,A.Kitagawa “Production of multiply charged fullerene and carbon cluster beams by a14.5GHz ECR ion source” REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS,volume73,number 2
- [4] 日本化学会編 “季刊 化学総説 No43、1999 炭素第三の同素体 フラーレンの化学 ”