

[H27-04]

高速クラスターイオンの物質との相互作用の研究

Study on interaction of swift cluster ion with matter

鳴海一雅, 百合庸介, 千葉敦也, 山田圭介, 斎藤勇一

Kazumasa Narumi, Yosuke Yuri, Atsuya Chiba, Keisuke Yamada, Yuichi Saitoh

Department of Advanced Radiation Technology, Japan Atomic Energy Agency

Abstract

The interaction of cluster ions with several gas-targets and GAFCHROMIC films were investigated. The experimental results suggested the following. The acceleration efficiency of C_{60} ion by a tandem accelerator was improved using helium instead of nitrogen as a charge exchange gas. The possibility of production of a dimer cluster ion, C_2^+ , oriented beam axis was shown. GAFCHROMIC films were useful tool for measuring beam profile of C_{60} ion in the energy down to 10 keV/u.

Keyword: tandem accelerator, oriented cluster ion, GAFCHROMIC film

1. はじめに(「高速クラスターイオンの物質との相互作用の研究」(鳴海 G))

C_{60} イオンを中心としたクラスターイオンと物質との相互作用の研究を行い、クラスターイオンビームを用いた分析技術の高精度化及び照射効果利用研究の拡大に資することを目的とする。昨年度は以下の 3 つの研究を実施した。

2. 実験及び結果

2.1 クラスターイオンのタンデム加速器透過率向上に関する研究

タンデム加速器の荷電変換ガス種によりクラスターイオンの加速器透過率(タンデム加速器への入射負イオンに対して正イオンに変換され壊れずに加速されたイオンの割合)が異なる。そこで、透過率の高いガス種の傾向を調べている。これまでの研究により荷電変換ガスとして一般的に用いられている窒素に対してヘリウムを用いると透過率が改善し、その改善率は、クラスター構成原子数が増加するほど大きくなることを、 C_{10} までの炭素クラスターを用いて実験的に明らかにした。今回、イオン源の性能向上でビーム電流が増加したことにより実験が可能になった C_{60} について、窒素に対するヘリウムガスを

用いた改善率を調べた。その結果、 C_{10} よりも高い改善率が得られ、これまでの傾向と一致した。今後は、これらの傾向が出現する物理的メカニズムを考察し、クラスターイオンのタンデム加速器透過率向上に資する。

2.2 照射効果における配向依存性に関する研究

高速クラスターイオンの照射効果における配向(クラスターイオンの分子軸の進行方向に対する向き)依存性を明らかにするために、配向を制御したビームの形成を試みた。ガスターゲットを通過するクラスターイオンの解離断面積が配向に依存する可能性があることに着目し、ガスターゲット(Ar)を解離せずに通過した C_2 イオン(6MeV)の発散角分布をクーロン爆発イメージ法により測定したところ、ガスターゲットを通過させない C_2 イオンよりも分布の平均値が小さくなる結果を得た。配向が進行方向に向くほど発散角も小さくなることから、この結果は、ガスターゲットを通過したことで配向度の高いビームが形成された可能性を示すものである。今後は、ガスの種類や密度と配向度の関係を調べると同時に配向性ビームによる照射効果を測定する予定である。

2.3 ガフクロミックフィルムのクラスターイオン照射に対する応答に関する研究

核子あたりの運動エネルギーが低い keV/u 級の単原子や C_{60} 等のクラスターのイオンビームの強度分布やフルエンス分布を計測する技術の開発を進めている。従来、高分子フィルムの照射や酸化膜のスパッタリングによる変色から照射野を確認することができるが、いずれも非常に高い照射量が必要であり、正確な評価は容易ではない。そこで、我々は、イオンビームの 2 次元フルエンス分布を高い空間分解能で簡便に計測する手法として、放射線治療の線量分布計測等に広く用いられているラジオクロミックフィルム(Ashland Inc.[1])に着目した。中でも、モデル HD-V2

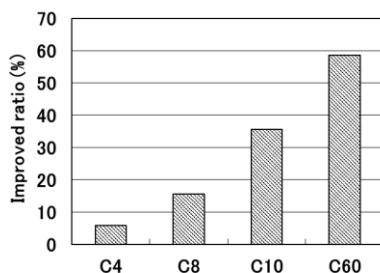


Fig. 1 The improved ratios of the maximum transmissions of C_4 - C_{60} ions with the helium target to those with the nitrogen target.

[H27-04]

は、放射線感受層が薄膜で覆われておらず、低エネルギーイオンの照射でも着色し、分布計測への適用が期待できる。そこで、本研究では、量子機構高崎研のイオン照射研究施設 TIARA のサイクロトロン、タンデム加速器、イオン注入装置を用いて、HD-V2 のイオン照射応答を系統的に調べた。

HD-V2 フィルムは、ラジオクロミックモノマーを含む厚さ約 $12\mu\text{m}$ の感受層が、厚さ約 $100\mu\text{m}$ のポリエステル基材上に成膜されたものである。照射したフィルムの着色の度合いを吸光度の変化として定量化し評価・解析するため、汎用のスキャナ ES-10000G (EPSON) を用いてフィルムを 508dpi の解像度で読み取り、48bit の RGB 値を得た。さらに、以下の式により、RGB 値 (I) から吸光度 (OD) を求めた： $\text{OD} = \log_{10}(65535/I)$ 。

実験では、18keV から 320MeV までの 7 点の異なるエネルギーの炭素イオンビームを $107\sim 1014\text{ions/cm}^2$ の広いフルエンス範囲で HD-V2 に均一に照射した。その結果、120keV 以上で吸光度がフルエンスに比例して増加する領域があることが分かった。ビームエネルギーが低いほど、この比例領域は狭く、高いフルエンス側へシフトするものの、上述した従来法に比べて数桁も低いフルエンスであった。他方、36keV や 18keV のビームでは、照射による吸光度変化は小さく、分布計測は事実上困難であった。

以上より、ガフクロミックフィルム HD-V2 が 10keV/u 程度までの低エネルギーイオンビームの強度分布計測に利用できることを明らかにした。今後は、C60 等のクラスターイオン照射応答を調べ、単原子イオンとの比較を進める計画である。

参考文献

[1] <http://gafchromic.com/>