

[H27-4]

## 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, 平野貴美, 斎藤勇一

Kazumasa Narumi, Yosuke Yuri, Atsuya Chiba, Keisuke Yamada, Yoshimi Hirano, Yuichi Saitoh  
Department of Advanced Radiation Technology, Japan Atomic Energy Agency

#### Abstract

The interaction of  $C_2^-$  with a helium gas-target and that of  $C_n^+$  ( $n=1, 3, 4, 8, 60$ ) with GAFCHROMIC films were investigated. The destruction cross section of  $C_2^-$  colliding with helium atom was obtained. The  $C_{60}$  ion irradiation effect for coloration of GAFCHROMIC films was revealed.

**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))

クラスターイオンと物質との相互作用の研究を行い、その基礎的性質等を明らかにすることにより、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などの拡大に資することを目的とする。昨年度は以下の2つの研究を実施した。

#### 2. 実験及び結果

##### 2.1 クラスターイオンとガス相の相互作用の研究

基本的相互作用であるガス標的との1回衝突による解離・荷電変換断面積( $\sigma_d \cdot \sigma_p$ )に着目し、クラスターイオン特有の立体構造等の反応機構への寄与を調べている。今年度はその一環として、標的ガスにヘリウム、クラスターイオンに  $C_2$ 、エネルギーが  $1.25\text{MeV/atom}$  の条件における  $\sigma_d$  を実験により導出した。【導出方法】タンデム加速器を用いて、標的となるヘリウムを荷電変換ガスとして、加速器に入射させたクラスターイオン電流  $I_{in}$  と加速後の解離せずに荷電変換されたクラスターイオン電流  $I_{out}$  とその時の荷電変換ガス圧  $P_{gas}$  をそれぞれ測定する。 $I_{in}$

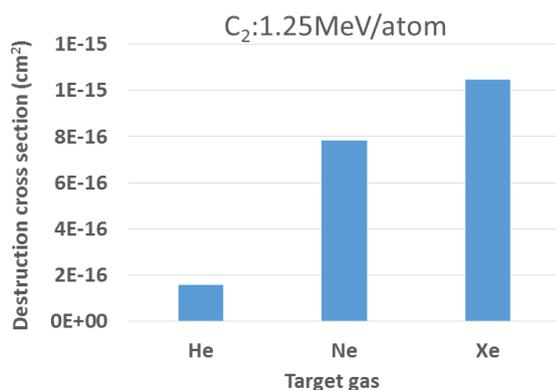


Fig. 1 The destruction cross sections of  $C_2$  ( $1.25\text{MeV/atom}$ ) collided with target gases of helium, neon and xenon.

と  $I_{out}$  の比  $R_c$  と  $P_{gas}$  の関係のグラフ( $R_c$ )を  $\sigma_d$  と  $\sigma_p$  を含むレート方程式でフィッティングすることにより導出する[1]。【結果】Fig.1 にこれまでに取得したネオン及びキセノン標的の結果と合わせて測定した解離断面積を示す。定性的には標的ガスのファンデルワールス半径等の物理的サイズが小さくなるほど  $C_2$  の解離断面積も小さくなり、これまでの傾向と一致した。しかし、定量的にはヘリウムを標的としたときの  $\sigma_d$  が、標的ガス原子の物理的サイズの減少から予想される値に対して、より小さな値であった。今後、2原子イオンの配向を考慮した考察を進める。

##### 2.2 ガフクロミックフィルムのクラスターイオン照射応答に関する研究

MeV 級クラスターイオンビームのプロファイルを測定する手法として、ガフクロミックフィルム[2]に着目し、その適用可能性を調べている。平成 27 年度までに、HD-V2 フィルムの単原子イオン照射による着色応答(吸光度変化)のエネルギー依存性等を調べ、 $10\text{keV/u}$  オーダーのビームで使用できることを明らかにした[3]。そこで平成 28 年度は、同程度の核子あたりエネルギーを有する MeV 級クラスターイオンの照射による HD-V2 の吸光度変化を系統的に調べた。

吸光度の変化は、文献[3]に倣い、光学スキャナを用いてフィルムを読み取ることで定量化した。イオン照射の結果を Fig. 2 に示す。HD-V2 に  $12.5\text{keV/u}$  ( $150\text{keV/atom}$ ) の炭素クラスター  $C_n$  (クラスターサイズ  $n = 1, 3, 4, 8, 60$ ) を照射し、それに伴う吸光度変化を原子数に換算したフルエンスの関数としてまとめてプロットした。吸光度変化は、 $C_1 \sim C_8$  イオンを照射した場合、サイズ  $n$  の違いによる有意な差はなく、各点がひとつの曲線上に乗っているように見える。他方、 $C_{60}$  イオンの照射では、 $C_1 \sim C_8$  に比べて、高フルエンス側にわずかにシフトしており、低フルエンス領域で明らかに吸光度が小さい。すなわち、 $C_{60}$  イオン照射では着色の感度が低下した。ガフクロミックフィルムの着色は放射線による重合反応に起因する[2]。 $C_{60}$  クラスターイオンによる高密度のエネ

[H27-4]

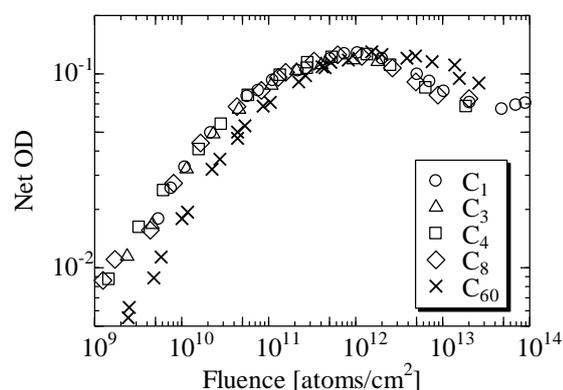


Figure 2: Net optical density response of HD-V2 films irradiated with monoatomic and cluster C ion beams of 150 keV/atom. The ODs are plotted as a function of the atom fluence.

ルギー付与のため、局所的な重合反応とそれに伴う着色が飽和し、感度が低下したと考えられる。さらに、感度低下の要因として、着色した感受層の表面が C<sub>60</sub> イオンによってスパッタされることも考えられる。

以上より、C<sub>60</sub> クラスターイオンの照射により、ガフクロミックフィルムの着色応答にクラスター効果があることが示唆された。ビームプロファイルや照射の測定については、単原子イオンの場合と同様に [3]、Fig. 2 よりクラスターイオンについてもフルエンス吸光度の回帰曲線を求めることで、測定した吸光度分布から 2 次元強度分布を得ることができる。

#### 参考文献

- [1] F. Ames et al., Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res. B 112(1996) 64.
- [2] A. Niroomand-Rad et al., Med. Phys., 25 (1998) 2093.
- [3] Y. Yuri, K. Narumi, and T. Yuyama, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 828 (2016) 15.