

宇宙環境を模した混成放射線場環境での固体飛跡検出器の性能特性評価

Applicability of etched track detectors for the mixed radiation field in laser driven acceleration experiments

山内 知也¹⁾

Tomoya YAMAUCHI

西内 満美子²⁾

Mamiko NISHIUCHI

¹⁾神戸大学

²⁾原子力機構

(概要)

フェムト秒レーザーの固体ターゲット実験において数十 MeV 程度のプロトンやヘリウムイオンおよび重イオンが加速されることが知られている。その加速機構の知見を得る上で、異なるイオン種の加速エネルギー、空間分布を計測することは非常に重要である。しかしながら、加速されるイオン種ごとのエネルギースペクトルの取得は行われているが、空間的な分布に関しては実験的な確認が十分には行われていない。本研究では、プロトンに対して感度を持たない、検出閾値の高い固体飛跡検出器を用いた実験を行い、アルミニウムイオンよりも重たいイオンの発生を確認した。また、炭素あるいは酸素イオンと見られるイオンの発生も検出した。確認されたアルミニウムイオンと炭素イオンの最大エネルギーは、それぞれ、200 MeV (=7.4 MeV/n) および 175 MeV (=14.6 MeV/n) であった。異なる検出閾値を有する固体飛跡検出器の活用が、レーザー駆動イオン加速におけるビーム診断に有効であることが明らかになった。これは宇宙環境を模した放射線場の評価にもこれら飛跡検出器の組合せが有効であることを意味している。

キーワード : レーザー駆動イオン加速、重イオン検出、固体飛跡検出器

1. 目的

レーザー駆動イオンビームは高エネルギーの電子線や X 線が同時に発生するため、プロトンや重イオンを検出・計測するためにはプロトンもしくは重イオンに対してのみ感度を有するような検出器を使用しなければならない。そのような検出器として CR-39 という商標で知られるポリアリル・ジグルコール・カーボネート (PADC) が広く使用されている。これは現在のところ最も高い感度を有するエッチング型飛跡検出器であり、高エネルギーのプロトンやヘリウムイオンの計測において成果を上げている [1, 2]。レーザープラズマからは発生しているイオンはターゲットの表面に付着している油分や水分中のプロトンおよびカーボン、酸素イオンが加速されることが知られているが、PADC 検出器の表面に大量のエッチピットが生じる場合にはイオン種が判別できない。このような場合にはプロトンやヘリウムに対しては感度を持たない検出器の利用が考えられる。さらに炭素や酸素イオンに対して感度を持たない検出器を組み合わせるならば、ターゲットそのもの (例えばアルミニウム等の金属) が加速されることによる、アルミニウムイオンや鉄イオンの計測が可能となる。レーザープラズマから発生する重イオンを識別して計測するために、種々の検出感度を有するエッチング型飛跡検出器をスタックにした検出器の適用可能性を調べる。

2. 方法

実験は関西光科学研究所の J-KAREN を用いて実施した。ターゲットはアルミニウム薄膜であり、オンターゲットレーザーエネルギーは 8 J 程度であった。使用した飛跡検出器は、ポリイミドの一種であり耐放射線・耐熱材料として知られている Kapton と一般的な工学プラスチックであるポリエチレン・テレフタレート (PET) であった。Kapton はプロトンやヘリウムイオンはもとより、炭素や酸素イオンに対しても感度を持たないことが知られており、最近になって飛跡検出器として利用可能であることが指摘されてきている [3, 4]。PET は PADC が知られる以前には頻繁に使用されていた飛跡検出器であったが、プロトンにもヘリウムにも感度を持たないということ

最近ではあまり使用されなくなっている[5]。しかしながら、大量のプロトンが存在する中で重イオンのみを弁別して計測するには相応しい素材であると言える。実験には 125 μm 厚の Kapton と 100 μm 厚の PET を使用した。レーザー駆動イオンビームの上流側から Kapton + PET + PADC という順番でスタックにした。

3. 結果及び考察

幾つかの実験において Kapton 上にエッチピットを確認した。ターゲットの素材やエッチピットの大きさから判断してアルミニウムイオンであると考えられる。図 1 (a) は最も前面においた Kapton 試料上に形成されたエッチピットである。ビームの中心軸から離れているために楕円形状になっている。図 1 (b) は 2 枚目の Kapton 試料に形成されたエッチピットである。中央の比較的高いコントラストを持ったピットとその右上にあるものがアルミニウムイオンのピットであると考えられる。125 μm 厚の Kapton を突き抜けているところから判断してアルミニウムイオンのエネルギーは 200 MeV ($=7.4 \text{ MeV/n}$) を上回っていると考えてよい。PET に対する同様の実験によれば 2 枚の Kapton と 5 枚の PET を突き抜けたところにもピットが観察された。これが炭素イオンのピットであるとすれば、そのエネルギーは 175 MeV ($=14.6 \text{ MeV/n}$) を越えていると評価できる。

以上のように、種々の感度を有する複数の固体飛跡検出器を利用してレーザー駆動イオンビーム中の重イオンを弁別計測する端緒が切り開くことができた。

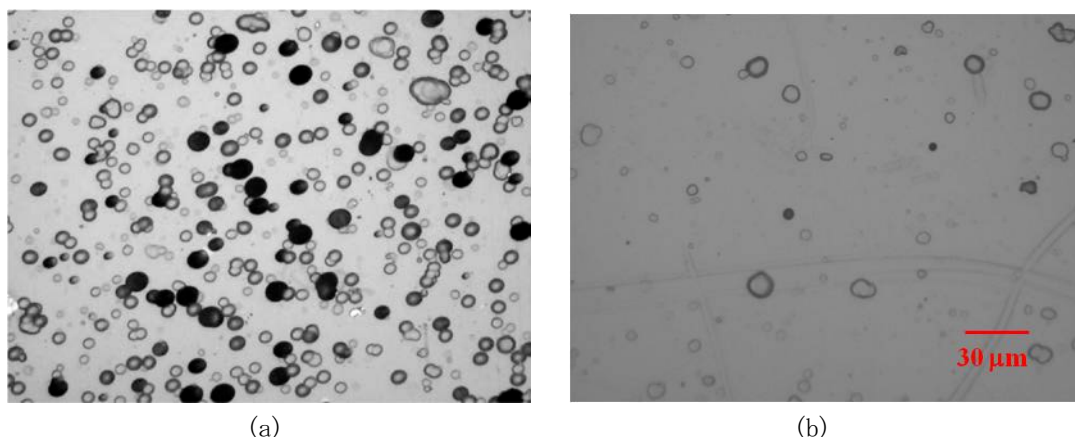


図 1 Etch-pits on Kapton films of the 1st layer (a) and the 2nd (b).

4. 引用(参照)文献等

- [1] Y. Fukuda et al., 2009. Energy Increase in Multi-MeV Ion Acceleration in the Interaction of Short Pulse Laser with a Cluster-Gas Target, *Phys. Rev. Lett.* **103**, 165002.
- [2] M. Nishiuchi et al., 2012. Quasi-monochromatic pencil beam of laser-driven protons generated using a conical cavity target holder, *Phys. Plasma* **19**, 030706.
- [3] Tomoya Yamauchi et al., 2013. Applicability of Polyimide Films as Etched-Track Detectors for Ultra-Heavy Cosmic Ray Components, *Appl. Phys. Exp.* **6**, 046401.
- [4] Tomoya Yamauchi et al., 2013. Applicability of the polyimide films as an SSNTD material, *Radiat. Meas.* **50**, 16–21.
- [5] Fleischer, R. L., Price, P. B., Walker, R. M., 1975. Nuclear Tracks in Solids: Principals and Applications. University of California Press, Berkeley, CA.