

※課題番号 : F-12-NU-0076
 ※支援課題名 (日本語) : 超高分解能原子核乾板におけるイオン注入装置を用いた低速イオン飛跡における検出器性能評価
 ※Program Title (in English) : Evaluation for Low-velocity Ion Tracking using the Ion-Implant System of the High Resolution Nuclear Emulsion
 ※利用者名 (日本語) : 中 竜大
 ※Username (in English) : NAKA Tatsuhiro
 ※所属名 (日本語) : 名古屋大学 高等研究院 兼 素粒子宇宙起源研究機構・現象解析研究センター
 ※Affiliation (in English) : Institute for Advanced Research, Kobayashi-Maskawa Institute for the Origin of Particles and the Universe・Center for Experimental Studies, Nagoya University

※概要 (Summary) :

本研究では、独自開発した 10nm オーダーサイズの超微粒子ハロゲン化銀結晶*1 を用いた高分解能原子核乾板*2 による、方向感度を持つ暗黒物質探索実験*3 に向けた検出器開発を行っている。この際、イオン注入装置は、想定される暗黒物質の疑似的なシグナルを作り出すことができるため、検出器性能評価において非常に重要なツールである。今回、これを用いて、独自開発した光学顕微鏡ベースの自動解析システムによるサブミクロン飛跡の検出性能をはじめて定量的に評価することができた。

※実験 (Experimental) :

本実験では、ハロゲン化銀サイズ 44.6 ± 0.4 nm の高分解能原子核乾板をフィルム状にしたものをイオン注入装置にセットし、フィルムに対して、約 7° 水平方向にイオン入射した。使用したイオンは、 $\text{CO}_2 \cdot \text{Ar}$ 混合ガスから取り出した C イオンで 80-200keV のエネルギー範囲を用いた。

C イオンを打ち込んだ試料を現像(MAA 現像液を使用)し、独自開発した光学顕微鏡ベースの解析システムで自動解析し、特に、角度分解能をモンテカルロシミュレーションと比較することで、エネルギーごとに評価した。また、解析システムの中で決めたシグナル領域における検出効率を dose 量と比較することで評価し、また同時に電子顕微鏡 (SEM) での飛跡形状の詳細な観察・評価も行った。

※結果と考察 (Results and Discussion) :

角度分解の評価は、Fig.1 のように、測定データと角度分解能を考慮したモンテカルロシミュレーションによる分布を比較することで評価した。その結果を Fig.2 に示した。Fig.2 から、80keV で約 30° 以下の角度分解能が達成されていることがわかり、また、エネルギーが増すことで、イオンの飛跡長が長くなることによる角度分解能が向上も見ることができた。

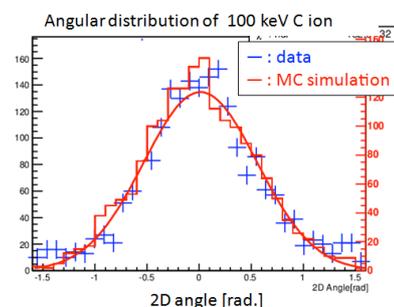


Fig.1 Comparison of angular distribution between the data and montecarlo simulation for 100 keV C ion

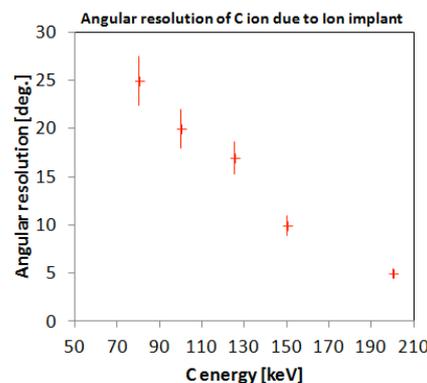


Fig.2 Angular resolution with the optical readout system for each of C ion energy.

検出効率は、今回我々が設定したシグナル領域では、80keV で約 10%、100keV で約 25%程度であり、さほど高い値を得られなかった。この原因を電子顕微鏡で調べると、現像銀のフィラメント構造、200nm 以下の飛跡を光学顕微鏡で識別できていないことに寄ることが分かった。また、電子顕微鏡レベルでは、例えば 100keV で 60%程度は出ているため、今後光学顕微鏡のさらなる改良が必要であることがわかった。

※その他・特記事項 (Others) :

・今後の課題

今後、このイオン注入装置を用いた手法をベースにし、検出器および解析システムをさらにアップグレードさせることで、暗黒物質探索実験に最適な検出器の開発を行っていく。

・用語説明

*1：通常、AgBr・I 結晶を用いる

*2：荷電粒子の飛跡を三次元的に記録できる特殊な写真フィルム

*3：宇宙全体の 24%を占めている未知の粒子(重力源)。素粒子・宇宙物理学における最大の問題の一つ。

共同研究者等 (Coauthor) :

浅田貴志 (名古屋大学大学院理学研究科)

桂川貴義 (名古屋大学大学院理学研究科)

吉本雅浩 (名古屋大学大学院理学研究科)

袴田香奈子 (名古屋大学大学院理学研究科)

石川めぐみ (名古屋大学大学院理学研究科)

論文・学会発表

(Publication/Presentation) :

K. Kimura and T. Naka “Submicron track readout in fine-grained nuclear emulsions under optical microscopy.”, NIM A 680 (2012) 12-17

T. Naka, T. Asada, T. Katsuragawa, K. Hakamata, M. Yoshimoto, K. Kuwabara, M. Nakamura, O. Sato, T. Nakano, Y. Tawara, G. De Lellis, C. Sirignano, N. D’Ambrossio, “Fine Grained Nuclear Emulsion for Higher Resolution Tracking Detector”, NIMA 55089, DOI:10.1016/j.nima.2012.11.106

IDM2012 conference, Tatsuhiro Naka “ Directional Dark Matter Search with Nuclear Emulsion”, 2012, July 24, Chicago, USA

Cosmic Frontier Workshop2013, Tatsuhiro Naka “Directional Dark Matter Search with Nuclear Emulsion”, 2013, March 7, SLAC, USA

日本物理学会年次大会 中 竜大「エマルジョン暗黒物質方向性探索実験における開発状況-全体報告-」
2013年3月、広島大学

関連特許 (Patent) :

なし