

課題番号 : F-19-NU-0006
利用形態 : 機器利用
利用課題名(日本語) : 暗黒物質探索用固体型飛跡検出器としての超高分解能原子核乾板における低速イオン飛跡検出性能の評価
Program Title(English) : Evaluation of detection performance to low-velocity ions for super-high resolution nuclear emulsion as slid tracking detector for direction sensitive dark matter search
利用者名(日本語) : 中竜大^{1),2)}, 梅本篤宏³⁾, 小林龍太³⁾
Username(English) : T. Naka¹⁾, A. Umemoto²⁾, R. Kobayashi³⁾
所属名(日本語) : 1) 東邦大学理学部, 2) 名古屋大学素粒子宇宙起源研究機構・現象解析研究センター, 3) 名古屋大学大学院理学研究科
Affiliation(English) : 1) Faculty of Science, Toho University, 2) Kobayshi-Maskawa Institute・Center for Experimental Studies, Nagoya University, 3) Graduate School of Science, Nagoya University
キーワード/Keyword : ドーピング、イオン注入装置、原子核乾板、暗黒物質

1. 概要(Summary)

本研究は、独自に開発した超高分解能の荷電粒子飛跡検出デバイスである超微粒子原子核乾板 (Nano Imaging Tracker : NIT) を検出デバイスとする方向感度を持たせた宇宙の暗黒物質検出を目的としたものである。イオン注入装置は、暗黒物質信号の疑似信号として用いることができ、数 10-100 keV の炭素イオンを NIT に入射することで NIT デバイスの飛跡検出器としての性能評価を行うことができる。今年度、イオン注入装置を用いた低エネルギー領域の飛跡検出性能を NIT の結晶サイズをあえて 40 nm から 70 nm へ大きくし、さらに画像処理アルゴリズムの改良による性能向上を図ることで、初めて 30 keV の炭素イオンにおける方向感度を持たせることに成功した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

イオン注入装置

【実験方法】

独自製造した NIT デバイスをプラスチック基板に塗布し、亜硫酸ナトリウムを用いた処理液で増感処理を行ったフィルム状デバイスをイオン注入装置用サンプルマウントにセットし、30 keV の炭素イオンを照射し、その後、現像処理することで、解析可能な状態にした。NIT を構成するハロゲン化銀結晶サイズは 70 nm (サイズ分散 9 nm) に調整した。現像したデバイスは、独自開発した光学顕微鏡ベ

ースの自動解析システム(PTS)を用いて、信号解析を行った。PTS によって読み出された画像は、楕円形状をトリガーするための画像処理によって飛跡認識を行う。しかし、これまでの楕円形状解析では、ピクセルの影響によって角度分布精度が悪く、低エネルギーの粒子飛跡の方向分布の取得には至っていなかった。本研究では、フーリエ変換法(FFT)による周波数選別と輝度モーメントの選別によるよりスムーズな形状認識の効果も含め検証を行った。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

ハロゲン化銀結晶サイズ 70 nm の NIT(NIT-70)に対し、イオン注入装置において炭素イオン 30 keV を水平角 10° で照射し、PTS システムによって取得した角度分布を Fig. 1 に示す。30 keV の炭素イオンにおける NIT 中での平均飛程は 100 nm 程度であり、飛程の広がりには 50 nm 程度であり光学分解能よりも小さいが、結晶サイズを大きくすることによって、飛跡像の拡大効果によって方向情報を取得できるようになったと期待される。また、今回、FFT をベースにした新たな画像処理の効果による、ピクセルの影響が小さくなったことも要因の一つである。方向感度を取得できる効率は 2%程度であるが、暗黒物質探索実験においては、低エネルギー閾値化は、その探索感度を一桁以上向上させることから、将来の暗黒物質探索における探索可能な質量領域とより小さい反応断面積探索の拡大において重要な知見が得られた。

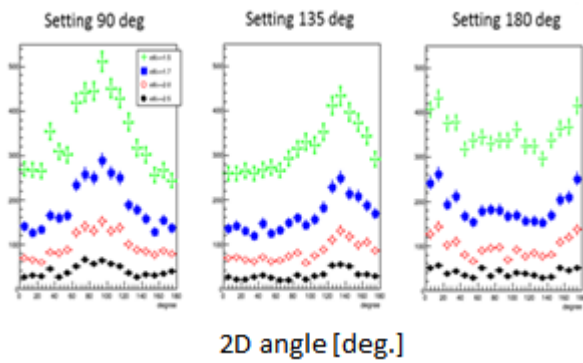


Fig. 1 Angular distribution of C 30 keV detected by PTS and FFT image processing depending on sample angle. Each color plots (green, blue, red and black) indicate elliptical shape parameter cut of 1.5, 1.7, 2.0 and 2.5 respectively.

4. その他・特記事項(Others)

- ・科研費 基盤研究(A)「超微粒子原子核乾板と超解像飛跡解析法による方向感度を持った暗黒物質探索実験」18H03699
- ・新学術領域研究(研究領域提案型)「方向感度を持つ暗黒物質探索」, 19H05806

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) Atsuhiko Umemoto, Tatsuhiko Naka, Andrey Alexandrov and Masahiro Yoshimoto, PTEP 2019, 013D02 (2019)
- (2) Ryuta Kobayashi, CYGNUS 2019 seventh workshop on directional dark matter searches (invited) 10-12 July 2019 Sapienza Piazzale A.Moro, 2 - Roma, Italy
- (3) 梅本篤宏, 「エマルジョン暗黒物質探索実験 NEWSdm(2)～地下実験に向けた現状報告～」2019年日本物理学会秋季大会, 2019年9月19日, 山形大学

関連特許(Patent)

なし。