

2020(令和二)年度 共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：3次元シリコン半導体検出器を用いた電子飛跡コンプトンカメラの開発

英文：Development of an advanced Compton camera using SOI pixel semiconductor

研究代表者 仙台高等専門学校 総合工学科・助教・加賀谷美佳

参加研究者 片桐 秀明（茨城大学理学部・准教授）、田邊 結（茨城大学大学院理工学研究科・M2）、新井 康夫（高エネルギー加速器研究機構・特任首席 URA）、三好 敏喜（高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所・研究機関講師）、武田 彩希（宮崎大学工学部・准教授）、島添 健次（東京大学工学系研究科・特任准教授）、上ノ町水紀（理研・学振 PD）、鶴 剛（京都大学大学院理工学研究科・教授）、田中 孝明（甲南大学理工学部・准教授）

研究成果概要

Sub-MeV および MeV 領域のラインガンマ線の観測は、超新星残骸における元素合成プロセスの解明や、宇宙線の起源の解明、暗黒物質探査など様々な高エネルギー天体現象を明らかにするためのプローブとなる。このエネルギー帯の観測では、バックグラウンドガンマ線の多さが問題となっており、バックグラウンドを低減させ、高い感度を実現することが観測装置開発の大きな目標となっている。バックグラウンドガンマ線を低減させるためには、エネルギー分解能に優れた半導体検出器が適している。また、このエネルギー領域においては、コンプトンカメラが適しているため、半導体を用いたコンプトンカメラが観測に有用であると考えている。さらに、電子飛跡検出型コンプトンカメラの場合には、入射ガンマ線が検出器でコンプトン散乱を起こす際にはじき出される電子の飛跡を捉えることで、ガンマ線の到来方向を一意に決めることができる。そこで、本研究では、シリコンピクセル半導体検出器（SOIPIX）に着目し、ラインガンマ線検出に最適な電子飛跡検出型のコンプトンカメラの開発を進めている。

2020年度では、コンプトンカメラに特化したシリコンピクセル半導体検出器の開発に向けた設計構想を検討するために、Geant4 シミュレーションを用いて、ピクセルサイズを変化させた場合の電子飛跡のイメージおよびそれを用いた反跳方向の推定について評価を行った。ピクセルのサイズは $20\ \mu\text{m} \times 20\ \mu\text{m}$ と $10\ \mu\text{m} \times 10\ \mu\text{m}$ でシミュレーションを行い、これまで評価してきた $30\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$ を用いた場合の結果と比較した。シミュレーションでは、実験で使用する密封線源中の線源部分と同程度の線源サイズ（約 1 cm）に設定し、散乱角が 60 度となる位置に線源を設置して 511 keV のガンマ線を素子に対して一様に降らせた。吸収層に設置した CsI (TI) の結晶との同時計数イベントを選出し、散乱層と吸収層で得られたエネルギーの和が $511\text{keV} \pm 40\ \text{keV}$ 以内のものを選定した。反跳方向の推定は、まず、最もエネルギーデポジションの大きいピクセルの位置を

ブラッグピークとし、そこから最も離れたピクセルを反応点（電子飛跡の始点）とした。次に、反応点と隣り合った8つの各ピクセルのエネルギーの大きさを重みづけして、反跳方向のベクトルを決定した。シミュレーションでは、素子の検出面上における電子の反跳方向（ ϕ ）を変化させて、ピクセルサイズによる違いを比較した。

図1に、ある1つのイベントにおける電子飛跡のイメージの比較を示す。ピクセルサイズを細かくすることでより鮮明なイメージが得られることを確認した。イメージが鮮明になることで短い飛跡（散乱角が小さい場合）におけるブラッグピークと反応点の位置をとらえやすくなる。図2に推定した反跳方向の分布を示す。反跳方向の推定についてはピクセルのサイズに関わらず、素子検出面上で0度から60度までの反跳方向を推定することができた。反跳方向の推定精度はピクセルサイズによる違いはほとんどみられなかった。これは、1cm程度のサイズの線源を素子に対して約2cmの距離から照射しているため、実際には散乱角が60度となる角度以外にも様々な方向のガンマ線が素子に入射しているため、反跳方向の分布が広がってしまっていると考えられる。確認のために、シミュレーション上で素子中に電子を入射した場合には、分布の劣化が改善されていることがわかっているため、セットアップに起因するものであると言える。ただし、ピクセルサイズが10 μm の場合、他のサイズに比べて分布がより広がっており、エネルギースペクトル自体も劣化していたため、現在、原因を調査している。

今後は、ピクセルサイズにおける評価が終わり次第、深さ方向について調査を進める。現状では、素子の深さ方向における電子の反跳方向の推定が困難であることから、どの程度の精度で深さ情報を検出できれば、深さ方向を推定可能になるかという観点でシミュレーションを行い、今後の素子開発の設計構想を検討する予定である。

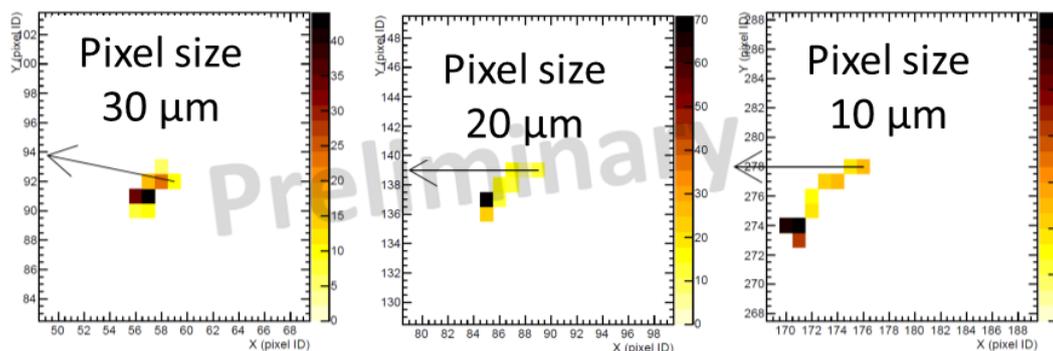


図1：ピクセルサイズを変化させたときの電子飛跡のイメージ

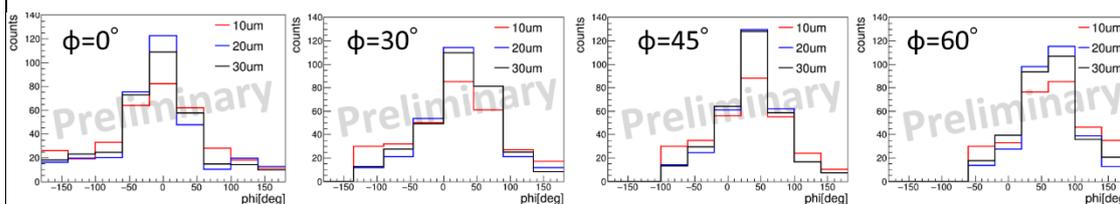


図2：飛跡のイメージから推定した電子の反跳方向の分布