

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24654065

研究課題名(和文) シリコン検出器による MeV 電子の 3 次元飛跡構成 - 高感度ガンマ線カメラへ向けて

研究課題名(英文) 3D track reconstruction of MeV electrons using the silicon detector -towards high-sensitivity gamma camera-

研究代表者

市川 温子 (Ichikawa, Atsuko)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50353371

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000 円、(間接経費) 870,000 円

研究成果の概要(和文)： ガンマ線カメラへの応用を視野にシリコンマイクロストリップ検出器を用いた MeV 領域電子の飛跡角度測定を試みた。

シミュレーションにより、5MeV の電子に対して、25 μm ストリップピッチの検出器のヒット多重度から角度情報を取り出せることを示した。実際には、50 μm ストリップピッチの検出器に ^{90}Sr 線源からのベータ線を照射して、信号をフラッシュ ADC で読み出した。ヒットの多重度の異なる事象の観測に成功した。今後、角度精度の評価には、 ^{90}Sr よりも高いエネルギーの線源を用いる必要がある。

研究成果の概要(英文)： For the application as the gamma-ray camera, we have tried the reconstruction of track angle for electrons having a few MeV energy by using the silicon micro-strip detector.

A simulation study showed that the angle information of 5 MeV electron can be obtained from the multiplicity of the hits by using a 25 micro-meter strip-pitch detector.

We have produced a prototype detector with a 50 μm micro-meter strip-pitch silicon device and measured the waveform for the beta-rays from ^{90}Sr . We observed events having different multiplicities. For the future, precision of the angle reconstruction should be evaluated by using sources whose energy is higher than that by ^{90}Sr .

研究分野：素物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：粒子測定技術 ガンマ線カメラ

1. 研究開始当初の背景

MeV 領域のガンマ線は、物質中の電子と相互作用して、高い確率でコンプトン散乱を起こす。その際に放出される電子のエネルギーおよび方向、そして、散乱されたガンマ線の方向、エネルギーを測定すれば、入射したガンマ線の到来方向を決めることができる(コンプトンカメラ)。従来のコンプトンカメラでは、電子の方向を測定していないため、ガンマ線の方向を一意的に決められない、すなわち円錐内での不定性が残ってしまうが、電子の方向も測定することができれば、ガンマ線一個一個に対して、その到来方向を決定することができる。したがって、通常のガンマ線カメラよりも高い感度で微弱なガンマ線源の特定等に活用できる。ガンマ線望遠鏡として、気球や衛星に搭載すれば、微弱なガンマ線源天体の観測に用いることもできる。MeV 領域でのガンマ線での天体観測は、他のエネルギー(波長)領域に比べて困難が多く、新しい検出器の開発が望まれている。

2. 研究の目的

ガンマ線一つ一つに対して方向を決定できるコンプトンカメラを実用化するには、MeV 程度の電子に対して、エネルギー分解能と放出時方向を精度よく測定することが重要である。しかし、このような電子は、物質中で簡単に多重クーロン散乱を起こすため、その測定は非常に難しい。そのために、従来のコンプトンカメラでは電子の方向は測定されていない。多重クーロン散乱を抑えるためには、密度や原子番号の小さい物質が好ましいが、そのような物質は、一般にエネルギー分解能が良くない。例えば、飛跡を測定するという意味ではガスを用いた検出器が優れているし、エネルギーを測定するという面では、原子番号の比較的大きなゲルマニウム半導体検出器が優れているが、それぞれの特徴は、もう一方の測定量に対しては欠点となる。電子の方向を測定するガンマ線カメラとしては、ガス検出器を用いた開発が進められているが、本研究では、新しい試みとしてシリコン半導体検出器に解決法を見出す事を目標とする。具体的には、シリコン半導体の単一素子内で電子の飛跡の素子厚み方向の情報を取り出す。このような検出器を多重に用いて、ガンマ線がシリコン素子内でコンプトン散乱して生成される数 MeV の電子の方向およびエネルギー、そして散乱ガンマ線の方向、エネルギーを測定すればガンマ線 1 個 1 個に対して到来方向を決定することが可能となり、ガンマ線カメラを構成することができる。(散乱ガンマ線については、光電吸収反応で位置を特定すれば、コンプトン散乱の位置と組み合わせで方向を決定できる。)

3. 研究の方法

荷電粒子の通過位置を測定するために用いられるシリコンマイクロストリップ検出

器は 300 μm 厚程度のシリコン半導体素子の表面にストリップ状の電極を配置したものである。両面に、互いに垂直方向にストリップを配置したものを両面型と呼び、各ストリップに誘起される信号を読みだすことで、2次元の位置情報を得ることができる。ここで、誘起される信号のチャンネル多重度及び波形から各チャンネルについてキャリアが厚み方向のどこで生成されたかの情報を得る。これらの情報より3次元で電子の飛跡を再構成する。

具体的には既製品のシリコンマイクロストリップ検出器(ストリップピッチ 50 μm 程度、厚さ 300 μm)を用いて、素子内での飛跡の3次元再構成を行う。MeV 電子のソースとしては、RI チェッキングソースを用いた。各ストリップからの波形信号を読みだすためのボードとしてガラスエポキシ素材のボードにプリント電極を配し、ワイヤボンディングでストリップと結合した。ボードからはケーブルで前置増幅器につなぎ、8チャンネルを同時に 250 メガサンプル/秒のフラッシュ ADC で波形情報として保存した。

また、Geant4 によるシミュレーションによって MeV 電子が上記のシリコンマイクロストリップ検出器に入射した際に期待される応答を評価した。

4. 研究成果

図 1,2 は 50 μm ピッチ、300 μm 厚のシリコンマイクロストリップ検出器に、電子がさまざまな角度で入射した場合のヒット数分布のシミュレーションによる予想である。2 MeV の電子では多重散乱の影響が大きくヒットするストリップが広がってしまっているが、5 MeV では、多重散乱の影響が小さく、ヒットの多重度から入射角度を再構成することが可能である。図 3 はストリップのピッチが 25 μm の場合のヒット数分布である。ストリップピッチを 25 μm にすることで、ヒット多重度による角度再構成の精度を上げられると予想される。

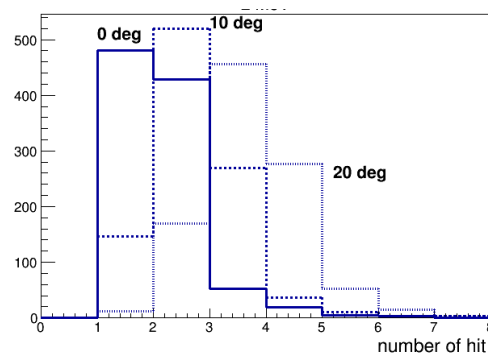


図 1. 2MeV の電子が 50 μm ストリップピッチの検出器に入射した場合のヒット数分布。シミュレーションによる評価。

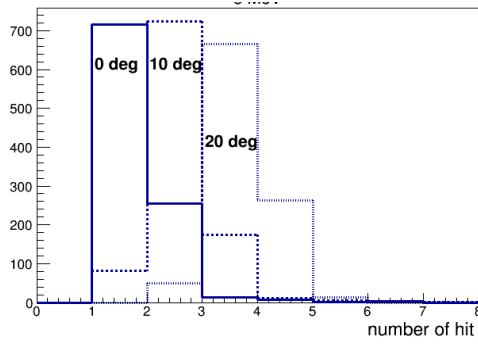


図 2. 5MeV の電子が 50 μm ストリップピッチの検出器に入射した場合のヒット数分布。シミュレーションによる評価。

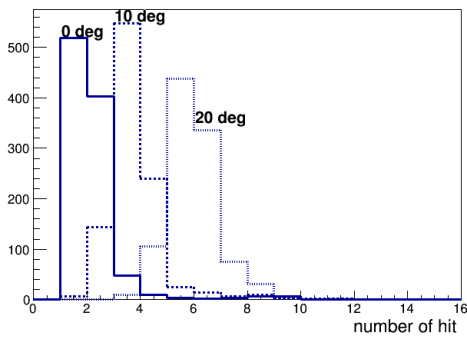


図 3. 5MeV の電子が 25 μm ストリップピッチの検出器に入射した場合のヒット数分布。シミュレーションによる評価。

図 3 は、シリコンマイクロストリップ検出器と読み出しボードである。



図 3. 製作したシリコンマイクロストリップ検出器読み出しボード。中央にあるのがシリコンマイクロストリップ素子である。

図 4 は読み出しボードを用いて測定した信号波形の例である。⁹⁰Sr 線源からのベータ線を照射している。図にあるようにヒット数の多重度の異なる事象が観測されているが、多重度や波形と入射角度の関係は良くなかった。⁹⁰Sr 線源からのベータ線は最高エネルギー 2.3 MeV の連続スペクトラムを持つためエネルギーが低すぎると考えられる。エネルギーの高い線源で、かつ高エネルギーの電子を選択するトリガーを製作して評価する必要がある。

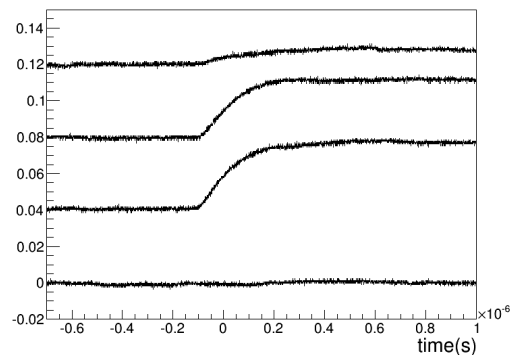
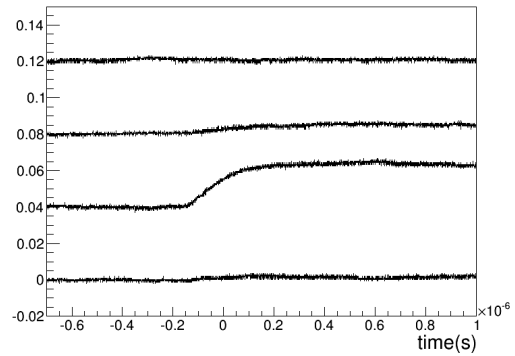


図 4 信号波形の例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 0 件)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：

国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市川 温子 (ICHIKAWA, Atsuko)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：50353371

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：