

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 28 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25461859

研究課題名(和文)低被爆診断を可能にするガンマカメラの高効率化研究

研究課題名(英文)High-efficiency gamma-ray imaging for low-dose inspection

研究代表者

房安 貴弘 (Fusayasu, Takahiro)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70399210

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：エックス線やガンマ線を用いた放射線診断における被爆量の低減を実現するため、高効率なガンマ線イメージング装置の開発研究を実施した。まず、光子を高効率に電子信号に変換するコンバータの試作を行った。また、STRIPIXと呼ばれる独自の集積回路を用いることにより、高効率化の実現を図った。被写体のエックス線透過像や、粉末結晶試料のエックス線回折像の取得実験を行い、システムとしての動作を実現した。

研究成果の概要(英文)：In order to establish low-dose inspection with X-ray or Gamma-ray, high-efficiency gamma-ray imager was developed. Firstly, photon-electron converter was designed and its prototype was fabricated. As for the readout system, an original ASIC called STRIPIX was used so that S/N ratio would be improved. For system verification, X-ray transmission imaging was performed. In addition, X-ray diffraction on powder crystal sample was demonstrated.

研究分野：高エネルギー物理学

キーワード：放射線計測 LSI 光電コンバータ 低被爆診断 エックス線 ガンマ線

1. 研究開始当初の背景

被曝リスクを伴う放射線診断は、リスクと比較して検査が有益と判断される場合に実施される。しかしながら、日本人の医療被曝量は世界の中でも突出しており、放射線診断による被曝が原因の発がんは、がん症者の3.2%を占めるといふ報告もある。

そこで申請者は、医療検査の撮像精度を維持しながら1回当りの被曝量を低減できるよう、超低被曝ガンマ線撮影装置の研究を行ってきた(引用文献)。ここでは、図1に示すように、ガンマ線を高効率に電子に変換する光電コンバータに、ガス電子増幅器(GEM)と呼ばれる電子増幅デバイスを組み合わせ、専用LSI(大規模集積回路)により信号処理することによって、低被曝かつ高速な撮像を可能にする。

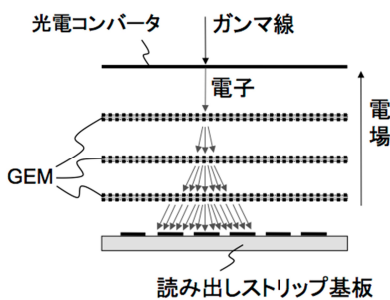


図1: ガンマ線イメージング装置の構造

これまでに、試作検出器を用いてイメージング実験を行い、20kVのエックス線管球により、エックス線像を得ることが出来た。しかしながら、662keVの高エネルギー・ガンマ線に対しては、0.007%という低い検出効率しか達成できず、イメージングにかった。これは、光電コンバータの物質質量から想定される効率より3桁低い数値である。原因として以下が考えられる。

光電変換で得られた電子が十分に排出されていない。排出された電子が十分な電荷量に成長せず、LSIが検知できていない。

GEMの電荷増幅率が不十分である。

2. 研究の目的

(1) 上記およびの問題は、光電コンバータの形状を調整することで改善が期待できる。コンバータは、図2に示すように、複数の鉛板と絶縁層とをサンドイッチ状に積層し、多数の孔を空けた構造である。鉛での光電効果で生じた電子は、密度の薄い絶縁層や孔部から排出される。電子が移動しながらガスを電離することで、電荷が成長する。このメカニズムは、鉛の厚さ、絶縁体の厚さ、層数、孔径、および孔のピッチなど、多数のパラメータに依存するため、その最適値を探索する必要がある。

一方、これまでに製作した光電コンバータでは、電極間の絶縁が不十分となり、電子の排出率を著しく妨げていた可能性が考えられる。これは製法上の課題である。そこで本

研究では、まず製法の改善を検討し、新たな製法によって光電コンバータの試作および評価を行う。

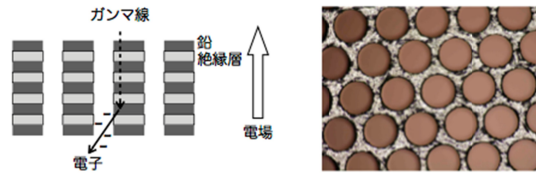


図2: 光電コンバータの構造(左)と写真(右)

(2) 光電コンバータから得られる電子を、更にGEMを用いて数千倍に増幅することで、効率良く検出することが出来る。しかしながら、増幅率を高く設定すると、時折発生する放電のエネルギーが大きくなり、読み出しLSI内に大きな電荷が誘起されて、LSIの入力回路が壊れやすくなる。そのため通常、LSI入力部には保護回路が置かれるが、保護が過剰であると、肝心の電荷測定精度を低下させてしまう。そこで、放電に対する耐性が高く、かつ信号増幅率を十分に持った新規LSIを開発・実装することにより、解決を図る。

3. 研究の方法

(1) 上記目的(1)のため、電場および電子のガス中の移動や増幅に関するシミュレーションを実施し、光電コンバータ形状のパラメータを最適化する。また、光電コンバータの製法を改善し、試作を行う。

(2) 上記目的(2)のため、研究代表者が参加している別のプロジェクト「QPix」において開発された準3次元ピクセル読み出しLSI(Quasi-3D Pixel readout LSI: QPiX)を元に、新規LSIであるSTRIPIXチップが開発され、このチップを用いることにより当該課題の克服を図る。

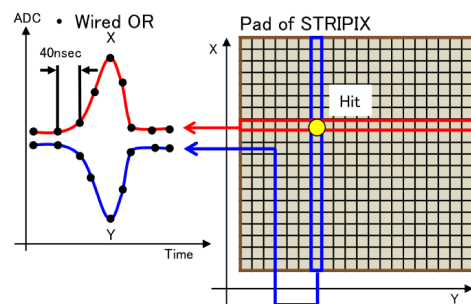


図3: STRIPIXチップでのWired-OR (引用文献)

STRIPIXチップは、5mm×5mmのLSIの上に200μm×200μmのピクセル型電荷収集電極を20×20個持っている。計400のピクセル信号はそのまま読み出されるのではなく、図3に示すように、各行・各列ごとにWired-ORと呼ばれる電流加算が行われ、あたかもストリップ読み出しであるかのように、20行+20列=40だけの読み出しチャンネル数で済み、後続のエレクトロニクスをコンパクトにする

ことが可能である。信号幅は約 200ns 程度であるので、この時間スロット内に複数の粒子が重ならない程度に入射頻度が低いアプリケーションであれば、X 座標と Y 座標の測定を通して入射位置を十分に特定できる。

STRIPIX を用いると、電荷入力ピクセルの面積に比例して、その静電容量も小さいことから、高い S/N 比が実現でき感度が向上するとともに、GEM の放電に対して高い耐性が得られる利点がある。

この研究では、200 μm のピクセル間隔はオーバースペックであり、一方、実用上は比較的大きなイメージング領域が必要である。そこで、低温焼成セラミック基板による、インターポーザと呼ばれる変換基板を用意して、0.5mm \times 0.5mm の面積を持つパッド（全体で 10mm \times 10mm のイメージング面積）に変換した。さらに、LSI を 4 個用いることで、20mm \times 20mm のイメージングを可能としている。ただし、後続の読み出し回路の制約から、本研究では 8mm \times 16mm のイメージング実験を行う。

(3) 図 4 にイメージング実験のセットアップを示す。初回の実験では 8mm \times 8mm のイメージングを実施した。ここでは検出部の上方に 30kV のエックス線管球を用い、銅の特性エックス線エネルギー 8.04keV にピークを持つエックス線を照射した。ここでは使用したエックス線エネルギーが低いため、光電コンバータは用いず、検出器筐体内部を満たしたアルゴンを中心とした混合ガスによる光電効果を利用している。

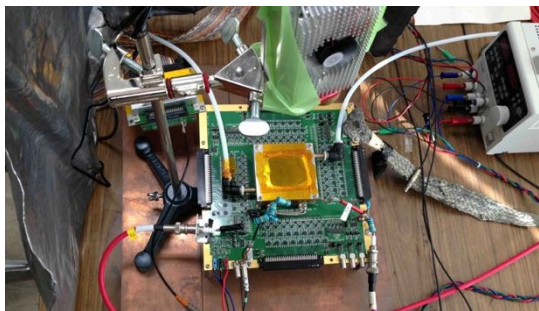


図 4: イメージング実験セットアップ

(4) STRIPIX チップの派生的な用途として、文化財研究におけるエックス線回折像の測定が挙げられる。従来のエックス線回折装置においては、強度測定する回折角を変化させるために、被写体に対するエックス線照射装置および検出器のそれぞれを、動的アームに設置して移動する必要がある。ところが、本研究で開発するようなイメージング装置を用いれば、広い範囲の回折角を一度に測定することが可能になるため、駆動部を減らすことが出来る。貴重な文化財に接触するリスクを低減するには、駆動部の削減は重要である。また、エックス線回折は幅広い分野で用いられるため、物性研究等の他分野においても、展開が期待される。例えば、構造が短時間し

か維持されない物質に対して、瞬時に回折像を得られる利点がある。

本研究では、粉末試料に対して得られるデバイーシェラー環の取得実験を行う。図 5 に示すように、試料の位置を移動することにより、STRIPIX に入射する位置が移動するはずである。このことにより、得られた像が確かにデバイーシェラー環であることを確認できる。粉末試料としては NaCl を使用する。図 6 に実験セットアップの様子を示す。

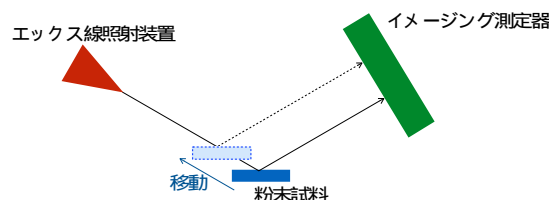


図 5: エックス線回折実験の装置配置

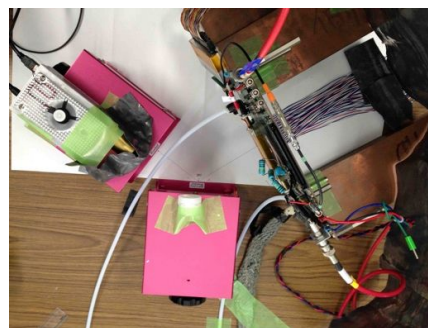


図 6: エックス線回折実験のセットアップ

4. 研究成果

(1) 光電コンバータの製法について、従前は鉛層と絶縁層を積層してからドリルにより孔開けしていたため、鉛層間で接触が起きていた可能性がある。そのため、本研究では加工のバリが出ないように、各層をそれぞれレーザーエッチングにより成形してから、層間を接着する手法とした。また、鉛の使用は実用上の問題があるため、代替材料としてタングステンを使用した。STRIPIX 用の検出器筐体に適合する寸法で、試作に成功した。製法の開発に時間および費用を要したため、その測定評価は今後の課題としたい。

(2) 低エネルギー（8keV）のエックス線を用いたイメージング実験として、図 7 に示すような縦線パターンの穴を持つ鉛板被写体に対し、図 8 のように適切なイメージ取得に成功した。



図 7: テストパターン

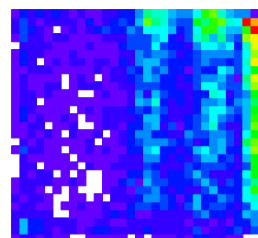


図 8: 取得イメージング像

(3) エックス線回折により取得されたデバイーシェラー環のイメージ像を図 9 および図 10 に示す。両者の違いは試料の位置である。図 5 により説明できる分だけ、イメージの位置が移動していることから、デバイーシェラー環が正しく得られていることが分かる。これにより、STRIPIX を用いた本ガンマ線（エックス線）イメージング装置が、エックス線回折の目的にも応用できることが示された。

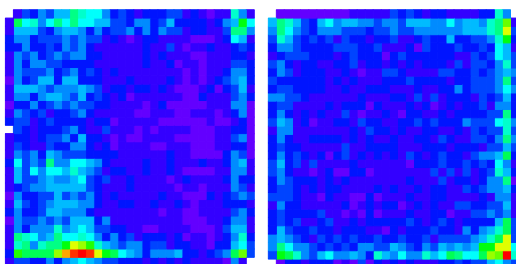


図 9: デバイーシェラー環のイメージ取得

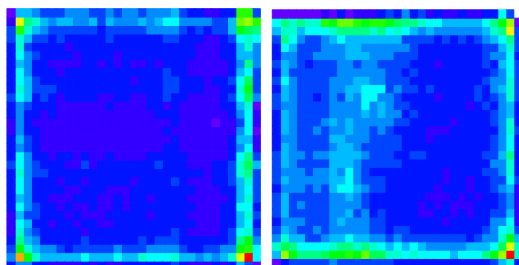


図 10: デバイーシェラー環のイメージ取得

<引用文献>

T. Fusayasu, *et al.*, The Large-Area Gamma-Ray Imaging Sensor with GEMs, 2012 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Record, N14-129.

宮下遼, ガスを用いたピクセル型検出器の開発, 佐賀大学工学系研究科・平成 25 年度修士論文

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)

[学会発表](計 2 件)

中北慎太郎, 杉山晃, 房安貴弘, STRIPIX チップを用いた 3 次元ガス検出器の読み出し回路開発, 第 121 回日本物理学会九州支部例会

中北慎太郎, 池野正弘, 犬塚将英, 内田智久, 杉山晃, 千代浩司, 田中真伸, 長谷川琢哉, 房安貴弘, 身内賢太郎, STRIPIX チップを用いたガス検出器によるイメージング測定評価, 日本物理学会 2016 年秋季大会(予定)

[その他]

ホームページ

<http://www-hep.phys.saga-u.ac.jp/>
(佐賀大学工学系研究科物理科学専攻
高エネルギー物理学研究室)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

房安 貴弘 (FUSAYASU, Takahiro)
佐賀大学・工学系研究科・准教授
研究者番号: 70399210