様式C-19

科学研究費補助金研究成果報告書

平成２３年　６月　１４日現在

機関番号：８２１１０
研究種目：若手研究(B)
研究期間： 2008 ～ 2009
課題番号：２０７６０５８９
研究課題名（和文）　紫外発光シンチレータとMSGCによる高分解能PET用新規検出器の開発

研究課題名（英文）　Development of a high position resolution gamma-ray detector using VUV scintillator and MSGC for PET application

研究代表者
藤田　薫（FUJITA KAORU）
日本原子力研究開発機構・次世代原子力システム研究開発部門・研究員
研究者番号：60401147

研究成果の概要（和文）：
安価かつ高位置分解能なリアルタイムγ線検出器の実現に向けた基礎研究として、本研究では放射線をシンチレータで光へ、その光を光電材料によって電子へと変換し、その電子をマイクロストリップガス比例計数管（MSGC）にて測定するというプロセスの実験的検証を行った。紫外光を電子へ変換する物質としてCsIをシンチレータに塗布した紫外発光フッ化物シンチレータを用い、シンチレータ上に放射線源を配置して測定を行った結果、有意な信号が観察できた。

研究成果の概要（英文）：
The radiation detection system using VUV scintillator combined with the micro-strip gas chamber was investigated to achieve a low cost and high resolution detector for high energy X/gamma ray. A detection system was constructed using CsI as photo-cathode material, and a significant signal was observed with the system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
２００８年度	1,900,000	570,000	2,470,000
２００９年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総　計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：放射線計測学
科研費の分科・細目：総合工学・原子力学
キーワード：計測工学、放射線工学、放射線検出器、紫外発光シンチレータ、MSGC、光電材料、CsI

１．研究開始当初の背景

(1) 紫外で発光するシンチレータの研究が意欲的に進められており、真空紫外領域で発光する材料も開発されている。中でもフッ化物系材料において積極的に結晶成長法の改善や材料の探索が行われ、大型かつ紫外光に対して透過度の高いものや高速性(蛍光寿命～20nsec)や大きな蛍光強度などの特性をもった結晶が創りだされていた。

(2) 陽電子放射断層撮影装置(PET)は癌の早期発見や生体の機能分析に対する期待の大きさにもかかわらず十分に普及しているとは言えない。普及を阻害している最大の原因は１施設あたり数十億となる莫大なコストである。コスト増大の一端となっているのがBGO、LSO、GSOなどのシンチレータと光電子増倍管(PMT)の組み合わせた陽電子消滅

γ線検出器部分である。この部分のコスト低減を目指し、海外では PETRRA などの開発が行われた。これは紫外シンチレータである BaF_2 が発する紫外光をテトラキスジメチルテトラエチレン(TMAE)を用いて電子に変換し、それを多線式比例計数管(MWPC)で検出するというものである。しかし、大気圧下では紫外光が吸収されるまでの距離が長いこと、また、MWPC ではアノード線間隔を 2mm 以下にすることが困難であることもあり、陽電子消滅γ線の入射位置検出分解能を高くできないという欠点があった。

２．研究の目的

(1) マイクロストリップガス比例計数管(MSGC)は絶縁体の基板の上に金属電極をパターニングしてアノードとカソードを交互に配置した基板を用いた比例計数管である（図１）。MWPC とは異なり、電極に静電力が加わっても伸縮しないため接触せず、アノードストリップ間、およびアノーストリップドとカソードストリップ間を狭い間隔で配置することが可能で、高空間分解能と高計数率を同時に達成できる。また、電極は基板に固定されているため機械的に安定しているので円周状に並べる等、自由な配置を容易に行うことができるという利点を有する。

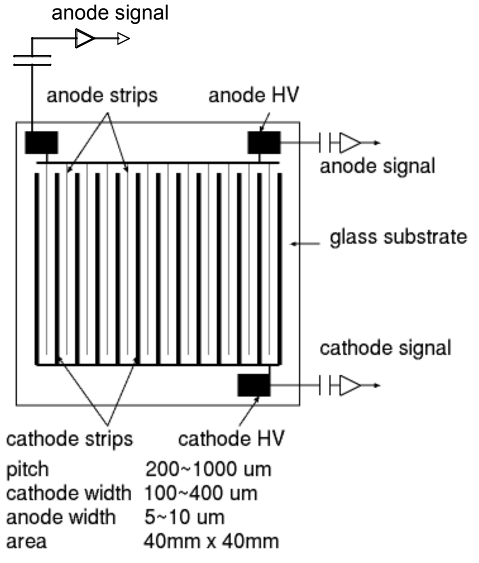

図１　MSGC 概念図

(2) 本研究は、新たに開発された大型結晶の製作性・高速応答性などの観点で将来性の高い紫外シンチレータと比較的安価な MSGC を複合することによって、高位置分解能でシングルフォトンカウンティングに対応可能なリアルタイム X/γ線検出器の実現に向けた基礎研究を行うことを目的とする。

３．研究の方法

(1) ガス比例計数管はリアルタイム計測性、シングルフォトンカウンティング能などを有する優れた検出器である。しかし、放射線による気体の電離作用を利用して検出原理であり、気体の密度が低さから一般的には高エネルギーの X/γ線が入射した場合反応せずに通過する確率も高い。そのため検出効率が低下し、同時計数などを行う場合には数え落としが増大する。そこで、シンチレータと組み合わせることによって、放射線の捕捉は固体であるシンチレータで、信号の取得はパルスカウントシステムを比較的安価に構築できるガス比例計数管で行えば、シングルフォトンカウンティングに対応可能な優れたリアルタイム高エネルギーX/γ線検出器が実現できると期待される。

(2) まず、システムの構成に影響の大きい光電材料の選択を行う。光電材料として気体状（トリエチルアミン）あるいは固体状(ヨウ化セシウム)の両方について適するものを選択する。気体状のものを選択した場合には、計数ガスの純化、動作時の圧力などを考慮したシステムが必要となるが、光電材料の加工が不要であり、紫外光により放出される電子の自己吸収が起こりにくい点では固体状光電材料に比べて優れていると考えられる。シンチレータ材料として、フッ化物系シンチレータから想定する検出方法に適した特性を有するものを選択する。

(3) 選択した材料を用いて、実際に放射線を測定できるシステムを構築し、想定したスキームで MSGC による検出の可能性を検証する。

４．研究成果

(1) 光電材料の選択

気体状の光電材料として、トリエチルアミン(TEA)を選択して、TAE 中でバブリングした Ar+CH4 の混合ガスを MSGC 基板をセットした容器に流すガスフロー方式で、大気圧下での放射線の検出特性を確認した。線源として Fe-55 からの X 線源を用いて、エネルギースペクトルを取得したところ、時間とともにエネルギーピークが移動する現象が観察された。アノード-カソード間に電圧を印加したまま、測定を続けると移動量が減っていき飽和する傾向が見られた。また、測定後に MSGC 基板を検査したところ、基板上に TEA を使用しないときには見られない付着物が観察されたため、TEA が電子なだれあるいは不純物などによって化学的に変化した成分の影響であると考えられる。MSGC 基板を温めて付着成分を揮発させながら動作させるという方法で改善できる可能性もあるが、システムが複雑になることから採用せず、このような問題の生じ難い固体上の光電材料を選択する

こととした。固体状光電材料として、真空紫外光への光電変換効率の高さなどを考慮しながら、これまでに利用された実績の多いCsIを選択することとした。

(2) 構築した測定システムの概要

放射線を照射されることでシンチレータから発せられる紫外光を、光電材料であるCsIによって電子に変換し、MSGCによって測定するシステムの構築を行い、その実証を試みた。シンチレータは発光効率の高いNd: LuLiF4の提供を受けられたため、実験に供した。大きさ10mmx10mmで2mm厚のシンチレータに対し、CsIを抵抗加熱真空蒸着法によって片面のみに塗布した。紫外光によってCsIから発せられる電子はエネルギーが小さく、CsIの厚みが大きすぎると大部分の電子がCsIによる遮蔽効果で放出されない一方、薄くしすぎると紫外光が透過する割合が増加して検出効率が低下する。これらの効果を考慮に入れてCsIの厚さは20nmとした。CsIの塗布面下にして金属メッシュの上に載せ、シンチレータの上面にAm-241の線源を保持した。メッシュの下には10mm程度の距離を置いてMSGC基板を配置した。MSGC基板はアノードとカソードのみではなく、表面電荷の蓄積を防ぐとともに大きな放電を防止する効果を得るために、アノード-カソード間にグリッドと呼ぶ中間電極を配したマルチグリッド型MSGC(M-MSGC)を用いた。大気圧のAr+CH4混合ガスを計数ガスとし、ガスフロー方式で実験を行った。実験体系を図２に示す。また、上記スキームにより得られた信号は、図３に示すようにプリアンプを通し、パルス整形の後、A/D変換を行いマルチチャンネルアナライザによってエネルギースペクトルを取得した。

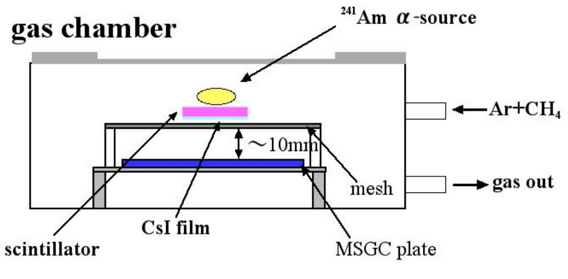

図２　実験体系概略図

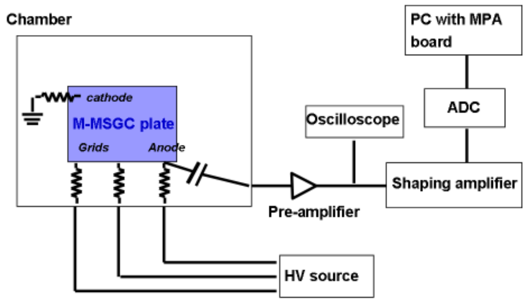

図３　信号処理体系概略図

(3) MSGCによる検出実証

上記の測定体系において、プリアンプからの出力をオシロスコープで観察した波形の例を図４に示す。明らかな信号が観察されており、構築した体系で信号が得られることが確認できた。次に測定体系で取得されたエネルギースペクトルを図５に示す。Am-241線源からの高エネルギーのα線によるシンチレーション光による光電子放出以外の効果、即ちAm-241からのγ線や散乱X線などによる影響を確認するため、CsI塗布面とメッシュの間にアルミフォイルを挟み、光電子の計数ガス中への放出を阻害し、それ以外は同様の条件で取得したデータと比較している。その結果、アルミフォイルを用いた場合に比べて有意な計数の増加が認められた。シンチレータを外し、同様の体系に置いてFe-55線源を用いてエネルギースペクトルを取得したところ、ピークは90ch程度であり、シンチレータを用いた体系では100ch以上にも計数が得られており、5.9keVのX線によって電離されて発生する電子数よりも、多くの電子が光電面から放出されていたものと考えられる。

Am-241から放出されるα線のエネルギーは5.4～5.5MeVであり、PETなどで検出対象とするγ線のエネルギーである511keVとは10倍程度のエネルギー差がある。しかし、α線によるシンチレーション発光はβ/γ線による発光に比べて小さく、酸化物系シンチレータでは5倍程度の違いがある。今回用いたシンチレータにおける発光効率差は不明であるが、光電面の厚さの最適化などによる改良と組合わせることで、511keVのγ線においても今回取得された信号と同程度の強度の信号が得られる可能性は高いと考えられる。以上により、紫外発光シンチレータとMSGCによる高エネルギー放射線の測定を想定したスキームで実証し、リアルタイム測定可能であることを確認できた。今後、コリメートされた高エネルギーγ線などを用いた検証、位置分解能の評価、システムの最適化などが求められる。

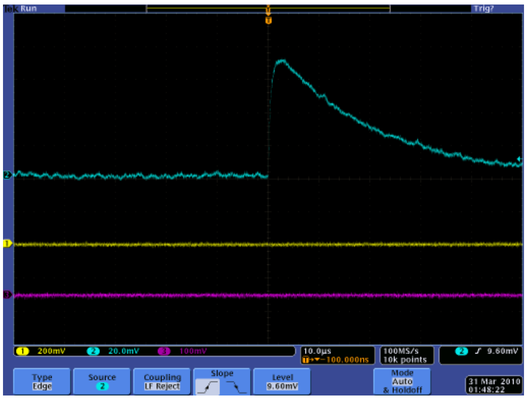

図４　プリアンプ出力例（水色の線）

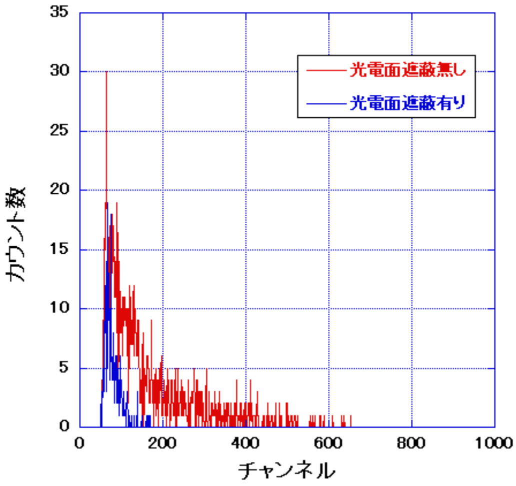

図５　取得されたエネルギースペクトル（赤色：光電子による信号、青：バックグラウンド）

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）

６．研究組織
(1)研究代表者
藤田　薫（FUJITA KAORU）
日本原子力研究開発機構・次世代原子力システム研究開発部門・研究員
研究者番号：60401147