

成果報告書

「中性子ビーム利用高度化技術の開発」
(中性子検出における信号処理技術の高度化に関する研究)

平成22年5月

国立大学法人東京大学

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、国立大学法人東京大学が実施した平成21年度「中性子ビーム利用高度化技術の開発」（中性子検出における信号処理技術の高度化に関する研究）の成果をとりまとめたものです。

1. 委託業務の目的

「中性子ビーム利用高度化技術の開発」

(中性子検出における信号処理技術の高度化に関する研究)

中性子偏極・集光・検出及びイメージングなどの中性子ビーム基盤技術研究を発展させ、その基盤技術を J-PARC 及び JRR-3 の中性子科学研究施設の高角散乱、小角散乱、イメージングの実験装置に導入し、中性子ビームの高品質化、高輝度化、高精度化を実現することで、これまで出来なかったナノ領域からマイクロ領域の階層的な磁性、軽元素、構造歪み、ダイナミクスなどの高精度の中性子計測を可能にすることを目的とする。

このため、独立行政法人日本原子力研究開発機構、国立大学法人北海道大学、国立大学法人東北大学、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、国立大学法人東京大学、国立大学法人京都大学と共同で業務を行う。

国立大学法人東京大学では、中性子検出における信号処理技術の高度化に関する研究を実施する。

2. 平成 21 年度の実施内容

2.1 実施計画

中性子検出における信号処理技術の高度化に関する研究

多信号出力検出器の信号処理を、より安価に且つ効率的に行う方法論についての研究を行う。そのため、他機関と連携し、既存の多信号出力検出器の信号処理法について調査を行い、改良すべき点の抽出及びその改良の方法について検討を行う。また、多信号出力検出器のモデルケースとして、マイクロストリップ管状検出器の実用化研究を行う。そのため、リソグラフィ技術を利用してマイクロストリップ基板の試作を行い、試作品の評価を通じて基板パターン及び製造プロセスの問題点の抽出を行い、信号処理系の製作を行う。さらに、本検出器による放射線計測の実地評価に着手する。

2.2 実施内容(成果)

現在、中性子散乱実験施設で利用されている中性子検出器は、検出効率、位置分解能、 n/γ 弁別などに優れた He-3 ガスを用いた位置敏感型比例計数管が主流である。一方、He-3 ガスの高騰により、従来型の位置分解能の低い比例計数管の利用については、再考が必要な状況となっている。すなわち、分解能の低い中性子検出器を用いると、サンプルと検出器間の距離を大きくとらなくてはならず、検出器のカバーする面積が大きくなり、結果的には、多くの He-3 ガスを必要とすることとなる。このような現状においては、高分解能を可能とする検出器をサンプルのすぐ近傍におき、検出器の面積を小さくすることが検出効率、位置分解能の向上のためには必要となる。このためには、位置分解能および、斜入射による入射位置誤差の影響を避ける上で、中性子と He-3 ガスとの反応により生じる飛程を短くすると同時に、高い圧力に保った計数ガスを封入する必要がある。ただし、これにより、信号線は圧力界面を通過することになる。気密性を保ちながら電気信号を取り出すためには比較的高価なフィードスルーが必要となり、信号線数が増加するとコストが増大する。一方、高速な応答を維持しながら位置分解能を担保するためには、比例計数管の芯線であるアノードから個別に読み出しを行う個別読み出し法が用いられる。位置分解能はアノードを密に配置させれば高いが、読み出し線数が増大する。本研究では、個別読み出しと同等の位置分解能を維持しながら、読み出し信号線数を低減する方法について研究を進め、きわめて低コストを実現するシステ

ムの開発を目指す。グローバル-ローカル-グルーピング法 (GLG 法) [1] など、一個のパルスを複数に分割して、それらの信号の大きさや出現パターンに位置情報をもたせる、パルス分割法を適用することで、信号線数の劇的な低減がなされる。パルス分割法は、信号パルスを複数に分割することにより、信号処理回路の多重化を行い、低コストかつ高機能な読み出し方式を実現させるものである。このプロセスは、検出器自身により行う方法と検出器外の信号処理回路において行う方法の2通りがあるが、検出器自身によって信号分割が行われ、配線数が最初から少なくなる方が望ましい。GLG 法では、大まかな位置を 16 に分類し、その中でさらに 16 の細かな位置に分類することで計 32 本の読み出し線で 256 の位置を表すことができ、個別読み出し時に必要な線数 256 に対し 1/8 に減少する。このような同期した信号の生成においては、同じ電気信号同士でなくとも、図 1 に示したように、ITO 透明電極による MSGC (MicroStrip Gas Chamber^[2]) 検出器を用いて、CF₄ ガス中で動作させ、蛍光比例計数管として動作させ、中性子入射に伴う電気信号の発生とそれと同期して生じる光信号の利用などの組み合わせを行うことも可能である。実際に MSGC の場合はアバランシェ領域でのみ蛍光が生じるため、実質的に電荷信号を光信号に分割していることとなる。そこで、図 1 に示したような系において、電気信号と同期した光信号を生成させ、その大きさを変化させて光信号を光電子増倍管から検出することで、位置情報の計測ができることを実際の検出器と信号処理回路を用いて確認した。

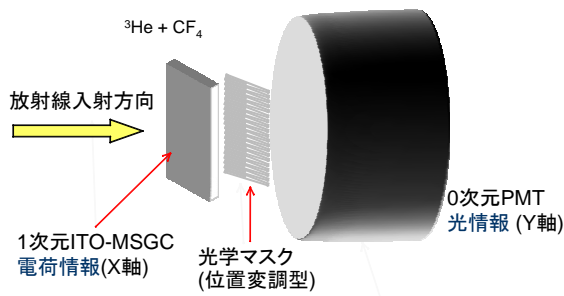


図 1 ITO-MSGC を用いた電気信号と光信号の同時計数

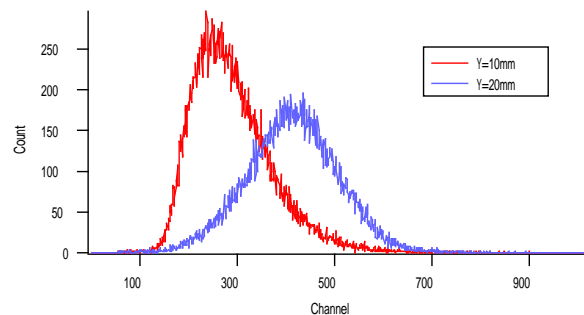


図 2 光信号を信号入射位置に応じて変調して得られた波高スペクトル

一方、このような光信号を読み出すための光検出器としては、小型の APD (Avalanche Photo Diode) を用いることで、小型かつ高密度な読み出しが可能となる。図 3 には 5mm 角の APD (S2384: Hamamatsu) により信号を読み出した際の光信号と電気信号の信号波形の実測例を示す。

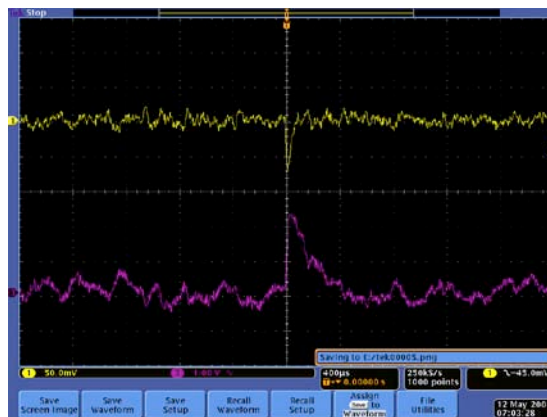


図 3 APD を用いて測定した蛍光比例計数管の光信号と電気信号

小型の APD では、ピクセルあたりに 2 個ないしは 2 個以上の APD を用いることで、光信号のさらなる分割が可能となるほか、通常のシンチレータの読み出しにも用いることができ、パルス分割法の応用範囲を広げることができる。He-3 ガスの入手が極めて困難となってきた現在においては、このようなシンチレーション検出器の信号読み出し法の高度化を検討することも重要であると考えられる。

多信号出力検出器のモデルケースとして、フォトリソグラフィ技術と感光性ガラスを用いたマイクロストリップ基板のプロトタイプとして、無数の管状構造からなる微細電極基板の試作を行った。感光性ガラスとしては、HOYA-PENTAX 社の PEG3 を用いて、直接ガラス基板に多数の管状の穴を開けた構造からなる、Glass GEM を用いることとした。Glass GEM の背面には直接電子が抜けてくるため、読み出し基板には自由度が生じ、多層配線基板の利用なども可能となる。試作した基板には、また微細電極構造として、ガードリング構造をもたせて、特に高圧ガス中で用いるために高電圧印加に耐える構造とした。本基板については、X 線を用いた試験を行い、そのガス増幅動作を確認した。

前述したように多信号出力検出器から高密度の信号を読み出すためには、信号本数を少なく抑えるとともに、読み出し電子回路の簡素化も重要である。ただし、回路は簡素化しながらも、その回路機能は波高分析などの用途に耐え、中性子信号とガンマ線信号を弁別することが可能であるなどの要求を満たす必要がある。本研究では、この目的で、各信号読み出し回路の各々に、コンパレータを設置して、波高値を時間幅に変換して読み出す方式の開発を行った。これにより、信号処理回路のコストを抑えながらも、高い読み出し性能を実現することができるものと期待される。図 5 は基本回路の構成であり、Time over Threshold 法^[3]により、信号を処理することで、波高値情報を時間情報に変換するものである。本研究では、この回路の実装を行い、また、時間幅抽出回路と SRAM メモリ、外部インターフェースなどを含めて図 6 に示すような読み出し回路の構築を行い、その基本動作を確認した。図 7 に ITO MSGC で測定した Fe-55 からの X 線の波高スペクトルを示す。

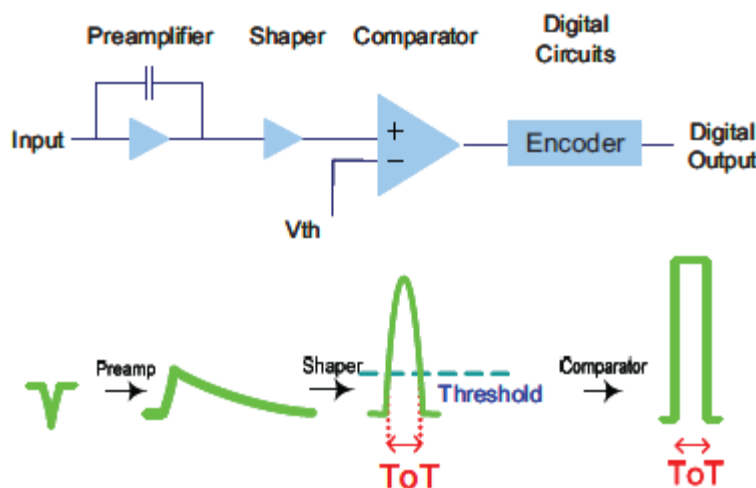


図 5 Time over Threshold 法の原理

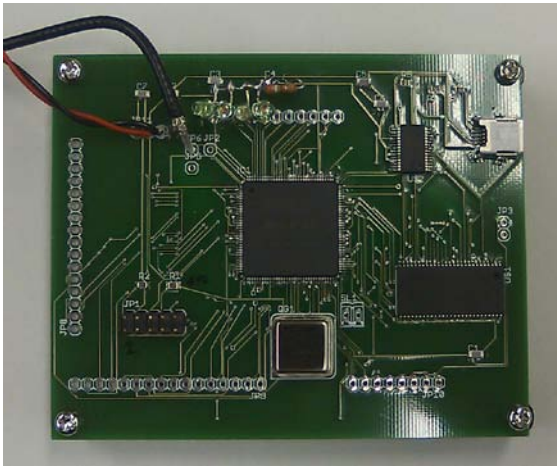


図6 時間幅記録メモリおよび読み出し回路

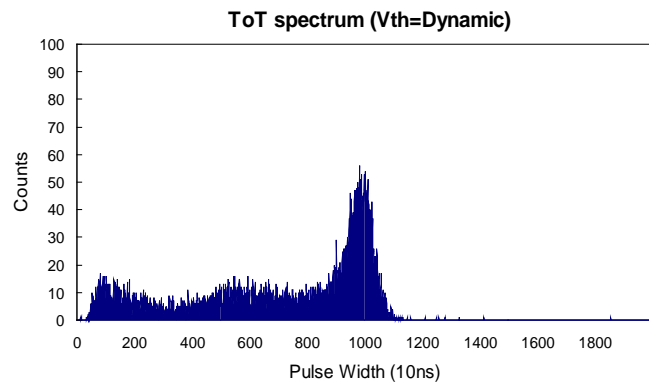


図7 ToT法により取得した波高分布

参考文献

- [1] P. Siritiprussamee, K. Fujita, H. Takahashi ら Nucl. Instr. and Meth. A 580, p1119-1122(2007)
- [2] A.Oed, Nucl. Instr. and Meth. A 263, pp. 351. (1988)
- [3] I. Kipnis, T. Collins, J. DeWitt, et al., A Time-over-Threshold Machine: the Readout Integrated Circuit for the BABAR Silicon Vertex Tracker, IEEE Trans. on Nucl. Sci., vol. 44, No. 3, 289-297.

2.3 成果の外部への発表

H. Takahashi, K. Fujita, T. Fujiwara, B. Guerard, H. Niko, F. Fraga, N. Iyomoto, “Gas proportional scintillation counter with transparent MSGC”, Nucl. Instr. and Meth. A, to be published.

藤原健, 高橋浩之, 石伯軒, 伊予本直子, 藤田薫, “透明電極を用いた電荷信号+光信号読み出し可能な MSGC の開発”, 日本原子力学会 2009 年秋の大会, Sep. 16-18 2009, 宮城県仙台市.

H. Takahashi, T. Fujiwara, K. Fujita and N. Iyomoto “Study on transparent electrode ITO-MSGC for Gas Proportional Scintillation Counter”, 1st International Conference on Micro Pattern Gaseous Detectors, 12-15 June 2009, Kolympari, Crete, Greece

T. Fujiwara, H. Takahashi, S. Boxuan, N. Iyomoto and K. Fujita “A new transparent MSGC for both charge and optical position readout”, IEEE Nuclear Science Symposium 2009, Oct. 25-31 2009, Orlando, Florida, USA

B. Shi, K. Shimazoe, T. Fujiwara, H. Takahashi, “Application of Time-over-Threshold Readout Method to Micro Strip Gas Chamber”, IEEE Nuclear Science Symposium 2009, Oct. 25-31 2009, Orlando, Florida, USA

藤原健, 高橋浩之, “マルチグリッド型大面積 MSGC の開発”, 第 57 回応用物理学関係連合講演会, Mar. 17-20 2009, 神奈川県平塚市

2.4 活動（運営委員会等の活動等）

特になし。

2.5 実施体制

研究項目	担当機関等	研究担当者
1. 中性子検出における信号処理技術の高度化に関する研究		
(1) 多信号出力中性子検出器の実用化研究	東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻	◎高橋浩之、
(2) 多信号出力中性子検出器の信号処理法の研究	東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻	○伊予本直子

注1. ◎:課題代表者、○:サブテーマ代表者

注2. 本業務に携わっている方は、全て記入。