

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、ダイナミッ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20年度（報告年度）の実施内容

2.1 実施計画

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に着手する。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に着手する。そのため、リソグラフィー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、信号処理回路の試作に着手する。さらに、本検出器による中性子計測の実地評価をするための方法の検討及び環境の整備に着手する。

2.2 実施内容(成果)

中性子散乱実験施設で利用される中性子検出器は、検出効率、位置分解能、 n/γ 弁別などの観点から He-3 を用いた気体比例計数管が主流である。検出効率、位置分解能の向上のためには圧力を高めた計数ガスを封入する必要がある、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向上させるためには、比例計数管のワイヤー一本ずつから読み出しを行う個別読み出し法を用いられる。位置分解能はワイヤーを密に配置させれば向上が見込めるが、その場合には読み出し線数が増大する。そこで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を開発することで、コストの低減を図ることができる。そこで東京大学にて開発中のグローバル-ローカルグルーピング法 (GLG 法)^[1]に代表される、パルス分割法を適用することで、信号線数の低減を試みることにした。パルス分割法においては、従来扱っていたように信号パルスを単一と取り扱うのではなく、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 ASIC において行う方法の2通りがあるが、ここでは、検出器自身により行う GLG 法の概要を以下に説明する。例として 16 個の位置

を特定する場合、個別読み出し方式では 1, 2, 3... 16 と分類するが、GLG 方式では 1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 2-1, 2-2, ..., 4-3, 4-4 といった特定を行う。大まかな位置を 4 つに分類し、その中でさらに 4 つの細かな位置に分類することで計 8 本の読み出し線で 16 の位置を表すことができ、個別読み出し時に必要な線数 16 に対し半減している。線数の削減の効果は特に読み出し線数が増えたときに顕著であり、例えば個別読み出しで 256 本を使用する場合、それと同等な性能の GLG 方式では $256=16 \times 16$ から読み出し線数は $16+16=32$ 本であり一桁近く減らすことができる。GLG 方式の実現に際しては、同期した信号を用いることが本質である。これは電氣的に独立な信号線をペアで用いること以外にも、中性子計測で用いられる CF_4 ガスを用いた比例計数管の場合は、アバランシェの際に放出される可視領域の蛍光を用いてグローバル位置を検出し、電荷信号を用いてローカル位置を検出するなど、異なる原理により生成する信号を組み合わせることも可能である。図 1 は実際に ITO 透明電極による MSGC を用いて測定したコインシデンスのとれた電気信号と光信号を測定したものである。本研究ではこのように複数のパルス信号で位置を表現することによる信号処理を対象とする。

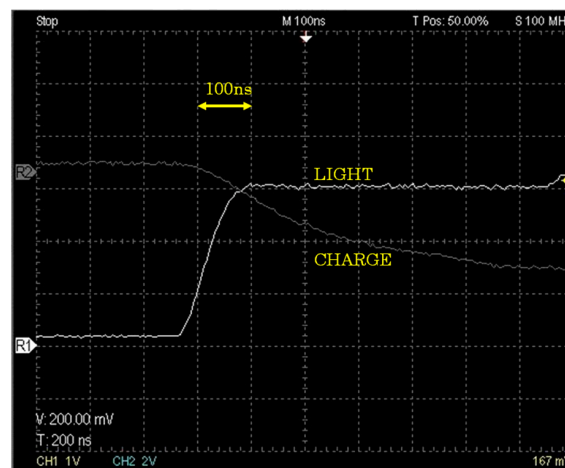


図 1 同期した 2 つの信号パルス

パルス分割法に求められる信号処理の概要を図 2 に示す。パルス分割法では、検出器から得られる信号パルスを同期のとれた複数の信号パルス群に変換して表現するため、複数のチャンネル（前置増幅器、波形整形増幅器、ディスクリミネータ等から構成される）、これらを取りまとめる同時計数回路等を必要とする。信号を増幅および整形した後、デジタルデータへと変換し、どの信号線に同時に信号が来たかを検知することで位置を特定できる。これらは放射線計測ではよく用いられる回路であり、他機関との情報交換の結果、KEK で開発された SiTCP を利用した回路基板を用いることで、回路の共通化を図ることができる可能性があり、必要性能を満たす場合にはそれを利用することも視野に入れて開発を行うこととした。

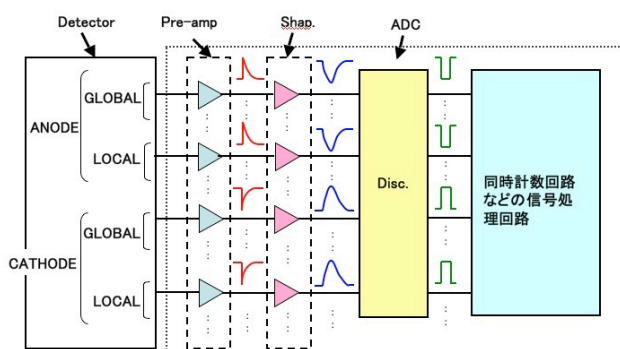


図 2 想定されるパルス分割法信号処理システム

本研究ではパルス分割法の実用化に際し、マイクロストリップ比例計数管 (MSGC) ^[2] を適用対象として選択した。MSGC は絶縁体の基板上にマイクロメートルオーダーの電極をパターンニングしたもので、従来のマルチワイヤー比例計数管に比べ、電極間の距離を小さくできるという特徴を有する。配線を密にできるため位置分解能の向上が、また電子雪崩で生じるイオンが早く消えるため高速な動作が可能となり、実用化できれば高輝度ビームを利用した中性子散乱装置用の検出器として適したものとなる。基本構造は電子雪崩を起こすアノードと電位差を生成するためのカソードが交互に並ぶような構造である。東京大学ではアノードとカソードとの間に電位を安定させて放電を起きにくくするためにグリッドと呼ぶ電極を数本挿入しており、本研究でもそのタイプのものを使用することを前提と考える ^[3]。

パルス分割法を MSGC に適用するにあたり、図 3 のような原理による基板を試作することとした。基本的に読み出し電極を二本に分割することでグローバルの信号とローカルの信号を得ている。検出器からは多くの信号線のペアを引きまわす必要があり、このためには多層配線が必要となる。マイクロメートルのオーダーで位置合わせが可能で、歩留まりが良いものを製作することを目指し、本研究では感光性ガラス PEG3C を用いてこのようなマイクロストリップ読み出し電極構造を試作することとした。

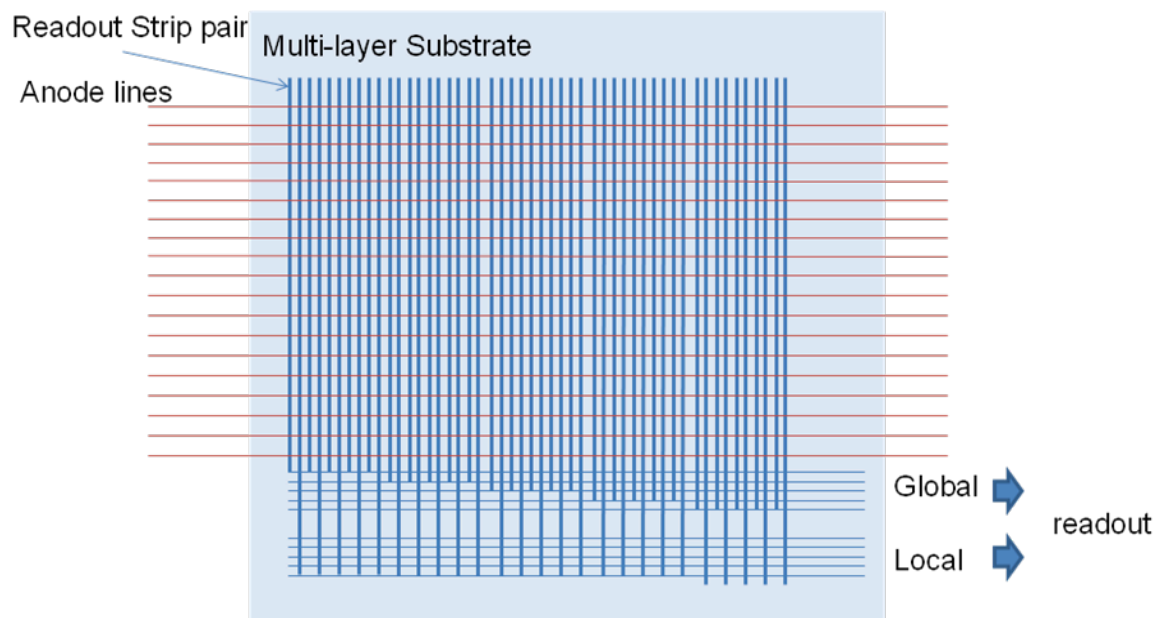


図 3 試作基板の配線設計概念図

カソードは各パッドに貫通孔を形成することで基板の裏面で信号線に結線する。裏面には数本分の信号線がパターンニングされており、各カソードからの信号をうまく結線することで中性子の入射位置の同定が可能となる。グローバル情報を得るためには連続した N 個のパッドを同じ線に結線し、 $N+1$ 個目から $2N$ 個目までを次の信号線に結線、といった規則で結線している。一方でローカル情報は連続する $1 \sim N$ 個のパッドをそれぞれ別の信号線に結線しており、 $N+1 \sim 2N$ 個目までを $1 \sim N$ 個目と同じように結線し周期性を持たせて結線している。このようにすることで、グローバルとローカルのどの信号線に同時に信号が来たかを検知することで位置の同定が可能となっている。アノードに関しても 2 本に分割することで、カソードと同様にグローバル情報とローカル情報に分けて信号を読み出せるようにした。

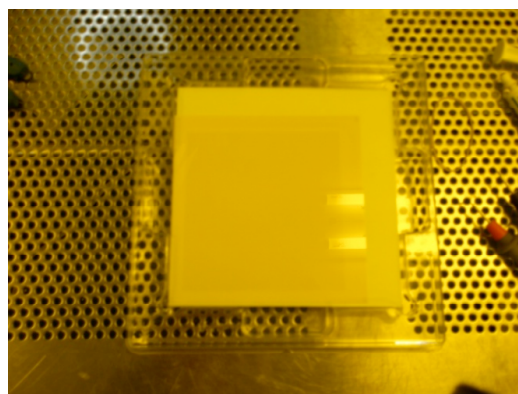


図 4 試作した読み出し基板

上記のような概念のマイクロストリップ読み出し電極構造を設計し、実際に試作した基板の写真を図 4 に示す。基板サイズは $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 、厚さは約 0.3mm であり、貫通電極はフォトリソグラフィー技術を用いて銅でパターンニングされている。

表面と裏面とをつなぐ貫通孔は $40\mu\text{m}$ 径である。グローバル・ローカルの本数はそれぞれ 10 本ずつとして行った。貫通電極の作成にあたっては、研磨のプロセスを用いて表面を平坦化しているが、実装時に十分な基板厚さを確保するように当初の基板厚さを選択することが必要である。

パルス分割法において必要となる信号処理回路の検討を行い、前置増幅器、波形整形増幅器、ディスクリミネータで処理した後、同時計数および位置同定をフィールドプログラマブルゲートアレイ (FPGA) を用いて行うこととした。また、中性子検出用比例計数管は、通常高圧ガスを封入して動作させる。このとき、封入ガスの純度が低下すると放電が起き易くなる、析出物が生じる、検出特性が変化する等の様々な影響が生じることがある。そのため、2009 年



図5 導入した真空ポンプ

度実施予定の中性子測定実験では、圧力容器を一旦高真空として、その後に高純度ガスを封入することとし、今年度は高真空ポンプ (図5) を導入し、その動作の確認を行った。その結果、 $2.5 \times 10^{-2} \text{Pa}$ 程度までの真空を達成できることを確認できた。なお、長時間連続稼働させて、容器表面に吸着している成分等を十分に取り除くことで更に高い真空が達成できるものと考えている。

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] H. Takahashi, K. Mori, K. Yokoi ら, Nucl. Instr. and Meth. A 477, pp.13. (2002)

2.3 成果の外部への発表

Hiroyuki Takahashi and Kaoru Fujita, “Gas proportional scintillation counter with transparent MSGC”, The 1st international conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics (TIPP09), Mar.12-17, 2009, Epochal Tsukuba, Tsukuba, Japan.

2.4 活動 (運営委員会等の活動等)

特になし。

2.5 実施体制

業務参加者：2名

- ・高橋浩之 (東京大学大学院工学系研究科教授、業務主任者) 2008 年 8 月～2009 年 3 月
研究総括および多信号出力中性子検出器の実用化研究 を担当
- ・伊豫本直子 (東京大学大学院工学系研究科特任准教授、実務担当) 2008 年 8 月～2009 年 3 月
多信号出力中性子検出器の信号処理法の研究 を担当