

## 論文の内容の要旨

論文題目 Study on Multi-grid-type MicroStrip Gas Chamber with Novel Electrode Structure  
(新しい電極構造を有するマルチグリッド型マイクロストリップガス比例計数管の研究)

氏 名 二河 久子

マイクロパターンガス検出器(MicroPattern Gas Detector; MPGD)は、微細加工技術を活用して電極構造を製作することで、高い位置分解能と高計数率特性を実現する新世代のガス比例計数管である。

従来のガス比例計数管はワイヤを用いたもので、1960年代にG.Charpakによって開発されたマルチワイヤ比例計数管(Multi Wire Proportional Chamber; MWPC)が一般的なものとして広く利用されてきている。MWPCは細いワイヤ( $\sim 20 \mu\text{m}$ )を平行に多数本配置し、ワイヤに高電圧を印加して、ワイヤ近傍での電子雪崩を利用した検出器である。しかしながら、ワイヤを用いるために位置分解能、計数率、量産性などに限界がある。これを克服するために1988年にILL(ラウエ・ランジュバン研究所)のA.Oedにより、薄いガラス基板上にフォトリソグラフィ技術を利用して幅数十 $\mu\text{m}$ のアノードと、数百 $\mu\text{m}$ 幅のカソード電極を交互に数百 $\mu\text{m}$ ピッチで配置したマイクロストリップガス比例計数管(MicroStrip Gas Chamber; MSGC)が開発された。これが、MPGDの始まりである。MSGCはその狭い電極間隔により、数百 $\mu\text{m}$ の高い位置分解能を達成し、さらにはMWPCの1000倍以上の高計数率下での動作を実現した。このような優れた特性を持つMSGCであるが、大きな問題が二つあった。一つは、アノード電極とカソード電極の間隔が狭いために放電が起こりやすいことである。もう一つは、ガラス基板表面に電荷が蓄積するために空間電荷効果によって時間的に利得が変化することである。これらを解決する際には、次の2つの要素:

- ・ 適切な電場を形成すること
- ・ 放電のトリガーとなる要因を取り除くこと

が重要となる。そして、この要素を決定するパラメータとなるのが、ガス検出器の電極構造である。我々は、あらたな複数の電極を挿入して、適切な電場を形成し、高いガス増幅率を実現するマルチグリッド型MSGC(Multi-grid-type MSGC; M-MSGC)を開発し、先に述べたMSGCの二つの問題点を克服した。

近年、多くのMPGD研究では、主にガス増幅率の増大を目指した検出器システムの研究が盛んである。より高い位置分解能の達成に向けては個別読み出し型のエレクトロニクスに依存する傾向がある。しかしながら、リソグラフィ技術の進歩によって、数百nmのスケールで電極パターンをデザインすることが可能となり、新たな可能性の追求により検出器性能の向上が期待できる。本研究ではMSGCの電極構造を工夫することで、より高い位置分解の達成を目指した研究を行った。具体的には、新たな電極構造を有する三種類の検出器プレートの研究を行った。

- 1) 大面積化を狙った一次元長尺型M-MSGCの開発
- 2) ファインピッチあるいはナノストリップ構造をもつM-MSGCの開発
- 3) ITOを電極に用いたM-MSGCによる可視光の検出

以下、この3主題について述べる。

## 1) 大面積化を狙った一次元長尺型M-MSGCの研究

現在、建設が進められているJ-PARCなどの新たな大強度放射線源でのM-MSGCの利用を目指し、検出器の開発を進めた。本検出器の導入を狙う中性子小角散乱装置では、600mm以上の長さを持つ一次元位置検出が必要とされ、300kHz以上の高い計数率、最高1mm程度までの位置分解能といった性能が要求されている。そこで、本研究では大面積化の実現に向け、初期段階の開発として、640mm長の一次元M-MSGCプレートを試作した。さらに、より高い位置分解能を達成するために、新たにGlobal-Local Grouping法 (GLG法)を適用した。試作プレートでX線及び中性子照射実験を行った結果、プレートデザインの設計見直しや信号読み出しの改善を経て、要求される仕様を満たすプロトタイプ検出器が実現できた。

### GLG法の原理

GLG法では、意図的に、得られるパルス信号を大きさの等しい二つの信号に分割し、それぞれを独立に測定する。アノード電極近傍で生じた電子雪崩によって生じる正の電荷は二分され、アノードを挟み両サイドに位置するカソード電極で吸収される。二分された電荷の一方は大きなセクションに分割した電極に収集され、大局的(グローバル)な位置情報を与える。他方は細かく分割した電極に収集され、局所的(ローカル)な位置情報を与える。グローバルとローカルのカソード電極に到来するイベントのコインシデンスをとって位置情報を得る。

本研究では、電荷分割法で読み出す一次元検出器へGLG法を応用した。従来の電荷分割法では、大面積化に伴って読み出す抵抗線が長くなるために位置分解能が低くなる。ガス増幅度を抑えて、かつ高い位置分解能を達成するには、電荷分割法にGLG法を応用することが有力な手段となる。

本検出器を、日本原子力研究開発機構(JAEA)、JRR-3のビームライン(NOP)において、波長8Åの中性子ビームを直径1mmにコリメートして照射した。<sup>3</sup>He (0.5 atm) + CF<sub>4</sub> (2.5 atm)のガスを封入し、ガス増幅率110の条件で、グローバルで位置分解能は16.6mm(FWHM)、ローカルで2.26mm(FWHM)と求めた。これらの値は、現在広く用いられている全長500mm程度の円筒型He-3ガス比例計数管(位置分解能が5mm程度)の性能を上回るものである。本検出器はJ-PARC中性子小角散乱装置で要求される仕様を満たし、装置へ導入が検討される検出器の候補に上がっている。

## 2) ファインピッチあるいはナノストリップ構造をもつM-MSGCの開発

従来のMSGCでは電極ピッチは数百μmであったが、高い空間分解能を実現する上では制約となる。そこで、世界で最小となる50μmピッチあるいは30μmピッチを持つMSGCの実現を考えた。50μmピッチ以下のファインピッチにおいては、これまでのMSGCで標準とされた数十μmのアノード幅を、ナノストリップにする必要がある。本研究では、この検出器をNSGC (NanoStrip Gas Chamber)と呼ぶことにする。NSGCでは、最新のフォトリソグラフィ技術によってアノードの線幅を500nmで描画することに成功した。NSGCは、ガス中における荷電粒子の飛程よりもはるかに小さなピッチを実現したことによって、高計数率下での動作の可能性だけでなく、高位置分解能、単一粒子の飛跡解析などの可能性をも持つ。

このNSGCを、従来のM-MSGCと同様の実験セットアップ(Ar:CH<sub>4</sub>=7:3)に組み込み、放射光施設で実験を行ったところ、図1に示すように8keVのX線に対して22%のエネルギー分解能を達成した。さらに、NSGCの50μmという電極のピッチを位置分解能の向上につなげるため、カソードストリップから電荷積分型アンプを用いて個別に信号を読み出すことを試みた。電荷積分型アンプはパルス情報は失ってしまうものの、外部からクロックで積分時間を調整することができ、広い計数率範囲での動作を可能とする。また、50μmという細かなピッチにおいては、電極構造によって位置分解能が決まるので、出力信号は、いずれのストリップ電極が反応したかが分かればよい。NSGCと電

荷積分型アンプを組み合わせたX線照射実験を行った。50  $\mu\text{m}$ のピッチに対して十分に絞り込んだビームを照射することができず、50  $\mu\text{m}$ の位置分解能を達成することはできなかったが、カソードからの1本1本の信号を電荷積分型アンプから正常に読み出すことに成功した。

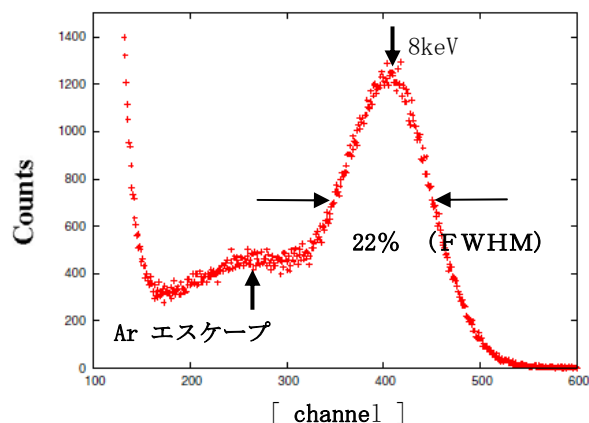


図1 50  $\mu\text{m}$ ピッチNSGCのアノードから得られたスペクトル。  
エネルギー分解能は22%(FWHM)を示した。

### 3) ITOを電極に用いたM-MSGCによる可視光の検出

可視光に透明なITO(酸化インジウムスズ)を電極に用い、M-MSGCを製作した。検出器に封入するガスに $\text{CF}_4$ などのクエンチングガスを用いれば、荷電粒子との反応によって可視光が放出される。これを、透明な電極を持ったM-MSGC越しにCCDあるいはPMTで観測することを目指し、本研究でプレートの基礎開発を行った結果、ITO M-MSGCが従来のM-MSGCと同様に動作し、ガス増幅率 $\sim 2000$ 程度の十分な電荷増幅率があることを確認した。

以上、本研究では、新たな電極構造を有するマイクロストリップガス比例計数管の研究を行い、これまでに見過ごされていた新たな二段階電荷分割法の実現により高分解能検出器が実現できること、また数百nm幅のアノードストリップを用いることで、30  $\mu\text{m}$ ピッチまでの高分解能検出器が実現できること、さらに透明電極などの利用で光信号読み出しによるラジオグラフィへの応用可能性など、高分解能気体検出器として、従来のマイクロパターンガス検出器とは一線を画する新たな可能性が拓かれることを示すことができた。