

東京大学大学院 工学系研究科
原子力国際専攻 博士課程 三年
二河久子

「多チャンネル読み出し型ナノストリップガス比例計数管の開発」

課題番号:2007B1670[萌芽的研究支援対象課題]

利用ビームライン:BL37XU

本研究ではガス電離過程で生じた電子雪崩の電荷分布を調べることを目的とし、特に高計数率下で過剰な電荷が生じるために顕著に現れる空間電荷効果の解明に挑むことを大きな目標としている。電荷分布を知ることで、電荷を処理する電極の配置を工夫し、空間に電荷が過剰にあふれることを防ぎ、一本の電極に電荷が集中してしまうような電場の形成を避けられれば、より高い計数率下で線形性を保つ M-MSGC の開発につながると考える。その初期実験として、従来 (400um ピッチ) よりも細かいピッチ (50um ピッチ) のナノストリップガス比例計数管 (NSGC) を制作し、ピッチごとに個別にカソード信号を積分方式で読み出した。ビームを 50um でスキャンしたとき、ピッチごとに各カソードの信号が個別に反応する様子は見られなかったが、ビームが移動する様子を確認できた。さらに、本レポートでは、本実験での NSGC の動作確認を受けて、NSGC の二次元読み出しのために進めているガスシンチレーション検出器の進捗についても報告する。

1. 研究の目的

これまでの先行研究により、電荷積分型の M-MSGC では、プレートの上面から X 線ビームを照射したときに 10^8 cps/mm² に至る高計数率下でも正常な動作が可能であることが分かっている。そこで、より高い計数率下での動作を目的とし、アノード電極と平行になるようにプレートの横方向から X 線ビームを入射させ、アノード電極の広い領域でアバランシェを起こすことによってガス検出器としての検出効率も高くすることを考えた。この構想は SPring-8 の 2005 年度の研究課題として採択され、SPring-8 において実験を行った。その結果、 10^{11} cps/mm² に至る高い計数率まで線形性を示した。アノード電極に対して平行に X 線ビームを入射したことで、電荷がアノード電極の奥行き方向にまで分散され、プレート前面が有効に機能したものと考えられる。X 線ビームがアノード電極に平行に入射するようにプレートを配置することは、高強度の新生代放射光源に対応する検出器アセンブリの可能性を示すものである。

現在、第三世代放射光施設とされる SPring-8 では 10^{12} cps/mm² もの高計数率下で利用できる検出器が求められているが、そのような高計数率下での動作を実現する検出器はない。M-MSGC は、 10^{12} cps/mm² 以上の高強度では空間電荷効果に起因すると考えられる極めて強い非線形効果が見られる。そこで、本研究ではガス電離過程で生じた電子雪崩の電荷分布を調べることを目的とし、特に高計数率下で過剰な電荷が生じるために顕著に現れる空間電荷効果の解明に挑む。電荷分布を知ることで、電荷を処理する電極の配置を工夫して、空間に電荷が過剰にあふれることを防ぎ、一本の電極に電荷が集中してしまうような電場の形成を避ける。空間電荷効果を理解し、それを避ける方法を探究することによって、より高い計数率下で線形性を保つ M-MSGC の開発に取り組む。

2. 実験セットアップ

1) プレートのデザイン及びエレクトロニクスとの接続

プレートのデザインを図1に、エレクトロニクスとの接続及びセットアップの概略を図2に示す。本実験に先立ち、東京大学において Am 線源を照射した。Am 線源をストリップと垂直方向に動かしたとき、カソードからの信号は Am 線源の動き(位置)に反応した*。

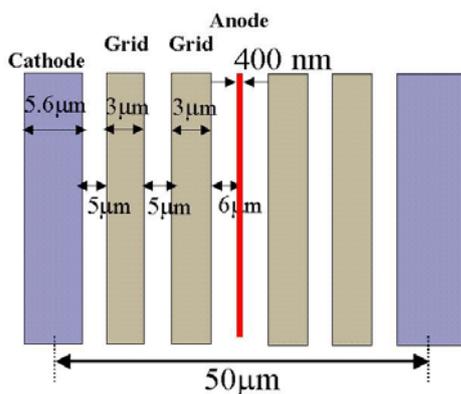


図1 使用したプレートのデザイン。

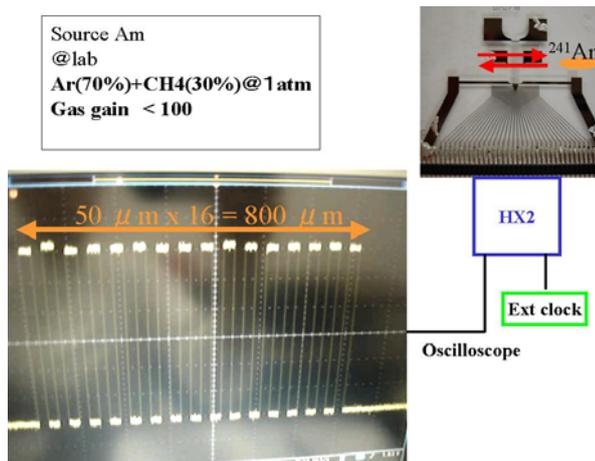


図2 先行実験のセットアップ。

2) 実験セットアップ

図3に実験のセットアップを示す。ガス検出器をハッチ内ステージ上に固定し、HV、シグナルケーブルをハッチ外へ引き回し、ハッチ外からオペレーションを行なった。ガスは Xe を封入(1atm)した。アノードには 350 V、挿入されている1本のグリッドには 165V の電圧を印加し、8 keV の X 線を入射した。このときゲインは 70 程度である。信号は、16chの積分アンプを配した HX2(ASIC) 2つをカソードの読み出し信号に接続した。この HX2 は外部からクロックで積分時間を調整することができる。本実験では 30 μm 幅にこりメートしたビームの計数率が低く、外部クロックを 5-7Hz に調整して使用した。

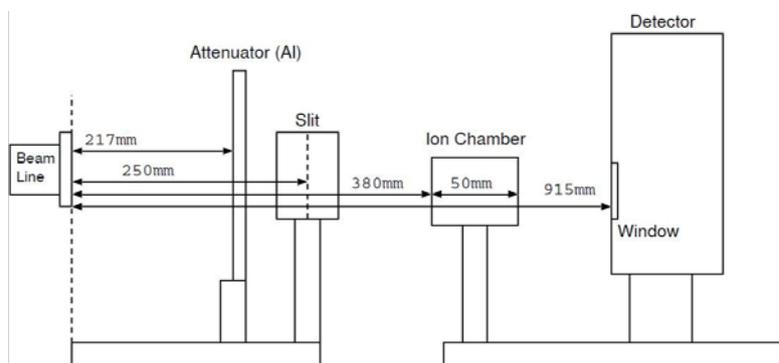


図3 BL37XU ハッチ内での実験セットアップ。

3. 実験結果

1) ビームスキャン

図4に示すようなビームの移動の様子をとらえた。しかしながら、期待した 50μm の位置分解能は得られなかった。図4から求まる位置分解はおおよそ 350μm 程度である。

2) 長時間測定

ビームが照射されている位置ではカソードからの出力信号が、照射開始時から 2 時間半後に 39%減少、ビーム中心から 500μm 離れた左右の出力信号は 9.7%の減少が見られた。計数率が低いにもかかわらず、出力信号がビームの照射とともに減少し続けた原因は分からない。(計数率は 20cps と低く、これまでの実験で 50μm ピッチの NSGC では飽和は見られていない。)ビーム照射開始時から 2 時間半の間の信号出力の変化を図5に示す。

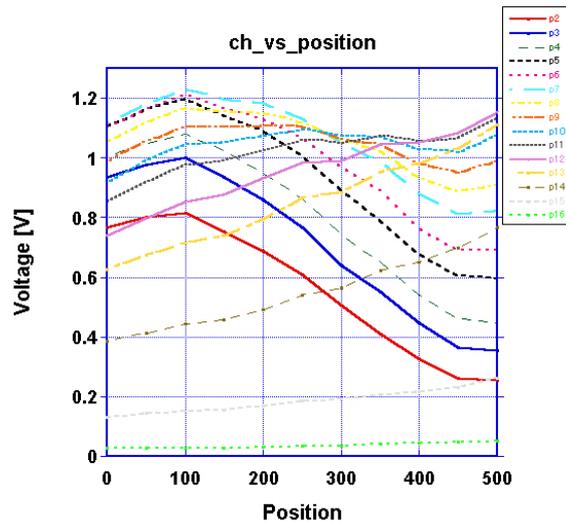


図4 50 μ m でビームをスキャンしたときの信号の応答出力。

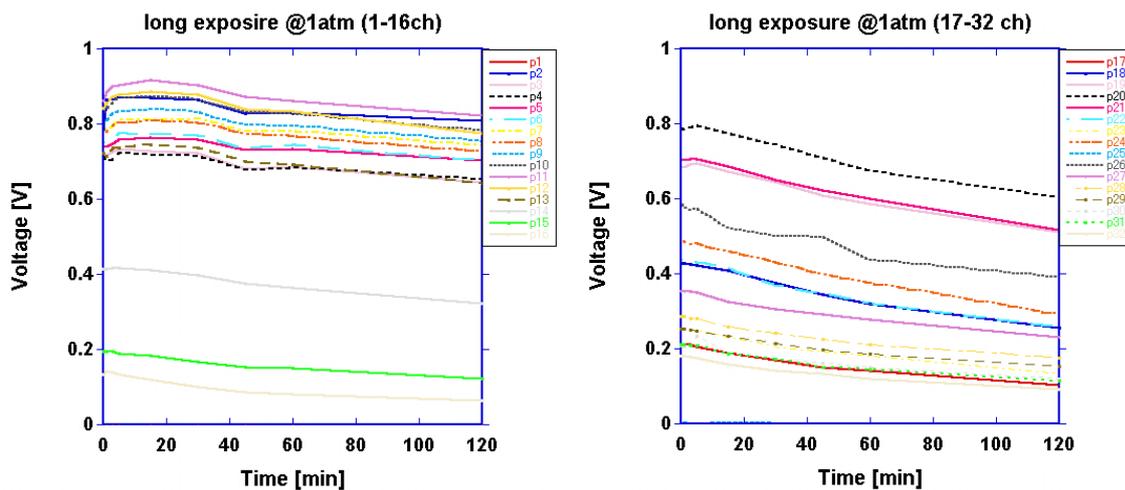


図5 長時間測定での各出力信号の変移(左右それぞれで16チャンネルの出力を示している)。

4. 今後の課題

1) ビームスキャン

検出器をよりビーム上流に設置し、より高強度のビームを照射できるセットアップにすることで入射ビームの拡がりを 50 μ m 程度に抑えたい。その際には、ガス圧を上げて、電子の飛程を抑えることも想定している。今回の実験ではシフト時間の制約から、ガス圧を変更するという条件での実験は行えなかった。

今回の実験では 50 μ m ピッチごとにカソードの個別信号を観測するという当初の目的は達成できなかったが、NSGC の個別読み出しが可能であることを示した。この NSGC の可能性に注目し、現在、本研究室では NSGC の二次元読み出しの可能性を探り始めている。従来の MSGC と同じ裏面読み出しを用いた場合には、裏面の誘起電荷の拡がり数百 μ m と拡がってしまい、NSGC 固有の狭いピッチを活かせない。そこで、我々は新しい電極素材に注目し、全くこれまでとは異なったアプローチで他次元 (NSGC のカソード読み出しの一軸以外の軸) の読み出しを提案している。新しい電極素材とは、透明電極素材と呼ばれる ITO (Indium Tin Oxide) である。透明電極を用いることの利点は、ガス中での電子増

幅にもなって励起ガスから放たれる光を PMT や CCD によって読み出すことができる点である。この透明電極を NSGC の電極素材に採用し、一つの次元は従来通りの電荷信号を読み出し、他方の次元は光信号を採用することで二次元の取得を考えている。光信号の場合、位置の情報は光量の違いによって得ることを考案している。プレートに採用する電極を ITO と従来の Cr 金属の組み合わせにし、さらに、デザインをバックギャモン型のように幾何学的に変化させれば、プレートを透過して PMT へ到達する光量を位置によって変化させることが可能と考えている。すでに、透明電極を採用した MSGC を制作し、その基本動作を確認している。図6に ITO 電極と従来の Cr 電極を採用した二枚のプレートの写真を示す。ITO 電極を用いたプレートでは、Cr 電極のプレートの70%程度の電気信号出力しか得られなかったが、Cr 電極と変わらないエネルギー分解能 (30% @ 5.9keV) を示した。さらに、ITO 電極を用いたプレートで、PMT によって光信号の読み出しに成功している。位置分解能は 27.4% @ 5.9keV (ガスは 1atm の CF₄ ガスを封入している。ガスゲインは 1700 である。) を示した。この光信号によるエネルギースペクトラムを図7に示す**。本萌芽支援によって行った NSGC の個別信号読み出しの実現と、透明電極を利用した NSGC の制作を進めていくことで、二次元 NSGC の開発が期待できる。

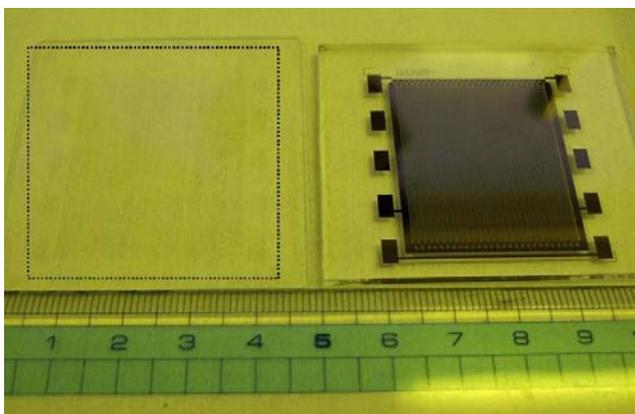


図6 ITO 電極 MSGC(左、点線枠内)と Cr 電極 MSGC の比較。

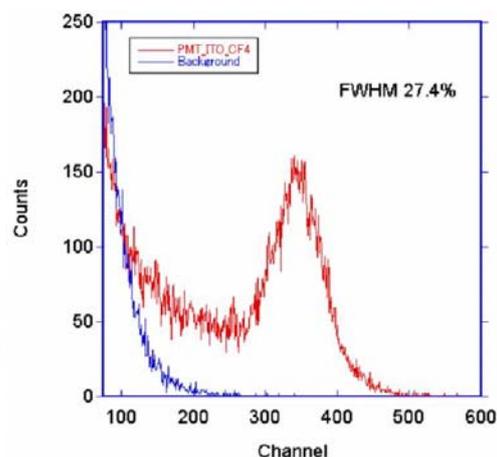


図7 PMT でとらえた ITO 電極からの光信号。

2) 長時間測定

ビームのプロファイルを観測することを想定したが、32本の読み出し全てが動作せず、2本が不感、また電極ごとの感度が異なる様子が見られた。実際に2つの ASIC の感度が異なるのか、あるいはプレートの非均一性によるものかどうかを検討しなければならぬ。別途の実験で ASIC へ同一の入力を与え、出力結果を比較することで検証することを考えている。

5. まとめ

次世代放射光施設での運用を考えた、高位置分解能かつ高計数率下で動作するナノストリップガス比例計数管の開発を進めた。従来、MSGC で採用された個別読み出しの方式を NSGC に採用し、信号出力を確認した。残念ながら 50 μ m というピッチごとの応答は見られなかった。今後、入射ビームの調整、ガス圧などの検出器側の条件出しによって、NSGC ならではの高い位置分解能も期待できる。高計数率下での動作確認は行っていないが、2008年度以降に本研究室グループでダイレクトビームの入射実験を計画したい。

また、本研究での NSGC の動作実績を元に、NSGC の二次元読み出しの可能性を探り、透明電極 (ITO 電極) を採用した MSGC を制作し、PMT による光信号の確認を行った。現在は、ITO 電極を用いた MSGC の放射光施設での実験、および CCD によるイメージの取得を計画している。

*日本原子力学会 2007 年度 秋季大会 (北九州) 口頭発表 「ナノストリップガス比例計数管の基礎開発」 100488 二河久子

**博士論文 「Study on Multi-grid-type MicroStrip Gas Chamber with Novel Electrode Structure」 (2008) 二河久子