

東京大学大学院 工学系研究科
原子力国際専攻 博士課程 二年
二河久子

「ナノストリップガスチェンバの開発試験」

課題番号:2005B-B-0739

利用ビームライン:BL46XU

我々は高計数率下での動作が可能な電荷積分型マイクロストリップガス比例計数管(MSGC)の開発を進めている。これまでに、高計数率下で空間電荷効果に起因すると考えられる非線形な応答を見つけ、これを解明するためにアノードの線幅が $1\mu\text{m}$ ピッチを切る、ファインピッチなMSGCの制作に取り組んでいる。SPRing-8において高計数率下での非線形性を確認し、ファインピッチなMSGCの必要性を改めて確認した。この結果を受け、世界最小の $50\mu\text{m}$ ピッチのMSGCを試作し、その動作を確認することに成功した。

1. はじめに

本研究では、これまでに進められてきた M-MSGC¹⁾⁻²⁾にナノ領域の超微細加工技術を用いて、電子の飛程よりも細かいピッチの基板を製作し、ガス比例計数管検出器に伴う物理の研究を進めている。具体的には、数 $10\mu\text{m}$ 幅の描画も実現可能となった最新の電子線描画装置を用い、数 μm ピッチでの配線を実現したナノストリップガス検出器(NSGC)の基礎開発を行うことを目的とする。これまでMSGCの実験によって、高い計数率($>10^8\text{cps}/\text{mm}^2$)での動作時に、極めて高い非線形性を示す動作をカソードからの電荷積分読み出しによって確認した(図1)。先の戦略課題(2005B791)においては、アノードに平行な方向に入射した場合にも非線形性が見られる($>10^{11}\text{cps}/\text{mm}^2$)ことを確認している(図2)。図3には、実験のセットアップを示す。この非線形性は空間電荷効果に起因し、高計数動作時には複数のストリップにまたがる一次電荷を与えても、一本のストリップでしか動作していない状態を示していると考えられる。そこで、従来のMSGCに比べて約 $1/5$ のピッチで設計したMSGCを試作し、1つの電子から形成される電子雲の範囲内に複数のストリップでアバランシェ領域をつくることによって、この空間電荷効果の現象についての理解を目指す。そして同時に、計数率限界の飛躍的な改善も可能になるものと考えている。

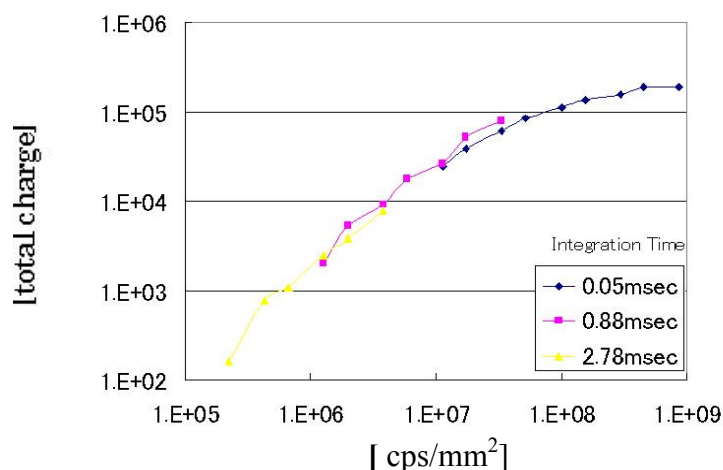


図 1 MSGC プレートに垂直にX線を入射した場合の計数率特性。

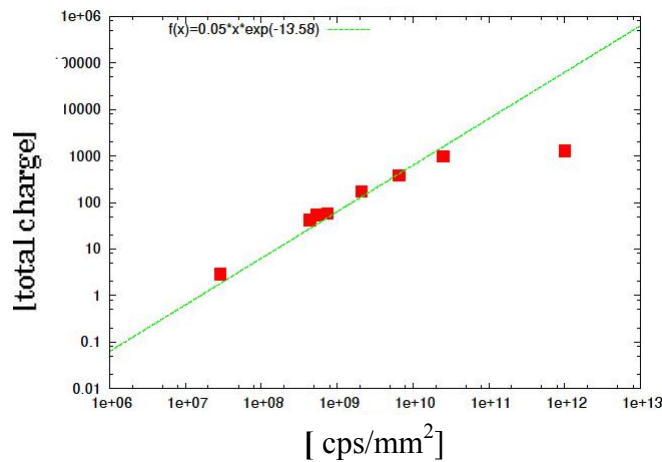


図 2 MSGC プレートに平行にX線を入射した場合の計数率特性。

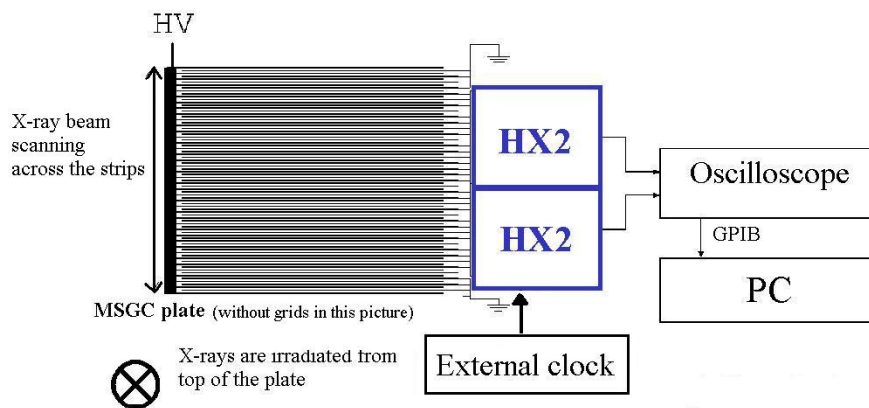


図 3 実験のセットアップ。この図でのX線照射方向は図1に対応する。アノードに垂直な方向がX線の照射方向。図中の HX2 は、16ch の積分型増幅器を内部に有し、カソードストリップの一本ずつから独立に多チャンネルを同時読み出すことが可能な ASIC である

2. ファインピッチMSGCへの期待

我々は、近年、開発の進んでいる J-PARC や新世代放射光などの大強度線源に対応する検出器として、高計数率下での動作が可能な電荷積分型 MSGC の開発を進めている。これまでに、X 線をアノードに平行に入射した際には 10^{12} cps/mm² の計数率下でも動作することを確認した。一方、この過程で、空間電荷効果に起因すると考えられる非線形な応答も見つかっている。この現象の解決には、アノード電極を高密度に配置してアバランシェ領域を拡大する必要があると考え、従来の 400μm ピッチの MSGC に代わり、世界で最小となる 50μm ピッチの MSGC を試作して基礎実験を行った。本 MSGC ではアノード幅が 800nm と 1μm を切っているため、ナノストリップガス比例計数管 (NSGC) と呼ぶことにする。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。

3. 実験

1) 先の課題(2005B791)に続き、計数率のダイナミックレンジ測定では同じ結果を得た。おおよそ 10^{11} cps/mm² に至る高い計数率においてまで非線形性を保った。また、 10^7 cps/mm² の計数率下で2時間にわたり照射を続け、信号の変化を記録した。ダイナミックレンジを確認した際に数時間の照射を断続的に続けたため、表面電荷が抜けきらず、ビームを照射したストリップがチャージアップしてしまい、隣接するストリップから電荷が読み込まれている様子が見えた(図4)。1時間経過した頃に照射しているストリップでの電荷収集に回復の様子が観測されたと思われたが、同時に隣接するストリップでも読み出し量が増加するという現象も見えた。実験後に確認したところ、信号読み出し線のプレートの接触に不良があることがわかり、そのために増加したと考えられ、満足な結果を得ることができなかった。

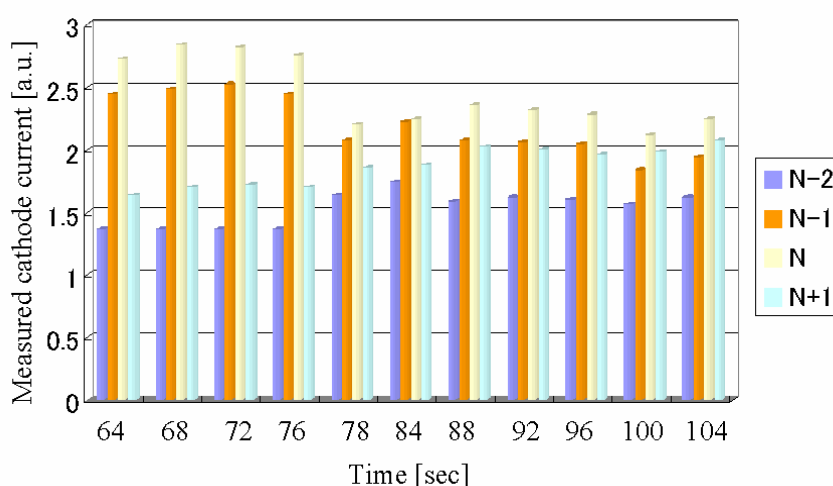


図4 高係数率下でX線を照射したときに、連続する4本のカソードから読み出した信号。N-1とNの中間にあたる位置にX線を照射している。始めの二分間では、照射位置の両側に位置するN-1とNの日本のカソードからの信号が支配的であった。しかし、照射開始から二分間を過ぎてからは、これら二本の信号が小さくなり、これらの外側にあるN-2とN+1からの信号が増加した。

2) 従来使用してきたアノードピッチ $400\mu\text{m}$ の $1/5$ のピッチ、 $80\mu\text{m}$ となるM-MSGCプレートを試作し、その動作確認を行った。アノードピッチが $80\mu\text{m}$ と狭いため、グリッドは二本しか挿入していない。実験準備室ではSr線源を用いて、その信号を確認できたが、ハッチ内に移動させてからの実験では、高圧電源を印加している過程でプレート表面に放電が生じ、放射光を用いた実験は行えなかった。

4. ファインピッチ MSGC への取り組み

SPring-8 での実験を受けて世界で最小となる $50\text{ }\mu\text{m}$ ピッチの NSGC を試作し、基礎実験を行った。

実験

今回試作した NSGC のピッチは $50\text{ }\mu\text{m}$ 、アノード幅に至っては 800nm を実現させた。また、従来の M-MSGC と同様に、アノード-カソード間には電場安定化のためのグリッドを 2 本配置した。この NSGC に、KEK の放射光科学研究施設(PF)、ビームライン BL14A において 8keV の X 線を $\Phi 100\text{ }\mu\text{m}$ にコリメートして照射した。 $\text{Ar}(70\%) + \text{CH}_4(30\%)$ のガスを流し、ガス増幅率 280 の条件で、アノードからの信号を読み出すことに成功した。発光スペクトルを図 5 示す。

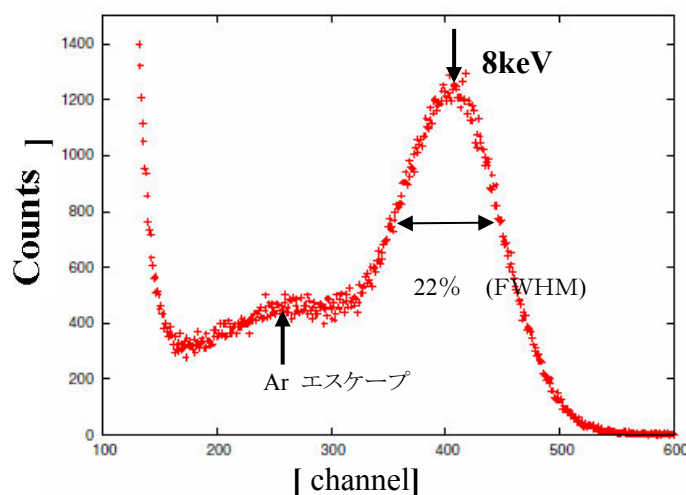


図 5 NSGC($50\text{ }\mu\text{m}$ ピッチ)のアノードから得られたスペクトル。エネルギー分解能は 22% (FWHM)を示した。

5. まとめ

SPring-8 でダイレクトビームを照射したときには、 10^{12}cps/mm^2 程度の高い計数率において、表面効果や空間電荷効果による非線形性が示されることを確認した。表面効果や空間電荷効果は、一本の電極で対応できる電荷量に限界があるためと考えられる。これを解決するためには、アバランシェを起こすためのストリップ数を増やし、アノードピッチをより小さくすることが有効であると考え、ファインピッチ MSGC (アノードピッチ $80\text{ }\mu\text{m}$) を試作した。今回、SPring-8 でのファインピッチ MSGC の動作は確認できなかったが、放電を起こした試作プレートを改良し、アノードピッチが $50\text{ }\mu\text{m}$ の NSGC を試作することに成功し、その動作を KEK の放射光科学研究施設(PF)において確認した。今後は、各カソードから独立に電荷積分型アンプで信号を読み出し、高計数率下における動作の可能性を探る。

参考文献

- 1) H. Takahashi, K. Mori, *et al.*, "Development of a new multi-grid-type microstrip gas chamber", Nucl. Instr. and Meth., A 477, (2002)13.
- 2) H. Takahashi, P. Siritiprussamee, *et al.*, "Development of a two-dimensional multi-grid-type microstrip gas chamber for spallation neutron source", Nucl. Instr. and Meth., A 529, (2004)348.