

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月15日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21340063

研究課題名（和文） 次世代実験に向けた高精細3次元粒子検出器の開発

研究課題名（英文） R&D on High precision 3D particle detector for future experiments

研究代表者

杉山 晃 (SUGIYAMA AKIRA)

佐賀大学・工学系研究科・教授

研究者番号：80187674

研究成果の概要（和文）：

荷電粒子検出は、ワイヤーからマイクロパターンガス検出器へと進化し高精細な測定が可能になってきている。本研究では、これに対応する高精細読み出しチップを開発し荷電粒子検出に適用することである。200 μ m 角内に時間情報電荷情報をデジタル処理する回路を持つピクセルを20 \times 20配置するCMOSチップを開発し、直接飛跡信号の検出をおこなった。また、対応するガス増幅装置の開発も進めた。

研究成果の概要（英文）：

Micro pattern gas detector has become more popular than wire chamber in the charged particle detection. This movement request us to improve corresponding readout system which allow more precise detection. We develop a new pixel readout CMOS chip which consists of 20x20 pixels including ADC,TDC and TOT digital processing in each 200 μ m x 200 μ m pixel. Heavy ion irradiation with MPGD amplification provides clean track signal and good spatial resolution better than 100microns.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2010年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2011年度	3,300,000	990,000	4,290,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子、原子核、宇宙物理

キーワード：粒子測定技術、マイクロパターンガス検出器

1. 研究開始当初の背景

国内では、特定用途別 IC の開発は既に多くの研究分野で進められていたが、機能の1部

を IC 化する場合が多く、PC ボード上に ASIC を設置し省スペースのモジュールを製作する程度であった。外国では、信号読み出

しに関する全機能をワンチップに収めたものが開発 (MediPix, TimePix など) されつつあり、本研究では、国産初のオールインワンチップ QPIX の製作を目標としていた。特にガス検出器の場合は、センサー部分をバンプボンディングで搭載する必要がないことなど、製作条件的にはかなりの妥協が許される環境であった。方法としては、電離電子を 1 個単位で測定する超微細デジタルピクセルにする方法と 100 μ m 角のピクセルでアナログ信号評価を行う方法の 2 通りが考えられるが、我々はヨーロッパで先攻しているデジタルピクセル方法と相補的なアナログ併用方式で開発を進めることにした。アナログ・デジタル混成チップとなることによる困難を克服することが開発の要となる。

2. 研究の目的

ダークマターの飛来方向の測定に必要な微小飛跡の検出には、これまでにない細密パターン読み出しが可能な検出器が必要になる。MPGD などガス増幅の細密化は進められているが、対応する読み出し装置の細密化が急務である。本研究では、ガス検出器用細密ピクセル読み出しエレクトロニクスチップとして、電荷情報 (ADC)、時間情報 (TOF、TOT) をピクセル内に備える ASIC (QPIX) を開発し、ガス検出器として動作させることを目的としている。これは、多重粒子発生事象を扱う素粒子実験においても、2 飛跡分解能の向上のためにも有効な測定器となる。

また、チップ自体、1 チップで素粒子実験に必要な全ての情報を処理できるため、汎用な用途が期待できる。

また、ピクセル読み出しに最適なガス増幅機構を MEMS 技術を用いて構築することもあわせて進める。チップに直接ガス検出器を構築する技術は、マイクロエレクトロニクス技術の導入により実用化されつつある。今回はオランダのトゥエンテ大で進められているネガ型フォトレジスト (SU-8) を用いて、絶縁部の構築技術を修得し、金属電極と合わせて稼働するガス増幅機構を試作する。

3. 研究の方法

読み出し回路の機能別の TEG 製作から始まり、1 ピクセル用回路、20x20 ピクセル回路と一歩ずつ進めてきた。また、段階毎に製作側からの評価とユーザー側からの評価をおこない、問題点や改善点をクリアにしながらか進めてきた。チップの核となる ADC に関しては、ノイズレベルの自動補正機能など、新機能を搭載し、高性能の性能を追求している。TCP/IP を用いたデータ読み出しシステムを組み合わせることで、テスト信号入力による、回路の性能評価をおこない動作確認をしてから、実際のガス信号読み出し試験へと進め

た。

ガス検出器としての可用性を実証するために、GEM と組み合わせ飛跡検出をおこない、測定精度から性能を評価する事を進めてきた。マントル (放射線含有物) からの α 線検出試験、カリフォルニウムからの中性子を使用した反跳陽子信号検出試験をおこなったが、信号がランダムであることによりデータ収集が非効率であることから、最終的にはイオンビームの使用ということで高崎原研の協力



を得て最終的な試験ができた。

4. 研究成果

最終的に試作した 20x20 ピクセルは、実際にガス増幅装置 (GEM) と組み合わせ、飛跡



の信号を検出する事ができた。写真は今回のチップ表面を写したもので、モザイクパターンがピクセルに相当している。右上に 1 ピクセルの拡大図を示しており、面積の半分を回路部分、残りを電荷収集用電極 (バンプボンディング対応) になっていることがわかる。この試作機では、回路のデジタル系からのノイズが信号検出のしきい値を決めるコンパレータ部に混入したためしきい値を下げる事ができず、dE/dx の大きなイオンビームを用いなければ確信を持てる飛跡信号を検出できなかった。(この問題については現在もデータを解析しながら、原因を追求している。)

試験では、4 チップを配置し、複数チップに跨がる飛跡の検出をおこなった。ただし、

個々のチップはワイヤーボンディングにより周辺領域を取られるため、高密度には実装できなかったため不感領域の広いデータとなっている。

QuickTimey C?
èLièEVèçEOèÁèÁ
ç™ç±çÄèÈÑÈ ÈÈç%à@çÈçzç¼ç...çÕIKóvç-ç AB

図は、Ne イオンの飛跡を示したもので、細かい四角が一個のピクセルに対応し、色は電荷量に対応している。イオンビームは右寄りを通っており、上下の隔たり部分にはチップが存在していない。ピクセルの位置情報と電荷情報から、飛跡が通過した位置を中心として電荷の分布を見ると、電子のドリフト距離と GEM でのガス増幅部による拡散に相当する広がりを持つことが確認できた。

QuickTimey C?
èLièEVèçEOèÁèÁ
ç™ç±çÄèÈÑÈ ÈÈç%à@çÈçzç¼ç...çÕIKóvç-ç AB

同様に、飛跡が通過した位置を電荷による重心法で求め、位置分解能を見積もると、局所的には $7.4 \mu\text{m}$ となる。これは、 $200 \mu\text{m}$ のピクセルで、しきい値が高く電荷量測定が最適でない条件としては妥当な性能と考えられ

QuickTimey C?
èLièEVèçEOèÁèÁ
ç™ç±çÄèÈÑÈ ÈÈç%à@çÈçzç¼ç...çÕIKóvç-ç AB

る。ブラグ曲線による電荷測定精度の評価を試みたが、不感領域が大きいため意味のある結果を得られなかった。その他に、TOF や TOT などの測定の性能に関しても解析を進めている。しかしながら今回は初めての試験であったため、実験条件の最適化が充分でなかったため、チップ性能の詳細を調べるために、さらなるビーム試験を予定している。

ガス増幅機構の構築に関しては、SU-8 を使用し、シリコンウェハ上に試作を重ねている。

QuickTimey C?
èLièEVèçEOèÁèÁ
ç™ç±çÄèÈÑÈ ÈÈç%à@çÈçzç¼ç...çÕIKóvç-ç AB

写真左は直径 $80 \mu\text{m}$ 、高さ $50 \mu\text{m}$ の円柱を 2mm 間隔で設置した場合、右は厚さ $10 \mu\text{m}$ の壁でハニカム構造を製作したものの電顕写真である。エッジが切り立った高精度の加工ができていて伺える。このようなフォトレジスト単体の加工は装置さえあれば容易にできることがわかった。しかしながら、ガス増幅器とするためには、金属電極を同時に加工しなければならない。金属膜を生成するためにスパッタリング加工を業者に依頼したが、条件出しの困難さ（低温での長時間プロセス、冷却）を持ち、現在のところ満足できる加工に至っていない。また、スパッタリング中の光による感光防止などについては、先行グループ（NIKHEF, トウエンテ大）に情報を聞いて進めている。

ポジ型フォトレジストによる開発も進めてきたが、試験の結果このような工作に対応するレジストが存在しないことを確認した。今後はクリーンルームを借用して SU-8 上への金属膜スパッタリングの条件洗い出しを自らの手でおこない、試作を完成させる予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

1) K. Miuchi et al., "Newage" EAS publication 53(2012) pp33-41, 1109.3099

2) Fei Li, Vu Minh Khoa, Masaya Miyahara and Akira Matsuzawa, "Qpix v.1: A high speed 400-pixels readout LSI with 10-bit 10 MSps pixel ADCs," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers,

Detectors and Associated Equipment ,
Volume650, Issue1, pp. 101-105,
Sept. 2011

3) A. Matsuzawa et al., A New
particle detector LSI, QPIX",
Nucl. Inst. And Meth. A623(2010)
pp477-479

[学会発表] (計 6件)

- 1) 吉元貴洋、杉山晃 他、“MEMSによるガス増幅機構の製作”、第8回MPGD研究会、近畿大学、2011年12月12日
- 2) 中島健一、杉山晃 他、“QPIXのビーム試験結果”、第8回MPGD研究会、近畿大学、2011年12月11日
- 3) Fei Li, A.Matsuzawa , et al, “A high speed 400 pixels Readout LSI with 10-bit 10MSos Pixel ADC for Auasi-3D Particle Detectors”, 電子情報通信学会、福岡、2011年5月
- 4) 身内賢太郎、“QPIX”、第7回MPGD研究会、山形大学、2010年11月26日
- 5) 身内賢太郎、“QPIXの開発”、第6回MPGD研究会、神戸大学、2009年12月12日
- 6) 杉山晃、“MEMS 始めてみました”、第6回MPGD研究会、神戸大学、2009年12月12日

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://openit.kek.jp/project/qpix/publi>

c/qpix

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉山 晃 (SUGIYAMA AKIRA)
佐賀大学・工学系研究科・教授
研究者番号：80187674

(2) 研究分担者

松澤 昭 (MATSUZAWA AKIRA)
東京工業大学・工学研究科・教授
研究者番号：80361781
身内 賢太郎 (MIUCHI KENTAROU)
神戸大学・理学研究科・准教授
研究者番号：80362440
田中 真伸 (TANAKA MASANOBU)
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授
研究者番号：00222117

(3) 連携研究者

()

研究者番号：