

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：82118

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24654072

研究課題名(和文)印刷技術を用いた集積回路一体型ガス2次元測定器の技術開発

研究課題名(英文)Development of high density integration technique for 2D gaseous detector with readout ASIC using printing technologies

研究代表者

池野 正弘 (IKENO, Masahiro)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・前任技師

研究者番号：40391718

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：FR-4基板上に縦横8本ずつ400ミクロンピッチの2次元読み出し電極をスクリーン印刷により形成し、その基板に埋め込んだ読み出し集積回路の入力端子との接続までを一連の印刷技術のみで行う、ガス測定器用読み出し基板の製作技術を開発した。製作した2次元読み出し基板上にGEM(ガス電子増幅器)を重ねてガス2次元測定器を作り、55FeによるX線スペクトルを測定することで正しく動作することを確認した。読み出し集積回路との接続は、X線スペクトル測定とは別にテストパルスを入力側ストリップに与え集積回路出力があることで確認した。精度に関しては、実用的集積回路との接続に必要な100ミクロンピッチの印刷技術を獲得した。

研究成果の概要(英文)：We have developed the high density integration technique for 2-dimensional gaseous detectors with readout ASIC's using screen printing technologies. 8 strips each in vertical and horizontal directions as well as their connections with input ports for frontend electronics are made as a course of the screen printing on an FR-4 printed circuit board, where a readout ASIC are pre-mounted. The developed printed circuit board and a GEM (Gas Electron Multiplier) have been assembled as a 2-dimensional gaseous detector. The detector was tested by irradiating X-rays from 55Fe and the X-ray spectrum was successfully measured. By injecting test pulses at the far ends of strips, conduction of strips and contacts with input ports of the ASIC were also confirmed observing output signals from the readout ASIC. The screen printing technique with the precision of 100um pitch, which is required for connections to practical ICs, has been demonstrated.

研究分野：電子回路開発

キーワード：ガス測定器 印刷技術 集積回路

1. 研究開始当初の背景

(1) 印刷技術の進歩は目覚ましく、描画精度の向上と、印刷材料の進歩により絶縁体上への金属配線がアンテナ、太陽電池、ディスプレイ、タッチパネル等多くの製品に使用され始めている。

(2) 素粒子・原子核実験では、大面積ガスマイクロパターン 2 次元位置測定器は必要不可欠な装置である。現在、前述の測定器デザイン製作過程では、化学反応を用いたエッチングによる金属、絶縁体のパターン形成、もしくはプレーティング等の技術を用いた選択的金属膜生成、ワイヤーボンディング、フリップチップボンディング、それらを行うための通常のプリント基板の製造方法と異なる方法等多種の技術を用いる必要がある。これらは異なった業者が異なったノウハウを持っており、かつ、材料、パターン形状への制限が業者によって異なる。また工程が特殊になり高額になる場合が多い。よってアイデアを検証する時点で多くの障害が存在する。一方海外の研究所では、独自に基板製造プロセスを持ち種々のアイデアを検証している。ただしこの場合プロセスの維持コストが高い。

2. 研究の目的

素粒子・原子核実験で必要不可欠な大面積ガスマイクロパターン 2 次元位置測定器の高性能化のため、現在の進化した印刷技術を用いて、マイクロパターン電極製作および電極と読み出し用集積回路の接続技術を獲得する。現在行われているエッチング等化学処理を用いた読み出しパターン作成、ワイヤーボンディング、パッケージ等の実装、回路基板製作など複数の会社と複数の技術に依存し開発してきた測定器を 1 種類の技術で、容易に、短期間で、安価に製作するための技術開発とノウハウを蓄積する。

3. 研究の方法

(1) 印刷技術にはスクリーン、スクリーンオフセット、インクジェット、ディスペンサー等の種類があり、当初いくつかの方法を試すことにしていたが、基板製造において馴染みがあり協力会社もあるスクリーン印刷のみで行うこととした。また印刷材料も保存期間と入手可能量から予算的に、銀ペーストと熱硬化型絶縁インクの中からの選択となった。また以下の 2 次元ストリップパターンの製作および 2 次元パターンと集積回路の接続では、位置精度を出すために印刷業者の施設を借りて行った。

(2) 印刷用ベース基板を用意し、2 次元ストリップパターンを製作する。その上にガス中での電子雪崩を用いた電子増幅器 (GEM) を配置し、その信号を 2 次元ストリップパターンで読み出すマイクロパターンガス測定器

を完成させる。まずは集積回路を接続せず、配線を外部に引き出しエレクトロニクスに接続することで、動作の確認を行う。

(3) 製作した 2 次元パターンと集積回路を接続する。使用する集積回路は、筆者の所属するグループで開発し、現在ガス検出器読み出しに使用されているものを使う。端子ピッチは接続試験用に製作した 400 ミクロンであり一般的集積回路の 100 ミクロンではない。ここで一番困難になるのは集積回路の厚さである。つまりパターンを描画する基板表面と集積回路の表面の高さの違いにより、印刷した配線が途切れる、配線間が接触する等の問題が起きるからである。これらは次の 3 つの方法を用い解決する。

集積回路の厚さはおよそ 500 ミクロン程度でこれを出荷時に薄くする。100 ミクロン程度までは薄くできることがわかっている。

集積回路の周りに、絶縁体材料を塗布し段差を埋め、絶縁体の表面張力でできた傾斜の上を描画する。

基板を削り集積回路表面と基板表面を同じ高さにする。このとき厚さばらつきはあるため 絶縁体材料による段差の吸収工程は必要となる。

(4) 実用的読み出し集積回路の端子ピッチは 100 ミクロンである。その接続に対応するために、より高精度の印刷に挑戦し、技術を獲得する。

4. 研究成果

(1) 2013 年度製作

2 次元読み出しストリップの設計

シルクスクリーン版の設計は、手始めに最少線幅を 100 ミクロンとし、あまり無理をしないで確実なものができるように縦横それぞれ 8 本のストリップでピッチを 400 ミクロンとした。線幅は縦線を 100 ミクロン横線が 200 ミクロン絶縁用縦線を 150 ミクロンとした。理由は横線を下層として絶縁線を挟んで上層に縦線を印刷するため、上層を細くして横線の露出面積を確保するためである。シルクスクリーンの材料として NBC メッシュテック社の V330 を選定、23 ミクロン径のポリマー線でメッシュ数 130 本/cm である。銀ペーストは ECM-100 AF4810、絶縁インクは S-222 X16K で 2 点とも太陽インキ社を選定した。

2 次元読み出しストリップの製作

印刷するための FR-4 製ベース基板とシルクスクリーン版と銀ペーストと絶縁インクを用意して、印刷の位置精度を出すために協力会社の設備を借りて印刷した。図 1 は印刷した 2 次元読み出しストリップの写真である。この時は位置合わせ用のマークの配置を間違えたため横線のための印刷になり、縦線用シルクスクリーン版を作り直して日を改めて

縦線を印刷した。その時点で同じ銀ペーストは我々が必要な少量では入手不能になったためハリマ化成社の SP-100 を使用した。

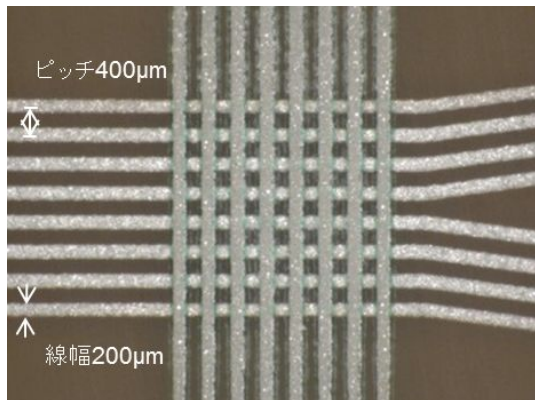


図1 2013年度製作ストリップ

2次元ガス測定器

製作した読み出し基板の上に GEM を載せ 2 次元ガス測定器を作り、信号を外部電子回路で読み出して ^{55}Fe からの X 線スペクトルを測定した結果が図 2 である。

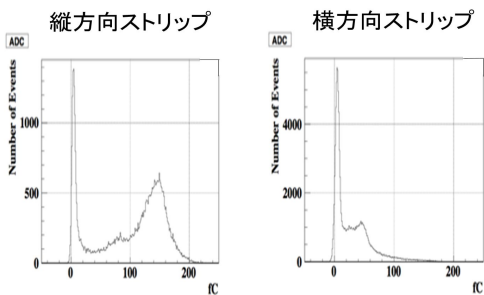


図2 X線スペクトル

横方向ストリップのゲインが低いのは図1の写真でわかるように縦の絶縁線と縦のストリップ共に幅が広がって横ストリップの露出面積が設計よりも少なくなっているためと考えられる。

(2) ストリップと集積回路端子の接続

入力端子ピッチは 400 ミクロンである。予め基板に穴を掘り集積回路チップを埋めてチップ端子面と基板面の高さを揃えてチップ周囲を熱硬化接着剤で固めた。僅かに残った段差は絶縁インクを印刷してならした。図 3 は集積回路端子との接続部分の写真である。

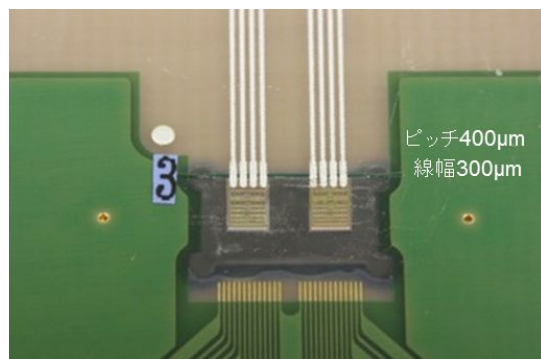


図3 集積回路端子との接続

集積回路の出力側端子は 100 ミクロンピッチであり今回はワイヤーボンディングで 1 つのチップを接続した。入力端子と接続されたストリップの最遠端にテストパルスを 1pF の容量を通して供給し、集積回路の出力をオシロスコープで観測した。図 4 の出力の例のように 4 つの出力共に波形が観測され、ストリップと入力端子との接続が確認された。

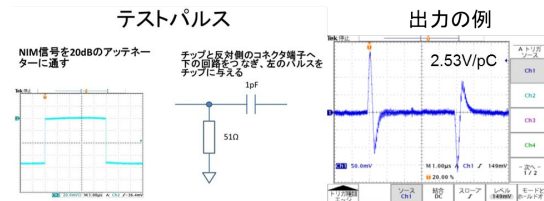


図4 テストパルスによる接続確認

(3) 2014 年度製作 印刷の高精度化

2013 年度の結果をもとに、2014 年度は印刷の高精度化を行った。方法としてスクリーンメッシュと銀ペーストおよび絶縁インクを材料全てを 50 ミクロン幅描画に対応可能な物を調査し選定した。スクリーンメッシュは NBC メッシュテック社の M 10-500-019 を選定、19 ミクロン径のステンレス線でメッシュ数 197 本/cm である。銀ペーストはトーヨーケム社の RA FS 074 で粘度は 130Pa・s(25) と高い物を選定、絶縁インクは三栄化学社の SSR-671G-44 を選定した。これにより設計通りの 400 ミクロンピッチ縦線幅 100 ミクロン横線幅 200 ミクロン絶縁用縦線幅 150 ミクロンを描画できることが期待される。ただし絶縁線は拡がることを予想して横線の 4 本は 250 ミクロン幅とした。

2 作目 2 次元読み出しストリップの製作前回同様に協力会社の設備を借りて印刷した。図 5 は印刷した 2 次元読み出しストリップの写真である。期待した通りにそれぞれのラインの幅が描き分けられていることがわかる。また、心配した絶縁インクの拡がりも少なかった。

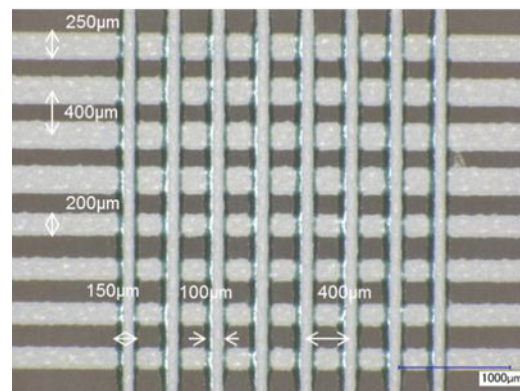


図5 2014年度製作ストリップ

X 線スペクトルの測定

前作同様に GEM と ^{55}Fe を用いて X 線のスペクトルを測定した結果が図 6 である。

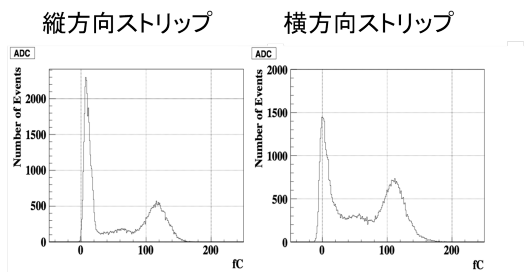


図6 2作目のX線スペクトル
図2と比べて縦方向ストリップと横方向ストリップのゲインのアンバランスは改善した。

(4) 100 ミクロンピッチへの対応
標準的な集積回路の端子ピッチは100 ミクロンであるため、実用段階の集積回路一体型ガス2次元測定器の読み出し基板を製作するには、ラインアンドスペース(L/S)が50 ミクロン/50 ミクロンの線を印刷する必要がある。そのため試作を2014年度の基板で同時に行った。必要な精度は±20 ミクロンとおもわれるが、図7はその部分の写真であり、十分な精度がある。

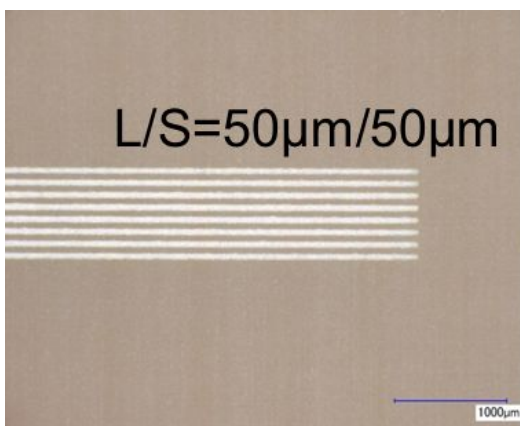


図7 100 ミクロンピッチ印刷
位置精度に関しては図8の400 ミクロンピッチ印刷および合わせマーク部印刷から、10 ミクロン程度である。

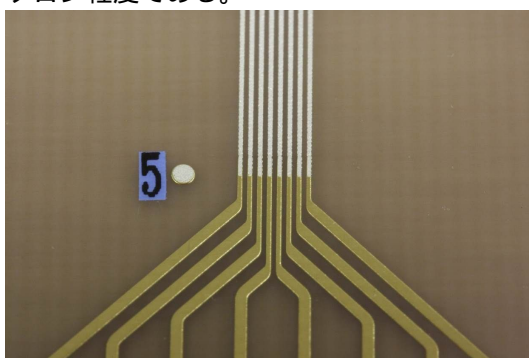


図8 印刷位置精度

(5) 今後の展望
素粒子原子核研究分野でも、LHC アトラス実験アップグレード用のマイクロメガス測定器用で、サイズが約900mm×450mmの1次元抵抗電極へのスクリーン印刷の使用が検討されている< >。今回スクリーン印刷技術を

用いて集積回路一体型ガス2次元測定器を製作し動作の検証を行った。しかし長期安定性の確認や、集積回路の実装方法に関する確実な簡便な方法の研究を引用文献< >等を参考に進める必要がある。

<引用文献>

竹本 強志、ATLAS アップグレードに向けた MicroMEGAS 抵抗電極の開発、神戸大学大学院理学研究科博士課程前期課程物理学専攻、2014 年度修士学位論文

林 恵一郎、久米 章、中村 敬彦、金属ナノ粒子ペースト3次元配線技術の応用、第29回エレクトロニクス実装学会春季講演大会、18E3-4

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計3件)

発表者：庄子 正剛、池野 正弘、内田 智久、田中 真伸、身内 賢太郎
発表表題：印刷技術を用いた集積回路一体型ガス2次元測定器の技術開発
学会等名：日本物理学会
発表年月日：2015年3月21日
発表場所：早稲田大学早稲田キャンパス(東京都新宿区)

発表者：池野 正弘、庄子 正剛、内田 智久、田中 真伸、身内 賢太郎
発表表題：印刷技術を用いた集積回路一体型ガス2次元測定器の技術開発
学会等名：日本物理学会
発表年月日：2015年3月21日
発表場所：早稲田大学早稲田キャンパス(東京都新宿区)

発表者：池野 正弘、庄子 正剛、内田 智久、田中 真伸、身内 賢太郎
発表表題：印刷技術を用いた集積回路一体型ガス2次元測定器の技術開発
学会等名：日本物理学会
発表年月日：2014年3月27日
発表場所：東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池野 正弘 (IKENO, Masahiro)
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・前任技師
研究者番号：40391718

(2) 研究協力者

庄子 正剛 (SHOJI, Masayoshi)
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准技師
研究者番号：50646718