

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03994

研究課題名(和文) プリントブルエレクトロニクスを用いた放射線飛跡検出器の高機能化技術開発

研究課題名(英文) Development of high performance technology for particle track detector using printable electronics

研究代表者

庄子 正剛 (Shoji, Masayoshi)

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・技師

研究者番号：50646718

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、印刷技術を用いて集積回路と検出器を一体化して実装するための要素技術の開発を行う。近年、検出器の狭ピッチ化、多チャンネル化が顕著であり、特定用途向け集積回路(ASIC)を検出器近傍に実装したいという要望が高まっている。また集積回路は微細プロセスで製造されており実装技術の微細化も必要不可欠となっている。そこで、1) 配線幅/線間 = 50 μ m/15 μ mの極細印刷配線を製作するための印刷パラメータの検証を行った。2) 放射線検出器製作を目的として、センサーの実装に印刷配線を用いた。3) 集積回路の上面にインダクタを印刷することで短距離無線通信を用いた集積回路積層化技術について原理検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における学術的意義・社会的意義としては、学術分野において、本研究は微細化が進む放射線検出器・集積回路の実装に関して、プリント基板の実装パッドなどパッケージやワイヤーボンディングを用いた場合よりも短距離で配線が可能であり、ノイズの観点からも有効である。このようにパッケージ化やワイヤーボンディングといった実装技術による制約で実現不可能だったフレキシビリティのある新しい検出器の開発が実現可能となる成果である。この成果は社会的・産業的観点からも微細化やウェアラブル化が進むエレクトロニクス分野に対して有用な技術となる。

研究成果の概要(英文)：We develop elemental technologies to integrate and mount integrated circuits and detectors using printing technology. Detectors are becoming narrower in pitch and more multi-channel, and there is a growing demand to mount application-specific integrated circuits (ASICs) near the detector. Integrated circuits are also manufactured using fine processes, and miniaturization of mounting technology has become indispensable. In this study, the following were conducted. 1) Verification of printing parameters to produce ultra-fine printed wiring with a wiring width/line spacing = 50 μ m/15 μ m. 2) Printed wiring was used to mount sensors for the purpose of fabricating radiation detectors. 3) Verification of the principle of integrated circuit stacking technology using short-range wireless communication by printing inductors on integrated circuits was conducted.

研究分野：放射線検出器

キーワード：印刷技術 放射線検出器

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在、数百 μm ピッチの読み出しストリップを持つマイクロパターンガス検出器は素粒子原子核研究・加速器科学分野の中小規模の実験で高位置分解能を持つ放射線検出器として良く使用されている。この検出器製作過程では以下の技術が必要となる。

- 1) ガス検出器内の信号読み出しストリップ電極は、化学反応を用いたエッチングによる金属、絶縁体のパターンを作成、もしくはプレーティング等の技術を用いて選択的に金属膜を生成している。
- 2) 信号処理エレクトロニクスへの集積回路の実装は、①ワイヤーボンディングでパッケージ化した後にプリント基板に実装する、②プリント基板に直接ワイヤーボンディング実装する、等の方法が用いられる(図1,図2)。
- 3) 信号読み出しストリップ電極とエレクトロニクスの接続は、主にケーブルやフレキシブル基板などで長い距離を接続している。

このため検出器と読み出しエレクトロニクスの集積度は上がらないだけに止まらず、検出器容量の増加による集積回路増幅度の低下、読み出し用のケーブルからノイズの混入、グラウンドループによる発振等の問題が容易に引き起こされる。測定装置に組み込むために諸問題の対策に多くの努力を要し、容易に検出器を扱うことが困難となっている。このように高位置分解能を持つ粒子線検出器の需要が多いにも関わらず、取り扱いの面で導入が困難になっている現状は、測定器研究開発時に要素間接続技術の開発がほとんどなされていないからである。

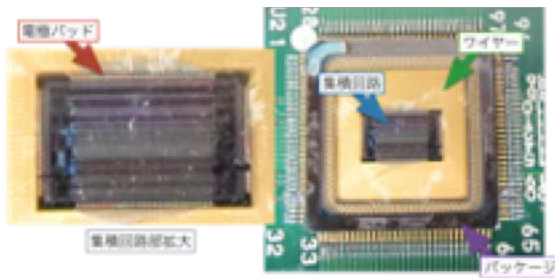


図1 パッケージ化した集積回路

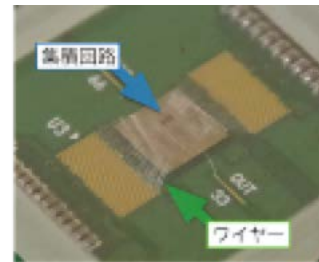


図2 直接ワイヤーボンディング実装

2. 研究の目的

本研究は、分散していた検出器製作技術を、印刷技術を用いた実装技術で統一し、集積回路を高密度実装できる技術を開発する。さらに検出器の信号読み出しに不可欠であるアナログ-デジタル変換、デジタルデータ転送用集積回路といった各要素に分かれている集積回路を検出器と一体化して実装するための原理検証を行う。

3. 研究の方法

集積回路と検出器を一体化して実装する要素技術の開発を行う。本研究では、TSMC65nm プロセスで作られた広帯域アンプチップを薄化处理し使用する。この広帯域アンプチップは、アナログ信号入力部に寄生容量が多い場合、ノイズが増加するなど取り扱いが難しい。本研究では、検出器と集積回路を直近に実装するための要素技術開発を行うため、印刷技術を使った実装の原理検証として適している。実装上の課題としては、集積回路のボンディングパッドが非常に狭ピッチに設計されているため、印刷配線の最適化が必要となることである。

そこで、1) 配線幅/線間=50 μm /15 μm の極細印刷配線を製作するためのスクリーン版のパターンや膜圧などパラメータの検証を行う。2) 集積回路実装への適用を行う。また放射線飛跡検出器製作を目的として、センサーの実装に印刷配線を適用する。3) 集積回路上にインダクタを印刷することで短距離無線通信を用いた集積回路積層化技術について原理検証を行う。

4. 研究成果

1) 微細ボンディングパッドへの極細印刷金属配線の作成と集積回路の実装評価を行った。極細金属配線の形成試験として、配線幅/線間=50 μm /15 μm かつ、配線厚みが10 μm 以上になる配線を作成した。線間15 μm と配線厚み10 μm 以上を実現するために、スクリーン版を2種類用意し、互い違いのパターンを順番に印刷する方法で、線間15 μm と配線厚み10 μm 以上を実現した(図3)。スクリーン版を2種類使った印刷方法が可能であることが分かったため、この手法を

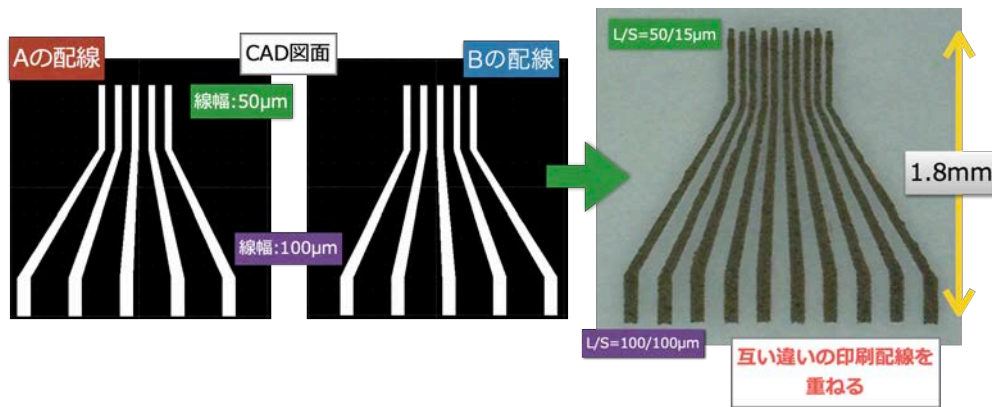


図3 配線幅/線間=50 μ m/15 μ m 配線の試作

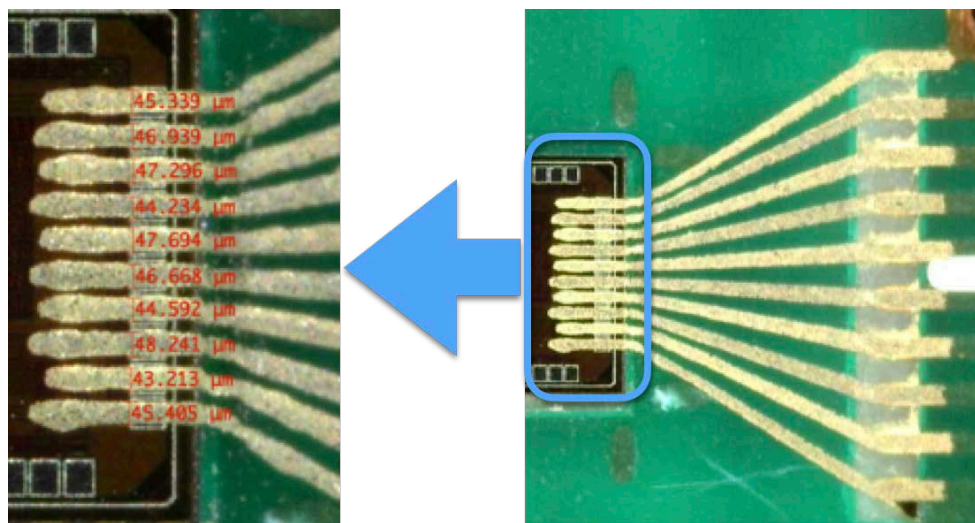


図4 集積回路に印刷した配線幅/線間=50 μ m/15 μ m の極細配線

集積回路に適用した。作成した印刷配線を図4に示す。配線幅は設計値の50 μ mより若干細くなっているが、隣の配線との接触せずに印刷できていることがわかる。

2) 検出器への印刷技術の適用と評価を行った。検出器には、ダイヤモンド検出器を用いて読み出し電極とバイアス電圧部の配線として使用し、ダイヤモンド検出器の動作確認を行った。ダイヤモンド検出器の実装に、印刷技術を用いる理由は、ダイヤモンド表面の荒さと、ダイヤモンド自体の薄さにある。ダイヤモンド表面は数 μ mの凹凸があるため、ボンディングが難しい。また、厚みが約50 μ mであるため、ボンディングの際に割れる可能性が高い。そこで本研究で開発を進めている集積回路の側面に印刷できる金属配線が有効である。

センサーを傷付けずに基板電極とダイヤモンド電極を接続するために、図5の上図に示す金属配線を印刷で作成した。これは薄膜シリコンのシートに金属配線を印刷し、粘着テープに転写している様子である。金属印刷配線は、粘着シートに転写せずにシートから直接剥がすことが可能で、銀の薄膜(厚さ10 μ m)として使用できる。これをダイヤモンドセンサーと基板電極の接続配線に用いた様子を図5下図に示す。この手法により、ダイヤモンドを傷つけることなく、基板実装することが可能となった。このダイヤモンドセンサー実装基板で、放射線に由来する信号を観測することができた(図6)。また、動作確認として、 γ 線照射施設において、 γ 線線量率応答の確認を行い、動作確認もできている(図7)。

3) 集積回路の積層化に向けた要素技術の開発として、集積回路の上面にインダクタを印刷し、短距離無線通信による積層方法の検討を行った(図8)。基板と集積回路間の印刷配線と、集積回路上面のインダクタは、同時に印刷できることを確認したが、いくつか課題が見つかった。まず、インダクタ部の配線クオリティが、縦線と横線で違いが出ている。これは、印刷方向と密接に関係しており、印刷方向に垂直な配線はシャープな配線が形成されるのだが、印刷方向に並行な配線は、インクの充填が不十分になってしまっている。改善案としては、パターンを斜めに傾ける方法がある。パターンを傾けることで印刷方向と並行になる配線を無くすることができる。と期待できる。

以上、本研究により、印刷技術を用いて、配線幅/線間=50 μ m/15 μ mの金属配線を形成することが可能であることが示され、微細プロセスで作成された集積回路への実装に適用可能であることがわかった。また、センサーの実装について印刷配線を用いて放射線由来の信号を読み出すことが可能であることが確認できた。集積回路の積層化に向けた要素技術では無線通信を利用した方法を検討し、集積回路の実装と共に、集積回路の上面にインダクタを同時印刷できることを確認した。

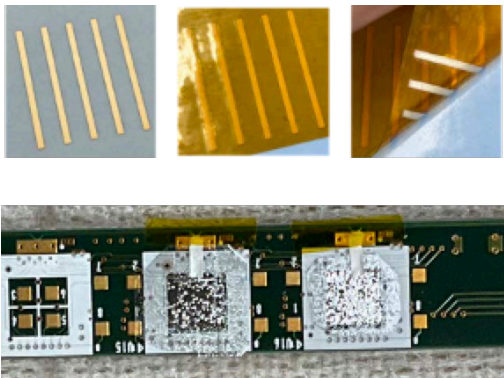


図 5 上:金属配線印刷シート

下:ダイヤモンドセンサの印刷配線実装

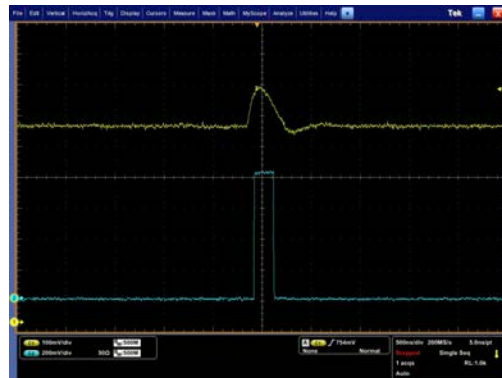


図 6 印刷実装基板を用いて観測した信号

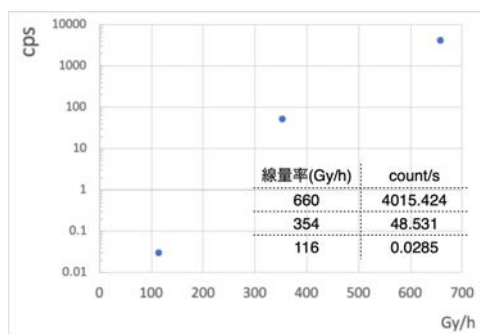


図 7 γ 線応答測定

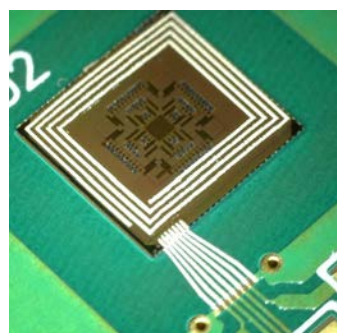


図 8 インダクタと実装配線の印刷

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 庄子正剛
2. 発表標題 放射線環境下で使用するダイヤモンドセンサーを用いた密度実装基板開発
3. 学会等名 日本物理学会 2022年度 秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 庄子正剛
2. 発表標題 ファインピッチ印刷配線を用いた集積回路実装技術の開発
3. 学会等名 日本物理学会 2021年度 秋季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------