

令和元年6月6日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K04748

研究課題名（和文）塗布技術を用いた高位置時間分解能を持つ二次元中性子検出器の研究

研究課題名（英文）Development of a high performance 2D-neutron detector with printing technologies

研究代表者

内田 智久（Uchida, Tomohisa）

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・准教授

研究者番号：40435615

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：高性能二次元中性子検出器を実現するために中性子検出部の製造技術の研究を行った。最終的な検出器は中性子検出部と半導体画像センサから構成される。本研究の特徴は中性子検出部を半導体画像センサ上に印刷技術により直接形成する点である。本研究ではこの形成技術の研究した。定量吐出装置とスクリーン印刷装置を用いて微細形状を形成し、中性子検出器として機能する事を開発した読み出しシステムを用いて確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高位置分解、高時間分解能を持つ中性子検出器を実現するために微細加工が可能な半導体画像検出器を用いて高性能な中性子検出器を実現するための研究開発を行った。中性子を検出すると可視光を発行するシンチレータを中性子検出部として採用しているが、このシンチレータを半導体画像検出器上に印刷技術を用いて直接形成するための製造技術の研究開発を行った。

研究成果の概要（英文）：Our final goal is development of a high-performance 2D-neutron detector. The detector consists of a neutron detection and image sensor parts. The neutron detector part is directly printed on the image sensor with fine printing technologies. This study is technique to manufacture fine structures with printing techniques. We employ a liquid dispensing and screen print system to make the fine structures. We make some fine structures and confirm to work as a neutron detector with photo diode and developed readout system.

研究分野：放射線計測

キーワード：中性子検出器

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 高性能検出器の要請：中性子を用いた構造解析に代表される実験は高精度な測定を行うために高精度で中性子飛来位置や時間を検出可能とする検出器が求められている。また、散乱位置を知るためには平面上の中性子の飛来位置を知ることができる高性能二次元検出器が求められている。

(2) 限られた検出手法：中性子は電氣的に中性のため検出手法が限られている。そのため中性子検出器の種類も限られている。高検出効率で使用できるヘリウム3を用いたガス検出器が広く使われているがヘリウム3の供給量が少ない事と検出器が大型になるためヘリウム3を用いたガス検出器に変わる小型の二次元中性子が求められている。

### 2. 研究の目的

高性能二次元中性子検出器を実現するために必要な微細製造技術を研究開発し製造する事ができる形状などを調査し検出器動作の原理検証を行うことを目的とする。

本研究では高性能二次元検出器を実現するために中性子を検出すると発光するシンチレータに注目した。このシンチレータと微細エレクトロニクス技術を用いて製造した画像検出器を組み合わせることで高性能二次元中性子検出器を実現することを最終目標としている。

本研究では半導体技術を用いて製造した画像検出器上に直接印刷することで中性子検出部を製造する手法を採用している。本研究の対象は中性子検出部の製造技術であり、画像検出部は含まない。

### 3. 研究の方法

中性子検出部を形成するためにディスペンサと呼ばれる定量吐出装置(図1)を用いる技術とスクリーン印刷機(図2)と用いる製造技術を試した。これらの装置を用いて形成できる形状は異なるため、それぞれの装置で実現できる形状などを調査した。

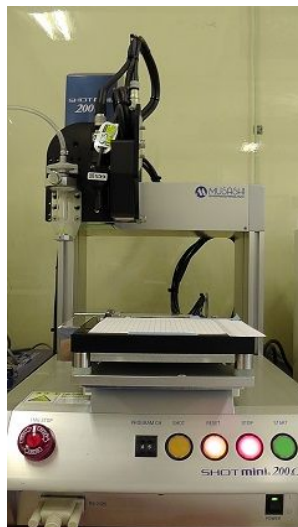


図1 定量吐出装置



図2 スクリーン印刷機

ディスペンサ(図1)はシリンジに充填された液体に空気圧を掛けることで定量押し出す方式である。画像センサなどの塗布する物体を移動ステージ上に固定する。シリンジと移動ステージが移動することで物体上の任意の位置に液体を塗布する事ができる。

スクリーン印刷技術は紙への印刷方法として広く使われている。本研究で用いた印刷技術は産業技術総合研究所フレキシブルエレクトロニクス研究センター先端機能表面プロセスチームが開発した微細パターンが印刷可能な装置(図2)を用いた。

製作した検出器が中性子検出器として動作することを確認するために光検出器としてフォトダイオードを用いた中性子検出システムを開発した。このシステムを用いることで検出効率などの測定を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 検出器の構成

中性子検出部は中性子を荷電粒子へ変換する粒子変換部と荷電粒子により光を発行するシンチレータ部から構成される。粒子変換部はホウ素同位体である B10 を使用し、シンチレータ部は以前 CRT に用いられた銀を添加した硫化亜鉛 ZnS(Ag)を用いた。ホウ素の色は黒く、硫化亜鉛

は白いため、高い検出効率を得るためには画像検出器の画素の直上に硫化亜鉛部を形成し、その上にホウ素層を形成する事が望ましい。また、中性子により発行した光は硫化亜鉛部中を伝搬する。このため、画像素子の境界では複数の素子が光を検出してしまうため、受光素子の境界を遮光体で分離する必要がある。本研究ではこの遮光体をホウ素により形成し、遮光体で囲まれた中に硫化亜鉛を充填することで検出部を形成した。

本研究では当初ディスペンサにより構造形成を試みていたが、微細構造になると再現性を安定させることが困難であることが明らかになった。そこで、スクリーン印刷技術を採用する事で安定して微細構造を形成することに成功した。

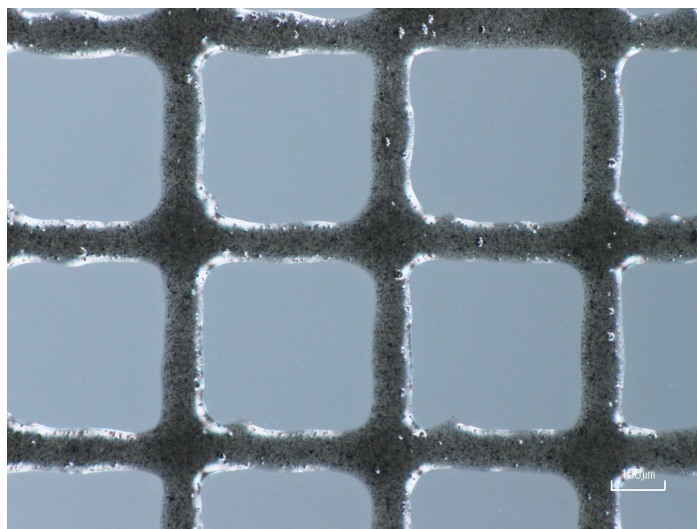


図3 製作した検出器部の顕微鏡写真

図3は検出部の顕微鏡写真である。白い部分がシンチレータ部、黒い部分が粒子変換部である。最終的にはこの上にさらに前面に粒子変換部を印刷する。設計値はシンチレータ素子の大きさが100ミクロン四方、素子中心間の距離が150ミクロンである。製作手順は最初にシンチレータ素子を印刷し、その後で格子状の粒子変換部を印刷した。実験では素子の大きさが50ミクロン四方、素子中心間の距離が100ミクロンも試みたがシンチレータ素子が形成されない部分が生じてしまうことを確認した。これはスクリーン印刷で使用するマスクに使用しているワイヤによる影響と考えている。この影響はインクの粘性などの物性により小さくできる事が知られているため研究の余地が残った。

## (2) 読み出し装置

中性子検出器として機能する事を確認するために読み出しシステムを開発した。このシステムはフォトダイオードが出力するアナログ信号を処理するアナログ信号処理部、アナログ信号をデジタル信号へ変換する信号変換部、デジタルデータを処理することでノイズなどを除去するデジタル信号処理部から構成されている。図4は読み出しシステム全体の写真である。右側の黒い箱は光を遮光する暗箱であり内部にフォトダイオードを取り付けたアナログ信号処理部(図5)があり、この中に中性子源であるカルフォルニウムを入れて測定を行う。暗箱内で処理されたアナログ信号は外に置かれているデータ変換部およびデジタル信号処理部に送られ処理される。処理されたデータはイーサネットを介してコンピュータへ送られハードディスクに保存される。図6はアナログ信号処理部が出力した中性子により生成された信号の例である。

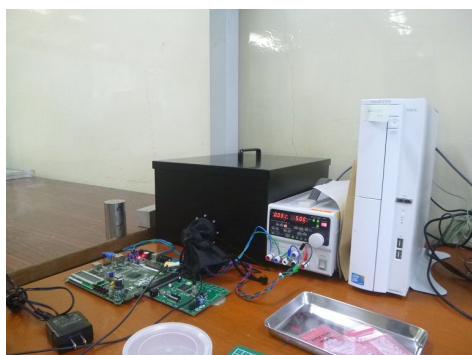


図4 読み出しシステム

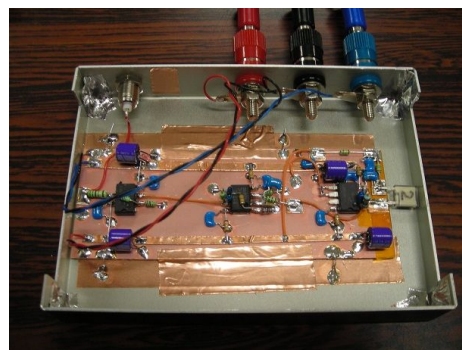


図5 アナログ信号処理部

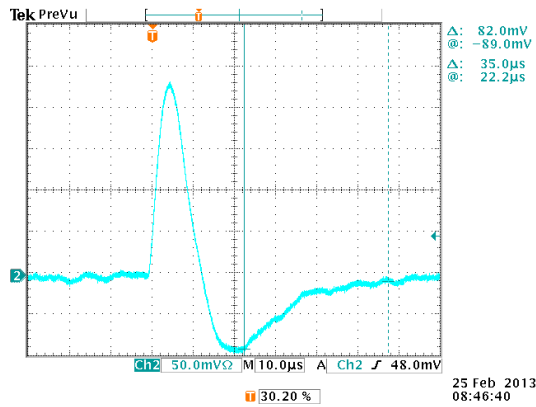


図6 検出器出力信号

### (3) 今後の展開

今回の研究によりシンチレータ素子間の距離が150 ミクロン程度の検出部を製作する事ができたが、より短い素子間隔の検出部を製作する必要がある。そのためにはシンチレータ部や粒子変換部を形成するために使用している印刷インクの色を調整する必要がある。また、画像センサ上に検出部を形成して実際に二次元中性子検出器を試作し素子間の光の漏れなどの性能を評価する必要がある。これらの課題を解決することで実用的な検出器の実現を目指す。

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。