

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：82670

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05392

研究課題名（和文）広帯域中性子検出器の開発

研究課題名（英文）Development of the broadband neutron detector

研究代表者

小宮 一毅（Kazuki, Komiya）

地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・研究開発本部物理応用技術部電気技術グループ・副主任研究員

研究者番号：40578001

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：パルス中性子を利用しTOF法を用いた中性子検出器は、中性子のエネルギー解析が可能で注目されている。ただ、中性子の性質上、中性子を荷電粒子に変換して検出するが、エネルギーによってその変換膜が異なるため広帯域のエネルギーに渡って検出できる検出器がない。そこで本研究は、冷中性子から高速中性子にかけて1つの変換膜で変換可能にするため、熱中性子をγ線に変換する同位体ホウ素と高速中性子を陽子に変換するプラスチックの2種材料を持つハイブリッド構造な変換膜を開発し、冷中性子から高速中性子にかけて1つの検出器で中性子イメージングとパルス中性子を用いたエネルギー分別が可能な検出器の開発をおこなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高速中性子のイメージングにまだ課題は残るものの、今回開発した中性子変換膜を実装した検出1台によって、冷中性子から高速中性子の画像化とエネルギー解析が可能であることを示すことができた。従来はガス電子増幅器のような検出器でも、熱中性子と高速中性子で中性子から荷電粒子への変換方法が異なるため、変換膜の変更などセットアップの変更が必要であった。本研究では、ほぼセットアップの変更無しに、パルス中性子と本装置が1台あるだけで任意のエネルギー帯域ごとに画像化が可能であり、材料分析などの構造解析方法や放射線医療用ビームモニタなどへの応用を期待することができる。

研究成果の概要（英文）：Neutron detectors that use pulsed neutrons and the TOF method are very interesting because they can analyze neutron energy. However, due to the nature of neutrons, there are no detectors that can detect neutrons over a wide range of energies because the conversion membranes used differ depending on the energy. In this study, we developed a hybrid conversion membrane with two kinds of materials: isotopic boron, which converts thermal neutrons to γ-rays, and plastic, which converts fast neutrons to protons, in order to convert cold neutrons to fast neutrons with a single membrane. Using this membrane, we developed a detector for neutron imaging and energy fractionation using pulsed neutrons from cold neutrons to fast neutrons with a single detector.

研究分野：センサー開発

キーワード：中性子変換膜 ガス電子増幅器 熱中性子 高速中性子

1. 研究開始当初の背景

近年、加速器技術の進歩により、物性解析や放射線治療分野で小型加速器ベースの中性子線源の開発が進められている。中性子は幅広いエネルギーを持っておりエネルギーによって物質透過性が異なる。そのため、放射線治療分野、材料の物性解析分野において、中性子のエネルギーを知ることが重要であり、パルス中性子源を用い TOF 法(飛行時間分析法)によって、エネルギー別に 2 次元画像を取得する技術が注目されている(図 1)。

我々は多芯比例計数管の一つであるガス電子増幅器(GEM)を用い中性子検出器を開発している。この装置の特徴は高分解能(1mm)、高計数率で使用可能であるが、現在は変換膜に同位体ホウ素(¹⁰B)を用いているため、冷～熱中性子までしか感度が無い。

2. 研究の目的

本研究では、新たに熱中性子～高速中性子を変換する変換膜を開発し、現在使っている同位体ホウ素の変換膜とハイブリットにすることで、冷～高速中性子までを 1 つの検出器で検出でき、イメージングと同時にエネルギー分別できる検出器の開発を目指す。また、中性子の検出感度をより向上させる方法について検討を行った。

3. 研究の方法

(1) 中性子変換膜構造と検出器の開発

開発した中性子変換膜は様々な構造の検討をおこなった結果、構造的にはシンプルであるが、試作が容易な積層構造(図 2)タイプの変換膜を採用した。この変換膜は、PET フィルム(東レ/ルミラーS10)に ECR スパッタリング装置を用い、アルミ膜を成膜後に ¹⁰B を成膜した。この変換膜は冷～熱中性子は、荷電粒子として α 線を放出し、高速中性子は荷電粒子として陽子を放出する。GEM 検出器を用いこの荷電粒子を検出することで、冷中性子から高速中性子までを検出可能にする。

(2) 実証実験及び評価方法

図 3 に開発した中性子変換膜を実装した検出器を示す。また、中性子の照射実験には、カリホルニウムの同位体(²⁵²Cf)を用いた。熱中性子は、検出器手前に減速材としてポリエチレンブロックを配置し減速した熱中性子を照射している。また、高速中性子は、ポリエチレンブロックを取り外すことで、直接検出器に高速中性子が導かれる。

検出器内に入った各中性子は、開発した中性子変換膜で荷電粒子に変換され、GEM 電極で増幅される。増幅された荷電粒子は XY ストリップライン読み出し電極から信号増幅用 ASIC とオンラインデータ処理用 FPGA により PC 上で画像データとして処理される。

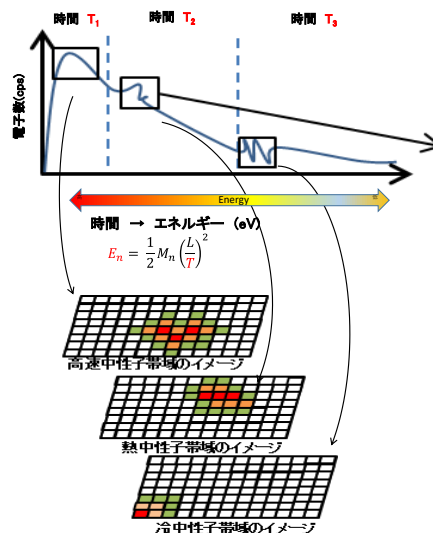


図 1 TOF イメージング

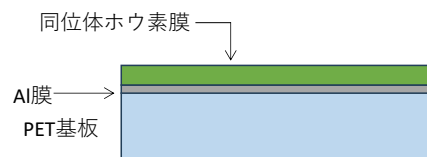


図 2 変換膜の構造

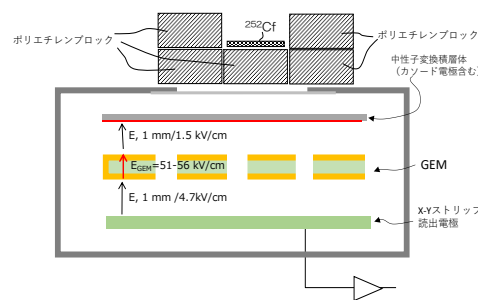


図 3 検出器の構成と評価方法

4. 研究成果

(1) 中性子変換膜の試作と評価

図4に試作した中性子変換膜の外観を示す。変換膜はΦ4インチサイズで試作をした。また、端部4か所に成膜装置へのサンプルの固定のため、未成膜部分が存在する。この変換膜を図3のGEM検出器に実装し²⁵²Cfで評価した。その結果を図5に示す。

図5(a)は、熱中性子の画像で、(b)は高速中性子の画像である。(a)の熱中性子画像では、¹⁰Bが成膜出来ていない端部4か所で中性子は検出出来ていない。一方、(b)の高速中性子画像では、端部4か所が確認できない。これは、高速中性子はPETによって変換されているためである。これによって、1つ検出器で熱中性子から高速中性子を検出できる可能性が示唆された。しかし、高速中性子の感度が熱中性子に比べ低いことと、画像にノイズが多い点など課題も多い。

(2) 中性子検出効率の向上

熱中性子の検出効率向上を狙って、検出器内のGEM電極の改良を行った。GEM電極には、LTCC-GEMと呼ばれるセラミックス製のGEM電極を採用しているが、そのLTCC-GEMに同位体窒化ホウ素(¹⁰BN)を成膜することで変換効率の向上を行った。図6は中性子変換膜のみと中性子変換膜と¹⁰BNを成膜したLTCC-GEMの検出感度の比較をしたグラフとなる。中性子変換膜のみに比べ、¹⁰BN膜付きLTCC-GEMは、3倍近い検出感度がよいことが示唆された。

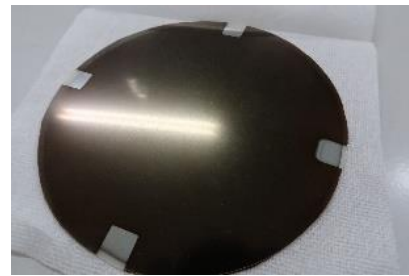
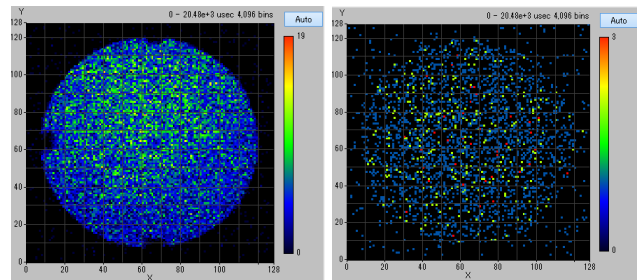


図4 試作した中性子変換膜



(a)熱中性子イメージ (b)高速中性子イメージ

図5 各エネルギーの中性子イメージング画像

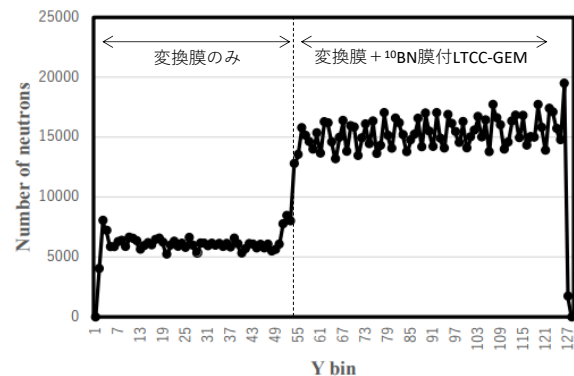


図6 中性子変換膜のみと中性子変換膜と¹⁰BNを成膜したLTCC-GEMの検出感度の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 中性子変換積層体、中性子検出装置及び時間分解型中性子検出装置	発明者 小宮一毅, 武内陽子, 宇野彰二	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-057674	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究分担者	武内 陽子 (Takeuchi Yoko) (40780987)	地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・研究開発本部物理応用技術部電気技術グループ・副主任研究員 (82670)	

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
---------	---------