

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13484

研究課題名(和文)フラットパネルディテクタを応用した次世代の二重ベータ崩壊検出器

研究課題名(英文)Development of flat panel detector for next-generation double beta decay experiment

研究代表者

嶋 達志 (Shima, Tatsushi)

大阪大学・核物理研究センター・准教授

研究者番号：10222035

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：医療用X線撮像デバイスとして普及しているフラットパネル検出器(FPD)は有感層にアモルファスセレン(A-Se)を用いており、二重ベータ崩壊測定試料として有望な $^{82}\text{Se}$ を含むため次世代の二重ベータ崩壊実験への応用が期待される。通常のFPDではA-Se膜を支持するガラス板が不感領域となるため、支持層を半導体検出器に置き換えた構造を考案した。A-Seの成膜には蒸着法が用いられているが、高温下では半導体検出器の損傷が懸念された。そこで、高温を要しない還元法によるA-Se製法の開発を行なった。その結果、普及品よりも純度が高く、かつ漏れ電流の少ないA-Seの製法が確立した。

研究成果の概要(英文)：Flat panel detectors (FPDs) for the digital X-ray radiography contain amorphous selenium (A-Se) as active layers, and therefore they will be useful to perform next-generation experiments on the double-beta decay of  $^{82}\text{Se}$ . In usual FPDs, a glass layer for supporting an A-Se layer is insensitive to radiations, and is not useful to measure the total electron energy in the double beta decay events. We are planning to replace a glass layer with a silicon solid state detector (SSD). To avoid the damage to SSD, we developed a method for A-Se production by low-temperature chemical processing instead of the evaporation method. It was found the A-Se layer produced via this method has a better purity and a lower leak current than the one used in commercially available FPDs. The present result confirmed the feasibility of FPD as a main component of the next-generation double beta decay detectors.

研究分野：宇宙核物理学

キーワード：二重ベータ崩壊 フラットパネルディテクタ アモルファスセレン

### 1. 研究開始当初の背景

原子核の二重ベータ崩壊のうち、ニュートリノ放出を伴わないモード ( $0\nu\beta\beta$ ) はニュートリノ質量の絶対値、レプトン数保存則の破れ、粒子-反粒子の同一性 (マヨラナ性) などニュートリノの基本的性質について直接的情報を与えるユニークな現象であり、観測のための激しい競争が行われている。現在、数百 kg の二重ベータ崩壊試料核を測定し、ニュートリノの有効質量  $\langle m_\nu \rangle \sim 100 \sim 250 \text{ meV}$  の領域の探索が進められている。しかし最近のニュートリノ振動実験や宇宙背景輻射および大規模構造の観測結果、素粒子統一理論は、 $\langle m_\nu \rangle \sim$  数十 meV 近傍を示唆しており、その検証には数トン以上の  $0\nu\beta\beta$  試料核測定が必要である。そのような次世代の大規模実験では、

- ・均一な性能のデバイスを低コストで大量に製造可能であること

- ・放射性不純物の侵入を防止し、長期間安定に動作させるため、全体がコンパクトであること、したがって検出器全体に対して試料核が占める重量比または体積比が高いこと

の2点が従来の実験に比べて新たに重要な要件となる。このような実験装置の基本構成要素として、我々は近年医療用デジタルX線撮像デバイスとして普及しつつあるフラットパネル検出器 (FPD) の応用を考えている。

### 2. 研究の目的

本研究は、粒子線の通過およびエネルギーの両方に対して感度を持つ FPD を次世代の  $0\nu\beta\beta$  測定実験に応用するため、製作方法を確立し基本性能を実証することを目的とする。医療用の FPD は有感層にアモルファスセレン (A-Se) を用いており、セレンの同位体  $^{82}\text{Se}$  は遷移確率および崩壊 Q 値の点で  $0\nu\beta\beta$  測定試料としても優れた候補であるため、高性能な  $0\nu\beta\beta$  測定装置に応用できると考えられる。ただし通常型の FPD では A-Se 層を支持するために厚さ 1mm 程度のガラス層が設けられており、二重ベータ崩壊で放出される電子に対して不感領域となる。この難点を克服するため、本研究では不感領域をほとんど持たない構造を考案し、その実現に向けた開発研究を実施した。

### 3. 研究の方法

当初、ガラス層をシリコン半導体検出器に置き換えた構造を検討したが (図1)、A-Se 蒸着の際の温度上昇により半導体検出器としての機能が損なわれることが懸念された。そこで本研究では、化学的プロセスによる低温での A-Se 成膜法を開発した。

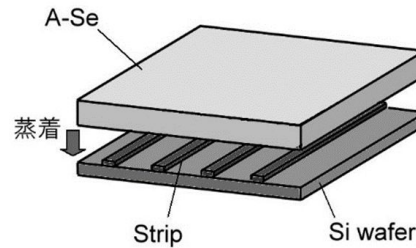


図1. シリコンストリップ型半導体検出器を支持基盤として用いた A-Se 検出器 (概念図)

具体的には、

- (1) 150~180 ℃ に保った濃硝酸と過塩素酸の混合溶液に金属セレン (粒状) を酸化・溶解
- (2) (1)の溶液を室温まで冷却
- (3) (2)の溶液を成膜用の型枠に充填
- (4) L-アスコルビン酸水溶液を加え、セレンイオンを還元

というプロセスによって A-Se 膜を生成した。本研究では主に酸化・還元反応における温度および試薬の濃度などの条件を変え、良質な A-Se 膜が得られる条件の確立を図った。

### 4. 研究成果

A-Se の生成法としては、濃硝酸と過塩素酸による酸化の後、L-アスコルビン酸による還元を行なう方法が過去の文献で報告されていた。これに対して我々は濃硝酸のみでもセレン材料の酸化が可能であることを確認し、従来よりも安全かつ迅速な A-Se 生成法を確立した。また、蒸着法で得られるセレン層が黒褐色であるのに対して本研究の方法では赤褐色のセレンが得られ、より純度の高い A-Se が得られることがわかった (図2)。



図2. 酸化・還元法によって生成された A-Se 試料 (成型前)

これは、A-Se のガラス転移点が約 40 ℃ と低いため、より低温での成膜が可能な本方法が有利だったと解釈できる。また、半導体検出器の材料としては、漏れ電流が小さいことが

低雑音を実現する上で必須条件となるが、金属に近い黒褐色セレンに比較して純粋な A-Se は電気伝導度が小さく、したがって検出器の低雑音化に有利と考えられる。

現在、厚さ 1mm 以上の A-Se 層を試作中であり、半導体検出器の表面に成膜した試験モジュールの動作確認を予定している。また、次のステップとしては A-Se 膜の上にパッド状の電極を形成し、これによって粒子の入射位置の検出を試みる(図 3、図 4)。

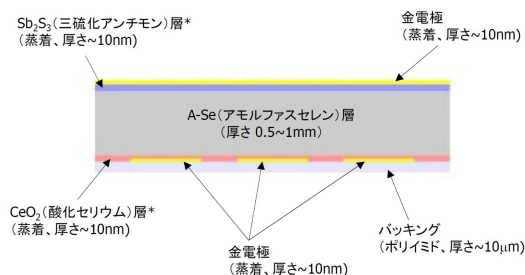


図 3 . パッド状アノードによって位置検出能を備えた A-Se 検出器 (側面図)

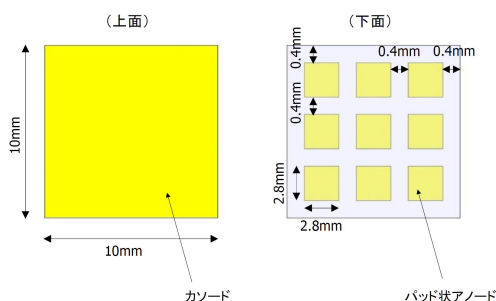


図 4 . パッド状アノードによって位置検出能を備えた A-Se 検出器 (上面/下面図)

この方法が実証された場合、A-Se 層を含む部分をほぼすべて A-Se のみで構成できるため、究極の性能を持つ  $0\nu\beta\beta$  測定装置が実現可能になるものと期待される。

#### 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 0 件)

[学会発表](計 3 件)

#### Tatsushi Shima,

“Experimental Study of Nuclear Astrophysics with Secondary Particle beams”,

German-Japanese Microsymposium “Hot topics in nuclear and particle physics”,  
May 12th, 2016, Dresden, Germany

#### Tatsushi Shima,

“Double Beta Decays in Nucleosynthesis”,  
International Workshop on Neutrino Nuclear Responses for Double Beta Decays and Astro-Neutrino Interactions,  
September 30th, 2016, Osaka, Japan

#### Tatsushi Shima,

“Ultra-low Background Counting Technique on the Earth’s Surface”,  
International Symposium on Nuclear Photonics 2016, October 19th, 2016,  
Monterey, CA, USA

[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

#### 6 . 研究組織

##### (1)研究代表者

嶋 達志 (SHIMA, Tatsushi)

大阪大学・核物理研究センター・准教授

研究者番号: 10222035

##### (2)研究分担者

( )

研究者番号:

(3)連携研究者

堀田 智明 (HOTTA, Tomoaki)

大阪大学・核物理研究センター・助教

研究者番号：30332745

(4)研究協力者

佐藤 賢治 (SATO, Kenji)

株式会社島津製作所・基盤技術研究所・

主任研究員 (課長)