

機関番号：18001  
 研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2009～2010  
 課題番号：21760051  
 研究課題名(和文) ポラリゼーションフリー高分解能テルル化カドミウム半導体放射線検出素子の開発  
 研究課題名(英文) Development of polarization-free CdTe radiation detector

研究代表者  
 山里 将朗 (YAMAZATO MASAOKI)  
 琉球大学・工学部・准教授  
 研究者番号：10322299

研究成果の概要(和文)：本研究は、テルル化カドミウム半導体放射線検出素子において、検出特性の経時劣化を改善するために行ったものである。Al/CdTe/Pt, Ti/CdTe/Pt, Ni/CdTe/Pt の各ショットキーダイオード素子を作製し、電流-電圧特性及び放射線検出特性の評価を行った。いずれの素子においても現在市販されている In/CdTe/Pt 放射線検出素子と同等以上の特性が得られた。また、Al/CdTe/Pt 素子においては、1時間程度で放射線検出特性が劣化したが、Al 電極蒸着前に硫黄処理による表面改質を行うことで、経時劣化が大幅に改善され、1日程度、高分解能放射線検出動作を可能にした。さらに、電極の絶縁保護膜としての非晶質炭素膜電気的特性を評価し、電極間の保護膜として十分な特性を有することを示した。

研究成果の概要(英文)：This research is the improvement of the polarization phenomenon for the Schottky type CdTe radiation detector. Aluminum, titanium and nickel were used for the Schottky electrode for the CdTe; and the Al/CdTe/Pt, Ti/CdTe/Pt, and Ni/CdTe/Pt Schottky diodes were fabricated. All these diodes showed the excellent electrical property and the high quality of g-ray radiation detection compared with the commercial In/CdTe/Pt diode. Polarization phenomenon was drastically improved by the sulfur treatment of CdTe surface, and the long-time measurement (about 1day) of  $\gamma$ -ray radiation was achieved. Furthermore, we investigated the passivation film for CdTe radiation detector. Amorphous carbon films showed enough electrical properties (high electrical resistivity and low permittivity) for the insulation between electrodes, and that is a promising candidate of the insulative passivation film for CdTe radiation detector.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：応用物理学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物理学一般

キーワード：放射線，X線，粒子線，電子デバイス・機器，電子・電気材料

### 1. 研究開始当初の背景

現在医療用ガンマカメラとして用いられているシンチレーション検出器では、シンチレーター部に入射したガンマ線により生じた光子が、光電子増倍管で電気信号として増幅されて検出される。それに対して、半導体放射線検出器ではガンマ線が吸収されて直接電気信号へと変換され計測されるため、検出器を大幅に小型化できる。また、空間分解能はシンチレーション型が約3 mm程度であるのに対し、半導体素子のサイズがそのまま空間分解能になるため、1 mm程度を実現できる。しかし、従来の半導体放射線検出素子(Si, Ge)は、密度が小さいため、X線や $\gamma$ 線に対する有効な検出効率を持つようにするのは難しく、かつ冷却を必要とするため使用環境が限られている。そのため、医療やX線天文学等の分野において、室温程度で動作する高検出効率、高エネルギー分解能の放射線検出素子が強く望まれている。一方、化合物半導体の一種であるCdTeはシリコンやゲルマニウムに比べて放射線の吸収効率が高く、室温動作を可能とする十分なバンドギャップ(Eg: 1.5eV)を有する。そのため、骨密度計や、原子炉の放射線モニターなどへ一部実現されている。しかし、計測時間と共に放射線検出特性が劣化するポラリゼーション現象が問題となっている。そのため、数時間程度で放射線検出素子としての動作が不安定になり、その改善が強く求められている。

### 2. 研究の目的

CdTe-電極界面状態に着目し、界面状態の解析からポラリゼーションの抑制機構を明らかにすることで、ポラリゼーションの発現を大幅に遅らせ、日単位での計測を可能とする手法を開発する。また、電極を分割してピクセル化する場合、素子間でのクロストークを防ぐためピクセル化した各素子間を絶縁する技術が重要になる。そこで、高抵抗材料及び保護膜として用いられる非晶質炭素薄

膜を素子間の絶縁に用いる事を考えている。以上のように本研究では、CdTe-電極界面構造の解析及びピクセル化の要素技術である絶縁膜形成プロセスを開発することを目的とする。

### 3. 研究の方法

(1) 電極を形成する前のCdTe結晶表面の状態を明確にするため、有機洗浄、酸化層除去前後の結晶表面の組成およびフェルミ準位を全反射光電子分光装置(TRXPS)を用いて明らかにする。また、洗浄後に大気等に曝された場合の表面酸化層の形成など結晶表面状態の経時的変化を明らかにし、表面の安定性について調べる。さらに、硫化アンモニウムによる硫黄処理後及び水素プラズマ処理後の表面についても同様に分析を行う。また、Al及びTiショットキー電極をCdTe結晶表面上に形成し、裏面にはPtオーミック電極を無電解メッキにより作製する。Al及びTiショットキー電極の作製には、電子ビーム蒸着とスパッタリング法を用い、それぞれの手法により作製したAl/CdTe/Pt, Ti/CdTe/Ptショットキーダイオード素子の電気的特性と放射線検出特性の評価を行う。電気的特性は、Al/CdTe/Pt, Ti/CdTe/Ptショットキーダイオード作製後に、I-V特性を計測することで評価する。さらに、リチャードソンプロットからCdTe結晶の各面上に作製した電極それぞれについて、そのショットキー障壁高さ及び理想係数を熱電子放出モデルにもとづいて算出する。同様の電気的特性の計測を、硫黄処理及び水素プラズマ処理後にショットキー電極を形成して作製した素子についてもを行い、界面準位の補償によりフェルミ準位のピンニングが解かれ、理想的なショットキー接合が得られる界面処理条件の最適化を行う。また、応用上重要となる電極の付着強度について調べ、高い付着強度を持つ電極形成技術を確立する。

(2) 作製したAl/CdTe/Pt及びTi/CdTe/Ptシ

ショットキーダイオードにおいて、 $^{241}\text{Am}$ からの $\gamma$ 線計測を行う。通常、放射線検出測定開始直後においては、分解能の高いスペクトルが得られる。しかし、時間の経過に伴い、検出スペクトルが劣化し、計測開始後30分ほどで放射線の計測が不可能となるポラリゼーション現象が観測される。そこで、硫黄処理及び水素プラズマ処理による界面準位の補償と放射線検出特性との関係を調べ、ポラリゼーション抑制機構についての解析を行う。(1)で得られたCdTe-電極界面状態の知見をもとに、界面状態と放射線検出特性との関係を明らかにし、ポラリゼーション抑制機構のモデルを構築する。特に、界面準位密度の低減、Teリッチ層の除去、酸化層の除去のどれが最も重要な要素となるかを明らかにする。

(3) ショットキー電極を分割してピクセル化した時に素子間の絶縁分離を行うために重要となる絶縁保護膜形成技術を確立する。絶縁保護膜としては、非晶質炭素膜をRFマグネトロンスパッタリング法により作製する。スパッタガスにはHeと $\text{H}_2$ を用い、低水素分圧下での膜形成を行う予定である。絶縁保護膜形成による結晶表面状態の変化をTRXPS, FE-SEM, 顕微ラマン分光, AFMにより分析し、膜形成後の素子表面の損傷について評価する。この技術により、素子間のクロストークを防ぎ、高分解能CdTe半導体放射線検出素子を実現する。

#### 4. 研究成果

(1) 電極を形成する前のCdTe結晶表面の状態分析を行った。有機洗浄前後の結晶表面の組成を全反射光電子分光装置(TRXPS)を用いて調べた。また、ヘリウムプラズマ処理及び硫化アンモニウムによる硫黄処理前後の表面状態及び洗浄後に大気等に曝された場合の表面酸化層の形成など結晶表面状態を明らかにした。また、Alショットキー電極をCdTe結晶表面上に形成し、裏面にはPtオーミック電極を無電解メッキにより作製した。Alショットキー電極の作製には、電子ビーム蒸着とスパッタリング法を用い、それぞれの手法により作製したAl/CdTe/Ptショットキーダイオード素子の電気的特性と放射線検

出特性の評価を行った。電気的特性は、Al/CdTe/Ptショットキーダイオード作製後にI-V特性を計測することで評価した。その結果、Al電極は、スパッタリングより電子ビーム蒸着法で形成した方が、再現性良く良好な結果が得られた。また、Heプラズマ処理及び硫黄処理を行った表面にAl電極を形成すると、良好な整流性が得られることを明らかにした。

(2) 作製したAl/CdTe/Ptショットキーダイオードにおいて、 $^{241}\text{Am}$ からの $\gamma$ 線計測を行った。その結果、Heプラズマ処理及び硫黄処理を行った試料では、スペクトルの半値幅が2 keV以下となり、高品質な放射線検出素子の作製に成功した。また、硫黄処理を行った試料では、時間経過と共に検出スペクトルが劣化するポラリゼーション現象が大幅に改善され、1日(24h)の計測ができることを明らかにした。

(3) Al電極の他、Ti及びNiもショットキー電極としての特性を調べた。各素子の電流-電圧特性より、現在実用化されているIn/CdTe/Pt素子と同等以上の特性を示し、良好な電気的特性を持つ素子作成に成功した。さらに、リチャードソンプロットからCdTe結晶の各面上に作製した電極それぞれについて、そのショットキー障壁高さを算出したところ、AlとNi電極では、理論値からはずれていたが、Ni電極ではほぼ理論値と同程度の値が得られた。電極の違いによる障壁高さの理論値との差については現在引き続き研究中である。

(4) 熱処理によるCdTe結晶への影響をフォトルミネッセンス(PL)測定により調べた。測定は室温及び77Kで行った。その結果、250°C、1時間の熱処理を行った飼料では、Teサイトに入ったClとCd空孔との複合欠陥に基づくピークが増大することを明らかにした。(2)の結果で、硫黄処理と熱処理を組み合わせることにより、ポラリゼーション現象が大幅に改善された原因については、現在、このPL測定の結果とあわせて研究中である。

(5) 電極をピクセル化した時に素子間の絶縁分離を行うために重要となる絶縁保護膜形成技術についても研究を行った。絶縁保護膜としては、非晶質炭素膜を用いた。成膜中の

水素ガス導入量を低くすることにより，CdTe 表面をあれさせることなく，絶縁保護膜形成に成功した．また，保護絶縁膜として要求される，高抵抗，低誘電率特性について，その膜構造との関係を明らかにした．本研究により，非晶質炭素膜が絶縁保護膜として十分に使用可能であることを明らかにした．

#### 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 1 件)

- ① M. Yamazato, I. Mizuma, A. Higa, Structure and electrical properties of a-C:H thin films deposited by RF sputtering, Vol. 19, pp. 695-698, 2010, 査読有

[学会発表] (計 7 件)

- ① 渡慶次高也，比嘉晃，大野良一，山里将朗，CdTe 結晶上へのショットキー電極形成における熱処理の効果(III)，応用物理学会，2010年9月16日，長崎大学
- ② 藤本誠也，比嘉晃，大野良一，山里将朗，硫黄処理および熱処理が CdTe 結晶表面へ与える影響，応用物理学会，2010年9月16日，長崎大学
- ③ 高良正人，比嘉晃，大野良一，山里将朗，CdTe 結晶上への Ti ショットキー電極形成(III)，応用物理学会，2010年9月16日，長崎大学
- ④ 渡慶次高也，山内徹也，藤本誠也，山里将朗，大野良一，比嘉晃，CdTe 結晶上へのショットキー電極形成における熱処理の効果(II)，応用物理学会，2010年3月18日，東海大学
- ⑤ 渡慶次高也，山内徹也，高良朝一郎，山里将朗，大野良一，比嘉晃，CdTe 結晶上へのショットキー電極形成における熱処理の効果，応用物理学会，2009年9月10日，富山大学
- ⑥ 山内徹也，高良朝一郎，山里将朗，大野良一，比嘉晃，CdTe(111)Cd 面および Te 面上への Al ショットキー電極形成における硫黄処理の効果 (II)，2009年4月1日，筑波大学

- ⑦ 高良朝一郎，山里将朗，大野良一，比嘉晃テルル化カドミウム結晶上への Ti ショットキー電極の形成(II)，2009年4月1日，筑波大学

[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

山里 将朗 (YAMAZATO MASA AKI)

琉球大学・工学部・准教授

研究者番号：10322299

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：