

氏 名	ひし 菱 木 しげ おみ 臣
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2652 号
学位授与の日付	平 成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 原 子 核 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	化合物半導体 InSb を用いた放射線の検出に関する研究

論文調査委員	(主 査) 教 授 伊 藤 秋 男	教 授 山 名 元	助教授 神 野 郁 夫
--------	----------------------	-----------	-------------

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、化合物半導体 InSb を用いて放射線検出器を開発する際の課題を明確にし、この解決を図りつつ InSb 放射線検出器を製作し、アルファ線およびガンマ線の基本的な測定を行った結果をまとめたものであって、7章からなっている。

第1章は序論であり、本論文の研究背景として、社会において必要とされている X 線測定について概観するとともに、化合物半導体 InSb の特長を述べ、InSb 放射線検出器が開発されることの意義を示している。

第2章には、InSb を用いた放射線検出器を開発するに当たって想起される課題について述べている。現在市販の InSb ウエハには不純物が多く、またストイキオメトリが不十分である。また、InSb 放射線検出器を動作させるためには液体ヘリウムなどを用いた冷却が必要であるが、産業・医療の分野で利用するためには動作温度を高くし、液体窒素温度程度にすることが望ましい、と指摘している。このためには、検出器としての抵抗値を高くし、漏洩電流を低くする必要がある。

第3章では、市販の数種類の InSb ウエハと自ら結晶育成した InSb ウエハとについて、ストイキオメトリを測定し、また温度を変化させて Hall 測定を行い、比抵抗値、キャリア濃度、また Hall 移動度の測定を行った。この結果、InSb の電気特性は、In と Sb との比を示すストイキオメトリの影響よりも不純物の影響が大きいことが分かった。また、結晶育成した InSb の先端部分では p 型不純物である亜鉛 (Zn) の、末端では n 型不純物であるヒ素 (As) の影響が大きいことが分かった。

第4章では、InSb ウエハの種類、表面処理方法、電極金属などを変えた InSb 検出器を製作した結果を記述している。それぞれの InSb 検出器の電流 - 電圧特性からショットキー障壁高さを評価した。その結果、InSb の表面処理には、フッ化水素酸が適していることを見いだした。また、InSb 検出器の空乏層厚さを評価するため、低エネルギー荷電粒子の測定を行った。これにより、無バイアス電圧で空乏層厚さが約 $10\mu\text{m}$ であることが分かった。

第5章には、製作した種々の InSb 検出器を用いてアルファ線を測定した結果を記述している。意図して不純物を混入していない undoped 型の InSb を母材とする方が Ge を混入した p 型の InSb よりもエネルギー分解能が良いことが分かった。特にキャリア濃度が低い undoped 型の InSb を母材とした検出器においては、前置増幅器の出力の立ち上がりが 3ns と、放射線検出器の中で最も高速であるシンチレーション検出器並の速さを持つことが分かった。検出器として抵抗値が高くなる pn 接合型 InSb 検出器を製作したところ、液体窒素温度においても動作が確認できた。これにより、より高い比抵抗値を持つ InSb 結晶を用いて放射線検出器を製作することで、液体窒素温度よりも高い温度における動作が期待できる。

第6章においては、製作した InSb 検出器を用いたガンマ線測定について述べている。検出器の雑音を小さくするために電極の直径を 1mm と小さくした検出器を製作したところ、 ^{133}Ba の 81keV のガンマ線とそのエスケープピークである 55keV のピークが観察できた。この検出器の実効的な空乏層厚さを求めるため、モンテカルロシミュレーションコードを用い、空乏層厚さが $2\mu\text{m}$ から $10\mu\text{m}$ の場合について、55keV のガンマ線のイベントと 81keV のガンマ線のイベント数の比を求めた。この結果を実験値と比較したところ、実効的な空乏層厚さは約 $3\mu\text{m}$ であることが分かった。

最後に第7章において以上で得られた結果について総括し、今後の課題及び展望についても言及している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、化合物半導体 InSb を用いて放射線検出器を開発する際の課題となる InSb の結晶性、製作プロセスなどについて論じ、実際に InSb 放射線検出器を製作し、アルファ線やガンマ線の測定を行い、実用的な InSb 放射線検出器を開発するための方法について研究した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 放射線検出器の母材としての InSb の結晶の特性としては、不純物が少なく、ストイキオメトリを制御したものが必要であり、また適した表面処理法で結晶の表面を平滑化して電極を作成することでショットキー障壁を高くし、バイアス電圧を印可して空乏層厚さを大きくし、また動作温度を液体窒素温度程度まで上げることができる。

2. InSb の電気的特性は、ストイキオメトリよりも不純物に大きく依存することを解明した。

3. 表面処理のために硝酸と乳酸の混合液、臭素-メタノール溶液、フッ化水素酸などを用いたが、フッ化水素酸が最も適していることが分かった。また、製作した InSb 放射線検出器の空乏層厚さは無バイアス状態でも約 $10\mu\text{m}$ であることが分かった。

4. キャリア濃度が低い InSb ウエハを用いて直径 1mm の Au-Pd 合金電極の表面障壁型検出器では、アルファ線の入射に対して、前置増幅器の出力の立ち上がり時間が 3ns となり、放射線検出器の中で最も速い動作を持つシンチレーション検出器に匹敵する速さを持つことが分かった。また、InSb 放射線検出器の抵抗値を高くすることにより、液体窒素温度においても動作可能であることが示された。

5. 直径 1mm の金電極を持つ表面障壁型検出器を用いて、 ^{133}Ba から放出される 81keV のガンマ線とそのエスケープピークである 55keV のピークの観測を行った。

6. 今後の性能改善のためには、InSb 結晶中の不純物濃度を低くすることにより比抵抗値を高くして空乏層厚さを大きくすること、また電極にガードリングなどを設けることで雑音を低下することが挙げられる。

本論文は、化合物半導体の結晶育成、表面処理、および放射線計測に関して基礎的な知見をもたらし、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年2月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。