

インジウムアンチモンを用いた常温動作可能な量子型赤外線センサの研究

上之, 康一郎

<https://doi.org/10.15017/1500733>

出版情報：九州大学, 2014, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名 : 上 之 康 一 郎

論 文 名 : インジウムアンチモンを用いた常温動作可能な量子型赤外線センサの研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

赤外線を検出しそのエネルギーに応じた信号を出力する赤外線センサは、現在日常的に使用されているが、身近で多く使用されている例は人体の存在を検知する人感センサである。人感センサは人から放射される赤外線を検知することにより人の存在を検知する。そして、室内の照明などを人の存在によって自動にオン、オフさせるといふ、省エネルギー技術に応用されている。

また、赤外線センサはガスセンサとしても近年注目されている。赤外線を使用したガスセンサは非分散型赤外線吸収方式 (Non Dispersive InfraRed: NDIR 方式) と呼ばれ、ガスの種類を特定でき、ガス濃度を定量することも可能である。この様なガスセンサは、気密性の高い室内の空気質モニター (CO₂モニター) 等へ応用が期待される。この様に、今後要求が高まるであろう人感センサやガスセンサにとって、赤外線センサはその技術の中核をなすセンサである。

従来人感センサやガスセンサには焦電センサやサーモパイル等の熱型センサが使用されてきた。ここに半導体を用いた量子型の赤外線センサを用いることが出来れば高速応答性や静態検知性など更に優れた特徴を待った人感センサ、ガスセンサを実現できることが期待出来る。しかしながら、量子型センサは冷却が必要であり、これまで室温で使用する人感センサやガスセンサへの応用は困難であった。

本研究ではセンサの化合物半導体材料(InSb)の薄膜構造、及び赤外線センサ構造の基礎研究を行うことで、1、拡散電流を抑えてセンサ (ダイオード) 抵抗を上昇し、また、2、赤外線の入射効率または量子効率を上げて光電流を向上させ、その結果、「室温動作が可能で (冷却不要)、超小型であり、且つ産業的にも量産可能である InSb を用いた量子型の赤外線センサを実現する」ことを目標とし検討を行った。以下に、本論文の各章毎にその概要をまとめる。

1. 序論

現在省エネルギーや環境モニターの為の中核センサとして注目されている赤外線センサに関して、特に量子型の赤外線センサに注目し、量子型の赤外線センサが冷却機構無しに、室温で動作させることが困難である理由を述べた。

また上記問題に対して、センサ材料(InSb)の薄膜構造、及び赤外線センサ構造の基礎研究を行い、センサ抵抗を上昇し、赤外線の入射効率または量子効率を上げて光電流を向上させる解決のアプローチを示し、本研究の目的は「室温動作が可能で、超小型であり、且つ産業的にも量産可能である InSb を用いた量子型赤外線センサの実現」であることを示した。

2. InSb 薄膜の成長及びドーピング特性

第 2 章では MBE 法を使用し、良質の InSb 薄膜を GaAs 基板上にエピタキシャル成長し、更に p 型及び n 型のドーピングを行う検討を行った。基板温度と V-III 比の最適化により良質の InSb 成長条件を確認すると共に、InSb に対する p 型、n 型ドーピングの挙動を明らかにした。

3. InSb 薄膜を用いた PIN フォトダイオード特性

第 3 章では上記で検討した InSb の成長条件とドーピング手法を用いて、赤外線センサとなる InSb の PIN フォトダイオードの作成とその特性評価、更に膜構造の改良の検討を行った。

膜改造の大きな効果として、AlInSb の p 型バリア層を導入したことによって無バイアス時のダイオード抵抗が大幅に増加し、赤外線入射時の出力電圧 V_{out} は約 6 倍に増加することを示した。

4. 膜構造のセンサ特性への影響とその最適化

第 4 章では光吸収層である π 層の膜厚、ドーピング濃度、及びバリア層である AlInSb 層の Al 組成、及び膜厚の検討を行い、それらのパラメータが赤外線センサ特性に与える影響を明確化すると共に、その最適化を行い赤外線センサに最適な光吸収層とバリア層の膜条件を決定した。

5. 素子構造のセンサ特性への影響とその最適化

第 5 章では素子の形状についても検討し、赤外線入射面である GaAs 基板裏面の表面ラフネスについて検討最適化し、またダイオードの上部、下部の素子面積がダイオードの素子抵抗、及び光電流に与える影響を明らかにした。その上でダイオードを直列接続したセンサ構造を提案し、これを樹脂モールドパッケージして最終的な赤外線センサ素子として作成した。

この赤外線センサは従来の冷却式量子型赤外線センサに比べて極めて小さい。また室温で $2 \sim 7 \mu\text{m}$ に感度波長帯を持ち、量子型センサの特徴である高速応答性があることを確認した。また室温において熱型センサと同等の比検出能をもつことも確認し、人感検知動作が可能であることを示した。

6. 膜構造による素子性能向上の検討

第 6 章では膜構造の更なる改良によってセンサ特性の向上を検討した。光吸収層の傾斜ドーピングでは大きな効果とは言えないものの、最大約 3% の光電流上昇が期待されることを示した。また、n 層側にも AlInSb のバリア層を導入した場合、 π 層中の転位欠陥が減少するという効果が得られた。

7. ガスセンサ及び発光素子への応用

第 7 章では本研究で作成した赤外線センサを用いて NDIR 方式の二酸化炭素センサを試作し、ガスセンサとしても有望なセンサであることを確認した。また、赤外線光源への応用検討として LED 構造の作成を行った。現在市販されている唯一の中赤外線 LED と比較しても、同等の発光強度が得られており、今後ガスセンサ向けの光源として十分に期待できることを示した。

8. 結論

本章では、本研究の結論を述べた。