

電子情報 工学専攻	学籍番号	983327
申請者氏名	高室 大介	

指導教員氏名	澤田 和明
	石田 誠

論文要旨(博士)

論文題目	電子放出型焦電赤外線センサの高感度化に関する研究
------	--------------------------

(要旨 1, 200字程度)

赤外線センサは、固体型だけに限らず様々なタイプの方式が研究されてきた。近年では、人体検出、セキュリティ、医療応用、個人認証(バイオメトリックス認証)、化学分析や高度道路交通システム(Intelligent Transportation System)などに使用可能で、室温で動作可能な高感度赤外線検出器が求められている。画像計測も視野に入れた場合、最も感度の高い赤外線センサは光電子倍增管などの電子放出型である。またイメージインテンシファイア (I/I) は光電変換素子とマイクロチャンネルプレート (MCP) の組み合わせで構成されている。光電変換素子は、光を電子に変える光電子放出面 (フォトカソード) を持ち、その光電子放出面からの出力電子をMCPが低雑音で10万倍以上に増幅している。センサとして最高感度に貢献しているのは、真空中での電子の増幅機能を持つMCPであり、固体の光電変換素子ではない。このように光電面からの出力電子はMCPを用いて数万倍に増幅できるが、入力段である光電面での量子効率が低い。更に光電変換素子の材料 (光電変換材料) では、感度のある赤外波長領域に上限がある。光電変換効率 (量子効率) が低いので、有効な光情報量を最大限に使っていないと言える。そこで光電変換材料が赤外波長の感度限界がなく、遠赤外領域まで感度を持ち、室温で動作し、MCPとの組み合わせた赤外センサを開発出来るならば有用性が高く、多方面の応用分野に使われることが予想される。

本研究では量子型赤外線センサに匹敵する、もしくは凌駕する熱型赤外線センサを実現するために、真空マイクロエレクトロニクス技術を用い、熱型で電子放出型を実現することを検討している。赤外線が照射されると、強誘電体から直接電子放出が可能な電子放出型赤外線センサを提案し実験を行った。真空中に保持した強誘電体に赤外線を入射させ、その自発分極値変化を電極のない材料表面からそのまま電子放出をさせる新しい赤外線センサである。はじめに、 $Pb(Zr, Ti)O_3$ (PZT) を使用し、電子放出型赤外線センサの基本的原理の確認実験などを行った。まずPZT表面からの赤外線照射による電界電子放出の実験では、赤外照射エネルギーを増加させると、照射赤外線エネルギーに応じて焦電体からの電子放出量の増加が観測された。また、PZT薄板表面の電子の引き出し電圧であるアノード電圧500Vにおいて、焦電流として発生した電子を真空中に放出電流ピーク値で約55%取り出すことに成功した。そして、引き出し電界の増加により、電子放出効率を上昇させる事が確認できた。これらの結果より、本デバイスの基本的原理が確認された。

赤外線パルス照射による電子放出実験では、パルス駆動時における電子放出型焦電赤外線センサのマクロモデルについて検討した。光源の0.1、1Hzのパルス駆動においては、数十秒程度においても放出電流ピーク値が変動するという事はなかった。電子放出面への電荷供給過程に関しては、材料の内部あるいは表面のパスを考え、パルス駆動におけるマクロモデルを提案した。実験においては、電子の供給時間(赤外線遮光)に出力は影響されず、赤外線照射エネルギーに応じた放出電流が観測された。本実験の赤外線照射条件においては、赤外線照射1パルスにつき約 $5 \times 10^{-12}C$ の電子放出であった。本実験の条件下において、熱平衡状態のPZTの表面には、十分な電荷が存在すると考えられる。

焼結体PZTと単結晶材料の電子放出特性の比較実験においては、単結晶材料は、焼結体PZTに比べ熱伝導度が高いため、より高速駆動が実現できると期待された。1Hz駆動における赤外線パルス照射による、焼結体PZT薄板からの放出電流は、ピークを示すと共に、赤外線照射が遮断されると、次第に電流が減少し元の信号レベルに戻る。LiNbO₃からの放出電流ピーク値は、PZTの0.9 nAよりも小さい値となった。SrTiO₃においては、変位電流が観測された。アノード電圧を増加させる事により、連続ではないが、電子放出が観測された。電子放出面に電荷供給用のくし型電極を設けたLiNbO₃からの電子放出は、電極を設けない場合と違い、パルス駆動時に同じ赤外線照射条件では、放出電流量が変動する事はなかった。また、LiNbO₃からの電子放出応答は、PZTに比べ応答速度が改善された。

電子放出面を研磨する事による電子放出特性の改善とPZTからの放出電子のMCPによる増倍による高感度化を目指した。電子放出面の研磨による電子放出実験では、放出電流は、同じ赤外線照射条件において、研磨面のほうが切断面そのままに比べて、ピーク値で約2倍の大きさであった。次に、PZT表面より放出された2次元電子分布を直接にMCPに入力する事により、放出電子の増倍実験をした。増倍前のMCP入力面電極において観測される放出電流に比べ、放出電流のピーク値が約40倍程度の放出電流が観測された。このことにより、MCPによる高感度化が実現できることが確認された。

熱型の赤外光電子増倍管を蛍光面、MCPとLiNbO₃で構成した。光電変換材料から放出された電子をMCPにより増倍し、蛍光体に照射する事により赤外光の2次元分布の画像を取得する原理である。蛍光面のガスだし後の実験においては、電子放出面の形が確認できた。しかしながら、発光にはムラがあった。結果から、真空内の残留ガスなどの影響を抑える事により、熱型光電変面を用いた光電子増倍管が実現できると考えられる。

これらの、実験結果より、強誘電体の焦電効果を利用し、入射エネルギーに応じた電子を放出させる新しい原理の赤外センサあるいは赤外イメージャの可能性を確認できた。