

博士論文審査の結果の要旨

氏名	水寄 英明
学位名	博士（工学）
学位番号	甲 第 728 号
論文題目	焦電効果を利用した PZT 赤外線センサの作製プロセスに関する研究
論文審査委員	主査 佐藤 敏郎 橋本 佳男 曾根原 誠 宮地 幸佑 舟木 剛（大阪大学）

（博士論文審査の結果の要旨）

本論文は、小型・低背で表面実装可能な人感センサを実現するための焦電効果型 PZT 薄膜センサ素子作製に関わる要素技術と、センサ素子のパッケージ封止手法についてまとめたものである。

センサ素子作製については、PZT 薄膜焦電センサの作製コストの低減と生産スループットの向上を目的とした大気中 PZT 薄膜パターンニングに適する Pt 電極形成プロセスと、センサの高感度化を目的とした低熱伝導率電極材料の検討を行っている。

パッケージ封止技術については、封止プロセスに伴う熱の影響を受けやすい PZT 薄膜焦電センサに対して熱的なダメージを抑制する新規の封止プロセスを提案し、パッケージ内部の局所温度測定法を開発するとともに、局所加熱によるはんだ接合法を提案して試作評価を行っている。また、有限要素法による過渡伝熱解析によるパッケージ内部の温度分布を評価し、局所加熱法の効果を検証している。

本論文の第 1 章では、様々な人感センサの動作原理と特徴を整理するとともに、本研究の対象である焦電型人感センサの検出素子である焦電体材料の諸特性および性能指数についてまとめている。本研究で対象とする薄膜焦電型人感センサは、強誘電体である PZT 薄膜の焦電現象を利用するものであり、本章では PZT 薄膜の各種合成法を概観し、表面実装型の赤外線センサを実現するための課題を整理して本研究の目的を提示している。

第 2 章では、気相成長に替わる低コスト PZT 合成法としてゾルゲル法を採用して種々検討した結果を述べている。熱酸化膜付きシリコン基板表面に下地 Pt 電極パターンを形成してゾルゲル法 PZT 薄膜を成膜し、結晶配向や結晶粒サイズと基板加熱温度の関係を明らかにしている。さらに、基板表面の Pt 電極のない熱酸化 SiO₂ のエリアではパイロクロア相の生成が原因となって PZT 薄膜にクラックが生じることを見出し、下部 Pt 電極を周期的に配列する電極構造によってクラックレスのペロブスカイト単相 PZT 薄膜を実現できることを明らかにしている。

第 3 章では、PZT 薄膜の焦電効果の感度を改善する目的で、低熱伝導率導電性酸化物/Pt 二層電極構造を提案し、実際に PZT 薄膜を成膜してその効果を検証している。本研究では、熱伝導率の低い導電性酸化物としてルテニウム酸ストロンチウム (SrRuO₃: SRO) を採用して SRO/Pt 二層電極の作製法を検討するとともに、二層電極を下地にして成膜した PZT 薄膜の結晶配向ならびに焦電効果を評価している。SRO/Pt 二層電極構造では PZT 薄膜から電極への Pb 拡散が起こりにくく、組成ずれの小さい PZT 薄膜の形成が可能になることで Pt 単層電極の場合の PZT 薄膜に対して焦電係数が 37% 向上し、549 $\mu\text{C}/\text{K}/\text{m}^2$ となった。また、ペルチェ素子を用いた評価実験の結果から PZT 薄膜/SRO/Pt 二層電極構造単体の熱的時定数が Pt 単層電極を採用した場合の 1/8 の 0.05 s となることを示した。

第 4 章では、低背パッケージを実現するための LTCC パッケージ構造を提案するとともに、熱的ダメージを抑制して PZT 薄膜の脱分極を回避するパッケージ封止法を提案している。具体的には、PZT 素子に対してキュリー温度を超えない熱履歴を制約条件として課し、パッケージ封止用 Si リッドの高信頼 Au-Sn はんだ接合をいかにして実現するかという課題に対してマイクロヒーターを

用いた局所加熱法を新たに提案して試作検証している。従来のホットプレート加熱では、Si リッドに対して十分な接合強度を確保しようとするすると PZT 素子の温度がキュリー温度の 250°C を超えて脱分極を起こすのに対し、Pt マイクロヒーターによる局所加熱では PZT 薄膜センサに対してキュリー温度を超えることなく Si リッドの高信頼はんだ接合が実現できることを示している。

第 5 章では、第 4 章で得られた実験事実を詳細に考察するために、LTCC パッケージ構造全体をモデリングし、はんだ界面接触熱抵抗を考慮に入れた有限要素法による熱伝導解析を行い、マイクロヒーターによる局所加熱とホットプレート加熱における熱伝導メカニズムの違いを明らかにした。これらの検討によって第 4 章で得られた実験事実を定量的に説明している。

第 6 章は本研究の総括をまとめるとともに、今後の課題と展望を述べている。

一連の研究成果は、審査付き学術雑誌として電気学会センサ・マイクロマシン部門誌 2 件の筆頭著者論文、審査付き国際会議プロシーディングとして ICEP2019 (International Conference on Electronics Packaging 2019, Apr. 2019) の筆頭著者論文として公表されている。

本研究の成果は、電子部品の新たなパッケージング技術として期待されるとともに、国際会議において優秀ポスター賞を受賞するなど、当該分野において高く評価されている。また、外国語能力も十分であり、誘電・圧電体材料ならびに電子部品の実装技術に関する知識・経験も十分である。

学位審査委員会で審議した結果、審査委員全員一致で提出された学位論文は博士の学位を授与するにふさわしいと判定された。

(公表主要論文名)

- (1) 水寄英明, 佐藤敏郎, 曾根原誠, “導電性酸化膜と金属膜を下地電極に併用した PZT 薄膜の結晶成長”, 電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン部門誌), Vol. 138, No. 11, pp. 495~502 (2018 年 11 月発行).
- (2) 水寄英明, 飯田祐介, 米久保荘, 佐藤敏郎, 曾根原誠, “リフトオフ形成 Pt 電極による低コスト PZT 焦電センサの作製法”, 電気学会論文誌 E (センサ・マイクロマシン部門誌), Vol. 136, No. 8, pp. 337~342 (2016 年 8 月発行)
- (3) Hideaki Mizusaki, Toshiro Sato, Makoto Sonehara, “Au-Sn soldering using a micro heater to restrain excess temperature rise inside the package”, International Conference on Electronics Packaging 2019 (ICEP 2019) Proceedings, pp. 349-354 (April, 2019).