

論文審査の結果の要旨

氏名 門田 洋一

本論文は強誘電体セラミックスを用いて歪みの維持に印加電圧を必要としない形状記憶圧電アクチュエータの原理を提案するとともに、実際にアクチュエータの製作およびそのモデル化を行ったものである。本論文のオリジナリティは主に以下の3点である。第1点は、電界インプリントによる強誘電体の諸特性の非対称化に注目し、これによる分極反転時の歪み、誘電率のメモリ効果を提案し、実証した点である。第2点は強誘電体の結晶格子の歪みの非対称性に注目し、非対称なドメインスイッチングによる歪みおよび諸特性のメモリ効果を提案し、実証した点である。またドメインスイッチングによる原理についてX線回折や原子間力顕微鏡を用い、微視的な視点からこれを確かめた。第3点はPreisach Modelにドメインの影響を入れたモデルを提案し、これを用いて歪みのバタフライ曲線のモデル化に成功した点である。

本論文は7章からなる。第1章では、まず本論文の概要と構成について述べている。また圧電体・強誘電体の基礎について述べると共に、従来の圧電アクチュエータにおける問題点を整理し、本研究の背景と目的について述べている。本研究の目的は、従来の圧電アクチュエータとは異なる原理を持つ形状記憶圧電アクチュエータを提案し実証することである。

第2章では、電界インプリント現象を利用した形状記憶圧電アクチュエータについて述べている。従来の強誘電体の諸特性において、メモリ効果を持つのは分極のみであり、歪みや誘電率にはメモリ効果はない。しかし本章では強誘電体における電界インプリント現象を利用することで歪みや誘電率にもメモリ効果が生じることを提案している。実際にバルクセラミックスアクチュエータを用いて、歪みや誘電率のメモリ効果を実証すると共に、これを利用した形状記憶圧電アクチュエータを実現し、その諸特性を明らかにしている。

第3章では、非対称電圧駆動による形状記憶圧電アクチュエータについて述べている。本章では非対称な電圧印加による諸特性のメモリ効果を提案し、実証している。実際にバルクセラミックスアクチュエータを用いて形状記憶圧電アクチュエータを製作し、そ

の諸特性の評価を行なった結果、電界インプリントを用いたアクチュエータに比べて良好な疲労特性を確認した。また非対称な電圧印加によるメモリ効果のマイクロな原理は、非 180° ドメインのドメインスイッチングであると考えられる。

第 4 章では、非対称電圧駆動によるメモリ効果について、そのマイクロな原理を検証している。メモリ効果のマイクロな原理は非 180° ドメインのドメインスイッチングに起因すると考えられ、これを X 線回折や圧電応答顕微鏡を用いた微視的な観察により確認した。X 線回折によるドメインの観察とマクロな歪みを比較すると、メモリ効果として現れる歪みは X 線回折から求めたドメインの体積変化による歪みと良く一致し、これに起因することが示された。また圧電応答顕微鏡によるマイクロなドメイン構造の観察により、メモリ効果が生じる際のマイクロなドメイン構造を明らかにした。

第 5 章では、ドメインスイッチングによるマイクロな歪みからマクロな歪みを記述するモデルの構築を行なっている。モデル化にはヒステリシスのモデリング手法のひとつである Preisach Model を用いた。しかし従来の Preisach Model では非 180° ドメインを扱うことはできない。そこで Preisach Model に非 180° ドメインを導入した新たなモデルを提案し、これを用いて強誘電体の歪みのバタフライ曲線のモデル化を行った。

第 6 章では、これまでの結果を踏まえ、形状記憶圧電アクチュエータの設計指針について主に材料の観点から述べている。強誘電体材料は主にハード系とソフト系に分類することができるが、形状記憶圧電アクチュエータに適しているのはソフト系と考えられる。また形状記憶圧電アクチュエータに適した結晶系について菱面体晶系と正方晶系を比較すると、正方晶系が形状記憶圧電アクチュエータには適していると考えられる。

第 7 章では、本研究のまとめと得られた学術的知見、そして今後の課題と展望について述べられている。

本論文は従来の圧電アクチュエータの問題点を克服する“形状記憶圧電アクチュエータ”という新しい概念を提案し、また実際にそれを検証したものである。さらに詳細な原理について明らかにし、それを元にモデル化や材料の設計指針についても記している。

したがって、博士(科学)の学位を授与できると認める。

以上 1812 字