

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 欠陥誘起ナドメインによる新規リラクサ強誘電体の開発

2. 研究代表者: 野口 祐二 (東京大学 先端科学技術研究センター 准教授)

3. 研究概要:

本研究は、3次元構造をもつペロブスカイト型強誘電体に、1次元・2次元的な欠陥(欠陥複合体)を導入する従来にはない材料設計指針を提案し、新規な次元融合リラクサ強誘電体を開発することを目的としている。強誘電体において、欠陥複合体は自由エネルギーの不均一性をもたらし、ナドメインを誘起する活性中心として働く。すなわち欠陥誘起ドメインは外部電場に敏感に応答するため、巨大な誘電性・圧電性の発現が期待出来る。そこでこの欠陥誘起ナドメインを積極的に利用した材料設計により、①実用レベルの非鉛強誘電体セラミックスの開発、②医療用高性能強誘電体単結晶の開発を目指している。

現在までに得られている成果は次のとおり。

3-1 1次元欠陥複合体導入により、 BiFeO_3 結晶の分極反転に成功。

ペロブスカイト型強誘電体の中で最も大きな自発分極(P_s)と高いキュリー温度($T_c=850^\circ\text{C}$)を併せ持つ BiFeO_3 を選択し、第1原理バンド計算により欠陥複合体を設計した。次に固相法で作製した粉末の構造解析により固溶限界を調査した結果、 Zn^{2+} と Mn^{4+} が3%程度 Fe サイトに置換可能であることが分かった。ここでは、 Zn^{2+} と Mn^{4+} 欠陥複合体を選択して、単結晶の育成・物性評価を行った。その結果、 BiFeO_3 単身の結晶では、絶縁性を持つにもかかわらず、電界によるドメイン反転には至らなかった。ところが欠陥複合体を導入することで、 BiFeO_3 結晶のドメイン反転に成功し、大きな残留分極($P_r=38 \mu\text{C}/\text{cm}^2$)が得られた。欠陥複合体によるナドメイン制御が、強誘電体の材料開発に有効であることを単結晶の研究で初めて実証した。

3-2 BiFeO_3 結晶で得られた欠陥制御指針を BiFeO_3 系セラミックスに適用することで、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)と同等の圧電特性を達成した。原料として粒子径 100nm の活性粉末を用いることで、相対密度 95%以上の高密度セラミックスが得られた。また、欠陥複合体を導入した結果、PZT セラミックスに匹敵する良好な圧電歪み特性が得られた。今後、この系における欠陥制御を進めることで、PZT を凌駕する圧電セラミックスが得られることが期待される。

3-3 (K,Na)NbO₃ 結晶の育成に成功し、欠陥制御により高絶縁化・分極反転を達成した。

3-4 1次元欠陥複合体導入により、 PbTiO_3 結晶で巨大分極の発現に成功し、Pb 系強誘電体の欠陥制御指針を確立した。

4. 中間評価結果

4-1 研究の進捗状況と今後の見込み

本研究は、格子欠陥を積極的に利用した従来にない材料設計指針を確立するという基礎的研究とともに、具体的な材料として実用レベルの新規強誘電体を開発するという応用研究も兼ね備えている。欠陥誘起ナドメインを基盤とする材料開発により、非鉛強誘電体セラミックスで世界最高の分極特性を達成していることは高く評価出来る。1次(0次)元複合欠陥の導入検討が期待以上に進展した一方で、当初計画の2次元複合欠陥に絡む研究がやや遅れている。今後、新しい発想や材料開発に向けた進展を期待したい。

4-2 研究成果の現状と今後の見込み

BiFeO_3 や PbTiO_3 の分極反転を可能にし、新たな非鉛系材料として可能性のある物質を見出している。これらの材料に関する研究が進展し、特性・品質・安全性が要求スペックに入れば、医療用の超音波診断装置のプローブに利用出来る。現在、PZT セラミックスを用いた超音波プローブが幅広く利用されているが、特性向上が求められており、超音波プローブの感度向上と広帯域化により高性能診断装置の開発に成功すれば、早期のガン発見、臓器の簡便な診断や病気予防に貢献出来る。

本研究で提案する新規な材料設計は、誘電材料だけでなく他の機能性ペロブスカイトにも適用出来ることから、我が国の電子材料開発の基幹技術にまで発展する可能性がある。

4-3 総合的評価

格子欠陥を積極的に利用する欠陥誘導ナドメインの新規強誘電体を開発し、非鉛強誘電体セラミックスで成果を得たことは評価出来る。この材料を、現在 PZT で用いられている部分と代替することが可能な段階に入った。研究者としてはペロブスカイトへの展開や医療用の超音波診断装置への応用など夢は広がると思われるが、実用化を目指した研究内容の絞込みを行うことが望ましい。研究者は明解な研究方針を持っており、当該分野での活躍が期待出来る。