

イメージングデバイス応用に向けた巨大圧電性を有する Si 基板上の圧電体薄膜作製に関する研究

[1] 組織

代表者：大野 智也

(北見工業大学マテリアル工学科)

対応者：鈴木 久男

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

Barbara Malič (Jožef Stefan Institute)

Andreja Bencan (Jožef Stefan Institute)

Hana Ulsič (Jožef Stefan Institute)

鈴木 久男 (静岡大学電子工学研究所)

脇谷 尚樹 (静岡大学電子工学研究所)

坂元 尚紀 (静岡大学電子工学研究所)

新井貴司 (静岡大学創造科学技術大学院)

[2] 研究経過

本研究では、MEMSや圧電発電用薄膜として期待されるSi基板上の圧電体薄膜について、配向性や組成あるいは残留応力と言った種々の因子をケミカルプロセッシングにより最適化して、イメージングデバイス応用のために巨大な圧電性とキュリー温度の高温化を残留応力制御により発現させることを目指している。強誘電体材料の中でも特に $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ (PZT)をはじめとする圧電体材料は、電子放出源としての応用などによりイメージングデバイスとしての応用が期待できる。そこで本研究グループでは、これまでPZT系薄膜に対する応力印加効果により従来のPZT薄膜の性能をはるかに超える高い強誘電性や圧電性の発現を一般的なシリコン基板上において実現してきた。また電子工学研究所担当教員である鈴木久男教授は上記の強誘電体薄膜に関する研究の第一人者であり、本研究グループはこれまでも共同で多くの研究を行ってきた。そして、セラミックス材料はその合成手法（プロセッシング）により特性が大きく影響を受けることが知られている。特に圧電体については近年の環境意識の高まりを受けて毒性のない非鉛系の新しいセラミックスの開発が進められている。この場合、例えば非鉛系のチタン酸

バリウム BaTiO_3 薄膜のキュリー温度を残留応力で高温化させることができれば、前述のとおり非鉛圧電体薄膜として実用化の可能性はある。この残留応力制御の手法として、特定の方位に結晶の方位を制御した上で熱膨張係数差に基づく残留圧縮応力を印加する手法が有効であり、キュリー温度の制御についてもこれまでの共同研究で実現できる可能性を示唆してきた。本研究では、上記の圧電体材料よりもさらに大きな特性が期待できる緩和型強誘電体PMN-PT ($\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}, \text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$)系薄膜のケミカルプロセッシングを試み、Si基板上で優れた特性の圧電体薄膜を作製して光デバイス応用のためのプロセッシングを確立することを目的とする。

【講演会・研究打ち合わせ】

・開催日時

平成27年11月17日(火) - 18日(水)

第17回高柳健次郎記念シンポジウム

演題：Stress Engineering for Piezoelectric Thin Film on a Si wafer

開催場所 静岡大学浜松キャンパス

佐鳴会館会議室

招待講演に引き続き、圧電体薄膜のケミカルプロセッシングに関する研究打ち合わせ

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

最適化されたバッファ層 (LaNiO_3) を導入することで、PMN-PT薄膜のペロブスカイト相の安定性は著しく向上して、 600°C から 800°C の比較的低温での結晶化が可能であることが明らかになった。また、配向制御も可能で、Si基板上でも一軸配向したPMN-PT薄膜の作製が可能であった。そして、このように低温合成されたPMN-PT薄膜の電気特性は残留する応力に大きく依存することを明らかにした。これらの結果は、これまでにPZT薄膜で得られた結果を支持するものであった。また、PLD法でSi基板上に非常に薄いLSCO/CeO₂/YSZバッファ層

を作製し、その上にCSD法によりPMN-PT薄膜を成膜すると、エピタキシャル成長したペロブスカイト型PMN-PT薄膜を作製することができた。この結果は、液相法でも前駆体の分子設計をして格子整合性のあるバッファ層を用いることで、気相法と同様にエピタキシャル成長が可能であることを示す貴重なデータであると思われた。

さらに、エピタキシャル成長したPMN-PT薄膜と一軸配向したPMN-PT薄膜では残留応力の効果が著しく異なり、電気特性（特に圧電特性）に与える影響が大きく異なることを世界で初めて明らかにした。今後、高速光通信のための表面プラズモンデバイスとして機能するかどうかを海外との共同研究で調査する予定である。

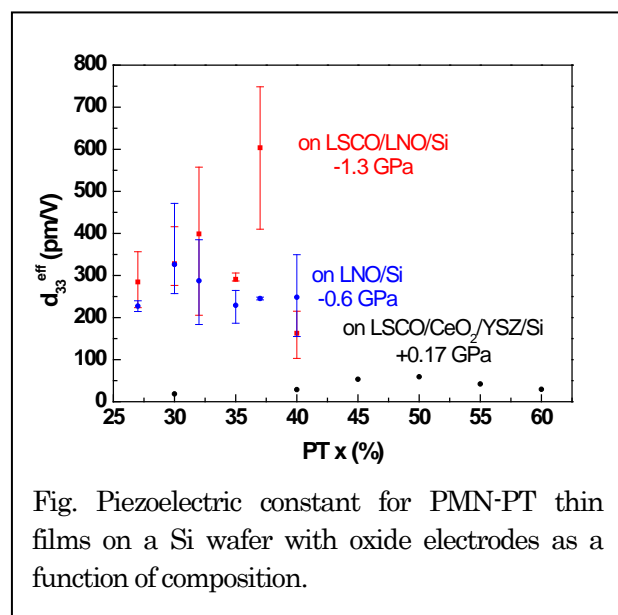


Fig. Piezoelectric constant for PMN-PT thin films on a Si wafer with oxide electrodes as a function of composition.

(3-2) 波及効果と発展性など

バルクセラミックスとしては非常に高い誘電率と圧電特性を示すPMN-PT薄膜のSi基板上での低温合成を実現し、その電気特性に与える組成と残留応力の関係を明らかにできたので、今後は圧電デバイスや高速光通信デバイスに応用するための基礎データを検討する必要がある。圧電特性については、一般的に報告されているPZT薄膜の圧電特性を大きく上回る優れた特性を実現できたので、今後は実際のデバイス構造を作製してその特性を評価することで、非常に多くの応用が期待される。

さらに、PLD法バッファ相を導入することでSi

基板上でもエピタキシャル成長が可能となったので、高速光通信デバイスへ応用可能かどうかを検討できる。エピタキシャル成長させた場合、PMN-PT薄膜中には引っ張り応力が残留して電気特性に悪影響を与えることも明らかとなったので、今後は引っ張り残留応力が光特性に与える影響を検討する必要がある。これらが最適化できれば、非常に安価で従来の少なくとも数倍の光通信が可能な超小型高速光通信デバイスの作製が可能となり、情報化社会において果たす役割は非常に大きなものと成ると期待される。

[4] 成果資料

- (1) Ohno T, Yanagida H, Maekawa K, Arai T, Sakamoto N, Wakiya N, Suzuki H, Satoh S, Matsuda T (2015) Stress engineering for the design of morphotropic phase boundary in piezoelectric material. *Thin Solid Films* 585: 91-94
- (2) Ohno T, Masuda T, Ochibe S, Hirai S, Suzuki H, Arai T, Sakamoto N, Wakiya N, Matsuda T (2015) Effect of the reduction condition on the catalytic activity for steam reforming process using Ni-doped LaAlO₃ nanoparticles, *Advanced Powder Technology* (accepted)
- (3) Arai T, Kamai Y, Sakamoto N, Ohno T, Matsuda T, Wakiya N, Suzuki H (2015) Effect of synthesis conditions on electrical properties of barium titanate ferroelectric thin film. *The 17th Takayanagi Kenjiro Memorial Symposium proceedings*: 43-46
- (4) Electrical properties of CSD-derived PMN-PT epitaxial thin films on Si wafer: Arai T, Ohno T, Matsuda T, Sakamoto N, Wakiya N, Suzuki H, the 14th International Conference on Global Research and Education (September 28-30, 2015, Japan)
- (5) Fabrication and electrical properties of epitaxial growth PMN-PT thin films on Si by CSD: Arai T, Ohno T, Matsuda T, Sakamoto N, Wakiya N, Suzuki H, *The 32nd International Japan- Korea Seminar on Ceramics* (November 18- 21, 2015, Japan)
- (6) Synthesis and electrical properties of Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ epitaxial thin films on Si wafer using chemical solution deposition, Arai T, Ohno T, Matsuda T, Sakamoto N, Wakiya N, Suzuki H, *Thin solid Films*, (in press)

出張報告

氏名：
所属：
期間：
用務先：
用務内容：
主たる対応者：