

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 (以下10.5ポイント)

代表者：大野 智也

(北見工業大学工学部マテリアル工学科)

対応者：鈴木 久男

(静岡大学電子工学研究所)

分担者：

Barbara Malič(Jozef Stefan Institute)

Andreja Bencan(Jozef Stefan Institute)

Hana Ulsič (Jozef Stefan Institute)

上辻 靖智 (大阪工業大学)

坂元 尚紀 (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)

(注) 以下、分担者全員を記載する。

[2] 研究経過 (以下10.5ポイント)

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スにより最適化して、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が、本研究の代表者はPZT系薄膜に対する応力印加効果によって、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いる。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、両者はこれまでにも共同で多くの研究を行っている。一般的にセラミックス材料は、その合成手法(プロセス)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スを試み、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スを確立することを目的とする。

強誘電体薄膜の電気的性質などの種々の特性は、バルクセラミックスと異なり残留応力に大きな影響を受ける。特に、圧縮応力下では優れた特性が得られることが近年知られてきたが、デバイス下のために一般的に用いられるSi基板上では熱膨張係数差に基づく大きな引っ張り応力が残留してしまう。そこで本研究では、熱膨張係数の大きな酸化物電極をケミカルプロセスで開発し、ペロブスカイト化が困難な緩和型強誘電体についても前駆体の分子設計により低温合成を実現してSi基板上に巨大圧電性を示す圧電体薄膜を安価な手法で実現する。作製した圧電体薄膜や酸化物電極のナノ構造を解析し、最適なプロセスを検討することで上述の様な薄膜をSi基板上に作成する方法を確立する。また、残留応力やナノ構造と圧電特性などの電気特性との関係を明らかにし、緩和型強誘電体薄膜の特性がバルクセラミックスと比較して大きく劣化する理由を解明し、さらなる特性の改善を目指す。

(本プロジェクトの目的・概要、及び、研究会、研究打ち合わせ・研究討論会、研究発表会、研究集会等の開催状況を記載して下さい。)

以下、研究活動状況の概要を記す。

本共同研究では、大野准教授と鈴木教授の担当博士課程1年生の学生の新井貴司が、ヨーロッパでの国際会議参加の折に、電子工学研究所の客員教授であるProf. Barbara Maličとの研究打ち合わせなども実施するとともに、受け入れ教員の鈴木教授が本

年1月にスロベニアで開催された圧電体に関する国際会議 PIEZO2015 に参加して研究打ち合わせも実施した。

[3] 成果 (以下10.5ポイント)

(3-1) 研究成果

(本プロジェクトで明らかになった研究成果を具体的に記載して下さい。)

本研究では、以下に示す研究成果を得た。
まず第一に、Si 基板上でこれまで低温製膜が困難であった緻密な PMN-PT 薄膜の最適合成条件を検討し、これまでに報告がない 650°C という半導体プロセスに応用可能な比較的低温でのペロブスカイト単相の緩和型強誘電体・圧電体薄膜の作製に成功した。第二に、非鉛系のタン酸バリウムBaTiO₃薄膜において、これまでにない優れた特性を示す薄膜の作製に成功した。さらに、本研究の手法によりSi基板上でこれまでで最も高い圧電性(約100pm/V)が得られるタン酸バリウムBaTiO₃薄膜の作製に成功した。

(3-2) 波及効果と発展性など

(大型プロジェクトへの発展・国際会議(シンポジウム)への発展・学外研究者との交流、共同研究による効果・研究者ネットワークの拡大・若手研究者の育成・新研究領域の開拓・成果の他分野への応用・萌芽的研究への発展等)

本プロジェクトでは、本研究所の客員教授との交流が飛躍的に活性化し、実際に初期の研究の目的もほぼ達成され、今後の発展によっては大型プロジェクトに発展する可能性(世界で最も高いSi基板上チ

タン酸バリウム薄膜や PMN-PT 薄膜の作製に成功した。)を示した。

さらに、本プロジェクトの研究成果及び国際交流の成果を国際的な圧電体会議で発表する機会にも恵まれ、受け入れ教員の鈴木教授は PIEZO2105 で **Keynote Speaker** としてこれらの成果を発表した。また、すでに PMN-PT 薄膜の研究に関しては、国際的なジャーナルである ThinSolid Films に成果が掲載された。

この様に、本研究は今後の益々の発展が期待される。

[4] 成果資料 (以下10.5ポイント)

(本プロジェクトで研究された研究成果が掲載されている主要論文リスト掲載してください。)

(1) Stress engineering for the design of morphotropic phase boundary in piezoelectric material, Tomoya Ohno, Hiroshi Yanagida, Kentaroh Maekawa, Takashi Arai, Naonori Sakamoto, Naoki Wakiya, Hisao Suzuki, Shigeo Satoh, Takeshi Matsud, Thin Solid Films, Available online 5 November 2014

(2) Effects of synthesis conditions on electrical properties of chemical solution deposition-derived Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ thin films, Takashi Araia, Tomoya Ohnob, Takeshi Matsudab, Naonori Sakamotoc, Naoki Wakiyac, Hisao Suzuki, Thin Solid Films, Available online 13 November 2014

出張報告（特別教育研究経費を使用した場合について、全員分記載して下さい。）

氏名：大野 智也

所属：北見工業大学

期間：平成26年11月14日～16日

用務先：グリーンプラザ浜名湖

用務内容：共同研究プロジェクト研究会

主たる対応者：鈴木 久男