

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 5 月 27 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01390

研究課題名(和文) 圧電薄膜アクチュエータの高安定・高信頼性センシングと高精度制御

研究課題名(英文) Stable / Reliable Sensing and Precise Control of Piezoelectric Thin Film Actuators

研究代表者

田中 秀治 (Tanaka, Shuji)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：00312611

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：圧電MEMSアクチュエータの位置決め精度と信頼性を確保する方法として、PZT圧電MEMSに埋め込みSi piezo抵抗センサーを適用する技術を実証した。デバイスを試作し、感度やノイズを評価するとともに、当該センサーを用いて振幅の制御を行った。エピタキシャルPZT系薄膜については、その信頼性にとって最も問題であるクラックと絶縁破壊に焦点を当てて研究した。クラックと絶縁破壊を減らす方法を実験によって確認したが、圧電性能との両立が課題である。圧電性能を上げるため、SmドープPMN-PTのSi基板上へのエピタキシャル成長も試みた。最終的にPZTバッファー層を用いた分割スパッタ成膜法で良好な圧電性能を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

PZT圧電MEMSアクチュエータの新しい用途には、電圧をDC的にかけ、準静的変位を安定的に制御しなくてはならないものがある。これは従来の方式では難しいが、ここで開発した技術は上述の用途に適しており、PZT圧電MEMSの応用を広げるものである。エピタキシャルPZT系薄膜は、次世代材料として期待されているが、信頼性に問題がある。また、従来材料の置き換えには圧倒的な性能も必要である。本研究は、これらの課題解決を一步進めるものである。

研究成果の概要(英文)：A new technology to apply buried silicon piezoresistive sensors to PZT piezo MEMS was demonstrated to improve the positioning accuracy and reliability of piezo MEMS actuators. Devices were fabricated and their scale factor and noise were evaluated. Also, the amplitude was controlled using the piezoresistive sensors. In terms of epitaxial PZT family thin films, crack generation and breakdown, which were the most severe problems for reliability, were mainly studied. Their solutions were experimentally confirmed but accompanied with a penalty of piezoelectric performance. To obtain a better piezoelectricity, the epitaxial sputter-deposition of Sm-doped PMN-PT on silicon was also studied. A good piezoelectricity was finally obtained by a separate sputtering method using a PZT buffer layer.

研究分野：MEMS

キーワード：MEMS 圧電薄膜 PZT piezo抵抗センサー エピタキシャル成長 信頼性 PMN-PT

1. 研究開始当初の背景

圧電材料である PZT の薄膜は、古くから MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) に用いられてきた。従来、ジャイロスコープとインクジェットプリンターノズルが主たる適用先であったが、最近、マイクロミラーデバイスや可変レンズなどへの適用が期待されている。このような新たな用途では、比較的大きな電圧をかけて、しかも DC 的に PZT アクチュエーターを動かす。また、PZT アクチュエーターを一定位置に保持する必要がある。

PZT 薄膜は、デバイスの使用時間ではなく、それに高電圧をかけている実時間に応じて劣化することが知られている。したがって、比較的低電圧で共振させるジャイロスコープ、あるいはインクを吐出させるノズルだけをパルス駆動するインクジェットプリンターノズルより、上述の新しい応用では、PZT アクチュエーターの信頼性や安定性が一段と課題になる。また、これまで、ジャイロスコープのような振動駆動では、その振幅の検出に同じ PZT 薄膜を利用した圧電方式が用いられていたが、圧電センサーは AC 駆動の振幅検出に使えても、DC 駆動のそれには使えないという問題もある。

以上に述べたような問題認識に立ったとき、PZT MEMS の新しい応用展開を進めていくには、PZT アクチュエーターの信頼性や安定性、および DC 駆動での位置制御の問題を解決する必要がある。本研究の動機はここに発している。そして、仮に PZT アクチュエーターに DC 変位を安定に測定できるセンサーが一体化できれば、このセンサーの出力を用いて PZT アクチュエーターをフィードバック制御することで、駆動の信頼性や安定性の問題も解決できるはずだという発想を得ることになった。第一の研究内容は、この発想を実験的に実証することにある。

ところで、現在、圧電 MEMS では多結晶 PZT 薄膜が実用に供されている。多結晶 PZT 薄膜は、長年の研究開発の結果、大きな圧電定数を実現しており、成膜方法もおおよそ確立している。ただし、多結晶 PZT 薄膜の圧電定数は行きつく水準に到達しており、さらに向上させることは難しい。また、多結晶 PZT 薄膜は誘電率が大きいため、いくつかの応用には適さない。このようなことから、近年、エピタキシャル PZT 系薄膜が研究され、高い圧電定数と低い誘電率を示すことが明らかにされている。また、これを用いた MEMS も報告されている。

しかし、エピタキシャル PZT 系薄膜は、比較的高い電圧で駆動した際、割れやすいということが問題視されつつある。また、そのことにも関係するが、ブレイクダウン電圧が低い薄膜となることがある。これがエピタキシャル PZT 系薄膜の最大の信頼性問題である。そして、この割れやすいという問題には、1 つには、単結晶なので結晶方向に沿ってクラックが走りやすいという理由があるものの、もう 1 つには、膜を c 軸配向させる際、格子定数の関係から膜が引張応力になるという理由がある。つまり、成膜上の問題である。現在、より高い圧電定数を有するエピタキシャル PZT 系薄膜が探索されているが、そのクラックの問題は、圧電定数の大小と比して劣らぬ重要な研究対象である。エピタキシャル薄膜は、本来、安定性に優れ、長期信頼性にも高い可能性を秘めていると考えられるから、エピタキシャル PZT 系薄膜のクラック防止と高性能化を第二の研究内容とした。

2. 研究の目的

PZT MEMS アクチュエーターに Si ピエゾ抵抗センサーを一体化することで、静的・動的変位を検出し、フィードバック制御することを実証する。Si ピエゾ抵抗センサーは、表面のコンタミネーションやチャージに敏感であるため、PZT 薄膜とのコンパチビリティを満たすピエゾ抵抗とその作製プロセスを開発する。そして、PZT MEMS アクチュエーターを試作し、評価するとともにフィードバック制御を試みる。以上をもって、Si ピエゾ抵抗歪センサー付き PZT アクチュエーターを実証することが、第一の研究目的である。

エピタキシャル PZT 系薄膜については、単結晶性、クラックの入りやすさ、圧電性能、および誘電率の関係を調べる。また、クラックの入りにくいエピタキシャル PZT 系薄膜、さらにより圧電性能の高いエピタキシャル薄膜を探索する。これらが第二の研究目的である。

3. 研究の方法

(1) Si ピエゾ抵抗センサー付き PZT アクチュエーター

PZT 薄膜と共存する Si ピエゾ抵抗センサーの安定性を確保するため、p 型ピエゾ抵抗を n 型層で覆う「埋め込みピエゾ抵抗」を用いる。拡散層はイオンインプランテーション (インプラ) で形成し、ドーパントの深さプロファイルを二次イオン質量分析法 (SIMS) で測定した。試作するアクチュエーターは、有限要素法 (FEM) 解析を用いて設計した。また、SIMS の結果から埋め込みピエゾ抵抗センサーの感度を見積もった。

作製プロセスを図 1 に示す。a) 熱酸化した SOI ウェハを用意し、b) フォトレジストマスクを用いて B を低濃度に打ち込んでアニールし、ピエゾ抵抗 (青) を形成する。c) 拡散配線 (紫) を形成するため、フォトレジストマスクを用いて B を高濃度に打ち込む。d) 続いて、フォトレジストマスクを用いてピエゾ抵抗の表層に P を高濃度に打ち込み、n 型カバー層 (緑) を形成し、

これを埋め込みピエゾ抵抗とする。2回のインプラ終了後、ラピッドサーマルアニーリング (RTA) を行う。

e) 次に熱酸化膜の上に Pt (灰) を下地としてゾルゲル法によって PZT (茶) を成膜する。f) ウェットエッチングによって PZT を、イオンミリングによって Pt をパターンニングする。g) SiO₂ をウェットエッチングし、拡散抵抗への接触部を形成する。h) Au/Cr (橙) をリフトオフによってパターンニングし、PZT アクチュエーターの上部電極と接触パッドを形成する。h) SOI ウェハのデバイス層を DRIE で加工し、アクチュエーターの形を定義する。e) SOI ウェハ裏面からハンドル層をエッチングし、アクチュエーターをリリースする。

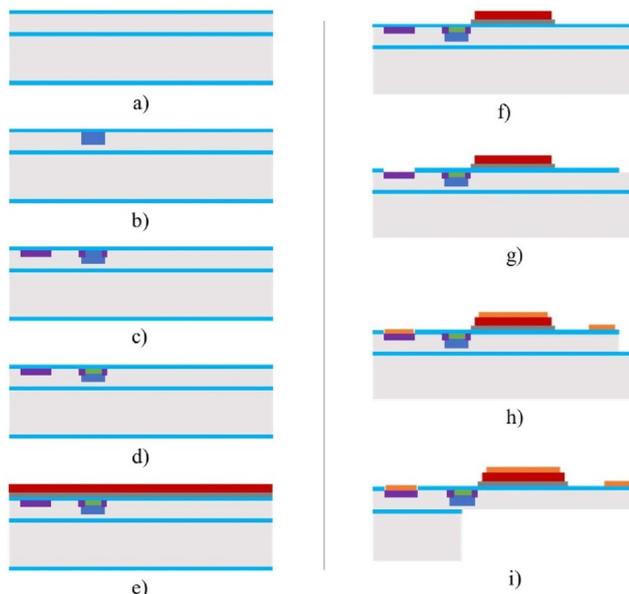


図1 PZT アクチュエーターの作製プロセス

(2) エピタキシャル圧電薄膜

①クラックの入りやすさ

エピタキシャル PZT 系圧電薄膜とし

て実績のある $\text{Pb}(\text{Mn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ -doped $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ (PMnN-PZT) を用いる。従来から単結晶膜を得る際には、(100) Si 基板上にバッファー層として YSZ/ CeO₂/ LSCO/ SRO を形成している。PMnN-PZT の成膜にはスパッタ法を用いる。成膜温度は 600°C であり、成膜後、ただちに大気解放して試料を急冷することによって PMnN-PZT 薄膜を c 軸配向させる。この方法で得られる PMnN-PZT 薄膜の圧電定数 $e_{31,f}$ は最大で約 -14 C/m²、比誘電率は 200~300 である。この特性は優れたものと言えるが、クラックが入りやすいという信頼性の問題が顕在化している。

クラックが入る理由は前述の通りであるため、クラックが入りにくくするため単結晶性を下げざるを得ないことを検討する。高い圧電性能を得るには、c 軸配向していることが必須で、また、誘電率を下げるためには、それに加えてある程度の単結晶性が必要であると思われる。したがって、c 軸配向した PMnN-PT 結晶が面内で回転し、複数の方位のドメインを形成するような薄膜を得ることを狙う。このような薄膜は、完全なエピタキシャル薄膜と配向多結晶薄膜との中間状態にあると言えるので、「epi-poly 薄膜」と呼ぶことにする。

最初、PMnN-PZT の成膜条件を変えて、epi-poly 薄膜の形成を試みたが、結晶性を自由に制御することは難しかった。そこで、(100) YSZ/ (111) Pt/ (100) LaNiO₃ をバッファー層として利用することを検討する。(111) Pt が YSZ 上で面内方向に回転し、3つの方位を取ることが予想される。その上に LaNiO₃/ PMnN-PZT を成膜すると、Pt の方位に沿うことが予想され、狙うような構造の薄膜が得られると期待できる。PMnN-PZT の成膜方法は上述のものと同様である。

得られた薄膜を X 線回折 (XRD) やナノインデンテーションで分析し、また、カンチレバーの変位をレーザードップラー変位計 (LDV) で測定して、圧電定数を測定する。

②絶縁特性

前述の YSZ/ CeO₂/ LSCO/ SRO バッファー層上の PMnN-PZT 薄膜 (厚さ 2 μm) が従来からあるレファレンスである。このバッファー層はパルスレーザー堆積法 (PLD) で成膜される。このレファレンスにはリーキーな部分が多い。PZT 薄膜の破壊モードのほとんどが絶縁破壊であることから、この原因特定と改善を行う。最も想定される原因は、パーティクルによるリークパスの生成または電界集中である。パーティクルは、PLD 時にレーザーアブレーションされた原料がプルーフムになって飛ぶ際に生じると考えられるので、次の2つの実験を行う。

1つには、PMnN-PZT の上に薄い PZT 層をゾルゲル法で形成し、絶縁特性を評価する。ゾルゲル層によってリークパスを埋めるとともに、平坦化して電界集中も減らすことを意図している。もう1つには、バッファー層の形成を PLD からスパッタ法に切り替える。本研究チームは、スパッタ法による YSZ/ Ir/ Pt/ SRO バッファー層を開発したので、これを利用する。

③Sm ドープ PMN-PT 薄膜

PMnN-PZT より高い圧電性能を有する材料として、Sm ドープ PMN-PT が報告されている。ただし、報告されているのはバルク材料のみである。そこで、この材料を(100) Si 基板上にエピタキシャル成長させ、その圧電性能や信頼性を評価する。バッファー層には ZrO₂/ (100) Pt/ (100) SRO を利用し、Sm-PMN-PT は実績のある急冷スパッタ法で成長する。Sm の添加量は 2.5% である。成膜した試料は、XRD, TEM などでも評価し、その圧電定数はカンチレバー法によって測定する。

4. 研究成果

(1) Si ピエゾ抵抗センサー付き PZT アクチュエーター

図1に示したMEMSプロセスの開発を行った。埋め込みピエゾ抵抗センサーは、ピエゾ抵抗層にBをドーズ $3 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ 、加速電圧-80 keVでインプラし、長時間のアニーリング(1100°C, 4時間)によって深く押し込んだ。コンタクト部にはBをドーズ $2.5 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 、加速電圧40 keVで、配線部にはドーズ $3 \times 10^{15} / \text{cm}^2$ 、加速電圧100 keVでインプラした。カバー層にはPをドーズ $1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ 、加速電圧-100 keVでインプラした。その後、1000°C, 30 sのRTAを行った。2次イオン質量分析法(SIMS)によると、ピエゾ抵抗層は1.5~2 μm の深さに、カバー層は200 nmの深さに形成されていることがわかった。

PZT層はゾルゲル法で1 μm 厚に形成し、アニール温度は600°Cである。このようにして成膜したPZTの圧電定数 d_{31} は-50~-80 pm/V程度であり、最近の高性能スパッタ膜のそれと比べると1/3程度に留まる。ただし、ゾルゲル法をスパッタ法に変更しても、ここで開発したMEMSプロセスはおおよそそのまま成立する。

図2に完成したデバイスを示すが、外観上、設計通りに作製できた。片持ち梁のPZTアクチュエーターを9 kHz非共振で振動させ、その変位をLDVで測定すると同時に、ピエゾ抵抗センサーからの出力をロックインアンプで検出した。その結果を図3に示す。変位に応じたセンサー出力が得られた。ノイズフロアは変位に換算すると27 nm/ $\sqrt{\text{Hz}}$ であった。

このPZTアクチュエーターをセンサー出力によってフィードバック制御するため、アナログフロントエンド回路とFPGAからなるシステムを構築した。これを用いて振幅をフィードバック制御できた(この成果は、今後、発表予定)。以上をもって研究目的を達することができた。

(2) エピタキシャル圧電薄膜

① クラックの入りやすさ

図4にEpi-poly PMnN-PT薄膜のXRD結果を示す。得られた薄膜は、おおよそ(100)/(001)配向であるが、(110)ピークも観察された。(200)/(002)ピークを拡大した図4下段によると、Epi-poly PMnN-PT薄膜のピーク位置とピーク形状は、単結晶のそれらとは異なる。単結晶薄膜は正方晶(001)(c軸配向)であるのに対し、Epi-poly PMnN-PT薄膜には正方晶(100)(a軸配向)と菱面体晶が共存していると予想される。また、極点図は12回対称を示し、想定通り面内方向に結晶が回転し、3つの方位を取っていることが確認された。

図5にナノインデンテーションの結果を示す。単結晶薄膜は<100>方向に割れやすく、特に圧子の角が<100>方向に向いていると大きなクラックが入った。一方、Epi-poly PMnN-PT薄膜は、試料の方向によらず圧子の角の方向にクラックが入った。この結果から、Epi-poly PMnN-PT薄膜はクラックが入りにくい性質を有していると言える。試料の圧電性能はカンチレバー法によ

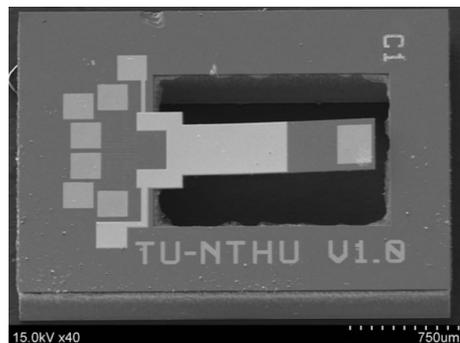


図2 Siピエゾ抵抗センサー付きPZTアクチュエーター

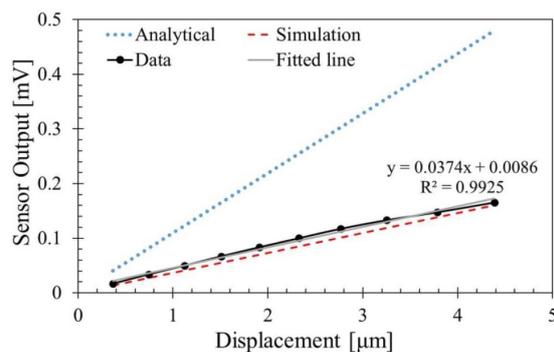


図3 カンチレバーの変位とセンサー出力との関係

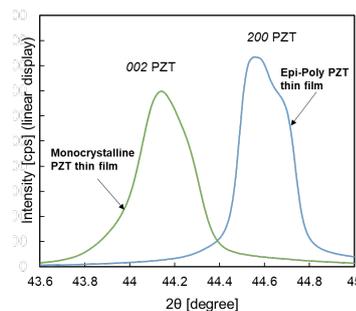
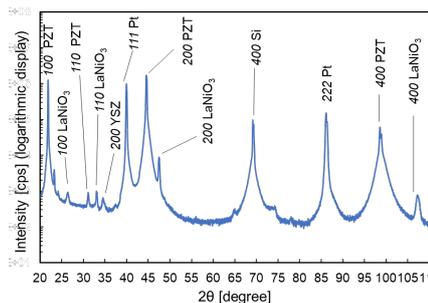


図4 Epi-poly PMnN-PT薄膜のXRD結果

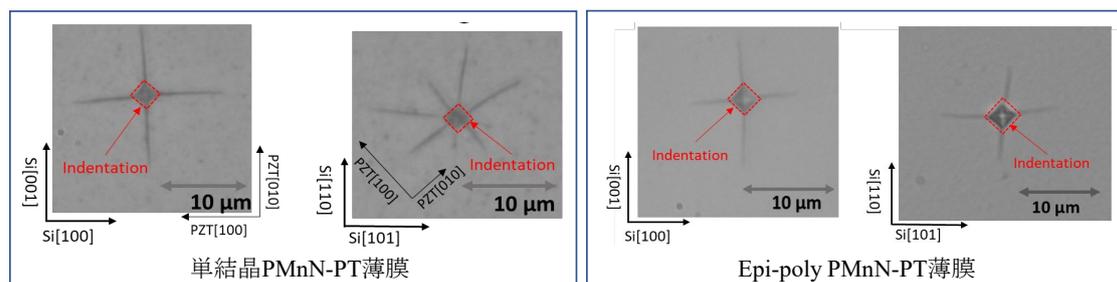


図5 ナノインデンテーションの結果

って測定した。Epi-poly PMnN-PT 薄膜の圧電定数 $e_{31,f}$ は -9 C/m^2 程度 (10 V 印加時) であり、単結晶薄膜の -14 C/m^2 に対して $2/3$ 程度に留まっている。Epi-poly PMnN-PT 薄膜が a 軸配向になっていることがその理由の 1 つだと思われる。

②絶縁特性

厚さ $1.2 \sim 1.3 \mu\text{m}$ のスパッタ PZT 薄膜に、厚さ 180 nm のゾルゲル薄膜を形成した。図 6 にゾルゲル成膜前後の絶縁特性を示す。ゾルゲル薄膜によって絶縁特性大きく改善している。しかし、ゾルゲル成膜後の PZT 薄膜を XRD 測定したところ、もともと c 軸配向だったものが、 a 軸配向になっていた。成膜時の焼成は 600°C であり、このとき c 軸配向が a 軸配向に変化したと思われる。単結晶 PZT 薄膜の特長を活かすには、この問題を解決しなくてはならない。

次にスパッタ成膜した YSZ/ Ir/ Pt/ SRO バッファ層に PZT を成膜し、絶縁特性を測定した。図 7 に絶縁特性を、図 8 に絶縁破壊までの電流-電界特性を示す。PLD によるバッファ層を用いた場合 (図 6(a)) と比較して、絶縁特性は顕著に改善し、また、絶縁破壊前のリーク電流も大幅に減少した。ただし、絶縁破壊電圧は 2 つの膜でほとんど変わらず、 600 V/cm 程度である。このことは、エピタキシャル PMnN-PZT 薄膜自体の絶縁耐性には問題がないことを示している。

③Sm ドープ PMN-PT 薄膜

(100)/(001)配向のエピタキシャル薄膜を得ることを目標に、成膜温度、成膜圧力などの条件を変えて実験を行った。様々な成膜条件を探索したものの、(100)/(001)短配向を得ることはできず、パイロクロア相も観察された。上述のバッファ層上に c 軸配向 PZT は良好にエピタキシャル成長することから、 $50 \sim 100 \text{ nm}$ 厚の PZT をバッファ層に追加して Sm ドープ PMN-PT を成膜した。その結果、 300 nm 程度までの厚さまでは (100)/(001) 単配向薄膜が得られた。しかし、それ以上の厚さとなると、パイロクロア相が発生した。

パイロクロア相は Pb が不足すると発生することが知られている。 800 nm 厚の薄膜の膜厚方向の組成を調べたところ、図 9 (a) に示すように表面付近では Pb 濃度が下がり、他の元素も合わせ組成が膜厚方向に一定になっていないことがわかった。今回、容易に組成調整できる粉体ターゲットを用いたが、その組成安定性に問題がある可能性が考えられたため、スパッタ成膜を約 270 nm ごとに中断し、粉体ターゲットの粉末を再攪拌し、ホルダーに詰め直す作業を行った。その結果、図 9 (b) に示すように膜厚方向の組成がおおよそ一定になり、厚くなっても (100)/(001) 単配向薄膜が得られるようになった。このような方法で

作製した $2 \mu\text{m}$ 厚の薄膜の圧電定数 $e_{31,f}$ をカンチレバー法で測定したところ、 $-16 \sim -17 \text{ C/m}^2$ と良好な値が得られた。この圧電定数は単結晶 PMnN-PZT 薄膜のそれより大きい、多結晶 PZT 系薄膜のそれと同等である。本研究では、PZT のバッファ層を用いたため、誘電率の関係から、半分程度の電圧が PZT にかかり、Sm ドープ PMN-PT の材料としての実力を引き出せていないと考えられる。これを解決するのは、今後の課題である。

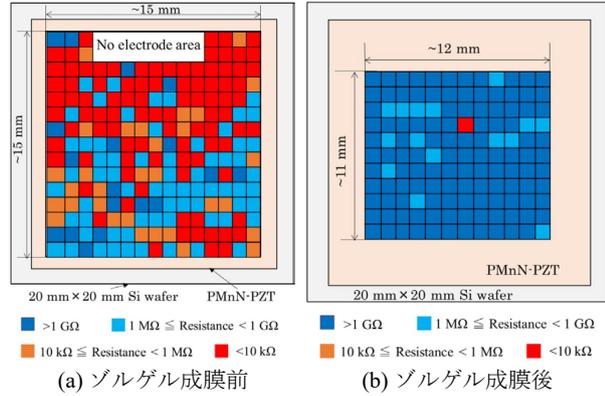


図 6 スパッタ PZT (PLD バッファ層) 薄膜の絶縁特性

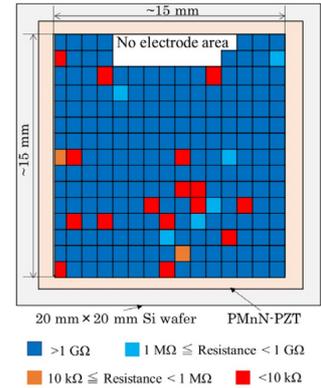


図 7 スパッタ PZT (スパッタバッファ層) 薄膜の絶縁特性

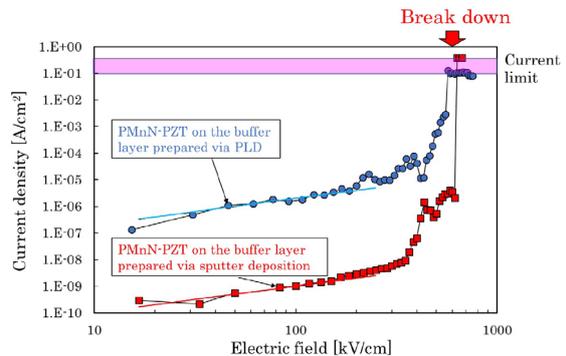


図 8 スパッタ PZT (スパッタバッファ層) 薄膜の絶縁特性

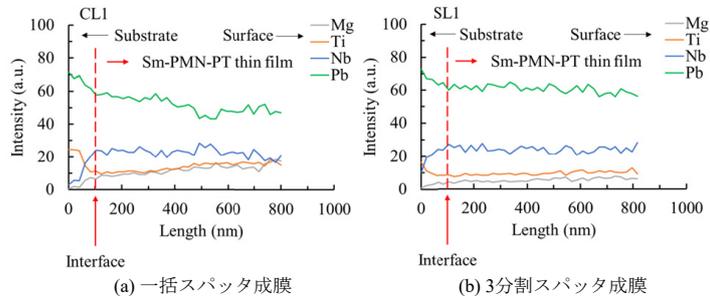


図 9 Sm ドープ PMN-PT 薄膜の厚さ方向組成分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 海老原凌, 吉田慎哉, 田中秀治 | 4. 巻 140 |
| 2. 論文標題 良好な絶縁性を有するc軸配向PZT系単結晶薄膜のSi基板上への形成 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 電気学会論文誌E | 6. 最初と最後の頁 137-143 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas140.137 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Xuanmeng Qi, Shinya Yoshida, Shuji Tanaka | 4. 巻 67 |
| 2. 論文標題 Development of Sputter Epitaxy Technique of Pure-Perovskite (001)(100)-Oriented Sm-doped Pb(Mg ^{1/3} , Nb ^{2/3})O ₃ -PbTiO ₃ on Si | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control | 6. 最初と最後の頁 2738-2744 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TUFFC.2020.3011649 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|----------------------|
| 1. 著者名 Andrea Vergara, Takashiro Tsukamoto, Weileun Fang and Shuji Tanaka | 4. 巻 30 |
| 2. 論文標題 Integration of buried piezoresistive sensors and PZT thin film for dynamic and static position sensing of MEMS actuator | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Micromechanics and Microengineering | 6. 最初と最後の頁 115020 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6439/abb756 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Xuanmeng Qi, Shinya Yoshida, Shuji Tanaka |
| 2. 発表標題 Epitaxial Growth of Pure-Perovskite-Phase Sm-Doped Pb(Mg ^{1/3} Nb ^{2/3})O ₃ -PbTiO ₃ Thin Film on Si by Magnetron Sputter using Powder Target |
| 3. 学会等名 Electroceramics XVII (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Xuanmeng Qi, Shinya Yoshida and Shuji Tanaka |
| 2. 発表標題 Sputter-Epitaxy of Sm-Doped Pb(Mg1/3, Nb2/3)O3-PbTiO3 on Si for Creation of Giant-Piezoelectric MEMS Actuator |
| 3. 学会等名 圧電材料・デバイスシンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Xuanmeng Qi, Shinya Yoshida, Shuji Tanaka |
| 2. 発表標題 SM-DOPED PB(MG1/3, NB2/3)O3-PBTIO3 SPUTTER-EPITAXY ON SI TOWARDS GIANT-PIEZOELECTRIC THIN FILM FOR MEMS |
| 3. 学会等名 34th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE MEMS 2021) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Andrea Vergara, Takashiro Tsukamoto, Weileun Fang and Shuji Tanaka |
| 2. 発表標題 PZT MEMS ACTUATOR WITH INTEGRATED BURIED PIEZORESISTORS FOR POSITION CONTROL |
| 3. 学会等名 34th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE MEMS 2021) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Vergara Andrea, 塚本貴城, Fang Weileun, 田中秀治 |
| 2. 発表標題 PZT thin film actuator with integrated buried piezoresistive sensors for high precision and stability |
| 3. 学会等名 第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 海老原凌, 吉田慎哉, 田中秀治 |
| 2. 発表標題 良好な絶縁性を有するc軸配向PZT系単結晶薄膜のSi基板上への形成 |
| 3. 学会等名 第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 海老原凌, 吉田慎哉, 田中秀治 |
| 2. 発表標題 良好な絶縁性を有するMEMS用PZT系単結晶薄膜の形成法の探索 |
| 3. 学会等名 圧電材料・デバイスシンポジウム2020 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 勝又優, 吉田慎哉, 田中秀治 |
| 2. 発表標題 Si基板上c軸配向PZT系エピタキシャル成長への靱性付与法の探索 |
| 3. 学会等名 圧電材料・デバイスシンポジウム2020 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Andrea Vergara, Takashiro Tsukamoto, Weileun Fang, Shuji Tanaka |
| 2. 発表標題 Integration of buried piezoresistive sensors and PZT thin film for highly stable MEMS actuators |
| 3. 学会等名 圧電材料・デバイスシンポジウム2020 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Andrea Vergara, Takashiro Tsukamoto, Weileun Fang, Shuji Tanaka |
| 2. 発表標題 PZT THIN FILM ACTUATOR WITH INTEGRATED BURIED PIEZORESISTOR FOR HIGH STABILITY POSITION CONTROL |
| 3. 学会等名 日本機械学会東北支部第55期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 和佐清孝, 清水貴博, 足立英明, 吉田慎哉, 柳谷隆彦, 田中秀治 |
| 2. 発表標題 圧電薄膜デバイスと基板の選択 |
| 3. 学会等名 圧電材料・デバイスシンポジウム2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-----------|---|-------------------------------------|----|
| 研究 分担者 | 吉田 慎哉 (Yoshida Shinya) (30509691) | 東北大学・工学研究科・特任准教授 (11301) | |
| 研究 分担者 | 塚本 貴城 (Tsukamoto Takashi ro) (70646413) | 東北大学・工学研究科・准教授 (11301) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 | | | |
|----------|-----------|--|--|--|
| その他の国・地域 | 台湾・国立精華大学 | | | |