

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03207

研究課題名(和文) 薄膜構造制御による新規圧電マイクロデバイス創成に関する研究

研究課題名(英文) Orientation control of piezoelectric thin films and their application to functional micro-devices

研究代表者

神野 伊策 (Isaku, Kanno)

神戸大学・工学研究科・教授

研究者番号：70346039

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、圧電薄膜の圧電性の特徴およびその起源を明らかにすることを目的としており、高効率圧電薄膜を用いた新しい圧電薄膜マイクロデバイスの創出に至る研究を実施した。スパッタ法およびゾルゲル法を用いてPZTおよびKNNエピタキシャル薄膜をSi基板上に作製し、その逆圧電効果により生じる結晶ひずみおよび構造変化を放射光XRD測定により明らかにした。特にPZT薄膜では、Zr/Ti組成と電界誘起構造変化の様子を可視化することに成功し、圧電定数との関連を明らかにすることができた。この他、PZT薄膜を用いたフレキシブル発電素子の作製を行い、LED点灯実験に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、MEMS応用が可能なSi基板上にPZTおよびKNNエピタキシャル薄膜をスパッタ法およびゾルゲル法で作製する技術を開発し、圧電特性を結晶学的手法を用いて明らかにすることに成功した。この研究成果は、圧電薄膜の圧電性の起源を解明する手法を提供すると共に、エピタキシャル薄膜の特徴的な圧電特性を明らかにすることに成功し、今後のデバイス応用が期待できる。また金属箔上に圧電薄膜を成膜することで、大変形に耐えうる圧電薄膜素子の実現に成功した。この技術は新しいエナジーハーベスティング技術として今後実用化に向けた取り組みを継続する。

研究成果の概要(英文)：The goal of this study is to clarify the origin of the piezoelectricity of the piezoelectric thin films and to develop the novel piezoelectric microdevices using high-efficient piezoelectric thin films. PZT and KNN epitaxial thin films were grown on Si substrates by rf-magnetron sputtering and sol-gel method. We examined their crystallographic structural deformation due to the converse piezoelectric effect using XRD measurements of synchrotron radiation. In this study, we successfully observed the electric-field induced structural deformation as a function of Zr/Ti ratio of the epitaxial PZT thin films. In addition, we fabricated flexible PZT thin-film energy harvesters and succeeded in lightening up LEDs by generated electric power.

研究分野：圧電素子

キーワード：圧電 薄膜 MEMS PZT KNN

1. 研究開始当初の背景

圧電 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) は、圧電薄膜材料技術を基礎とした機能性材料技術と MEMS に代表されるマイクロデバイス技術との融合であり、従来の MEMS デバイスの機能を格段に向上させる可能性を有している。一方、従来の圧電 MEMS デバイスは、薄膜形成プロセスの制約により Si 基板上に圧電薄膜を形成した単純なカンチレバーやダイヤフラム素子に制約されてきた。そのため、Si 基板の微細加工性を生かしたデバイス化は可能である一方、大変形による破壊、また透明性が必要な光学デバイスと融合した新しい応用は不可能であった。

本研究では、高い圧電特性を最大限利用した薄膜デバイス構造の実現を研究目的の主眼とし、圧電 MEMS の機能性を更に拡大することを目標としている。圧電性を最大化するために必要な薄膜プロセスを新たに開発することで、従来の MEMS および圧電マイクロデバイスの概念を大幅に拡張することが期待できるとともに、圧電薄膜デバイスの新しい素子設計論を提案、体系化する。

2. 研究の目的

本研究の目的は大きく下記の 2 つの技術開発に分けられる。

圧電薄膜の構造制御による圧電特性の向上、および圧電性の起源の解明。

新しい圧電 MEMS デバイスの創出、特に柔軟性や透明性を特徴とする圧電薄膜デバイスの実現。

上記研究目的を達成することにより、圧電薄膜の特性向上の指針を明らかにすると共に、高効率圧電 MEMS デバイスの実現が可能になる。特に、有害な鉛を含む PZT の代替となる非鉛圧電薄膜材料の開発は重要であり、その実現に向けた基盤技術の確立を目的としている。また従来 Si 等の汎用基板上に限定されてきた圧電 MEMS 技術は、Si 基板の特性によりその応用範囲が限定されてきた。特に大変形による素子破壊、また光透過性を有しないため圧電効果と光学技術との融合した新しいデバイス (スマートガラス) 等の実現を阻んできた。本研究は上記目的を達成することにより、新規圧電薄膜技術の確立と共に新しい圧電薄膜デバイスの実現を最終目標として研究に取り組んだ。

3. 研究の方法

上記 2 つの目的に対する研究内容は以下の通りである

圧電薄膜の構造制御による圧電特性の向上、および圧電性の起源の解明

シンクロトロン放射光を用いた XRD 測定により、逆圧電効果により生じる結晶ひずみをその場観察する。この測定により、圧電効果の起源を明らかにすることができる。本研究では、c 軸配向エピタキシャル PZT 薄膜および KNN 薄膜をスパッタ法で Si 基板上に成長させ、その圧電ひずみを放射光 XRD で In-situ で観察する技術を開発した。測定で得られた結晶ひずみと、ユニモルフカンチレバーを用いた圧電横効果による圧電定数 $e_{31,f}$ を比較することにより、圧電薄膜の圧電現象を解明する。

新しい圧電 MEMS デバイスの創出、特に柔軟性や透明性を特徴とする圧電薄膜デバイスの実現。

汎用の Si と異なる基板上に PZT 薄膜を成膜する技術を開発し、圧電薄膜デバイスの応用分

野を拡張する。本研究では特にステンレス箔上に形成したPZT薄膜によるフレキシブルPZT薄膜発電素子、およびガラス基板上に成膜した透明圧電デバイスの開発を実施した。

4. 研究成果

本報告書では、Si基板上PZTエピタキシャル薄膜の圧電ひずみ測定、およびフレキシブルPZT薄膜発電素子について報告する。

4-1-1 Si基板上PZTエピタキシャル圧電薄膜の逆圧電結晶ひずみ観察

MEMS加工の標準であるSi基板上に成長させたエピタキシャルPZT薄膜に対して、結晶構造と圧電特性との関連性について評価を行った。特に、シンクロトロン放射光を用いた電圧印加下でのX線回折(XRD)測定により、微視的な結晶構造変化や電界誘起格子ひずみと、正圧電効果および逆圧電効果による巨視的な圧電特性との関係を定量的に調査した。

RFマグネトロンスパッタリング法を用いて、ZrO₂バッファ層を用いた(001)SrRuO₃/Pt/ZrO₂/Si基板上に、660°Cの基板温度で約2μmのPZT(Zr/Ti=53/47)を作製した。Fig. 1にPZT04付近のX線逆格子マップ(RSM)測定の結果を示す。明瞭なスポット状の回折パターンが見られ、PZT薄膜がSi基板上にエピタキシャル成長していることが確認できた。更に、PZT薄膜の正方晶c-ドメインのスポットに加えて、a-ドメインに起因するスポットも見られ、a/cドメインが混在した膜構造を有している。このエピタキシャル薄膜にDC電圧を印加しながらXRD測定を行い、その回折パターンの変化を調べた。測定はSPring-8(ビームライン: BL46XU)の放射光X線(波長: 0.1 nm)を用いて、PZT004/400のピーク付近の測定を行った。Fig. 2に、測定方法を示す。カンチレバー法による圧電測定を行うため、短冊形状のPZT薄膜を用いている。測定は面外および面内の測定を行ったが、面内の回折パターンはほとんど変化しないことが確認でき、基板に強く拘束されていることがわかった。

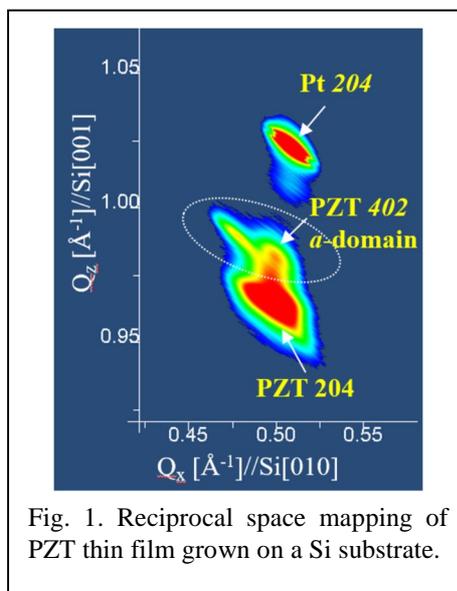


Fig. 1. Reciprocal space mapping of PZT thin film grown on a Si substrate.

Fig. 3(a)に0V~-15Vの電圧を上部電極に印加した状態の面外XRDのその場観察の結果を示す。測定の結果、c-ドメインとa-ドメインに対応するPZT 004

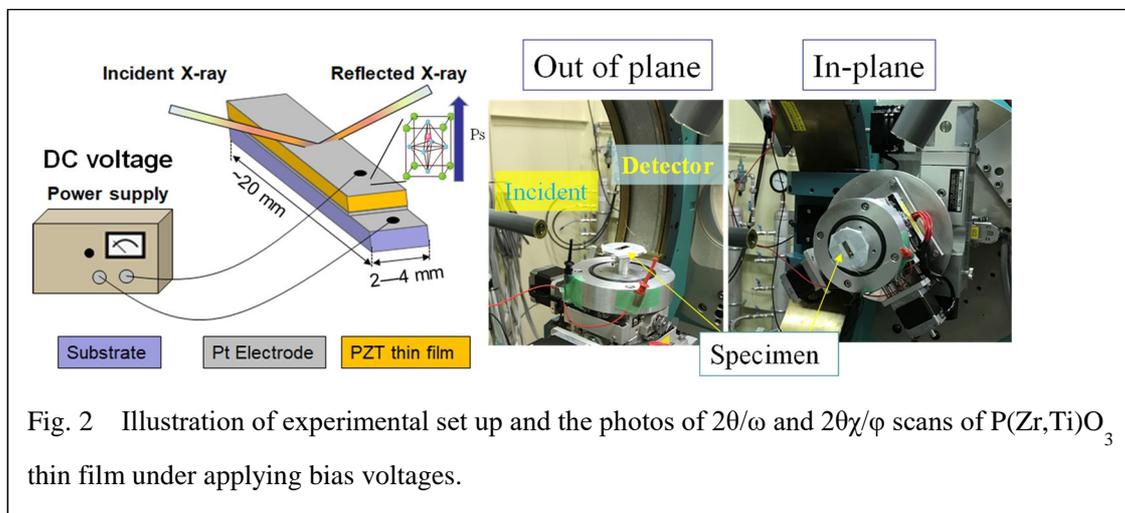


Fig. 2 Illustration of experimental set up and the photos of $2\theta/\omega$ and $2\theta/\chi/\phi$ scans of $P(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ thin film under applying bias voltages.

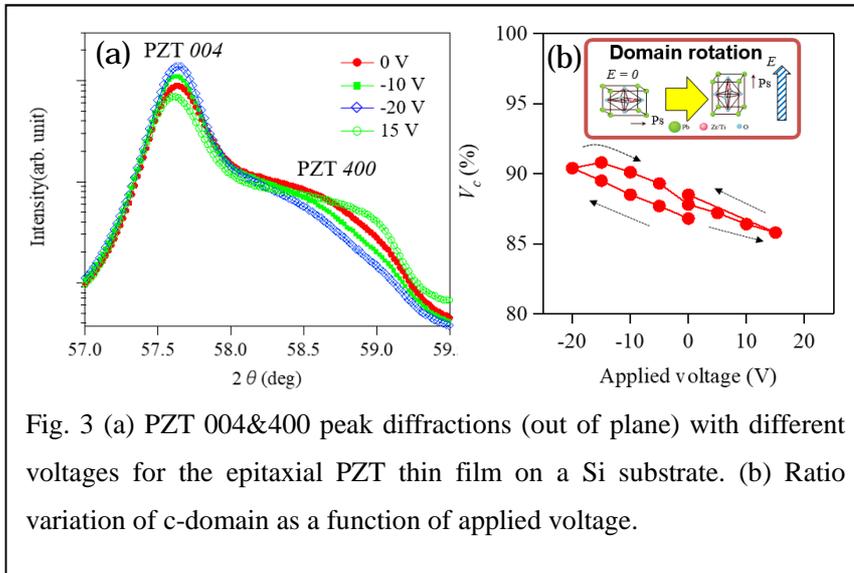


Fig. 3 (a) PZT 004&400 peak diffractions (out of plane) with different voltages for the epitaxial PZT thin film on a Si substrate. (b) Ratio variation of c-domain as a function of applied voltage.

および PZT 400 ピークで強度の変化が見られた。一方、c 軸に対応する PZT004 のピーク位置は大きな変化を示していない。このことは、この PZT 薄膜の圧電性の起源は c-ドメインと a-ドメインのスイッチングが主要因であることを示唆し

ている。次に、ピーク強度比から算出した c-ドメインの割合 (V_c) を Fig. 2 (b) にしめす。この図より、電圧の大きさや向きに従って可逆的に変化していることが確認され、ユニモルフカンチレバーで得られた安定な圧電性とも整合する結果が得られた。

4-1-2 ステンレス箔上 PZT 圧電薄膜を用いたフレキシブル発電素子

近年、環境中の微小なエネルギーを集め電気エネルギーに変換する環境発電技術(エナジーハーベスト)が注目されている。環境発電技術は、特に無線センサネットワークを構成するセンシングデバイスの一次電池を代替するメンテナンスフリー電源としての応用が想定されており、人間の歩行モニタリングなどのウェアラブルデバイスへの応用が期待されている。ウェアラブルデバイスに用いる電源としては、軽量で柔軟であることが求められる。本研究では、ステンレス箔上に PZT 圧電薄膜をスパッタ成膜する技術を確立し、その技術を応用した柔軟かつ高出力の圧電薄膜エネルギーハーベスタ (Piezoelectric energy harvester, PEH) を作製した。

厚さ $30\ \mu\text{m}$ の SUS430 ステンレス箔上に RF マグネトロンスパッタ法を用いて膜厚 $5\sim 6\ \mu\text{m}$ の PZT を成膜し、エナジーハーベスタを作製した。エナジーハーベスタの構造および写真を Fig. 4 に示す。ステンレス箔上に均一な膜厚の PZT 薄膜を成膜することができ、剥離等は見られなかった。PZT 薄膜の結晶構造を XRD を用いて評価した結果、多結晶ペロブスカイト構造を有していることが確認できた。

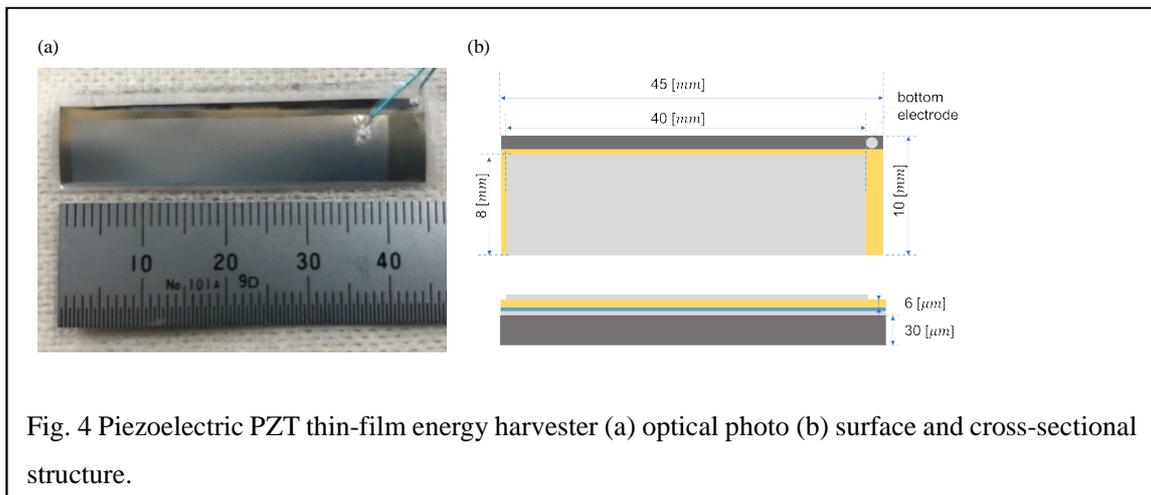


Fig. 4 Piezoelectric PZT thin-film energy harvester (a) optical photo (b) surface and cross-sectional structure.

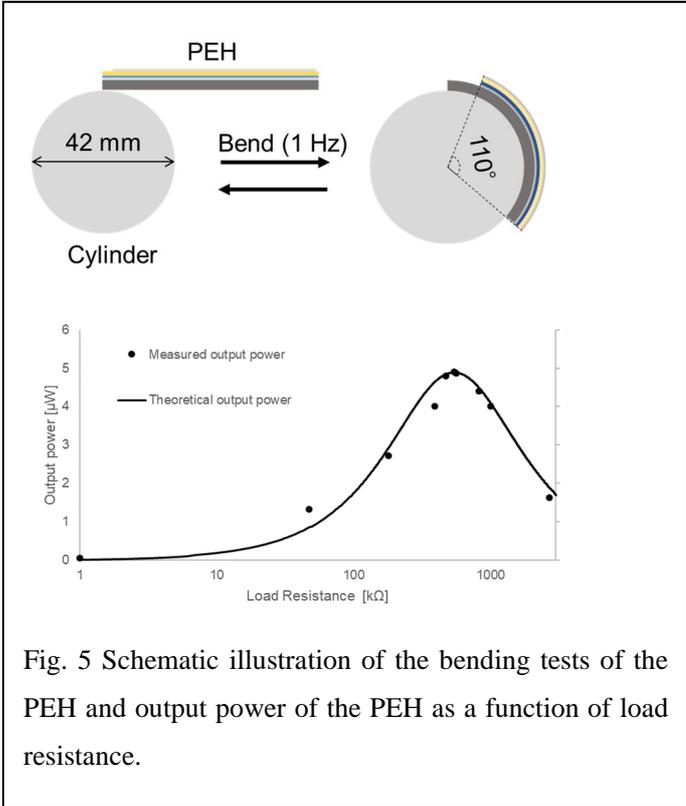


Fig. 5 Schematic illustration of the bending tests of the PEH and output power of the PEH as a function of load resistance.

次に、作製した PZT 薄膜発電素子の誘電特性を測定した。今回作製した SUS430 ステンレス箔上の PZT 薄膜の誘電率は、Si 基板上 PZT 薄膜の比誘電率(≈ 900)と比較すると低い値であり、ステンレスからの圧縮応力が原因であると考えられる。一方、 $\tan\delta$ が 10 % 以下であり十分な絶縁性が確認できた。

強制変形による発電測定系および実際に変形を与え、その発電性能を評価した結果を Fig. 5 に示す。測定は PZT 薄膜エネルギーハーベスタを直径 42 mm の円筒に巻き付けることで約 110° の一定の曲率変

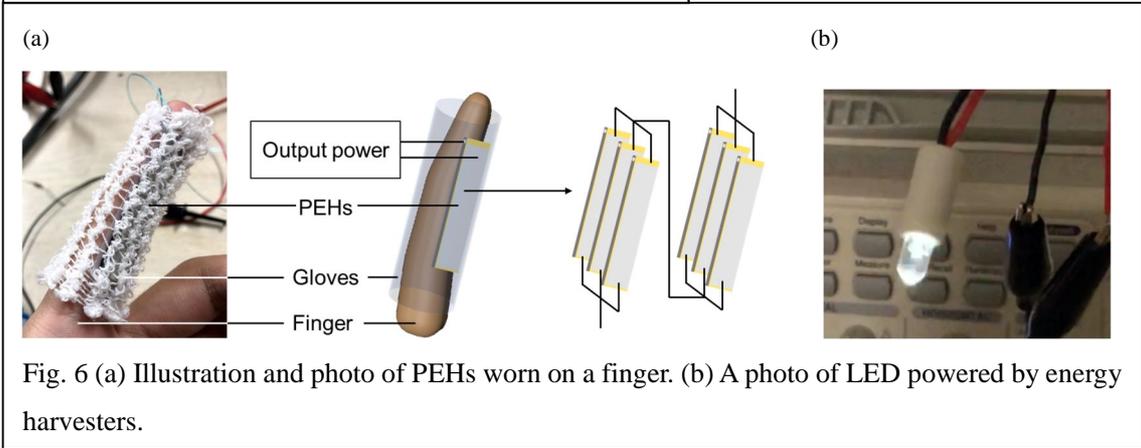


Fig. 6 (a) Illustration and photo of PEHs worn on a finger. (b) A photo of LED powered by energy harvesters.

形を約 2 Hz の繰り返し周波数で与えた。エネルギーハーベスタの上下電極間には可変抵抗器を並列に接続し、変形によって発生した抵抗器間の出力電圧をオシロスコープで測定した。変形によって発電される出力を正弦波と仮定し、負荷抵抗と出力電圧の関係から出力電力を算出した結果、1 素子当たりの最大出力は約 4.9 μW であった。

本研究では、手袋のようにエネルギーハーベスタを指に装着するアプリケーションを想定し、指の関節の屈曲による変形で発電を行い、その出力を評価した。Fig. 6 に実際に指にエネルギーハーベスタを装着している写真および概略図を示す。作製したエネルギーハーベスタについて、3 つを並列に接続したものを 1 セットとして 2 セットを直列に接続し、出力電力の向上を図った。示指および中指、環指にそれぞれ 2 つのエネルギーハーベスタを装着し、発電を行う。測定の結果、オープン電圧の最大値は 5.7 V であり、最大出力電力は 680 kΩ を接続した場合で 18.5 μW であった。

次に、エネルギーハーベスタを市販のエネルギーハーベスティングモジュール(LTC3588-1, 共立プロダクツ)に接続して整流を行い、得られた出力から LED の点灯実験を行った。本実験では、指の関節の屈曲から発電を行い、その電力により LED の点灯に成功した(Fig. 6(b))。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Jikyo Genki, Onishi Kouta, Nishikado Takumi, Kanno Isaku, Kanda Kensuke	4. 巻 130
2. 論文標題 Piezoelectric unimorph microcantilevers for measuring direct and converse piezoelectric coefficients	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 074101 ~ 074101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0056802	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 Ueda Kazuki, Kweon Sang-Hyo, Hida Hirotaka, Mukouyama Yoshiharu, Kanno Isaku	4. 巻 327
2. 論文標題 Transparent piezoelectric thin-film devices: Pb(Zr, Ti)O ₃ thin films on glass substrates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 112786 ~ 112786
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2021.112786	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 Harada Ryo, Iwamoto Naoya, Kweon Sang-Hyo, Umegaki Toshihito, Kanno Isaku	4. 巻 322
2. 論文標題 Finger flexion power generators made of piezoelectric lead zirconate titanate thin films on stainless steel foils	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 112617 ~ 112617
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2021.112617	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 Umegaki Toshihito, Jikyo Genki, Kanno Isaku	4. 巻 59
2. 論文標題 An evaluation method for direct piezoelectric coefficients of thin films using both-ends-hinge-supported unimorph beams	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SPPB04 ~ SPPB04
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/aba556	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 Tan Goon, Kweon Sang Hyo, Shibata Kenji, Yamada Tomoaki, Kanno Isaku	4. 巻 2
2. 論文標題 <i>In Situ</i> XRD Observation of Crystal Deformation of Piezoelectric (K,Na)NbO ₃ Thin Films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 2084 ~ 2089
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00324	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 Priya S. Laxmi, Kumar V., Kanno Isaku	4. 巻 201
2. 論文標題 Influence of Zr/Sn ratio on the Transverse Piezoelectric Coefficient [Inline formula] in Lanthanum-Doped Lead Zirconate Titanate Stannate Thin Films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Integrated Ferroelectrics	6. 最初と最後の頁 86 ~ 93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10584587.2019.1668693	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

1. 著者名 Tan Goon, Maruyama Kazuki, Kanamitsu Yuya, Nishioka Shintaro, Ozaki Tomoatsu, Umegaki Toshihito, Hida Hirotaka, Kanno Isaku	4. 巻 9
2. 論文標題 Crystallographic contributions to piezoelectric properties in PZT thin films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 7309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-43869-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Priya S. Laxmi, Kumar V., Kanno Isaku	4. 巻 201
2. 論文標題 Influence of Zr/Sn ratio on the Transverse Piezoelectric Coefficient [Inline formula] in Lanthanum-Doped Lead Zirconate Titanate Stannate Thin Films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Integrated Ferroelectrics	6. 最初と最後の頁 86 ~ 93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10584587.2019.1668693	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

1. 著者名 Kanno Isaku	4. 巻 57
2. 論文標題 Piezoelectric MEMS: Ferroelectric thin films for MEMS applications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 040101 ~ 040101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.040101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Umegaki Toshihito, Ito Takashi, Nishi Takahito, Tan Goon, Kanno Isaku	4. 巻 57
2. 論文標題 Numerical designs of piezoelectric thin-film vibration energy harvesters	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 11UD06 ~ 11UD06
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.57.11UD06	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 Laxmi Priya S., Kumar V., Teramoto Takuya, Kanno Isaku	4. 巻 192
2. 論文標題 Transverse piezoelectric properties of {110}-oriented PLZT thin films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Integrated Ferroelectrics	6. 最初と最後の頁 113 ~ 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10584587.2018.1521659	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

1. 著者名 Cheng Hongbo, Ouyang Jun, Kanno Isaku	4. 巻 111
2. 論文標題 Probing domain switching dynamics in ferroelectric thick films by small field <i>e</i>_{31,f} piezoelectric measurement	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 022904 ~ 022904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4993164	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

1. 著者名 Tsujiura Yuichi, Suwa Eisaku, Nishi Takahito, Kurokawa Fumiya, Hida Hirotaka, Kanno Isaku	4. 巻 261
2. 論文標題 Airflow energy harvester of piezoelectric thin-film bimorph using self-excited vibration	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Sensors and Actuators A: Physical	6. 最初と最後の頁 295 ~ 301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sna.2017.04.031	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 Cheng Hongbo, Hida Hirotaka, Ouyang Jun, Kanno Isaku	4. 巻 43
2. 論文標題 Electromechanical properties of BaTiO ₃ -xBaSnO ₃ thin films prepared via combinatorial sputtering	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Ceramics International	6. 最初と最後の頁 1597 ~ 1601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ceramint.2016.10.052	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

1. 著者名 Hida Hirotaka, Hamamura Tomohiro, Nishi Takahito, Tan Goon, Umegaki Toshihito, Kanno Isaku	4. 巻 56
2. 論文標題 Piezoelectric characterization of Pb(Zr,Ti) _{0.3} thin films deposited on metal foil substrates by dip coating	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 10PF08 ~ 10PF08
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.10PF08	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 Priya Shashank, Song Hyun-Cheol, Zhou Yuan, Varghese Ronnie, Chopra Anuj, Kim Sang-Gook, Kanno Isaku, Wu Liao, Ha Dong Sam, Ryu Jungho, Polcawich Ronald G.	4. 巻 4
2. 論文標題 A Review on Piezoelectric Energy Harvesting: Materials, Methods, and Circuits	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Energy Harvesting and Systems	6. 最初と最後の頁 3 ~ 39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/ehs-2016-0028	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17件（うち招待講演 9件 / うち国際学会 11件）

1. 発表者名 藤田 卓也、譚 ゴオン、神野 伊策
2. 発表標題 (K, Na)NbO ₃ 薄膜への添加物効果
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 譚 ゴオン、Kim Eun-Ji、Kweon Sang-Hyo、小金澤 智之、神野 伊策
2. 発表標題 Si基板上エピタキシャルPb(Zr,Ti)O ₃ 薄膜の結晶構造と圧電特性の評価
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神野 伊策
2. 発表標題 スパッタ法による積層誘電体薄膜作製技術
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Isaku Kanno
2. 発表標題 Flexible PZT thin films on stainless steel foils for energy harvesters
3. 学会等名 3RD ANNUAL ENERGY HARVESTING SOCIETY MEETING (EHS 2019)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Isaku Kanno
2 . 発表標題 PIEZOELECTRIC PZT THIN FILMS: DEPOSITION, EVALUATION AND THEIR APPLICATIONS
3 . 学会等名 Transducers2019 (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Date, K. Nomura, Y. Fujimori, T. Nagahata and I. Kanno
2 . 発表標題 A Newly Developed High Performance PZT Thin Films by Using Sputtering and Sol-Gel Hybrid Method for Piezo-MEMS Device
3 . 学会等名 2018 ISAF-FMA-AMF-AMEC-PFM Joint Conference (IFAAP2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 G. Tan, K. Maruyama, Y. Kanamitsu, S. Nishioka, H. Osaka, T. Koganezawa, T. Umegaki and I. Kanno
2 . 発表標題 Direct Observation of Inverse Piezoelectric Effect of Pb(Zr,Ti)O ₃ Thin Films Using Synchrotron X-ray Diffraction
3 . 学会等名 2018 ISAF-FMA-AMF-AMEC-PFM Joint Conference (IFAAP2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Umegaki, T. Ito, T. Nishi, G. Tan and I. Kanno
2 . 発表標題 Numerical Designs of Thin-Film-Formed Piezoelectric Vibration Energy Harvesters
3 . 学会等名 2018 ISAF-FMA-AMF-AMEC-PFM Joint Conference (IFAAP2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Ito, Toshihito Umegaki, Isaku Kanno
2. 発表標題 BLE module operation by piezoelectric thin-film energy harvesters
3. 学会等名 International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators 2018 (IWPMA2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshihito Umegaki, Kohei Issiki, Isaku Kanno
2. 発表標題 "An evaluation method of direct piezoelectric coefficients of thin films using both-ends-fixed unimorph beams"
3. 学会等名 International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators 2018 (IWPMA2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shintaro Nishioka, Goon Tan, Toshihito Umegaki, Isaku Kanno
2. 発表標題 Doping effect of lead-free K0.5Na0.5NbO3 thin films by multi-target RF-magnetron sputtering
3. 学会等名 International Workshop on Piezoelectric Materials and Applications in Actuators 2018 (IWPMA2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 I. Kanno
2. 発表標題 Sputtering deposition of piezoelectric PZT thin films for MEMS applications
3. 学会等名 71th ICAT (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神野伊策
2. 発表標題 ナノエネルギー 技術への期待と展望
3. 学会等名 日本学術振興会 薄膜第131委員会 第283回委員会・第289回研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神野伊策
2. 発表標題 圧電薄膜技術：基礎研究から実用化まで
3. 学会等名 2018年度日本機械学会年次大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Isaku Kanno
2. 発表標題 Evaluation of piezoelectric characteristics of thin films for MEMS applications
3. 学会等名 8th International Conference on Electroceramics (ICE2017)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Isaku Kanno
2. 発表標題 Measurement of piezoelectric characteristics of thin films
3. 学会等名 International workshop on piezoelectric materials and applications (IWPM2017)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 G. Tan, K. Maruyama, Y. Kanamitsu, S. Nishioka, T. Koganezawa and I. Kanno
2. 発表標題 In-situ observation of crystallographic deformation of Pb(Zr,Ti)O ₃ thin films by synchrotron x-ray diffraction
3. 学会等名 6th International Workshop on Piezoelectric MEMS (PiezoMEMS2018) (招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Hideo Kimura	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 252
3. 書名 Nanoscale Ferroelectric-Multiferroic Materials for Energy Harvesting Applications	

1. 著者名 Jun Oyang	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 386
3. 書名 Nanostructures in Ferroelectric Films for Energy Applications: Domains, Grains, Interfaces and Engineering Methods (Micro and Nano Technologies)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

センシングデバイス研究室 MA-2 http://www.research.kobe-u.ac.jp/eng-dynamics/
--

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	譚 ゴオン (Tan Goon) (00806060)	大阪府立大学・国際基幹教育機構・講師 (24403)	
研究 分 担 者	肥田 博隆 (Hida Hirotaka) (60402509)	神戸大学・工学研究科・准教授 (14501)	

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			
インド	CMET			
スロベニア	JSI			