

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：24405

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14200

研究課題名（和文）放射光X線回折によるSi基板上エピタキシャル圧電薄膜の圧電主要因子の解明

研究課題名（英文）Elucidation of the key factors determining the piezoelectric properties of epitaxial piezoelectric thin films on Si substrates using synchrotron X-ray diffraction

研究代表者

譚 ゴオン（Goon, Tan）

大阪公立大学・国際基幹教育機構 ・准教授

研究者番号：00806060

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：圧電材料を薄膜化しMEMS（微小電気機械システム）に適用させた応用例としては、アクチュエータから圧電センサまで多岐にわたる。MEMS微細加工の観点からSi基板上に高品質なエピタキシャル薄膜を作製し、薄膜の物性や圧電特性を詳細に調査する必要がある。本研究では、バッファ層付きSi基板上にチタン酸ジルコン酸鉛PZT（ $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ ）薄膜をエピタキシャル成長させ、得られた圧電薄膜に対して放射光X線回折を用いて電圧印加下での結晶構造解析（微視的な圧電ひずみの評価）を行い、圧電薄膜の圧電特性を決定する結晶学的な主要因子を調査した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、バッファ層付きSi基板上に作製した高品質なエピタキシャルPZT薄膜に対し、電圧を印加しながらのXRD（X線回折）測定を行い、圧電薄膜の格子ひずみといった微視的な結晶構造変化が巨視的な圧電特性にどのように寄与するのかを調査した。その結果、電圧印加下のPZT薄膜のX線回折スポットから得られた結果は、巨視的な逆圧電特性における電圧依存性と整合し、組成比の異なるPZT薄膜それぞれの圧電性の起源を解明する手がかりを得ることができた。これにより圧電特性を最大限に引き出せるような材料設計指針を検討し、圧電MEMSの性能向上、非鉛圧電薄膜の創製など、新しい展開をもたらすことが期待された。

研究成果の概要（英文）：The application of piezoelectric materials as thin films in piezoelectric MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) spans a wide range, from microactuators to piezoelectric sensors. From the perspective of MEMS processing, it is essential to fabricate high-quality epitaxial piezoelectric thin films on Si substrates, and thoroughly investigate their crystallographic and piezoelectric properties. However, such studies are still rare. In this research, we fabricated large-area epitaxial growth of lead zirconate titanate ( $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ , PZT) thin films on Si substrates with buffer layers. Using synchrotron X-ray diffraction, we conducted crystal structure analysis under applied voltage on the epitaxial piezoelectric thin films on Si substrates. This allowed us to elucidate the key crystallographic factors determining the piezoelectric properties of the thin films.

研究分野：圧電薄膜材料

キーワード：圧電特性 X線構造解析 強誘電体薄膜

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

圧電材料を薄膜化することで実現される圧電MEMSは、圧力センサやインクジェットヘッド、マイクロアクチュエータなどに応用され、近年は環境振動によるエナジーハーベスタとしての応用も期待されている。このようにして、実用分野への拡大が期待されている一方で、圧電の性能向上による用途の拡大について産業界からの強い要望がある。しかし、MEMS加工の標準であるSi基板上で、高品質なエピタキシャル圧電薄膜を作製した報告例はまだ少なく、さらに圧電薄膜の結晶構造変化に起因する微視的な圧電応答からデバイスとしての巨視的な圧電特性まで通して評価した研究例もほぼ見られない。また現在最もよく使用されている圧電薄膜材料のチタン酸ジルコン酸鉛 PZT ( $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ )は、環境負荷の高い鉛(Pb)を含有するため、優れた圧電特性をもつ非鉛圧電薄膜材料が求められている。そのための研究開発を進めるためには、圧電特性に起因する結晶学的主要因子を解明することが欠かせない。

そこで、本研究では、まずバッファ層付きのSiウエハーを用いることにより、Si基板上に大面積で高品質なエピタキシャルのPZT薄膜や非鉛系ニオブ酸カリウムナトリウム KNN ( $(\text{K,Na})\text{NbO}_3$ )薄膜を作製する。作製した圧電薄膜に対し、電圧を印加しながらのXRD(X線回折)測定を行い、圧電薄膜の格子ひずみや結晶相転移といった微視的な結晶構造変化が巨視的な圧電特性にどのように寄与するのかを調査し、圧電特性が最大になるような結晶構造の指針を明らかにする。

### 2. 研究の目的

本研究では、Si基板上のエピタキシャル圧電薄膜を作製し、得られた薄膜に対し放射光XRD測定による微視的な結晶構造解析と巨視的な圧電特性の計測の結果双方を議論することで、デバイスの圧電特性に最も大きく寄与する結晶構造の主要因子を明らかにすることを目的とする。これにより圧電特性を最大限に引き出せるような結晶構造といった材料設計指針を得ることができ、圧電MEMSの性能向上、環境負荷の低い非鉛圧電薄膜の創製など、新しい展開をもたらすことが期待される。薄膜作製から物性評価、デバイス評価までを網羅し、またMEMSプロセスの標準であるSi基板上のエピタキシャル圧電薄膜を研究対象としていることで、学術的な基礎研究に限らず工業的な波及効果も目指している。

### 3. 研究の方法

薄膜作製から電圧印加時の結晶構造変形の観測、さらに物性評価、デバイス評価までを行うために、本研究では以下の項目で研究に取り組んだ。

#### (1) Si基板上のエピタキシャル圧電薄膜の作製と結晶構造評価：

スパッタリング法やゾルゲル法を用いて、バッファ層付きSi基板上に圧電薄膜を作製した。作製した圧電薄膜の結晶配向性についてXRD測定を用いて評価を行った。薄膜の構造解析には、透過型電子顕微鏡の測定も行い、Si基板上にエピタキシャル成長をしているのか確認を行った。

#### (2) 圧電薄膜の巨視的な圧電特性の測定：

本研究では、カンチレバー法により作製した薄膜の正圧電効果および逆圧電効果の測定を行った。正圧電定数の測定では、クランプしたカンチレバーの先端にタングステンおもりを取り付け、ファンクションジェネレータを用いて共振周波数で励振させた状態で評価した。レーザードップラー振動計を用いて測定した入力変位と、薄膜の上下電極から電流アンプを用いて得られた出力電流をオシロスコープで測定することで正圧電定数を算出した。一方、逆圧電定数の測定では、ファンクションジェネレータを用いてカンチレバーにAC電圧を印加し、レーザードップラー振動変位計およびオシロスコープを用いて逆圧電効果により誘起されたカンチレバーの先端変位から逆圧電定数を算出した。

#### (3) 放射光XRDを用いた圧電薄膜の微視的な結晶構造動的挙動のその場観察：

圧電薄膜に対して、電圧印加下における結晶構造変化動的挙動を計測し、圧電特性に起因する結晶学的な支配因子を明らかにする。本測定では、光源に放射光施設(Spring-8)のシンクロトロン放射光(波長 $\lambda=1.0\text{ \AA}$ )を用いることによって、従来実験室でよく使用されているCuK $\alpha$ 線と比べて遥かに高い指向性と輝度を持つことから、高い精度での測定を可能とした。さらに、検出器には二次元検出器を用いることで、格子面間隔のばらつきと結晶方位のばらつきの二次元的な情報が逆格子マップの像として観察される。逆格子マップで得られた回折スポットを解析することで、面内方向および面外方向の格子定数や結晶ひずみの状態を同時に評価することができる。圧電薄膜の上部電極に0Vから20VまでのDC電圧を印加しながら、逆格子マップの圧電結晶のスポットの変化に注目し測定を行った。

#### (4) 圧電MEMS応用に向けての評価：

X線測定や圧電評価で得られた結果を基に、圧電特性を最大限に引き出す結晶構造やドメイン構造を明らかにし、薄膜作製にフィードバックする。圧電特性を向上させたPZT薄膜および

非鉛 KNN 薄膜に対して、応用展開に向けたエネルギーハーベスタに応用が可能な圧電 MEMS 素子を作製し、デバイス性能の評価を行う。

(5) 応用に向けた高品質なゾルゲル圧電薄膜の作製と評価：

ゾルゲル法は、溶液がゾルおよびゲルへと変化する現象（ゾル-ゲル転移）を利用した成膜方法である。金属アルコキシド、水、溶媒などを混合した溶液中で加水分解、重合反応を起こさせて得られたゾル状の前駆体溶液を基板上に塗布し、湿潤なゲル膜を得る。その後、この薄膜をホットプレートにより乾燥、仮焼成、焼成を行い、結晶化した薄膜を得る手法である。ゾルゲル法の大きな特徴としては、簡易な成膜装置で大気圧下にて成膜が可能であるため、安価で簡易に成膜をすることが可能である。工業的にも量産がしやすく応用がしやすい。本研究では、上記のスパッタリング法で作製された薄膜による実験で得られた結果を基に、ゾルゲル法で成膜した圧電薄膜についても、エピタキシャル成長、圧電評価、および電圧印加下における結晶構造変化に関する調査を行った。

#### 4. 研究成果

##### ● Si 基板上的のエピタキシャル圧電薄膜の作製と圧電 MEMS に向けての評価

スパッタリング法を用いて、エピタキシャル Pt(100)電極がコーティングされたバッファ層付き Si 基板(商品名 KRYSTAL Wafer)上に作製したエピタキシャル PZT ( $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ ) 圧電薄膜に対して圧電定数および性能指数 (FOM) を評価したところ、比誘電率が十分に低く、圧電定数  $e_{31,f}$  が  $10 \text{ C/m}^2$  以上と大きい値が得られた。これにより、エネルギーハーベスタとして応用した場合、性能指数が大きいことが想定された。実際に、この作製した圧電薄膜に対して機械的な振動を与えることによってエネルギーハーベスタとしての発電特性を評価したその結果、十分な発電量が得られ、エネルギーハーベスタとして応用が可能であることを実証した。

##### ● ソルゲル法を用いた Si 基板上的のエピタキシャル PZT 圧電薄膜の作製&圧電特性の評価

次に、簡易な成膜装置で大気圧下にて成膜が可能なゾルゲル法を用いて Si 基板に圧電薄膜のエピタキシャル成長を試みた。バッファ層付き Si 基板に、スピナーで PZT ゾルゲル原料液(三菱マテリアル(株))を塗布した。その後、 $300^\circ\text{C}$ で煅焼、 $600^\circ\text{C}$ でアニールを行った。この工程を 10 回繰り返すことで、膜厚が約  $1 \mu\text{m}$  の PZT(52/48)圧電薄膜を作製した。図 1 に PZT 薄膜の面外方向の XRD パターンおよび PZT 204 付近の逆格子マップ(RSM)を示す。これら結果により、 $c$  軸方向に配向したエピタキシャル PZT 薄膜が得られてることが確認できた。

次に、カンチレバー法により逆圧電測定を行なった結果を図 2 に示す。負にバイアスした交流電圧を 1 から 3 の順番で変化させて圧電定数を測定した。多少の電圧依存性が見られたが、得られた圧電定数  $|e_{31,f}|$  は  $8.9\sim 11.6 \text{ C/m}^2$  で、スパッタリング法で作製したエピタキシャル PZT 薄膜に匹敵するほど大きな圧電定数を示していた。この結果により、ゾルゲル法で結晶配向制御された高品質なエピタキシャル圧電薄膜を Si 基板に作製することができた。

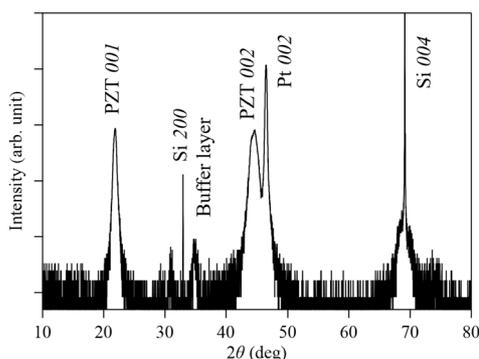


図 1 ゾルゲル法で作製した Si 基板上的の PZT 薄膜の XRD 面外測定の結果、および PZT 204 付近の逆格子マップ(RSM)。

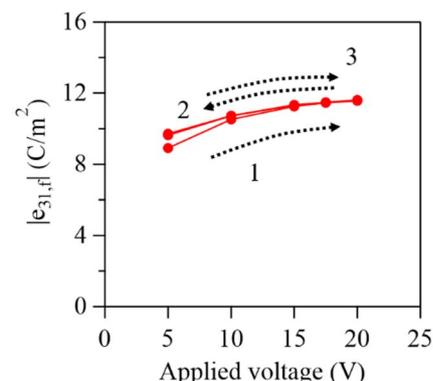


図 2 ゾルゲル PZT 薄膜の逆圧電測定の結果。

##### ● 放射光 XRD を用いた圧電薄膜の結晶構造動的挙動のその場観察

ゾルゲル法で作製したエピタキシャル PZT 薄膜に対して、電圧を印加しながらの X 線回折測定を行った。放射光施設 (Spring-8) の BL46XU ビームラインにて、シンクロトロン放射光 ( $12.4 \text{ keV}$ ,  $1.0 \text{ \AA}$ ) を用いて測定を行った。いくつか Zr/Ti 組成比の異なる PZT 薄膜を作製し、上部 Pt 電極に  $0 \text{ V}$  から  $20 \text{ V}$  までの DC 電圧を印加しながら逆格子マップにおける PZT 回折スポット付近に注目した。

図 3 に Zr/Ti の組成比が 45/55 のエピタキシャル PZT(45/55)薄膜の PZT(004)回折スポット付近の逆格子マップ像を示す。電圧を印加する前の結晶構造は、正方晶相の  $a$  ドメインと  $c$  ドメイン

の両方の回折スポットが観察された。電圧印加前の回折強度は、 $a$  ドメインの方が  $c$  ドメインよりも強いことが確認された。電圧を印加した場合、 $c$  ドメインの回折強度が大幅に増加する一方、 $a$  ドメインの強度低下が見られた。一方、ピーク位置はほとんど変わらず、面外方向の  $a, c$  ドメインの格子定数は大きな変化はないことが確認できた。このことは、電圧印加により  $a$  ドメインから  $c$  ドメインへの  $90^\circ$  ドメイン回転が生じていることを示唆している。より定量的に評価するために  $a$  ドメインと  $c$  ドメインに由来する回折ピーク強度の和に対する  $c$  ドメインの回折強度の比を算出し、図 4 に  $c$  ドメインの回折ピーク強度比の電圧依存性を示す。組成比が異なる PZT(45/55)および PZT(52/48)薄膜のどちらにおいても  $c$  ドメインに対する強度比が電圧印加に応じて上昇していることが確認された。

次に、ピーク位置から算出した面外格子定数の電圧依存性を図 5 に示す。面外格子定数については、PZT(45/55)では変化がほとんど無いのに対して、PZT(60/40)および PZT(52/48)では伸長していることが確認された。

以上の結果から、PZT 薄膜に電界を印加することで、PZT(45/55)では正方晶相の  $c$  ドメインから  $a$  ドメインへの  $90^\circ$  ドメイン回転、PZT(60/40)では菱面体晶相の伸長、PZT(52/48)ではその両方が起こっていることが確かめられた。格子定数の伸長は、印加電圧の上昇に対して線形的に増加する一方、ドメイン回転は一定の電圧以上で部分的に生じる。その結果、電圧印加に応じた逆圧電定数の非線形的な上昇として表れることが考えられる。したがって、電圧印加下の逆格子マップから得られた結果は、巨視的な逆圧電特性における電圧依存性と整合し、組成比の異なる PZT 薄膜それぞれの圧電性の起源を解明する手がかりを得ることができた。

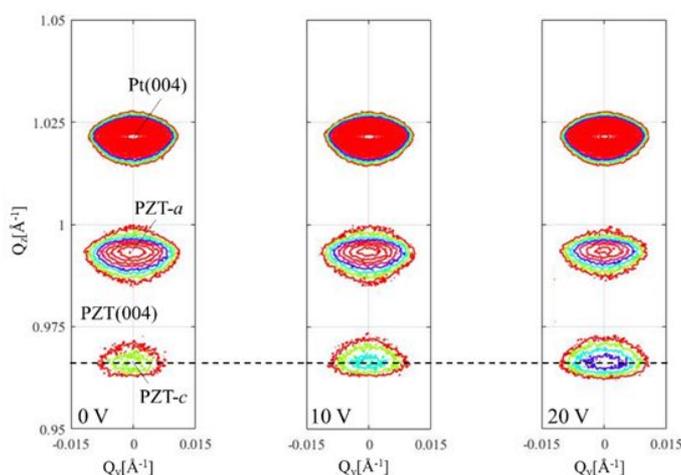


図3 PZT(45/55)薄膜の電圧印加におけるPZT(004)回折スポット付近の逆格子マップ像。

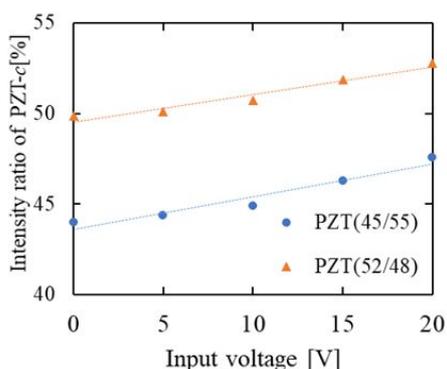


図4 PZT 薄膜  $c$  ドメインの回折ピーク強度比の電圧依存性。

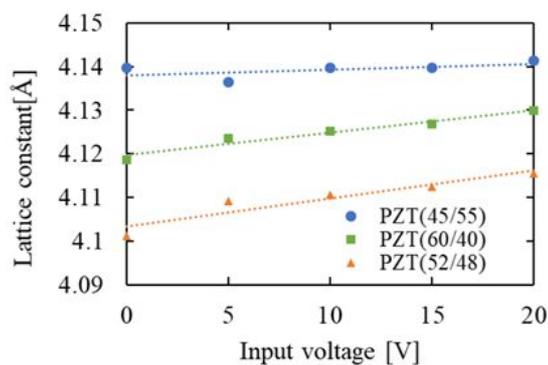


図5 PZT 薄膜の面外格子定数の電圧依存性。

#### まとめ

本研究では、バファ層付き Si 基板上に作製した PZT 薄膜に関して、結晶性、圧電特性、電圧印加における結晶構造変化について評価を行った。作製手法においては従来のスパッタリング法に加えて、より簡易な装置で薄膜作製が可能なゾルゲル法での成膜にも取り組んだ。X 線回折や圧電測定の結果、得られた PZT 薄膜は結晶配向が制御されたエピタキシャル成長をしていることが確認された。ゾルゲル法で作製した PZT 薄膜の圧電定数は  $8.9\sim 11.6 \text{ C/m}^2$  でスパッタ法

により作製した PZT 薄膜に匹敵するほど大きな圧電定数を示していた。

電圧印加における結晶構造変化の観察は、放射光施設 Spring-8 で測定を行った。ゾルゲル法で作製した異なる Zr/Ti 組成 (45/55, 52/48, 60/40) の PZT 薄膜に対し電界を印加した結果、PZT(45/55) では正方晶相の  $c$  ドメインから  $a$  ドメインへの  $90^\circ$  ドメイン回転が顕著に見られたのに対し、PZT(60/40) では菱面体晶相の格子定数の伸長、PZT(52/48) ではその両方が起きていることが考えられた。格子定数の伸長は印加電圧の上昇に対して線形的に増加する一方で、ドメイン回転は一定の電圧以上で部分的に生じ、その結果、電圧印加に応じた逆圧電定数の非線形的な上昇として表れていることが考えられた。したがって、電圧印加下の逆格子マップから得られた結果は逆圧電定数の電圧依存性とうまく整合しており、それぞれの組成比の PZT 薄膜の圧電特性の起源を解明する手がかりを得ることができた。今後は、本研究で得られた結果を基に、より高い圧電特性を持つ非鉛圧電薄膜の作製に取り組む予定である。

#### 主な発表論文等

Yukio Sato, Goki Kimura, Sang Hyo Kweon, **Goon Tan** and Isaku Kanno, “Disruption of polar order in lead zirconate titanate by composition-modulated artificial superlattice”, *J Mater Sci* **59**, 8134–8146 **44**, 3887–3894 (2024). [査読有](#)

S. H. Kweon, Y. Kanayama, **G. Tan**, T. Koganezawa and I. Kanno, “In-situ study on piezoelectric responses of sol-gel derived epitaxial Pb[Zr,Ti]O<sub>3</sub> thin films on Si substrate”, *Journal of the European Ceramic Society* **44**, 3887–3894 (2024). [査読有](#)

S. H. Kweon, E. J. Kim, **G. Tan** and I. Kanno, “Compositional Modification of Epitaxial Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> Thin Films for High-Performance Piezoelectric Energy Harvesters”, *Adv. Mater. Interfaces* **11**, 2300634 (2024). [査読有](#)

**G. Tan**, S. H. Kweon and I. Kanno, “Piezoelectric properties of epitaxial Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> thin films grown on Si substrates by the sol-gel method”, *Thin Solid Films* **764**, 139612 (2023). [査読有](#)

K. Tanaka, Y. Kawata, S. H. Kweon, **G. Tan**, T. Yoshimura and I. Kanno, “Crystal structure and piezoelectric properties of lead-free epitaxial (K,Na)NbO<sub>3</sub> thin films grown on Si substrates”, *Appl. Phys. Lett.* **121**, 172901 (2022). [査読有](#)

E. J. Kim, S. H. Kweon, S. Nahm, Y. Sato, **G. Tan** and I. Kanno, “High output performance of piezoelectric energy harvesters using epitaxial Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub> thin film grown on Si substrate”, *Appl. Phys. Lett.* **121**, 161901 (2022). [査読有](#)

K. Tanaka, R. Ogawa, S. H. Kweon, **G. Tan** and I. Kanno, “Annealing effects on epitaxial (K,Na)NbO<sub>3</sub> thin films grown on Si substrates”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **61** SN1020 (2022). [査読有](#)

G. Kimura, S. H. Kweon, K. Tanaka, **G. Tan**, T. Koganezawa and I. Kanno, “In situ high-temperature X-ray diffraction measurements of Pb(Zr<sub>0.58</sub>Ti<sub>0.42</sub>)O<sub>3</sub> epitaxial thin films grown on Si substrates”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **61** SN1012 (2022). [査読有](#)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7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 Sato Yukio, Kimura Goki, Kweon Sang Hyo, Tan Goon, Kanno Isaku	4. 巻 59
2. 論文標題 Disruption of polar order in lead zirconate titanate by composition-modulated artificial superlattice	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 8134 ~ 8146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-024-09686-2	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, Kanno Isaku	4. 巻 764
2. 論文標題 Piezoelectric properties of epitaxial Pb(Zr,Ti)O <sub>3</sub> thin films grown on Si substrates by the sol-gel method	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 139612 ~ 139612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2022.139612	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 Tanaka Kiyotaka, Kawata Yoshiyuki, Kweon Sang Hyo, Tan Goon, Yoshimura Takeshi, Kanno Isaku	4. 巻 121
2. 論文標題 Crystal structure and piezoelectric properties of lead-free epitaxial (K,Na)NbO <sub>3</sub> thin films grown on Si substrates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 172901 ~ 172901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0110135	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 Kim Eun-Ji, Kweon Sang-Hyo, Nahm Sahn, Sato Yukio, Tan Goon, Kanno Isaku	4. 巻 121
2. 論文標題 High output performance of piezoelectric energy harvesters using epitaxial Pb(Zr, Ti)O <sub>3</sub> thin film grown on Si substrate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 161901 ~ 161901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0105103	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 G., Fukuta H., De Silva K. K. H., Matsuda A., Yoshimura M., Yoshimoto M., Umezawa K.	4. 巻 40
2. 論文標題 Characterization of vacuum ultraviolet-irradiated surface modification of CoO(111) crystal by low-energy atom scattering spectroscopy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology A	6. 最初と最後の頁 063202 ~ 063202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/6.0001971	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 Tanaka Kiyotaka, Ogawa Rei, Kweon Sang Hyo, Tan Goon, Kanno Isaku	4. 巻 61
2. 論文標題 Annealing effects on epitaxial (K,Na)NbO <sub>3</sub> thin films grown on Si substrates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SN1020 ~ SN1020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac8143	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 Kimura Goki, Kweon Sang Hyo, Tanaka Kiyotaka, Tan Goon, Koganezawa Tomoyuki, Kanno Isaku	4. 巻 61
2. 論文標題 In situ high-temperature X-ray diffraction measurements of Pb(Zr <sub>0.58</sub> Ti <sub>0.42</sub> )O <sub>3</sub> epitaxial thin films grown on Si substrates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SN1012 ~ SN1012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac7f7c	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 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 G. Tan, Y. Kanayama, S. H. Kweon and I. Kanno
2. 発表標題 Fabrication and characterization of epitaxial PZT thin films on Si substrates by sol-gel process
3. 学会等名 The 15th International Meeting on Ferroelectricity 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 譚 ゴオン
2. 発表標題 低速原子散乱分光法を用いた絶縁性材料の表面構造解析
3. 学会等名 第31回放射線利用総合シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中 清高, 蔡 慶政, 河田 佳之, Sang-Hyo Kweon, 譚 ゴオン, 神野 伊策
2. 発表標題 Si 基板上エピタキシャル(K, Na)NbO <sub>3</sub> 薄膜の圧電特性
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 G. Kimura, S. H. Kweon, G. Tan, and I. Kanno
2. 発表標題 Piezoelectric properties of Pb(Zr,Ti)O <sub>3</sub> artificial superlattice thin films
3. 学会等名 International Workshop on 8th Piezoelectric MEMS (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村 剛基, 權 相暁, 譚 ゴオン, 神野 伊策
2. 発表標題 PZT人工超格子薄膜の作製とその圧電特性
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金山 裕一、権 相暁、譚 ゴオン、神野 伊策
2. 発表標題 Si基板上エピタキシャルゾルゲル Pb(Zr,Ti)O <sub>3</sub> 薄膜の作製
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------