T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	種々の評価方法を用いた水熱合成(K,Na)NbO3膜の圧電特性に関する研究
Title(English)	Study on piezoelectric properties of hydrothermally synthesized (K,Na)NbO3 films using various evaluation methods
著者(和文)	舘山明紀
Author(English)	Akinori Tateyama
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11775号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:舟窪 浩,吉本 護,北本 仁孝,東 正樹,保科 拓也,黒澤 実
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11775号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 系 材料 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of （ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	舘山 明紀	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	舟窪 浩
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	北本 仁孝

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

本論文は" Study on piezoelectric properties of hydrothermally synthesized (K,Na)NbO_3 films using various evaluation methods（種々の評価方法を用いた水熱合成(K,Na)NbO_3膜の圧電特性に関する研究）" と題して英文で書かれており、計 5 章から構成されている。

第 1 章"General introduction（序論）"では，まず研究の背景について説明している。薄膜形態での圧電評価方法の問題点を指摘し、新規の評価手法の必要性を述べている。次に圧電膜を用いたデバイスの出力に及ぼす圧電膜の膜厚の影響を説明している。そして水熱合成法で作製した(K,Na)NbO_3膜が、厚膜化可能であることから、デバイス応用での高出力化が期待できることを述べ、本研究の目的を述べている。更に、圧電膜の作製方法、ならびに評価方法等の基本的な実験手法について紹介している。

第 2 章" Development of novel evaluation methods for the transverse piezoelectricity of thin films（薄膜の圧電横効果の新規評価手法の開発）"では、膜の圧電横効果を評価する手法を開発している。まず、(100)および(111) $SrTiO_3$ 基板上に作製した膜について、有効縦方向圧電歪定数($d_{33,f}$)と有効横方向圧電応力定数($e_{31,f}$)の測定を行っている。得られた両者の関係を説明するために、電界印加下での面内および面外の格子歪を XRD 法により評価している。その結果、(100) $SrTiO_3$ 基板上に作製した膜では、(111) $SrTiO_3$ 基板上に作製した膜より膜面内の結合が強いことを明らかにしている。また、正逆の $e_{31,f}$ について同じ条件で同時に測定する手法を提案している。この方法では、同じ膜上に駆動用とセンシング用の 2 つの電極を持つ縦振動子を作製し、駆動用電極に素子が共振する周波数の電圧を印加した際の振動速度より逆圧電定数を求め、短絡したセンシング用電極より流れ出る電流より正圧電定数を同時に測定している。得られた結果を電極区間の歪の分布を考慮した等価回路モデルに基づき解析する方法を確立し、その結果、正逆の $e_{31,f}$ が概ね同じ値になることを確認している。

第 3 章" Piezoelectric characterization of hydrothermally synthesized (K,Na)NbO_3 films（水熱合成した(K,Na)NbO_3膜の圧電特性評価）"では、水熱合成した(K,Na)NbO_3膜について種々の圧電特性評価を行い、その特長を明らかにしている。まず、正逆の $e_{31,f}$ の組成依存性を調査し、水熱合成した$(K_xNa_{1-x})NbO_3$膜が x の値によらず分極処理無しで圧電性が発現する"自己分極膜"であることを明らかにしている。また、 $(K_{0.88}Na_{0.12})NbO_3$ 膜は本研究で調査した範囲内では、比誘電率が低く、発電性能指数が$(K_xNa_{1-x})NbO_3$膜の中で最も高いことを明らかにしている。次に、$e_{31,f}$ の熱処理温度依存性を調査し、自己分極状態は、キュリー温度以上の熱処理で失われることを明らかにしており、自己分極特性は、製膜温度がキュリー温度以下で強誘電相を直接製膜していることに起因することを指摘している。また、熱処理を行って自己分極を喪失した膜の上に再度水熱法で膜を作成すると、自己分極した膜が堆積でき、自己分極特性は、基板の分極状態に依らないことを明らかにしている。さらに圧電横効果に対する非線形寄与をレイリー法により解析し、水熱合成した$(K_{0.88}Na_{0.12})NbO_3$膜は、非 180 度ドメイン等の格子振動以外の外因的要因からの寄与がキュリー温度以上で熱処理した膜と比較して少ないことを指摘している。その結果、印加電圧に対して線形性の高い圧電応答を示し、1.3 Hz から 100 kHz の周波数範囲では、$e_{31,f}$ の値は約－5 C/m^2 のほぼ一定の値を示すことを明らかにしている。さらに、抗電界が 60 から 110 kv/cm とこれまで報告されている$(K_xNa_{1-x})NbO_3$膜より大きな値をとり、大振幅での交流駆動に適している可能性を明らかにしている。

第 4 章" Evaluation of the device performance for the piezoelectric vibrator using hydrothermal-synthesized thick $(K_{0.88}Na_{0.12})NbO_3$ films（水熱合成した$(K_{0.88}Na_{0.12})NbO_3$厚膜を用いた圧電振動子のデバイス性能評価）"では、3 章までで明らかにした水熱合成した$(K_{0.88}Na_{0.12})NbO_3$膜の特長を活かし、厚膜を使用したデバイスの性能評価を行っている。正圧電効果を用いた低周波での応用として振動発電素子を作製し、最大膜厚 22 μm までの膜厚依存性を調査している。素子構造を工夫することにより機械的品質係数(Q_m)をほぼ一定にすることで、膜厚の増加に伴う発電量の増加に成功している。さらに逆圧電効果を用いた高周波応用として、超音波アクチュエータを作製し、最大膜厚 26 μm までの膜厚依存性を調査している。膜厚を増加させることで印加可能電圧を増加させることができ、結果として最大振動速度を増加できることを明らかにしている。

第 5 章" General conclusions and future works（結論と今後の展望）"では、本研究で得られた結果を総括し、今後の課題・展望について述べている。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	材料 系 材料 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of （ 工学 ）
学生氏名： Student's Name	舘山 明紀	指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	舟窪 浩
		指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)	北本 仁孝

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

This thesis entitled" Study on piezoelectric properties of hydrothermally synthesized (K,Na)NbO_3 films using various evaluation methods" is written in English and composed of 5 chapters. In chapter 1 of this thesis, the background and the objective of the present study were explained.

In chapter 2, the author firstly develops the evaluation method of piezoelectricity for the film including a novel method. The author investigate a relationship of $d_{33,f}$ and $e_{31,f}$ in the viewpoint of in-plane coupling strength of the piezoelectric films using in-situ XRD technique. The author proposes a simultaneous measurement method of direct and inverse piezoelectric coefficient to understand the piezoelectricity precisely.

In chapter 3, hydrothermal synthesized (K,Na)NbO_3 film was investigated from various viewpoints to clarify the unique features accompanying the hydrothermal process. In this chapter, composition, heat-treated temperature, and drive frequency dependences were systematically investigated. The author shows that hydrothermally synthesized $(K_{0.88}Na_{0.12})NbO_3$ film has a self-polarized state with the automatically aligned polarization direction owing to its low deposition temperature below Curie temperature. The author also shows that its piezoelectric response has good linearity against the voltage, good stability against the frequency, and low relative dielectric constant mainly due to the low extrinsic contribution. These characteristics are advantageous for harvesters or actuators.

In chapter 4, the thick $(K_{0.88}Na_{0.12})NbO_3$ film was prepared and examined its device performance both energy harvester and ultrasound actuator. The vibration energy harvester using $(K_{0.88}Na_{0.12})NbO_3$ with a film thickness of 22 μm and the ultrasonic actuator using $(K_{0.88}Na_{0.12})NbO_3$ film with a film thickness of 26 μm without any obvious cracks are evaluated. The author shows that the output can be increased to increase film thickness.

In Chapter 5, a summary of the result and future works were described.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).