

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01617

研究課題名(和文) 窒化アルミニウム基エピタキシャル薄膜を用いた強誘電性サイズ効果の解明

研究課題名(英文) Investigation of "Size effect" in ferroelectricity using aluminium nitride-based epitaxial films

研究代表者

舟窪 浩 (FUNAKUBO, Hiroshi)

東京工業大学・物質理工学院・教授

研究者番号：90219080

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：電界が印加されていない場合の残留分極値については、(Al,Sc)N膜は膜厚12nmまでの膜厚減少に伴う顕著な劣化は認められなかった。逆に残留分極値が上昇する現象も確認されたが、下部電極からの歪の効果によって説明可能であった。面内の配向が揃ったエピタキシャル膜とランダム配向の一軸配向膜では、膜厚依存性に顕著な違いは認められなかった。一方抗電界は、膜厚の減少に伴って増加する傾向が両方の膜で認められたが、その上昇はこれまでに報告されている強誘電体の中で最も小さかった。この結果から、膜厚が数ナノメートルになると材料ごとの抗電界の差は縮まることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、ウルツ鉱構造強誘電体が薄膜化による残留分極の低下がほとんど見られないことを解明した。この成果は、この物質の大きな残留分極値を利用したトンネル構造のメモリ応用にとって、最も重要な結果といえる。強誘電体を用いたメモリは最も低消費電力でのデータ保持が可能である。情報関係で消費されると予想される電力は今後飛躍的な増加が予想されており、そのエネルギー消費を下げるかは、今後の最も重要な社会課題の一つである。このことを踏まえると、本研究は(AI,Sc)N膜がこの社会課題に対応可能なことを示した結果であり、その社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：Remanent polarization of (Al,Sc)N films kept almost constant down to 12 nm in thickness. This is almost independent of the in-plane orientation, i.e., both epitaxial and one-axis-oriented films with (001)-out-of-plan orientation. The coercive field increases with decreasing film thickness. However, its increase with decreasing film thickness is smaller than reported ones for other ferroelectric films. This indicates that coercive fields tend to be similar in the case of several nanometers in thickness.

研究分野：無機材料科学 機能性薄膜

キーワード：窒化アルミニウム 強誘電性 サイズ効果 ウルツ鉱構造窒化物

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究の学術的背景

i) 強誘電体薄膜の“サイズ効果”の研究状況

強誘電体は絶縁体の一種で、圧電性、焦電性、高い誘電率等の多機能を有し、強誘電体メモリ、センサ、大容量キャパシタ等に幅広く使用される重要な機能材料である。従来広く研究されているペロブスカイト構造(ABO_3)基の強誘電体は、薄膜化すると強誘電性が劣化し、強誘電体デバイスの微細化、低電圧動作、さらにはトンネル接合に代表される“極薄膜強誘電体デバイス”実現の最大の課題であった。

ii) (Al,Sc)N の強誘電性における強誘電性の膜厚依存性

Sc置換したAlN[(Al,Sc)N]は、六方晶系の対象中心の無いウルツ鉱構造を有し、2019年に日本人の理論予測に従って、膜厚300nmの分極軸であるc軸一軸配向膜について強誘電性が実験的に確認された。研究代表者は、膜厚が9nmでも強誘電性があることを世界で初めて確認し、(Al,Sc)Nのサイズ効果は非常に小さい可能性も示した。

(2) 研究課題の核心をなす学術的「問い」

本研究の最も重要な学術的な問いは、これまでの長年議論されながら解決できていない強誘電体のサイズ効果の起源を明らかにすることである。

ペロブスカイト構造強誘電体では、強誘電性(直接型強誘電性)は2種類の陽イオンサイト(AとB)の役割が長年議論されてきた。2011年に見つかった1種類の陽イオンサイトで構成され、強誘電性(間接型強誘電性)の起源が異なる HfO_2 基強誘電体については、研究代表者がエピタキシャル膜を用いてサイズ効果がほとんど無いことを証明した。

研究代表者は、この強誘電性の発現起源の違いがサイズ効果と深く関係しており、強誘電性の起源が HfO_2 に近い蛍石構造やウルツ鉱構造強誘電体では、サイズ効果はほとんど観察されないと考えている。本研究で取り上げる、ウルツ鉱構造窒化物(AN)強誘電体は、報告されている物質中で最大級の強誘電性を有している。従ってその大きな値から、サイズ効果の詳細な解析が可能であると期待でき、これまでの強誘電体の“サイズ効果”の研究の中でも理論上も実用上も最も重要な研究であると考えている。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的

本研究の目的は、巨大強誘電性を有する AlN 基エピタキシャル膜を作成し、その巨大強誘電性の詳細な解析を行うことで、“サイズ効果”の起源を解明することである。

(2) 学術的独創性と創造性

i) 申請書の独自の研究成果に基づいている点

本研究は、申請者がAlN基ウルツ鉱構造窒化物薄膜でサイズ効果について研究し、世界で初めて膜厚9nmで強誘電性を確認し、強誘電性のサイズ効果が小さい可能性を示した研究に基づいており、その独自性は高い。

本研究は、これまでの一軸配向膜に加えて、世界に先駆けて強誘電性を有するエピタキシャル膜の作製を行い、AlN基ウルツ鉱構造窒化物薄膜の本質的なサイズ効果を解明しようとする独自の研究である。

ii) 広範囲の強誘電体に適用可能な理論の構築が期待できる点

今回の研究を通して、陽イオンのサイト数や配位数、陰イオンの種類や数や配位数等が異なる幅広い結晶構造と構成元素から成る強誘電体のサイズ効果の解明が期待できる。

AlN基ウルツ鉱構造窒化物薄膜は、過去最大級の強誘電性を有するため、そのサイズ効果を明らかにする為の詳細な解析が可能であると期待できる。

iii) 巨大強誘電性が“サイズ効果フリー”である可能性が期待できる点

過去最大級の強誘電性が極薄膜まで維持できると、“強誘電体薄膜の実用上の最大の壁”であったサイズ効果が克服され、これまで不可能とされてきた強誘電体デバイスの微細化、低電圧動作、さらにはトンネル接合に代表される“極薄膜強誘電体デバイス”の実用化の道が開かれる。

3. 研究の方法

薄膜は主に RF マグネトロンスパッタ法により主に $(Al_{0.8}Sc_{0.2})N$ 薄膜の作製を行った。

作製装置および作製条件を図1にまとめた。

基板には、(001)配向エピタキシャル膜を作製するための(111)NbN/(111)Al₂O₃に加えて、面外方向に(001)配向の一軸膜作製の(111)TiN/Ti/SiO₂/Si および(111)Pt/Ti/SiO₂/Si 基板も用いた。上部電極には、蒸着で作製したPt膜を用いた。

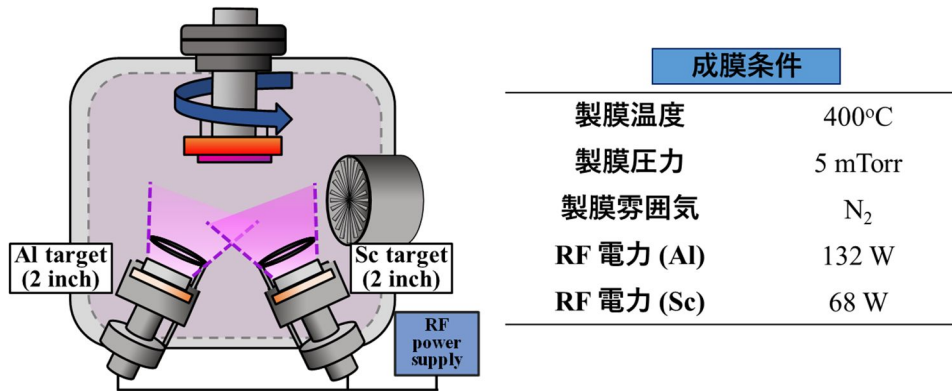


図1 薄膜作製法と成膜条件

4. 研究成果

(1) 測定温度による膜厚依存性の変化

図2に室温および150°CでPUND法で測定した(111)Pt/Ti/SiO₂/Si 基板上に作製した(Al_{0.8}Sc_{0.2})N 膜の残留分極軸(P_r)の電界依存性を示した。室温の測定では、膜厚20nmが測定可能な膜厚限界であったが、150°Cの測定では抗電界が低下し、膜厚12nmでも十分な飽和特性が得られた。

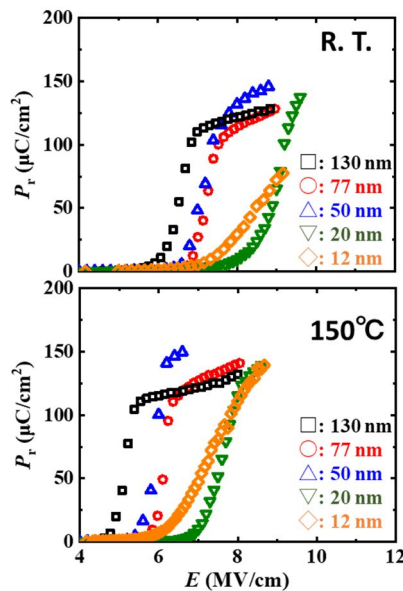


図2 室温および150°CでPUND法で測定した(111)Pt/Ti/SiO₂/Si 基板上に作製した(Al_{0.8}Sc_{0.2})N 膜の残留分極軸(P_r)の電界依存性

(2) 一軸配向膜の膜厚依存性

図3に室温および150°Cで測定した(Al_{0.8}Sc_{0.2})N 膜の残留分極軸(P_r)の膜厚依存性を示す。薄膜化に伴って P_r の値はむしろ大きくなる傾向が観察された。この傾向はこれまでペロブスカイト構造を有するPb(Zr,Ti)O₃やBaTiO₃薄膜で報告されてきた傾向と逆である。

図4(a)に室温で測定した(111)Pt/Ti/SiO₂/Si 基板上に作製した(Al_{0.8}Sc_{0.2})N 膜の格子定数および結晶構造指標の u パラメータの膜厚依存性を示す。膜厚の減少にともなって面内方向の a 軸の格子定数は小さくなり、面外方向の c 軸方向の格子定数は大きくなること明らかになった。これを反映して膜厚減少に伴って、結果として結晶構造の異方性は大きくなっていることが明らかになった。これが図3で示された膜厚減少にともなう P_r の増加の原因であると考えられる。図4(b)には抗電界(E_c)の膜厚依存性を示したが、

膜厚による E_c の上昇が確認された。この原因として、図 4 (a)に示した膜厚減少に伴う結晶異方性の増大も考慮しないといけない考えられる。

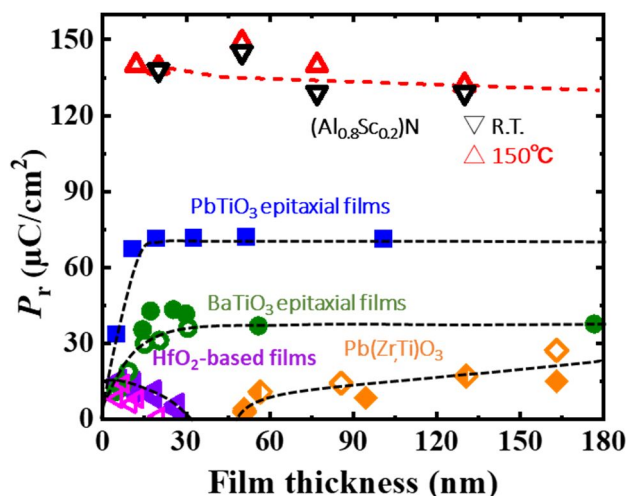


図 3 室温および 150°C で PUND 法で測定した(111)Pt/Ti/SiO₂/Si 基板上に作製した (Al_{0.8}Sc_{0.2})N 膜の残留分極軸(P_r)の膜厚依存性

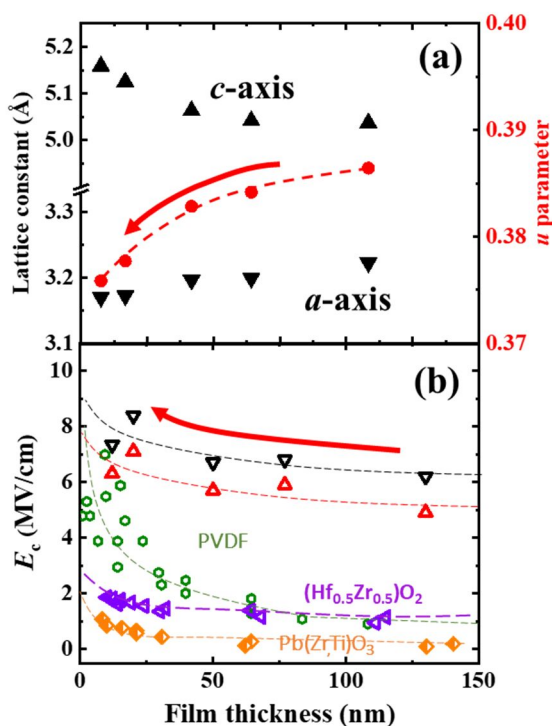


図 4 室温で測定した(111)Pt/Ti/SiO₂/Si 基板上に作製した(Al_{0.8}Sc_{0.2})N 膜の(a)格子定数および結晶構造の u パラメータ軸および(b) E_c の膜厚依存性

(3) エピタキシャル膜

図 5 に (111)NbN/(111)Al₂O₃ および(111)Pt/Ti/SiO₂/Si 基板上に作製したエピタキシャルおよび一軸配向した(Al_{0.8}Sc_{0.2})N 膜の P_r の膜厚依存性の比較を示した。膜厚 24 nm までは 100 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ を超える大きな残留分極値が観察されたが、それ以下の膜厚では、室温では大きな残留分極値を得られるまで電界を印加することができなかった。

図 6 に室温で測定した一軸およびエピタキシャル(Al_{0.8}Sc_{0.2})N 膜の格子定数および u パラメータ軸の膜厚依存性を示す。エピタキシャル膜でも膜厚の減少と共に面内の a 軸の減少が観察されたが、これは、下部の NbN 層の面間隔が(Al_{0.8}Sc_{0.2})N 膜のそれより小さいことに起因している。

図 7 に (111)NbN/(111)Al₂O₃ および(111)Pt/Ti/SiO₂/Si 基板上に作製したエピタキシャルおよび一軸配向(Al_{0.8}Sc_{0.2})N 膜の E_c の膜厚依存性を示した。他の強誘電体材料に比較して E_c の値は大きい、その膜厚依存性は小さいことが明らかになった。またその

値は一軸配向膜でもエピ膜でも大きな差は見られなかった。この結果は、数ナノメートルまで薄膜化すると E_c の材料ごとの差は小さくなることを示している。

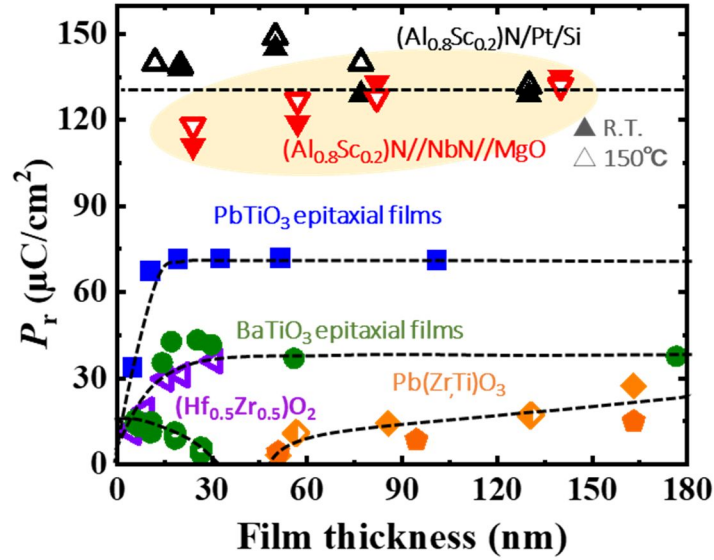


図5 (111)NbN/(111)Al₂O₃ および(111)Pt/Ti/SiO₂/Si 基板上に作製したエピタキシャルおよび一軸配向 (Al_{0.8}Sc_{0.2})N 膜の残留分極軸(P_r)の膜厚依存性

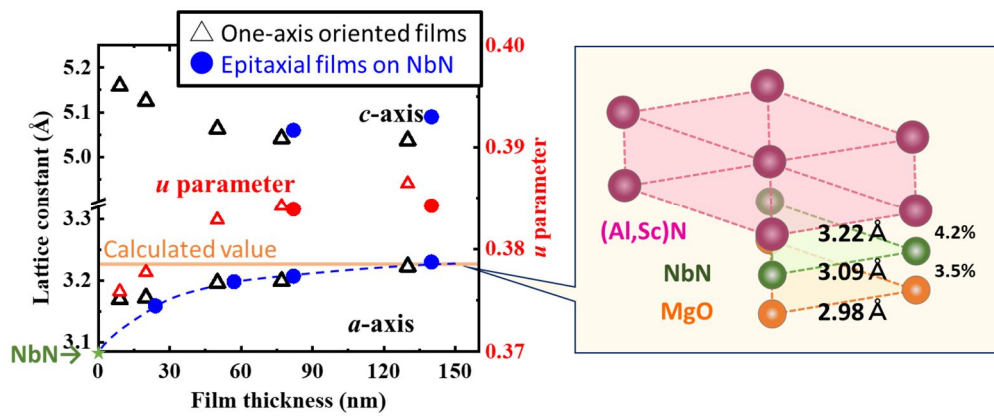


図6 (111)NbN/(111)Al₂O₃ および(111)Pt/Ti/SiO₂/Si 基板上に作製したエピタキシャルおよび一軸配向 (Al_{0.8}Sc_{0.2})N 膜の格子定数および u パラメータ軸の膜厚依存性

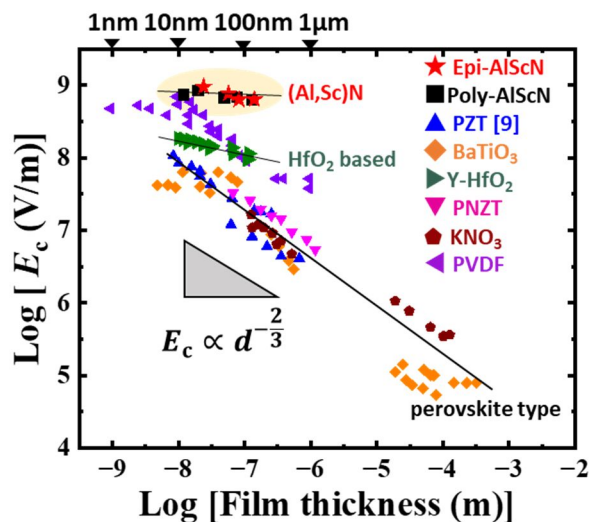


図7 (111)NbN/(111)Al₂O₃ および(111)Pt/Ti/SiO₂/Si 基板上に作製したエピタキシャルおよび一軸配向 (Al_{0.8}Sc_{0.2})N 膜の E_c の膜厚依存性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Shinnosuke Yasuoka, Ryoichi Mizutani, Reika Ota, Takahisa Shiraishi, Takao Shimizu, Kazuki Okamoto, Masato Uehara, Hiroshi Yamada, Morito Akiyama, Hiroshi Funakubo	4. 巻 123
2. 論文標題 Invariant polarization switching kinetics in an (Al _{0.8} Sc _{0.2})N film with frequency and temperature	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 202902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0171108	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 Reika Ota, Shinnosuke Yasuoka, Ryoichi Mizutani, Takahisa Shiraishi, Kazuki Okamoto, Kuniyuki Kakushima, Tomoyuki Koganezawa, Osami Sakata, Hiroshi Funakubo	4. 巻 134
2. 論文標題 Scalable ferroelectricity of 20 nm-thick (Al _{0.8} Sc _{0.2})N thin films sandwiched between TiN electrodes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 214103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0166288	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 Shinnosuke Yasuoka, Ryoichi Mizutani, Reika Ota, Takahisa Shiraishi, Takao Shimizu, Shintaro Yasui, Yoshitaka Ehara, Ken Nishida, Masato Uehara, Hiroshi Yamada, Morito Akiyama, Yasuhiko Imai, Osami Sakata, Hiroshi Funakubo	4. 巻 130
2. 論文標題 Enhancement of crystal anisotropy and ferroelectricity by decreasing thickness in (Al,Sc)N films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 436-441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.21184	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 Masato Uehara, Ryoichi Mizutani, Shinnosuke Yasuoka, Takao Shimizu, Hiroshi Yamada, Morito Akiyama, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 15
2. 論文標題 Lower ferroelectric coercive field of ScGaN with equivalent remanent polarization as ScAlN	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 81003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac8048	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 Shinnosuke Yasuoka, Ryoichi Mizutani, Reika Ota, Takahisa Shiraishi, Takao Shimizu, Masato Uehara, Hiroshi Yamada, Morito Akiyama, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 4
2. 論文標題 Tunable Ferroelectric Properties in Wurtzite (Al _{0.8} Sc _{0.2})N via Crystal Anisotropy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 5165-5170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.2c00999	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 上原雅人	4. 巻 34(2)
2. 論文標題 元素添加による窒化物圧電材料の開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 超音波techno	6. 最初と最後の頁 38 ~ 41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Shinnosuke Yasuoka, Takao Shimizu, Akinori Tateyama, Masato Uehara, Hiroshi Yamada, Morito Akiyama, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 218
2. 論文標題 Impact of Deposition Temperature on Crystal Structure and Ferroelectric Properties of (Al _{1-x} Sc _x)N Films Prepared by Sputtering Method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 physica status solidi (a)	6. 最初と最後の頁 2170049
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssa.202170049	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 Ryoichi Mizutani, Shinnosuke Yasuoka, Takahisa Shiraishi, Takao Shimizu, Masato Uehara, Hiroshi Yamada, Morito Akiyama, Osami Sakata, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 14
2. 論文標題 Thickness scaling of (Al _{0.8} Sc _{0.2})N films with remanent polarization beyond 100 μC/cm ² around 10nm in thickness	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 105501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac2261	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 Masato Uehara, Ryoichi Mizutani, Shinnosuke Yasuoka, Takahisa Shiraishi, Takao Shimizu, Hiroshi Yamada, Morito Akiyama, and Hiroshi Funakubo	4. 巻 119
2. 論文標題 Demonstration of ferroelectricity in ScGaN thin film using sputtering method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 172901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0068059	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20件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 大田怜佳、安岡慎之介、中村美子、岡本一輝、原浩之、正能大起、上岡義弘、召田雅実、舟窪浩
2. 発表標題 Ga添加によるAlNへのSc固溶量の増加とその強誘電性および圧電性への影響
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 道古宗俊、松井尚子、入澤寿和、恒川孝二、中村美子、岡本一輝、舟窪浩
2. 発表標題 Pt下部電極の膜厚がAlScNの膜特性に及ぼす影響
3. 学会等名 第71回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 上原雅人
2. 発表標題 圧電デバイス用としてのウルツ鉱型窒素化合物薄膜の開発
3. 学会等名 第199回電子セラミック・プロセス研究会（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 安岡慎之介、岡本一輝、清水荘雄、松井尚子、入澤寿和、恒川孝二、舟窪浩
2. 発表標題 種々の組成の(AI, Sc)N多層膜のスイッチング特性評価
3. 学会等名 第84回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Reika Ota, Shinnosuke Yasuoka, Kazuki Okamoto, Yoshihiro Ueoka, Yoshiro Kususe, Masami Mesuda, Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Ferroelectric Property Improvement of (Al _{1-x} GaxSc _y)N Ternary Thin Films
3. 学会等名 2023 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinnosuke Yasuoka, Kazuki Okamoto, Takao Shimizu, Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Characterization of Ferroelectric Switching Properties for (Al,Sc)N Films with Various Composition
3. 学会等名 2023 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安岡慎之介、大田怜佳、岡本一輝、清水荘雄、舟窪浩
2. 発表標題 NbN電極上に作製したエピタキシャル(AI, Sc)N膜の電気特性評価
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上原雅人、水谷涼一、安岡慎之介、清水莊雄、山田浩志、秋山守人、舟窪浩
2. 発表標題 Sc添加GaN薄膜の強誘電性へのSc濃度と温度の影響
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masato Uehara
2. 発表標題 Piezoelectricity and ferroelectricity of Ternary and Quaternary Nitride Thin Films
3. 学会等名 13th Korea-Japan Conference on Ferroelectrics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Reika Ota, Shinnosuke Yasuoka, Ryoichi Mizutani, Takahisa Shiraishi, Kuniyuki Kakushima, Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Ferroelectricity of 20-nm Thick (Al _{0.8} Sc _{0.2})N Thin Films with TiN Electrodes
3. 学会等名 2022 U.S.-Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masato Uehara, Ryoichi Mizutani, Shinnosuke Yasuoka, Takao Shimizu, Hiroshi Yamada, Morito Akiyama, Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Demonstration of Ferroelectric Properties in GaN Alloyed with Sc
3. 学会等名 2022 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大田怜佳、安岡慎之介、水谷涼一、白石貴久、舟窪浩
2. 発表標題 種々の電極を用いた(AI1-x,Scx)N薄膜の強誘電性評価
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

1. 発表者名 安岡慎之介、水谷涼一、大田怜佳、白石貴久、清水荘雄、上原雅人、山田浩志、秋山守人、舟窪浩
2. 発表標題 面内配向及び熱歪による(AI,Sc)N薄膜の強誘電特性の制御
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

1. 発表者名 安岡慎之介、水谷涼一、大田怜佳、白石貴久、清水荘雄、安井伸太郎、江原祥隆、西田謙、上原雅人、山田浩志、秋山守人、今井康彦、坂田修身、舟窪浩
2. 発表標題 薄膜化による(AI,Sc)N膜の結晶異方性及び強誘電特性の向上
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

1. 発表者名 Hiroshi Funakubo, Shinnosuke Yasuoka, Ryoichi Mizutani, Takahisa Shiraishi, Akinori Tateyama, Takao Shimizu, Masato Uehara, Hiroshi Yamada, Morito Akiyama, Yoshiomi Hiranaga, and Yasuo Cho
2. 発表標題 Control of Ferroelectric Property in (AI1-xScx)N Films Prepared by Sputtering Method
3. 学会等名 2021 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 舟窪浩、白石貴久、清水荘雄
2. 発表標題 変位型強誘電体の最前線
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会 [物性] (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shinnosuke Yasuoka, Takao Shimizu, Masato Uehara, Hiroshi Yamada, Morito Akiyama, Yoshioni Hiranaga, Yasuo Cho, and Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Downscaling and low temperature deposition of ferroelectric (Al _{1-x} Sc _x)N thin films deposited by dual sputtering
3. 学会等名 2021 ISAF-ISIF-PFM Joint Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryoichi Mizutani, Shinnosuke Yasuoka, Takao Shimizu, and Hiroshi Funakubo
2. 発表標題 Temperature dependence of ferroelectricity in (Al _{1-x} Sc _x)N thin films
3. 学会等名 MRM 2021 (Materials Research Meeting 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上原雅人
2. 発表標題 圧電デバイス用としてのウルツ鉱型窒素化合物薄膜の開発
3. 学会等名 近畿化学協会エレクトロニクス部会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上原雅人
2. 発表標題 ウルツ鉱型窒素化合物圧電材料の開発
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 舟窪浩、清水荘雄	4. 発行年 2024年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 6
3. 書名 CSJカレントレビュー 固体材料開発のフロンティア - 熱力学的支配を超えた物質合成と新機能開拓を目指して	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京工業大学 物質理工学院 材料系材料コース 舟窪研究室 https://f-lab.iem.titech.ac.jp/</p>
--

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	上原 雅人 (UEHARA Masato) (10304742)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・主任研究員 (82626)	

6. 研究組織（つづき）

	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	木口 賢紀 (KIGUCHI Takanori) (70311660)	熊本大学・先進マグネシウム国際研究センター・教授 (17401)	

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