

平成22年 5月21日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20760202

研究課題名（和文） ナノサイズ強誘電体の作製とその分極反転に関する研究

研究課題名（英文） Study on fabrication and polarization switching of nanosized ferroelectrics

研究代表者

藤澤 浩訓 (Fujisawa Hironori)

兵庫県立大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：30285340

研究成果の概要（和文）：

高品質なナノサイズ強誘電体（極薄膜、ナノアイランド、ナノロッド、ナノチューブ）を作製し、その物性、特に分極反転について調べた。従来は定量的な測定が困難であった PbTiO₃ 極薄膜やナノアイランドの自発分極の大きさを明らかにした。また、PbTiO₃ ナノロッドやナノチューブが薄膜よりも大きな電界誘起歪みを示すことを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

Nanosized ferroelectrics of high quality, such as ultrathin films, nanoislands, nanorods and nanotubes, were fabricated and their physical properties, especially polarization switching behaviors, were investigated. Quantitative measurements of spontaneous polarizations in ultrathin PbTiO₃ films and nanoislands, which had been difficult to be measured before this study, were achieved. It was found that PbTiO₃ nanorods and nanotubes exhibited larger strains induced by electrical fields than those of thin films.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|-------|-----------|---------|-----------|
| 20 年度 | 1,600,000 | 480,000 | 2,080,000 |
| 21 年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 2,600,000 | 780,000 | 3,380,000 |

研究分野：電子デバイス工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード：ナノサイズ強誘電体、極薄膜、ナノロッド、ナノチューブ、ナノアイランド、分極反転、SNDM、SPM

1. 研究開始当初の背景

ナノサイズ強誘電体に関しては、強誘電体に関する国際会議においても関連セッションが設けられるなど、近年、世界中で活発に研究が進められてきた。特に近年の計算機科学の発達により、強誘電体に関しても第一

原理計算等によりある程度の物性予測が可能になってきたことによるところが大きい。しかしながら、実験的には、高品質なナノサイズ強誘電体の作製技術と高感度な評価技術が要求されるため、ナノサイズ強誘電体の物性に関する十分な実験的データが得られ

ているとは言い難い。

申請者らは MOCVD 法による高品質なナノサイズ強誘電体形成技術と SPM を中心とする評価技術を有していることから本研究に取り組んだ。

2. 研究の目的

本研究では MOCVD 法により高品質なナノサイズ強誘電体を作製するとともに、その物性に関して、特に分極反転について走査型プローブ顕微鏡により詳しく調べ、分極の安定性や反転の容易さ、さらにはそれらのサイズ依存性を明らかにすることを研究目的とした。ナノサイズ強誘電体としては、理論的に予測されている臨界サイズを考慮して、膜厚 20 格子以下の極薄膜と、体積 10^3nm^3 前後のナノアイランドを主たる研究対象とした。

3. 研究の方法

ナノサイズ強誘電体として PbTiO_3 (PTO) および $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ (PZT) ナノアイランド、極薄膜、ナノロッド、ナノチューブをいずれも MOCVD 法により成長温度 $500\text{-}600^\circ\text{C}$ 、反応圧力 5 Torr にて作製した。下部電極として用いる Pt および SrRuO_3 (SRO) 薄膜はスパッタ法により $\text{SrTiO}_3(100)$ (STO) 基板上にエピタキシャル成長させた。ナノアイランドは Pt 薄膜上での三次元島状成長モードを利用して主に Pt/Ir/STO 基板上に作製した。極薄膜は SRO/STO(100) 基板上に二次元層状成長モードを利用して形成した。ナノロッドは ZnO ナノロッドテンプレートを PTO および PZT で被覆することにより形成した。また、ナノチューブはテンプレートである ZnO を HCl 水溶液によりエッチング除去することで得た。

試料の構造や配向、エピタキシャル成長等は X 線回折法(XRD)により評価した。微細構造は電界放出走査型電子顕微鏡(FE-SEM)、走査型透過電子顕微鏡(STEM)、原子間力顕微鏡(AFM)により観察した。電気的特性は SRO を上部電極とするキャパシタや導電性 AFM 探針を上部電極として、分極反転電流や分極履歴曲線、電流電圧特性などを測定した。また、圧電応答顕微鏡(PFM)、走査型非線形誘電率顕微鏡(SNDM)、電流検出型 AFM (c-AFM)による圧電特性や誘電特性のナノスケール評価も行った。

4. 研究成果

(1) 極薄膜

20 格子以下の強誘電体極薄膜の電気的特性の評価には高品質試料の作製が必要不可欠である。本研究では従来よりも高品質な極薄膜を形成するために、下地となる SRO 下部電極薄膜の高品質化を行った。SRO 下部電極薄膜はスパッタ法により作製してきたが、高解像度の TEM により原子レベルでの観察を

行ったところ、積層欠陥や組成ずれが生じていることが示唆された。その原因としてスパッタ時の反跳 Ar 原子によるダメージが考えられたため、スパッタ圧力を従来の 1×10^{-2} Torr から $0.1\text{-}1$ Torr まで増加させることにより、反跳 Ar 原子が堆積した薄膜に入射しないようにすることを試みた。なお、副次的に、反応圧力の増加に伴う成長速度の低下による結晶性の向上を期待した。

その結果、AFM や TEM 観察から、表面の平坦性は下地の STO 単結晶と同じであり、積層欠陥のない単結晶 SRO 薄膜が得られたことがわかった。電気抵抗率もほぼバルクと同程度の $200 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以下であり、電気的にも高品質化が確認できた。

このような高品質 SRO 下部電極薄膜上に強誘電体 PTO 薄膜を作製し、さらに下部電極と同等の高品質 SRO 上部電極薄膜を作製したエピタキシャル SRO/PTO/SRO キャパシタを形成した。下部および上部 SRO 電極の膜厚はそれぞれ 50 および 25 nm、強誘電体 PTO 薄膜の膜厚は 100 nm から 2 nm の試料を作製し、微細構造の観察と電気的特性の測定を行った。

SRO/PTO/SRO キャパシタの TEM 観察からは下部 SRO/PTO 界面は相互拡散もなく急峻な界面が形成されていることがわかった。一方、上部 SRO/PTO 界面には約 1 nm のコントラストの不鮮明な遷移層が観察され、相互拡散および結晶格子の乱れが生じていることが明らかとなった。従来の作製法ではこのような遷移層の厚みが数 nm 以上であったことと比較すると、本研究での作製法により上部 SRO/PTO の界面状態は大幅に改善された。一方、PTO 薄膜は MOCVD 法により作製しており、基板に到達する堆積種のエネルギーは熱運動程度であるため、界面の乱れは生じず、急峻な下部 SRO/PTO 界面が得られたものとして上下界面の違いは理解できる。

このような SRO および PTO 薄膜の高品質化により膜厚の減少に伴うリークスポットの増加が抑制でき、SRO/PTO/SRO キャパシタでは $30 \mu\text{m}$ 角の上部電極を用いて膜厚 4.9 nm まで分極反転電流の測定が可能となった。より小さな上部電極として先端部の面積が $3.7 \mu\text{m}^2$ の AFM 探針を用いた測定では膜厚 4.0 nm まで分極反転電荷量を算出することに成功した。いずれの測定においても膜厚 10 nm までは $190 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ という大きな分極量を持つことが明らかとなった。AFM による測定において膜厚 4 nm の PTO 薄膜で得られた分極反転電荷密度は $20\text{-}190 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ と大きなばらつきがあったが、試料への探針の接触状態が不安定なことを考慮すると、大きな値がより本来の物性値に近いと考えられるため、膜厚 4 nm においても自発分極の大きさは低下しないと考えるのが妥当である。

また、SRO/PTO/SRO キャパシタでは D-E ヒステリシスループの電圧軸方向のシフトが観察されたが、I-V 特性には非対称性は見られなかった。このことは D-E ヒステリシスループの非対称性が膜厚方向のポテンシャル変化（バンドの曲がり）ではなく、分極反転の容易さが印加電圧の極性によって異なる、すなわち、分極の方向が上向きから下向きに反転しにくいことを示す。これは先に述べた上下電極界面の界面状態の違いによると考えられる。

(2) ナノアイランド

STO 基板上に下部電極として単結晶 Pt 薄膜を作製し、その上に成長させた PTO ナノアイランドの圧電定数を PFM により測定し、そのサイズ依存性、すなわち、ナノアイランドの高さや幅、アスペクトに対する依存性を調べた。なお、単結晶 Pt 薄膜上にはコヒーレントに成長した(001)配向 PTO ナノアイランドが得られることが既にわかっている。PFM による測定からは、圧電定数は島の幅にはほとんど依存せず、島の高さに依存して変化することがわかった。島の高さが 10nm 以上では約 40pm/V というほぼ一定の圧電定数を示したが、高さが 10nm 以下では高さの減少とともに圧電定数は数 pm/V まで急激に減少した。このような微小なナノアイランドにおける圧電定数のサイズ依存性は過去に我々が報告した多結晶 Pt 薄膜上の(001)PTO ナノアイランドの圧電定数のサイズ依存性しかないが、それと一致する結果となった。したがってこのようなサイズ依存性はドメイン構造等の変化による外因的なものではなく、強誘電体のサイズ変化に伴う内因的なサイズ依存性である。

また、ナノアイランド内のドメイン構造についてそのサイズとの関係を調べたところ、おおよそ幅 40nm を境に単一ドメインからマルチドメイン構造へと転移することがわかった。これはナノアイランドのサイズが微小な場合はシングルドメインでも安定であるが、幅 40nm を越えると、自らの減分極電界によって生じる反電界をうち消すために、マルチドメイン構造の方が安定であることを示している。すなわち、電気的な境界条件によって、サイズとともにドメイン構造が変化することを意味している。

これまでナノアイランドの電気的特性としては上述したように、PFM により圧電特性を測定してきた。しかし、強誘電体を記述するパラメータである分極量を測定することは困難であった。そこで本研究では AFM による微小領域の分極反転電流の測定技術を開発した。まず、PFM に使用する導電性探針と 10^9 V/A の I/V 変換アンプを用いて分極反転電流の検出を試みた。この場合、分極反転電流の検出には成功したが、観測された分極量

は予想される値よりも 10^4 - 10^5 大きなものとなった。これは I/V 変換アンプが ns オーダーの分極反転電流に追従できず、正しく I/V 変換が行えなかったためである。したがって分極量を定量的に求めるには至らなかった。そこで、先端径が数 10nm の通常の導電性 AFM 探針のかわりに、平坦な先端（直径 1.8 μ m）を持つプラトーチップと呼ばれる特殊な探針を用いて分極反転領域の面積を大きくすることで分極反転電流の絶対値を増大させると同時に、I/V 変換アンプのかわりに、1-10k Ω の固定抵抗と周波数特性の良い電圧増幅器を用いて分極反転電流の検出を試みた。なお、プラトーチップに導電性を付与するためにスパッタ法により膜厚 100nm の Ir 薄膜を堆積した。これにより探針先端径の増大により分極反転電流が nA から μ A オーダーまで増加し、ほぼ予想される大きさの分極反転電流が検出できることを確認した。また、(1)で述べた SRO/PTO/SRO キャパシタにおいて分極量が 190 μ C/cm² と既知である膜厚 22nm の PTO 薄膜を測定したところ、検出された分極量はプラトーチップ先端直下の領域が完全に分極反転した場合に想定される値によく一致した。また、同一の測定系により、(1)で述べたように膜厚 4nm の PTO 薄膜の分極反転量を定量的に評価できた。

このように導電性のプラトーチップを上部電極として分極量の測定が可能であることを実証できたため、この測定手法を PTO ナノアイランドの分極量測定に適用した。試料として幅数 10nm、高さ数 nm の PTO ナノアイランドを用いたところ、分極反転電流を定量的に測定することに成功した。ただし、プラトーチップの先端径がナノアイランドに比べて非常に大きいため、単一のナノアイランドではなく、数百個のナノアイランドに同時に接触させての測定である。ナノアイランドの下部電極表面の被覆率（この場合は 28%）をもとに分極反転電荷量に換算したところ、ばらつきは大きいですが、118-244 μ C/cm² という値が得られた。このような結果は非常に微小なナノアイランドが反転可能な自発分極を有し、かつその大きさは PTO 薄膜と同程度であることを示した初めての結果である。単一のナノアイランドの測定ではないため、厳密な比較は現時点では困難であるが、このようなナノアイランドも膜厚数 nm の PTO 薄膜と同程度の分極量をもつことは、二次元的なサイズの縮小は分極量にはそれほど影響しないといえる。一方で、前述したように、ナノアイランドの圧電定数は高さの減少とともに減少することがわかっており、さらに高さの小さいナノアイランドでの測定が今後の課題である。

(3) 傾斜 STO 基板上への PTO ナノアイランド・薄膜の作製

(1), (2)では主に(100)配向の STO 単結晶を基板として用いたが, ここでは<100>及び<110>方向に 0.5~4°の傾斜を有する STO 基板を用いた場合の結果について述べる.

下部電極として Pt 薄膜を用いた場合, Pt 薄膜表面には STO 基板表面の傾斜を反映した高さ 0.4~10nm のステップを持つステップ-テラス構造が形成された. <100>傾斜基板上では Pt のテラス上にステップに沿って細長い帯状のナノアイランドが形成され, <110>傾斜基板上ではほぼ正方形のナノアイランドが形成された. 膜厚 100nm の連続膜ではその a-c ドメイン構造に違いが見られ, <100>傾斜基板上では Pt のステップに垂直な方向の a ドメインの形成が抑制された. これは Pt のステップに垂直な方向の結晶サイズが制限され, a ドメインによって応力が緩和される必要がないためである. このような PTO 薄膜では分極反転の際に a ドメインによってドメイン成長が妨げられることが無くなるため, 分極反転時間が傾斜角 0°の基板上では 50-60ns であったのに対し, 傾斜角 4°の基板上では 36ns と大幅に減少した.

一方, 傾斜基板上に SRO 下部電極を介して PTO 薄膜を作製した場合には傾斜角によらず, a ドメインは形成されず, c ドメインのみからなる PTO 薄膜が得られた. D-E ヒステリシスループおよび分極反転電流の測定からは傾斜角が大きい方が抗電界が小さく, 分極反転時間も短いことが明らかとなった. これは傾斜角の増加に伴い, テラス幅が減少すると同時にステップ高さが増加することで, 分極反転の初期核の密度が増加したことによるものと考えられる.

このように, 傾斜基板上では Pt および SRO 電極のいずれを用いた場合にも PTO 薄膜の電気的特性に違いが現れることが明らかとなった. 今後は極薄膜やナノアイランドにおいても傾斜角がその電気的特性におよぼす影響を明らかにする必要がある.

(4) ナノロッド・ナノチューブ

MOCVD 法により a 面サファイア基板上に VS (Vapor-Solid)成長させた ZnO ナノロッドをポジティブ (凸型) テンプレートとして強誘電体 PTO および PZT ナノロッド・ナノチューブを作製した. 作製した PTO もしくは PZT ナノロッドおよびナノチューブの直径は 250-500nm, 長さは 10-20 μ m である.

HAADF-STEM および STEM-EDX を用いて, 断面の微細構造および組成分布の観察を行った. その結果, ZnO テンプレートと PTO・PZT との界面は急峻であり, 相互拡散は見られなかった. このことは ZnO ナノロッドが PTO・PZT 堆積時の高温酸化雰囲気中においても化学的に安定であり, 優れたテンプレート材料であることを示している. また, それぞれの構成元素は均一な分布を示し, 均一な

組成の ZnO および PTO, PZT ナノロッドが形成されていることが確認された. これらの結果より, ZnO ナノロッドをテンプレートとして強誘電体ナノロッドを作製する本手法が優れた手法であることが示された. また, TEM 観察からは ZnO ナノロッドの外形が六角柱であり, その表面は m 面であることが明らかとなった. この m 面上に成長した PTO は多数の微小なグレインから構成されていたが, TEM 観察では結晶方位を特定するには至らなかった. そこで, a 面サファイア上にエピタキシャル成長させた m 面配向 ZnO 薄膜上での PTO 薄膜の配向性をもとに調べた結果, ZnO ナノロッド側面の m 面上には (113/311)配向した PTO が形成されていることが明らかとなった. したがってその分極軸は ZnO ナノロッドの側面から 24°もしくは 66°傾いた方向に存在する.

次にナノロッド・ナノチューブの圧電特性を PFM により測定した. いずれも外部電場の印加により圧電定数の符号が反転し, 分極反転が生じることを確認した. PTO ナノロッドやナノチューブでは最大で薄膜の 5 倍程度の圧電定数や電界誘起歪みを示した. 単純化したモデルを用いて, ナノロッド・ナノチューブの変形を解析したところ, 実験的に観察された大きな電界誘起ひずみはナノロッド・ナノチューブの外形が変形することによるものとして説明できた.

本研究で用いた ZnO ナノロッドはテンプレートとしてのみならず, その半導体・圧電体としての性質を利用することで, 強誘電体との機能融合が期待できる. 本研究では ZnO ナノロッドの電気伝導及びそれらの強誘電分極による変調について調べた. 直径 250-500nm の ZnO ナノロッドを強誘電体 PZT 薄膜上に分散・散布し, オーミック電極を形成して TFT を作製した. I_d - V_d および I_d - V_g 特性からは強誘電体の自発分極によって不揮発に ZnO ナノロッドの電気伝導を制御でき, 最大で 2 桁の on 電流と off 電流の比が得られることがわかった. これらの結果は原理的に PZT/ZnO ナノロッドでも同様の電界効果が得られることを示唆しており, 不揮発性記憶素子として動作する縦型強誘電体ナノロッドトランジスタへの応用・展開を可能とするものである.

(5) まとめ

本研究ではナノサイズ強誘電体としてナノアイランド, 極薄膜, ナノロッドおよびナノチューブを作製し, それらの強誘電特性, 特に分極反転について詳しく調べた. 極薄膜では膜厚 4nm まで分極反転に伴う電荷の移動を検出することに成功し, ナノアイランドにおいても幅数 10nm, 高さ数 nm のナノアイランドが薄膜とほぼ同等の分極反転電荷を有することを明らかにした. ナノアイランド

ではそのサイズに依存して電氣的境界条件を反映してドメイン構造が変化することを見出した。PTO 薄膜の成長形態やドメイン構造、分極反転の容易さが STO 基板表面の傾斜角に依存することを明らかにした。ナノロッド・ナノチューブではそれらの分極が外部電場により反転可能であることや薄膜に比べて大きな逆圧電効果・電界誘起ひずみが期待できることを明らかにした。また、ZnO テンプレートの半導体性が利用可能なことを原理的に実証した。

本研究で得られた成果はナノサイズ強誘電体を実用デバイスへ応用する上で重要な知見であり、今後は個々のナノサイズ強誘電体の分極量を明らかにすることが最重要課題であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

1. 清水 勝, 藤沢浩訓, 「ナノ強誘電体の基礎物性 —現状と将来展望—」, 応用物理 **78** (2009) 955-960. (査読有)
2. H. Fujisawa, R. Kuri, S. Nakashima, M. Shimizu, Y. Kotaka, and K. Honda, Synthesis of PbTiO₃ Nanotubes by Metalorganic Chemical Vapor Deposition, Jpn. J. Appl. Phys. (査読有), **48**, 09KA05-1-4 (2009).
3. 藤沢浩訓, 清水 勝, 「MOCVD 法による PbTiO₃ ナノ島の作製とその強誘電性」, 日本結晶学会誌, **50** (2008) 276-281. (査読有)
4. H. Fujisawa, Y. Seioh, M. Kume and M. Shimizu, “Epitaxial Growth and Ferroelectric Properties of PbTiO₃ Nanoislands and Thin Films Grown on Single-Crystalline Pt Films”, Jpn. J. Appl. Phys. (査読有), **47**, 7505-7509 (2008).
5. H. Fujisawa, Y. Seioh, Y. Hiki and M. Shimizu, “Size Dependence of Ferroelectric Properties of Epitaxial PbTiO₃ Nanoislands on Pt/SrTiO₃(100)”, Trans. Mater. Res. Soc. Japan, **34** (2009) 23-26. (査読有)
6. H. Fujisawa, R. Kuri, M. Shimizu, Y. Kotaka, and K. Honda, “PbTiO₃- and Pb(Zr,Ti)O₃-Covered ZnO Nanorods”, Appl. Phys. Express **2**, 055003 (2009). (査読有)

[学会発表] (計 36 件)

1. 山田 耕生, 清王 義弘, 中嶋 誠二, 藤沢浩訓, 清水 勝: 「AFM による PbTiO₃ 薄膜及びナノ島の分極反転電流の測定 (II)」, 春季第 57 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, No. 17a-TR-10. (2010 年 3 月 17 日, 東海大学)
2. 伊美 泰徳, 久利 龍平, 中嶋 誠二, 藤沢浩訓, 清水 勝, 小高 康稔, 本田 耕一郎: 「MOCVD 法による PZT/ZnO 積層ナノロッド

の作製 (II)」, 春季第 57 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, No. 17p-TR-2. (2010 年 3 月 17 日, 東海大学)

3. 家根 大彰, 長副 亮, 比企 透雄, 中嶋 誠二, 藤沢浩訓, 清水 勝: 「SrTiO₃(001)傾斜基板上への PbTiO₃ 薄膜の作製」, 春季第 57 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, No. 18a-TR-3. (2010 年 3 月 18 日, 東海大学)
4. 藤沢浩訓, 納多真輝, 久利龍平, 中嶋誠二, 清水勝: 「ZnO ナノロッドチャンネルを用いた強誘電体ゲートトランジスタ」, 第 19 回日本 MRS 学術シンポジウム, O-02, 2009. (2009 年 12 月 7 日, 横浜市開港記念会館)
5. 長副 亮, 中嶋誠二, 藤沢浩訓, 清水 勝, 小高康稔, 本田耕一郎: 「SrRuO₃ 電極に挟まれたエピタキシャル PbTiO₃ 薄膜の強誘電性」 第 19 回日本 MRS 学術シンポジウム, O-P04-M, 2009. (2009 年 12 月 7 日, 横浜市開港記念会館)
6. 清王義弘, 長副 亮, 中嶋誠二, 藤沢浩訓, 清水 勝: 「原子間力顕微鏡による PbTiO₃ 薄膜の分極反転電流の測定」, 第 19 回日本 MRS 学術シンポジウム, O-17-M, 2009. (2009 年 12 月 8 日, 横浜市開港記念会館)
7. M. Shimizu, R. Kuri, H. Fujisawa, S. Nakashima, Y. Kotaka and K. Honda, “Fabrication and Piezoelectric Properties of PbTiO₃ Nanorods and Nanotubes by MOCVD”, Abs. of Mater. Res. Soc. 2009 Fall Meeting, (Boston, U.S.A., Nov.30, 2009) C3.15.
8. M. Shimizu, R. Kuri, S. Yamane, H. Fujisawa, Y. Kotaka and K. Honda, “Piezoelectric properties of PbTiO₃ nanotubes fabricated by MOCVD”, Abs. 12th Int. Meeting on Ferroelectricity and 18th IEEE Int. Symp. Applications of Ferroelectrics (IMF-ISAF-2009), BO-013 (Aug. 24, 2009, Xi'an, China).
9. “Fabrication of ferroelectric gate transistors with ZnO nanorods as a channel”, H. Fujisawa, M. Noda, T. Nagaoka, M. Shimizu, Y. Kotaka and K. Honda, Abs. 12th Int. Meeting on Ferroelectricity and 18th IEEE Int. Symp. Applications of Ferroelectrics (IMF-ISAF-2009), GO-020 (Aug. 25, 2009, Xi'an, China).
10. 久利龍平, 中嶋誠二, 藤沢浩訓, 清水 勝, 小高康稔, 本田耕一郎: 「MOCVD 法による PbTiO₃/ZnO ナノロッドの作製」, 秋季第 70 回応用物理学学会学術講演会講演予稿集, p.515, No.11a-L-4. (2009 年 9 月 10 日, 富山大学)
11. 長副 亮, 中嶋誠二, 藤沢浩訓, 清水 勝, 小高康稔, 本田耕一郎: 「エピタキシャル SrRuO₃/PbTiO₃/SrRuO₃ キャパシタの作製」, 秋季第 70 回応用物理学学会学術講演会講演予稿集, p.517, No.11a-L-11. (2009 年 9 月 11 日, 富山大学)
12. 久利 龍平, 藤沢浩訓, 清水 勝, 小高康稔, 本田 耕一郎: 「MOCVD 法による

- PbTiO₃ ナノチューブの作製」, 第 26 回強誘電体応用会議講演予稿集, 28-T-11, pp.65-66, 2009. (2009 年 5 月 28 日, コープイン京都)
13. 清王義弘, 瀧本遼介, 藤沢 浩訓, 清水勝: 「AFM による PbTiO₃ 薄膜及びナノ島の分極反転電流の測定」, 春季第 56 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, p.581, No.31p-ZH-4. (2009 年 3 月 31 日, 筑波大学)
14. 比企透雄, 藤沢 浩訓, 清水 勝: 「SrTiO₃(001)傾斜基板上に作製した PbTiO₃ 薄膜の電気的特性」, 春季第 56 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, p.582, No.31p-ZH-5. (2009 年 3 月 31 日, 筑波大学)
15. 久利龍平, 藤沢 浩訓, 清水 勝: 「MOCVD 法による PbTiO₃ ナノチューブの作製」, 春季第 56 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, p.582, No.31p-ZH-6. (2009 年 3 月 31 日, 筑波大学)
16. 比企透雄, 藤沢 浩訓, 清水 勝: 「Pt 薄膜の表面構造が PbTiO₃(001)薄膜のドメイン構造に及ぼす影響」, 秋季第 69 回応用物理学学会学術講演会講演予稿集, (2008 年 9 月 3 日, 中部大学) p.468, No.3p-K-2.
17. 長副 亮, 住井亮介, 藤沢 浩訓, 清水 勝, 小高康稔, 本田耕一郎: 「PbTiO₃ 極薄膜上へのスパッタ法によるエピタキシャル SrRuO₃ 上部電極の作製」, 秋季第 69 回応用物理学学会学術講演会講演予稿集, (2008 年 9 月 3 日, 中部大学) p.468, No.3p-K-3.
18. 米谷匡司, 住井亮介, 藤沢 浩訓, 清水勝: 「走査型非線形誘電率顕微鏡による PbTiO₃ 極薄膜の分極反転の観察」, 秋季第 69 回応用物理学学会学術講演会講演予稿集, (2008 年 9 月 3 日, 中部大学) p.469, No.3p-K-4.
19. 清王義弘, 藤沢 浩訓, 清水 勝: 「接触共振型圧電応答顕微鏡による PbTiO₃(001)ナノ島の観察」, 秋季第 69 回応用物理学学会学術講演会講演予稿集, (2008 年 9 月 3 日, 中部大学) p.469, No.3p-K-5.
20. 久利龍平, 藤沢 浩訓, 清水 勝: 「MOCVD 法による ZnO ナノロッドの作製と強誘電体ナノロッドへの応用」, 秋季第 69 回応用物理学学会学術講演会講演予稿集, (2008 年 9 月 4 日, 中部大学) p.474, No.4a-K-4.
21. 清水 勝, 藤沢 浩訓, : 「ナノサイズ強誘電体の物性 —強誘電体極薄膜及びナノアイランドの物性—」, 応用電子物性分科会, 6.1 強誘電体薄膜, 9.1 誘電材料・誘電体共同企画「強誘電体 360 度エクスペローラ」, 秋季第 69 回応用物理学学会学術講演会講演予稿集, (2008 年 9 月 4 日, 中部大学) p.92, No.4p-K-5. (招待講演)
22. R. Sumii, H. Fujisawa, and M. Shimizu, “Thickness Dependence of Electrical Properties of PbTiO₃ Thin Films”, Abs. The Int. Union of Mat. Res. Soc. Int. Conference in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008), PP-13 (Nagoya, Dec.9, 2008).
23. H. Fujisawa, Y. Seioh, Y. Hiki and M. Shimizu, “Size Dependence of Ferroelectric Properties of Epitaxial PbTiO₃ Nanoislands on Pt/SrTiO₃(100)”, Abs. The Int. Union of Mat. Res. Soc. Int. Conference in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008), PO-2 (Nagoya, Dec.9, 2008).
24. M. Shimizu, H. Fujisawa, Y. Kuroiwa, O. Sakata, J. Soon, S. Kimura and M. Osada, “Size Dependence of Crystal Structure and Piezo- and Ferroelectric Properties in PbTiO₃ Nanoislands Fabricated on Pt/SrTiO₃”, Abs. of Mater. Res. Soc. 2008 Fall Meeting, (Boston, U.S.A., Dec.5, 2008) C13.7.
25. H. Fujisawa, M. Shimizu, K.Honda, Y.Kotaka, M.Osada, Y.Kuroiwa, O.Sakata and S.Kimura, “Crystalline and ferroelectric properties of PbTiO₃ nanoislands and ultrathin films grown by MOCVD”, Abs. The 7th Korea-Japan Conference on Ferroelectricity, p.3, I-07-02 (Jeju, Aug.7, 2008). (Invited Talk)
26. M. Yonetani, R. Sumii, H. Fujisawa and M. Shimizu, “Observations of Domain Structure in PbTiO₃ Ultrathin Films by Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy”, Abs. The 7th Korea-Japan Conference on Ferroelectricity, p.76, P-07-44 (Jeju, Aug.7, 2008).
27. R. Nagasoe, R. Sumii, H. Fujisawa and M. Shimizu, “Thickness Dependence of Remanent Polarization of PbTiO₃ Thin Films Grown by MOCVD”, Abs. The 7th Korea-Japan Conference on Ferroelectricity, p.77, P-07-45 (Jeju, Aug.7, 2008).
28. R. Kuri, H. Fujisawa and M. Shimizu, “Fabrication of ZnO Nanorods by MOCVD and Their Applications to Ferroelectric Nanorods”, Abs. The 7th Korea-Japan Conference on Ferroelectricity, p.94, P-07-63 (Jeju, Aug.7, 2008).
29. M. Shimizu, H. Fujisawa, M. Osada, Y. Kuroiwa, O. Sakata, J. Soon and S. Kimura, “Size Effects on Crystal Structure and Phase Transition Temperature in Epitaxial PbTiO₃ Nanoislands on Pt/SrTiO₃”, Abs. of Int. Symp. on Integr. Ferroelectr. (ISIF 2008), 2C-292C (Singapore, June 11, 2008).
30. H. Fujisawa, M. Kume and M. Shimizu, “Epitaxial Growth and Ferroelectric Properties of PbTiO₃ Thin Films on Coherent Pt Bottom Electrodes”, Abs. of Int. Symp. on Integr. Ferroelectr. (ISIF 2008), 9-469P (Singapore, June 11, 2008).
31. 藤沢 浩訓, 久米正義, 清王義弘, 清水勝: 「単結晶 Pt 薄膜上へ作製した PbTiO₃ ナノ島及び薄膜の強誘電特性」, 第 25 回強誘電体応用会議講演予稿集, 29-T-9, pp.61-62, 2008. (2008 年 5 月 29 日, コープイン京都)