

研究課題名

Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃ 一次元構造における脱分極電界がドメイン構造に及ぼす影響

研究代表者名

名古屋大学・大学院工学研究科・山田智明

研究分担者名

東北大学・金属材料研究所・木口賢紀

名古屋大学・大学院工学研究科・伊藤大介、海老原洋平

1. はじめに

Pb(Zr_xTi_{1-x})O₃ (以下 PZT) は優れた強誘電性の圧電体として知られており、薄膜を利用したマイクロセンサやエネルギーハーベスタの実現が期待されている。これらのデバイスでは、ドメイン構造が圧電応答の鍵を握っていることが多くの研究で示唆されている。従来、薄膜では、主に基板と膜の格子定数や熱膨張係数のミスマッチを利用したドメイン構造の制御が行われてきた。しかし、ナノロッドやナノアイランドを始めとする表面積の大きなナノスケール構造では、上記のミスマッチだけでなく、表面・界面近傍での不完全な電荷補償がもたらす脱分極電界によってドメイン構造が変化する可能性がある。強誘電体のドメイン構造を、ナノ構造の次元性やそのサイズで制御出来れば、新たなドメイン構造制御の手法として使用できる可能性がある。

そこで本研究では {100}配向した正方晶 PZT(x=0.35)膜を集束イオンビーム (FIB) で一次元構造 (ナノロッド) に加工し、PZT 膜とナノロッドのドメイン構造の違いと、ナノロッドのドメイン構造のサイズ依存性を明らかにすることを目的とした。

2. 研究経過

Nb-0.5 wt%添加の SrTiO₃(100)単結晶基板上に基板温度 625 °C, 酸素分圧 200 mTorr で厚み 1300 nm の PZT(x=0.35)膜をエピタキシャル成長させた。次に白金電極を電子ビーム蒸着法で作製し、集束した Ga イオンビームにより PZT 膜を幅 4 μm, 2 μm, 1 μm, 500 nm, 200 nm のロッド形状に加工した。ナノロッドのドメイン構造を明らかにするために、SPring-8 BL15XU の放射光マイクロビーム X 線回折 (XRD) を用いて a, c ドメインの回折強度を測定した。得られた結果を、パルスレーザー堆積法で自己組織化成長した PZT ナノロッドの XRD 及び透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察結果と比較した。

3. 研究成果

FIB で作製したナノロッドの SEM 像の一例を Fig. 1(a)に示す。図に示されるように、FIB を用いることで、サイズが正確に制御されたアスペクト比の高いナノロッドが形成された。FIB によるダメージの回復とナノロッドに安定なドメイン構造を形成させるために、ナノロッドを強誘電相転移温度 (T_c) 以上の 650°C に加熱し、その後室温に冷却した。Fig. 1(b)に幅 1 μm のナノロッドの (003)及び(300)面の放射光 XRD θ - χ マップを示す。膜中には[001]を分極軸に持つ c ドメインと [100],[010] を分極軸に持つ a ドメインが混在するが、図で示されるように幅 1 μm のロッドでは a ドメインが観察されなかった。また、アスペクト比が 1 より大きなナノロッドでは同様の結果が得られたが、それ以下では膜と同様に a ドメインの存在が確認された。これは、アスペクト比の大きなナノロッドでは、ロッド側面の束縛電荷の不完全な補償による脱分極電界によって断面方向の分極が不安定となり、ロッド長手方向に分極を有する c ドメインが生成したためと考えられる。パルスレーザー堆積法で自己組織化成長したアスペクト比が 1 より大きな PZT ナノロッドの XRD 及び TEM 観察でも、上記と矛盾しない結果が得られた。

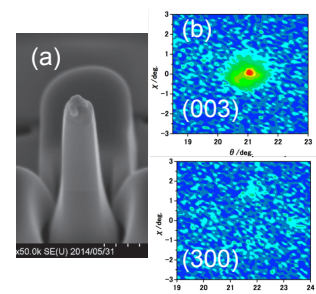


Fig. 1 (a) SEM image of 200 nm-width PZT nanorod and (b) XRD θ - χ map for PZT (003) and (300) for 1 μm-width PZT nanorod.

4. まとめ

a, c ドメインが混在する PZT 薄膜を、アスペクト比が 1 以上のロッド形状に加工し、 T_c 以上の温度で加熱することで c ドメインのみの構造に変化することがわかった。また、パルスレーザー堆積法で自己組織化成長したアスペクト比が 1 より大きな PZT ナノロッドも完全 c ドメイン構造であることが分かった。このことから、強誘電体一次元構造では断面方向の脱分極電界の影響で a ドメインが生成し難く、構造の次元性がドメイン構造に大きな影響を与えることが示された。

謝辞：兵庫県立大学 生津准教授 (FIB)、及び、物質・材料研究機構、東京工業大学 坂田修身教授 (放射光 XRD) に深く感謝いたします。