

MPB 組成 $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ のドメイン構造と圧電特性における 交流分極の周波数依存性

Frequency dependence of domain structure and piezoelectric performance in AC-poled morphotropic phase boundary $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$

熊大半¹, [○](M1)安達大晴¹, 松尾拓紀¹, 野口祐二¹, 佐藤幸生¹

Kumamoto Univ.¹, [○]Taisei Adachi¹, Hiroki Matsuo¹, Yuji Noguchi¹, and Yukio Sato¹

E-mail: sato-yukio@kumamoto-u.ac.jp

【緒言】強誘電体はセンサーや画像診断用トランスデューサーなどの種々の圧電デバイスに広く利用されている。その中でもモルフォトロピック相境界(MPB)組成の $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ (PMN-PT) は 1000 を優に超える非常に高い圧電係数 (d_{33}) を示す[1]ため、精密機器や医療機器において小型化と高性能化を実現する材料として重宝されている。圧電体を使用する際には、抗電界の数倍の電圧を印加し、電気分極が揃った領域であるドメインを単一化する分極処理が施される。従来、分極処理は直流電圧で行われてきた(直流分極(DCP))が、近年、交流電圧で行う「交流分極(ACP)」の方がより短時間で高い圧電・誘電特性をもたらすことが報告された[2]。しかしながら、ACP による圧電・誘電特性向上のメカニズムに関して統一した結論は出ていない。そこで本研究では PMN-PT において ACP 時における交流電圧の周波数が圧電・誘電特性やドメインの構造に与える影響を調べることを目的とした。

【実験方法】PMN-PT 単結晶に電極形成後、プログラマブル電源を用いて 12 kV/cm (peak-to-peak)の交流電圧を印加し、ACP を施した。サイクル数は 90 で固定し、周波数は 1, 20, 50, 150, 450 Hz とした。また、一部の試料については 8.49 kV/cm の直流電界を印加して DCP も施した。ACP、DCP、未分極試料に対して、 d_{33} メーターを用いた d_{33} の測定、インピーダンスアナライザによる静電容量、誘電損失、インピーダンス、位相の測定を行った。また、測定された静電容量と試料厚さおよび電極面積から比誘電率(ϵ_r)を算出した。未分極試料と 50Hz で ACP を施した試料について、集束イオンビーム法 (FIB) で薄片試料を作製し、透過型電子顕微鏡法(TEM)による暗視野像の観察を行った。加えて、自作した特殊形状のチップに FIB 加工した薄片試料を接着し、専用の試料ホルダーを用いて、電圧印加その場 TEM 観察も行った。

【結果および考察】ACP で d_{33} および ϵ_r は向上し、交流電圧の周波数が高いほど高い傾向であった。周波数 20Hz 以上の ACP では、 d_{33} および ϵ_r がいずれも DCP の場合より高くなり(Fig. 1)、一例として、450 Hz の ACP で、 d_{33} は 1890 ± 105 (pC/N)、 ϵ_r は 6946 と、DCP による値の $d_{33} = 1305$ (pC/N)、 $\epsilon_r = 4773$ より高かった。TEM 観察から、ACP 試料においては未分極試料と比べてマイクロドメインバンドのサイズが小さい傾向にあった(Fig. 2(a)および(b))。加えて、電圧印加その場 TEM 観察では、0.1 Hz の交流電圧を印加してもドメインがあまり応答しなかったが、これは 20 Hz の交流電圧の印加でドメインが大きく応答するという先行研究[3]の結果とは異なる。これらの結果をまとめると、ACP における周波数はドメインの応答に大きく影響を与え、ひいては、 d_{33} および ϵ_r を大きく左右する因子であることが強く示唆された。

【参考文献】

- [1] J. Kuwata *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 21, p. 1298, Sep. 1982.
- [2] Y. Yamashita *et al.*, US patent, US20150372219A1, Dec. 2015.
- [3] Y. Sato, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 125, p. 242906, Dec. 2024.

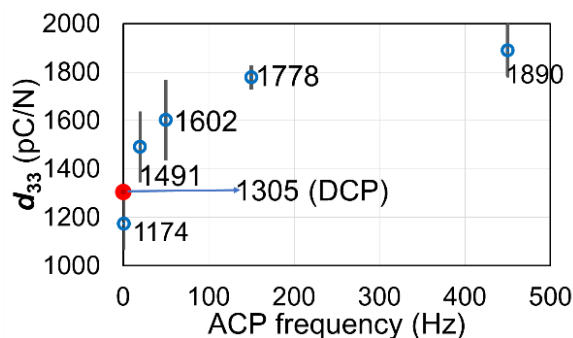


Fig. 1 Dependence of d_{33} on AC-poling frequency in PMN-PT single crystal

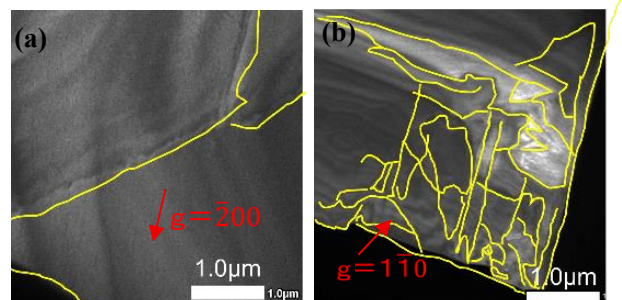


Fig. 2 Dark-field TEM image of PMN-PT single crystal (a) without poling and (b) AC-poled at 50Hz by 12 kV/cm (peak-to-peak). Yellow lines indicate domain walls.