

Strain Engineering のツールとしてのナノ細孔誘起歪み

Nanopore-derived Strain As a Tool of Strain Engineering

東理大, [○]鈴木孝宗

Tokyo University of Science, [○]Norihiro Suzuki,

E-mail: suzuki.norihiro@rs.tus.ac.jp

エピタキシャル薄膜においては、基板との結晶格子定数の違いにより派生する歪みを活用することで、その物性を調節する Strain Engineering が知られている。しかし、単純な二層構造では膜厚増加に伴い歪み緩和が生じるため、その効果は数ナノメートルと限定的であり、デバイス応用には適さない。既報では、超格子構造や3次元垂直ヘテロナノ構造を導入することで数十ナノメートルからマイクロメートルオーダーへの膜厚増加に成功している。しかし、MBEやPLDといった手法で作成しているため、工業的視点からはそれに変わる安価・簡便な手法が望ましい。

我々は、界面活性剤を鋳型とした化学的手法により安価・簡便に作成できるナノ細孔を用いて機械的に変形することで、ヘテロ界面を用いずとも結晶格子歪みを導入できるのではないかと考えた。典型的なペロブスカイト型強誘電体であるチタン酸バリウムを対象に選び、膜厚約 200 nm のナノ多孔体薄膜を作製したところ、無孔性薄膜に比べ Curie 温度（強誘電性を失う温度）の上昇が見られた¹⁾。そこで、Fast Fourier Transform Mapping (FFTM) 法を用いて TEM 像から結晶の微少な格子歪みを解析したところ、図 1 に示すようにナノ細孔近傍で c 軸方向を相対的に伸ばす異方的な圧縮歪みがもたらされていることが明らかとなり、強誘電相である正方晶 ($c/a > 1$) の安定化に寄与すると考えられた。

図 2 に Raman スペクトルの温度依存性の結果を示すが、バルク単結晶の場合、正方晶に由来するピーク (305 cm^{-1} および 720 cm^{-1}) が 140°C で消滅した。これは、常誘電相である立方晶 ($c/a = 1$) への相転移が起きたことを示しており、既知の Curie 温度と一致した。一方、多孔性薄膜の場合、 375°C においても正方晶に由来するピークを弱いながらも観測することができ、上述の推論が正しいことを実証できた²⁾。これらの結果から、ナノ細孔が誘起する歪みは Strain Engineering の新たな手法として有効であることが示唆された。

当日は、ナノ細孔がもたらす結晶格子歪みとスピン軌道相互作用を組み合わせたマルチフェロイック化についても簡単に紹介したい。

参考文献

1. N. Suzuki *et al.*, *Chem. Eur. J.*, **20**, 11283 (2014), 2. N. Suzuki *et al.*, *APL Mater.*, **5**, 076111 (2017)

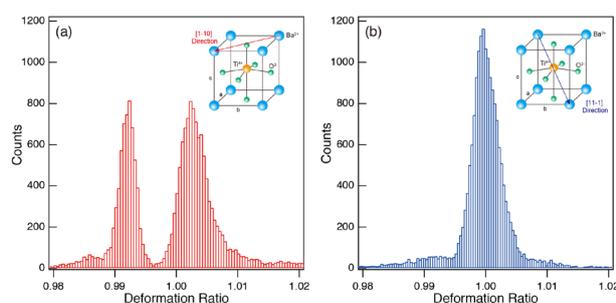


図 1. ナノ細孔が作る曲面（凸面）が誘起する (a) a, b 軸を縮める方向および (b) 3 軸全体を縮める方向における歪み分布

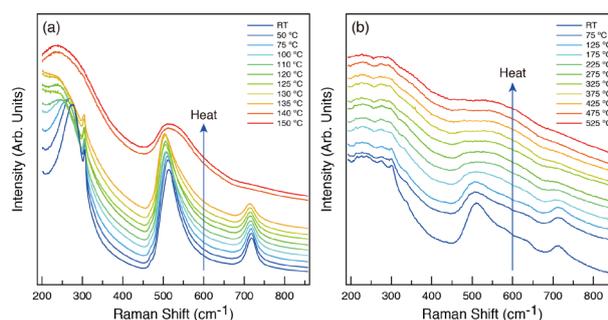


図 2. (a) チタン酸バリウム単結晶および (b) 多孔性チタン酸バリウム薄膜における Raman スペクトルの温度依存性