

面欠陥周期配列を含む自然超格子酸化チタンの構造制御と熱輸送特性 Structural control and thermal transport properties of natural superlattice titanium oxides with an ordered arrangement of planar faults

名古屋大¹, JST さきがけ², 産総研³, JST CREST⁴

○原田 俊太^{1,2}, 小坂 直輝¹, 杉本 峻也¹, 八木 貴志^{3,4}, 田川 美穂¹, 宇治原 徹^{1,3}

Nagoya Univ.¹, JST PRESTO², AIST³, JST CREST⁴

○Shunta Harada^{1,2}, Naoki Kosaka¹, Shunya Sugimoto¹, Takashi Yagi^{3,4}, Miho Tagawa¹,
Toru Ujihara^{1,3}

E-mail: shunta.harada@nagoya-u.jp

【はじめに】 ナノスケール周期構造によるコヒーレントフォノンの制御によって、フーリエの法則に従う拡散的な描像とは異なる、高度な熱輸送制御の実現が期待されている^[1]。コヒーレントな熱伝導制御に向けて、人工超格子薄膜を用いた研究がおこなわれている^[2]。室温において熱輸送に寄与する THz オーダーのフォノンをナノ・サブナノメートルスケールの周期構造で制御するためには、界面において原子スケールの完全性が必要となるが、このような完全性の高い界面を得ることは極めて難しい。そこで我々は、シアー構造と呼ばれる面欠陥周期配列を含む自然超格子酸化チタン結晶に着目している。これまでに走査透過電子顕微鏡による原子配列直接観察の結果から、3 nm の間隔で周期配列した面欠陥の有効界面粗さが 0.018 nm であり、ルチル型 TiO₂ におけるほとんど全ての格子振動に対して、コヒーレントな界面であることを確認している^[3]。本研究では、完全性の高い周期界面を含む自然超格子酸化チタン結晶の熱伝導率の周期依存性を調べた。

【実験方法】 真空中での還元熱処理によって作製した面欠陥の間隔が 3 nm である二元系自然超格子酸化チタン (Binary NSL) と、光学式浮遊帯域溶融法により育成した面欠陥の間隔が 1 nm である Cr 添加自然超格子酸化チタン (Cr doped NSL) の、[100]_{rutile} の熱伝導率を、時間領域サーモリフレクタンス (TDTR) 法により測定した。

【結果・考察】 Fig. 1 に TDTR 法により測定した熱伝導率の温度依存性を示す。面欠陥導入による熱伝導率の低下は、室温以下の低温において顕著であるが、温度の増加とともに小さくなり、300°C では TiO₂ と自然超格子はほぼ同じ熱伝導率であった。このことは室温以下の温度では、熱輸送に

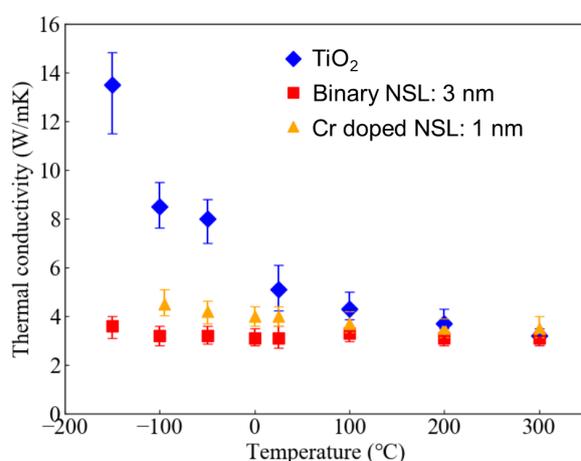


Fig. 1: Temperature dependence of thermal conductivity for rutile TiO₂, binary and Cr doped natural superlattice (NSL) titanium oxides.

関与するフォノンの自由行程距離が面欠陥周期に対して長いことを示している。また、面欠陥の周期が異なる自然超格子結晶の熱伝導率を比較すると、周期が短い、すなわち面欠陥の密度が高い方が熱伝導率は高かった。これは、面欠陥によりフォノン散乱が散乱されるといふ粒子的な描像だけでは説明ができず、フォノンバンドギャップの形成による群速度の低下など、コヒーレントフォノンによる効果が顕在していると考えられる。

【参考文献】

- [1] M. Maldovan, Nature, 503 (2013) 209.
- [2] J. Ravichandran et al., Nature Mat., 13 (2014) 168.
- [3] S. Harada et al., JSAP spring meeting (2018).