

透過電子顕微鏡によるナノスケール熱伝導性評価法の開発

物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA) 川本直幸

緒言

これまで、高熱伝導材料、放熱複合材料、熱絶縁材料、高効率に熱が電気に変換できる熱電変換材料の開発など、省エネルギー化のために様々な材料開発が進められてきたが、熱をいわゆる拡散現象としてマクロスコピックに扱うことで物性を制御することが多かった。近年では、材料やデバイスの構造が熱を運ぶフォノンの平均自由行程と同等かそれ以下のスケールで制御されており、フォノンをはじめとする熱キャリアの散乱をミクロスコピックな観点で理解するための新たなナノスケール熱輸送評価法の開発が求められている。

研究目的

本研究の目的は、走査透過電子顕微鏡 (STEM) 内で、3次元で駆動できる局所温度計測用ナノ熱電対と電子線による精密熱投入法を組み合わせた STEM 内熱分析顕微鏡法 (STEM-based Thermal Analytical Microscopy: STAM 法) を開発することで、放熱用複合材料や熱電材料におけるナノスケール熱輸送評価を試みることである。

結果

まず、電解研磨法の研磨条件を最適化することで、先端直径が 10 nm 以下の熱電対材料であるコンスタントンおよびクロメル探針を効率よく作製するプロセスを確立した。2本の探針をピエゾ駆動によりサブナノスケールで精密位置制御が可能な特殊な透過電子顕微鏡 (TEM) ホルダーに設置し、TEM 内で精密温度計測ができるナノスケール熱電対の作製に成功した。さらに、300 kV の高電圧下でも微小な熱起電力を TEM のスキャンコイルに同期して計測できる専用回路の敷設を行った。その結果、熱電材料や放熱用複合材料などの薄片化した専用試料の一端 (測温点) に TEM 内でナノ熱電対を接触させ、一定の電流値を持つ集束電子線照射により走査熱投入を行うことで、ナノスケールの熱伝導性情報を有する2次元の STAM 像を、通常の TEM 像と同時に取得することが可能になり、TEM 試料における熱流の解析を実現した。