

非接触型ナノ熱伝導特性測定装置の開発

[1] 組織

代表者：下村 勝
 (静岡大学大学院工学研究科)
 対応者：池田 浩也
 (静岡大学電子工学研究所)
 分担者：村田 純一
 (モーニクス株式会社)

[2] 研究経過

サーモパイル型赤外線イメージセンサの感度を向上するためには、赤外線吸収によってデバイス内に生じる高温領域と低温領域の間の熱伝導度を低減する必要がある。その方法として、サーモパイルに用いる熱電変換材料のナノワイヤ化が注目されているが、ナノワイヤ材料の熱伝導特性を精度よく評価することはかなり難しい。本研究プロジェクトでは、ナノワイヤ材料の熱伝導特性をより手軽に直接測定するために、特殊な試料加工を必要としない、非接触ナノ熱伝導特性測定技術を構築することを目的とする。

本プロジェクトは、本年度が3年目となる。昨年度に構築したバルク試料を測定するための実験装置を改良した後、Si基板の測定を行った。また、マイクロ/ナノサイズの試料を測定する際に使用する走査電子顕微鏡 (SEM) を購入し、測定系の構築に着手した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究打ち合わせ：随時 (代表者と対応者が同一の建物に在籍しているため)

研究討論会：3回 (7/14, 2/15, 3/7-8)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

【1】AC カロリメトリ技術による実測

図1に、我々が提案する技術の測定原理であるAC カロリメトリ法に基づいた実験装置の概略図を示す。試料の一端をハロゲンランプにより周期的に加熱し、赤外線放射温度計にて温度の周期的変化を検出した。加熱位置と温度測定位置の距離 (L) に

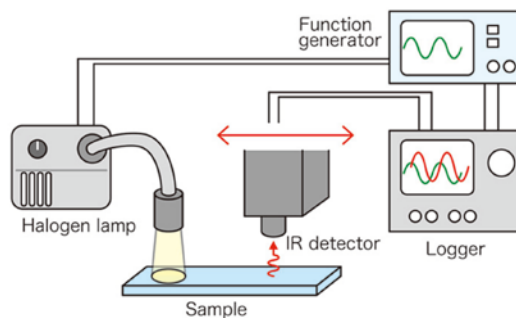


図1：熱拡散率測定装置の概略図

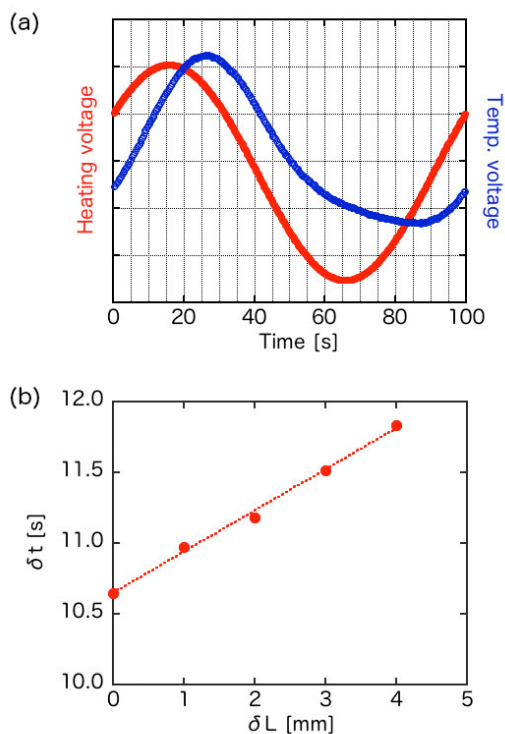


図2：(a)測定温度変化と(b) δt - δL プロット

応じた遅延時間 (δt) を測定し、距離の変化 (δL) と δt の関係を調べることにより、熱拡散率を評価できる。

n型Si基板に対して測定された温度 (対応する電圧) 変化の様子を図2(a)に示す。図からわかるように、温度変化が上昇するときと下降するときで非対

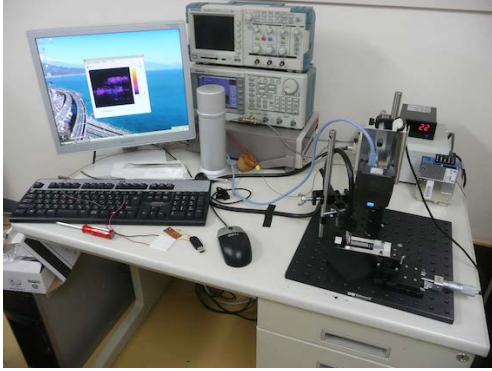


図3：熱画像センサによる測定の様子



図4：試料加熱用の走査電子顕微鏡

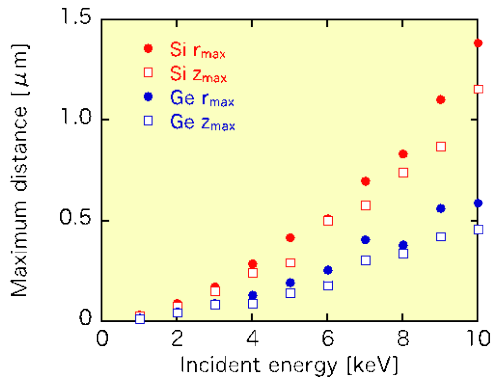


図5：注入電子の侵入距離

称なため、よりsinカーブに近い、上昇するときのデータを使って δt を見積もった。得られた δL と δt の関係を図2(b)に示す。このグラフはきれいな直線となり、その傾きから熱拡散率が $a=0.94 \text{ cm}^2/\text{s}$ と得られた。この結果は、昨年度示した報告値に近く、測定精度向上が確認された。

また、図3に示すように、赤外線センサを熱画像センサに置き換え、試料の温度分布を2次元的に測定できるようにした。これにより、センサの位置を

変えて測定するという工程が無くなるため、測定時間の大幅な短縮が見込まれる。また、このときの画像解析技術は、マイクロ/ナノサイズ試料測定時の解析にも適用できる。

【2】SEMを用いた測定装置の構築

マイクロ/ナノサイズの試料加熱のための走査電子顕微鏡 (SEM) を購入した (図4)。来年度、高解像度の熱画像センサを取りつけて、実測を開始する予定である。

それに先立ち、モンテカルロシミュレーションを用いて、試料中への電子線の侵入深さ・拡がりを確認した。図5は、Si および Ge 中に打ち込まれた電子の最大深さと平面方向への拡がりを、入射エネルギーの関数として表している。今回購入した SEM は入射エネルギー 5keV なので、試料のサイズにより、それを考慮した熱伝導解析を行う必要がある。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトでは、ナノワイヤ構造に適用可能な新しい熱伝導特性測定装置を構築する。現在、様々な分野のデバイス開発において、性能向上を目的としたナノ構造の導入が研究されているが、デバイスそのもののサイズやデバイスを構成する材料のサイズが小さくなるほど、デバイス動作時に発生する熱がデバイス特性の安定性に直結するため、ナノ構造材料の熱的特性の理解が重要になる。それゆえに、本プロジェクトで提案する非接触型ナノ熱伝導特性測定技術が確立されれば、デバイス用ナノ構造材料の熱物性評価が簡便かつ高いスループットで可能となり、新機能・高性能デバイス用材料開発の進展に大きく貢献するため、産業界に与えるインパクトは大きい。

また、本プロジェクトで構築するナノ材料測定用装置では、電子線による加熱の評価が不可欠となる。そのため、電子線注入の振舞いをモンテカルロシミュレーションにより解析している他専攻の教員との交流を進めており、今後、ナノ構造材料の熱容量評価へと発展させる予定である。

[4] 成果資料

(1) H. Ikeda, S. Yoshida, Y. Suzuki, V. Manimuth, F. Salleh, F. Kuwahara, M. Shimomura, K. Murakami, "Construction of a novel method of measuring thermal conductivity for nanostructures", Makara J. Technol., 19, 11-14 (2015).