

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、本年度が初年度であった。それゆえに、我々が提案する測定技術の基礎となる測定原理により、実際にバルク試料を測定するための実験装置を構築するところから始めた。図1に、我々が提案する技術の測定原理であるACカロリメトリ法の概念図を示す。試料に熱電対を接続して、その熱電対を覆うようにマスクをする。時間に対して周期的に光を照射して試料を加熱すると、熱電対で測定される温度は、距離に応じた遅延時間を持って周期的に変化する。したがって、マスクの位置をずら

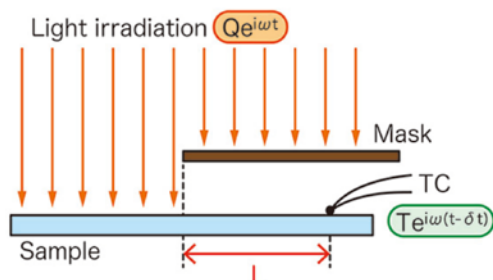


図1：ACカロリメトリ法の概念図

して温度を測定することにより、マスク端と熱電対の距離(L)と遅延時間(δt)の関係が得られる。その関係を解析することにより、試料の熱拡散率を決定することが可能となる。

本年度は、測定に必要な機器の準備と真空チャンバへのセットアップを行った。それと並行して、ACカロリメトリ法の測定手法の確立を進めた。

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キャンパスに在籍しているため)

研究討論会：2回(12/21, 3/18)

[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】測定装置(ハードウェア)の構築

バルク材料をACカロリメトリ法の原理で測定する装置を構築することから始めている。周期的加熱源としてハロゲンランプを用い、その光を真空チャンバ内に導入するための光ファイバを準備した。また、温度検出には赤外線放射温度計を用いており、測定フランジに固定するためのステイを自作して、設置した。その測定フランジには、赤外線を透過するBaF₂ガラスのビューイングポートを取りつけてある。真空チャンバ内部の試料の位置決めのために必要な直線導入端子や、周期加熱および遅延時間測定に必要なファンクションジェネレータ、オシロスコープ、ロックインアンプも準備した。現在の熱伝導

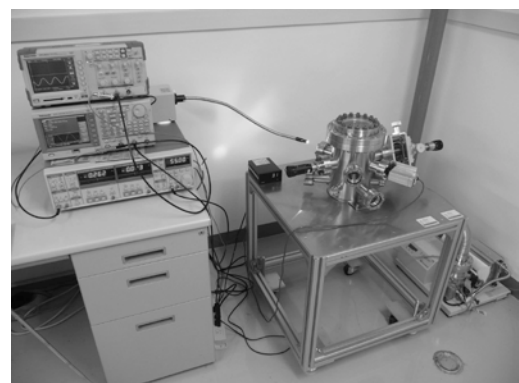


図2：構築中の熱伝導特性測定装置

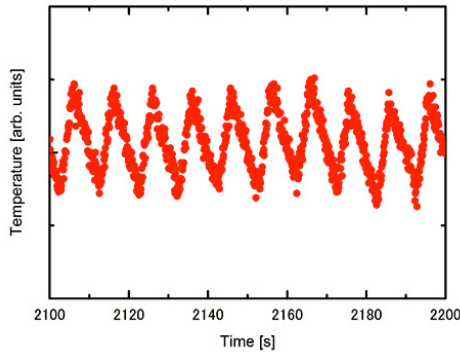


図3：SOI基板を周期的に加熱（0.1Hz）したときの測定温度の時間変化

特性測定装置の様子を、図2に示す。現在は、試料ホルダの設計・作製を進めている。

【2】ACカロリメトリ技術の確立

ファンクションジェネレータによるハロゲンランプの周期的照射を用いて、バルクサイズのSOI基板を周期的に加熱した。照射位置から2cmほど離れた位置の基板温度を赤外放射温度計により計測し、それを電圧として検出した。加熱周期0.1Hzのときの測定温度（検出電圧）の時間変化を、図3に示す。この結果から、周期的な加熱に対応した、周期的な温度変化が確認できる。

加熱信号に対する温度信号の遅延時間をロックインアンプにより検出するシステムを構築した。しかしながら、1Hz以下のような遅い周期の信号に対しては、遅延時間の検出ができなかった。これは、測定におけるサンプリング時間に対して、信号の周期が長過ぎるためと考えられる。そのため、ロガーを使った測定システムに変更することとし、その準備を進めている。

（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装置を用いてナノ構造における熱伝導特性を解明することが研究目的であるため、ナノ結晶中におけるフォノンの輸送現象の理解が不可欠となる。そのため、結晶中のフォノンの振舞いを理論的に扱っている大阪大学と立命館大学の先生方との交流を進めており、今後飛躍的に活性化させる予定である。それに加えて、更なる熱電変換特性向上を目指して異種元素添加効果に着目している。そのため、結晶成長やナノ構造形成に精通した先生と連携を図り、大型外部資金の獲得を目指している。

[4] 成果資料

- (1) S. Yoshida, Y. Suzuki, V. Manimuth, M. Shimomura, K. Murakami, H. Ikeda, "New measurement method of thermal conductivity for Si nanowire", Short Stay Short Visit (SSSV) Program Seminar, Hamamatsu (Dec. 4, 2013).