



■キーワード

マイクロ・ナノ 表面温度計測 2次元構造体 伝熱 電流・抵抗

■研究の概要

マイクロ熱流体デバイスや半導体デバイス等では、マイクロ・ナノスケールの微細構造と現象を設計・製作・制御することが求められますが、それを実現するためにはデバイスの発熱・伝熱の2次元・3次元非定常特性を評価することが重要です。本研究ではサーモフレクタンスイメージング (Thermoreflectance imaging: TRI) 法を用いて固体のマイクロ・ナノ構造体の表面温度分布を測定し、その熱および電気特性の評価を行っています。TRI法は、物質の反射率が温度に依存することを利用した2次元表面温度計測法です。これまでサーモフレクタンス現象を利用した温度計測は、主に点計測に基づいた材料の熱物性計測技術として用いられてきました。これに対してTRI法はカメラを用いて物質の反射光強度の2次元分布を獲得します。多くの物質では温度に対する反射率の変化率は 10^{-4} ~ 10^{-5} と微小です。TRI法では画像平均化や画像処理によりSN比を上げます。このため測定試料の平面位置制御と焦点合わせの精度が重要ですが、本研究では数nmの精度で位置制御を行っています。測定の時間と空間の分解能は、それぞれ照射光のパルス幅と波長に依存し、本装置ではおよそ数100 nsと数400 nmです。TRI法は赤外線サーモグラフィカメラに対して空間・時間分解能は高く、ラマン分光法と比較すると瞬時の2次元分布が得られる強みを持ちます。

■研究・技術のプロセス／研究事例

本研究では、TRI法を用いた2次元構造体の熱・電気特性評価として、Al線におけるエレクトロマイグレーション (Electromigration: EM) の熱特性やAgナノワイヤ (Ag-NW) のネットワーク構造体の通電・発熱・温度特性の解明を進めています。EMは金属等の電気伝導体に電流を流したときに電子の運動(流れ)により原子が移動する現象です。原子の移動度は温度にも依存し、配線でのジュール発熱による温度上昇とその分布は電流と並んでボイド生成・成長と配線寿命に影響する支配的な因子となります。本研究では幅 $10\mu\text{m}$ のAl線でのEMによるボイドの生成・成長の観察と同時にTRI法により温度を計測し(図1)、両者の関係性を評価しています。

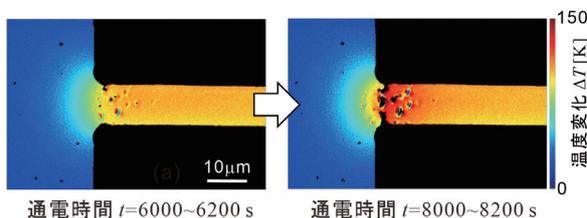


図1 EMによるボイドの生成・成長と温度分布

銀ナノワイヤ (Ag-NW) を膜状に散布したシートは、高い導電性と変形能を有し、低い散布密度では可視光に対して高い透過性を示します。そのため導電膜として太陽光電池やタッチパネル等の電子デバイスやヒーターへの実装が期待されています。ランダムに散布されたAg-NW群はネットワーク状の回路を構成しますが、通電時の電流分布とジュール発熱に基づく温度分布は様でなく、導電膜の性能低下やホットスポット形成に基づくAg-NW破断と配線寿命低下の要因となります。本研究ではAg-NW群の温度分布を計測し、逆問題解析により熱と電流・電気抵抗の分布特性を検討し(図2)、確率論を用いたモデル化を行っています。

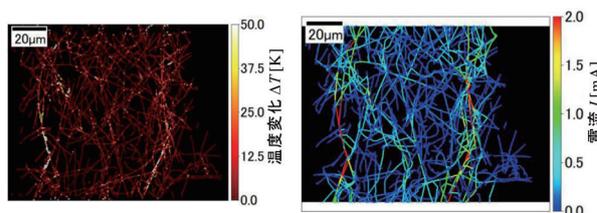


図2 Ag-NW群の計測温度分布と電流分布

■セールスポイント

マイクロ・ナノスケールの2次元温度分布の高分解能計測と解析と組み合わせることで、熱と電気に関する時間・空間発展特性を評価し、物理現象の解明と高度な設計に展開できます。

ナノ温度計測によるデバイスの伝熱・電気特性評価
サーモフレクタンスイメージングを用いたマイクロ・ナノ2次元構造体の熱特性評価