

3 ω 法による糸状試料の熱伝導率測定における誤差要因の考察

Consideration of Error Factors in Thermal Conductivity Measurement of String-like Samples by 3 ω Method



奈良先端大物質[○]関本祐紀, 阿部竜, 山本貴洋, 岡本尚文, 辨天宏明, 中村雅一¹

NAIST,[°]Y. Sekimoto, R. Abe, T. Yamamoto, N. Okamoto, H. Benten, M. Nakamura,

E-mail: sekimoto.yuki.sq0@ms.naist.jp

有機あるいは有機無機ハイブリッド材料を用いたフレキシブル熱電変換素子が盛んに研究される中で、我々は、カーボンナノチューブ(CNT)を紡糸して布に縫い込むことで十分な素子厚さと柔軟性を両立した布状熱電素子を作製する方法を提案し、研究を行ってきた[1,2]。その過程において、CNT/ポリマー複合紡績糸が数から数百 W/mK の極めて幅広い熱伝導率を示すらしいことが見出された[3]。このような幅広い熱伝導率を持つ材料を実際のデバイスに応用する上で、正確な熱伝導率の測定は不可欠である。そこで本研究では、金線を標準試料として用い、糸状試料の熱伝導率測定に実績のある 3 ω 法[4]によって熱伝導率および熱拡散率を測定し、スキャニングレーザー AC 法による測定値とも比較しつつ、確度の高い測定を行うための最適な試料取り付け法や解析方法を検証した。

測定には直径 30 μm の金線(Nilaco 社製 AU-171095、純度 99.95%)を用いた。Fig.1 に試料と電極配置の模式図を示す。3 ω 法は、糸状試料に角周波数 ω の交流電流を流した際に生じる 2 ω の温度振動が起こす抵抗変化によって試料に生じる、周波数 3 ω の微小な交流電圧を測定することで熱伝導率を求めるため、このような 4 端子構造を採用した。まず、電極との接触抵抗が測定に与える影響を調べるため、電極上に厚さを変えた銀ペーストの層を抵抗層として挿入し、接触抵抗の測定への影響を調べた。電圧電極間隔は 3 mm に統一した。また、対流による熱損失を抑えるため、真空度 3.0×10^{-3} Pa 程度の真空中で測定を行った。

Fig.2 に銀ペースト層の厚さと接触抵抗の関係を示す。接触抵抗は銀ペーストの厚さに対してほぼ一定であった。従って、この電気的接触抵抗は、金と銀ペースト間および銀ペーストと金コートされた電極との界面によるものであると考えられ、試料下に存在する銀ペーストが試料に与える電気的影響は厚さによらずほぼ一定とみなせる。

銀ペースト層の厚さと熱伝導率測定値との関係を Fig.3 に示す。熱伝導率は銀ペースト層が無い方が銀ペースト層があるものより高く、銀ペースト層がある場合は銀ペースト層が厚いほど熱伝導率が高く測定された。また、スキャニングレーザー AC 法により測定された熱拡散率と比熱容量および密度の文献値から求めた熱伝導率測定値(青丸)と比較すると、3 ω 法の方が熱伝導率が高く測定されていた。接触抵抗は各銀ペースト厚さでほぼ一律であるため、測定結果に影響を与えたのは電気的接触抵抗ではなく熱的接触抵抗であると考えられる。

講演では、熱的接触抵抗の影響を比較するために銀ペースト層の面積を変えて測定を行った結果や、金線の測定から得た知見を CNT 紡績糸の測定に応用した結果についても報告する。

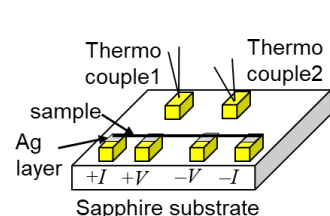


Fig.1 Schematic diagram of sample and electrodes

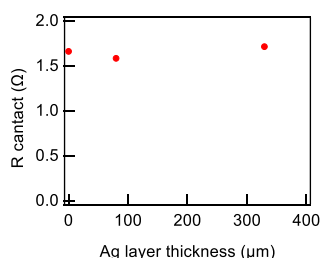


Fig.2 Contact resistance vs Ag thickness.

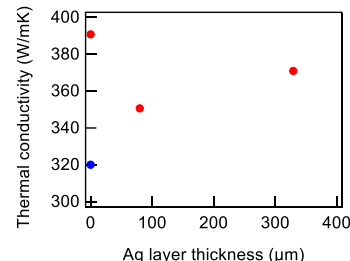


Fig.3 thermal conductivity vs Ag thickness. Red plots are by 3 ω method. Blue plot is by AC method.

- [1] 伊藤他: 応物第 63 回春季講演会 21p-W351-9. [2] M. Ito et al., *J. Mater. Chem. A* **5**, 12068 (2017).
 [3] 関本他: 応物第 64 回春季講演会 14p-P4-16. [4] L. Lu et al., *Rev. Sci. Instrum.* **72**, 2996 (2001).