

ナノ接合の熱伝導度測定のための懸垂型素子の開発

Preparation of suspended micro structures for thermal conductance measurement

阪大院基礎工, [○](D1)花村 友喜, 山田 亮, 多田 博一Σ-Osaka Univ., [○]Yuki Hanamura, Ryo Yamada, Hirokazu Tada

E-mail: hanamura@molelectronics.jp

金属細線同士の原子スケールでのナノ接合は、バルク材料とは異なる特異な物性を示すため、特に電気特性の研究が盛んに行われ、量子化された電気伝導機構が明らかにされた [1]。近年では、熱物性についても研究が進められており、熱起電力 [2] や熱伝導度 [3] の実測値が報告されている。しかし、熱流は電流とは異なり、あらゆる物質中に容易に散逸するため制御することが困難であり、熱伝導度の計測は走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いた方法に限られている [3]。STM を用いた手法では、測定原理上、ナノ接合を長時間維持することが困難なため、ナノスケールの金属細線からナノ接合が形成されるまでの過渡状態を観察できるような、接合の安定性が高い熱伝導率の計測手法の開発が望まれる。

ナノ構造の熱伝導率を計測するためには、測定に必要な温度計やヒーターをサブミクロンスケールで作製する必要がある。微小な温度計には、金属細線の電気抵抗値の温度依存性を利用した抵抗温度計がしばしば用いられる [4]。しかし、抵抗温度計は細線のパターンを抵抗器として利用するため、微細化の限界や自己加熱の問題がある。我々は、これまでの抵抗温度計に代わる微小な温度計として熱電対を利用する方法を検討し、1 mK オーダーの精度で温度計測が可能な微小熱電対を開発してきた [5]。

本研究では、この微小熱電対を用いて、ナノ接合の元となる金属ナノ細線の熱伝導率を計測するための素子を開発した。1次元のナノ構造の計測には、ヒーター、および、温度計を試料に接続して、真空中に吊り下げた構造が一般的に用いられ、ヒーターの消費電力 Q と試料の両端の温度 ΔT_s 、 ΔT_h から熱伝導率 κ が算出される [4]。Fig. 1 に作製した素子の概要を示す。ヒーターに交流電流を流して加熱し、熱電対から生じる起電力をロックインアンプにて検出することで、高精度の温度計測を実現した。測定系は SiN 薄膜上に保持されており、下層の Si を異方性エッチングによって部分的に取り除いて宙吊り構造を作製した。熱電対は金とクロムの薄膜細線 (厚み 100 nm, 幅 500 nm) から成り、ヒーターの抵抗値の温度依存性を利用して、その場で校正した。素子の試作、および、熱シミュレーションの結果、一般的なナノ材料と比べて、金属の細線は熱抵抗が小さいため、ヒーターや温度計との接続部での熱抵抗が無視できなくなり、測定に支障をきたすことが明らかとなった。そこで、本研究では、ヒーターと試料の間に熱交換器のような構造を作製することで、接触抵抗の低減を図り、広いレンジでの熱コンダクタンス計測を目指した。本講演では金属細線の熱伝導率の計測結果 (Fig. 2) や素子設計上の工夫について述べる。

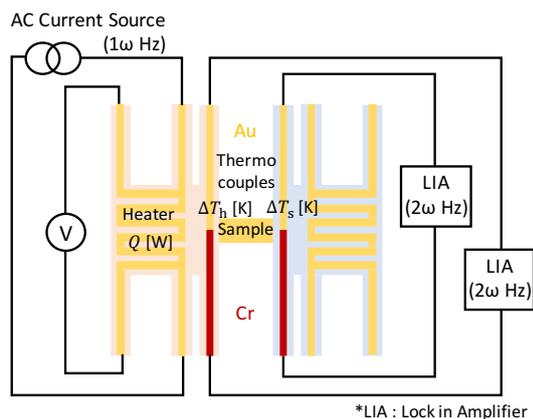
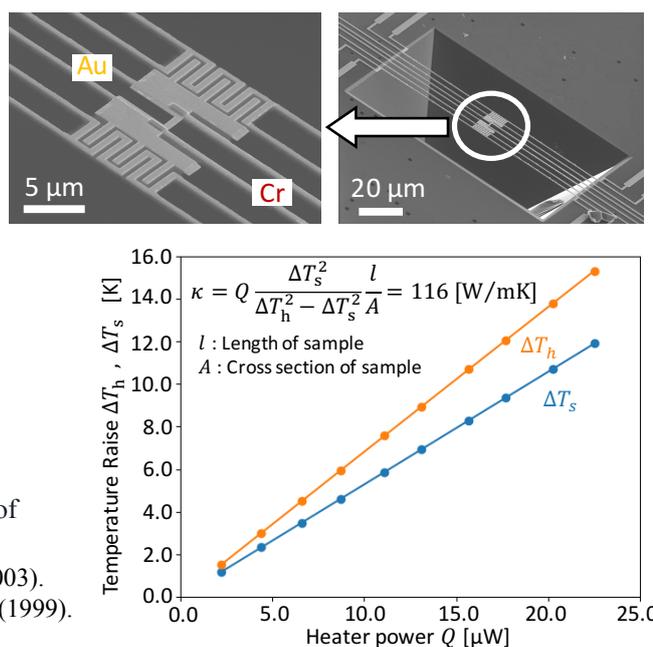


Fig. 1 Schematic of measurement system and its SEM image (upper right).

Fig. 2 Measurement result of thermal conductivity of Au nanowire (lower right).



[1] N. Agrait *et al.*, *Physics Reports* **377**, 81-279 (2003).

[2] B. Ludoph *et al.*, *Phys. Rev. B* **59**, 12290-12293 (1999).

[3] L. Cui *et al.*, *Science* **355**, 1192-1195 (2017).

[4] 花村友喜ら, 第80回応用物理学会秋季学術講演会 [19a-E302-8] (2019).

[5] L. Shi *et al.*, *Journal of Heat Transfer* **125**, 881-888 (2003).