

エレクトロマイグレーションによるナノ接合の形成と熱伝導度の温度依存性

Temperature dependence of thermal conductance of metal nano-contacts prepared by electromigration

阪大院基礎工, ○(D2)花村 友喜, 山田 亮, 多田 博一

Σ -Osaka Univ., ^oYuki Hanamura, Ryo Yamada, Hirokazu Tada

E-mail: hanamura@molectronics.jp

金属電極の接合部分を原子スケールにまで小さくすると、室温下でも量子効果が強く現れることがあり、これまで主に電気伝導度に関する研究が行われてきた[1]。近年では、熱起電力[2]や熱伝導度[3]など、熱物性についても、走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いた測定結果が報告されているが、熱輸送機構を解明する上で重要となる温度依存性の測定が困難であった。我々は、微細加工技術を利用した測定用の素子を開発し、クライオスタットに組み込むことでナノ金属接合の熱伝導度の温度依存性の測定に成功した。

Figure 1に本研究で開発した測定系の概要を示す。ナノ金属接合の電気伝導度 G と両端の温度を測定するため、接合部の根本に微小熱電対を設置した。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。熱伝導度測定は、Heater bridge に電流を流して熱を発生させ、このときの消費電力 Q と熱電対で測定した接合の両端の温度上昇 ΔT_s 、 ΔT_h から熱伝導度 G_{th} を求めた。測定系は SiN 薄膜上に保持されており、熱の散逸を防ぐために、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。ナノ接合の作製は、エレクトロマイグレーションによって、幅 100 nm、厚み 50 nm の金細線を狭窄化して行った。この際、断熱性の高い環境で問題となる通電時の急激な温度上昇に伴う細線の抵抗変化を考慮した新たな制御アルゴリズムを開発することで再現性の良いナノ接合の作製が可能となった。これにより、幅 100 nm 程度のナノ細線から数原子程度のナノ接合が形成されるまでの一連の過程を観察できる。

Figure 2 に、電気伝導度 G および熱伝導度 G_{th} の温度依存性の測定結果を示す。300 K から 20 K までの変化に対して、接合の電気伝導度はほぼ一定に保たれており、作製した素子により安定に接合が維持されていることが示された。 G_{th} は、温度 T に対して比例している様子が確認できる。これは、電子による熱伝導を仮定した量子化熱コンダクタンス $G_{th,0} (=2\pi^2 k_B^2 T/3h)$ の定義ともよく一致している。フォノンによる熱伝導の寄与が高温では一定であると仮定すると[4]、熱伝導度を温度に対して線形近似したときの切片の値から、その大きさを求めることができる。測定結果から見積もられるフォノンによる熱伝導は、室温での熱伝導度の 6 % 程度であり、これは、理論計算による予想[4]とも概ね一致することから、本研究で開発した素子の有用性が示された。

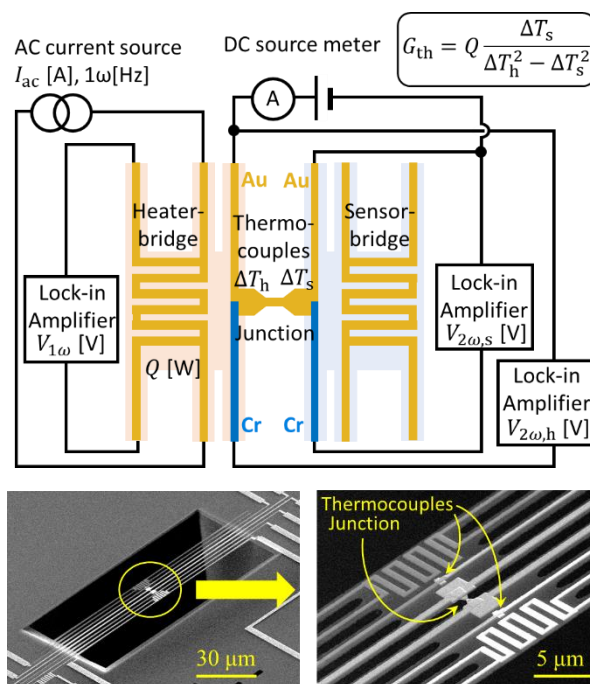
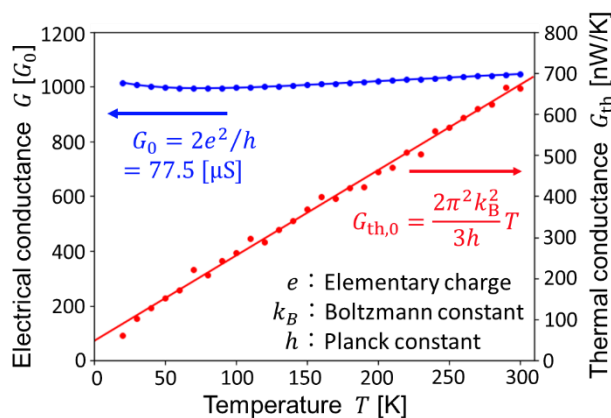


Figure 1 Schematic of the measurement system (top), and SEM images of the device prepared.

Figure 2 Temperature dependence of G and G_{th} .

【参考文献】

- [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] J. C. Klockner *et al.*, *Phys. Rev. B* **96**, 205405 (2017).