

懸垂型電極の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計測

Thermal conductance of metal nano-contacts prepared by electromigration of suspended electrodes

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]について、走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いた計測結果が報告されている。

我々は、シリコンの微細加工技術を応用して、1つの基板の上に、測定に必要な構造を作り込むことにした。測定系が小型化できるため、接合の安定性の向上に加え、クライオスタットに組み込むことで熱伝導度の温度特性や磁場特性を同時に計測することが期待できる。

本研究では、これまでに開発した微小熱電対[4]に加え、熱の散逸を防ぐために測定系を宙に浮かせた懸垂型の素子を作製し、エレクトロマイグレーションによってナノ細線を狭窄化しながら熱伝導度を測定した。Fig. 1 に作製した素子の概要を示す。ヒーターの消費電力 Q_{in} と接合の両端の温度 ΔT_s 、 ΔT_h から熱伝導度 G_{th} が算出される。 ΔT_s は接合を流れる熱流による対向電極の温度上昇を意味しており、微小な熱流の計測には高感度の温度計が必要である。ヒーターに交流電流を印加し、微小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、1 mK オーダーの精度で温度計測が可能となり、熱伝導度の分解能は 100 pW/K と見積もられる。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 (Fig. 2)。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。ナノ接合は金のナノ細線 (厚み 50 nm, 幅 100 nm) に電流を流し、エレクトロマイグレーションによって狭窄させて形成した。断熱性が高い条件下でのエレクトロマイグレーションでは接合の温度が急激に上昇するため、抵抗値の温度依存性を利用した独自の制御アルゴリズムを開発し、急激な破断を抑制しつつ安定な接合を形成する手法を確立した。本素子では、接合の電気伝導度と熱伝導度の変化を同時に測定することができ、狭窄化によって、それぞれの伝導度が低下する様子 (Fig. 3) が見られた。エレクトロマイグレーションを繰り返すと、電気伝導度 G が量子化コンダクタンス $G_0 (= 77.5 \mu S)$ を単位とするステップ状に低下すること (Fig. 3 内部) から、作製した接合の最狭部は数原子程度まで狭窄していることが分かった。

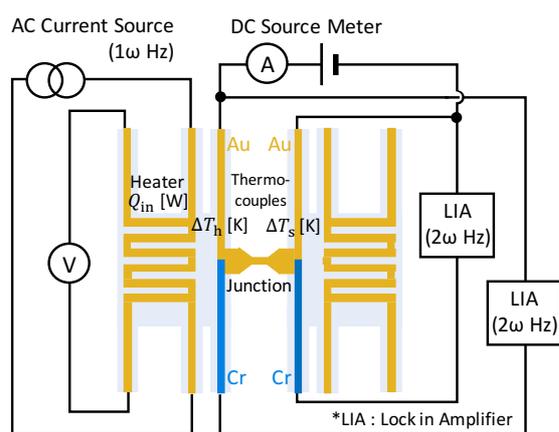


Fig. 1 Schematic of the measurement system.

【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] 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).

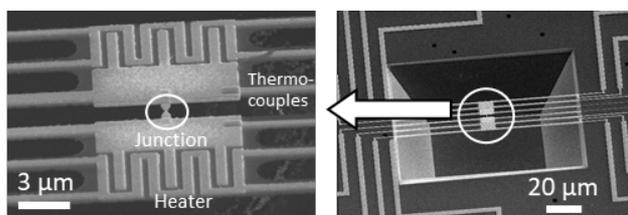


Fig. 2 SEM images of the device prepared.

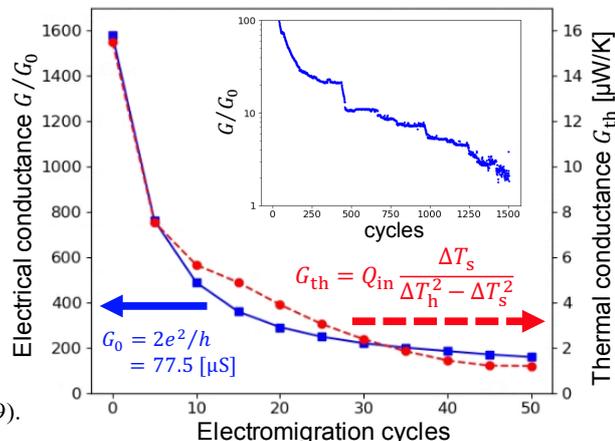


Fig. 3 Electrical and thermal conductance of a metal nano-contact.