

エレクトロマイグレーションによるナノ接合の形成過程におけるゼーベック係数の計測

Seebeck coefficient of metal nano-contacts prepared by electromigration

阪大院基礎工, °(D2)花村 友喜, 山田 亮, 夢田 博一

Σ-Osaka Univ., °Yuki Hanamura, Ryo Yamada, Hirokazu Tada

E-mail: hanamura@molelectronics.jp

金属電極同士の原子スケールのナノ接合は、室温下でも量子効果が強く現れることがあり、特に電気伝導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、走査型トンネル顕微鏡 (STM) や機械制御破断接合法 (MCBJ 法) を応用した熱起電力 (ゼーベック係数) の測定結果が報告されている[2,3]。我々は、微細加工技術を利用しナノ接合の作製および、電気伝導度 (G) や熱伝導度を計測できる素子を開発してきた[4]。本研究では、この独自の素子により、金帯電極がナノスケールに狭窄化される過程におけるゼーベック係数の変化を計測した。

Figure 1 に測定系の概要を示す。測定系は SiN 薄膜上に微細加工によって作製されており、断熱性を高めるために、下層の Si 基板をエッチングによって取り除き、宙吊りの Heater bridge と Sensor bridge を作製した。2 つの bridge の間には金の細線 (厚み 50 nm, 幅 100 nm) が接続されており、これに電流を流してエレクトロマイグレーションによって狭窄化したのち、ゼーベック係数を以下の手順により測定した。まず、Heater bridge に交流電流 I_{ac} (角振動数 ω) を流して接合の片側を加熱する。Heater 側の温度上昇 ΔT_h は細線パターンに生じる電圧 (3ω 成分) を計測することで求める。Sensor bridge には I_{ac} に比べて十分小さい直流電流 I_{dc} を流し、交流電圧 (2ω 成分) を計測することで、温度上昇 ΔT_s を求める。接合に生じる熱起電力 ΔV は、 2ω で振動し位相が 90° ずれるので、これをロックインアンプで検出する。bridge の配線 (金) のゼーベック係数 S_{Au} ($=1.94 \mu\text{V/K}$ [5]) を考慮すると、狭窄部分のゼーベック係数 S_C は、式 (1) から求まる。

$$S_C = S_{Au} - \frac{2 \Delta V}{\Delta T_h - \Delta T_s} \quad (1)$$

Figure 2 に室温 (300 K) でナノ接合が形成される際の電気伝導度 G とゼーベック係数 S_C の測定結果を示す。エレクトロマイグレーションを繰り返して、接合の電気伝導度が $30 G_0$ 程度 ($1 G_0 = 77.5 \mu\text{S}$) になるまで狭窄化を行った。このとき、 G が $500 G_0$ を下回ると、急激に S_C が上昇した。通常の金属細線では細くなるにつれて、表面散乱の寄与が大きくなりゼーベック係数が低下する[6]が、1次元構造のナノ接合が形成されることで、量子化により電子状態密度の傾きが急峻になり[7]、ゼーベック係数を上昇させたと考えられる。これらの結果より、本手法を用いることで、ナノ金属接合の熱・電子物性を拡散伝導領域からバリスティック伝導領域まで連続的に観察することが可能であることが示された。

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

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

[3] M. Tsutsui *et al.*, *Sci. Rep.* **3**, 3326 (2013).

[4] 花村友喜ら, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会, 11a-Z26-4 (2020).

[5] D. Rowe, *CRC Handbook of Thermoelectrics*, 390 (1995).

[6] V. Das *et al.*, *Phys. Rev. B* **35**, 5990-5996 (1987).

[7] L. Hicks *et al.*, *Phys. Rev. B* **47**, 16631-16634 (1993).

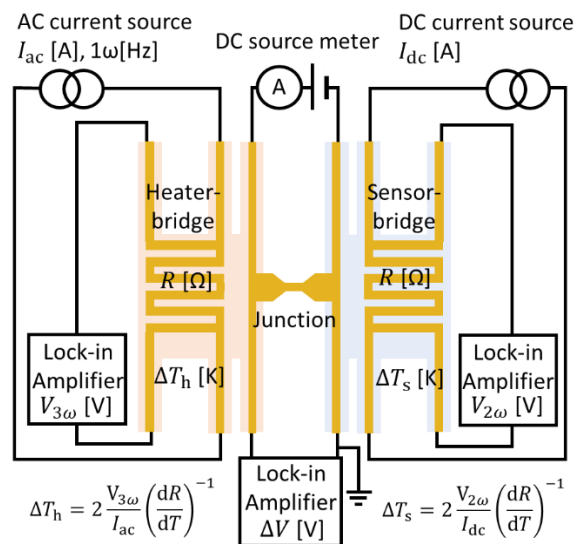


Figure 1 Schematic of the measurement system.

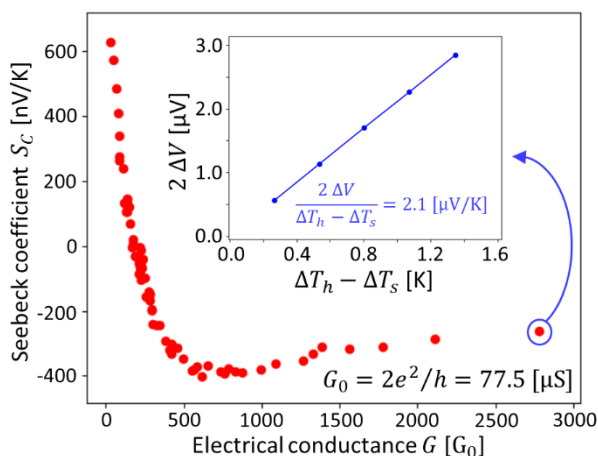


Figure 2 S_C as a function of G , and (inset) example of ΔV with respect to $\Delta T_h - \Delta T_s$.