

## 単一分子接合の熱伝導率計測に向けたサブミクロンスケールの熱電対の開発

Preparation of sub-microscale thermocouples for thermal transport measurements of single-molecule junctions

阪大院基礎工, <sup>○(M2)</sup>花村 友喜, 山田 亮, 多田 博一

Σ-Osaka Univ., <sup>○</sup>Yuki Hanamura, Ryo Yamada, Hirokazu Tada

E-mail: hanamura@moelectronics.jp

単一分子接合はナノスケールの金属電極間に分子 1 個が架橋した構造であり、バルク材料や孤立分子とは異なる特異な物性を示すことが期待され、電気特性の計測が盛んに行われてきた [1]。近年では熱電効果についても研究が進められており、ゼーベック係数 ( $S$ ) の実測値も報告されている [2]。熱伝導率については理論計算による予測に留まっており [3]、実測には至っていない。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。

本研究では、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た [5]。熱電対による計測では、温度計の先端部分は金属細線同士の接点となるため、究極的にはリソグラフィ技術の限界まで微細化することが可能であり、温度計自体が発熱することもない。しかしながら、サブミクロン領域まで微細化した熱電対では、表面でのキャリア散乱の効果などにより、素子の  $S$  がバルク材料とは異なる値を示すことが指摘されている [6]。我々は、これまでにマイクロスケールの熱電対を作製・校正し、 $S$  が膜厚に大きく依存することを示した [5]。本研究では熱電対をさらにサブミクロンスケールへと細線化した際に、細線の幅 ( $w$ ) が  $S$  に与える影響を調べた。

Fig. 1 に熱電対を校正するために作製した素子の概要を示す。測定系の断熱性を高め、熱電対の接点間に大きな温度差をつけるため、熱電対の片側の接点と、その温度を計測するための抵抗温度計、および、ヒーターを  $\text{SiNx}$  膜 (厚み 50 nm) 上に作製した。熱電対は金とクロムの薄膜 (厚み 40 nm) の細線 (幅  $w$ ) をクロスさせることで作製した。Fig. 2 は各  $w$  での  $S$  の温度依存性である。200 K 以上の領域において  $S$  が  $w$  の影響を受け、20%程度変動することが明らかとなった。また、測定された  $S$  はバルクの値 ( $20 \mu\text{V/K}$  @ 300 K [7]) と比較して全体的に 30%程度低い値である。これらは、キャリアである電子が細線構造の表面で散乱される効果が大きいと考えられ、サブミクロン領域での  $S$  の  $w$  依存性は側面でのキャリア散乱の寄与が無視できないことを意味する。

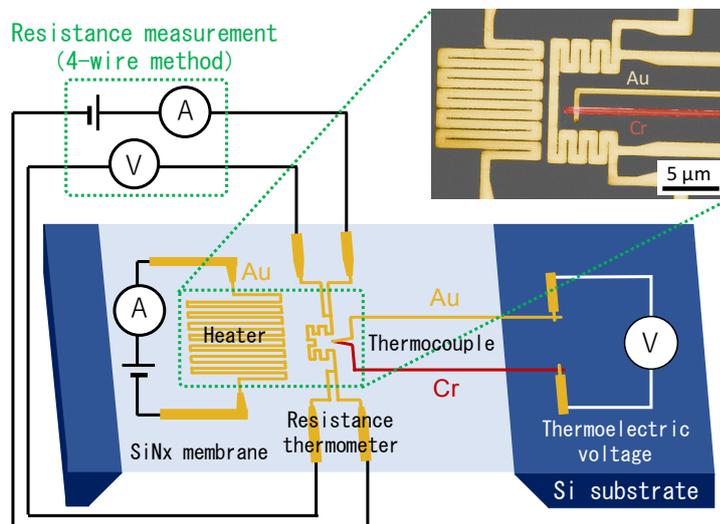


Fig. 1 Schematic of sub-microscale thermocouples and its colored SEM image (upper right).

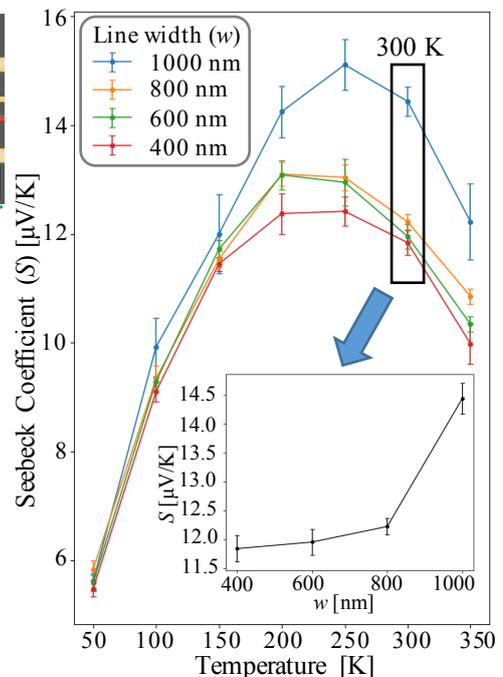


Fig. 2 Temperature dependence of  $S$  of Au/Cr thin wires with various  $w$ .

- [1] 日本化学会編『分子アーキテクトニクス』化学同人 (2018).
- [2] S. K. Lee *et al.*, *Nanoscale* **7**, 20496-20502, (2015).
- [3] D. Segal *et al.*, *J. Chem. Phys.* **119**, 6840 (2003).
- [4] A. I. Boukai, *et al.*, *Nature* **451**, 168-171 (2008).
- [5] 花村友喜ら、第66回応用物理学会春季学術講演会 [11p-M116-1] (2019).
- [6] G. P. Szakmany *et al.*, *IEEE TNANO* **13**, 1234-1239 (2014).
- [7] D.M. Rowe, *CRC Handbook of Thermoelectrics*, CRC Press (1995).