

単原子ワイヤーにおける室温下での熱散逸機構

Heat dissipation in single-atom wires

阪大¹ ○筒井真楠¹, 津本弥生¹, 村山さなえ¹, 谷口正輝¹

Osaka Univ.¹, ○Makusu Tsutsui¹, Yayoi Tsumoto¹, Sanae Murayama¹, Masateru Taniguchi¹

E-mail: tsutsui@sanken.osaka-u.ac.jp

ナノエレクトロニクス素子では、マクロな電子素子に比して通電時に素子内の電流密度が大きくなるため、顕著な局所加熱が生じる。金単原子ワイヤーは、電子の平均自由工程より小さいサイズの量子構造であり、ナノエレクトロニクス素子のモデル系として、広く研究されてきた [1-3]。これまでに、電子伝導機構は準バリスティックな振る舞いをみせ、体積比にすると比較的高い非弾性散乱効率になることから、通電時にその局所温度が上昇することが明らかにされてきた [3,4]。しかし、実験報告例があるのは極低温に限定されており、実用環境である室温下における単原子ワイヤーの熱散逸機構は明らかにされてこなかった。これは、直流電圧印加時におけるエレクトロマイグレーション現象によって、室温下における原子サイズ接点の安定性が著しく低下することから、局所加熱による温度上昇を調べるのが困難であったためである [1]。そこで、本研究では、交流電圧下における Au 単原子ワイヤーの寿命測定を実施した [5]。

単原子ワイヤーの作製には、ナノ加工 MCBJ を用いた。ファンクションジェネレータを用いて周波数 1MHz で振幅が 0.1 V から 1 V の交流電圧 (0.05 V の DC オフセット) を接合に印加し、室温・真空下において破断接合法による Au 単原子ワイヤーの形成・破断を繰り返し、観測された 1 G₀ プラトの長さから、当該ワイヤーの寿命を見積もった。電流測定には DMM を用い、積算時間を 0.1 秒と交流電圧周波数に比して十分に長い時間に設定することで、直流電流成分だけを記録した。

電圧の極性が高速で変動する交流電圧では、エレクトロマイグレーションの影響が小さくなる。交流電圧の振幅を系統的に変え、その時の単原子ワイヤーの寿命を調べたところ、その実効温度は印加電圧の実効値に比例して上昇する傾向が観測された。これは、通電時に生じるジュール熱が熱伝導によりバルクへと定常的に散逸すると考えた場合の傾向と一致する。以上の結果より、単原子ワイヤーにおける室温下での熱散逸機構を明らかにすることができた。

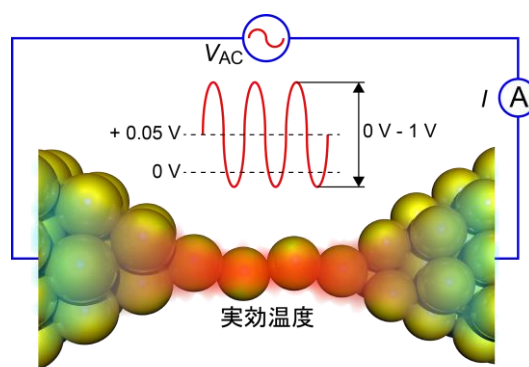


図 1. 単原子ワイヤーにおける局所加熱現象。室温・真空下で単原子ワイヤーを形成する。印加電圧には交流電圧を用い、その直流成分だけを記録した。

参考文献: [1] M. Tsutsui et al., Nano Lett. 8, 3293 (2008); [2] Huang et al., Nat. Nanotechnol. 2, 698 (2007); [3] Lee et al., Nature 498, 209 (2013); [4] Chen et al., Nano Lett. 3, 1691 (2003); [5] M. Tsutsui et al., Sci. Rep. 9, 18677 (2019).