金属ナノ接合におけるジュール熱評価

Measurements of Joule heating in metal nanocontacts

○筒井真楠，森川高典，谷口正輝　（阪大産研）
○M. Tsutsui, T. Morikawa, and M. Taniguchi　（ISIR, Osaka Univ.）
E-mail: tsutsui@sanken.osaka-u.ac.jp

[はじめに] 我々の研究グループでは、分子エレクトロニクスの応用に向けた単原子・分子デバイスの研究を行ってきている。単原子・分子デバイスでは、素子の大きさが電子の平均自由工程より小さくなるため、電荷キャリアはほとんど散乱されることなく素子を透過する一方、通電時に生じる大きな電流密度のため振電相互作用に伴う著しい局所加熱が生じ、素子安定性が劣化することが知られている[1]。ここで、この局所加熱現象では入力されたパワーの極一部のエネルギーしか消費されず、その大部分は素子に配線されるバルク電極内で散逸すると考えられる[2]。本研究では、まだ調べられてきていないこの電極内におけるジュール熱による原子・分子素子の不安定化の可能性について調べてきたので、その結果を報告する。具体的には、微細加工技術を用いて Mechanically-controllable break junction（MCBJ）素子に熱電対を組み込んだデバイスを新たに開発し、これを用いて Au 原子サイズ接合の通電時における接合付近の局所温度変化を測定した（図 1）。

[実験方法] 熱電対組込み型 MCBJ は次のプロセスにより作製した。まず、ポリイミド膜で被覆したリン青銅基板上に、フォトリソグラフィー法を用いて電極パターンを描画したあと、高周波マグネトロンスパッタ法により Cr/Au（厚さ 3nm/30nm）を蒸着した上でリフトオフすることでマイクロ電極を作製した。次に、電子線描画法およびスパッタ法を用いて、Al_2O_3 層を作製した。その後、更に同プロセスを用いて、Al_2O_3 上に、中央に幅約 100nm の狭窄部を有する Cr/Au 接合と、その狭窄部から約 1 μm の位置に Pt/Au 接点で構成される熱電対を作製した。最後に、反応性イオンエッチング法を用いてポリイミドを掘削することで、free-standing な Cr/Au 接合構造を得た。こうして作製したナノ接合について、室温・真空中にて自己破断接合法[2]による破断・接合を繰り返し行いながら、接合に印加する電圧 50mV から 250mV のその時の接合電気伝導度と熱電対に生じる熱起電力を計測・記録した。

[実験結果] 接合破断過程において、コンダクタンス G がステップ状に減少する傾向が観測された。この時、接合が完全に破断する直前では、Au 単原子鎖の形成を示唆する $1G_0$ プラトーが現れた（G_0 は量子化コンダクタンス）。一方、同時に計測した熱電対に生じる起電力 V_t は、G の変化に追随するように変化した。また、破断過程における G の変化は、接合に印可するバイアス電圧 V_b の違いによらず同じようなステップ状の変化を示したのに対し、V_t の変化は V_b に比例してより顕著なものになる傾向が確認された。これは、バリスティックな Au ナノ接合の通電時に生じたジュール熱の影響により、熱電対の点接点部における局所温度が上昇したためと考えられる。そこで、熱電対温度の V_b 極性依存性を調べたところ、ジュール加熱の影響は、接合の電流下流側において、より顕著であることが明らかとなった。この対象な接合構造で観測された非対称な熱散逸現象は、Au ナノ接合において電子が多数キャリアであることに由来するものと解釈できる[3]。

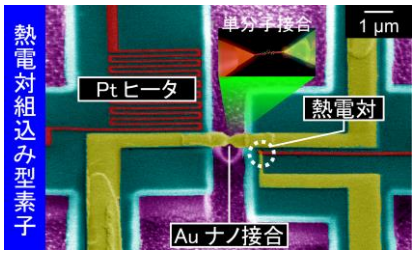

図 1．熱電対組込み型 MCBJ 素子の走査電子顕微鏡像.

[1] Tsutsui et al., ***Sci. Rep.*** 3, 3326 (2013). [2] Tsutsui et al., ***Nano Lett.*** 8, 345 (2008). [3] Lee et al., ***Nature.*** 498, 209 (2013).

© 2017年 応用物理学会