

交流印加蒸着時エレクトロマイグレーションによる多端子ナノ電極の形成 Formation of Multi-Terminal Nano-Electrodes by AC Electromigration During Metal Evaporation

千葉工大¹, 物材機構², 産総研³,

○阿部 卓也^{1,3}, 菅 洋志¹, 塚越 一仁², 内藤 泰久³

CIT¹, NIMS², AIST³ ○Takuya Abe^{1,3}, Hiroshi Suga¹, Kazuhito Tsukagoshi², and Yasuhisa Naitoh³

E-mail: hiroshi.suga@it-chiba.ac.jp, ys-naitou@aist.go.jp

背景・目的

近年、ナノギャップ電極についての研究が注目を集めている。ナノギャップ電極は、ナノメートルスケールの空間を挟んで互いに対向する2つの電極から成る。我々のグループは、白金ナノギャップ構造が600℃を超える耐熱性を有する不揮発性メモリになることを実証した⁽¹⁾。また、ナノギャップ間のトンネル電流をゲート電界で制御することで、トランジスタ動作することも報告されている。この報告では、ソースとドレインのギャップ間隔が11.5 nmと広く、より小さなサイズで3端子ナノギャップを形成できれば、応答速度の向上、低電圧化などの高性能化が期待できる⁽²⁾。さらに、白金で電極を構成できれば、高温動作可能なトランジスタの実現も期待できると考えられる。我々は金属蒸着中にバイアス電圧を印加することによって、自己整合的に1 nm程度のナノギャップ構造を形成する蒸着時エレクトロマイグレーション法を応用し⁽³⁾、平面上にナノスケールの多端子構造を簡便に形成する方法を実証した。

実験方法

光露光装置と真空蒸着装置を用いてシリコン基板上にCr 1 nm、Au 30 nmで電極間が1 μmと3 μmの幅を有する母構造を作製した。Fig.1に作製した母構造電極の顕微鏡像を示す。リフトオフ後にレーザー加工機で中央をくり抜いたマスクを被せることで蒸着範囲を限定した。電極部分にソース(S)、ドレイン(D)、ゲート(G₁,G₂)を設け、それぞれの電極間に電圧を印加しながら露出部に対して金属蒸着をした。蒸着時の印加電圧はFig.2に示すようにS-D電極とG₁-G₂電極に±4.5 V, ±4.5 Vを交互に印加した。作製した試料は電気特性、SEM像、AFM像、シモンズフィッティングより評価した⁽⁴⁾。

結果・考察

Fig.3に蒸着時エレクトロマイグレーション後のイメージ図を示す。Fig.4に作製した試料のI-V線図を示す。Fig.4よりすべての電極間でトンネル電流が流れていることが確認できる。さらに、S-D電極間に流れるトンネル電流が他の電極間より小さいことが確認できる。Table Iにシモンズフィッティングの結果を示す。フィッティング結果よりS-D電極間のみを狭窄できた。また、断面積の違いがトンネル電流に影響していると考えられる。これらのことからS-D電極間の狭い3端子構造の形成に期待できる。講演では本研究の詳細について報告する。本研究は、JST CREST(JPMJCR1532)、JSPS 科研費(20K05291)の支援を受けたものである。

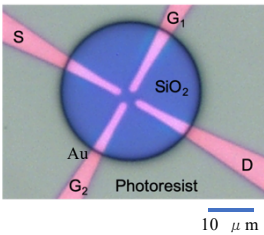


Fig.1 Optical microscope image of pre-structure.

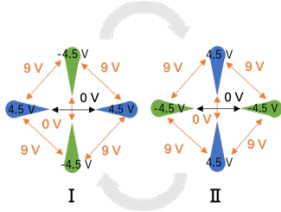


Fig.2 Method of applying voltage.

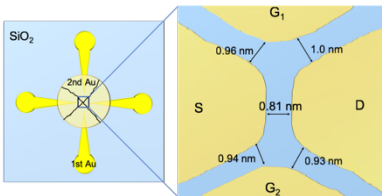


Fig.3 Image of an evaporated sample.

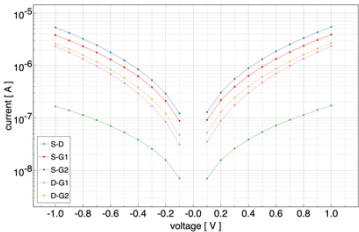


Fig.4 I-V curves of the fabricated samples.

Table I The parameters of a fitting

Between the electrodes	Gap width (nm)	Cross-sectional area of the gap (nm ²)
S-D	0.815 ± 0.0116	2.48 × 10 ⁻¹² ± 1.06 × 10 ⁻¹³
S-G1	0.932 ± 0.00882	9.29 × 10 ⁻¹¹ ± 3.15 × 10 ⁻¹²
S-G2	0.936 ± 0.00936	1.32 × 10 ⁻¹⁰ ± 4.73 × 10 ⁻¹²
D-G1	1.00 ± 0.0103	7.46 × 10 ⁻¹¹ ± 2.91 × 10 ⁻¹²
D-G2	0.965 ± 0.00968	7.35 × 10 ⁻¹¹ ± 2.71 × 10 ⁻¹²

参考文献

1) H. Suga, H. Suzuki *et al.*, *Scientific Reports* **6**, 34961 (2016).
2) Shruti Nirantar, Taimur Ahmed *et al.*, *Nano Letters*, **18** 7478 (2018).
3) Y. Naitoh, T. Ohata *et al.*, *American Chemical Society publications* **5**, 12689 (2013).
4) G. Simmons, *Journal of Applied Physics* **34**, 1793(1963).