

エレクトロマイグレーション法による ナノギャップ形成位置の誘導現象

SATテクノロジー・ショーケース2026

■ はじめに

エレクトロマイグレーション (Electromigration: EM) は、金属ナノ細線への電圧印加を厳密に実施することで破断部の大きさをナノスケールに調整できることが知られており、単一分子も計測可能なギャップ幅1nm程度の微細なナノギャップ構造を作製することができる^[1]。一方で、EMは集積回路の不良を引き起こす原因とされ、いかに回避するかが議論されてきた。技術的課題の1つは、破断位置が基本的にランダムであり、予期せず入った欠陥がその起点になるなど、現象を制御できない点である。金属ナノ細線をEMにより破断する際、細線の中央からおおよそ陰極側に破断箇所が発生することが知られているが、位置のばらつきは大きい^[2]。一方で、EMを誘発する電圧に交流を用いることで、陰極側の破断傾向を中央付近にある程度誘導できるという報告もあるが^[2]、金属細線中の任意の位置で破断するための破断位置制御手法は確立していなかった。

近年、EM現象には細線表面の最表面原子が輸送される現象が関与していることが報告されている^[3]。本研究では、そのメカニズムを参考に、金属ナノ細線(以下:ナノワイヤ)に対向したゲート電極からの外部電界によって、この最表面原子輸送を制御する手法を考案した。ナノギャップ位置を限定する技術はEM箇所の誘導や、多端子ナノギャップ構造作製などへの展開が期待できる。

■ 活動内容

1. 実験方法

本研究では、厚さ300nmの酸化膜を持ったシリコン基板上に、スパッタ、電子ビーム露光装置、アルゴンイオンミリング装置などを用いて幅50nm、長さ4.1 μ m、膜厚30nmのPtナノワイヤ構造を作製した。図1(a)に作製したナノワイヤの模式図を示す。この時、ワイヤ構造に沿って上部と下部に幅4 μ mのゲート電極を作製し、下部ゲート電極にノッチ構造がない試料(構造0)および下部ゲート電極にノッチ構造を導入した試料(ノッチの導入位置が異なる3種類の構造1~3)を用いてEMによるギャップ(破断)位置制御の可能性について検証した。

2. 結果と考察

図1(b)、(c)はEM後の試料のFESEM像である。また、図2に試料の構造とギャップ形成位置の関係を示す(縦軸は幅4 μ mのゲート電極の陽極側の端を起点としている)。ノッチの無い構造0では従来と同様にギャップ形成位置はランダムであるが、構造1~3ではノッチ位置に依存してギャップ形成位置が変化している。以上の結果から、ノッチの導入位置を通じてEMによるギャップ形成位置を制御できることが示された。現在EM中の外部電界、温度に対する有限要素法シミュレーションを行い、このギャップ位置誘導現象の

メカニズム解明を目指した研究を実施している。

3. 今後の方針

メカニズムの解明とともに、構造によるEM耐性の向上の実現や本現象を用いた多端子ナノギャップ電極の作製などナノエレクトロニクス研究の基盤となる技術開発につなげる方針である。

■ 関連情報等 (特許関係、施設)

参考文献

[1] Y. Kim, et al., J.Vac. Sci. Technol., B, 39, 010802 (2021).

[2] S. D. Sawtelle, et al., Appl. Phys. Lett. 113, 193104 (2018).

[3] Y. Tian, et al., Appl. Phys. Express 16 .085001(2023).

謝辞

本研究の一部は、文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ」事業(課題番号:JPMXP1224AT0021)の支援を受けた。

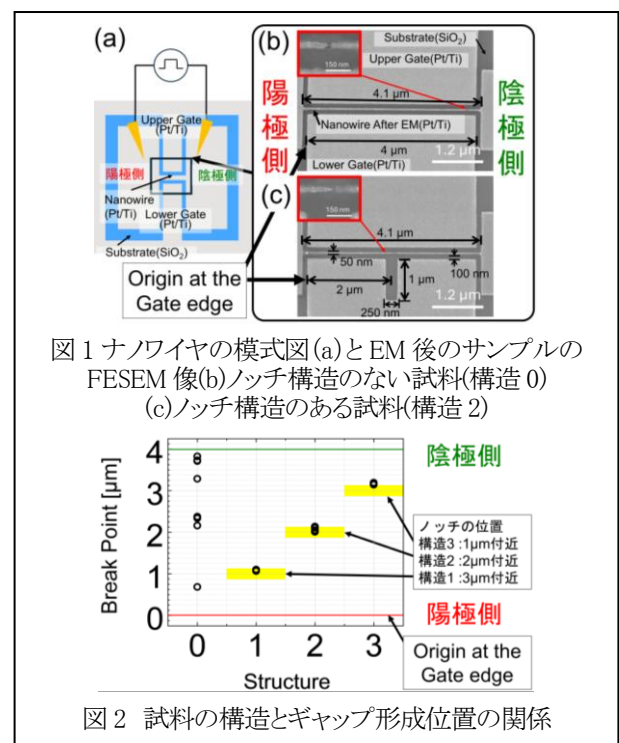


図1 ナノワイヤの模式図(a)とEM後のサンプルのFESEM像(b)ノッチ構造のない試料(構造0)(c)ノッチ構造のある試料(構造2)

図2 試料の構造とギャップ形成位置の関係

代表発表者 杉政 慶太(すぎまさ けいた)
所属 千葉工業大学大学院 工学研究科
産業技術総合研究所
エレクトロニクス・製造領域エレクトロニクス
基盤技術研究部門エマージングデバイス技術
研究グループ

問合せ先 〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1
TEL: 047-478-0507
Mail: sugimasakeita20230628sakusei@gmail.com

■キーワード: (1) ナノギャップ電極
(2) エレクトロマイグレーション
(3) ナノ構造制御

■共同研究者: 筒井優貴(千葉工業大学)
菅洋志(千葉工業大学)
島久(産業技術研究所)
内藤泰久(産業技術研究所)