

単分子共鳴トンネルトランジスタの実証による 超高速エレクトロニクスの幕開

P2

Ultra-high-speed Single Molecule Resonant Tunneling Transistor

真島豊 majima@msl.titech.ac.jp

東京工業大学 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所

1. 球状ヘテロエピタキシャル金／白金ナノギャップ電極

2nm スケールの1つの π 共役系分子に対してゲート変調を可能とするには、分子サイズと同じギャップ長を有し、ゲート変調を可能とするゲート容量を有するナノギャップ電極を作製することが必須である。我々は、電子線リソグラフィ (Electron Beam Lithography: EBL)により、線幅 10 nm、ギャップ長 10 nm の白金初期ナノギャップ電極を作製するプロセスを確立した。

次に、白金初期ナノギャップ部に、金を球状にヘテロエピタキシャル成長させる無電解金めっき法 (Electroless Au Plating: ELGP)を開発し、図1に示すようなギャップ長 0.7 nm、ギャップ部の先端曲率半径 5 nm のヘテロエピタキシャル球状 (Heteroepitaxial Spherical: HS) Au/Pt ナノギャップ電極を作製するプロセスを確立した。¹

HS-Au/Pt ナノギャップ電極は、EBL で金の初期ギャップ電極を作製し、ELGP でギャップ長を狭めた Au/Au ナノギャップ電極と比較すると、極めて安定であり、300°Cの耐熱性を有する。

2. 単分子共鳴トンネルトランジスタ

両末端にチオール基を付与した π 共役系分子として、キノイド型縮環オリゴシロール (Si-2)、ならびに炭素架橋オリゴフェニレンビニレン (COPVn)を、HS-Au/Pt ナノギャップ電極間に化学吸着させた。

Si-2 デバイスでは、ドレイン電流-ドレイン電圧依存性にクーロンステアケース、ドレイン電流-ゲート電圧依存性にクーロンオシレーション、ドレイン電流のドレイン電圧、ゲート電圧に対する2次元プロットにクーロンダイヤモンドがそれぞれ観察され、ダブルバリアトンネル接合におけるシーケンシャルトンネル機構を仮定した理論解析結果と一致し、理論解析により算出した単電子トランジスタのパラメータが片側に化学吸着していることを示唆していたため、Si-2分子が片側に化学吸着した 1.5 nm スケールの単分子単電子トランジスタとして動作することを明らかにした (図2)。²

COPVn デバイスでは、ドレイン電流の微分コンダクタンス-ゲート電圧依存性に、HOMO、LUMO などの分子軌道に対応した微分コンダクタンスピークが観察された。³ この微分コンダクタンスピークは、共鳴トンネル過程によりナノギャップ電極間をドレイン電流が流れていることを示唆している。さらに、ドレイン電流はゲート変調することから、単分子共鳴トンネルトランジスタとして動作することを明らかにした。共鳴トンネル現象の素過程は、高速であることから、共鳴トンネ

ルトランジスタは超高速動作が期待できる。

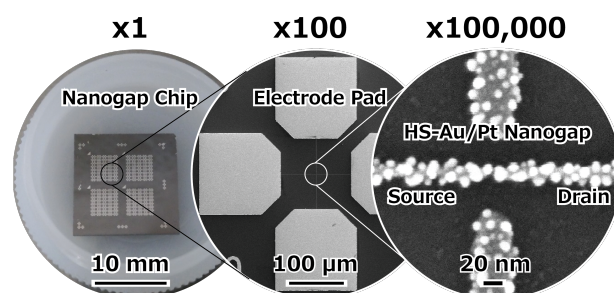


図1 球状ヘテロエピタキシャル金／白金ナノギャップ電極。左からチップ、電極パッド、ヘテロエピタキシャル球状ナノギャップ電極

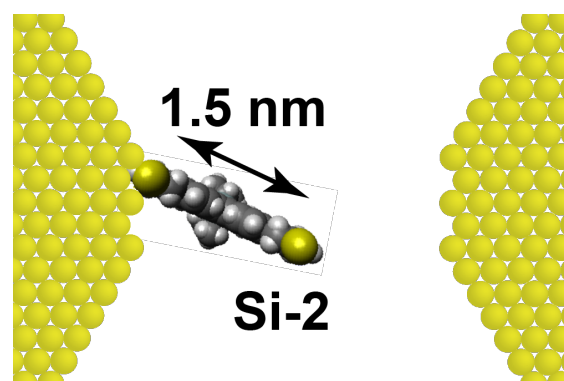


図2 球状ヘテロエピタキシャルナノギャップ間に吸着した π 共役系単分子の模式図

【共著者(所属)】

真島 豊 (東京工業大学 フロンティア材料研究所)

【関連プロジェクト】

元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>電子材料研究拠点

【参考文献】

- [1] Y. Y. Choi, A. Kwon, and Y. Majima, *Appl. Phys. Express*, **12** 125003 (2019)
- [2] C. Ouyang, K. Hashimoto, H. Tsuji, E. Nakamura, and Y. Majima, *ACS Omega*, **3** 5125 (2018)
- [3] S. J. Lee, J. Kim, T. Tsuda, R. Takano, R. Shintani, K. Nozaki, and Y. Majima, *Appl. Phys. Express*, **12** 025007 (2019)

【関連 WEB】

- [1] <https://www.msl.titech.ac.jp/~majima/>