

補助事業番号 2022M-284
補助事業名 2022年度 DX社会を支える超高密度不揮発性メモリの社会実装 補助事業
補助事業者名 広島大学 大学院先進理工系科学研究科 西原 禎文

1 研究の概要

研究代表者は世界に先駆け単分子で情報を記録する革新的材料「単分子誘電体」を開発した。当該事業では「単分子誘電体」を実装した不揮発性メモリの開発に取り組み、メモリデバイスプロトタイプの実製、及び初期集積化の達成を目指した。

2 研究の目的と背景

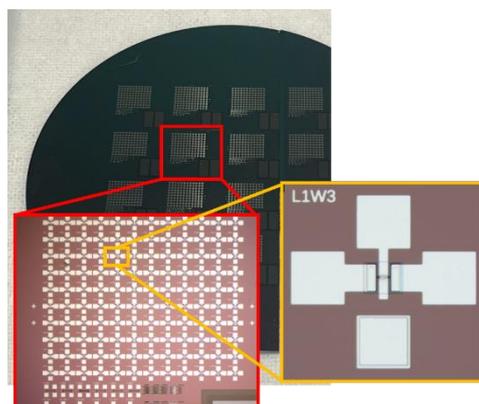
ビッグデータ活用やIoT産業の活性化が進む中、大容量ストレージへの需要がますます高まっている。一方で、不揮発性メモリの記録密度は物理的限界を迎えると指摘されており、根本的な材料改良の面から代替材料の台頭が求められている。記録密度に限界値が存在する理由として、不揮発性メモリに不可欠な強磁性質（強磁性や強誘電性）が結晶由来の物性であることが挙げられる。これらの材料は、結晶としての根幹となる長距離秩序を有する状態でのみ物性を発現するため、数原子・分子のオーダーでは特性が消失してしまい物理的な微細化限界を有している。

このような背景の中、研究代表者はこの重要問題を打開し得る「単分子誘電体」の開発に世界で初めて成功した。「単分子誘電体」は、従来の強誘電体理論を覆し、単一分子で強誘電体特有の分極ヒステリシス（メモリ効果）を示すため、分子一つ一つに1bitの情報格納させることができる。従って、この「単分子誘電体」をメモリ素子として実用化できれば、既存の記録密度限界を1000倍上回る新しいタイプのメモリデバイスを創出できる。本研究では同材料を用いたメモリデバイスを開発することで世界的な課題へと取り組む。

3 研究内容

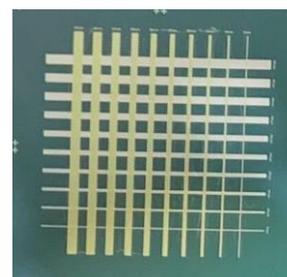
(1) メモリデバイスプロトタイプの実製(URL)

実際に実製したメモリデバイスプロトタイプの顕微鏡写真を右に示した。この素子では電界効果型トランジスタのゲート絶縁膜として「単分子誘電体」を用いている。マイクロメートルオーダーでゲート幅とゲート長を調整している。特性評価の結果、不揮発性メモリに特徴的なドレイン電流の履歴現象（メモリウィンドウ）が観測され、実製した素子が不揮発性メモリとして駆動することを明らかにした。



(2) 薄膜特性評価用デバイスの作製 (URL)

上記に記載したデバイスに加えて、薄膜化した「単分子誘電体」の基礎特性を評価するため、キャパシタ構造を模したデバイスの作製を行った。同素子について誘電率、絶縁性、分極反転速度などに関する種々の測定を実施し、薄膜としての基礎特性についてデータを得た。



4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究では、単分子で情報を記録する「単分子誘電体」を実装したメモリデバイス開発に着手した。当該材料は単分子一つ一つが情報を記録するため、既存の材料を超える超高密度不揮発メモリの開発が期待される。「単分子誘電体」メモリは高集積化のみにとどまらず、コスト・消費電力削減、高速情報伝達など複合的な利点を有しており、将来的には既存のデバイスすべてと取って代わる可能性を秘めている。我々は実用化に向け2023年6月に広島大学発ベンチャー企業として株式会社マテリアルゲートを起業した。今後は社会実装を目指し、産学連携を強化しながら研究を続けていく。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

当該研究でターゲットとした「単分子誘電体」は基礎研究から生まれた新たな物性材料であり、学術的に高い評価を受けていた。また、メモリとしての応用性が指摘され、産業界からも不揮発性メモリへ展開が強く望まれていた。しかし、デバイス作製には多額の予算が必要であったため、実用化への道は険しかった。この様な状況の中、JKAの予算を獲得することができたため、デバイスへの展開が可能となり、メモリデバイスプロトタイプの作製とメモリ駆動を達成することができた。従って、当該研究は基礎研究と応用研究を繋ぐ重要な位置付けにあり、その結果、広島大学発ベンチャー「株式会社マテリアルゲート」を設立することができた。当該研究の成果に基づいて設立した「株式会社マテリアルゲート」はJSTやNEDOなどから表彰されている他、多くの助成金を獲得するなど高い対外的評価を受けている。教育面においては、当該研究に関わった学生は化学系でありながら、半導体作製の第一線でデバイス作製を行うことができ、広範な知見を得ることができたと感じている。以上、当該研究は教歴、研究歴の中で重要な位置付けにあり、発展への転換点となった。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

知財 (特許出願・権利化)

「分子メモリおよび分子メモリの製造方法」

“Molecular memory and method for manufacturing molecular memory”

国内特願：2021-543643,

国際出願番号：PCT/JP2020/027690, (米国) 17/639,579 (Date：Sep. 22, 2022)

国際公開番号：W02021/044743

特許第7295585

出願日：2020年7月16日 (令和2年)

発明者：西原禎文、藤林将、井上克也、定金正洋

出願人：広島大学

取得日：2023年6月13日（令和5年）

内容：「単分子誘電体」の材料改良により、様々なメモリへの搭載が可能になったことから、材料改良方法と展開例について権利化した。

「圧電材料及び圧電素子」

特願：2022-032652

出願日：令和4年(2022年)3月3日

PCT：PCT/JP2023/007762

出願日：令和5年(2023年)3月2日

発明者：西原禎文、栗原英駿、伊藤（加藤）智佐都、藤林将

出願人：広島大学

発表論文など

“Structure Transformation of Methylammonium Polyoxomolybdates via In-Solution Acidification and Solid-State Heating from Methylammonium Monomolybdate and Application as Negative Staining Reagents for Coronavirus Observation”, N. S. Sukmana, J. Shinogi, T. Minato, T. Kojima, M. Fujibayashi, K. Inoue, S. Nishihara, Y. Cao, T. Zhu, H. Ubukata, A. Higashiura, A. Yamamoto, C. Tassel, H. Kageyama, T. Sakaguchi, M. Sadakane, *Inorg. Chem.*, accepted.

“Near Room Temperature Transformations in Redox-Active and Superionic Conducting Ion-Plastic Crystals”, Y. Qian, L. Xu, Y. -M. Wang, S. Nishihara, K. Inoue, Y. Gao, X. -M. Ren, *Chem. Mater.*, 36(3), 1273–1278 (2024).

Supplementary Cover Picture

DOI: 10.1021/acs.chemmater.3c02267

“Irreversible Structural Phase Transition in [(9-triptylammonium)([18]crown-6)][Ni(dmit)₂]: Origin and Effects on Electrical and Magnetic Properties”, J. Manabe, N. Sako, M. Ito, M. Fujibayashi, C. Kato, G. Cosquer, K. Inoue, K. Takahashi, T. Nakamura, T. Akutagawa, S. Shimono, H. Ishibashi, Y. Kubota, S. Nishihara, *Eur. J. Inorg. Chem.*, 26(34), e202302303-1-10 (2023).

Front Cover Picture

DOI: 10.1002/ejic.202300449

“Redox Activity of Ir^{III} Complexes with Multidentate Ligands Based on Dipyrrodo-annulated N-Heterocyclic Carbenes: Access to High Valent and High Spin State with Carbon Donors”, K. Nakanishi, L. I. Lugo-Fuentes, J. Manabe, R. Guo, S. Kikkawa, S. Yamazoe, K. Komaguchi, S. Kume, D. W. Szczepanik, M. Solà, J. O. C. Jimenez-Halla, S. Nishihara, K. Kubo, M. Nakamoto, Y. Yamamoto, T. Mizuta, R. Shang, *Chem. Eur. J.*, **29**(63), e202302303-1-10 (2023).

DOI: 10.1002/chem.202302303

“Crystallographic and dielectric studies of tetrahedral {NH₄@Fe₄} crystallized with halomethane molecules”, D. Matsumoto, C. Tanaka, M. Fujibayashi, S. Nishihara, K. Takahashi, T. Nakamura, T. Akutagawa, A. M-. Suzuki, R. Tsunashima, *CrystEngComm.*, **25**, 4793-4797 (2023).

DOI: 10.1039/D3CE00429E

“Multifunctional Triggering by Solid-Phase Molecular Motion: Relaxor Ferroelectricity, Modulation of Magnetic Exchange Interactions, and Enhancement of Negative Thermal Expansion”, S. Li, K. Takahashi, R. -K. Huang, C. Xue, K. Kokado, N. Hoshino, T. Akutagawa, S. Nishihara, T. Nakamura, *Chem. Matter.*, **35**(6), 2421-2428 (2023).

DOI: 10.1021/acs.chemmater.2c03552

“Fluoride-Bridged Dinuclear Dysprosium Complex Showing Single-Molecule Magnetic Behavior: Supramolecular Approach to Isolate Magnetic Molecules”, D. -F. Wu, K. Takahashi, M. Fujibayashi, N. Tsuchiya, G. Cosquer, R. -K. Fuang, C. Xue, S. Nishihara, T. Nakamura, *RSC Adv.*, **12**, 21280-21286 (2022).

DOI: 10.1039/D2RA04119G

“Slider-crank Mechanism in a Molecular Crystal: Conversion of Linear Thermal Expansion of Lattice to Circular Rotation of Coordination Chain”, R. Tsunashima, N. Fujikawa, M. Shiga, S. Miyagawa, S. Ohno, A. Masuya-Suzuki, K. Takahashi, T. Nakamura, A. Takayoshi, S. Nishihara, *CrystEngComm.*, **24**, 5865-5869 (2022).

DOI: 10.1039/D2CE00768A

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

なし

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

[本事業の成果まとめ](#)

(<https://kotai.hiroshima-u.ac.jp/wp-content/uploads/2024/05/5ab323377dd9be020d9cb3635feb1394.pdf>)

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 広島大学 大学院先進理工系科学研究科（ヒロシマダイガク ダイガク
イン センシンリコウケイカガクケンキュウカ）

住 所： 〒739-8526

広島県東広島市鏡山1-3-1

担 当 者： 教授 西原禎文（ニシハラサダフミ）

担 当 部 署： 固体物性化学研究室（コタイブッセイカガクケンキュウシツ）

E - m a i l : snishi@hiroshima-u.ac.jp

U R L : <https://kotai.hiroshima-u.ac.jp/>