

公益財団法人 立松財団 御中

様式 2021A1,A2,B

2021年 4月 2日

所属:名古屋大学大学院

氏名:牧原克典



2019年度助成 研究経過・終了報告書

※ゴシック文字で記入下さい。

研究テーマ	一次元連結磁性合金ナドットのスピン物性制御と新機能メモリ開発
研究の結果	<p>ナノメートル領域において、スピンを活用した室温・低電圧(1V程度)動作する不揮発メモリが実現できれば、飛躍的な進歩を遂げているシリコン ULSI 技術をベースに Si 系量子ドットトランジスタやフローティングメモリデバイスを組み合わせて、将来の少数電子・少数スピンを使った大規模な高度情報処理へと発展する可能性が高い。本研究では、異なる帯磁特性の磁性合金ナドットが自己整合集積した連結ドット系において、磁性ドット間のスピン・電子相関が電子輸送に及ぼす影響を実験的に明らかにすると共に、その制御手法を確立することで、新規な高密度不揮発性メモリを実現することを目的として、「リモート水素プラズマ支援による FePt 合金ナドットの高密度形成と磁化特性評価」および「磁性 AFM 探針を用いた Fe₃Si ナドットの電子輸送特性評価」に注力して研究を推進した。</p> <p>「リモート水素プラズマ支援による FePt 合金ナドットの高密度形成と磁化特性評価」</p> <p>Si 熱酸化膜(SiO₂)上に形成した Pt/Fe 極薄積層膜に外部非加熱でリモート H₂ プラズマ(H₂-RP)を照射した結果、高密度のナドット形成(面密度:~5.3 × 10¹¹ cm⁻²、平均高さ:~0.88nm)が認められ、H₂-RP 照射時に基板加熱した場合では、基板温度の増加に伴いドット面密度が減少するとともにドット高さが増加することが分った。形成した FePt 合金ナドットの面直方向における磁化特性を評価した結果、400℃で H₂-RP 照射で形成したナドットでは、外部非加熱および未処理の場合に比べて保磁力および飽和磁化の顕著な増大が認められた。尚、外部非加熱 H₂-RP 照射によりナドットを形成後、真空中 400℃アニールした場合では、アニール前後において磁化特性に顕著な差は認められなかった。これらの結果から、H₂-RP 照射時の外部加熱が、金属原子の表面マイグレーションと凝集とともに、規則化合金反応の促進に極めて有効であることが示唆される。</p> <p>「磁性 AFM 探針を用いた Fe₃Si ナドットの電子輸送特性評価」</p> <p>SiH₄ を用いた減圧化学気相成長法(LPCVD)の反応初期過程を制御することによって自己組織化形成した Si 量子ドット上に、Fe 薄膜を蒸着形成した構造に、H₂-RP を照射した場合、Fe₃Si ナドット(平均ドット高さ:~5.9 nm, 面密度:~2.7 × 10¹¹ cm⁻²)の形成が認められ、外部磁場印加に伴う電子輸送変化を磁性 AFM 探針を用いて評価した結果、外部磁場印加時においては、探針電圧-1.0V において、ドットに対応する領域に明瞭な高伝導領域に起因する明るいコントラストが認められた。また、二次元電流像(200nm × 100nm)から算出した総電流量は、印加電圧の増加に伴い指数関数で増加するものの、外部無磁場では、-1.0V 印加では電流レベルが検出限界以下であり、-1.5V 印加において、磁場印加時-1.0V と同等の電流像が観測された。これらの結果は、ドットの保磁力より大きな外部磁場を印加した場合、磁性コア AFM 探針と Fe₃Si ナドットの磁化方向が揃うことで、抵抗が減少すると考えられる。</p>

研究発表
(実績)

1. J. Wu, H. Zhang, H. Furuhashi, K. Makihara, M. Ikeda, A. Ohta, S. Miyazaki, "Characterization of Magnetic-Field Dependent Electron Transport of Fe₃Si Nanodots by Using a Magnetic AFM Probe" ECS Transactions 98, 493-498 (2020).
2. H. Zhixue, H. Zhang, A. Ohta, M. Ikeda, N. Taoka, K. Makihara, and S. Miyazaki, "High-Density Formation of FeSi₂ Nanodots on Ultrathin SiO₂ Induced by Remote Hydrogen Plasma" 13th Int. Symp. on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, (on-demand digital platform, Mar. 7-11, 2021)
3. S. Honda, K. Makihara, H. Furuhashi, A. Ohta, M. Ikeda, and S. Miyazaki, "Influence of Substrate Temperature on Plasma-Enhanced Self-Assembling Formation of High Density FePt-Nanodot" 13th Int. Symp. on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, (on-demand digital platform, Mar. 7-11, 2021)
4. T. Takemoto, T. Niibayashi, K. Makihara, A. Ohta, M. Ikeda, and S. Miyazaki, "Characterization of Electron Field Emission from Phosphorus δ-Doped Si-QDs/Undoped Si-QDs Multiple-Stacked Structures" 13th Int. Symp. on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, (on-demand digital platform, Mar. 7-11, 2021)
5. W. Jialin, H. Zhang, A. Ohta, M. Ikeda, K. Makihara, and S. Miyazaki, "Magnetoelectronic Transport Characteristics of Fe₃Si Nanodots on Ultrathin SiO₂ Induced by Remote Hydrogen Plasma" 13th Int. Symp. on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials, (on-demand digital platform, Mar. 7-11, 2021)
6. J. Wu, H. Zhang, H. Furuhashi, K. Makihara, M. Ikeda, A. Ohta, and S. Miyazaki, "Characterization of Magnetic-Field Dependent Electron Transport of Fe₃Si Nanodots By Using a Magnetic AFM Probe" PRiME 2020 (ECS, ECSJ, & KECS Joint Meeting), G03-1723 (on-demand digital platform, October 4-9, 2020)
7. J. Wu, H. Furuhashi, H. Zhang, Y. Hashimoto, M. Ikeda, A. Ohta, A. Kohno, K. Makihara, and S. Miyazaki, "Formation of High Density Fe-silicide Nanodots Induced by Remote Hydrogen Plasma and Characterization of Their Magnetic Properties", 8th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces, WP2-18 (Sendai, Nov. 27-30, 2019).
8. Y. Hashimoto, K. Makihara, M. Ikeda, A. Ohta, A. Kohno, and S. Miyazaki, "Formation of high density Fe-silicide nanodots induced by remote H₂ plasma and their magnetic properties", The 5th Asia-Pacific Conf. on Semiconducting Silicides and Related Materials, Mon-a-O25 (Miyazaki, July 20-23, 2019).
9. 本田 俊輔、古幡 裕志、大田 晃生、池田 弥央、大島 大輝、加藤 剛志、牧原 克典、宮崎 誠一、"リモート水素プラズマ支援 FePt 合金ナノドット自己組織化形成プロセスにおける基板温度が磁化特性に与える影響", 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 19p-Z02-2, (オンライン)
10. 武 嘉麟、張 海、古幡 裕志、牧原 克典、池田 弥央、大田 晃生、宮崎 誠一、"磁性 AFM 探針を用いた Fe₃Si ナノドットの電子輸送特性評価", 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 13a-PA5-9, (講演会開催中止)
11. 橋本 靖司、牧原 克典、大田 晃生、池田 弥央、香野 淳、宮崎 誠一、"リモート水素プラズマ支援による磁性合金 FeSi ナノドットの高密度一括形成", 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-E317-6, 08-107 (北海道大学 札幌キャンパス, 2019 年 9 月 18 日-21 日)

提出期限：研究期間終了後、すみやかに助成金の「必要経費使途明細書」「領収書」と合わせて提出下さい。
年度をまたぐ場合は毎年3月末日までに、途中経過をご記入の上、報告願います。