

# マテリアル先端リサーチインフラ利用報告書

## ARIM User's Report

[Release : 2025.06.10] [Update : 2025.05.01]

### 課題データ / Project Data

課題番号 Project Issue Number	24NM5237
利用課題名 Title	スピントロニクス型人工知能デバイスの研究
利用した実施機関 Support Institute	物質・材料研究機構 / NIMS
機関外・機関内の利用 External or Internal Use	内部利用 (ARIM事業参画者以外) / Internal Use (by non ARIM members)
ARIM半導体基盤PF 関連課題 Related to ARIM-SETI	指定なし / No Designation
横断技術領域 Cross-Technology Area	加工・デバイスプロセス/Nanofabrication
重要技術領域 Important Technology Area	量子・電子制御により革新的な機能を発現するマテリアル/Materials using quantum and electronic control to perform innovative functions
キーワード Keywords	ワイヤーボンディング/ Wire Bonding,スピントロニクス/ Spintronics,蒸着・成膜/ Vapor deposition/film formation,光リソグラフィ/ Photolithgraphy,膜加工・エッチング/ Film processing/etching

### 利用者と利用形態 / User and Support Type

利用者名 (課題申請者) User Name (Project Applicant)	土屋 敬志
所属名 Affiliation	物質・材料研究機構
共同利用者氏名 Names of Collaborators Excluding Supporters in the Hub and Spoke Institutes	並木 航,日笠 壮太
ARIM実施機関支援担当者 Names of Supporters in the Hub and Spoke Institutes	浦野 絵里,尾崎 康子
利用形態 Support Type	機器利用/Equipment Utilization,技術補助/Technical Assistance

### 利用した主な設備 / Equipment Used in This Project

利用した主な設備 Equipment ID & Name	NM-665 : 電子銃型蒸着装置 [ADS-E810] NM-645 : ICP-RIE装置 [CE300I] NM-647 : FE-SEM+EDX [S-4800] NM-636 : マスクレス露光装置 [DL-1000] NM-659 : ワイヤーボンダー [7476D #1]
---------------------------------	---

## 報告書データ / Report

概要 (目的・用途・実施内容) Abstract (Aim, Use Applications and Contents)	近年、急速な情報増加に伴いこれらを高効率に処理する人工知能技術の必要性が高まっている。しかし、従来の半導体技術を基盤とする人工知能では、非常に高いエネルギー消費が問題となっている。そこで本研究では、圧倒的に低いエネルギー消費で動作するニューロモルフィックコンピュータの開発に資するナノデバイスを開発する。本研究では脳神経回路におけるシナプスやニューロンの振る舞いをスピントロニクス現象で模倣するスピントロニクス型人工知能デバイスの開発を目的とする。
実験 Experimental	$Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG)単結晶の表面に、マスクレス露光装置、および電子銃型蒸着装置を用いて4つの励起アンテナと検出アンテナを成膜してスピン波デバイスを作成した。YIG中で非線形干渉したスピン波が多検出される。このデバイスで物理リザーバーコンピューティングを実施した。物理リザーバーコンピューティングは、学習コストが小さく高速処理が可能なりザーバーコンピューティング(RC)を高次元空間への非線形写像能力をもつ物理デバイスで行う人工ニューラルネットワークである。RCに有望な物理デバイスのなかでも、強磁性体中で干渉したスピン波を多検出することで、優れた非線形性と高次元性、短期記憶性を得られることが明らかになっている。本研究では、固体電解質を用いた強磁性体の酸化・還元反応によりスピン波特性をその場制御し、スピン波干渉の非線形性の制御とリザーバーの高次元性の向上を図った。
結果と考察 Results and Discussion	YIG上の固体電解質 (ナフィオン) とPtゲート電極は、電圧印加によるYIGへのプロトン( $H^+$ )の挿入脱離を可能とする。このとき、YIGのFeイオンに電子が注入され、スピン波の振幅や周波数などの伝搬特性が大きく変化した。各電圧状態において実現される異なるスピン波のカオス的干渉から成るリザーバー状態を用いて、Mackey-Glass方程式で記述されるカオス時系列予測タスクを実施したところ、従来の物理リザーバーと比較して極めて高い性能を得ただけでなく、時系列予測のためのシミュレーションモデルの性能に匹敵する性能を得ることに成功した。
図・表・数式 Figures, Tables and Equations	
その他・特記事項 (参考文献・謝辞等) Remarks(References and Acknowledgements)	本研究は防衛装備庁安全保障技術研究推進制度「JPJ004596」の助成を受けて遂行された。

## 成果発表・成果利用 / Publication and Patents

DOI (論文・プロシーディング) [1] DOI (Publication and Proceedings)	Wataru Namiki, Iono-Magnonic Reservoir Computing With Chaotic Spin Wave Interference Manipulated by Ion-Gating, <i>Advanced Science</i> , <b>12</b> , (2024). <a href="https://doi.org/10.1002/advs.202411777">DOI: 10.1002/advs.202411777</a>
DOI (論文・プロシーディング) [2] DOI (Publication and Proceedings)	Wataru Namiki, Opto-magnonic reservoir computing coupling nonlinear interfered spin wave and visible light switching, <i>Materials Today Physics</i> , <b>45</b> , 101465(2024). <a href="https://doi.org/10.1016/j.mtphys.2024.101465">DOI: 10.1016/j.mtphys.2024.101465</a>
DOI (論文・プロシーディング) [3] DOI (Publication and Proceedings)	Wataru Namiki, Fast physical reservoir computing, achieved with nonlinear interfered spin waves, <i>Neuromorphic Computing and Engineering</i> , <b>4</b> , 024015(2024). <a href="https://doi.org/10.1088/2634-4386/ad561a">DOI: 10.1088/2634-4386/ad561a</a>

DOI (論文・プロシーディング) [4] DOI (Publication and Proceedings)	Wataru Namiki, Iono-Magnonic Reservoir Computing Utilizing Interfered Spin Wave Manipulated By Ion-Gating, <i>ECS Meeting Abstracts</i> , <b>MA2024-02</b> , 3316-3316(2024). <a href="https://doi.org/10.1149/MA2024-02483316mtgabs">DOI: 10.1149/MA2024-02483316mtgabs</a>
口頭発表、ポスター発表 および、その他の論文[1] Oral Presentations etc.	並木 航, 西岡 大貴, 野村優貴, 山本和生, 寺部 一弥, 土屋 敬志. イオンゲーティングによるスピン波のその場制御を利用した高精度時系列予測. 第50回固体イオニクス討論会. 2024.10
口頭発表、ポスター発表 および、その他の論文[2] Oral Presentations etc.	NAMIKI, Wataru, NISHIOKA, Daiki, Yuki Nomura, Kazuo Yamamoto, TERABE, Kazuya, TSUCHIYA, Takashi. Iono-magnonic Reservoir Computing utilizing Interfered Spin Wave Manipulated by Ion-Gating. PRiME 2024. October 2024
口頭発表、ポスター発表 および、その他の論文[3] Oral Presentations etc.	並木 航, 西岡 大貴, 野村優貴, 山本和生, 寺部 一弥, 土屋 敬志. スピン波のカオス的干渉のその場制御を用いた高精度カオス時系列予測. 2024年第85回応用物理学会秋季学術講演会. 2024年9月
口頭発表、ポスター発表 および、その他の論文[4] Oral Presentations etc.	NAMIKI, Wataru, NISHIOKA, Daiki, 野村優貴, 山本和生, TERABE, Kazuya, TSUCHIYA, Takashi. Iono-magnonic Reservoir Computing utilizing Spin Wave Manipulation by Proton-Gating. 2024 International Conference on Solid State Deviecs and Materials (SSDM2024). 2024
特許出願件数 Number of Patent Applications	0件
特許登録件数 Number of Registered Patents	0件