

平成29年度事業報告

I 事業の状況

1. 事業と公益性

公益財団法人電磁材料研究所（以下「本法人」という。）は、自然と調和しつつ健全な人類社会を支える公益目的事業の重要性を強く認識し、新規で優れた性能を持つ機能材料の開発とその有効な応用分野の開拓を進め、得られた研究成果を広く一般に公開して、学術及び科学技術並びに産業の振興を通じて次世代社会の発展と幸福に貢献するための研究活動を行うことを設立の目的としている。

この目的を達成するため、本法人は、以下の事業を実施している。

- (1) 電磁に関連する機能材料及びデバイスの研究開発並びに試作に関する事業
- (2) その他本法人の目的を達成するために必要な事業

ここで、(1)の事業は、公益目的事業として位置づけられるものであり、物質・材料がもつ本質的な機能的物性を有効的に利用した電磁に関連する機能材料を探索し、新たに見出した材料を活用して次世代に必要な高性能かつ超小型機能デバイスの開発と実用化に関する研究を行うものである。

(2)の事業は、本法人の目的を達成するための主事業である(1)の公益目的事業を実施するのに必要な財源の一部に充当するための収益事業であり、その規模は(1)の事業に比べ極めて小さい。

平成29年度（以下本年度ともいう。）は、本法人の設立の目的を確実に実現することを目指し、これら各事業を効率的かつ積極的に進めた。

また、本法人は、事業の公益性を確保するため、事業の内容、成果等を一般の研究者、技術者、企業家等に広く公開・提供することを基本方針としている。このため、実施している研究開発の課題、事業内容及び成果の概要、並びに提供しうる試作品の内容については、本法人の事業計画書及び報告書に記載し、事務部に保管して一般の閲覧に供すると共に、インターネットのホームページ、要覧、展示等により広く公開した。また、事業内容等についての外部からの問い合わせには、事業支援室が対応するなどして公益性の確保に努めた。なお、本法人で行われた研究開発成果の詳細は、関連する学会誌、講演会、研究会、国際会議等で一般に公表し、知的財産である「特許」に関しての情報は、本法人のインターネットのホームページ、事業報告書等で広く一般に公開し、知的財産権の供与を希望する企業に対して平等に門戸を開放すると共に、この知的財産権についての外部からの問い合わせには事業支援室が対応した。

2. 公益目的事業

2-1 公益目的事業の範囲

本法人の公益目的事業は、「電磁に関連する機能材料及びデバイスの研究開発並びに試作に関する事業」を行うことであり、新たな高機能性を持つ電磁材料を自らの手で探索し、それら材料を活用して高性能かつ超小型機能デバイスを開発し、その実用化を図ることにより社会・経済の発展に寄与することを目的としており、その事業の範囲は、研究開発成果が実用化に至るまでとしている。

本事業は、研究開発事業部の研究員によって行われる「自主研究」、公的及び民間機関からの「科学研究費補助金等の競争的資金による研究」、大学等の公的研究機関又は本事業の研究成果に興味を持ち研究協力を申し出た企業との「共同研究」、そして本法人独特の事業である「試作開発研究」として実施した。ここで試作開発研究とは、研究開発成果の完成度の更なる向上と実用化の促進を図るため、企業及び公的研究機関からの要請（委託）に応じて試作品を提供し、実装試験及び実機試験を行い、その評価結果を基に実用上での問題点の抽出とその改良、新規応用分野の開拓及び有効性の実証を行うものである。

2-2 研究開発事業の内容と実施体制

本年度実施した本法人の研究開発事業は、平成28年11月7日開催の理事会において承認された「中期事業計画（平成29年度から平成33年度まで）」に記載されている中期事業目標及び計画に基づいており、具体的な研究開発テーマは、以下の通りである。

- (1) 新機能電磁材料の研究開発
- (2) デバイス用高機能薄膜材料の研究開発
- (3) 次世代デバイスの研究開発
 - 1) 情報処理・制御デバイスの研究開発
 - 2) 電磁変換デバイスの研究開発
 - 3) 生体情報デバイスの研究開発
- (4) 次世代バルク機能材料の開発及びその試作研究
- (5) 高性能電磁素子及びデバイスの試作研究

これらの研究開発テーマは、以下に示す研究開発事業部の3研究開発部門及び2開発施設で実施した。各々の研究開発部門及び開発施設が実施した研究開発テーマは、以下の通りであった。

[研究開発部門]

- (1) 新機能材料創生部門：「新機能電磁材料の研究開発」
- (2) デバイス用高機能材料開発部門：「デバイス用高機能薄膜材料の研究開発」
- (3) 次世代デバイス開発部門：「次世代デバイスの研究開発」

[開発施設]

- (4) 素形材開発施設：「次世代バルク機能材料の開発及びその試作研究」

(5) デバイス開発施設：「高性能電磁素子及びデバイスの試作研究」

なお、本年度の各研究開発部門、開発施設、事業支援室及び事務部に所属する職員数は、下表の通りであった。

職員数（平成30年3月31日現在）

部門及び施設名	研究員数	嘱託研究員数	技術員数	嘱託技術員等	事務員	嘱託事務員等	合計
新機能材料創生部門	4名	0名	4名	0名	0名	0名	8名
デバイス用高性能材料開発部門	2名	1名	1名	1名	0名	0名	5名
次世代デバイス開発部門	2名	2名	2名	0名	0名	0名	6名
素形材開発施設	0名	0名	3名	0名	0名	0名	3名
デバイス開発施設	0名	1名	2名	0名	0名	0名	3名
事業支援室	0名	0名	0名	0名	0名	2名	2名
事務部	0名	0名	0名	0名	3名	4名	7名
計	8名	4名	12名	1名	3名	6名	34名

2-3 各研究開発部門及び開発施設の研究開発実施状況

本法人は、平成30年1月1日に、仙台市太白区八木山南二丁目1-1から富谷市成田九丁目5-1へ全面移転した。この移転及びその準備等のため、研究開発事業は、平成29年8月から12月頃までの約4ヶ月間中断せざるを得なかった。しかしながら、研究員及び技術員の努力、全職員の協力等により、本年度の研究開発目標をほぼ達成することが出来た。

各々の研究開発部門及び開発施設の本年度の研究開発実施状況は、以下の通りである。

[1] 新機能材料創生部門

本部門は、異種の機能性材料をナノサイズで複合化し組織制御するなどにより、電磁に関係する新機能性、高次機能性及び複合機能性を発現する新たな実用的機能材料の創生を図ることを目的としている。

本年度の具体的な研究開発テーマ及び得られた主な成果は、以下の通りである。

1-1) 透明強磁性ナノグラニューラ薄膜の磁気-光学効果に関する研究

本部門では、昨年度までに、FeCo合金ナノグラニューラがフッ化物のマトリックス中に分散したナノグラニューラ薄膜が、強磁性と高い光透過特性を併せ持つ透明強磁性体であることを明

らかにした。更に、FeCo-AlF 系薄膜において、YIG などの従来の磁気光学材料に比べ大きなファラデー効果を示すことも見出した。

本年度は、薄膜の組成系を拡張して磁気光学特性を検討した結果、FeCo-YF 系において、磁気光学材料として現在最も多用されている Bi-YIG の約 40 倍もの巨大なファラデー回転角が観測された。更に、ナノグラニュールを構成する Fe 及び Co の磁気モーメントを第一原理計算によって算出した結果、マトリックスとの界面近傍の軌道磁気モーメントが増大していることが明らかになった。

一般的にナノグラニュールのような複相構造体では、その磁気光学効果は Maxwell-Garnett モデルで説明されるが、このモデルにナノグラニュールの軌道磁気モーメントの増大分を取り込むことにより、本研究で見出されたナノグラニュール薄膜の巨大ファラデー回転角及びその波長依存性が定性的に説明可能であることが明らかになった。また、新たな組成として FeCo-BaF 系を取り上げ、その薄膜作製時に基板を加熱することにより、光透過率が向上することも見出した。このことは、マトリックス材料の結晶性を高めることによってナノグラニュール薄膜の磁気光学効果の性能指数が向上することを示すものである。

1-2) ナノグラニュール薄膜の高周波帯域での複合機能性の検討

本部門で見出されたナノグラニュール薄膜の磁気誘電効果は、ナノ構造に起因した量子効果によるもので、グラニュール間の電子のトンネル伝導に基づく電荷振動で説明される。

本年度は、主としてナノグラニュール薄膜のトンネル型磁気誘電効果 (TMD 効果) について検討した。本研究の実施に先立ち、先ず高周波帯域の誘電率測定法について検討を行い、薄膜試料の表面上にコプレーナ型伝送線路を形成し、線路間の電気容量の測定結果と電磁界シミュレーションの計算値を整合することにより誘電率を求める新たな測定方法を開発した。この方法は、薄膜表上面に伝送線路を形成するだけで誘電率を簡便にかつ精度良く測定できる特長を有している。しかしながら、TMD 効果などの誘電率の極微小な変化を測定するには更に精度を高める必要があることから、使用する電源及び温度の安定化など測定環境を整備することにより電気容量測定の S/N 比を高め、TMD 効果の周波数特性を GHz 帯域まで測定することに成功した。その結果、誘電緩和周波数近傍で TMD 効果が最大となり、磁界印加による誘電率の変化が極大を示すことなどが明らかになった。

1-3) 酸化物系複相薄膜における光電変換特性に関する基礎的研究

Ge-TiO₂ ナノグラニュール複相薄膜の光電変換特性を改善するためには、Ge ナノ粒子のサイズと密度の最適条件を同時に実現することが必要である。これを実現するための方策の一つとしては、成膜後に熱処理を施すことが考えられるが、この熱処理の際に薄膜中の Ge ナノ粒子が昇華してそのサイズと密度が共に変化してしまうことから、この方法による Ge ナノ粒子のサイズと密度の最適条件の同時実現は困難とされていた。

本年度は、Ge ナノ粒子のサイズと密度を独立に制御する新たな方法を見出すために、成膜時の基板加熱を検討した。その結果、薄膜中の粒子密度 (濃度) は、基板温度に依存せず Ge 添加量の増加と共に増大する傾向を示し、他方、粒子サイズは、Ge 添加量に依存せず基板温度の上昇と共に増大する傾向を示した。このことから、薄膜中の Ge ナノ粒子のサイズと密度は、Ge 添加量及び基板温度を変えることによりそれぞれ独立に制御でき、最適条件の同時実現の可能性が

見出された。

1-4) 特定元素添加による鉄酸化物薄膜の生成メカニズムの解明とその高品質化

本部門では、昨年度までに、 α - Fe_2O_3 をターゲットとし Mg 等の特定元素を少量添加してスパッター成膜すると γ - Fe_2O_3 薄膜が得られることを見出した。本研究は、鉄酸化物薄膜の成膜時の相転移に及ぼす微量元素の添加効果の解明を目的としている。

本年度は、 Fe_3O_4 薄膜を出発相とし、熱酸化処理による相転移と種々の添加元素との関係を検討した。その結果、 Fe_3O_4 薄膜の耐酸化性は、添加元素が Mg、W、Mo、Ge の順に向上し、特に Ge 添加の場合には、無添加の場合と比較すると約 2.5 倍の活性化エネルギーを有することが明らかになった。また、 α - Fe_2O_3 から γ - Fe_2O_3 への相転移を誘起する上記の Mg の添加は、無添加の場合の活性化エネルギーと殆ど変わらず、比較的容易に相転移することが確認された。このことから、蒸気圧が高い酸化物を形成する添加元素を選択すると、 Fe_3O_4 薄膜は相転移し難い傾向を示すことが明らかとなった。

1-5) 鉄酸化物エピタキシャル単結晶薄膜の合成

本研究は、種々の単結晶基板の上に Fe_3O_4 薄膜をエピタキシャル成長させ、格子ひずみを導入することにより結晶磁気異方性の増大を図ることを目的としている。

昨年度は、結晶格子のミスフィットが 0.3%と小さな $\text{MgO}(100)$ 基板上への Fe_3O_4 薄膜のエピタキシャル成長を試み、ロッキングカーブ半値幅が最小 50 秒程度の優れた結晶性を有する薄膜の作製に成功した。しかしながらこの薄膜は、断面 TEM 観察から界面拡散と積層欠陥を有していることが確認された。

本年度は、上記薄膜の成膜条件に関し種々検討を行った結果、成膜中のガス圧及び基板温度の低減によって界面拡散及び積層欠陥の発生が抑えられることが明らかになった。更に、ミスフィットが 7%と大きいことからエピタキシャル成長が困難であると予想される $\text{SrTiO}_3(100)$ 基板上への Fe_3O_4 薄膜のエピタキシャル成長を試み、XRD における ϕ スキャン観測によりエピタキシャル成長が可能であることを確認した。しかしながら、この薄膜では期待された磁気異方性の増大は確認されなかった。

また、本年度は、 MgO 基板上に成膜した Fe_3O_4 エピタキシャル薄膜の室温での異常ホール効果を評価した結果、レアメタルを全く含まないにも関わらず Fe あるいは Co と比較して 2 桁程度大きい $10\mu\Omega\text{cm}$ を超える大きなホール抵抗率 ρ_H を示すことが確認された。

[2] デバイス用高機能材料開発部門

本部門は、センサ、高周波デバイス及びアクチュエータ等のデバイスの高性能化を図るため、それらを構成する電磁薄膜材料の高機能化と新規機能薄膜材料の開発を目的としている。

本年度の具体的な研究開発テーマ及び得られた主な成果は、以下の通りである。

2-1) 新規高性能ひずみセンサ薄膜及び素子に関する基礎的研究

本部門で開発された Cr-N ひずみセンサ薄膜は、高感度ひずみ検出特性及びその安定した温度特性を有することから、各種力学量計測に広く利用されている。その Cr-N 薄膜の大きなひずみ検出感度（ゲージ率）の発生は、Cr の反強磁性に関連して生起するピエゾ抵抗効果に起因することが明らかになりつつある。

本年度は、Cr 及び Cr-N 薄膜の高いゲージ率の横感度係数がネール温度以下で発現し、ネール温度以上では通常の金属材料と同様にほぼゼロになることが明らかになった。今後は、更にその検証を進めると共に、Cr 及び Cr-N ひずみセンサ薄膜の高性能化及び新規高性能材料の開発を目指す予定である。

また、本年度は、本法人と共同研究を実施しているセンサ薄膜製造企業からユーザ企業へ Cr-N ひずみセンサの試作品供給が開始され、量産・製品化に向けた取り組みが始まった。来年度は、更に本格稼働を目指し、安定供給を可能とする体制の構築を図る予定である。

2-2) 特殊環境用新規ひずみセンサ素子の開発研究

内燃機関や各種プラント等の高温環境下、また、近年、水素エネルギー社会の実現に向けた動きが加速しつつあることから高圧水素雰囲気中などの特殊環境下での力学量検知のため、それら環境下でも安定した高感度ひずみ検出特性を有すると共に、簡便に使用可能で安価なひずみセンサの実現が熱望されている。

本年度は、高温域で安定な高感度ひずみ検出特性を示すひずみセンサ薄膜材料として新たに Cr 系薄膜材料を開発すると共に、高温力学量検知素子を試作し実機での評価試験を実施し、破壊や特性の経時変化を生じることなく一定した性能が得られることを確認した。

また、高圧水素ガス環境下でのひずみセンサ薄膜材料として新規な Cr-N 系薄膜材料を開発し、従来の市販材料と比較し本開発材料の優位性を明らかにした。

来年度は、これらの研究成果を踏まえ、更なる特性の向上と新規材料の開発を継続して進める予定である。

2-3) 高周波ナノグラニューラ薄膜の低損失化と高透磁率化に関する研究

本研究は、SHF 帯域(3~30 GHz)で使用可能な高性能磁気デバイスを実現するために必要不可欠な低損失・高透磁率特性を有するナノグラニューラ薄膜の開発を目的としている。

本年度は、これら特性を実現するため、従来使用してきた貴金属元素に代わり鉄元素を添加した FeCo-CaF 系薄膜材料を採り上げることにより、結晶磁気異方性が減少して強磁性共鳴周波数は少々低下するものの、透磁率は3倍以上に増加し、磁気損失の目安である共鳴半値幅は低減することが確認された。カルーセルスパッタリング法で成膜すると、膜組成が同一でも共鳴半値幅が更に低減し、また、膜厚が薄い場合には、共鳴半値幅が大幅に低減化することも確認された。

来年度は、これら基礎的知見を基に、SHF 帯域対応磁気デバイス用の高性能薄膜の実現を目指す予定である。

2-4) 非鉛系圧電セラミック膜の形成及びデバイス化に関する研究

本研究は、堅牢でバネ性、加工性に優れるステンレス金属基板上に成膜した非鉛圧電厚膜の圧電特性の向上を図り、そのデバイス応用を目的としている。

本年度は、圧電膜の物性評価のため、エアロゾルデポジション (AD) 法によりステンレス基板成膜した非鉛圧電 (BaTiO_3) 厚膜に、電場を印加した状態での X 線回折法による結晶構造の解析を行い、ドメイン構造と圧電特性の関係を検討した。その結果、ステンレス基板上に形成した厚膜材料と従来知られているバルク材料とでは電場印加により反転するドメインの体積分率が異なり、これが圧電特性の差異の原因となっていることを明らかにした。

また、本年度は、ステンレス金属基板上に非鉛圧電厚膜を成膜し、片持ちバネ型振動発電デバ

イスを試作し、デバイス応用のための基礎実験を開始した。

来年度は、本年度の成果をもとに、更なる非鉛圧電膜の特性向上とデバイス化に関する研究開発を推進する予定である。

【3】 次世代デバイス開発部門

次世代デバイス開発部門は、本法人で開発した各種機能薄膜材料を用いて高性能かつ超小型のセンサ素子及びデバイスの研究開発を行うと共に、外部機関との共同研究や試作開発研究を通して成果の実用化を推進し、広く社会に貢献することを目的としている。

本年度の具体的な研究開発テーマと実績は、以下の通りである。

3-1) 多次元磁気情報センシング技術の開発

本年度は、昨年度に引き続き、リチウムイオン二次電池等の品質検査への応用を目的として、磁気センサを用いた微小電流計測技術に関する研究開発を実施した。具体的には、リチウムイオン二次電池のセパレータを通して流れる微弱短絡電流による低漏洩磁界を検出するため、高感度GIGS[®]素子（検出限界 44 nT 以下）を高密度に実装した 300ch 磁気センサモジュール（専用同期検波 IC 搭載）を試作し、約 1.6 mA の微弱電流の検出に成功した。

来年度は、更なる高感度化を目指し、GHz 帯域のキャリア信号を利用した高感度磁気センサを高密度に実装した磁気センサモジュールを試作し、その有用性を検証する予定である。また、この技術の新たな応用展開も図る予定である。

3-2) 磁気光学応用デバイスの開発

本研究は、ナノグラニューラー薄膜のファラデー効果を利用したプローブ型高感度磁界センサの開発を目的としている。

本年度は、各種磁気光学特性の評価装置を整備して、ナノグラニューラー薄膜のファラデー効果及び基本的光学特性の測定を行い、ナノグラニューラー薄膜中の磁性金属組成等に対するファラデー回転角と光透過率との関係を明らかにし、磁界センサへ適用する際の最適な組成範囲を見出した。

来年度は、本年度の基礎的研究成果を基に、プローブ型高感度磁界センサの実用化を目指した開発を進める予定である。

3-3) 装着型運動情報計測システムの開発

本年度は、本部門で進めてきた歩行時に足裏部位に加わる反力を計測する靴底センサシステムにおいて、センサからの出力信号の処理技術の高速化を検討し、従来（応答性 90Hz）に比べ、5 倍以上の高速化（同 約 500Hz）を実現し、歩行事象の詳細な時間経過を記録することに成功した。また、靴底センサシステムで計測した反力情報を用いて体重心位置などを推定するための技術開発を行い、運動時の動作解析に十分応用可能であることを明らかにした。

来年度は、より正確な歩行事象の検出を目指し、磁気を利用した位置検出システムとの統合を図ると共に、信号解析及びイベント表示ソフトウェアの最適化を行う予定である。

3-4) 三次元位置計測システムの開発

本年度は、昨年度に引き続き、医療福祉用の高精度磁気マーカ位置計測技術の開発研究を実施した。具体的には、FPGA（Field-Programmable Gate Array）を搭載した位置計測システムと、

磁性体と励磁回路を含む小型磁気マーカを試作し、磁気マーカから発信される磁気情報を基に、最大3個の磁気マーカの位置計算を短時間で行うと共に、位置を表示するシステムの開発に成功した。

来年度は、本年度の研究成果を基に、更なる高精度・高速演算を可能とする最適アルゴリズムを検討してシステムの高性能化を図ると共に、人体に装着する運動情報システムへの応用を目指す予定である。

【4】 デバイス開発施設

デバイス開発施設では、平成29年11月に増築したクリーンルーム棟の1階にクリーンルーム（178 m²リタースペースを含む。）を新設して、半自動両面マスクアライメント装置を新規購入して設置すると共に、各種関連実験装置を一括集約した。来年度は、これら実験装置を駆使して高精度で高効率な電磁素子及びデバイスの作製プロセスを確立し、安定した試作品の提供体制を構築する予定である。

また本年度は、試作開発研究として外部機関の実証試験に供するため、「GIGS[®]磁気センサ」、「Cr 基薄膜ひずみセンサ」及び「非鉛圧電センサ」を外部機関の希望仕様に合わせ作製し提供して、その実用化を推進した。

【5】 素形材開発施設

素形材開発施設では、本法人で発明・開発した各種機能性バルク材料の実用化を目的に、積極的に試作開発研究を進めている。

本年度は、本法人の移転に伴い、本施設が保有している溶解炉、鍛造マシン、熱間圧延機、伸線機、熱処理炉などの重機械をはじめ多くの試作設備を移設し、移設前と同じ性能で稼動することの確認作業を行った。本施設は、この移転作業のため約4ヶ月間は試作開発等の作業を中断せざるを得なかったが、昨年度に引続き今年度も外部機関からの依頼に基づき、「時計用ひげゼンマイ用コエリンバー、パラコロイ」、「プラチロンマグネット」、「エルコロイ」、「パーマロイ」等の試作品を希望仕様に合わせ作製し提供して、その実用化を推進した。この試作品の提供額は、前年度比で90%を超える見込みである。

2-4 共同研究及び試作開発研究等

本法人では、研究成果の学術的・社会的貢献の観点から、公的研究機関や企業との共同研究及び試作開発研究、並びに公的及び民間機関からの科学研究費補助金等の競争的資金による研究を精力的に進めている。また、公的プロジェクト研究への参加も積極的に実施している。

本年度に本法人が実行した他機関との共同研究、試作開発研究並びに公的及び民間機関からの競争的科学研究（助成）は、以下の通りである。

【1】 共同研究（34件）

1-1）新機能材料関係の共同研究・・・・・・・・・・・・・・・・ 6件

(共同研究先：東北大学学際科学フロンティア研究所、東北大学工学部、東北大学金属材料研究所、東北学院大学、大阪大学ナノテクノロジー共用拠点、企業1社)

1-2) デバイス用材料関係の共同研究 18件

(共同研究先：東北大学工学研究科2件、新潟大学工学部、産業技術総合研究所、企業14社)

1-3) 次世代デバイス関係の共同研究 6件

(共同研究先：東北大学工学部、企業5社)

1-4) 素形材関係の共同研究 4件

(共同研究先：企業4社)

[2] 試作開発研究 (87件)

2-1) Cr系薄膜ひずみセンサ関係の研究 6件

(試作品提供先：企業4社)

2-2) 非鉛圧電素子関係の研究 1件

(試作品提供先：東北大学学際科学フロンティア研究所)

2-3) コエリンバー等バルク機能性材料関係の研究 73件

(試作品提供先：企業15社)

2-4) 磁気特性の分析評価 7件

(試作品提供先：企業1社)

[3] 公的及び民間機関からの科学研究費補助金等の競争的資金による研究 (5件)

3-1) 交付者：(独)日本学術振興会 (5件)

イ) 補助金の名称：科学研究費助成 基盤研究 (B) (H27.4~H30.3)

研究テーマ：「室温動作のセンサで最高感度を有する高周波駆動薄膜磁界センサの開発と生体磁気計測」

研究代表者：藪上 信 (東北学院大学教授)

研究分担者：小林伸聖 (電磁材料研究所主席研究員)

ロ) 補助金の名称：科学研究費助成 基盤研究 (B) (H29.4~H32.3)

研究テーマ：「新しい磁気光学効果を示すナノグラニューラー透明強磁性材料の開発」

研究代表者：小林伸聖 (電磁材料研究所主席研究員)

研究分担者：池田賢司 (電磁材料研究所研究員)

増本 博 (東北大学学際科学フロンティア研究所教授)

藪上 信 (東北学院大学教授)

ハ) 補助金の名称：科学研究費助成 基盤研究 (C) (H29.4~H32.3)

研究テーマ：「元素添加マグネタイト薄膜の整合性歪による磁気異方性制御」

研究代表者：渡邊雅人 (電磁材料研究所主任研究員)

研究分担者：阿部世嗣 (電磁材料研究所主席研究員)

ニ) 補助金の名称：科学研究費助成 基盤研究 (C) (H29.4~H32.3)

研究テーマ：「ナノグラニューラー薄膜の構造制御による複合機能材料の開発」

研究代表者：池田賢司（電磁材料研究所研究員）

研究分担者：小林伸聖（電磁材料研究所主席研究員）

藪上 信（東北学院大学教授）

ホ) 補助金の名称：科学研究費助成 基盤研究（B）（H29.4～H32.3）

研究テーマ：「強磁性金属－強誘電体ナノ複相薄膜の作製による新複機能物性材料の開発」

研究代表者：増本 博（東北大学学際科学フロンティア研究所教授）

研究分担者：小林伸聖（電磁材料研究所主席研究員）

池田賢司（電磁材料研究所研究員）

青木英恵（東北大学学際科学フロンティア研究所助教）

2-5 研究成果の報告、特許出願及び主な取得設備

本法人では、研究開発により得られた成果を一般の研究者、技術者、企業家等に広く公開・提供すると共に、地域社会への貢献重視の観点から、地方自治体、地元大学・企業との協同事業（展示会・発表会等）にも積極的に参加するなどして、学術的・社会的貢献を果たしている。また、知的財産の取得は、わが国の科学技術の発展に寄与するばかりでなく、最先端技術の保護としても極めて重要であることから、国内外に積極的に出願・登録し、本法人独自の技術資産の蓄積を図っている。

本年度の本法人の研究成果の報告、特許出願及び主な取得設備等は、以下の通りである。

[1] 研究成果の報告

1-1) 論文（20編）

（新機能材料関係）

1. Y. Cao, N. Kobayashi, Y. W. Zhang, S. Ohnuma, and H. Masumoto: Enhancement of low-field magneto-dielectric response in two-dimensional Co/AlF granular films. Appl. Phys. Lett., 110, (2017) 072902; DOI: 10.1063/1.4976743
2. Yang Cao, Yiwen Zhang, Shigehiro Ohnuma, Nobukiyo Kobayashi, and Hiroshi Masumoto: Control of the static and high-frequency magnetic properties of perpendicular anisotropic Co-HfN granular films through insertion of HfN interlayers. Japanese Journal of Applied Physics, 56, (2017) 040307
3. Y. Cao, Y. W. Zhang, S. Ohnuma, N. Kobayashi, and H. Masumoto: Magnetic properties and thermal stability of Co/HfN multilayer films for high frequency Application. AIP Advances, 7, (2017) 065202; doi: 10.1063/1.4983402
4. Y. Ogata, H. Chudo, B. Gua, N. Kobayashi, M. Ono, K. Harii, M. Matsuo, E. Saitoh, S. Maekawa: Enhanced orbital magnetic moment in FeCo nanogranules observed by Barnett effect, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 442, (2017) 329-331

5. Kenji Ikeda, Nobukiyo Kobayashi, Ken-Ichi Arai, Shin Yabukami : Magnetolectric effect in nanogranular FeCo-MgF films at GHz frequencies, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 446, (2018) 80-85
6. Y. Cao, A. Umetsu, N. Kobayashi, S. Ohnuma, and H. Masumoto : Tunable frequency response of tunnel-type magneto-dielectric effect in Co₂MgF₂ granular films with different content of Co. Appl. Phys. Lett., 111, (2017) 122901
7. 早坂淳一, 白川究, 小林伸聖, 荒井賢一, 大竹伸明, 森平浩史, 坂本修司 : アレイ型 TMR 磁気センサモジュールによるリチウムイオン電池の漏洩電流検出. 電気学会論文誌 A, 137, (2017) 481-486
8. Yang Cao, Nobukiyo Kobayashi, Yi-Wen Zhang, Shigehiro Ohnuma, and Hiroshi Masumoto : Enhanced spin-dependent charge transport of Co-(Al-fluoride) granular nanocomposite by co-separate sputtering. Journal of Applied Physics, 122, (2017) 133903
9. 池田 賢司, 小林 伸聖, 藪上 信, 荒井 賢一 : FeCo-MgF ナノグラニューラー薄膜の高周波磁気誘電効果, 電気学会マグネティックス研究会資料(2017年8月, 長崎)
10. 小林伸聖 : 機能性ナノグラニューラー薄膜の研究開発の新展開, Magnetism Jpn., 12, (2017) 292-296
11. 小林伸聖 : ナノグラニューラー透明強磁性材料の開発, 応用物理, 87, (2018) 21-24
12. 小林伸聖 : ナノグラニューラー膜を用いた高感度・小型磁気センサ GIGS®, シーエムシー出版刊, 『自動運転車・ミラーレス車用カメラ・センサの技術と市場』, (2018) 35-44
13. S. Abe and M. Watanabe : Phase-transformation in iron oxide and formation of Cu/ γ -Fe₂O₃ nanocomposite using radio-frequency sputtering with metal chips on α -Fe₂O₃ target, AIP advances, 7, (2017) 075317 1-10
14. S. Abe : Correlation between crystallization temperature and Ge concentration in Ge-TiO₂ nanocomposite thin films, Thin Solid Films, 636, (2017) 183-187

(デバイス用材料関係)

1. 丹羽英二, 三上 浩 : 高圧水素ガス環境用 Cr-N 薄膜ひずみセンサおよび圧力センサ, 電気学会・フィジカルセンサ研究会 (2017年6月, 姫路)
2. 直江正幸, 武田 茂, 本間 敦 : 組成により 10 GHz を超える共鳴周波数を呈するナノグラニューラー強磁性膜, 電気学会マグネティックス研究会 (2017年7月, 仙台)
3. 丹羽英二 : 高温域で安定な高ゲージ率を示す Cr - Al-N 薄膜ひずみセンサ, 第 34 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム講演論文集 (2017年10月, 広島)
4. S. Takeda and M. Naoe : Size optimization for complex permeability measurement of magnetic thin films using a short-circuited microstrip line up to 30 GHz, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 449, (2017) 530-537.
5. J. Ma, S. Muroga, Y. Endo, S. Hashi, M. Naoe, H. Yokoyama, Y. Hayashi and K. Ishiyama : Noise suppression and crosstalk analysis of on-chip magnetic film-type noise suppressor, AIP Advances, 8, (2017) 056613

(次世代デバイス関係)

1. 早坂 淳一, 白川 究, 小林 伸聖, 荒井 賢一, 大竹 伸明, 森平 浩史, 坂本 修司: アレイ型 TMR 磁気センサモジュールによるリチウムイオン電池の漏洩電流検出, 電気学会論文誌 A, 137, (2017) 481-486 (新機能材料関係論文 7 と同一)
2. Shigenobu Koyama, Kazuki Minami, Hiroki Iwama, Junichi Hayasaka and Toshiyuki Shima: Tunable Bias Magnetic Field of Nano-granular TMR Sensor Using FePt Film Magnet, IEEE Trans. on Magnetics, 53, (2017) 4003004

1-2) 国際会議発表 (2 件)

(新機能材料関係)

1. S. Abe: Phase transformation from PbS to PbSe in hot-wall deposition of nanocomposite thin film with evaporation sources of PbS and ZnSe, 29th International Conference on Defects in Semiconductors, 2017, Matsue, Japan

(次世代デバイス関係)

1. Koyama Shigenobu, Minami Kazuki, Iwama Hiroki, Hayasaka Junichi and Shima Toshiyuki: Tunable bias magnetic field of Nano-granular TMR sensor using FePt film magnet, 2017 IEEE International Magnetism Conference (INTERMAG), 2017, Dublin, Ireland.

1-3) 国内会議発表 (28 件)

(新機能材料関係)

1. 王誠, 曹洋, 張亦文, 大沼繁弘, 小林伸聖, 増本博: マグネトロンスパッタ法により作製した Co-SrF₂ ナノ複相薄膜の構造とトンネル磁気誘電特性, 日本セラミックス協会第 30 回秋季シンポジウム(2017 年 9 月, 神戸)
2. Yang Cao, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma and Hiroshi Masumoto: Giant Enhancement of Tunnel-type Magneto-Dielectric Effect in Co₂Fe-MgF₂ Granular Films, 日本金属学会 2017 年秋季講演会(2017 年 9 月, 札幌)
3. 王誠, 曹洋, 張亦文, 大沼繁弘, 小林伸聖, 増本博: 多元分離式スパッタリング法により作製した Co-Sr-F ナノ複相薄膜のトンネル磁気誘電特性, 日本金属学会 2017 年秋季講演会(2017 年 9 月, 札幌)
4. 小林伸聖, 池田賢司, 増本博, 高橋三郎, 前川禎通: 金属-フッ化物ナノグラニューラー膜の TMD 効果に基づく磁気光学効果, 日本金属学会 2017 年秋季講演会(2017 年 9 月, 札幌)
5. Yang Cao, Nobukiyo Kobayashi, Shigehiro Ohnuma, and Hiroshi Masumoto: Dielectric and magneto-dielectric response in (Co-Fe-Si)-(Mg-F) nanocomposite films, 日本セラミックス協会東北北海道支部研究発表会(2017 年 11 月, 仙台)
6. Cheng Wang, Yang Cao, Yiwen Zhang, Shigehiro Ohnuma, Nobukiyo Kobayashi, and Hiroshi Masumoto: Structure and Tunnel Magneto-Dielectric Properties of Co-Sr-F Nano Composite Thin Films, 日本セラミックス協会東北北海道支部研究発表会(2017 年 11 月, 仙台)

7. 曹洋, 小林伸聖, 大沼繁弘, 増本博: Large enhanced tunneling magneto-dielectric response in Co-MgF₂ films by addition of Si, 日本金属学会春季講演会(2018年3月, 千葉)
8. 曹洋, 小林伸聖, 大沼繁弘, 増本博: Large enhanced tunneling magneto-dielectric response in Co-MgF₂ films by addition of Si, 日本金属学会春季講演会(2018年3月, 千葉)
9. 王誠, 曹洋, 小林伸聖, 大沼繁弘, 増本博: 多元分離式スパッタリング法により作製したCo-Dy-Fナノ複相薄膜の構造とトンネル磁気誘電特性, 日本金属学会春季講演会(2018年3月, 千葉)
10. 曹洋, 小林伸聖, 大沼繁弘, 増本博: Enhancement effect of minor addition of Si on magneto-dielectric properties in Co₂Fe-MgF₂ nano-granular films, 日本セラミックス協会 2018 年年会(2018年3月, 仙台)
11. 王誠, 曹洋, 小林伸聖, 大沼繁弘, 増本博: Tunneling Magneto-dielectric response enhancement of Co-Sr-F nano-composite thin films by Gd doping, 日本セラミックス協会 2018 年年会(2018年3月, 仙台)
12. 池田賢司, 小林伸聖, 藪上信, 荒井賢一: FeCo-MgF ナノグラニューラー薄膜における高周波 TMD 効果, 第 41 回日本磁気学会学術講演会(2017年9月, 博多)
13. 小林伸聖, 池田賢司, 増本博, 高橋三郎, 前川禎通: 光透過性を有する磁性金属-フッ化物ナノグラニューラー膜の磁気光学効果, 第 41 回日本磁気学会学術講演会(2017年9月, 博多)
14. 池田賢司, 小林伸聖, 藪上信, 荒井賢一: FeCo-MgF ナノグラニューラー薄膜の高周波磁気誘電効果, 電気学会マグネティックス研究会(2017年8月, 長崎)
15. 渡邊雅人, 阿部世嗣: マグネタイト Fe₃O₄ エピタキシャルスパッタ薄膜の構造と磁気特性, 日本金属学会 2017 年秋季講演会(2017年9月, 札幌)
16. 阿部世嗣: 金属元素添加による鉄酸化物薄膜の高機能化, 日本金属学会エレクトロニクス薄膜材料研究会 (2017年11月, 姫路) (招待講演)
17. 阿部世嗣: InSb および Ge 添加 ZnO 薄膜の作製, 日本金属学会春期大会 (2018年3月, 千葉)
18. 阿部世嗣: マグネタイト薄膜の耐酸化性と添加元素の関係, 日本金属学会秋期大会(2017年9月, 札幌)

(デバイス用材料関係)

1. 丹羽英二, 三上 浩: 高圧水素ガス環境用 Cr-N 薄膜ひずみセンサおよび圧力センサ, 電気学会フィジカルセンサ研究会 (2017年6月, 姫路)
2. 直江正幸, 武田 茂, 本間 敦: 組成により 10 GHz を超える共鳴周波数を呈するナノグラニューラー強磁性膜, 電気学会マグネティックス研究会(2017年7月, 仙台)
3. 丹羽英二: 高温域における Cr-Mn 薄膜の大きなゲージ率, 応用物理学会秋季講演会(2017年9月, 福岡)
4. 丹羽英二: 高温域で安定な高ゲージ率を示す Cr - Al-N 薄膜ひずみセンサ, 電気学会 E

部門大会・第34回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム(2017年10月, 広島)

5. 川上祥広, 渡邊雅人, 荒井賢一, 杉本諭: AD法で成膜したBaTiO₃厚膜の圧電特性に与えるドメイン構造の影響, 第37回エレクトロセラミックス研究討論会(2017年10月, 川崎)
6. 丹羽英二, 林 晋也, 須貝一郎, 野口幸紀: 塗布型粘土絶縁膜を用いたCr-N薄膜ひずみセンサ, 電気学会全国大会(2018年3月, 福岡)
7. 川上祥広, 渡邊雅人, 荒井賢一, 杉本諭: 電場印加によるドメイン反転がBaTiO₃膜の圧電特性に及ぼす影響, 日本セラミックス協会2018年年会(2018年3月, 仙台)

(次世代デバイス関係)

1. 若生直樹, 早坂淳一, 荒井賢一, 鈴木和浩: 医療教材用3次元位置計測システムの最適化に関する検討, 第56回日本生体医工学会(2017年5月, 仙台)
2. 藪上 信, 植竹 宏明, 小野寺 英彦, 小林 伸聖, 早坂 淳一, 荒井 賢一: SmCo薄膜を用いたミアンダコプレーナ線路型薄膜センサ, 第41回日本磁気学会学術講演会(2017年9月, 福岡)
3. 高野 誠也, 進藤 真人, 山口 健, 佐々木 祥弘, 堀切川 一男: 高耐荷重靴底センサシステムを用いた歩行中の身体重心位置推定に関する研究, 日本設計工学会 秋季研究発表講演会(2017年10月, 愛媛)

1-4) 展示会への出展(5件)

(デバイス用材料関係)

1. 展示会名称: センサエキスポジャパン 2017
開催日: 2017年9月13~15日
場 所: 東京ビッグサイト
展示テーマ: Cr-N薄膜ひずみセンサ(株タイセー)
2. 展示会名称: 2017国際ロボット展
開催日: 2017年11月29~12月2日
場 所: 東京ビッグサイト
展示テーマ: トヨタ-ヒューマノイドロボットT-HR3(トヨタ自動車株)
3. 展示会名称: 新機能性材料展 2018
開催日: 2018年2月14~16日
場 所: 東京ビッグサイト
展示テーマ: 金属用塗布型粘土コーティング「クレコート」(株イチネンケミカルズ)

(次世代デバイス関係)

1. 展示会名称: 第8回非破壊評価総合展 2017
開催日: 2017年7月19~21日
場 所: 東京国際展示場 東展示場 東2ホール
展示テーマ: 多チャンネル2次元アレイ型センサモジュールによるリチウムイオン2次電池の欠陥検査

2. 展示会名称：JST フェア 2017 科学技術による未来の産業創造展
開催日：2017年8月31～9月1日
場 所：東京国際展示場 東展示場 東4ホール
展示テーマ：磁気センサによるリチウムイオン二次電池の非破壊検査

[2] 特許出願（4件）

2-1) 国内出願（4件）

1. Cr 基ひずみ薄膜センサ関係の特許・・・3件
2. 磁界センサ関係の特許・・・・・・・・・・1件

[3] 主な取得設備

(次世代デバイス関係)

1. 半自動両面マスクアライメント装置,
2. ボールワイヤー・バンプボンダー装置

3. 収益事業

上記の公益目的事業のほか、本法人の目的を達成するために必要な事業として、下記の収益事業を行った。

3-1 事業内容

[1] 知的財産権の供与

本法人では、電磁関連の機能材料及びデバイスに関し、今までに約400件の知的財産権（特許等）を取得し、現在なお国内36件、国外4件（延べ16地域及び国）の知的財産権を保有している。本法人では、これら知的財産権を企業が広く利用し社会に役立ててもらうため、所有する知的財産権の供与事業を行っている。

本年度は、昨年度に引き続き2社に28件の知的財産権を供与した。

[2] その他の収益事業

その他の収益事業として、本法人の公益目的事業遂行の妨げにならない範囲内で、所有する土地の一部を民間に賃貸する事業を行った。

本年度は、3件の賃貸事業を行った。

3-2 収益事業に係る契約

本法人が本年度に締結した収益事業に係る契約は、以下の通りである。

[1] 特許実施契約（2社、28件）

1. Cr 基ひずみセンサ関係・・・・・・・・・・ 1社 （継続、3件（包括契約））

2. GIGS® 磁気センサ関係・・・・・・・・・・1社（継続、25件（包括契約））

[2] 土地の賃貸契約（3件）

1. NTTドコモの携帯電話無線局用土地（継続）
2. 東北電力の電柱用土地（継続）
3. 日本赤十字病院の職員用駐車場（継続）

II 処務の状況

1 規則及び規程等の整備

1-1 改正

1. 定款（平成30年1月1日施行）
2. 給与規程（平成30年1月1日施行）
3. 交通費支給内規（平成30年1月1日施行）
4. 資産運用管理規程（平成29年12月8日施行）
5. 資産取得資金「電磁材料研究所移転先用地及び建物取得資金」（平成29年3月31日施行）
6. 公的研究費の適正な執行に係る実施要項（平成29年4月1日施行）
7. 研究開発事業に係る予算執行の事務取扱要項（平成29年4月1日施行）

2. 会議

平成29年4月1日から平成30年3月31日の間に、下記の会議を開催した。

2-1 評議員会

平成29年6月16日（定時）、平成29年12月18日（臨時）、
平成30年3月14日（臨時）

2-2 理事会

平成29年5月17日（定時）、平成29年6月16日（臨時）、
平成29年12月8日（臨時）、平成30年3月5日（定時）

2-3 常任理事会

平成29年4月21日、平成29年5月10日、平成29年6月13日（臨時）
平成29年6月26日、平成29年7月28日、平成29年9月25日

平成29年10月27日、平成29年11月22日、平成29年12月15日
平成30年1月19日、平成30年2月23日、平成30年3月23日

2-4 諸委員会

1. 財務基盤調査検討委員会：6回
2. 資産運用管理委員会：6回
3. 公益目的事業推進委員会（拡大会議）：2回
4. 特別委員会（研究棟将来計画検討委員会）：3回

Ⅲ 事業報告の附属明細書

平成29年度事業報告には、「一般社団法人及び一般財団法人に関する法律施行規則」第34条第3項に規定する附属明細書「事業報告の内容を補足する重要な事項」が存在しないので作成しない。