

未来社会創造事業 大規模プロジェクト型  
年次報告書

|                    |
|--------------------|
| 令和3年度<br>研究開発年次報告書 |
|--------------------|

令和2年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名：中辻 知]

[東京大学 トランススケール量子科学国際連携研究機構・機構長]

[研究開発課題名：スピントロニクス光電インターフェースの基盤技術の創成]

実施期間：令和3年4月1日～令和4年3月31日

## §1. 研究開発実施体制

### (1)「スピントロニクス」グループ(東京大学)

① 研究開発代表者: 中辻 知 (東京大学トランススケール量子科学国際連携研究機構、機構長)

#### ② 研究項目

- ・トポロジカル反強磁性体を中心とした材料開発と物性評価
- ・磁性体のダイナミクス制御手法の開発

### (2)「スピントロニクス」グループ(産業技術総合研究所)

① 主たる共同研究者: 薬師寺啓 (産業技術総合研究所新原理コンピューティングセンター、研究チーム長)

#### ② 研究項目

- ・磁性体積層薄膜の開発

### (3)「スピントロニクス」グループ(理化学研究所)

① 主たる共同研究者: 近藤浩太 (理化学研究所創発物性科学研究センター、上級研究員)

#### ② 研究項目

- ・トポロジカル反強磁性体のダイナミクス評価

### (4)「光電変換」グループ(東京大学)

① 主たる共同研究者: 竹中 充 (東京大学大学院工学系研究科、教授)

#### ② 研究項目

- ・光電変換素子構造の理論検討
- ・素子作製に向けたプロセス検討

### (5)「光電変換」グループ(産業技術総合研究所)

① 主たる共同研究者: 岡野 誠 (産業技術総合研究所プラットフォームフォトニクス研究センター、研究チーム長)

#### ② 研究項目

- ・光電変換素子の研究

### (6)「磁気光学」グループ(東京大学)

① 主たる共同研究者: 島野 亮 (東京大学トランススケール量子科学国際連携研究機構、教授)

#### ② 研究項目

- ・磁性体の高速ダイナミクス評価技術の開発

### (7)「磁気光学」グループ(日本大学)

① 主たる共同研究者: 塚本 新 (日本大学理工学部、教授)

#### ② 研究項目

- ・磁性体の高速ダイナミクス制御
- ・磁性体の高速ダイナミクス評価技術の開発

(8)「理論」グループ(東北大学)

- ① 主たる共同研究者:是常 隆 (東北大学理学研究科、准教授)
- ② 研究項目
  - ・磁性体データベースの構築と新材料探索

(9)「理論」グループ(東京大学)

- ① 主たる共同研究者:有田亮太郎 (東京大学大学院工学系研究科、教授)
- ② 研究項目
  - ・磁気ダイナミクスシミュレーションと新材料開発

## § 2. 研究開発成果の概要

スピントロニクス光電インターフェースの要素技術開発へ向け、以下の研究開発を推進した：

- ・評価系の構築を進めるとともに、中核となる磁性体材料について高品質化、加工技術の向上に努め、デバイス応用へ向けた高機能な材料の開発に成功した。また、磁性体における新奇スピンホール効果の研究も行い、従来型のスピンホール効果に比べて大きな電流-スピン変換効率を持つことを明らかにした。

- ・受光素子機構の物理知見に基づく理論検討により、従来型にくらべ高速動作が可能である受光原理と素子構造を明らかにした。また、III-V 族半導体薄膜光集積プラットフォームにおいて能動・受動集積技術を確立した。素子集積に向けては、プロセスフォームの策定を進めるとともに、集積用光電変換素子のフォトマスク設計を行った。

- ・材料開発チームの作成した磁性体材料に対して、磁性体の高速制御技術、及び高速ダイナミクス評価技術の開発を行った。特に光による磁性体の制御の高速化・低パワー化、素子動作評価系の構築、及び高時空間分解能のイメージング装置の開発に着手した。

- ・中核となる磁性体材料の開発に向けて、磁気相互作用などのハイスループット計算を通してデータベース構築を進めた。また、探索範囲拡大のため、合金系を対象にした計算手法の開発を行った。電流による  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  の磁化反転についても理論解析を行い、スピン軌道トルクによる垂直磁化反転が可能であることや、その閾値電流が実験と整合することを明らかにした。

- ・プロジェクトのマネジメント体制の拡充を行った。プロジェクト全体に纏わるサポート機能の拡充を行い、プロジェクトの管理体制の改善、知財活動の推進、研究活動のサポートに着手した。

### 【代表的な原著論文情報】

「トポロジカル磁性体での新奇スピンホール効果に由来する巨大な磁場-like トルク」

K. Kondou et al., Nature Commun. (2021).

トポロジカル磁性体  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  において、従来型のスピンホール効果とは異なり、磁化の方向制御によりスピン蓄積方向を選択できる「磁気スピンホール効果」を発見した。2020 年度は高速・高効率書き込みへ向けた学理の構築を目的として、FIB で微細加工された単結晶  $\text{Mn}_3\text{Sn}$  由来のスピントルク計測を行った。理論計算との比較から、トポロジカル磁性体で観測された新奇スピンホール効果は、白金などのスピンホール材料よりも数倍大きな電流-スピン変換効率を持つことを明らかにした。さらに、従来のスピンホール効果とは異なり、試料の面直方向に偏極したスピン蓄積とそれに由来する巨大な磁場-like なスピントルクが生じていることを明らかにした。本研究はスピndeバイスの高効率書き込みに繋がる本プロジェクトの主要な論文成果である。