

二次元機能性原子・分子薄膜の創製と利用に資する基盤技術の創出
平成 26 年度採択研究代表者

2018 年度 実績報告書

富永 淳二

産業技術総合研究所ナノエレクトロニクス研究部門
首席研究員

カルコゲン化合物・超格子のトポロジカル相転移を利用した
二次元マルチフェロイック機能デバイスの創製

§ 1. 研究成果の概要

研究活動も 5 年目を迎え、基礎からより応用に焦点を合わせた研究にベクトルを向けた。中でも GeTe/Sb₂Te₃ 超格子系材料がもつ顕著なスピン特性は、室温でも十分測定できるため、応用デバイスの検討が始まった。特許出願を完了し、実際に簡単な機能デバイスを作製して原理の検証とその性能を比較するところまで研究を展開することができた。デバイスの構成および実験の詳細については論文執筆中のため本報告書の「非公開」部分に記載した。

デバイス機能をサポートする理論部分では、第一原理計算を用いて実際に W 電極に挟まれた超格子系のシミュレーションを実施し、昨年報告済みの抵抗変化のみならず、抵抗変化を発生させる相転移の機構により踏む込み、反応(相転移)経路の解析を行った。シミュレーション結果とデバイス実験により、複数の電気抵抗状態に至る過程を解明できた。二端子型新機能デバイスでは、従来の相変化合金材料では決して達成できない電界効果による相転移が初めて確認され、安定動作することが確認できた。また外部磁場印加により 160°C 以上の温度で、セット状態(低抵抗)をリセット状態(高抵抗)に戻すことが可能であることが示された。その結果、我々の期待通り超格子型相変化メモリの開発当初からの動作原理の正当性が確認できた。さらにトポロジカルな電子の挙動を光で解析する手法の開発に筑波大学が成功している。ARPES と呼ばれる装置を用いなくても、代替技術としてトポロジカル絶縁体を容易に確認できる手段として今後利用されるだろう。本研究論文は 2018 年の Scientific Report の Top Physics 100 に選定された。

【代表的な原著論文】

1. R. Mondal, Y. Saito, Y. Aihara, P. Fons, A. V. Kolobov, J. Tominaga, S. Murakami, and M. Hase, "A cascading nonlinear magneto-optical effect in topological insulators", *Sci. Rep.* vol. **8**, p.3908 (2018).
2. R. Mondal, Y. Saito, Y. Aihara, P. Fons, A. V. Kolobov, J. Tominaga, and M. Hase, A topological phase buried in a chalcogenide superlattice monitored by a helicity dependent Kerr measurement", *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. **10**, pp. 26781-26786 (2018).
3. Leonid Bolotov and Junji Tominaga, "Local magnetization of GeTe/Sb₂Te₃ superlattice films using a scanning probe microscope", *AIP Advances*, vol. **8**, No. 12, pp. 125004-1 - 125004-7, 2018
4. Nobuki Inoue and Hisao Nakamura, "Structural transition pathway and bipolar switching of the GeTe-Sb₂Te₃ superlattice as interfacial phase-change memory", *Faraday Discussions*, vol. **213**, pp 303-319, 2019
5. K. Makino, K. Kato, Y. Saito, P. Fons, A. V. Kolobov, J. Tominaga, T. Nakano, and M. Nakajima, "Terahertz generation measurements of multilayered GeTe-Sb₂Te₃ phase change materials", *Opt. Lett.* vol. **44**, pp.1355, 2019

§ 2. 研究実施体制

(1)「産業技術総合研究所」グループ

- ① 研究代表者:富永 淳二 (産業技術総合研究所ナノエレクトロニクス研究部門
首席研究員)
- ② 研究項目: カルコゲン超格子によるトポロジカル機能発現とマルチフェロイック機能
デバイスの創製
 1. ナノ構造創製と機能発現
 2. トポロジカル相転移材料及びデバイスの理論・シミュレーション
 3. 革新的マルチフェロイック機能電子デバイスの創製
 4. ヘリカルスピン制御型光デバイスの創製

(2)「豊田工業大学」グループ

- ① 主たる共同研究者:栗野 博之 (豊田工業大学大学院工学研究科 教授)
- ② 研究項目: カルコゲン超格子における磁気応答の研究
 1. GeTe/ Sb₂Te₃ 超格子における磁気光学効果の研究
 2. GeTe/ Sb₂Te₃ 超格子における磁気抵抗効果、異常ホール効果、スピン波伝搬の研究

(3)「筑波大学」グループ-1

- ① 主たる共同研究者:長谷 宗明 (筑波大学数理物質系・物理工学域 教授)
- ② 研究項目: カルコゲン化合物・超格子における磁気コヒーレンスの生成と検出
 1. カルコゲン化合物・超格子における磁気コヒーレンスの生成と検出

(4)「筑波大学」グループ-2

- ① 主たる共同研究者:久保 敦 (筑波大学数理物質系・物理学域 講師)
- ② 研究項目: カルコゲン超格子を用いたアクティブプラズモニクス
 1. カルコゲン超格子の相転移機構を用いたプラズモニックデバイスの開発
 2. カルコゲン超格子におけるスピン偏極プラズモンの励起と観察

(5)「東京工業大学」グループ

- ① 主たる共同研究者:村上 修一 (東京工業大学理学院 教授)
- ② 研究項目
 1. トポロジカル半金属の超格子で現れるさまざまなトポロジカル相の検討
 2. トポロジカル絶縁体積層で現れるトポロジカル相の探索およびカイラリティの秩序化転移の
可能性の検討
 3. トポロジカル絶縁体薄膜でのコットンムートン効果の実験データの解析

(6)「名古屋大学」グループ

- ① 主たる共同研究者:田仲由喜夫 (名古屋大学大学院工学研究科 教授)

② 研究項目：超格子構造がもつ低次元電子系物理の解明

1. 3次元トポジカル絶縁体表面におけるらせん光渦による電気磁気効果の研究
2. ワイル・ディラック半金属における逆ファラデー効果の理論研究
3. 単層カルコゲナイド物質における電気磁気効果の研究