

富永 淳二

(独)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. 研究実施体制

(1)「産総研」グループ

- ① 研究代表者:富永 淳二 ((独)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. 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
 2. ナノ構造創製と機能発現
 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)「豊田工大」グループ

- ① 主たる共同研究者:栗野 博之 (豊田工大・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. iPCM における磁気光学効果の研究
 2. iPCM 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・数理物質系・物理工学域・准教授)
- 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・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

(5)「東工大」グループ

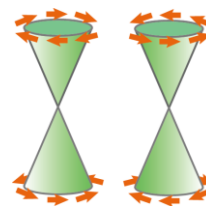
- ① 主たる共同研究者:村上 修一 (東工大・大学院理工学研究科・教授)
- ② 研究項目
 - ・トポロジカル絶縁体と通常の絶縁体の超格子の有効理論の構築と、その新奇物性の探索
 - ・有効模型の GeTe/ Sb₂Te₃ 超格子への適用
 - ・他の物質系への適用可能性の検討
 - ・実験グループからの実験結果に即した理論的な解釈

(6)「名古屋大」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

§ 2. 研究実施の概要

- (1) 産総研グループ： H26 年度では、研究の基本となる異なる二つのカルコゲン化合物結晶膜、中でも GeTe と Sb_2Te_3 薄膜の積層によって構成される超格子構造について、電極薄膜も含めた条件で第一原理計算を行った。その結果、W 電極が存在しても RESET 状態には Dirac cone が確認され、また、SET と RESET 間の電気抵抗差にはスピン起動相互作用が大きな役割を果たしていることが確認された。また、この超格子系で室温から 200°C 付近までの電気特性および磁気特性を簡単なデバイス構造を作製して、マルチフェロイックな機能についての基礎的なデータを取得した。さらに超格子構造等によるテラヘルツ波の透過特性や、面内の電気抵抗との関係についての評価を進めるとともに、本材料の集積デバイスにおける光インターコネクションへの展開を検討するため、プラズモン導入のための素子デザインを行った。
- (2) 豊田工大グループ： iPCM の標準構成試料 $[(\text{GeTe})_2/(\text{Sb}_2\text{Te}_3)]_n$ ($n=1-5$) に電極微細加工 (Pt 電極または TbFeCo 電極) を施し、該電極間に波長 690nm のレーザーを照射して極磁気光学 Kerr 効果と磁気抵抗効果やホール効果の同時測定を行った。この材料は非磁性材料であるにもかかわらず、外部磁界に対して周期的な磁気光学 Kerr 効果が生じ、これに呼応して磁気抵抗効果やホール効果にも変化が生じることがわかった。これは伝導現象と電子励起現象の関係を示唆している。更なる詳細調査を行うため磁気光学効果スペクトル測定系とレーザー書き込み実験系の立ち上げを行っている[1]。
- (3) 筑波大(長谷)グループ：フェムト秒パルスレーザーを光源としたポンプ-プローブ型時間分解ファラデー回転検出装置の立ち上げを行った。さらにこの装置を用いて、研究代表者グループらが作成したカルコゲン化合物および超格子型相変化メモリ (iPCM) 材料の薄膜試料において、円偏光の励起光によって生成される過渡的な逆ファラデー効果によるスピン偏極(磁化)信号を室温において取得することに成功した。この信号には、1ピコ秒以下の過渡的な応答が観測された。
- (4) 筑波大(久保)グループ：次世代型情報処理素子の候補であるプラズモニックデバイスにおけるプラズモン信号の変調機構として MIS(金属-絶縁体-半導体)型積層構造が提案されているが、バックゲート電圧変調による半導体層の屈折率変化は小さく、素子を小型化する上での障害になっている。本研究ではカルコゲン超格子の相転移に伴う光学的な物性値の変化に注目し、相転移を利用した小型・省電力のプラズモン変調素子の実現を目指す。
- (5) 東工大グループ：トポロジカル絶縁体の表面にあるディラックコーン(波数とエネルギーが線形の関係にあるような電子のバンド構造)が、積層により複数個混成する場合に起こる電子構造を理論的に探索している。表面ディラックコーンはその電子状態のスピン方向により、右図のような2通りのスピントクスチャに分類され、それらをどのような順で積層する



かにより、ディラック半金属を含めてさまざまな特異なバンド構造が実現されることを理論的に見出した。これらは、トポロジーという新しい観点から特異なバンド構造をデザインする可能性を拓くものである。

- (6) 名古屋大グループ:電荷・スピン・ヘリシティの自由度を持つ電子が存在する電子系—ディラック電子系—と磁性体を接合した系において、スピントロニクスでスピン流を生成する方法として研究されている磁化のダイナミカルな運動による軸性流生成の理論研究をした。この軸性流はジュール熱損失無く電子情報を転送することができる新しい手段であることを見出した。また、磁性体とドーピングした TI での接合表面上において、磁化のダイナミカルな運動によって駆動される電流・スピン流を解析的に計算し、磁化ダイナミクスと電流・スピン流との関係を示した。電流は磁化の時間変化によって駆動され、スピン流は空間的に非一様磁化構造の時間変化によって駆動されることを明らかにした[2][3]。

- [1] H. Awano, D. Bang, J. Tominaga, A. Kolobov, P. Fons, Y. Saito, K. Makino, T. Nakano, M. Hase, Y. Takagi, A. Giussani, R. Calarco, and S. Murakami, “Magneto-optical Kerr effect of [(GeTe)₂(Sb₂Te₃)₁]_n superlattice without any magnetic elements,” Proceedings of 26th Symposium on Phase Change Oriented Science, PP38-41, (2014)
- [2] K. Taguchi and Y. Tanaka, Axial current driven by magnetization dynamics in Dirac semimetals, Physical Review B, Vol. 91, 054222_1-5, 2015
- [3] Bo Lu, K. Yada, M. Sato, and Y. Tanaka, Crossed surface flat bands of Weyl semimetal superconductors, Physical Review Letters, Vol. 114, 096804_1-4, 2015.