

試験研究助成報告書

(平成29年度 助成分)

平成31年3月7日

公益財団法人 熊谷科学技術振興財団 御中

代表研究者・所属機関名

東北大学

所属学部学科・所属部課室・役職

金属材料研究所・低温物理学研究部門・准教授

氏名 藤原 宏平



貴財団より助成を受けました件につき下記の通り（中間・最終）報告致します。

1. 研究テーマ及び期間

研究テーマ：フレキシブル強相関トランジスタへの挑戦

研究期間：平成30年4月～平成31年3月

遷移金属酸化物中の電子はクーロン相互作用により強く絡み合い（強相関電子）、温度や磁場などの外場に依存して多彩な電子の相を形成する（例：強磁性金属、電荷秩序絶縁体）。この電子の相転移に伴う急激な物性変化を利用したデバイスが次世代エレクトロニクスの担い手として注目を集めている。ところが、これら酸化物の薄膜作製には通常500℃以上の高温を要するため、現行半導体プロセスの利用ならびに耐熱性の低い半導体への直接積層が事実上不可能となっている。結果として、有用な機能を応用へと結び付けられていない。

本課題では、酸化物が抱えるこの問題に対し、可溶性犠牲層とポリマーを用いた剥離・転写・接合プロセスに基づくユニークな“作った後で剥がして使う”技術の開発に取り組む。これにより、強相関電子の機能を、他の素子との親和性の高いフレキシブルトランジスタの形で実現することを目指す。さらに、応力印加を用いた新たな強相関電子物性制御を提案し、機能性材料としての遷移金属酸化物のポテンシャルを拡張する。

2. 共同研究者名

氏名	所属機関・職名
西川 博昭	近畿大学生物理工学部・教授
中村 吉伸	東京大学大学院工学系研究科・助教

3. 成果の概要

本研究の最終目標は、電子相関の強い金属酸化物をチャンネルに用いたトランジスタの作製とそのフレキシブルデバイス化である。その要素技術として、1) 高品質酸化物薄膜の作製、2) パリレンを用いたトランジスタ作製プロセスの開発、3) 剥離・転写および応力評価手法の開発、4) フレキシブル化によって可能になる特徴的機能の実証、に取り組んだ。以下では、主な成果として、2および4に関する結果を述べる。

パリレンを用いた酸化物トランジスタ作製プロセス（下記成果発表1）

フレキシブルトランジスタのプロセスの一つであるパリレンコーティングの技術改良を進めた。パリレンゲート絶縁膜の特徴やプロセス特有の問題について、これまでに得られた知見をまとめ、誌上発表した。また、本課題の範疇に留まらず、多様な物質系へと展開し（例：トポロジカル絶縁体 *Phys. Rev. B* **98**, 125415 (2018)）、ゲート絶縁膜としての有用性を実証した。

Fe-Sn微結晶薄膜を用いたフレキシブルホール素子（下記成果発表2）

共同研究者との定期的な情報交換と議論を通して、フレキシブルエレクトロニクスの部材や潜在ニーズに関する知識を得る中で、磁気センサーの一つであるホール素子のフレキシブル化に対する要望があることに気づいた。巨大な異常ホール効果を示すことから物性物理学分野で注目を集めている金属間化合物 Fe_3Sn_2 に着目し、スパッタリング法による薄膜化を試みたところ、室温で作製したFe-Sn微結晶薄膜において、 Fe_3Sn_2 バルク単結晶と同等の巨大異常ホール効果を観測した。さらに、PEN基板上への搭載により、フレキシブルホール素子として応用可能であることを見出した。本系は強相関電子系酸化物ではないものの、格子のトポロジーとスピン軌道相互作用の協奏による特異な電子状態の発現が議論されており、フレキシブルエレクトロニクスの新たな展開として、今後の発展が期待される。

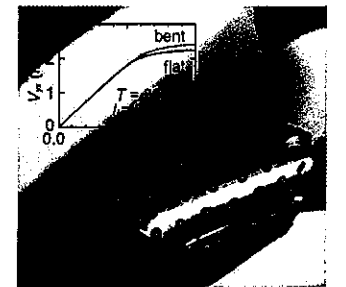


図1. フレキシブルPEN基板上のFe-Sn微結晶薄膜と異常ホール効果による磁場検出特性。

なお、1については、藤原がCr, Ti, Mnなどの遷移金属酸化物薄膜の作製に取り組むと同時に、作製した焼結体ターゲットを西川に提供することで、パルスレーザー堆積法による薄膜化と転写実験を進めた。3については、西川と中村がそれぞれの技術の改良を実施し、藤原とのミーティングを通して、進捗状況の確認と技術融合のスケジュールについて検討を行った。研究期間内に、フレキシブル強相関トランジスタの実証には至らなかったが、要素技術の深化に加え、フレキシブルホール素子の実現につながる成果を得ることができた。

本助成で成膜装置の整備を行うことができ、実験を迅速に展開できた。ここに深く感謝申し上げます。

4. 研究成果の発表状況（予定を含む）

パリレンを用いたトランジスタ作製プロセスおよびフレキシブルホール素子に関する成果は、以下の学術誌に掲載された。後者については、日本経済新聞電子版（2019/3/1）にも取り上げられた。

- 1) “ポリマーゲート絶縁膜を用いた酸化物トランジスタの作製”
藤原 宏平
電気学会論文誌C **139**, 207 (2019).
- 2) “Fe-Sn nanocrystalline films for flexible magnetic sensors with high thermal stability”
Y. Satake, **K. Fujiwara**, J. Shioyai, T. Seki, and A. Tsukazaki
Scientific Reports **9**, 3282 (2019).

2)に関連する発表として、東北大学で開催された国際会議 Summit of Materials Science 2018 において、ポスター発表を行った。また、フレキシブル基板上への酸化物エピタキシャル薄膜のコーティングプロセスに関する成果として、共同研究者の西川が韓国で開催された国際会議 Collaborative Conference on Materials Research (CCMR) 2018 meeting (<http://ccmr2018.org/>) において招待講演を行った。西川・中村との共同研究および議論は今後も続く予定であり、それらを通して得られる成果、特に、本期間内に検証することのできなかつた酸化物トランジスタのフレキシブル動作、については、積極的な発表を行う予定である。