

## 二国間交流事業 共同研究報告書

平成23年05月02日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

共同研究代表者所属・部局 独立行政法人物質・材料研究機構・  
光・電子材料ユニット

職・氏名 <sup>(ふりがな)</sup> グループリーダー・木村秀夫 <sup>きむらひでお</sup>

1. 事業名 相手国（オーストラリア）との共同研究 振興会対応機関（ARC）
2. 研究課題名 電界印加により発生する圧電歪みと利用した圧電・磁性薄膜におけるスピン操作

3. 全採用期間

平成21年04月01日 ～ 平成23年03月31日（2年0ヶ月）

4. 研究経費総額

(1) 本事業により交付された研究経費総額 5,000千円

初年度経費 2,500千円、 2年度経費 2,500千円、 3年度経費 0千円

(2) 本事業による経費以外の国内研究経費総額 0千円

5. 研究組織

(1) 日本側参加者

氏名 <small>(ふりがな)</small>	所属・職名	研究協力テーマ
木村 秀夫 <small>きむら ひでお</small>	独立行政法人物質・材料研究機構 ・グループリーダー	研究総括・圧電体単結晶の育成
小澤 清 <small>おざわ きよし</small>	独立行政法人物質・材料研究機構・主幹研究員	高純度微細酸化物粉末の合成
ZHAO Hongyang <small>ちょうほんやん</small>	独立行政法人物質・材料研究機構・JSPS フェロー	圧電体薄膜の成膜と特性評価
YAO Qiwen <small>やお ちーえん</small> (2010)	独立行政法人物質・材料研究機構・JSPS フェロー	圧電体セラミックスの合成と特性評価

(2) 相手国側研究代表者

所属・職名・氏名 Institute for Electronic and Superconducting Materials (ISEM), University of Wollongong・

Professor・WANG Xiaolin

(3) 相手国参加者（代表者の氏名の前に○印を付すこと）

氏名	所属・職名（国名）	研究協力テーマ
○ WANG Xiaolin	Institute for Electronic and Superconducting Materials (ISEM), University of Wollongong ・ Professor (Australia)	Conducting research; Evaluation of spin properties
CHENG Zhenxiang	Institute for Electronic and Superconducting Materials (ISEM), University of Wollongong ・ Associate Professor (Australia)	Manipulation of spin using piezoelectric materials
WANG Jianli	Institute for Electronic and Superconducting Materials (ISEM), University of Wollongong ・ Research Fellow (Australia)	Deposition of thin films
YAO Qiwen (2009)	Institute for Electronic and Superconducting Materials (ISEM), University of Wollongong ・ Research Fellow (Australia)	Fabrication of magnetic materials

## 6. 研究概要（研究の目的・内容・成果等の概要を簡潔に記載してください。）

情報化社会の進歩とともに、記憶素子（メモリ）の重要性が増している。メモリとしては半導体 DRAM が主流であったが、不揮発性であるフラッシュメモリへと移り、繰り返し特性の点から磁気抵抗メモリ（MRAM）が注目をあびている。これまで酸化物結晶は絶縁体として光学用途に使われてきたが、最近では酸化物エレクトロニクスが確立され、半導体としての応用が始まっている。これは電荷を利用したエレクトロニクスである。一方、フェライトに代表されるように、酸化物結晶では強磁性・フェリ磁性も発現する。これは電荷ではなく電子スピンによる磁気モーメントにより生じる。酸化物結晶には強磁性強誘電体もあり、酸化物結晶の利用により電気と磁気を結びつけることも可能となる。すなわち、電気による磁気の制御、磁気による電気の制御が可能であり、電荷を利用せずにスピンを利用したエレクトロニクス（スピントロニクス）への展開が期待でき、酸化物結晶の電磁気学は固体物理学のみでなくメモリデバイス応用の点でも興味深い。

スピントロニクスの技術項目としては、スピン操作、移動、注入、検知があるが、中でもスピン操作は緊急に解決すべき課題で、従来の磁気による操作ではなく電気による操作が望ましく、その操作法の確立が本共同研究の目的である。

本共同研究では、圧電歪みを利用した圧電・磁性薄膜デバイスにおけるスピン操作を提案する。すなわち、圧電・磁性薄膜デバイスにおいて適用が容易な電界印加により圧電体に歪みを誘起し、それによる希釈磁性半導体でのスピンの操作を共同研究の目的・ゴールとする。結晶中の有効磁界はスピン軌道相互作用と結晶対称性により決まり、スピン状態を決定する。これは電界の影響を受けるため、電界印加により歪みを発生させて結晶対称性を変化させれば、スピン状態を操作できることになる。相手側オーストラリアにおいては、電荷ベースのエレクトロニクス分野では立ち後れたが、スピンベースのエレクトロニクス分野はまだ黎明期にあり、本共同研究によって世界レベルの研究開発体制の構築を目指す。

研究方法は次のとおりである。日本側においては、これまで希土類酸化物単結晶、強誘電体・圧電体単結晶に関する研究を実施し、引上法や引下法、浮遊帯熔融法によるバルク・ファイバー単結晶技術を開発してきたため、圧電体単結晶育成を実施し、基板結晶まで加工する。結晶対称性の影響を調べるには、高純度低欠陥単結晶であることが重要である。相手側では、これまで強誘電体薄膜、巨大磁気抵抗材料、強磁性強誘電体薄膜に関する研究を実施してきたため、薄膜技術により日本側が提供する圧電体基板結晶上にエピタキシャル状態で磁性薄膜を成膜し、結晶構造、欠陥、電気磁気特性評価を実施する。ただし、基板結晶の化学的安定性の観点から、一部の薄膜においては日本側での成膜、評価を実施する。

研究内容は次のとおりで、それぞれ得意とする項目を分担する。(1) 原料の高純度化、化学量論化を図り、低欠陥圧電体単結晶を育成する。(2) ハーフメタル強磁性体、希薄磁性半導体薄膜を圧電体単結晶基板上に成膜する。(3) 基板結晶と薄膜との界面構造について調べる。(4) 圧電体基板結晶への電界印加によるスピン操作を試みる。(5) スピン操作の最適条件を検討する。

研究の成果としては、次の3点が挙げられる。(1) 無鉛圧電体として期待できる K 系 (KRbCs)NbO<sub>3</sub> 単結晶のファイバー結晶の育成に成功し、優れた圧電・強誘電特性を有することを明らかにした。(2) スピンを持つマルチフェロイック材料 BiFeO<sub>3</sub> 系に着目し、薄膜における基板結晶の役割、他元素添加効果を明らかにした。(3) 新しいマルチフェロイック材料としてダブルペロブスカイト型の Bi<sub>2</sub>FeMnO<sub>6</sub> を設計し、室温以上に相転移点のある優れた材料であることを明らかにした。