

二国間交流事業 共同研究報告書

平成23年 4 月 14 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)産業技術総合研究所・電子光技術研究部門

職・氏名 (ふりがな) いのうえいさお
主任研究員・井上 公

1. 事業名 相手国 (シンガポール) との共同研究 振興会対応機関 (NUS)

2. 研究課題名 酸化物界面での電子相転移の制御を用いた新概念の酸化物エレクトロニクスの研究

3. 全採用期間

平成 21 年 4 月 1 日 ~ 平成 23 年 3 月 31 日 (2 年 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 千円

(2) 本事業による経費以外の国内研究経費総額 6,500 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
井上 公 <small>いのうえいさお</small>	産業技術総合研究所・主任研究員	計画、デバイス作製、測定、総括
伊藤利充 <small>いとうとしみつ</small>	産業技術総合研究所・主任研究員	単結晶試料作製
富岡泰秀 <small>とみおかやすひで</small>	産業技術総合研究所・主任研究員	単結晶試料作製

(2) 相手国側研究代表者

所属・職名・氏名 南洋理工大学・准教授・Christos Panagopoulos

(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
○Christos Panagopoulos	南洋理工大学・准教授（シンガポール）	計画、測定
Glenton Jelbert	南洋理工大学・研究員（シンガポール）	デバイス作製、測定
Azar Eyvazov	南洋理工大学・研究員（シンガポール）	デバイス作製、測定

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。）

本研究は、本来金属であるべき物質が強い電子相関で絶縁体化する「モット転移」のエレクトロニクス応用(モットロニクス)への道を拓くことを目的とした研究です。モット転移とは、本来金属であるべき物質が強い電子相関によって劇的に絶縁体化する相転移です。このような物質は本来は金属であるべき物質なので、その中には巨大な数の“キャリア”が存在します。例えばペロブスカイト構造の遷移金属酸化物(TMO)を考えた場合、20nm x 20nm x 5nm 中に“キャリア”はまだ数万から数十万個も存在します。一方、現在の半導体エレクトロニクスの主役はシリコンですが、20nm x 20nm x 5nm 中のシリコン半導体中には、もはや約 10 個のキャリアしか含まれません。キャリアが 1 0 個しかいないのでは、特性のばらつきが致命的です。つまり、現状のままだと、その程度のサイズで半導体素子の微細化が終焉を迎えるというわけです。

それでは困ると 10 年ほど前から「モット転移」を利用したエレクトロニクス(モットロニクス)が研究され始めました。電界効果によりモット転移を制御し、その際の劇的な伝導率の変化をトランジスタ動作に使おうというのが「モット FET」であり、モットロニクスの原点です。関連知財はすでに数多くありますが、プロトタイプを実際に動作させたという学術論文はありません。「実現」に関しては、糸口すら見いだせていない状況です。大きな障壁は、チャンネルに用いられる TMO の単結晶と、ゲート絶縁体として用いられる高誘電率 (high-k) 酸化物との「界面」が劣化してしまうことでした。

そこで本研究では、TMO の清浄表面(劈開面、熱処理薄膜の表面)をパリレンという有機絶縁体の薄膜(5-100nm)で保護する方法を提案し精力的に取り組みました。パリレンを付着させることで TMO 表面の酸素欠損や副次酸化物の生成が抑えられ、さらにパリレンの化学的安定性のため、パリレン上に high-k 材料や電解質などのゲート絶縁膜を堆積させた FET の作製を可能にすることを実証しました。

代表的な TMO である SrTiO₃ の清浄表面上にパリレンと酸化タantalを積層させた試料の劈開面の走査型電子顕微鏡写真が右上図です。この二層構造ゲート絶縁膜[特許申請済]を介して SrTiO₃ に電場をかけると、界面に高い移動度をもつキャリアが誘起されます。このキャリアの濃度を電場のみで 10¹³cm⁻² にまで増加させられることも確認しました。さらに、室温であるにもかかわらず、この時の電子の動きやすさの指標である「移動度」が 10cm²/Vs にも達します(右下図)。ゲートを介したリーク電流も非常に小さく、このようなエキゾチックな酸化物を用いたトランジスタとしては、これまでに類の無い高性能のデバイスを作製することができました。

