

【基盤研究(S)】  
理工系(工学)



研究課題名 酸化物二次元界面の量子機能とデバイス応用

東京大学・大学院工学系研究科・教授  
かわさき まさし  
川崎 雅司

研究分野：応用物性・結晶工学

キーワード：ヘテロ構造、酸化物エレクトロニクス

【研究の背景・目的】

酸化物には、通常の半導体や金属には不可能な、あるいは遙かに凌駕する物性や機能がある。これらを電子技術に応用する「酸化物エレクトロニクス」は、四半世紀に及ぶ薄膜・界面技術の進展により、まさに量子効果を顕わに活用できるレベルに達している。最近の、最も顕著な研究成果は、電界効果によるキャリア蓄積で絶縁体に超伝導を誘起したこと[1]や、酸化亜(ZnO)系ヘテロ接合界面に蓄積した電子の移動度を著しく向上して分数量子ホール効果の観測に成功したこと[2]である。これらのブレイクスルーは酸化物エレクトロニクスにおいて目に見える貴重なマイルストーンであり、超伝導・強磁性・強誘電性・非線形光学効果などの多様な物性・機能を活用した酸化物エレクトロニクスの発展に大きな波及効果を及ぼす。本研究課題では、上記の基礎研究をさらに発展させ、電界効果による新超伝導体の発見、強誘電体をチャネルとした新型トランジスタ、超高移動度強相関電子系における新量子効果の探索、を行う。

【研究の方法】

固体表面と電解質の界面に形成した電気二重層を用いると強烈な電界を印加でき、 $10^{15}\text{cm}^{-2}$ に達するキャリア蓄積が可能となる。この原理を用いた電気二重層トランジスタ(図1)を用いて、様々な絶縁性酸化物の表面にキャリア蓄積を行い、新超伝導体を発見する。また、絶縁体として強誘電体を用いた際に、強誘電体自身の自発分極と電界効果によるキャリア蓄積の効果を重畳すると、界面でのキャリア濃度がどう変調するかを解析し、強誘電体をチャネルとするトランジスタの不揮発性動作を実現する。

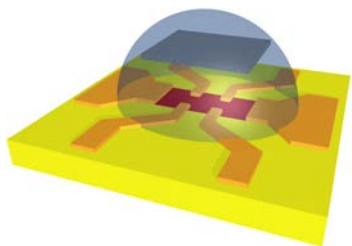


図1 電気二重層トランジスタの模式図

ZnO/(MgZn)O 界面に自発的に蓄積した電子の移動度は  $770,000\text{cm}^2/\text{Vs}$  に達しており、イオン化不純物による散乱がその上限を決めている。界面の清浄

度を向上し、低キャリア濃度において散乱を極限まで抑制したとき(図2)、電子相間の強い理想的な低次元系が実現する。この様な系で、ウイグナー結晶化やスピン偏極状態を実現し、その先にある未知の量子現象を探求する。

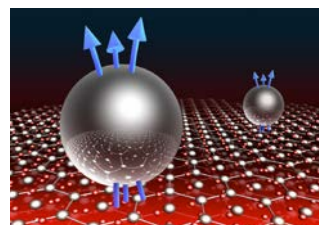


図2 分数量子ホール効果の模式図

【期待される成果と意義】

電界効果による超伝導探索は、古風なバルク新物質合成による探索とは一線を画する手法であり、大きなブレイクスルーが期待できる。強誘電トランジスタは、強誘電体表面の自発分極によるキャリア蓄積の本質を顕わにし、新型不揮発デバイスの構築に資する知見となる。他の物質では実現できない強相関低次元高移動度電子系は、新しい電子相転移の舞台を提供するとともに、派生する結晶成長技術の向上は ZnO ヘテロ接合の光電子デバイスの性能向上に資する。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- [1] K.Ueno, S.Nakamura, H.Shimotani, H.T.Yuan, N.Kimura, T.Nojima, H.Aoki, Y.Iwasa, M.Kawasaki "Discovery of superconductivity in  $\text{KTaO}_3$  by electrostatic carrier doping", *Nature Nanotechnology*, **6**, 408-412 (2011).
- [2] A. Tsukazaki, S. Akasaka, K. Nakahara, Y. Ohno, H. Ohno, D. Maryenko, A. Ohtomo, M. Kawasaki, "Observation of the fractional quantum Hall effect in an oxide", *Nature Materials*, **9**, 889-893 (2010).

【研究期間と研究経費】

平成24年度-28年度  
167,800千円

【ホームページ等】

<http://www.kwsk.t.u-tokyo.ac.jp/>  
[kawasaki@ap.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:kawasaki@ap.t.u-tokyo.ac.jp)