

高品質酸化物薄膜で拓く量子物性 金沢大物理 高橋圭

Quantum physics with high-quality oxide thin films

Department of Physics, Kanazawa Univ. Kei S. Takahashi

最近、酸化物において高純度で結晶性の高い薄膜を用いることにより量子伝導現象の観察が可能になってきている。これまで、遷移金属酸化物薄膜の新しい成長方法であるガスソース分子線エピタキシーを開発することで様々な成果を発表してきた。講演では、代表的な研究成果を紹介し、金沢大でこれから発展させようと考えている研究についても議論する。

・ガスソース分子線エピタキシー

遷移金属酸化物薄膜を用いた物性研究は、パルスレーザー堆積法 (PLD) や分子線エピタキシーによって発展してきた。しかし、それぞれ欠点が多く XRD 構造解析、STEM 測定などでは完璧な高品質結晶に見えても実はシリコンやガリウム砒素などの清浄半導体と比べると点欠陥や組成ずれが数桁のオーダーで多く、量子ホール効果などの高移動度が必須な量子伝導観察、研究は不可能であった。本手法は、分子線エピタキシーの金属元素源の1つを揮発性の有機金属ガスに置き換えた分子線エピタキシーである。成長する酸化物薄膜の結晶性は飛躍的に向上し、ある種のブレイクスルーになったこの方法を最初に解説する。

・SrTiO₃・EuTiO₃ 高移動度酸化物半導体研究

SrTiO₃ と EuTiO₃ は量子常誘電体であり電子をドーピングすると高電子移動度の金属になる。高移動度の電子ドーピング SrTiO₃ 二次元構造を作製することで *d* 電子系の人工格子において量子ホール効果を初めて実現した[1]。EuTiO₃ が反強磁性体であることに注目し EuTiO₃ 薄膜の高移動度化に取り組み、スピン偏極した電子のシュブニコフド・ハース振動の観察に成功した[2, 3, 4, 5]。

・強相関金属 SrVO₃ 薄膜を用いたモット絶縁体研究

SrVO₃ 金属を二次元超薄膜化することでモット絶縁体になることが光電子分光測定で発見されて注目されている。本研究では、SrVO₃ のモット絶縁体量子井戸に電子をドーピングしてモット絶縁体から金属に近い状態に転移させることに成功した[6][7]。このような試みは長年行われていたが、僅か数単位胞厚さのモット絶縁体に電子をドーピングして抵抗の劇的変化の測定に成功した初めての例である。さらに、2つの SrVO₃ のモット絶縁体量子井戸の間にトンネル障壁層を挟んだ形の二重量子井戸構造の実験も行っており、最近面白い結果が出ているので紹介する。

・超低抵抗 SrVO₃ 薄膜のバリスティック伝導研究

SrVO₃ 薄膜 (厚膜) の低温での残留抵抗率は $10^{-7} \Omega\text{cm}$ のオーダーであり平均自由行程が $1 \mu\text{m}$ 程度になることに注目している。例えば膜厚 50 nm の薄膜では、面直方向に進む電子は表面、基板との界面でしか散乱されないバリスティック伝導状態になっていることが期待される。この薄膜のように原子レベルで平坦な界面を持ち三次元の電子状態の常磁性金属でこれほど低抵抗率なものは実はどこを探しても存在しない。講演では、界面においてバリスティック的に散乱される影響が磁気抵抗の角度依存性に現れた結果を紹介する。

謝辞：本研究は、理化学研究所 強相関界面研究グループの川崎雅司グループリーダー、東大川崎研究室の大学院生高原規行氏、その他卒業生、及び理化学研究所創発物性科学研究センターの多くの研究員との共同研究の成果です。深く感謝致します。

[1] Y. Matsubara, K. S. Takahashi et al. Nat. Commun. 7 (2016). [2] K. S. Takahashi et al. Sci. Adv. 4 (2018). [3] K. Maruhashi, K. S. Takahashi et al. Adv. Mater. 24 (2020). [4] N. Takahara and K. S. Takahashi et al. APL Mater. 11 (2023). [5] N. Takahara and K. S. Takahashi et al. Phys. Rev. B 108 (2023). [6] K. S. Takahashi et al. APL Mater. 10 (2022). [7] K. S. Takahashi et al. Phys. Rev. B 109 (2024).