

【基盤研究(S)】

理工系(数物系科学)



研究課題名 電気化学的界面の超強電界を用いた電子物性制御

東北大学・金属材料研究所・教授

いわさ よしひろ
岩佐 義宏

研究分野：数物系科学

キーワード：超伝導・密度波、分子性固体・有機導体

【研究の背景・目的】

コンデンサ構造に電圧を印加して電荷を溜め込み、その結果キャリア数を劇的に増加させるデバイスは、電界効果トランジスタ (FET) と呼ばれ、今日の IT 社会の基幹を支えるデバイスとなっている。この FET による電荷蓄積を用いて超伝導を誘起するなど、物質の状態を変革する研究は約半世紀前から物理学者の興味を引いてきたが、従来の FET 構造を用いた電荷蓄積では、十分な電界強度、蓄積電荷を得ることができないため、原理的には可能でも現実的には実現不可能と考えられてきた。そこで我々は、より大きな電荷量を蓄積できる電気化学的固液界面に着目した。本研究の目的は、電気化学的界面に発生する超強電界を用いたトランジスタ (電気2重層トランジスタ) によって、多様な物質の電子状態を電界によって制御する技術を確立するとともに、化学的ドーピングでは実現できない物質の状態を電界によって形成することにより、電気化学、電子工学、物性物理学にまたがる新たな物質科学分野を構築することである。

【研究の方法】

(1) イオン性液体の導入などによる蓄積電荷の増大

SrTiO₃ で見られた電界誘起超伝導を他の物質で実現させるためには、数倍のキャリア数の増強が必要である。本項目は、これを達成するため、多種多様な電解質溶液、イオン性液体による電荷蓄積を試みるとともに、雰囲気、温度依存性を明らかにする。特に、イオン性液体は電解質溶液よりも一桁近く高い誘電率を有しているため、極めて有望である。最高の $8 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 程度の電荷密度の蓄積達成を目指す。この項目は、連携研究者小野新平博士 (電中研) との共同で行う。

(2) 様々な材料による電界誘起超伝導の探索

SrTiO₃ に続く電界誘起超伝導の発見は、最も重要なマイルストーンの一つである。現在目標としている物質は層状窒化物である。層状物質は、グラフェンと同じ技術によって、原子平坦且つ単原子層数枚からなる試料を比較的簡単に用意でき、電子ビームリソグラフィの方法を用いれば、電極付けも可能である。当面は種々の層状物質に注力する方針である。そのために必要な設備が電子ビームリソグラフィである。これを用いて、多様な層状物質、微結晶、ダイヤモンドなど炭素材料、有機材料、ホウ化物などへの電極付けを行い EDLT

作製を行う。試料は、本研究グループ自ら作製するものを中心しつつ、外部研究者との共同研究として拡張してゆく方針をとる。

(3) 電気化学反応のその場プローブ

本研究の主題は、EDLT による電界誘起物質相の探索である。しかし、これを電気化学過程のその観察と考えれば、電気化学反応で生成される安定ではない生成物の検出法として使用することができる。従って、化学反応が起きている状態での低温電気抵抗、磁化率の測定を行う実験系を開発することによって、非平衡状態での新物質相の探索を行う。

【期待される成果と意義】

EDLT による物性研究は、とくに固液界面を舞台とした物性物理という、物性物理、電子工学、電気化学をまたぐ、全く新しい学際的学術領域を形成しうると期待される。そこでの新たなサイエンスは、EDLT における強い電場下での電子物性であり、これは電場を切ると失われる非平衡状態に対応する。すなわち、EDLT を非平衡物質相の探索法として確立できれば、従来の化学合成ではアプローチできない物質の状態を発見できる可能性がある。これを発展させて、新超伝導体や新たな高温超伝導、さらには新種のドーピング有機電子相を誘起できれば、物質科学に大きなインパクトを与えることができると期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

・ H. Shimotani, H. Asanuma, A. Tsukazaki, A. Ohtomo, M. Kawasaki, and Y. Iwasa, "Insulator-to-metal transition in ZnO by electric double layer gating", *Appl. Phys. Lett.* 91, 082106 (2007).

・ K. Ueno, S. Nakamura, H. Shimotani, A. Ohtomo, N. Kimura, T. Nojima, H. Aoki, Y. Iwasa & M. Kawasaki, "Electric field induced superconductivity in an insulator", *Nature Materials* 7, 85 (2008)

【研究期間と研究経費】

平成21年度－25年度

168,500千円

ホームページ等

<http://iwasa.imr.tohoku.ac.jp/>

iwasa@imr.tohoku.ac.jp

TEL 022-215-2030