

非平衡固液界面の電子物性

岩佐義宏

東北大学金属材料研究所

Electronic functions at the nonequilibrium solid/liquid interfaces

Yoshihiro Iwasa

Institute for Materials Research, Tohoku University

<Synopsis>

Solid/liquid interfaces are attracting growing interest not only for their applications in energy storage and catalytic activities, but also for novel electronic functions. The EDL is regarded as a capacitor formed at the solid/liquid interface with nano-scale thickness. Well known for their ultrahigh electric field on the order of 10 MV/cm, EDLs are already finding practical use in high speed and high charge density capacitors (EDLC). By attaching an additional electrode to the electronic conductor in an EDLC, an EDL transistor (EDLT) can be made showing electrostatic charge accumulation to a new benchmark for a two-dimensional carrier density of $n_{2D} = 10^{14} \text{ cm}^{-2}$, - this provides crucial electronic functionality in allowing the reduction of the operating voltage of organic transistors. The EDLT technique also enables the realization of a gate-induced insulator-metal transition and electric field-induced superconductivity in oxide semiconductors.

固体液体界面は、これまでもエネルギー貯蔵や触媒作用など重要な機能発現の舞台であったが、ここでは新たに電子機能の発現の可能性について議論したい。液体としてはイオン伝導体を、固体としては電子伝導体を念頭に置きその界面に注目する。液体と固体の間に電圧を印加すると、液体中のイオンが移動し、電子伝導体表面に電気2重層（EDL）と呼ばれる層を形成する。この2重層には、1 nm以下の領域に10MV/cmを超える超強電界が発生し大容量の電荷蓄積ができることが知られており、すでに電気2重層キャパシタ（EDLC）と呼ばれる蓄電デバイスとして実用化されている。EDLCにおける電荷蓄積機構はコンデンサと同じで化学反応を伴わないため、充放電速度が速いととも、寿命が原理的に無限大であることが特徴になっている。

この EDLC を電界効果トランジスタのコンデンサに見立てたデバイスを電気 2 重層トランジスタ (EDLT) と呼ぶ。これを有機半導体や酸化物半導体に適用することによって驚くべき電子物性が発現することが最近明らかにされつつある。まず、有機電界効果トランジスタの動作電圧が通常の固体ゲートの場合に比べ 2 桁程度小さくなり、非常に低消費電力の回路を作製することが可能になる。また、酸化物などの無機半導体を用いると電界効果による金属―絶縁体転移、さらには超伝導を誘起したり、強磁性転移温度を制御したりできることがわかってきた。

ここで述べた EDLT、すなわち固液界面を用いた電界誘起電子相の研究は、電界を切ると失われる非平衡、あるいは準安定状態を明らかにする方法である。想像をたくましくすれば、この方法を用いて、電界有機超伝導だけではなく、従来の化学的合成法では得ることができなかった新しい物質相を取り出すことができるかもしれない。今後、電子伝導体、イオン伝導体の選択、さらにはそれらの組み合わせなど、材料側面からの発展が期待されるが、一方、評価の側面からも従来になかった切り口が必要になってくる。特に、固液界面だけの状態をいかに計測するかは大きな問題である。電極を通した電気抵抗だけではなく、様々な分光、散乱などの技術を用いた界面評価法の進展が、我々の EDLT のプローブとして新しい展開を開けることが期待される。

本研究は、東北大金研における有機エレクトロニクスグループ (下谷、H.T. Yuan、J.T. Ye ら)、酸化物エレクトロニクスグループ (川崎、上野、大友、塚崎)、低温科学グループ (野島、中村) らの共同研究である。