

読者の広場

Q&A

Q: 「最近、電界効果を用いて新たな超伝導材料を開発したという記事がありました。これはどのような手法で、今後どのような応用が期待されるのでしょうか？」

A: 電界効果は新しい超伝導材料開発の手法です。超伝導は金属で起きる現象であり、たとえば Nb₃Sn など多くの超伝導材料は金属を混ぜ合わせる合金化の手法によって作られてきました。一方、最初の銅酸化物高温超伝導体 (La,Ba)₂CuO₄ は電気を流さない絶縁性母材 (La₂CuO₄) に不純物元素(Ba)を混ぜ合わせることで発見されました。絶縁体や半導体は低温で全く電気を流しませんが、これらの材料に不純物元素を混ぜることで、電気伝導を担う伝導キャリアを誘起することができます。その結果、絶縁体から金属へ伝導性が変化し、十分な伝導キャリアを誘起することで多くの材料が超伝導体に変化します。この不純物を用いて伝導キャリアを誘起する手法は化学ドーピングとよばれ、有機物や半導体など多くの材料から高い転移温度を持つ新しい超伝導体が開発されました。一方、化学ドーピングが可能なのは不純物元素の固溶源が大きな一部の材料だけであり、超伝導にできる母材の選択の幅が小さいという問題がありました。

電界効果では半導体シリコンで開発された電界効果トランジスタを応用することで、電氣的に絶縁体表面に伝導キャリアを誘起し、超伝導を作り出します。電界効果トランジスタは誘電体を金属と半導体で挟み込んだコンデンサの構造を持っており、金属と半導体の間に電圧をかけてコンデンサを充電することで、半導体表面に電荷を誘起することができます。最近、誘電体の部分を電解液（電池などに使われる、液体にイオンが溶け込んだ溶液）に置き換え、固液界面に自己生成する電気二重層をコンデンサとする新しいトランジスタ（電気二重層トランジスタ）が開発されました。このトランジスタは酸化物や有機物などさまざまな材料の上に容易に作製でき、しかも超伝導を引き起こすのに必要とされる多量の伝導キャリアを誘起できます。これらの性質を生かし、酸化物半導体 SrTiO₃ や層状絶縁体 ZrNCl で電界効果超伝導が実現しました。

電界効果超伝導のもっとも重要な特徴は、化学ドーピングに適さなかった絶縁性母材から超伝導体を作り出せる、という点です。最近、電界効果により発見された超伝導体 KTaO₃ は化学ドーピングでは伝導キャリアの誘起が難しく、超伝導にならないとされてきた材料でした。遷移金属酸化物や軽元素で作られた半導体には、同様に化学ドーピングが難しい材料が数多くあり、高い転移温度をもつ超伝導体の開発が期待されています。また、電界効果ではトランジスタにかける電圧を変えるだけで絶縁体を超伝導体にスイッチングしたり、超伝導物性を制御することができます。こうした性質を生かした新しい超伝導デバイスとしての応用も期待できます。

回答者：東京大学 総合文化研究科 准教授 上野和紀 様

[超電導 Web21 トップページ](#)