

電子材料領域の目指すものとこれまでの成果

東工大元素戦略拠点代表研究者 細野秀雄

[拠点運営のスタンス] 日本の電気・電子産業のGDPは6.5兆円で、自動車産業を大幅に上回り、この国の経済を支えている。この領域で使用される材料の重要な元素も多種に亘る。また、この領域にはこれまでも現在も多くの国家プロジェクトが立っており、その金額も多い。このような背景の下で、本拠点ではアカデミアの立場から、これまでとは異なった電子材料の研究実施しようと考えている。すなわち、誘電体、導電体、超伝導体などの物質・材料研究はかなり決まった枠内で実施されてきており、最適化もかなり限界に近づきつつある。そこで本拠点では、伝統的な枠組みを超えたアプローチを実施し、この分野の元素フロンティアの拡大を目指している(図1)。そのため、既存の枠内での最適化ではなく、新しいコンセプトの物質や視点を大事にした研究を推進する。このようなフロンティアの開拓を、新しい電子材料の実現や希少元素の代替につなげたい。

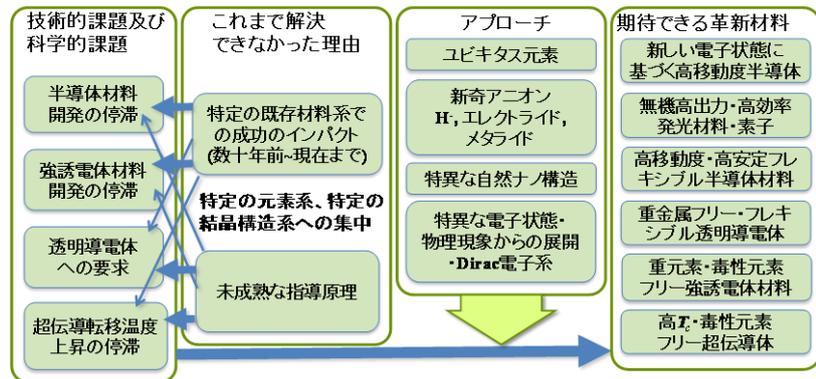


図1. 電子材料研究の課題と本拠点のアプローチ

[これまでの成果の紹介]

1. 2次元電子化物物

電子がアニオンとして働く結晶を電子化物(エレクトライド)を称している。溶媒和電子の結晶と見なることができる。2003年に $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ というケージ構造をもつ結晶を使って初めて室温で安定な電子化物が実現し、透明伝導、超伝導、そしてアンモニア合成触媒、 CO_2 分解[1]という機能が見出された。2013年には電子アニオンが層間に存在する2次元エレクトライド物質が Ca_2N において見出された。 $1.4 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ と高い電子濃度をもつが、通常の金属よりも桁違いに大きな移動度を示し、2DEGのバルク結晶と見做すことができる[2]。

2. 水素マイナスイオン：酸化物の新しい電子ドーパント

酸化物にはかなりの濃度の水素が存在することが知られているが、その形態は専ら OH (O^{2-} に H^+ が結合した) として捉えられている。近年、水素がマイナスイオンとして安定に存在する場合が幾つか報告されている。鉄系超伝導体 $\text{LaFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ のフッ素の代わりに H^- をドーパントとするとフッ素の場合の~3倍も固溶域が拡大し、 Te に2ドーム構造が見出された[3]。そして、ミュオン、中性子(弾性、非弾性)、X線という放射光を有効に駆使することで、2ドーム構造の両端に2つの性格の異なる反強磁性相が存在することが明らかになった[4]。

3. 酸素酸塩の強誘電体：非ペロブスカイト[5]

強誘電体はペロブスカイトを母体として、金属イオンの種類と割合を変えることで材料探索がおこなわれてきた。ここでは SiO_4 四面体が1次元に繋がったシリケート結晶 Bi_2SiO_5 が鎖のねじれに起因した強誘電性を示すことを見出した。このタイプの誘電体は高温で酸素イオン電導を示さない高誘電体が必要とされるパワーエレクトロニクスの応用には有望かもしれない。

Ref.[1] Toda et al. Nat.Comm.4,2378(2013).[2] Kimoon et al. Nature 494,336(2013).

[3]Iimura et al. Nat.Comm.3,943(2012).[4] Hiraishi et al. Nat.Phys. in press.

[5] Taniguchi et al. Angew.Chem.Int.Ed. 52,8088(2013).