

カードハウス構造を有する 窒化ホウ素凝集粒子

(株)三菱化学科学技術研究センターの山崎正典主任研究員、池宮桂研究員ら(無機系機能材料研究所)は、新しいタイプの窒化ホウ素(h-BN)凝集粒子の開発に成功した。

近年、デバイスの小型・軽量化、高密度集積化に伴い、単位体積当たりの発熱密度が増加しており、機器の高寿命化、高信頼性などの観点から高放熱性樹脂材料の開発が盛んに行われている。h-BNは、高い電気絶縁性と熱伝導性を併せ持つことから、樹脂へ添加することで熱伝導性を付与できる放熱フィラーとして注目されてきた。しかし、h-BNは板状の結晶で、ab軸方向は強固な共有結合で形成されているが、c軸方向はファンデルワールス力による結合で熱伝導異方性(ab軸方向:400W/mK, c軸方向:2W/mK)が大きな課題であった。したがって、h-BNをフィラーと

した高放熱性樹脂材料では、主に板状h-BNの樹脂中での配向を制御する成形プロセス側でのアプローチや板状h-BNを凝集粒子化することで熱伝導異方性を解消するアプローチの検討がされてきた。

今回開発したのは、板状h-BNの凝集粒子であるが、凝集粒子を構成するh-BN一次粒子の配向構造を制御した材料である(図)。このようなh-BNの三次元連結構造(カードハウス構造)をとることにより、樹脂と複合化した際、凝集粒子内および凝集粒子間でh-BN一次粒子の接触が密になるだけでなく、ab軸方向を介した高密度の熱伝導パスが形成されやすいた

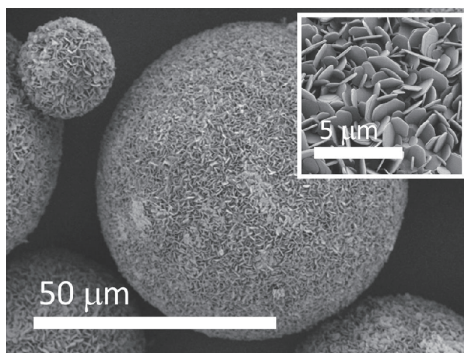


図 カードハウス構造

め、粒子内および粒子間の接触熱抵抗を大幅に低減できた。これまで、凝集粒子を構成するh-BN一次粒子の配向構造を制御し、一次粒子の配向が熱伝導に及ぼす影響を明らかにした例はない。フィラーの凝集構造制御による熱伝導性改善という新しいアプローチである。開発したカードハウス構造を有するBN凝集粒子を用いて樹脂製のシートを作製したところ、既存品に比べて約2倍(15~20W/mK)の熱伝導性が得られた。

カードハウス構造を有するBN凝集粒子は、樹脂と複合化した際の形状保持性も良く、比較的高い粒子強度を有するため、高放熱性樹脂材料用フィラーの他、熱をマネジメントするさまざまな用途に応用が期待される。

(株)三菱化学科学技術研究センター 無機系機能材料研究所 主任研究員 山崎正典
E-mail: 3805864@cc.m-kagaku.co.jp 連絡先:
〒100-8251 東京都千代田区丸の内1-1-1 三菱化学(株)情報電子本部 半導体マテリアルズ事業部 桐谷秀紀 kiritani.hideki@mr.m-kagaku.co.jp)

[2016年7月25日]

酸化物イオンで充放電

携帯機器などに利用されているリチウムイオン電池は、希少資源であるリチウムやコバルトを使用することから代替技術の開発が急務となっている。その中で、リチウムをナトリウムに置換したナトリウムイオン電池は特に実現性が高いと考えられており、元素戦略という国家的エネルギー戦略の観点からも開発が強力に推進されている。

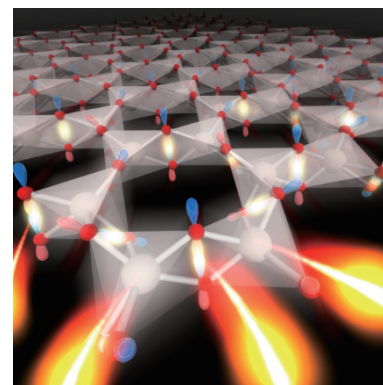
実用可能な水準までナトリウムイオン電池を高機能化するためには、ナトリウムイオンを吸蔵・放出する化合物の対(正極材料と負極材料)を開発することが求められる。特に、長時間のエネルギー供給を可能とする電池には、正極材料と負極材料における高密度な酸化・還元反応の実現が期待されてきた。

山田らは、層状酸化物 Na_2MO_3 (M: 遷移金属)に高密度に含まれる酸化物イオンが可逆な酸化・還元反応を示すことを発見した。従来、このような反応を起こそうとすると酸素が乖離したり、結晶の構造が変化したりして

安定な酸化・還元反応は起こらないとされてきた。しかし、 Na_2MO_3 における酸化物イオンの酸化・還元反応では、協同的な構造の歪みにより酸化物イオンの2p軌道が互いに強く相互作用することで反応を安定化し、その安定化された酸化物イオンの酸化・還元反応は100回以上の充放電サイクルを繰り返すことが可能であった。

さらに、遷移金属からのみ電子を取り出す従来型の正極材料に比べて14倍の電気量を蓄えることが可能であることも確認された。‘酸化物’という極めて多様な物質群の基本構成単位である酸化物イオンが酸化・還元反応を示し、ナトリウムイオン電池の正極材料として機能する、という本発見(図)は、今後、電気自動車などに搭載可能な高エネルギー密度の電池開発に大きく貢献すると期待される。

なお、本研究成果の一部は、文部科学省元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>「京都大学 触媒・電池元素戦略研究拠点ユニット」(研究代表者: 田中康裕 京都大学大学院工学研究科教授)による支援を受けて行われた。



(東京大学 教授 山田淳夫・准教授 大久保将史
連絡先: 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1,
E-mail: yamada@chemsys.t.u-tokyo.ac.jp)
URL <http://yamada-lab.t.u-tokyo.ac.jp/>

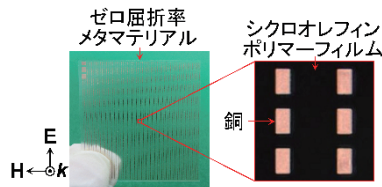
[2016年7月26日]

テラヘルツ光領域で 屈折率ゼロの透明物質を実現

2020年に開催される東京オリンピックに向けて、テラヘルツ光のシステム応用化に向けた研究や産業化が極めて活発に推進されている。特にX線に代わる安全かつ高精度な可視化技術や次世代の超高速無線通信に注目が集まっている。具体的なアプリケーションとして0.3 THz帯でのテラヘルツイメージングやテラヘルツ高速無線通信が報告されている。従来のテラヘルツデバイスを構成するレンズなどのコンポーネントは波長に対して非常に大きく、産業応用化に向けてこれまでにないテラヘルツ光材料が求められている。しかしながら、構造中の位相速度や波長が無限大となる屈折率が“ゼロ”の物質は我々が生活する自然界のどこにも存在しなかった。

今回、茨城大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻の木村辰也氏（修士修了）、安田淳

一氏（学部卒業）、佐藤竜也氏（修士課程2年）、黒崎 亘氏（技術部）、鈴木健仁氏（講師）らによる研究チームは、メタマテリアルを活用することで0.5 THzでゼロの屈折率の物質の開発に成功した（図）。これまでにテラヘルツ光領域でゼロに近い誘電率を有する人工誘電体は報告されていたが、屈折率がゼロのテラヘルツ光物質の開発は初めてとなる。実験により、0.50 THzで屈折率 $0.037 + j0.072$ 、透過電力94.5%、反射電力0.8%を確認した。



これまで一般的であった誘電率のみの制御で屈折率をゼロにしたとしても、インピーダンス整合がとれず、大きな反射が生じてしまう問題が起きる。そこでメタマテリアルを活

用して誘電率だけでなく透磁率も同時に制御し、無反射でテラヘルツ光に対して透明、かつ低損失なゼロ屈折率物質を実現している。厚さ 50 μm の誘電体基板に、金属の微細なワイヤー構造を表裏対称にメタアトムとして描いている。誘電体基板にはテラヘルツ光領域で低損失なシクロオレフィンポリマーフィルム、金属には銅を用いている。実験はテラヘルツ時間領域分光法 TOPTICA 社 TeraFlashにより行い、実効的な屈折率を計測している。2016年9月にデンマークコペンハーゲンで開催されるテラヘルツ分野最大の国際会議IRMMW-THz 2016で研究の進捗を報告する。

本研究の一部は、文部科学省科研費若手研究(A)(26706017)、文部科学省科研費挑戦的萌芽研究(26600108)の助成、JST重要財集約活用制度スーパーハイウェイ(SHW005)の委託を受けたものである。

（茨城大学 工学部 電気電子工学科 講師
鈴木健仁 連絡先：〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 E6-404, E-mail: takehito.suzuki.antenna@vc.ibaraki.ac.jp)
URL <http://suzuki-lab.ee.ibaraki.ac.jp/>

[2016年7月26日]

ワイル半金属の発見

単層に分離されたグラフェンシートはゼロギャップ半導体（もしくは半金属）であり、その伝導電子は高速に移動する「ディラック電子」として振る舞うことが知られている。物質科学におけるディラック電子とは、質量が限りなくゼロに近い相対論的粒子（例えば、真空中のニュートリノ）のように物資中を運動する電子について名付けられた名称である。ディラック電子を持つ物質は、一般的に高い電気伝導・熱伝導性を示し、超高速かつ低消費電力で動作するデバイスへの応用を目指した研究が精力的に行なわれている。

このディラック電子は、外場や欠陥などで物質の対称性が破れてバンド混成が起きると、ギャップが開くために伝導性が低下する。これは相対論的粒子として質量が発生することに対応する。最近の理論的な研究により、ある種の半金属において電子のスピン縮退を解

くことで、物質中で「ワイル粒子」とみなせる、質量を持つことがない電子状態が形成されるという予測がなされ大きな注目を集めた。本来のワイル粒子は、質量ゼロの光速粒子として87年前に提案されたものであるが、素粒子として実証された例はまだない。このワイル粒子を内包する物質系は、ワイル半金属と呼ばれ、その実現が待望されていた。

東北大学、大阪大学、ケルン大学の共同研究グループは、NbPの高品質大型単結晶を育成し、高分解能角度分解光電子分光実験により、その電子エネルギー状態を高精度で調べた。ワイル半金属の表面では、「フェルミ弧（アーク）」という、開いた形状の電子状態が発現することが理論的に予測されている。フェルミ弧状態の発現は、物質の中のワイル粒子がもつトポロジカルな性質に大きく関わる。研究チームは、NbPの結晶構造に着目し、Nb表面とP表面の二つの異なる表面の電子状態を詳しく調べ、その二つのフェルミ弧の交点

が固体中でワイル粒子の存在する位置に対応していることを見いだした。この結果により、NbPが新型のワイル半金属であることが実験的に確立された。現在、ワイル半金属の発見を皮切りに、さまざまな相対論的粒子をもつ物質の提案と探索が進んでいる。これらの新物質材料の高度化により、高い伝導性を活かした低消費電力・超高速の電子デバイス開発に大きな弾みがつくものと期待される。

本研究は、文部科学省からの研究費により行われた。

（東北大学 WPI-AIMR 准教授 相馬清吾
連絡先：〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1,
E-mail: s.souma@arpes.phys.tohoku.ac.jp)

[2016年8月1日]