

量子スピン液体と常磁性状態の間に現れる有限温度相転移

人類最古の磁石である磁鉄鉱の発見から始まる磁性体の歴史において、これまで主として強磁性体が注目され、その研究が現代のエレクトロニクスを支える基盤のひとつとなってきた。よく知られているように、強磁性体を熱するとある温度を境に磁化が消失し常磁性となる。このように温度変化に伴って磁性体の性質が変化することは、物質が固体、液体、気体の間で姿を変えることに類似している。すなわち、磁性体中の電子がもつスピンの向きが整列している状態である強磁性状態は「固体」、それらがバラバラな方向を向いた常磁性状態が「気体」に対応する。

1973年にノーベル賞物理学者のP. W. Andersonは、スピンの互いに強く影響し合いながらも量子力学的な効果でそれらの方向が定まらない「ドロドロ」した状態として量子スピン液体という概念を提唱した。この磁性体の「液体」に対応する新しい概念は、多くの物理学者の興味を引き、現在もおおむね的研究対象となり続けている。特に実験研究においては、気体と液体が相転移なしに移り変わることの類推として、高温の常磁性状態から極低温まで冷却しても相転移の兆候がないことを量子スピン液体の証拠として、量子スピン液体の発現可能性が論じられている。一方で、有限温度における量子スピン液体の理論研究は、計算の困難さからほとんどなされてこなかった。

東京工業大学大学院理工学研究科の那須譲治助教、東京大学大学院工学系研究科の宇田川将文助教、求幸年准教授らは、量子スピン液体の有限温度の性質の解明を目的に、ある種のイリジウム化合物やルテニウム化合物の磁性を記述するKitaevモデルと呼ばれる理論模型に対して、新しいシミュレーション方法を開発した。それを用いた大規模な数値計算により、高温の常磁性状態と低温の量子スピン液体との間に、従来の相転移理論では説明できない新しいタイプの相転移が有限温度で存在することを発見した。この結果は、相転移の不在をもって量子スピン液体の証拠とする従来の見方に一石を投じるものである。また、量子スピン液体は次世代の量子コンピュータへの応用といった観点でも注目されているため、本研究で明らかにした熱揺らぎの効果は量子情報といった分野への波及効果も期待できる。

この研究は、文部科学省の科学研究費補助金の助成により執り行われ、数値計算は物性研究所所有のスーパーコンピュータを用いて行われた。(東京工業大学大学院理工学研究科 那須譲治、東京大学大学院工学系研究科 宇田川将文、求幸年 連絡先：〒152-8551 東京都目黒区大岡山2-12-1, E-mail: nasu@phys.titech.ac.jp)

URL: <http://www.motome-lab.t.u-tokyo.ac.jp/>
[2015年3月20日]

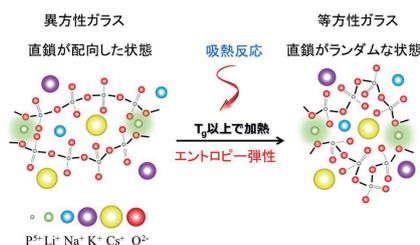
ゴムの挙動を示す酸化物ガラス

東京工業大学・旭硝子共同研究講座の稲葉誠二助教(現旭硝子中央研究所)、伊藤節郎特任教授(元旭硝子)、応用セラミックス研究所細野秀雄教授らのグループは、ゴムのように伸び縮みするエントロピー弾性を示す酸化物ガラスの作製に成功した。エントロピー弾性とは、応力下で変形を受けた物質がエントロピー増大則により元の形状に戻る性質であり、ゴム弾性がその典型的な例である。

ゴムは、柔軟な長い鎖状分子が無秩序に絡み合い、しかもその鎖状分子間が適度に架橋した構造を持つ。それゆえ、ガラス転移点(T_g)近傍の温度域で引き伸ばすと、鎖状分子が応力の方向に配向し、応力を除くと、吸熱しながら元の無秩序状態に戻り収縮する。酸化物ガラスは、通常、強固な網目構造から成り、T_g近傍で引き伸ばすと網目の切断や組換えによる永久変形が生じるため、これまでエントロピー弾性を示すことは知られていなかった。

研究グループは、有機ゴムの構造を参考に、-P-O-P-直鎖構造を持つ混合アルカリメタリン酸塩ガラス(Li_{0.25}Na_{0.25}K_{0.25}CSi_{0.25}PO₃)を作製した。このガラスは、T_g近傍の温度で引き伸ばし応力を掛けたまま冷却すると、-P-O-P-直鎖が配向し大きな異方性を示す。この異方性ガラスは、再度T_g付近の温度に加熱すると、吸熱を伴って等方性ガラスに戻りながら収縮する。その収縮量は異方性が大きいほど大きい。また、T_gよりやや高い温度で数十%引き伸ばした後、その温度で応力を除去すると、伸びた長さの半分程度まで収縮する。このガラスが、このようなゴムと類似の収縮挙動を示すのは、アルカリ種の適度な量と配分により-P-O-P-直鎖の重合度や柔軟性を高め、しかも直鎖間の結合が最も強いLiイオンを架橋点とする構造設計により、エントロピー弾性を発現することができたためと考えられている。組成と構造の更なる工夫により、ゴム状ガラスの科学と応用の発展が期待される。詳細はNature Materials, 14, 312-317 (2015), 参照。(東京工業大学 元特任教授 伊藤節郎 連絡先: E-mail: qqrqg5h7d@theia.ocn.ne.jp) URL: <http://www.titech.ac.jp/news/2014/12>

[2015年3月24日]



石英ガラスの低コスト製造法を開発

九州大学産学連携センターの藤野 茂教授の研究グループは大気中、1100℃で焼成することにより、可視光域で90%の光透過性を示す石英ガラス焼結体を開発した。

石英ガラスは低膨張性、耐熱性、耐薬品性、絶縁性、紫外線～近赤外線での高透過率等の物性に優れているため、理化学用、光学部品、電子材料基板、医療分野等さまざまな用途展開が見込まれる素材である。その製造方法等は産業的に確立されているものの、所望の形状に成形加工するには、多量の熱エネルギーと複雑な加工技術が必要である事などの問題点を抱えており、低コスト製造法の開発が望まれている。

今回、開発した手法はガラスビーカーと攪拌機、乾燥機、一般的な焼成炉のみで製造できるプロセスであり、特別な製造装置を必要としない。具体的には、シリカナノ粒子とポリビニルアルコール(PVA)水溶液を分散させた溶液を用いて、石英ガラスの前駆体である塊状80SiO₂・20PVA(重量比)メソポーラス素材を開発した。pHを2～3に調整した分散溶液を、所望の鑄型に流し出し、大気中、乾燥工程を得て、き裂が生じない塊状メソポーラス成形体を作製することが可能となった。シリカナノ粒子はpH=3近傍にゼータ電位がゼロとなる等電点が存在し、粒子表面に存在するシラノール基(SiOH)を介したシリカナノ粒子間の凝集や、PVA分子中のOH基との水素結合による粒子表面へのPVAの吸着が起りやすくなる。この特性を利用し、シリカナノ粒子の凝集サイズを数百nm程度に均一に揃え、溶媒蒸発を伴う乾燥工程を制御することで、機械的強度に優れた塊状メソポーラス材料を作製することができた(物性の一例 平均細孔直径:約20nm, 全細孔容積:1.1 cm³/g, 比表面積:180 cm²/g, 空隙率:65%, 屈折率:1.175)。

得られたメソポーラス体を大気中、1100℃で焼成を行うことによって透明石英ガラス焼結体を得た。さらに、焼成前のメソポーラス細孔内のシリカ表面に金属イオンを吸着させることも可能であり、焼成後、石英ガラス中へさまざまなイオンや金属ナノ粒子をドープすることができる。市販されている合成石英ガラスと比較すると、光透過率は数%低下するものの、鑄込み成形ができることで、複雑形状を有する機能性石英ガラス部材への応用が期待される。

(九州大学産学連携センター 教授 藤野 茂 連絡先: 〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1 E-mail: fujino@astec.kyushu-u.ac.jp)

[2015年3月25日]