

電子のガラス状態を発見 - ガラス化メカニズムの普遍的解明へ大きく前進 -

平成 25 年 6 月 10 日
 国立大学法人東京大学
 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構

最先端研究開発支援プログラム (FIRST) 課題名「強相関量子科学」(中心研究者:十倉好紀)の事業の一環として、東京大学大学院工学系研究科の賀川史敬 講師、大学院生 佐藤拓朗氏、十倉好紀 教授らの研究グループは、三角格子を持つ層状有機化合物を急冷すると電子がガラス状態を形成することを発見しました。

液体中の原子や分子は通常、低温にすると凍って周期性を持った結晶を組みますが、中には急冷することによって周期性を持たないガラス状態へと凍結するものも数多く存在します。電子同士が強く相互作用し合う強相関電子系と呼ばれる物質群においては、いわば液体のように遍歴していた電子が、低温で結晶化して局在する現象がしばしば観測されます。このような振る舞いは通常の液体の結晶化と一見似ているにもかかわらず、結晶化が急冷によって妨げられてガラス化するという現象は電子系においてこれまで知られていませんでした。今回賀川史敬 講師らの研究グループは電気抵抗の揺らぎを 10 マイクロ秒の分解能で測定すると共に X 線回折実験を行うことで、急冷下で電子が 10 ~ 20 ナノメートルサイズのクラスターを形成しつつガラス化することを初めて見出しました。また、電子がガラス化する過程は、液体がガラス化する過程によく似ており、両者の間には普遍的なメカニズムが働いている可能性が示唆されました。電子ガラスの研究を通じて、ガラス化メカニズムの普遍的な理解へ向けて大きく前進することが期待されます。

本研究は、東京大学の鹿野田一司 教授、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の熊井玲児 教授、村上洋一 教授らと共同で行われ、2013 年 6 月 10 日(日本時間)に英国科学誌「Nature Physics」のオンライン版で公開される予定です。

(詳しくは KEK プレスリリース <http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20130610100000/> をご覧下さい)。

電子のスピンと軌道の絡み合った共鳴状態の世界初の解明 - 新しい量子状態の存在を示唆する成果 -

平成 25 年 6 月 18 日
 国立大学法人大阪大学
 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構
 国立大学法人東京大学

大阪大学大学院基礎工学研究科(物質創成専攻物性物理工学領域)若林裕助准教授、東京大学物性研究所 中辻知准教授を中心とする研究グループは、蜂の巣構造を基本骨格とする銅酸化物(図1)において、電子の持つ自由度であるスピンと軌道が量子力学的に混ざった状態に特徴的な構造を観測することに世界で初めて成功しました。研究グループは、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構(KEK)放射光科学研究施設フォトンファクトリー(PF)の放射光を用い、数ナノメートルの範囲でのみ銅イオンの電子軌道が整列していることを観測しました。その温度依存性を磁性と比較した結果、電子の軌道とスピンの強く絡み合いながら揺らいだ状態が実現していることが明らかになりました。この状態は、軌道が高い温度で秩序化し、その環境に合わせて磁性が低温で秩序化する通常見られる状態と大きく異なっています。

蜂の巣構造などある種の幾何学的な構造は、単純な秩序構造と辻褃が合わず、フラストレーションを持ったまま非常に低温まで秩序を形成しないことが知られています。そのような物質の中では、通常生じない新しい状態が生まれることが理論的に予想されています。今回の観測は、このような新しい状態の一つを実験的に確認したことに相当します。このような新しい量子状態は、新しい物性や機能を秘めている可能性があり、今後はその解明が期待されます。(詳しくは KEK プレスリリース <http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20130618100000/> をご覧下さい)。

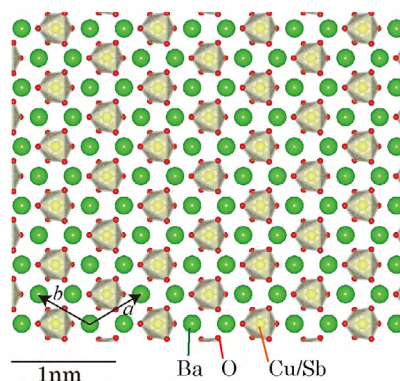


図1 Ba₃CuSb₂O₉ の結晶構造

強相関絶縁体における歪み誘起磁化の起源を解明

平成 25 年 7 月 9 日
国立大学法人 東京大学
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

東京大学大学院工学系研究科の藤岡 淳 助教、十倉 好紀教授らの研究グループは、本来磁性を持たない物質として知られる強相関電子系 LaCoO_3 を薄膜化して歪をかけることで生じる自発磁化が、電子の持つスピン・軌道の整列現象に起因することを明らかにしました。

電子同士が強く相互作用し合う強相関電子系と呼ばれる物質群においては、ナノメートルスケールの電子の自己組織化が広く観測されています。電子の集団的量子現象の身近な例として磁石で見られる磁化の発現が挙げられます。ミクロに見るとこれは電子の内部自由度であるスピンの整列現象（秩序化）として理解されています。物質の温度、電子のバンドの充填度やバンド幅を変えることでこの整列現象が生じることはよく知られていました。しかし歪みによって誘起された磁化の現象をミクロな視点から系統的に調べた研究はなく、その起源は謎に包まれていました。

今回、藤岡 淳 助教らの研究グループは上記の方法とは異なり、もともと磁性を持たない物質でも歪みをかけることで電子の持つ内部自由度であるスピン・軌道自由度の整列現象が生じて磁化が生じ得ることを明らかにしました。具体的には、物質を構成しているイオンのスピン状態が僅かな結晶歪みによって変化してスピンの整列現象が引き起こされていることを突き止めました。イオンの持つスピン状態を操ることで電子の内部自由度の整列現象を制御するという手法はこれまであまり認識されておらず、新規な量子現象の開拓やスピントロニクス機能性の開拓に大きく寄与することが期待されます。

本研究は、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所の山崎 裕一 助教、中尾 裕則 准教授、熊井 玲児 教授、村上 洋一 教授らと共同で、最先端研究開発支援プログラム (FIRST) 課題名「強相関量子科学」(中心研究者：十倉 好紀) の事業の一環として行われました。また、2013 年 7 月 9 日 (米国東部時間) に米国科学誌「Physical Review Letters」のオンライン版 (7 月 12 日号) で公開される予定です。

(詳しくは KEK プレスリリース <http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20130709140000/> をご覧下さい)。

グラフェンと磁性金属の界面で起こる特異な電子スピン配列を発見—グラフェンへのスピン注入の効率化に新たな指針—

平成 25 年 7 月 16 日
独立行政法人日本原子力研究開発機構
国立大学法人千葉大学
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構

独立行政法人日本原子力研究開発機構 (理事長 松浦 祥次郎) 先端基礎研究センターの松本吉弘任期付研究員、境誠司グループリーダー、国立大学法人千葉大学 (学長 齊藤 康) 大学院融合科学研究科の小出明広氏、藤川高志教授、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 (機構長 鈴木厚人) 物質構造科学研究所の雨宮健太教授らは、グラフェンと磁性金属 (ニッケル) 薄膜の接合体について、界面の近傍で生じる電子スピンの特異な配列状態の存在を明らかにしました。

グラフェンは、スピン情報の伝達に優れた性質を有することから、次世代スピントロニクスの基盤材料として世界的に注目されています。グラフェンをスピン素子に用いるためには、電子スピンの向きに偏り (スピン偏極) を持つ磁性金属などから、グラフェンにスピン偏極した電子を移動 (スピン注入) させる必要があります。その際に電子のスピン偏極を保つことなど、スピン注入効率の向上が応用の実現に向けた課題となっています。スピン注入は、磁性金属等のスピン注入源とグラフェンの接合面 (界面) を介して行うため、効率的なスピン注入源の設計には界面の電子スピン状態の理解が重要です。

今回、当研究チームは、原子層スケールの分解能で表面からの深さが異なる場所の電子スピン状態を検出できる、深さ分解 X 線磁気円二色性分光法を用いて、グラフェンと磁性金属 (ニッケル) 薄膜の接合体を分析しました。通常、磁性金属の薄膜はスピンの向きが面に沿って (面内方向に) 配列する性質があります。しかし、本研究の結果、グラフェンとニッケル薄膜の界面では、界面からわずか数原子層の領域で、電子スピンの配列の向きが面内方向から面に垂直な方向 (面直方向) に回転していることが明らかになりました。これまでのスピン注入源では、このような界面に特有の電子スピン配列状態は考慮されておらず、スピン注入を妨げる原因になっていた可能性があります。今後、本成果を新たな設計指針とすることで、グラフェンへの高効率スピン注入の実現に道を拓くことが期待できます。

本研究成果は、英国王立化学会誌「Journal of Materials Chemistry C」に近日中に掲載されます。(詳しくは KEK プレスリリース <http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20130716150000/> をご覧下さい)。