



“酸化ガリウム (Ga₂O₃) トランジスタ”を世界で初めて実現

(独)情報通信研究機構は、(株)タムラ製作所、(株)光波と共同で、世界に先駆けて新ワイドギャップ半導体材料である酸化ガリウム (Ga₂O₃) を用いたトランジスタの作製、動作実証に成功した。

現在、世界的な課題として、化石燃料に替わる新エネルギーの創出と並行して、革新的な省電力技術の開発が求められている。このような社会事情から、現状のシリコン (Si) よりもさらに高耐圧・低損失なパワーデバイスの実現が期待できる SiC、GaN といったワイドギャップ半導体材料が注目され、日本はもとより米国、欧州といった諸外国においても活発に研究開発が進められている。Ga₂O₃ は、SiC、GaN と比較してさらに大きなそのバンドギャップに代表される物性から、パワーデバイスに応用した場合、より一層の高耐圧・低損失化等の優れたデバイス特性が期待できる。また、簡便な融液成長法により単結晶基板が作製可能であるという主に産業面で有益な特徴もある。しかし、これらの高い材料的ポテンシャルにもかかわらず、これまで研究開発はほとんど手付かずの状態であった。

今回、新たに開発した「Ga₂O₃ 単結晶基板作製、薄膜結晶成長、デバイスプロセス技術」を駆使して、電界効果トランジスタの一種 (MESFET) を作製し、その動作実証に世界で初めて成功した。デバイス特性は、研究開発初期段階のため非常にシンプルなトランジスタ構造であるにもかかわらず、(1) 高いオフ状態耐圧 (250V 以上)、(2) 非常に小さいリーク電流 (数 $\mu\text{A}/\text{mm}$ 程度)、(3) 高い電流オン/オフ比 (約 10,000) など優れた特性が得られた。

今回、新ワイドギャップ半導体材料である Ga₂O₃ を用いたトランジスタの開発に成功したことによって、次世代高性能パワーデバイス実現への可能性が開けた。今後、その優れた物性を生かした Ga₂O₃ デバイスに関する研究開発が世界的に広がると予想される。高性能 Ga₂O₃ パワーデバイスは、グローバルな課題である省エネ問題に対して直接貢献するとともに、日本発の新たな半導体産業の創出という経済面での貢献も併せて期待される。

本研究の一部は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) から受託した平成 23 年度「省エネルギー革新技術開発事業/挑戦研究 (事前研究一体型)」として実施した。
(独)情報通信研究機構 主任研究員 東脇正高 連絡先: 〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1, E-mail: mhigashi@nict.go.jp
URL: <http://www.nict.go.jp/press/05-1.html>
[2012 年 2 月 28 日原稿受付]

強磁性のまま絶縁体の酸化物

ホランダイト型と呼ばれる結晶構造を持った

遷移金属の酸化物が、その伝導性や磁性などに特異な性質を発現することから、近年注目を集めている。この物質は、ナノサイズのトンネルを持った結晶構造をしており、リチウムやセシウムといったイオンがトンネルを自由に入出力できるため、電池の電極材料やイオンの吸着材料として利用が検討されている。

東京大学物性研究所の上田 寛教授らは、2009 年に、ホランダイト型構造を持つクロムの酸化物 K₂Cr₈O₁₆ が、絶対温度 180K で常磁性金属から強磁性金属に転移し、さらに 95K で強磁性を保ったまま絶縁体に転移することを発見した。これは初めて観測された強磁性金属-強磁性絶縁体転移である。

この物質は、2重交換と呼ばれる機構でクロムの価電子のスピンのフルに分極した完全強磁性状態になっており、そのエネルギーバンド構造は、スピントロニクス材料として使われるハーフメタルの状態にある。すなわち、フェルミ面上には片側向きのスピンを持つ電子だけが存在し、流れる電流はスピン分極している。この物質を 95K 以下の温度にすると、エネルギーバンドにギャップが開き、強磁性を保ったまま、電流が流れない絶縁体になる。

強磁性金属から強磁性絶縁体への転移はこれまで例がなく、その起源は謎であった。これは、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の中尾裕則准教授グループによる放射光を用いた精密な結晶構造測定と、それに基づく千葉大学理学研究科の太田幸則教授グループの理論計算によって、電子のスピン自由度が役割を果たさないパイエルス転移という未知の現象であることが明らかにされた。通常のパイエルス転移では、格子のゆがみによって原子がベアを作ると、電子の新たな軌道が形成され、2つの電子がスピンの向きを反対にしてその軌道を占めるため、磁性を持たない状態となる。ところがこの物質の場合は、スピンの向きが揃った状態のまま、4つのクロム原子がひとつの電子を共有して弱く閉じ込め、系を絶縁化する。

こういった電子の新しい機能性の探索とその起源の解明は、基礎物性科学の興味だけでなく、将来的な応用の可能性を秘めたものであると期待したい。

(千葉大学大学院理学研究科 教授 太田幸則 連絡先: 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33, E-mail: ohta@faculty.chiba-u.jp)

[2012 年 3 月 20 日原稿受付]

フラレンナノウイスカー繊維を 超伝導体に

繊維状の超伝導体があれば、それを束ねて糸を作り、それを織って布を作ると、さまざまな形態の超伝導体期待され夢が広がる。物質・材料研究機構のナノフロンティア材料グループの竹屋浩幸首席研究員、高野義彦グループリーダー、フラレン工学グループの宮澤薫グループリーダーらは、軽くてしなやか繊維状の材料であるフラレンナノウイスカーに着目し、その超伝導化に成功した。

フラレンナノウイスカーは、サッカーボール状の結晶構造を持つ C₆₀ がファンデルワール



フラレンナノウイスカーの光学顕微鏡写真

ス力により細長く繊維状につながったものである。密度は絹と同程度であり、大変軽しなやかな材料である (図参照)。フラレンナノウイスカーの合成方法は大変簡便で、まず、C₆₀ の良溶媒飽和溶液を用意し、そこへ貧溶媒を重層することにより過飽和状態が形成され、界面にフラレンナノウイスカーが合成される。これは LLIP 法と呼ばれ、大量合成が可能手法である。

さて、カリウムドーブによる C₆₀ 結晶の超伝導は、1991 年にベル研究所の研究者らにより発見され、その後の研究により、RbCs₂C₆₀ が常圧で最も高い超伝導転移温度を示すことが知られている。しかし、結晶全体を超伝導化することが難しく、応用に向け課題となっていた。

今回のフラレンナノウイスカーの超伝導化は次のような手順で行われた。まず、原料のフラレンナノウイスカーをカリウムとともに石英管につめ、200度で 24 時間アニールを施した。アニール処理前後で結晶の形状はほとんど変化しなかった。磁化率の温度依存性により、超伝導転移温度は約 17K であり、これは、C₆₀ 結晶より 2K ほど低いことがわかった。一方、ゼロ磁場冷却時の磁化より見積もった、フラレンナノウイスカーの超伝導体積率は約 100% であり、同条件で合成した C₆₀ 結晶の約 200 倍に相当し、試料全体が超伝導になっていることが確認された。さらに、磁化曲線より Bean モデルによって見積もられた臨界電流密度は、1-5T の磁場中で 10⁵A/cm² と大変高く、同条件で作った C₆₀ 結晶に比べ約 2 桁高いことが明らかになった。

フラレンナノウイスカーの特徴の一つに、液中で合成された後乾燥させる過程で、結晶に小さな隙間や欠陥が生じることがある。一般に結晶中にある欠陥は不完全性を示すものでよくないイメージがあるが、今回はこの欠陥が幸いした。超伝導体積率が高い試料が得られたことは、恐らく、この欠陥に沿ってカリウムの拡散が促進したためと考えられる。さらに、磁場中での臨界電流密度が高いことは、この欠陥がピンニングセンターとして働いたためと思われる。今後、より長いフラレンナノウイスカーを用いた実験や超伝導転移温度の向上が期待される。将来、繊維状超伝導材料を束ねて超伝導線材が作られる日が来るかもしれない。

[2012 年 4 月 3 日原稿受付]