

強相関電子材料とエレクトロニクス応用

強相関電子材料とは

現在の家電製品から情報通信機器までを支えているのは、シリコンテクノロジーを中心とした半導体エレクトロニクスといえるでしょう。10nmサイズのレベルまで微細化するナノテクノロジーによって、半導体はますます高密度化大容量化が進んでいます。しかし、このサイズになると別の物理現象が現れ、もはや素子として動作しなくなるとの指摘もあります。この限界を打ち破る可能性がある電子材料として、強相関電子材料があげられます。

極端に言えば、半導体素子は、少ない電子(少数キャリア)1個1個を制御してデバイス機能を持たせたものと言うことができ、一方、強相関材料では、非常に多くの電子がお互いに強く作用しあって電子相をつくっていると言えるでしょう。

ある環境下では、電子が動けず絶縁体として振る舞いますが、外部からの小さな刺激によって電子が自由に動け

る金属相に相転移します。この電子相の変化は非常に速く、かつ巨大な応答になります。この原理をエレクトロニクスに応用しようとするのが、強相関電子技術です。

ペロブスカイト構造をもつ遷移金属酸化物が強相関電子材料の例としてあげられます。この中には、高温超伝導体である銅酸化物や超巨大な磁気抵抗効果を示すマンガン酸化物などがあります。また、有機物電荷移動型錯体結晶も強相関材料です。ここでは、将来の強相関エレクトロニクスへと発展が期待される例をいくつか紹介します。

強相関エレクトロニクスへ

強相関マンガン酸化物薄膜の両面に金属電極をつけ、パルス電圧を加えると高抵抗から低抵抗に高速にスイッチするという現象が見つかっています。この低抵抗状態は次に逆バイアスの電圧パルスを加えるまで記憶されることから、将来の大規模高速不揮発性メモ

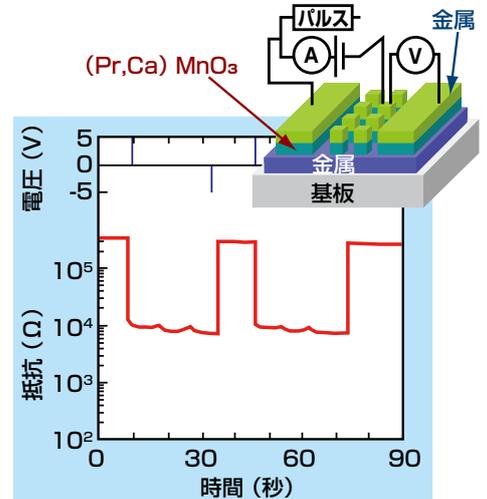


図1 強相関マンガン酸化物の電界誘起抵抗変化メモリ効果

リへの応用が期待されています(図1)。

強誘電体は極性反転を利用した不揮発性メモリや圧電素子などに应用可能ですが、室温でも巨大な誘電率を持つ有機強誘電体物質の開発に成功しました(図2)。これは将来の有機エレクトロニクスに重要な部材として期待されています。

その他、強相関コバルト酸化物やマンガン酸化物にレーザー光を照射すると、極めて高速(サブピコ秒)に絶縁体から金属に相転移することも見つかっています。光照射による高速スイッチング素子や磁性スイッチング素子として期待されています。

強相関電子技術研究センター
赤穂 博司

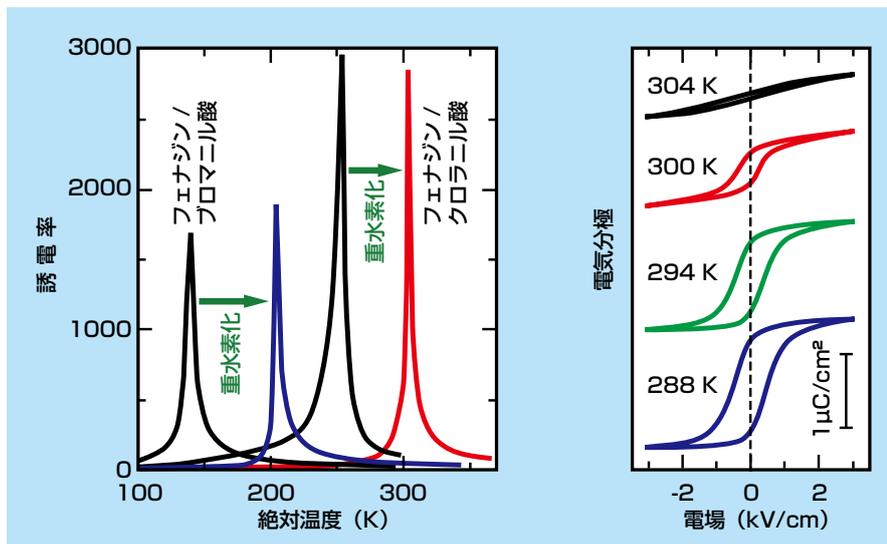


図2 2種類のπ電子系有機分子を水素結合させた新しい強相関有機強誘電体物質の誘電特性

ダイヤモンドデバイスの実現に向けて

ダイヤモンドは宝石として身近な存在ですが、物質中最高値の物性を複数持つ、極めて特異な物質です。人工合成技術の1つである気相合成技術の進展で、粒状ばかりでなく板や薄膜のダイヤモンドが手に入るようになり、利用の形態が大幅に拡大しています。そしてエレクトロニクス材料としてデバイス化への研究開発が進められています。

ダイヤモンドをデバイスにする？

ダイヤモンドは、高硬度以外に高熱伝導率、光透過特性、半導体特性等の様々な優れた物性を有することから、広い応用展開が期待されています。近年、ダイヤモンドをナノレベルまで加工する技術が完成したことで、想定できるデバイスの範囲が広がっています。また、表面の原子レベルの制御が、表面物性を大きく変化させ、このこと

でセンサー等へ適用できることも判明しています。当センターで現在力を入れて取り組んでいるデバイス開発について紹介します。

半導体デバイス：ダイヤモンドの物性は究極の半導体材料と位置づけられ、ポストシリコン材料と位置づけられています。高温動作や高耐圧といった特性から、パワー応用に最も適した材料と考えられます。しかし先行する炭化シリコン(SiC)や窒化ガリウム(GaN)等との競合に勝って行くには、結晶制御、ドーピング、界面制御等の基本的な課題がまだまだたくさんあります。

電子放出デバイス：ダイヤモンドは特定の表面状態では負性電子親和力であり、電子を放出することが容易な材料です。これを利用して低電圧、大電流、低温動作の電子源として利用できる可能性が示されています。2次電子

放出を利用した応用への適用も可能性があります。

バイオセンサー：ダイヤモンドは、電気化学ポテンシャル窓が広く、表面修飾によってDNA等の生体物質を安定に固定できる材料です。この特性を利用して各種のバイオセンサー等に利用できることが期待されていますが、生体適合性などの特性から体内での利用も夢ではありません。

産総研の研究展開

私たちは、前述の応用を目指した研究開発を行っています。例えばショットキー接合の高耐圧化、低電圧電子放出を可能とする表面構造の研究、DNA固定技術等に取り組んでいます。特に、単結晶ダイヤモンドを使ったイオン感応性電界効果トランジスタ型(ISFET型)pHセンサーを試作し(図1)、高い感度を得ることに成功しています(図2)。さらにデバイスそのものの開発と共に、半導体としての物性や表面特性等を対象とする基盤研究も行っています。また、応用展開に欠かせない大型単結晶の製造技術にも取り組んでいます。既に気相合成技術によって約10mmにまで単結晶を成長させ、将来はインチサイズの単結晶への発展を目指しています。

この様に総合的にダイヤモンドのデバイス化の研究開発を推し進め、産業界への技術移転を目指しています。

ダイヤモンド研究センター
藤森 直治

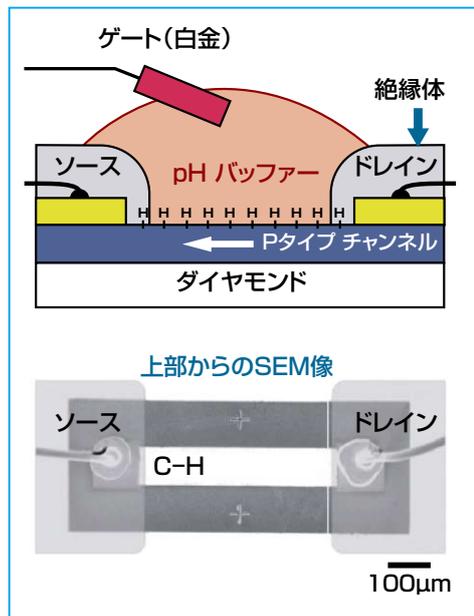


図1 ダイヤモンドpHセンサーの模式図とSEM像

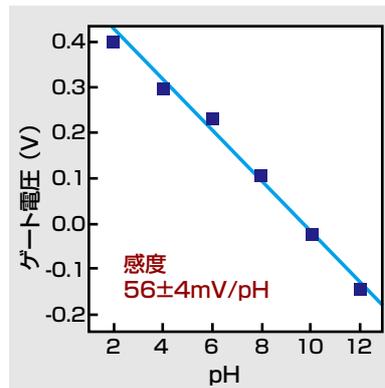


図2 ダイヤモンドpHセンサーの感度特性