

鉄系超伝導物質で新しい型の磁気秩序相を発見ー超伝導機構解明の有力な手がかりにー

平成 26 年 3 月 17 日
 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
 J-PARC センター
 国立大学法人 東京工業大学

【概要】

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) 物質構造科学研究所 (以下「物構研」) の元素戦略・電子材料研究グループは、東京工業大学 (以下「東工大」) 応用セラミックス研究所の飯村壮史 (いひむら そうし) 助教、同大学フロンティア研究機構・元素戦略研究センター細野秀雄 (ほその ひでお) 教授、松石聡 (まついし さとる) 准教授と共同で、マルチプローブの手法を用いて鉄系超伝導物質である $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{H}_x)$ の磁気的な性質および構造を調べ、水素置換濃度 x が 0.4 を超える領域で微細な構造変化を伴う新たな磁気秩序相が現れることを発見しました。この磁気秩序相は、同物質において 2012 年に明らかになった第二の超伝導相と隣接しており、従来知られていた母物質 ($x=0$)

における磁気秩序相とも質的に異なることから、もう一つの母物質が見出されたことになり、新たな超伝導機構解明の有力な手がかりとなることが期待されます。

本成果は、2014 年 3 月 16 日 (現地時間) に英国科学誌「Nature Physics」のオンライン版で公開されました。
 (※) オンライン版掲載日について改訂いたしました (2014 年 3 月 25 日)
 (この記事の続きは、<http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20140317100000/> をご覧下さい。)

太陽電池のエネルギー変換効率のカギは分子混合～有機太陽電池材料のナノ構造を解明～

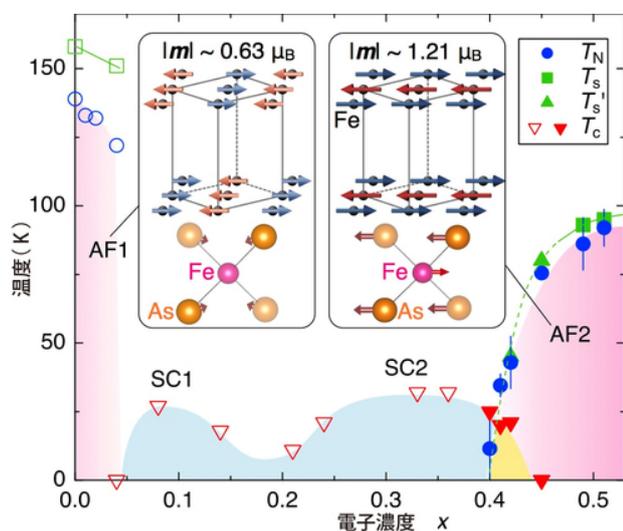
平成 26 年 4 月 17 日
 国立大学法人 筑波大学
 独立行政法人 物質・材料研究機構
 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
 国立大学法人 広島大学
 独立行政法人 産業技術総合研究所

【概要】

国立大学法人筑波大学 数理物質系 守友浩教授、櫻井岳暁准教授、独立行政法人物質・材料研究機構 太陽光発電材料ユニット 安田剛主任研究員、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 小野寛太准教授、間瀬一彦准教授、武市泰男助教、国立大学法人広島大学 大学院理学研究科 高橋嘉夫教授、独立行政法人産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター 吉田郵司研究センター付らの研究グループは、軟 X 線顕微鏡を用いて、有機太陽電池のナノ構造を調べ、それぞれの分子領域内で分子が混合していることを発見しました。この発見により、有機太陽電池のエネルギー変換機構が明らかになり、高効率な有機太陽電池の設計指針が得られると期待されます。

バルクヘテロジャンクション型有機太陽電池は、エネルギー変換効率が高いという特徴があります。これまで、高分子材料とフラーレンの単一分子ドメインとの間に綺麗な界面があることが、電池としての効率を高める上で重要であると考えられていました。しかし、変換効率を最適化した試料のドメイン構造を、軟 X 線顕微鏡という新しい手法を使って詳しく調べた結果、それぞれのドメインで分子が混ざっていることが分かりました。つまり、界面はむしろ「汚い」ほうが電池としての性能が優れる、ということが初めて分かり、これまでの常識を覆す結果が得られました。

本研究成果は、日本応用物理学会が発行する雑誌



LaFeAs(O_{1-x}H_x) の電子状態相図
 第二の超伝導領域 (SC2) に隣接して水素置換濃度 x が 0.4 を超えた領域で今回発見された第二の磁気秩序相 (AF2) が現れる。●がミュオン・スピン回転法・中性子回折により同定された磁気転移温度 (TN)、■, ▲が放射光により同定された構造変化の温度 (TS, TS')。図の中央上段は中性子回折で同定された磁気構造。左上が $x=0$ の母物質中での磁気相 (AF1)、右上が今回見つけた新たな磁気相 (AF2)、矢印は Fe_2As_2 層で鉄イオンが持つ磁気モーメントの向きを示す。下段では構造変化に伴う鉄およびヒ素の原子位置の変化の向きと大きさを模式的に示した。(平石・他、DOI:10.1038/NPHYS2906)

「Applied Physics Express」のオンライン版に4月16日付けで公開されます。

本研究成果の一部は、以下の事業・研究領域・研究課題等によって得られました。

① 双葉電子記念財団「有機太陽電池の電荷生成効率の決定手法の開発」 守友 浩

② 独立行政法人科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業個人型研究 (さきがけ) 「太陽光と光電変換機能」研究領域 (早瀬修二 研究総括) : 「放射光による有機薄膜太陽電池のエネルギー損失解析」 櫻井 岳暁

【研究の背景】

有機太陽電池は、従来、有機電子供与体(有機 p 型半導体)と有機電子受容体 (有機 n 型半導体) を層状に接合した構造 (p-n ヘテロ接合) が用いられていましたが、近年、これら2つの材料を混合して作製するバルクヘテロジャンクション型のものが開発され、エネルギー変換効率の高さから、次世代太陽電池として期待されています。このタイプの太陽電池が高いエネルギー変換効率を示す理由としては、電子供与体である高分子材料と電子受容体であるフラーレンとのナノドメインが接合することにより、大きな接合面を持つためと考えられていました。しかしながら、実際に各分子領域内の構造を調べた報告例は極めて少なく、特に、熱処理条件を変えてエネルギー変換効率を最適化した混合膜において、接合状態などの詳細は明らかにされていませんでした。

そこで本研究グループは、高エネルギー加速器研究機構 フォトンファクトリーの軟X線顕微鏡という新しい手法を用いて、変換効率を最適化した試料のドメイン構造を調べました。その結果、それぞれのドメインで分子が混ざっていることが明らかとなりました。つまり、むしろ界面は「汚い」ほうが電池としての性能が優れる、ということが初めて分かりました。

(この記事の続きは、<http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20140417103000/> をご覧ください。)

全反射高速陽電子回折法「TRHEPD 法」の高度化により究極の表面構造解析が可能に

平成 26 年 4 月 21 日

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

【概要】

日本原子力研究開発機構 (以下「原子力機構」) 先端基礎研究センターの河裾厚男研究主幹のグループと高エネルギー加速器研究機構 (以下「KEK」) 物質構造 科学研究所の兵頭俊夫特定教授、名古屋大学の一宮彪彦名誉教授らのグループの共同研究および共同利用研究 (研究代表: 原子力機構・深谷有喜研究副主幹) により、KEK の高強度低

速陽電子ビームを高輝度化して、TRHEPD 法の高度化を実現しました。この手法をシリコン結晶の (111) 表面に適用して、その表面超高感度性を実証しました。

本研究成果は、応用物理学会が Institute of Physics を通じて出版する Applied Physics Express に 2014 年 4 月 9 日にオンライン公開されました。

【背景】

ナノテクノロジーに代表されるナノメートルスケールのもので、物質の最表面の構造が物質の性質に大きな影響を与えます。そのため、材料の最表面を原子レベルで正しく観測し、物性を理解することが、表面に望ましい性質や機能をもたせるうえで不可欠です。

原子レベルで構造を解析する手法は電子線、X線、中性子線などを用いた回折実験などがありますが、どんなに浅い角度で結晶に入射しても、表面から原子数層分までビームが侵入してしまい、最表面だけからの情報を得るには様々な工夫が必要でした。

一方、正の電荷を持つ電子の反粒子である陽電子は、その電気的性質から結晶内部に入りにくく、ある角 (臨界視射角) 以下の浅い角度で入射すると物質の原子第 1 層目で全反射され、結晶内部に全く侵入しません。この性質を利用し、エネルギー 10 keV 程度に加速した、エネルギーと向きがそろった陽電子を結晶表面にすれすれの角度で入射すると、最表面の原子配置を反映した回折パターンが得られます。その回折パターンから、最表面の原子配置を調べる実験方法を、TRHEPD 法といいます。この手法は、表面に対する感度が非常に高く、最表面の原子配置を精度よく決めることができます。

【研究内容と成果】

KEK の 物質構造科学研究所 フォトンファクトリーの低速陽電子実験施設では、低速陽電子ビームの強度 10 倍増に成功し、世界で最も高強度のエネルギー可変低速陽電子ビームを出せるようになりました (2010 年)。今回、この高強度ビームを利用して、高効率にデータを取得できる世界唯一の TRHEPD 装置を開発しました。

また、この装置の検証のため、高強度陽電子ビームを高輝度化したエネルギー 10 keV の陽電子を用いて、シリコン単結晶の (111) 面を測定しました。シリコン (111) 最表面は、結晶内部の (111) 面の原子配列と違い、シリコン原子が再配列した Si(111)-(7×7)DAS と呼ばれる構造をしています。この構造は、存在の発見以来決定的な測定手段が無いまま、20 年以上原子配置が決まりませんでした。1985 年に透過電子線回折や走査トンネル顕微鏡などを駆使してようやく解明されました。

(この記事の続きは、<http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20140417103000/> をご覧ください。)