

反射高速用電子回折法によりシリセンの構造決定に成功～世界最高強度の陽電子ビームを用いてシリコン新素材の構造が明らかに～

平成 25 年 11 月 21 日
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
国立大学法人 東京大学

【本成果のポイント】

- ・輝度を増強した高強度エネルギー可変単色陽電子ビームによる反射高速陽電子回折法 (RHEPD) を用いて、銀単結晶表面上に作ったシリセンの構造を決定。
- ・陽電子ビームを用いた回折法が様々な物質最表面の構造決定に有効な手段として多方面の応用が期待。

【概要】

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（以下「物構研」）の兵頭俊夫特定教授らのグループと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、および東京大学物性研究所（以下「東大物性研」）の松田巖准教授による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）は、結晶最表面の原子配置を精度よく決定できる反射高速陽電子回折法を用いて、銀単結晶表面上に形成したシリコンの原子 1 層からなる "シリセン" の構造を調べました。その結果、炭素原子 1 層からなる平面状のグラフェンと異なり、凹凸のある構造（バックリング構造）であることを初めて実験的に確認しました。

金属的な性質のグラフェンと異なり、シリセンはシリコン原子が平面内で僅かな凹凸を持つために半導体的な性質を持つと理論的に予測されており、電子デバイスへの多様な応用が模索されています。本成果は、この理論予測を裏付けるとともに、KEK における高強度・高輝度・エネルギー可変単色陽電子ビームが、結晶最表面の原子配置に極めて敏感であり、かつ、十分な強度と品質を持っていることを実証するものです。

本成果は、米国物理学会が発行するフィジカルレビュー B 誌最新号（第 88 巻 20 号）に掲載されました。

<http://prb.aps.org/abstract/PRB/v88/i20/e205413>

（この記事の続きは、<http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20131121140000/> をご覧ください。）

文部科学省「情報ひろば」において企画展示を開催～加速器科学の過去・現在・未来～

平成 25 年 12 月 2 日
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構（機構長：鈴木厚人、以下「KEK」という。）は、文部科学省「情報ひろば」において、KEK の推進する「加速器科学の過去・現在・未来」をテーマとして、KEK における研究活動の基盤である「加速器」に関する企画展示を行います。

1. 企画展名：
「加速器科学の過去・現在・未来」
2. 展示期間：
平成 25 年 12 月 2 日（月曜日）～平成 26 年 3 月末（予定）
[開館時間] 月曜から金曜の 10 時～18 時
※土曜日、日曜日、祝日は休館
3. 展示場所：
文部科学省情報ひろば「企画展示室」(旧文部省庁舎3階)
4. 展示概要：
高エネルギー加速器研究機構 (KEK) は、粒子加速器を研究手段に用いて、宇宙・素粒子・原子核・物質・生命の謎を解き明かす加速器科学を推進するために、1970 年代から国内外の研究者に対して研究の場を提供するとともに、最先端の加速器科学研究を先導してきました。
今回の展示では、加速器科学のこれまで歴史（過去）を紹介するとともに、KEK における代表的な加速器や研究成果（現在）の紹介、また、将来の加速器科学研究の発展に向けた開発研究（未来）の紹介を行います。
（この記事の続きは、<http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20131202140000/> をご覧ください。）

誤差 5% 以内で金属の実効原子番号を測定する X 線イメージング法を開発 —透過 X 線の位相検出に X 線干渉計を用いて高感度化—

2014 年 1 月 9 日
株式会社日立製作所
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構
学校法人北里研究所

株式会社日立製作所（執行役社長：中西 宏明／以下、日立）、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／以下、KEK）および学校法人北里研究所（理事長：藤井 清孝／以下、北里大学）は共同で、金属膜を透過する X 線（放射光）の吸収量とともに位相の変化を X 線干渉計によって測定し、金属の実効原子番号を観察する X 線イメージング法を開発しました。本方式で、アルミ、銅、鉄、亜鉛の単一元素からなる材料を観察したところ、誤差 5% 以内で元素を特定できることを実証しました。本計測技術は、大気中で数十ミリメートル領域を数十ミクロンの空間分解能で一括に観察できることから、磁石新素材やインフラ構造部材における元素分布の新たな評価技術として期待されます。

X 線が物質を透過する際に密度の高い領域ほど吸収されることを利用して、レントゲンのように被写体内部の密度分布を画像化する技術が実用化されています。また、近年では被写体の密度変化をさらに高い感度で知る方法として、被写体を透過する X 線の位相の変化を調べる X 線位相イメージング法が研究されています。位相とは、X 線を波としてみた場合の、その波における山や谷の位置のことで、透過する X 線の吸収による強度の変化に比べて 1000 倍以上敏感に変化するために、吸収の小さい生体組織や有機材料の観察手段として注目されています。しかし、感度が高いとは言え、この方法で観察できるのは物質の密度であり、原子の種類を知ることはできません。しかし、2010 年に X 線の位相と吸収の変化を同時に測定することで得られる両者の比により、測定部分の平均的な原子番号（実効原子番号）が特定可能であるという論文が発表されました。この技術の適用範囲を金属まで拡大できれば、大気中で広い領域（KEK の放射光施設フォトンファクトリー BL-14C で数十ミリメートル角）を数十ミクロンの分解能で計測できるため、磁石材料やインフラ構造部材などを一括で観察することが可能となります。

このような観点から今回、日立、KEK および北里大学は共同で、金属の観察まで適用できる高いエネルギーの放射光を用いた X 線イメージング法を開発し、誤差 5% 以内の精度で実効原子番号を計測できることを実証しました。開発技術の内容は以下の通りです。

(1) X 線干渉計による高感度化
金属を透過する数十キロエレクトロンボルト (keV) の大き

なエネルギー領域で高い精度の実効原子番号を観察するためには、高感度に位相の変化を検出することが必要です。今回、日立が独自に開発を進めている X 線干渉法（単結晶から製作されたマッハツェンダー型の X 線干渉計を用いて、位相の変化を波の重ね合わせにより直接的に検出する方式）を採用することで他の位相検出法に比べて 10 倍程度の検出感度を実現しました。さらにこの方式では、光学素子や検出器の位置を変更し再調整する必要がなく、X 線干渉計内での参照波の光路を遮蔽板で閉鎖するのみで吸収と位相の両像を取得可能であるため観察時間の短縮化が図られます。

(2) 実効原子番号の測定精度を検証

軽元素から金属までの元素を対象とした測定が可能なエネルギー 17.8 keV（波長 0.7 オングストローム）の放射光を用いて、アルミ、銅、鉄、亜鉛の単一元素からなる箔の吸収ならびに位相コントラスト像を測定しました。この結果から実効原子番号を算出したところ、各金属について誤差 5% 以内で原子番号に一致した値を得ることができました。

開発した技術で錆びた鉄を測定したところ、酸化により錆が進行している部分では実効原子番号が小さくなっていることを検証しました。これは、酸化により元素番号の小さい酸素（元素番号 8）の割合が、鉄（元素番号 26）に比べて増加したことによるものであり、この検証により本イメージング法では酸化など元素組成の変化も簡便に可視化できることが確認できました。

開発した技術は、大きなエネルギー領域での放射光の特長を利用し、大気中で数十ミリメートルの広い範囲を測定できること、また数十ミクロンの空間分解能で、被写体となる材料の実効原子番号を特定できることから、新たな磁石新素材やインフラ構造部材の観察技術として期待されます。

なお、本成果は、2014 年 1 月 11 日から広島国際会議場（広島県）で開催される「第 27 回日本放射光学会年会」で発表する予定です。