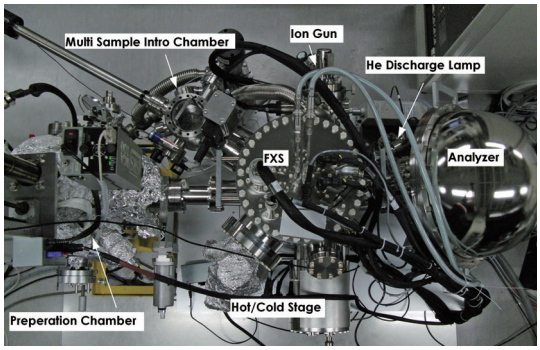
表面科学の基礎研究から磁性薄膜半導体の開発まで

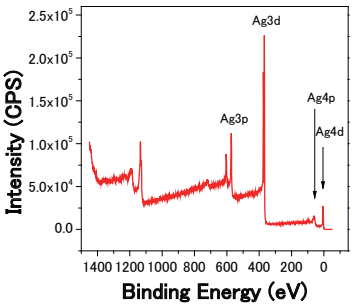
教育学部　理科教育講座　教授　高橋 尚志

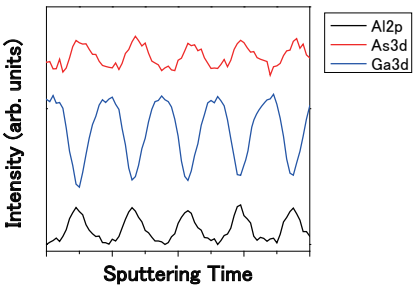
研究シーズの概要

真空中で金属などの固体表面にある強度の光や電磁波をあてると、その照射エネルギーによって励起された電子が固体から飛び出してきます。飛び出してくる電子は「光電子」と呼ばれ、そのエネルギーの大きさやスピンの状態を観察することで、その物質表面の電子状態を把握することができます。高橋研究室は、香川大学が保有しているX線光電子分光装置などの最新機器を使い、新しい磁性体や半導体材料の開発につながる表面科学の基礎研究を行っています。

これまでの研究成果の一つとして、英国の大学などとの共同研究で、光電子陰極材料などとして使われるNEA半導体（負の電子親和力を有する半導体）の電子放出特性を解明しました。同研究は、ガリウムヒ素（GaAs）上にセシウム（Cs）などを多層化して作製したNEA薄膜の表面上に鉄（Fe）薄膜を形成したものを試料として使用（Fe/O/Cs/GaAs(100)）。これに放射光やヘリウムネオンレーザー光を照射し、同試料表面から放出される光電子の運動エネルギーや光電流の変化などを測定しました。その結果、NEA半導体表面におけるNEA強度と仕事関数（電子1個を物質表面から取り出すに必要な最小エネルギー）の非依存性や光電子放出メカニズムを明らかにしたほか、一般的に半導体への使用は不向きとされる鉄を100Å（ｵﾝｸﾞｽﾄﾛｰﾑ）の厚さに形成したものも、NEA半導体としての特性は変わらないこと、また逆に鉄薄膜を形成する表面の劣化が抑えられ半導体寿命が延びることを実証しました。







光電子分光装置写真（左）と、典型的スペクトル（中）およびデプスプロファイル（右）。

【利用が見込まれる分野】 金属表面および界面の分析、薄膜塗料の分析、金属・化合物表面の変色解明、医療分野

研究者プロフィール

高橋 尚志 ／ タカハシ ナオシ

メールアドレス	naoshi@ed.kagawa-u.ac.jp
所属学部等	教育学部
所属専攻等	学校教育基礎領域・理科教育講座
職位	教授
学位	博士（理学）
研究キーワード	光電子分光法、電子スピン、薄膜半導体、ＮＥＡ、分子線エピタキシー法

本研究に関するお問い合わせは、香川大学産学連携・知的財産センターまで
直通電話番号：087-832-1672　　メールアドレス：ccip@eng.kagawa-u.ac.jp

問い合せ番号：ED-09-001

学内プロジェクト研究も推進

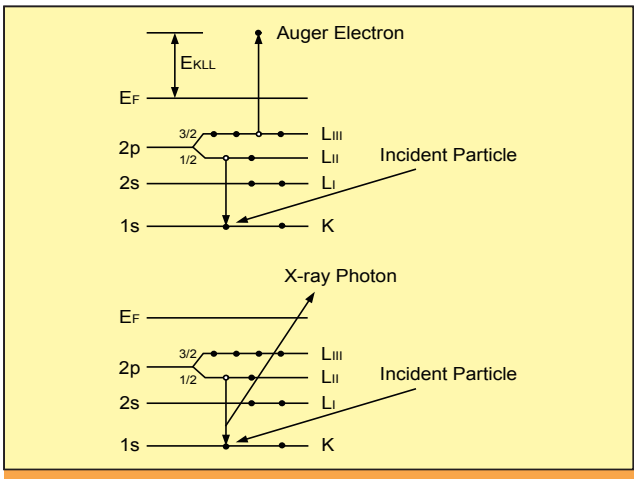
このほかの研究テーマとしては、学内プロジェクト研究の一つとして太陽光発電材料としても有力視されるチタン酸酸化物の開発やハードディスクの集積度向上などにつながる磁性薄膜半導体材料の研究開発があります。磁性薄膜半導体材料の研究では、MRI 造影剤や磁性材料として広く使われているガドリニウム（Gd）に焦点を当て、その構造解析と磁性特性の向上を目指しています。特に磁性材料の開発では、まずその材料固有の電子状態を明らかにすることが重要です。このため、高橋研究室では分子線エピタキシー法（MBE）などで薄膜結晶を作製し、結晶の成長段階から構造分析を行うことでシームレスな電子状態の把握を行っています。また、先ごろ、紫外線光電子分光装置（UPS）も導入され、これによりX線光電子分光装置と併せて、固体表面および内部の状態密度などのみならず、極表面の状態も測定できるようになり今後も幅広い研究が行われるものと期待されています。

高橋研究室で活用している表面科学の分析手法の数々

高橋研究室では、X線および紫外線光電子分光法（XPS および UPS）のほか、AES（オージェ電子分析法）、LEED（低速電子線回折）、TEM（透過型走査電子顕微鏡）など最新の分析法を駆使して物質や材料の分析を行っています。

● AES（Auger　Electron　Spectroscopy：オージェ電子を利用した分析手法）

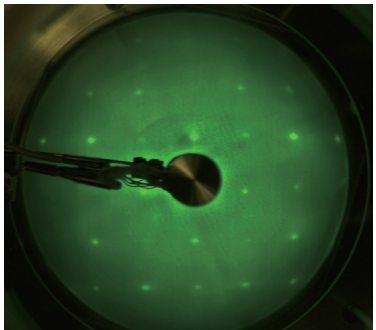
オージェ電子を利用して半導体や金属材料表面の表面分析を行う手法。オージェ電子とは、材料表面から放出される特定のエネルギーを持った電子のこと。材料に強い光が照射されると原子核に近い内核電子が励起され光電子として放出される。その時に、内核電子の空きスペースに原子核から離れていた電子が電子軌道間のエネルギー差に相当するエネルギーレベルを放出してして割り込む。オージェ電子はその放出されるエネルギーと同等のエネルギーを持つ。オージェ電子は、電子軌道間のエネルギー差に相当する単一のスペクトルエネルギーを有するため、これを観測することでその物質の電子間軌道の値を知ることが出来る。



【図】オージェ電子放出の概念図（上図）。入射粒子により内核準位にホールが生じ、そこにエネルギーの高い順位から落ち込んだ電子が隣の電子に余剰エネルギーを渡し、結果電子が外に飛び出してくる（オージェ過程）。一方、余剰のエネルギーが光（特定X線）として飛び出すこともある（下図）。

● LEED（Low Energy Electron Diffraction：低速電子線回折）

物質の表面状態を調べる技術の一つ。MBE 成膜装置などでよく利用される、高速電子線を斜めに入射するものではなく、エネルギーの低いより‘ソフトな’電子線を試料正面より照射し、非弾性反射する電子線の 2 次元回折パターンを観察する装置である。この装置は極表面の状態を観察するのに優れており、回折像を分析することにより物質表面の状態を原子レベルの深さ方向で推測することが可能となる。



【写真】 6Å の鉄を蒸着したガリウムヒ素（GaAs(001)）の典型的な低速電子線回折（LEED）像。