

光電子顕微鏡を用いた顕微分光研究：ナノ磁性から惑星科学まで

小嗣 真人
(財) 高輝度光科学研究センター
(SPring-8/JASRI)

A nanospectroscopy using photoemission electron microscopy:
connecting nanomagnetism and planetary science

Masato Kotsugi
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (SPring-8/JASRI)

光電子顕微鏡(PEEM)では、固体表面から放出される光電子の空間分布を、電子レンズ系により拡大投影し、物質の顕微像を取得する。放射光を励起光源として使用することで、物質の形状のみならず、組成、化学状態、磁気情報のマッピングを行えるのが特徴である。また光電子の運動エネルギーを分析することで、局所的な光電子分光も可能である。典型的には 20nm 程度の空間分解能で画像取得が可能となっており、放射光科学における代表的な顕微分光装置の一つである。現在、表面科学を中心に、有機化学やナノ磁性、産業利用まで幅広い利用が展開されている。

さて、空間分解能は分析科学と物質研究の両面において最大の関心事と思われる。PEEM における分解能は、原理的には電子線の回折限界が律則であるが、現実的には電子レンズの収差、つまり球面収差とエネルギー収差が律則条件となっている。これらの収差を補正するための反射鏡の開発がドイツやアメリカを中心に進められており、Fink らの開発する 4 極電子反射鏡においては、色収差と球面収差の両方を補正することが可能で、理論上は 0.5nm の空間分解能が期待されている。これに加えて、取り込み立体角を大きくとれる事から 100 倍の透過効率向上が期待されている。この反射鏡を組み込んで、分解能評価試験を行った結果、2nm の空間分解能と 100meV のエネルギー分解能が実験的に得られており、近い将来ナノメートル近傍での物質キャラクタリゼーションが現実になると予想される。

そしてこのような高分解能化の恩恵が得られる測定対象の検討も重要である。近年はスピントロニクスや量子コンピューティングに代表されるように、従来の動作原理とは異なるエレクトロニクスデバイスの登場が期待されている。また隕石に代表されるように、惑星科学方面へのアプリケーションも始まっており、様々な分野のナノスケールの物性や機能を直接調査するためのツールとして PEEM への期待が高まっている。

その一例として、我々が取り組んでいる鉄隕石の磁区構造観察について報告を行う。鉄隕石は人工の FeNi 合金と大きく異なる磁気異方性や磁気ヒステリシスが知られており、その起源は明らかで無かった。材料科学の観点から金属組織界面に注目すると、 α -FeNi/L10-FeNi/ γ -FeNi のように一種の磁性多層膜として記述できることに我々は目をつけた。特に L10-FeNi は c 軸方向に Fe と Ni の単原子層が交互に積層した超構造をとり、通常の FeNi に比べて飛躍的に高い磁気異方性を示すことが大きな特徴である。PEEM を用いて界面の化学組成と磁区構造について解析したところ、界面近傍で磁化が互いに正対する "head-on" 構造をとる磁区構造が確認された。本構造は静磁エネルギーの損失が甚大で、通常の FeNi 合金では期待できない奇妙な磁区構造であったが、理論計算との比較検討により磁区構造の起源が L10-FeNi の高い磁気異方性にあることが示唆された。L10-FeNi はレアメタルフリーで高い磁気異方性を示すことから、磁気メモリとして有用であり、現在は人工創成の試みや放射光を用いた機能解析が進められている。