

1. 豊田理研での研究紹介

二次元電子分光の普及

豊田理化学研究所フェロー

大門 寛

研究目的

これまで進めてきた二次元光電子分光は、着目原子周りの原子配列の立体視や、電子状態の構成原子軌道やその結合状態の解析を可能にするなど、従来は不可能だったものを可能にする強力なものであった。しかしながら、それらが普及していない原因は、装置が特殊であって作製が難しいことと、光電子の励起光源として放射光が必要であり、マシンタイムの確保が難しく簡単には実験できなかったことにある。そこで、本研究においては、実験室で簡単にデータが取れる「簡易型の電子顕微鏡に小型で高性能な分析器 (Compact DELMA) を組み合わせた安価なシステム」を開発し、どこでも簡単に原子や電子状態が見えるという二次元電子分光を普及することを目的とする。

方法

最終的に開発したいシステムの概念図を図1に示す。簡易型の走査電子顕微鏡 (SEM) の試料の前に、新しい高性能分析器 Compact DELMA を組み込んだものである。これにより、ナノ領域からの二次元電子分光が可能になり、ナノ粒子の中の原子や電子状態が直視できるようになる。市販の分析器の取り込み角は最大で $\pm 30^\circ \times \pm 0.5^\circ$ であるのに対して、Compact DELMA は、 $\pm 45^\circ \times \pm 45^\circ$ であり、140 倍ほど効率が高い。また、エネルギー分解能も市販の最高のもと同程度に高くできる。これらが可能になる理由は、今回用いている広角対物レンズが、これまでのものと異なり、自由に減速できる「減速型広角対物レンズ」(特許出願中、論文投稿中) であり、分析器の中でのパスエネルギーを低くできるからである。

今年度は、図1の中の Compact DELMA の部分を作製して性能テストを行う。Compact DELMA は、減速型対物レンズ、エネルギー分析器、投影レンズの3つの部品からなる。現在は、減速型対物レンズと投影レンズを組み合わせたシステムでテストをしている。今年度は、エネルギー分析器の部品を設計し製作する。エネルギー分析器は同

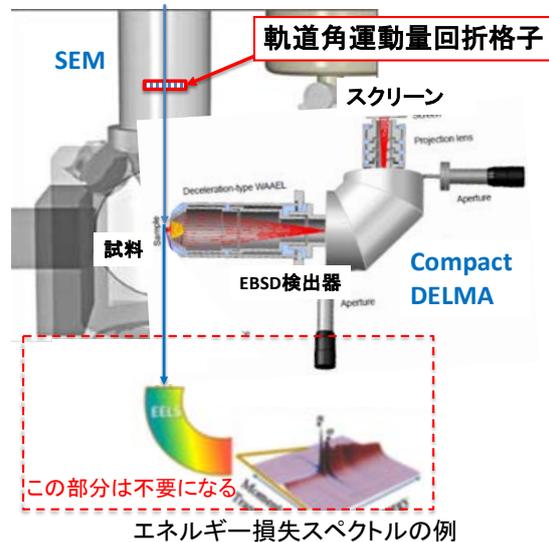


図1 普及型 Compact DELMA

心円筒型の分析器であるので、設計製作が可能なものである。そして、それらすべてを組み合わせて格納する真空槽を設計して製作し、エネルギー分析器の性能テストを行う。

期待される成果

この開発により、従来の SEM の性能が大幅に向上する。従来の SEM は、試料表面の像をサブナノメートルの分解能で観察し、それに種々の分析器を追加して、電子ビームが当たっているナノ微粒子だけからの色々な情報を得ていた。EBSD という装置では微小領域の結晶の方位がわかり、オージェ分析器や蛍光 X 線分析器ではその化学組成と簡単な電子状態が計測できていた。しかしながら、従来の SEM では原子レベルでの構造の分解能は無かったし、原子が見える TEM においても原子配列の二次元投影像が得られるだけで三次元の原子配列情報は得られなかった。今回の開発により、微小領域から放出される電子のエネルギー選別した角度分布が一度に得られるため、従来の EBSD やオージェ分析器の機能が含まれているために、結晶方位や組成・電子状態分析が一台の装置でできるようになり、さらに化学状態の異なる元素ごとの周りの原子配列が三次元的に直視できるようになる。また、これまではこのような測定は放射光施設で行う必要があったが、この開発によって実験室でできるようになる。このように、簡単な装置で高度な解析が一度にどこでもできるようになるため、製造現場での原子レベルでの検査や高校などでの原子直接観察による理科系人材の増加への普及効果があると期待している。