

電子顕微鏡について考えてみよう

北陸先端科学技術大学院大学

大島 義文

表面・界面・ナノ構造は、電子デバイスやセンサーなどの各種デバイスを作製する上で重要な物質相であり、これらの構造物性は、重要な研究対象の一つである。しかしながら、バルク結晶と異なる原子配列をとることや2次元や1次元特有の原子配列をとるため、それらの構造解明は容易ではないと言える。例えば、Si(111)7x7再構成構造の解明には30年ほどかかっている。最終的には、透過電子回折法によりダイマー・アドアトム・積層欠陥から構成された複雑だが美しい構造であることが明らかとなり、走査型トンネル顕微鏡 (STM) 法によって追認されている。その後、この分野では、透過型電子顕微鏡 (TEM) や STM など顕微鏡法が表面・界面・ナノ構造の構造物性に関する研究には欠かせない手法となっている。顕微鏡法の最大の魅力は、局所情報を得ることが出来る点にある。

最初に、TEM について紹介する。電子をプローブに用いる理由は、波長が極めて短く（加速電圧 200kV にて波長 2.5pm）、原子との相互作用が極めて強い（X線のおよそ 10^4 倍）ことにある。つまり、TEM/STEM によって、水素やリチウムなどといった軽元素を観測することができる（軽元素の観測には、高い空間分解能と強い相互作用が求められている）。一方、欠点は、原子との相互作用が強いため、結晶内で多重散乱を起こすこと、あるいは、原子にエネルギーを与えることによって原子を弾き飛ばす（ノックオン）ことが挙げられる。そのため、近年、低加速 TEM/STEM が注目されている。加速電圧を下げることでノックオンを抑えることができるため、グラフェンが見せる様々な構造物性が観察されている。

次に、最近注目されている走査型透過電子顕微鏡 (STEM) について紹介する。この手法は、TEM と異なり、電子線を収束することで細いプローブを作製し、この細いプローブを走査させながら試料で散乱した波を検出することで像を得ている。分解能は、プローブのサイズで決まり、収差補正装置を用いることで 50pm 程度まで到達している。この手法の優れた点は、原子配列そのものを直視できること、そして、原子番号に応じたコントラストが得られる点にある。この手法を用いて、界面に偏析したドーパントなどが明らかになっている。

最後に、走査型電子顕微鏡 (SEM) について紹介する。主に、2次電子を用いた像と反射電子を用いた像がある。この手法の優れた点は、観察するための試料準備に TEM/STEM ほどの制約が無い点にある。最近では、球面収差や色収差などの補正技術が大きく進展しており、原子スケールの分解能も可能となりつつあり、注目される可能性がある。