

透過電子顕微鏡 (TEM) の基礎

日本電子株式会社 EM 事業ユニット EM アプリケーション部
遠藤 徳明

近年、各種材料開発や半導体産業では、ナノメートルオーダーの観察や分析が重要になっている。ナノメートルスケールの構造と組成の解析装置として、原子スケールの像分解能と 1 nm 以下の分析の空間分解能を合わせもつ電界放出形透過型電子顕微鏡 (FE-TEM) が材料解析に必要な不可欠なツールとして挙げられる。FE-TEM では、電子が 200kV から 300kV に加速され、薄片化された試料内部の形態や欠陥構造を観察できる。また、電子回折の機能も通常装備されており、これにより結晶試料の構造や方位が特定できる。さらに、TEM にエネルギー分散型 X 線分光器 (EDS) や電子エネルギー損失分光器 (EELS) を付加することにより、試料の組成や電子状態を知ることができる。

TEM の試料は電子が透過するように数百ナノメートル以下に薄くする必要があり、この試料に電子が入射すると、大部分の電子は試料で吸収されずに透過する。この電子は透過電子と呼ばれる。透過電子の内、試料と相互作用して散乱された電子を散乱電子と呼ぶ。散乱電子はエネルギー損失を起さない弾性散乱電子とエネルギー損失を起す非弾性散乱電子とに分類される。TEM での顕微鏡法は試料を透過してきた電子 (主として透過電子・弾性散乱電子、一部で非弾性散乱電子) を用いて、像観察することを指している。また、透過電子や散乱電子は試料の構造を反映して電子回折を起こすので、得られる回折パターンを使って回折法を行うことができる。さらに、高速の電子線が試料に入射するとき、試料を構成している原子や分子と様々な相互作用を生じ、2 次的に電子及び電磁波が発生する。このときに発生する特性 X 線、2 次電子、反射電子、オージェ電子、カソードルミネッセンス光などを分光することで分光法を行うことができる。このように TEM の機能は顕微鏡法、回折法、分光法の大きく 3 つに分けられる。

顕微鏡モードでは像観察手法の TEM や STEM があり、透過像を観察することができる。また、それぞれの方法で散乱した電子のみを使った暗視野の像と透過電子のみを使った明視野の像を得ることができる。回折法では制限視野回折 (SAD)、ナノビーム回折 (NBD)、収束電子回折 (CBED) があり試料局所の構造を反映した回折パターンを得ることができる。分光法では代表的な分析手法である EDS や EELS があり、試料の局所の組成分析や状態分析を行うことができる。これらの EDS や EELS 等の分析装置が装着された TEM のことを総称して分析電子顕微鏡 (AEM) と呼び、ほとんどの材料開発に使われる TEM ではこの AEM を使っている。本発表では、TEM、STEM、電子回折、EDS の原理と測定例について説明する。