

走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope:SEM)

松永和樹

SEMとは、電界や磁界により、収束(加速)させた電子ビームを試料表面に走査(照射)し、放出された二次電子(反射電子など)を輝度変調して、観察用および撮影用の陰曲線管(CRT)画面上に表示する顕微鏡である。

次に詳しい動作原理について説明する。SEMの構成模式図は図1である。

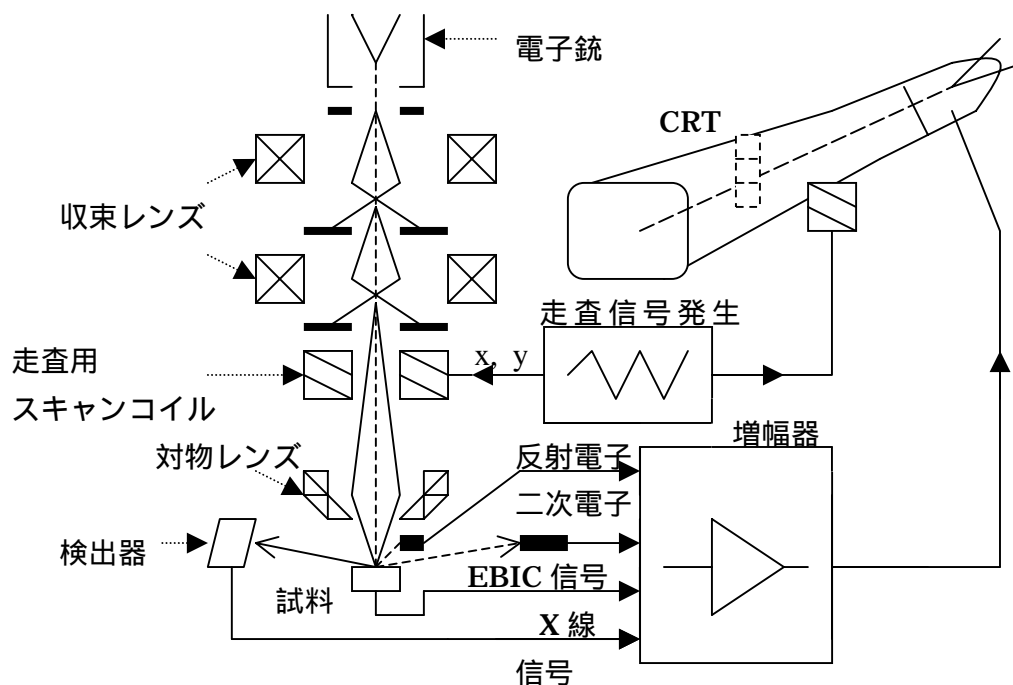


図1 走査型電子顕微鏡の構成模式図

電子銃により発生した電子ビームは、数段の収束レンズにより細く絞り、電子ビームを収束(加速)させ、走査型スキャンコイルの磁界により偏向して、最終的な電子プローブを得る。このプローブを試料表面で走査させる。プローブ径は、用いるフィラメントにより異なり、タングステンヘアピンフィラメントでは5~10nm、電界放出型電子銃(field emission gun)では0.5~2nmであり、最小プローブ径は、最小許容電流($10^{-12} \sim 10^{-11} \text{ A}$)で制限される。試料表面上を走査させた電子ビームが試料を構成する原子との相互作用によりいろいろな信号を生ずる。一般に最もよく使用される信号は、主に二次電子と反射電子である。二次電子は2~5eVのエネルギーを有し、反射電子は入射電子のエネルギーから約50eVまでのエネルギーを有する。この時、二次電子は検

出器に印加された正の加速電圧にひかれる。通常 SEM 観察に用いられる加速電圧は 10 kV である。また反射電子は自らのエネルギーにより、いずれも蛍光面に衝突して光に変換され、この光は光電子増倍管 (photo-multiplier) で増幅される。相互作用により生じたいろいろな信号はさらに増幅された後、CRT に供給される。

CRT 上では、信号量の違いにより輝度変調でき、半導体では電子ビームによって半導体内に誘起された電子ビーム誘起電流 (Electron Beam Induced Current:EBIC) や試料吸収電流を用いる。また分析型の SEM では特性 X 線などを利用する事もできる。SEM において、二次電子以外の信号を用いて結晶を評価できるいくつかの方法をあげると、

1. SEM/EBIC(EBIV)法
 - ・ EBIC または起電力 (Electron Beam Induced Voltage:EBIV) を用いて半導体の電氣的性質や半導体中の欠陥を評価する方法
2. SEM/WDX 法
 - ・ 波長分散 X 線分光法 (Wave Dispersive X-ray Spectroscopy:WDX) は、ブラッグ反射を利用して結晶の組織分析を行う方法
3. SEM/EDX 法
 - ・ エネルギー分散 X 線分光法 (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy:EDX) は、試料から発生した特性 X 線を Li で拡散した Si-pin ダイオードにより検出することで、結晶の組成を分析する方法

などがある。

試料表面上の電子プローブが位置する点と、CRT 画面上の試料像の相当する CRT 内の電子ビームの位置は常に正しい相対関係にあるので、CRT の蛍光面上に SEM 像を得る。SEM 像は像一面が一度に写し出されるのではなく、一点ごとに構成され試料表面の走査面の大きさは CRT 画面よりずっと小さいため、最終画像は試料表面の拡大像となる。同じように、薄く加工された試料内部での散乱を経て透過したビームを結像させることで、試料の構造を観察するという透過型電子顕微鏡 (Transmission Electron Microscope:TEM) でも同じ拡大像となる。

また、SEM は高倍率 (1000 倍以上)、高分解能 (1 nm 以下) が得られる高性能顕微鏡であるため、IC の三次元微細構造の観察などにも多用される。