

電子銃の種類

電子銃には熱電子銃のほか、電界放出電子銃、ショットキー電子銃が用いられますが、ここでは、後の2者についてのみ触れます。

電界放出電子銃

高分解能SEMで使われている電子銃は電界放出電子銃（Field Emission Electron Gun：FE電子銃）です。金属表面に高い電界を掛けたときに起きる電界放出現象を利用したもので、実際の構造は図30のようになっています。細いタングステン線に同じくタングステン単結晶が取り付けられており、その先端は100 nm程度の太さに成形されています。これをエミッタと呼びます。このエミッタに対向する位置に置かれた金属板に数kVの電圧を印加すると、エミッタからトンネル効果によって電子が放出されます。金属板の中央に孔を開けておくことで電子線が流れ出すので、その後ろに置いた電極に電圧を印加することで所定のエネルギーの電子線を得ることができます。電界放出を起こすためにはエミッタの先端は清浄でなければならないので 10^{-8} Pa程度の超高真空中に置く必要があります。

エミッタから放出された電子線はあたかも5～10 nmの大きさの電子源から放出されたように振る舞います。熱電子銃の場合、電子源の大きさは10～20 μm ですから、これと比べてはるかに小さく、高分解能SEMの電子源として適しています。また、加熱を伴わないため放出される電子のエネルギーのばらつきが少ないのも特長です。低加速電圧では電子のエネルギーのばらつきが分解能を決める（色収差といいます）ので、これは極めて重要なことです。

ショットキー電子銃

加熱された金属表面に高い電界を掛けた時に起きるショットキー放出（Schottky emission）と呼ばれる現象を利用したものです。陰極（エミッタ）としては、先端曲率半径が数百nmのタングステン単結晶をZrO₂で被覆したものが用いられます。ZrO₂の被覆が仕事関数を大きく低下させており、1800K程度の比較的低い陰極温度で大きな放出電流が得られます。図31に示すように、エミッタから放出される熱電子を遮蔽するため、サブレッサと呼ばれる電極にマイナスの電圧が印加されています。電子銃部は 10^{-7} Pa程度の超高真空中に置かれますが、エミッタが高温に保たれているためガス吸着が無く、電流安定度が優れているのが特長です。FE電子銃に比べると、放出電子のエネルギー幅はやや大きいものの、大きなプローブ電流が得られるなどの特長があり、形態観察と同時に各種分析を重視する場合に用いられます。この電子銃は、便宜的に熱陰極FE電子銃あるいは加熱形FE電子銃と呼ばれることがあります。

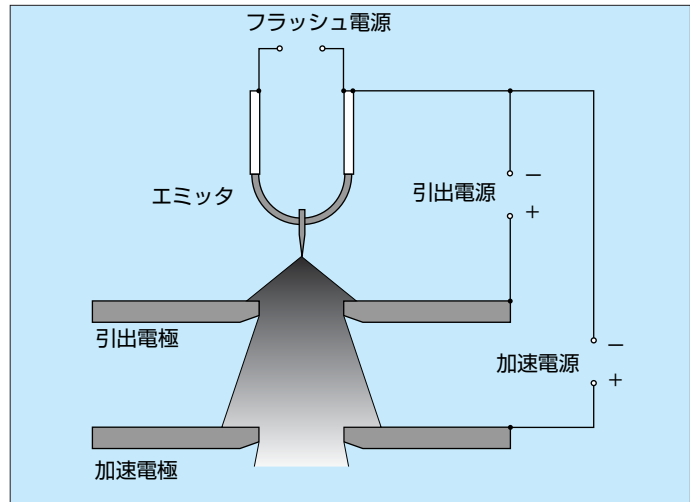


図30 電界放出電子銃の構造

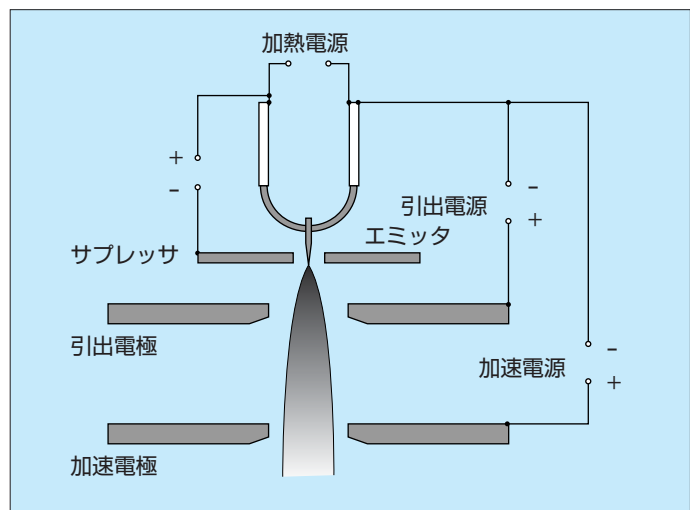


図31 ショットキー電子銃の構造

3種類の電子銃の特徴

図32は、熱電子銃、FE電子銃、ショットキー電子銃の特徴をレーダーチャートにまとめたものです。光源の大きさ、輝度（電子線の電流密度・平行性を意味する量）、寿命、エネルギーのばらつき（エネルギー幅）、といった点ではFE電子銃が優れていますが、プローブ電流量、電流安定度といった点では熱電子銃が優れています。これらの特性から、高倍率での形態観察にはFE電子銃が向いており、それほど高倍率を必要としない分析などの多目的な使い方には熱電子銃が向いていることがわかります。ショットキー電子銃は両者の中間的な特性を持っており、高倍率観察から分析まで幅広い対応が可能です。

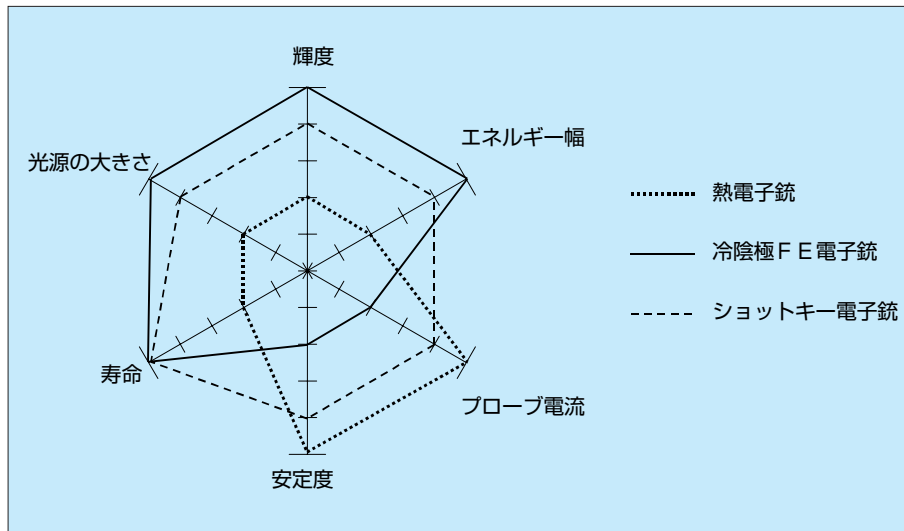


図32 3種類の電子銃の比較

表1は3種の電子銃の特徴をまとめたものです。

表1 各種電子銃の特徴

	熱電子銃		FE電子銃	ショットキー電子銃
	タングステン	LaB ₆		
光源サイズ	15~20 μm	10 μm	5~10nm	15~20nm
輝度 (Acm ⁻² rad ⁻²)	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁸	10 ⁸
エネルギー幅 (eV)	3~4	2~3	0.3	0.7~1
寿命	50 h	500 h	数年	1~2年
陰極温度 (K)	2800	1900	300	1800
電流変動 (1時間当たり)	<1%	<2%	>10%	<1%

輝度は20kVでの数値