

第2章 熱電子放出; 高真空二極電子管

ほとんどの電子管の動作は、熱電子放出に依存している。したがって、熱電子放出の理論は、電子管の研究において非常に重要である。2つの電極を持つ高真空管における、熱電子放出、実用的なエミッタの構造、空間電子電流の流れの基本的な原則を議論するのが、この章の目的である。

2-1 熱電子放出の理論

Richardson による高温物質からの電子の放出の理論は、多くの点において蒸発の運動理論と類似している¹。金属が持つ熱は、原子や分子のランダムな動きによる運動エネルギーとしてだけではなく、自由電子の運動エネルギーとしても蓄えられていると信じられている。電子と電子の衝突または電子と原子や分子の衝突により、ある電子の動く速度と方向は常に変化している。電子のランダムな動きにより、いくつかの電子は金属の表面の内側に衝突する。表面に到達した電子は、表面に向かう速度の成分が u_w 以上であれば、金属の表面から離れていく。ここで u_w は、運動エネルギー $\frac{1}{2}m_e u_w^2$ が電子親和力 w と等しくなる値である。単位時間あたりに u_w 以上の表面と直交する方向の速度成分を持って表面に到達する電子の数は、そのような速度を持つ金属全体のすべての自由電子の比率に比例する。室温では、この比率は非常に小さく、熱電子放出を検出することはない。しかし、エミッタの温度が上昇するにつれて、自由電子の平均速度が増え、 u_w 以上の速度を持つ自由電子の数も増える。これは、図 2-1 の速度分布曲線から見て取れる。この曲線は、ある曲線の下側の、任意の2つの速度 u と $u + \Delta u$ で囲

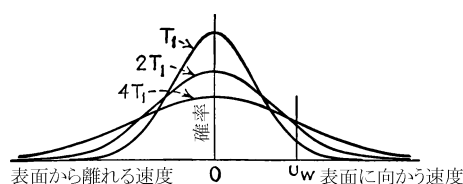


図 2-1.—3つの温度における、エミッタの表面と直交する速度のマックスウェル分布曲線。

まれた面積が、その曲線に対応する温度において、その範囲の速度を持つ自由電子の比率に比例するように描かれた、理論的な曲線である。 u_w などの、ある正の値 u より右側の面積は、その値を超える速度を持つ電子の比率に比例する。図 2-1 は、温度が上昇するにつれ、 u_w 以上の表面に向かう速度を持つ電子の比率が増えるということを示している。したがって、金属から電子が出ていく速度、すなわち電子放出電流は、温度が上昇するにつれ大きくなる。観測可能な電子放出

¹RICHARDSON, O. W., *Proc. Cambridge Phil. Soc.*, **11**, 286 (1901); "Emission of Electricity from Hot Bodies," rev. ed., Longmans, Green & Company, New York, 1921.

は、 1000°K を超えた温度で生じる。電子親和力が小さくなると、速度 u_w が引き下げられ、表面に向かう速度が u_w を超える電子の数が増えるので、電子放出電流は、電子親和力が小さくなると増える。仕事関数 w の低下は、 u_w が左側に移動することを意味し、 u_w より右側の曲線の下側の面積が増えるので、これは図 2-1 より明らかである。

出ていく電子は、表面に垂直な方向の余剰の成分と、表面に平行な方向の元の成分からなる速度を持つ。表面と平行な成分は、表面の力によって変化しない。放出された電子が外部の電界によって引き離されない場合、空間電荷を形成し、その個々の粒子はランダムな速度で動き回る。放出後の電子の平均直交初速度は表面から離れる方向であり、同極性の電荷は相互に反発するので、電子は表面から拡散していく。電子と電子の衝突により、エミッタに向かう速度成分を得る電子もあり、電子親和力に等しい運動エネルギーを得て表面に再突入することもある。電子がエミッタに戻る別の要因としては、負の空間電荷と、エミッタが絶縁されている場合に電子が失われたことによりエミッタが獲得した正電荷とによる静電界の形成がある。この電界は、空間電荷の密度が増えると強くなり、空間電荷の拡散により失われる電子を埋めるのにちょうど十分な電子が表面から出てくるときに平衡する。拡散が防がれた場合、単位時間に金属に戻る電子は、金属から出る電子とちょうど等しい。図 2-2 は、平衡状態における電子の分布のおおよその様子である。

図 2-3 のように、真空中の放出面の近くに 2 つ目の冷たい電極を配置し、検流計を經由して接続すると、メーターの振れにより、エミッタから 2 番目の電極へと電子が移動することによる小さな電流の存在がわかる。これらの電子は、検流計を通してエミッタに戻り、エミッタが正の電荷を帯びることを防ぐ。この現象は、最初に Edison によって観測され、エジソン効果 (Edison effect) と呼ばれている。図 2-4 のように、電池を追加して、2 つ目の電極をエミッタに対して正にすると、電流が増える。電圧をしいに上げていくと、どのエミッタ温度に対しても、その電圧を超えると電流がほぼ一定となる多少明確な電圧が存在し、すべての放出された電子がコレクタに流れる。この電流は、飽和電流 (saturation current) と呼ばれ、対応する電圧を飽和電圧 (saturation voltage) という。飽和電圧を超えると電流が増加しなくなることを、電圧飽和 (voltage saturation) という。飽和電流は、エミッタの温度と電子親和力によって変化する。図 2-4 の、負のエミッタをカソード (cathode) といい、正のコレクタをアノード (anode) またはプレート (plate) という。カソードとアノードのみにより構成される電子管を二極管 (diode) という。電子は管の中をカソードからアノードへと移動するが、慣習により、電流はアノードからカソードへと流れるという。

2-2 Richardson の式

古典的な運動理論と熱運動理論を使って、Richardson は、2 つの少し異なる、電圧の関数としての飽和電流の式を導いた²。どちらの Richardson の式が正し

²RICHARDSON, 前掲書。