

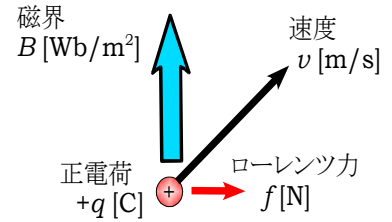
磁界の中の荷電粒子の運動

() 組 () 番 氏名 ()

磁界の中を荷電粒子が動くときに力が働くことは、良く知られている。電
気量が q [C]、速度 v [m/s] の荷電粒子が受ける力 f [N] とすると

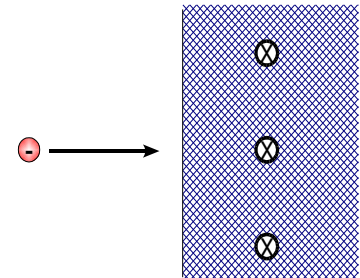
- (1) 大きさ → []
(2) 向き → []

この磁界から受ける力を「ローレンツ力」という。このローレンツ力で荷電粒子は磁界の向き、電流の向き(正電荷の荷電粒子であれば進行方向、負電荷の荷電粒子であれば逆方向)と垂直の向きに働くの磁力線に巻きつくような運動(円運動や螺旋運動)になる。



初級 右の図に示すように、ハッチがかけられた部分に紙面下向きの磁束密度が B [Wb/m²] の磁界がかけられている。この磁界がかけられている部分に質量 m [kg]、電気量が $-e$ [C] の電子が速度 v [m/s] で紙面右向きに飛び込んできた。

(1) 荷電粒子が磁界から受ける力の「大きさ」と「向き」を求めなさい。



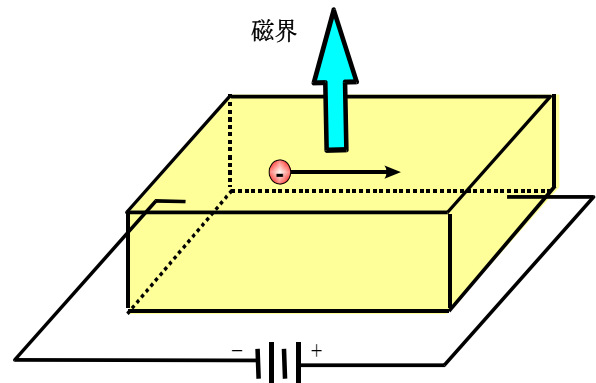
(2) この荷電粒子の運動を具体的に言いなさい。

中堅 半導体中を流れる電流の担い手(キャリア)の違いにより、P型半導体、N型半導体と呼ばれる2種類の半導体がある。キャリアが電子なら ① 型半導体、ホール(正孔)なら ② 型半導体である。では、キャリアの種類をどのようにして判別できるのだろうか。

キャリアが「電子(電気量が $-e$ [C])」である場合を考えてみよう。

右図に示すような、縦 a [m]、横 b [m]、奥行き c [m] の半導体(キャリア密度 n [個/m³]) に電池をつなぎ、電流を右から左向きに流した。半導体中の電子は平均速度 v [m/s] で右向きに動いているとする。磁界が下から上向きの B [Wb/m²] がかけられているとすると電子は磁界からローレンツ力(フレミングの左手の法則により、電子は

③ 向きに、力の大きさが ④ の力) を受ける。したがって、半導体の電子密度に片よりができる。このため、半導体内部に ⑤ 向きの電界が生じる。このような電界からの電気力と磁界からのローレンツ力がつりあい、ついには、電子が右向きにまっすぐに進むようになりその状態で安定する。



(1) 上の文章の空欄に適切な数式を入れなさい。

(2) 半導体内部にできる電界の強さをもとめなさい。

(3) 半導体を流れる電流を問題文中で与えられている物理量を使って表しなさい。

(4) 半導体の手前と奥とでどちらの電位が高くなるか。

(5) 半導体手前と奥の間に発生する電圧を求めなさい。

(6) ホール効果で発生する電圧と磁束密度と電流の関係の説明しなさい。

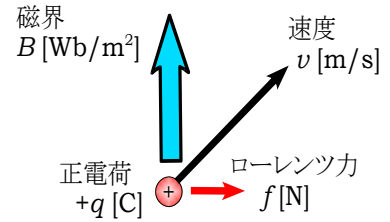
磁界の中の荷電粒子の運動 (解説) ()組()番 氏名 ()

磁界の中を荷電粒子が動くときに力が働くことは、良く知られている。電気量が q [C]、速度 v [m/s] の荷電粒子が受ける力 f [N] とすると

(1) 大きさ $f = qvB \sin \theta$ (ただし、 θ は電流の向きと磁界の向きの間の角度)

(2) 向き フレミングの左手の法則による。

この磁界から受ける力を「ローレンツ力」という。このローレンツ力で荷電粒子は磁界の向き、電流の向き(正電荷の荷電粒子であれば進行方向、負電荷の荷電粒子であれば逆方向)と垂直の向きに働くの磁力線に巻きつくような運動(円運動や螺旋運動)になる。



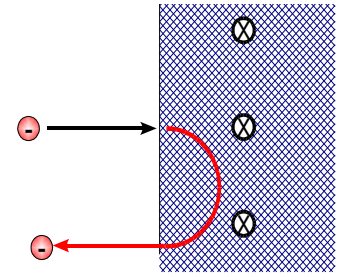
初級 磁界の中での荷電粒子の運動は円運動や螺旋運動になる。円運動の向心力がローレンツ力により作られる。

(1) ローレンツ力の公式 $f = qvB \sin \theta$ より、電子が受ける力は evB [N] の力が、紙面右向きにかかる。(電流の向きは電子の動く向きとは反対向きであることに注意する)

(2) 進行方向を前方とすると常に力が右向きであるので、電子は円運動する。

円運動の速度は v であるので、運動方程式は $f = evB = m \times \frac{v^2}{r}$ である

るので、 $r = \frac{mv}{eB}$ の回転半径の円運動になる。半周すると磁界の外にでるので、 $t = \frac{\pi r}{v} = \frac{\pi m}{eB}$ [s] 後に紙面左向きに出てくる。

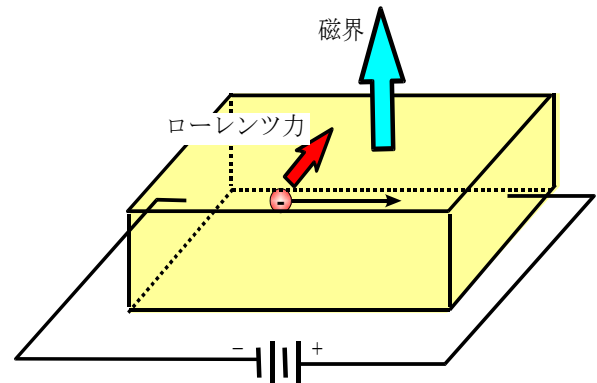


中堅 ※ ホール効果の問題。ホール効果を使ったホール素子は磁界センサーとして多くの機器に使われている。

(1) N型半導体は「電子」…① がキャリアとなり、P型半導体は「ホール(正孔)」…② と呼ばれるキャリアが動く半導体である。キャリアが「電子(電気量が $-e$ [C])」である場合を考えてみよう。

電子が受ける磁界からの力は「手前から奥への向き」…③ に evB [N]…④ の大きさの力になる。その力で電子は手前側に曲げられるため、半導体の奥側の電子密度が高くなる。

一方、反対の手前側では電子が不足する。このため、半導体内部に「手前から奥へ」…⑤ 向きの電界が生じる。この電界からの電気力が $f = eE$ と磁界からのローレンツ力 $f = evB$ が釣りあうので $eE = evB$ が成立する。



(2) $eE = evB$ であるので、 $E = vB$ [V/m] の電界(手前から奥の向き)ができる。

(3) 断面積 S 、電子密度 n 、電子の平均速度 v 、電子の電気量 e とすると、 $I = enSv$ である。したがって、 $I = enacv$ とかける。 ※ 物理 I B の教科書 オームの法則の意味 のところ

(4) 奥側に負電荷の電子の密度が上がるため「マイナス」に、手前側が「プラス」になる。よって、手前のほうが電位が高くなる。

(5) 半導体手前と奥の間に発生する電圧を V [V] とすると、 $E = \frac{V}{c}$ だから、 $V = vBc$ [V] である。

(6) $I = enacv$ と $V = vBc$ より、 $V = \frac{BI}{ena}$ である。したがって、ホール効果による電圧は電流と磁束密度の積に比例することが分かる。

この関係より、ホール電圧を測ることで磁束密度が測定できる(磁気センサー「ホール素子」の原理)ことになる。ホール素子は無接点モーターなどに利用されている。

キャリアがホールであるP型半導体の場合は、キャリアが受ける力は電流の向き、磁界の向きで決まるため、ローレンツ力はN型半導体の場合と同じ向きになる。よって奥側にホールが集まるから、奥側がプラスに、手前側がマイナスになる。ホール電圧の向きが逆向きになるので、P型半導体とN型半導体を判定することができる。

※ 半導体内のキャリア(電気を運ぶ実体)の符号の判定法として使われる。