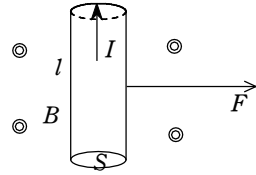


67.

ローレンツ力

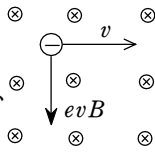
(1) 図のように磁束密度 B の磁場中に断面積 S 、長さ l の導線を磁場に垂直に置き電流 I を流すと F の力が導線に作用した。



電子の電気量を e 、単位体積中の自由電子数を n 、自由電子の平均の速さを v とすると、自由電子1個あたりに作用する力（ローレンツ力）の大きさを導け。

(2) 電気量 $-e$ の電子が磁束密度 B の

磁場に垂直な方向に速さ v で移動しているとき、



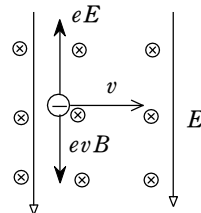
① この電子は等速円運動をすることを示せ。

② この電子の円軌道の半径は $r = \frac{mv}{eB}$ 、

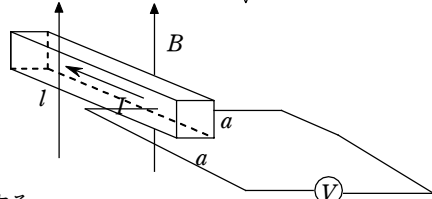
回転数は $f = \frac{eB}{2\pi m}$ であることを導き、回転周期や回転数は電子の速さによらず、磁束密度のみにより決定することを示せ。

(3) (2)と同じ状態に図のように電場を加えたとき、この電子が等速直線運動するためには

$E = vB$ なる関係のある電場を加えればよいことを示せ。



(4) 図のように磁束密度 B の磁場に垂直に断面が1辺の長さ a の正方形である長さ l の四角柱を置き、電流 I を流した。



このときホール効果によって発生する

電圧 V は $V = \frac{BI}{ena}$ であることを導け。

これを用いて、半導体は高い電圧が得られることを説明せよ。

(5) P型半導体とN型半導体ではホール効果によって生じる電圧が逆であることを説明せよ。

解説

(1) 力を自由電子数で割ればよい。

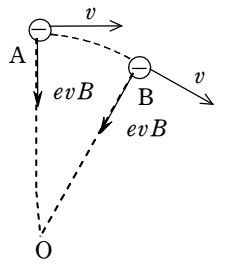
導線内の自由電子数は 単位体積あたりの自由電子数 \times 導線の体積で求められるため、 $N = nSl$ である。また、

$I = envS$ を用いて、

$$f = \frac{F}{N} = \frac{IBl}{nSl} = \frac{envSBl}{nSl} = evB$$

(2) ① 電子に作用する力を電子の進行方向と

その直角方向に分けると、すべて直角方向の力で進行方向には力が作用していない。進行方向前方に力が作用すると速さが大きくなり、逆方向では遅くなる。よって、進行方向の力が無いことは、速さが一定であることを意味している。図において時刻0における位置をA、時刻 t における位置をBとし、ローレンツ力の延長線上における交点をOとすると、ケプラーの第二法則のところで証明により、



等速円運動において回転半径を変化させると、速さが変化することがわかっている。すなわち、 $rv = \text{一定}$ （角運動量保存則）である。よって、 $OA \cdot v = OB \cdot v$ となる。

その結果 $OA = OB$ となる。この関係は任意の時刻 t について成立するため、この電荷の点Oからの距離は常に同じとなり、この電荷は等速円運動していることになる。

② 円運動となればローレンツ力が向心力となる。

$$m \frac{v^2}{r} = evB \quad \text{よって、} r = \frac{mv}{eB}$$

$v = r\omega$ を代入すると、 $r = \frac{mrv\omega}{eB}$ よって、 $\omega = \frac{eB}{m}$ 回転数は $f = \frac{eB}{2\pi m}$ となる。

この式に電子の速さが含まれないので回転速度は磁場の強さのみによって決まる。

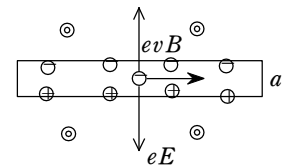
(3) 等速直線運動をするためには電子に作用する力がつりあっていなければならない。

よって、ローレンツ力と逆方向に $eE = evB$ の力が作用しなければならない。

$\therefore E = vB$

(4) 導線内の電子はローレンツ力を受けて

上方向に動き電位差が生じる。このとき、 $evB = eE$ なる関係になったとき、電子は等速直線運動をするようになり、電位差は一定となる。



よって、 $V = Ea = vBa$

ここで、 $I = envS = enva^2$ より、 $v = \frac{I}{ena^2}$

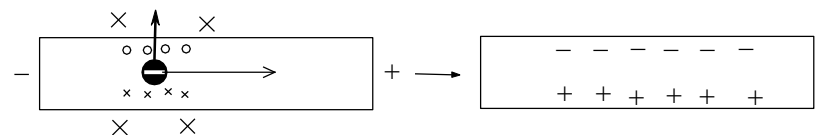
これを代入すると、 $V = \frac{BI}{ena}$

半導体は単位体積中の自由電子数が少ない。よって、 V は大きくなる。

(5) N型半導体

図で大きい \times 印は外部磁場で小さい \times あるいは \circ は電子が動くことにより発生した磁場である。電子が右向きに動くときは電流が左向きに流れたのと同じである。よって右ねじの法則により図のような磁場が発生するのである。

この場合、電子の上側の磁力線が外部磁場と逆になっているので上向きに電子は力を受ける。その結果電子は導線の上側に集まり、下が+極になる。



P型半導体

P型半導体には自由電子が存在しない。すべて軌道電子である。外部磁場が向こう向きにかかっているとき、各原子は磁化され逆方向に磁場を作るように電子が回転するようになる。この場合、電子がある原子から別の原子の軌道に飛び移るとき、電子の回転方向が同じでなければ、飛び移ることができない。つまり、図の白抜き矢印の方向にしか電子は飛び移ることができないのである。この場合電子が下方方向に移動するので正孔は上に集まることにある。よって、上が正極になり、N型半導体とは逆になる。

