

物理のこれだけはできないと「やばい」問題集

No.25

コンデンサー過渡現象・固体物理編

フツリヨキワメヨ

1

(1) キルヒホッフの第2法則 (Σ (起電力) = Σ (電圧降下)) より,

$$V = \frac{q}{C} + IR$$

(2) 電流の定義 (単位時間に流れる電気量) より,

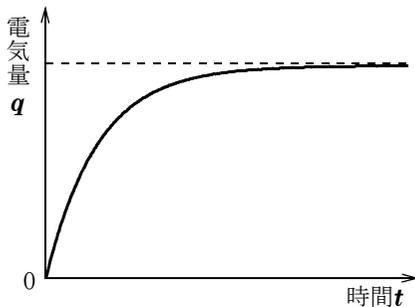
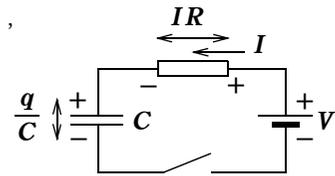
$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

となる。

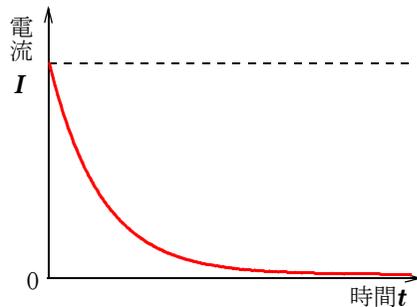
(3) (1)と(2)より,

$$\frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{V}{R} - \frac{q}{RC}$$

と式変形できる。これより、コンデンサーに蓄えらえる電気量 q が増えると、 $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ の値は減少することが分かる。縦軸を電気量 q 、横軸を時間 t で表したグラフでは傾きが $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ で表せるので、グラフの概形は下のグラフのようになる (時間が経過すると傾きが減少するということから)。また、時間が経過すると電気量 q が増え、 $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ つまり電流 I が減少する。よって、答えは (図2) のようになる。



(図1)



(図2)

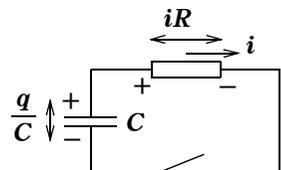
(4) キルヒホッフの第2法則 (Σ (起電力) = Σ (電圧降下)) より,

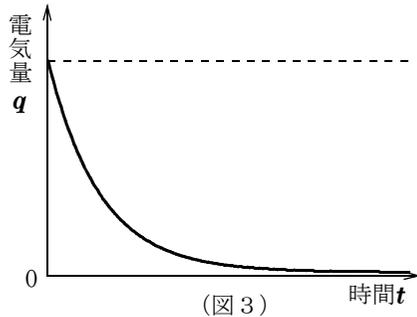
$$\frac{q}{C} = iR$$

ただし、ここで与えた q はコンデンサーの電気量を表し、単位時間当たりの電気量の変化 $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ が電流の強さとなる。コンデンサーは放電し、電気量は減少していくので Δq は負の値となる。したがって、電流の強さ i は $i = -\frac{\Delta q}{\Delta t}$ と表さないといけない。キルヒホッフの第2法則から求めた式と $i = -\frac{\Delta q}{\Delta t}$ を用いて変形すると,

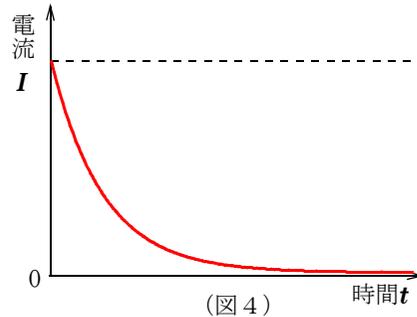
$$\frac{\Delta q}{\Delta t} = -\frac{q}{RC}$$

となる。(2)と同様に考えることで、電気量 q と電流 i の時間変化を表すグラフが下図のようになる。





(図3)



(図4)

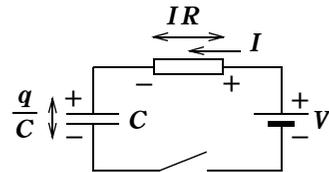
□ ■ 物理的思考 ■ □

電流の範囲で扱ったキルヒホッフの第2法則は起電力（電池の電圧）と電圧降下（抵抗の電圧）の関係を表すものであったが、本来は電位の関係式である。

下図の回路で電位の上がり下がりを考える。電池の負極からスタートして負極に再び戻ってくる閉回路で考えると、電池で V 上がる。次に抵抗を超えると IR 下がる。次に、コンデンサーを超えると $\frac{q}{C}$ 下がる。（図には「+」や「-」を記入しているが電位が高い低いを表している。抵抗については、電流が電位が高い場所から低い場所へと流れることから「+」と「-」を決めている。）電池の負極に戻ってきたときには、電位も同じ値になっているので、この閉回路で電位が上がった分と下がった分が等しくなっている。これより、

$$V = \frac{q}{C} + IR$$

となる。

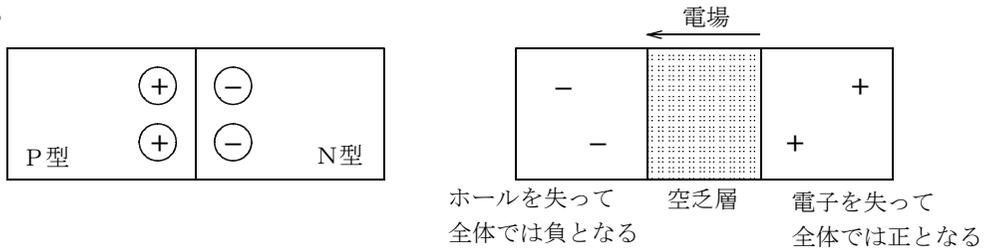


2

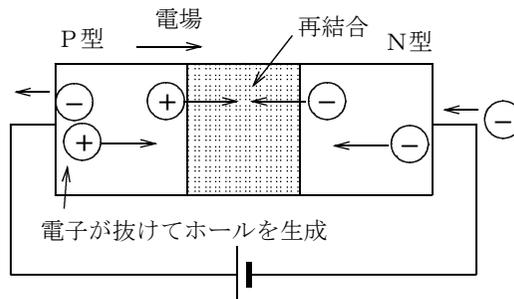
- (1) 導体 (2) 自由電子 (3) 不導体 (4) 4 (5) 半導体 (6) 真性半導体
 (7) 不純物半導体 (8) N (9) ホール (10) P (11) ダイオード (12) 再結合
 (13) 順方向 (14) 逆方向 (15) 整流作用

□ ■ 物理的思考 ■ □

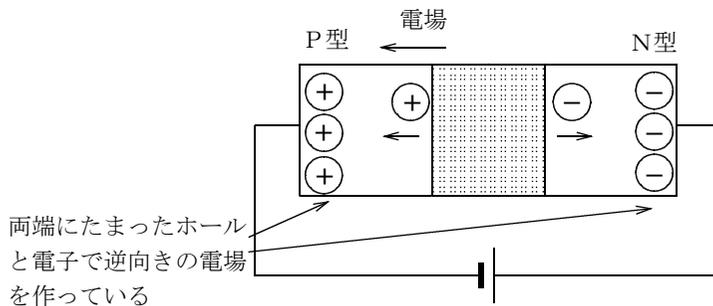
P型半導体とN型半導体を接合すると、(図1)のようになり、P型にあるホール(正孔)がN型へ、N型にある電子がP型へ移動する。接合面でホールに電子が入り込み(再結合)、ホールと電子が消失する。この消失した領域を空乏層という。P型ではホールを失ったために負に、N型では電子を失ったため正となり、空乏層を境にして電位差、つまり、N型からP型に向かう電場が生じる。



こうしてできたダイオードに、空乏層に生じる電場と反対向きに電場が生じるように電池をつなぐと、ホールと電子が空乏層へと向かい、再び再結合する。また、N型側には電子が供給され、P型側では電子が出て行きホールが供給される。ここで供給されるホールと電子が接合面へと向かい、再結合する。このようにして、電流は流れ続ける。



次に、空乏層に生じる電場と同じ向きに電場が生じるように電池をつなぐと、ホールと電子が空乏層から離れていく。この場合にはホールと電子はダイオードの両端にたまり、電池が作る電場とは逆向きの電場を作る。このため、電流が流れなくなる。



3

- (1) キルヒホッフの第2法則 (Σ (起電力) = Σ (電圧降下)) より、ダイオードに電圧 V がかかることに注意して、
 $20 = 10I + V$
 となる。これを整理することで答えが得られる。

$$I = 2 - \frac{V}{10}$$

- (2) (1)で求めた式とグラフの交点から、 $I = 1.0$ [A] と分かる。

