

問題 D

理想的なシリコン p-n 接合ダイオードの電流 I と電圧 V の関係は、以下の式で表される。

$$I = I_s \left\{ \exp\left(\frac{qV}{k_B T}\right) - 1 \right\} \quad (i)$$

ただし、電圧 V は n 側の端子を基準にとり、電流 I はダイオード内部を p 側から n 側に流れる向きを正にとる。また、 q は電気素量、 k_B はボルツマン定数、 T は絶対温度、 I_s は飽和電流である。

- (1) このダイオードの p-n 接合に光を照射していないときのバンドダイヤグラムを示せ。ただし、価電子帯の上端、伝導帯の下端、および、フェルミレベルにはそれぞれ E_V , E_C , E_F なる記号を付けよ。
- (2) このダイオードの p-n 接合に光を当てたとき、電子・正孔対が発生して光電流 I_L が端子から流れ出た。このときの電荷の動きをバンドダイヤグラムを用いて示せ。ただし、価電子帯の上端、伝導帯の下端、および、フェルミレベルにはそれぞれ E_V , E_C , E_F なる記号を付けよ。
- (3) 式(i)を変形して、問(2)の状態における電流 I と電圧 V の関係式を示せ。また、このときの等価回路を表せ。ただし、ダイオードの内部抵抗は無視して良い。
- (4) 問(2)の状態における電流 I と電圧 V の関係をグラフに示せ。ただし、横軸を電圧 V 、縦軸を電流 I とする。
- (5) 問(2)で端子を開放したときに端子間に現れる電圧 V_{OC} を、問(3)で求めた式から導出せよ。ただし、 $I_L \gg I_s$ なる関係を使ってよい。
- (6) 式(i)を変形して、問(5)で求めた電圧 V_{OC} と、このダイオードから取り出せる電力 $P = I \cdot V$ が最大になるときの電圧 V_m との間に成立する関係式を示せ。

Problem D

The relationship between the current I and the terminal voltage V of an ideal silicon p-n junction diode is given by the following equation:

$$I = I_S \left\{ \exp\left(\frac{qV}{k_B T}\right) - 1 \right\}, \quad (i)$$

where q is the elementary charge, k_B the Boltzmann's constant, T the absolute temperature, and I_S the saturation current. The voltage V is measured with respect to the n-type terminal, and the direction of the current I is defined to be positive when flowing from the p-type to the n-type.

- (1) Show the p-n junction band diagram of this diode when it is not irradiated by light. Use labels E_V , E_C , and E_F for the upper edge of the valence band, the lower edge of the conduction band, and the Fermi level, respectively.
- (2) When the p-n junction is irradiated by light, which creates electron-hole pairs, a photocurrent I_L is observed to flow out from the terminal. Draw the flow of such electric charges in the band diagram. Use labels E_V , E_C , and E_F for the upper edge of the valence band, the lower edge of the conduction band, and the Fermi level, respectively.
- (3) Modify Eq. (i) and show the I - V characteristic under the condition of Question (2). Show also the equivalent circuit. The internal resistance of the diode can be ignored.
- (4) Show a graph of the I - V characteristic under the condition of Question (2). Use the horizontal and vertical axes for the voltage V and the current I , respectively.
- (5) Using the equation derived in Question (3), show the open-circuit voltage V_{OC} that appears when the terminals are opened under the condition of Question (2). You may presume that $I_L \gg I_S$.
- (6) Using Eq. (i), show the relation between V_{OC} derived in Question (5) and the voltage V_m , at which the power $P = I \cdot V$ delivered from the diode is maximized.