5-2-1　階段接合

次に空乏層の静電容量 C を表す式を求める。空乏層にたまった単位面積あたりの電荷 Q は

$$Q = q \cdot N_D \cdot x_n = q \cdot N_D \frac{N_A}{N_D + N_A} d$$

$$= \sqrt{\frac{2\varepsilon_r \varepsilon_0 q N_A N_D}{N_D + N_A}\left(V_D - V\right)} \qquad \cdots(5.27)$$

となる。これより、空乏層の静電容量 C は

$$C = \left|\frac{dQ}{dV}\right| = \sqrt{\frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 q N_A N_D}{2\left(N_D + N_A\right)} \frac{1}{\left(V_D - V\right)}} \qquad \cdots(5.28)$$

と表される。静電容量 C と空乏層幅 d の積をとると、

$$Cd = \varepsilon_r \varepsilon_0$$

となる。一方、平板コンデンサの容量(真空中)C_0 は

$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$$

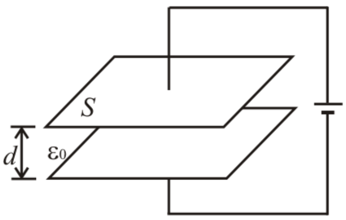

Fig.1　平板コンデンサ

と表される(S は電極の面積)。上の二式を比べると、C は物質中の電極の間隔 d の単位面積あたりの静電容量と考えることができる。この静電容量は、**空乏層容量**(depletion layer capacitance)または**接合容量**(junction capacitance)と呼ばれる。(5.26)および(5.28)式から、逆バイアス電圧$-V$ が大きくなると空乏層幅 d は広がり、容量 C は小さくなることが分かる。

不純物濃度が $N_A >> N_D$($N_D >> N_A$)の場合、容量 C は

$$C \cong \sqrt{\frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 q N_D}{2} \frac{1}{\left(V_D - V\right)}} \qquad \left(C \cong \sqrt{\frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 q N_A}{2} \frac{1}{\left(V_D - V\right)}}\right)$$

となるので、C と外部電圧 V の関係を考えると

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2}{\varepsilon_r \varepsilon_0 q N_D}\left(V_D - V\right) \qquad \left(\frac{1}{C^2} = \frac{2}{\varepsilon_r \varepsilon_0 q N_A}\left(V_D - V\right)\right) \qquad \cdots(5.32)$$

となり、 $1/C^2$ と V の関係は Fig.2 のようになる。すなわち、外部電圧を変化させて pn 接合のキャパシタンスを図ることにより、$1/C^2$ -V 特性を描くとその傾きから N_D(N_A)が求められることになる。また、特性直線を $1/C^2 = 0$ まで伸ばす(外挿という)と、そのときの電圧値が拡散電位となる。

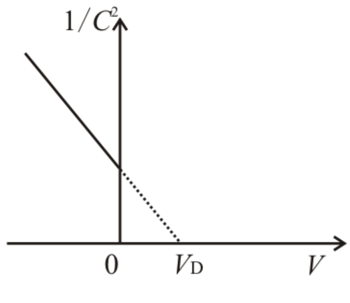

Fig.2　電圧-容量特性

5-2-2　傾斜接合

接合付近の不純物分布を直線で近似できる場合($\rho = qax$ 、a:傾斜の係数)も階段接合と同様に、ポアソン方程式と境界条件より空乏層の厚さ d および容量 C が求められる。ここでは解析は省略するが、容量 C は次の様になる。

$$C = \sqrt[3]{\frac{\left(\varepsilon_r \varepsilon_0\right)^2 qa}{12} \frac{1}{\left(V_D - V\right)}} \quad \propto \left(V_D - V\right)^{-\frac{1}{3}} \qquad \cdots(5.35)$$

すなわち、 C^{-3} とV が比例関係となるので、Fig.2 の縦軸をC^{-3} にとるとC^{-3} -V 特性は直線となる。言い換えると、この直線の傾きから不純物分布の状態(階段または傾斜接合)が知れることになる。