

### 5-2 空乏層の静電容量

pn 接合に外部電圧(直流)を印加する。電圧の印加方向によって接合付近の状態が異なる。

#### ・順方向バイアス状態：

p 形側に正電圧、n 形側に負電圧を印加。



p 領域の正孔は電位の低い方(n 領域)へ、  
n 領域の電子は電位の高い方(p 領域)へ移動する。  
その結果、順バイアス状態では空乏層幅は狭くなる。

順方向バイアス状態

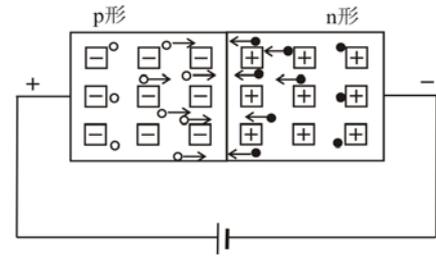


Fig.1 順バイアス状態

#### ・逆方向バイアス状態：

p 形側に負電圧、n 形側に正電圧を印加。



p 領域の正孔は電位の低い方(-極側)へ、  
n 領域の電子は電位の高い方(+極側)へ移動する。  
その結果、逆バイアス状態では空乏層幅が広くなる。

逆方向バイアス状態

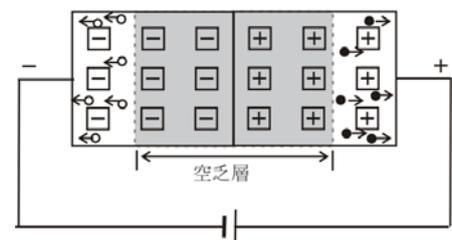


Fig.2 逆バイアス状態

逆バイアス

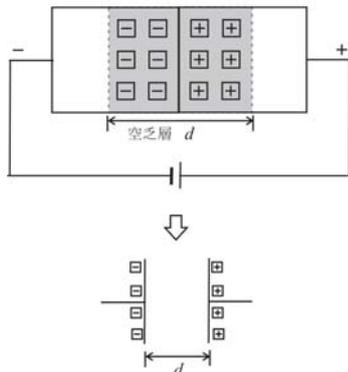


Fig.3 空乏層の静電容量

pn 接合の空乏層には、正負の空間電荷が存在しているので、これを空乏層幅の電極間隔を持つ 2 枚の平板コンデンサ (容量) と見なすことができる。

逆バイアスの電圧の大きさを変化させると空乏層の幅  $d$  が変わるため、空乏層 (コンデンサ) の静電容量  $C$  もまた変化する。

#### 5-2-1 階段接合

**階段接合** : pn 境界で不純物濃度が階段状に変化している接合(接合部で不純物がアクセプタからドナーへ急激に変わっている接合)。

階段接合の空乏層の厚さ  $d$  および静電容量  $C$  を表す式を導く。解析は一次元モデルを仮定する。

Fig.4 に解析モデルの空間電荷分布および電位を示す。ここで、 $N_D$  および  $N_A$  はドナーおよびアクセプタ濃度、 $x_n$  および  $x_p$  はそれぞれ空乏層の両端を示す。

#### ポアソン方程式(Poisson equation)

$$\frac{d^2V_\phi}{dx^2} = -\frac{\rho(x)}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad \dots(5.6)$$

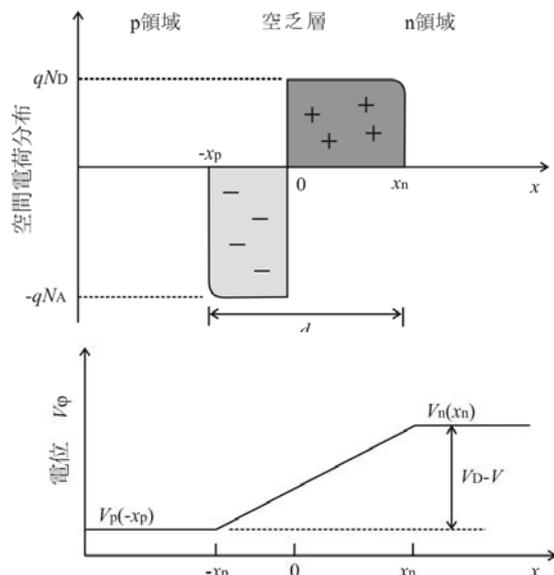


Fig.4 階段接合の電荷分布と電位差

i)  $0 \leq x \leq x_n$  の領域

ポアソン方程式より

$$V_n = -\frac{qN_D}{2\epsilon_r\epsilon_0}x^2 + A_n x + B_n \quad \dots(5.16)$$

ii)  $-x_p \leq x \leq 0$  の領域

$$V_p = \frac{qN_A}{2\epsilon_r\epsilon_0}x^2 + A_p x + B_p \quad \dots(5.14)$$

iii)  $x \leq -x_p$  および  $x_n \leq x$  の領域

$$V_\phi^p(x) = 0 \quad \text{および} \quad V_\phi^n(x) = V_D - V$$

各境界での連続の条件より未知定数  $A$  および  $B$  を求める。

i)  $x=0$  での連続性

$$V_n(0) = V_p(0) \quad \text{および} \quad \frac{dV_n(0)}{dx} = \frac{dV_p(0)}{dx} \quad \text{より} \quad B_n = B_p \equiv B \quad \text{および} \quad A_n = A_p \equiv A \quad \text{となる。}$$

ii)  $x=x_n$  での連続性

$$V_n(x_n) = V_\phi^n(x_n) \quad \text{および} \quad \frac{dV_n(x_n)}{dx} = \frac{dV_\phi^n(x_n)}{dx} \quad \text{より} \quad A = \frac{qN_D}{\epsilon_r\epsilon_0}x_n \quad \text{となる。}$$

iii)  $x=-x_p$  での連続性

$$V_p(-x_p) = V_\phi^p(-x_p) \quad \text{および} \quad \frac{dV_p(-x_p)}{dx} = \frac{dV_\phi^p(-x_p)}{dx} \quad \text{より} \quad A = \frac{qN_A}{\epsilon_r\epsilon_0}x_p \quad \text{となる。}$$

$$\text{ここで、} \quad A = \frac{qN_D}{\epsilon_r\epsilon_0}x_n = \frac{qN_A}{\epsilon_r\epsilon_0}x_p \quad \text{より、} \quad N_D x_n = N_A x_p \quad \dots(5.20)$$

この式は、空乏層内の正負の電荷量は等しいことを示している。

空乏層の厚さ  $d (= x_n + x_p)$  を求める。(5.20)式から  $x_n$  および  $x_p$  を  $d$  で表すと

$$x_n = \frac{N_A}{N_A + N_D}d, \quad x_p = \frac{N_D}{N_A + N_D}d$$

また、p 領域と n 領域の電位差  $V_D - V$  は

$$V_D - V = V_n(x_n) - V_p(-x_p) = \frac{q}{2\epsilon_r\epsilon_0} \left( N_D \cdot x_n^2 + N_A \cdot x_p^2 \right) \quad \dots(5.25)$$

であるので、これより空乏層の厚さ  $d$  は

$$d = \sqrt{\frac{2\epsilon_r\epsilon_0(N_A + N_D)}{qN_A N_D}} (V_D - V) \quad \dots(5.26)$$

と求められる。この式からわかるように、 $d$  は電位差  $V_D - V$  の平方根に比例し、外部逆電圧 ( $-V$ ) が大きくなると  $d$  は増加する(空乏層が広がる)。