

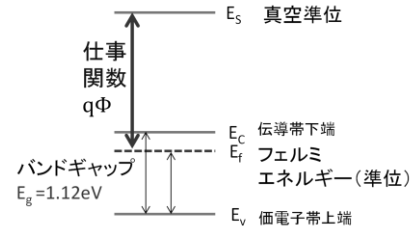
専攻	電気電子工学専攻	受験番号		氏名	
科目名	専門科目 (半導体および電子材料)	参考資料	一切不可・使用可 ()		
採点欄		持込用具	一切不可・使用可 (関電電卓)		

問1 不純物の濃度 $N_D=1.0 \times 10^{22} [\text{m}^{-3}]$ の n 型 Si (シリコン) 結晶の仕事関数を求めよ。
 ただし、Si の電子親和力を $4.05 [\text{eV}]$ とし、また、Si のフェルミエネルギー E_F は、

$$E_F = \frac{E_g}{2} + \frac{kT}{q} \ln \frac{N_D}{n_i}$$

であらわされるとする。なお、 $q=1.6 \times 10^{-19} [\text{C}]$ 、温度 $T=300 [\text{K}]$ 、真性半導体 (ドーパなしの場合) の Si の電子密度 $n_i=1.5 \times 10^{16} [\text{m}^{-3}]$ 、ボルツマン定数 $k=1.38 \times 10^{-23} [\text{J} \cdot \text{K}^{-1}]$ 、シリコンのバンドギャップ $E_g=1.12 [\text{eV}]$ とする。

$$\begin{aligned} q\phi &= 4.05 + \left[E_g - \frac{E_g}{2} + \left(\frac{kT}{q} \right) \ln \frac{N_D}{n_i} \right] = 4.05 + \left[\frac{E_g}{2} - \left(\frac{kT}{q} \right) \ln \frac{N_D}{n_i} \right] \\ &= 4.05 + 0.56 - \left(\frac{1.38 \times 10^{-23} \times 300}{1.6 \times 10^{-19}} \right) \ln \frac{10^{22}}{1.5 \times 10^{16}} \\ &= 4.05 + 0.56 - 0.35 = 4.26 [\text{eV}] \end{aligned}$$



問2 銅の $K\alpha 1$ 線 ($\lambda = 0.154 \text{ nm}$) を用いてある結晶面について X 線回折測定を行ったところ、一次反射 ($n = 1$) のピークが $\theta = 11.2^\circ$ に見られた。この面間隔はいくらか?

$$0.396 [\text{nm}]$$

問3 バイポーラトランジスタと MOSFET の消費電力について、スイッチング動作に着目して論じよ。

- ・両者の構造と動作の違いを論じていること
- ・特にバイポーラトランジスタが電流制御、MOSFET が電圧制御であることを踏まえると、バイポーラトランジスタの方が消費電力が大きくなることを論じていること

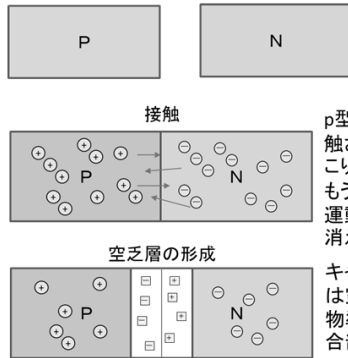
問4 以下の文を読み、誤りがあればその部分に下線を引き、何が間違いであるか示し、正しい文言に修正せよ。また、誤りがなければ、「誤りなし」と記載せよ。

- 1) シリコンに不純物をドーパして、p 型半導体を得るためには、5 族 (価電子が 5) の元素 (P など) をドーパする。 **× p 型 ⇒ ○ n 型**
- 2) n 形半導体試料についてホール測定を行った場合、ホール係数の値は正になる。 **× 正 ⇒ ○ 負**
- 3) pn 接合における空乏層の幅は、不純物の濃度が低いほど大きくなる。 **誤りなし**
- 4) フラッシュメモリのメモリエルは、1 つのトランジスタと 1 つのキャパシタからなり、一定時間ごとにリフレッシュ動作が必要となる。 **× フラッシュメモリ ⇒ ○ DRAM (ダイナミックランダムアクセスメモリ)**

受験番号		氏名	
------	--	----	--

問5 半導体のpn接合が整流作用を示すことを、バンド図を用いて説明せよ。

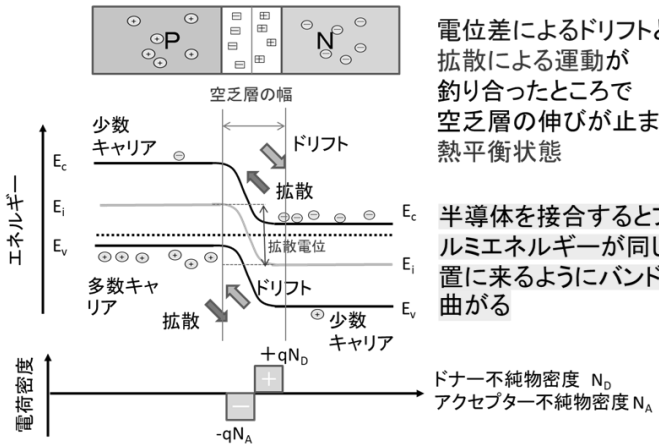
空乏層の形成



p型半導体とn型半導体を接触させると、界面で拡散が起こり、互いの多数キャリアがもう一方の半導体に向かい運動する。互いに再結合して消える

キャリアのなくなった後には空間電荷(帯電した不純物準位イオン芯)が残り、接合部に電位差が生じる。

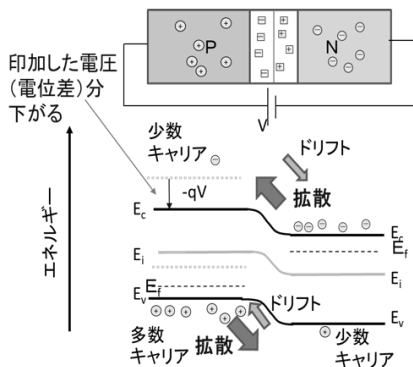
熱平衡状態のバンド図



電位差によるドリフトと拡散による運動が釣り合ったところで空乏層の伸びが止まる。熱平衡状態

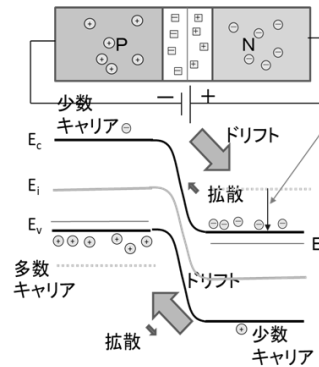
半導体を接合するとフェルミエネルギーが同じ位置に来るようにバンドが曲がる

◆順方向バイアス条件

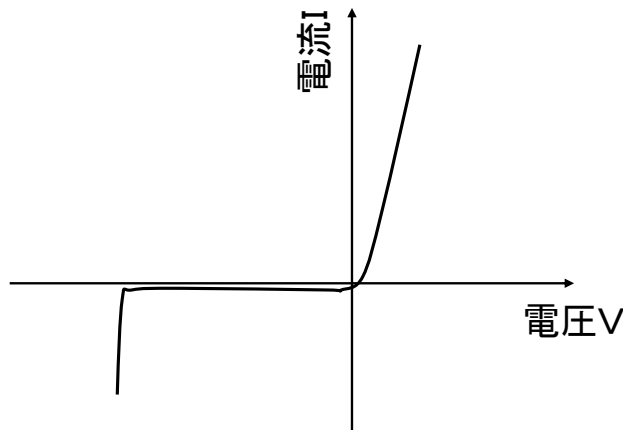


P型半導体の方に正の電圧を与える(順方向電圧という)とP型半導体の方のポテンシャルが下がり、多数キャリアの拡散による電流が生じる。

◆逆方向バイアス条件



N型半導体のほうに正の電圧を与えると、多数キャリアの拡散がさらに抑制され、一方でドリフト成分は増大するが、少数キャリアであるため電流はわずかしか流れない



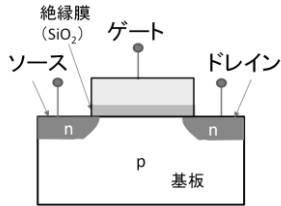
◆解答のポイント

- ① pn接合の熱平衡状態についてバンド図で説明
- ② pn接合の順方向バイアス、逆方向バイアス条件での振る舞いをバンド図を用いて説明(なだれ降伏なども説明してあると加点)
- ③ 電流電圧特性を示す

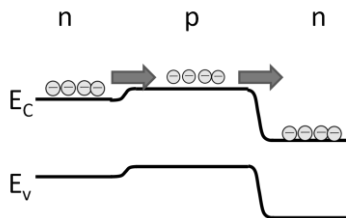
受験番号		氏名	
------	--	----	--

問6 以下の電圧条件における MOSFET (npn 型) について、図中に電流の流れる向きを矢印で書き込め。なお、電流が流れない場合はその旨を記載せよ。また、それぞれの状態について、ゲート方向 (MOS 構造) とソース-ドレイン方向のバンド図を用いて説明せよ。ただし、 V_{GS} はゲート電圧、 V_{DS} はソース-ドレイン間電圧、 V_{th} はしきい値電圧とする。

- (1) ・ゲート電圧 $V_{GS} > V_{th}$
 ・ソース-ドレイン間電圧 $V_{DS} > 0$ [V] (ドレイン側に正の電圧を印可)



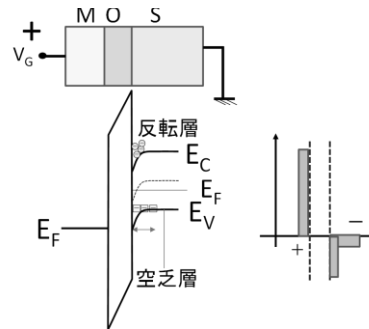
◆ソースドレイン方向



◆ゲート方向

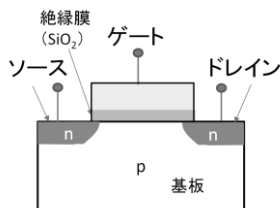
$V_G >> V_{FB}$

酸化膜 (Oxide) と基板 (半導体) の界面のエネルギーバンドが下に曲がり、界面に電子が集まり、反転層が形成される

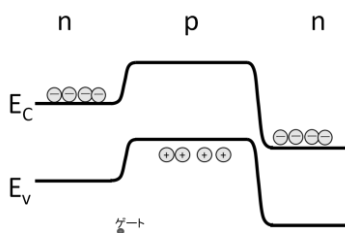


ゲート電圧がしきい値よりも十分大きいので反転層が形成され、電流がドレインからソースに向かい流れる。

- (2) ・ゲート電圧 $V_{GS} < V_{th}$ (V_{GS} はフラットバンド電圧程度とする)
 ・ソース-ドレイン間電圧 $V_{DS} > 0$ [V] (ドレイン側に正の電圧を印可)



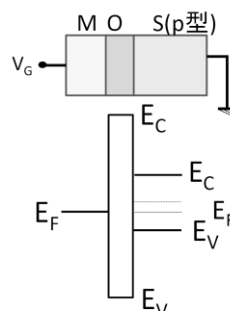
◆ソースドレイン方向



◆ゲート方向

$V_G = V_{FB}$

ゲート (金属) と基板 (半導体) のエネルギーバンドが平らな状態をフラットバンド状態という



ゲート電圧がしきい値より低いため、チャネルが形成されず、電流は流れない。