

TOSHIBA

e-ラーニング

ショットキーバリアダイオードの基礎

2章 ショットキーバリアダイオードの基礎(金属・半導体接合)

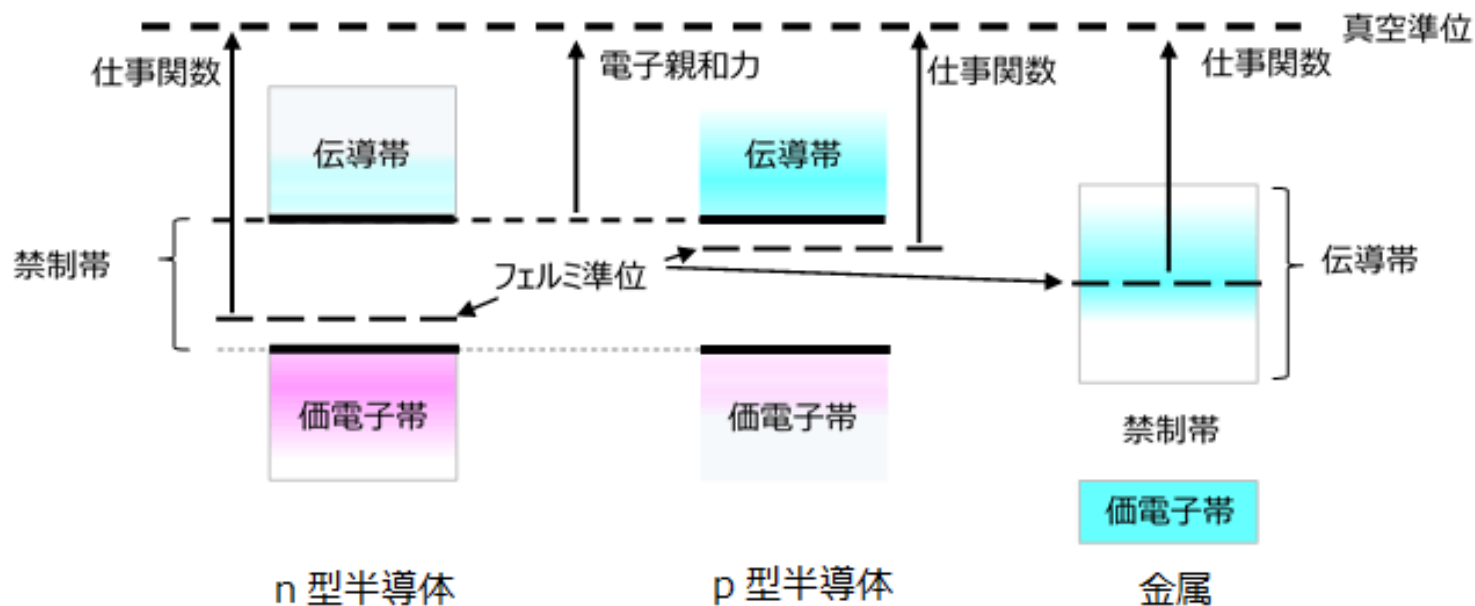
東芝デバイス&ストレージ株式会社

2. 金属・半導体接合

pn接合でp型半導体とn型半導体の拡散電位の話をしました。

pn接合ではフェルミ準位が基準となっていて重要であることを理解していただけたいと思います。

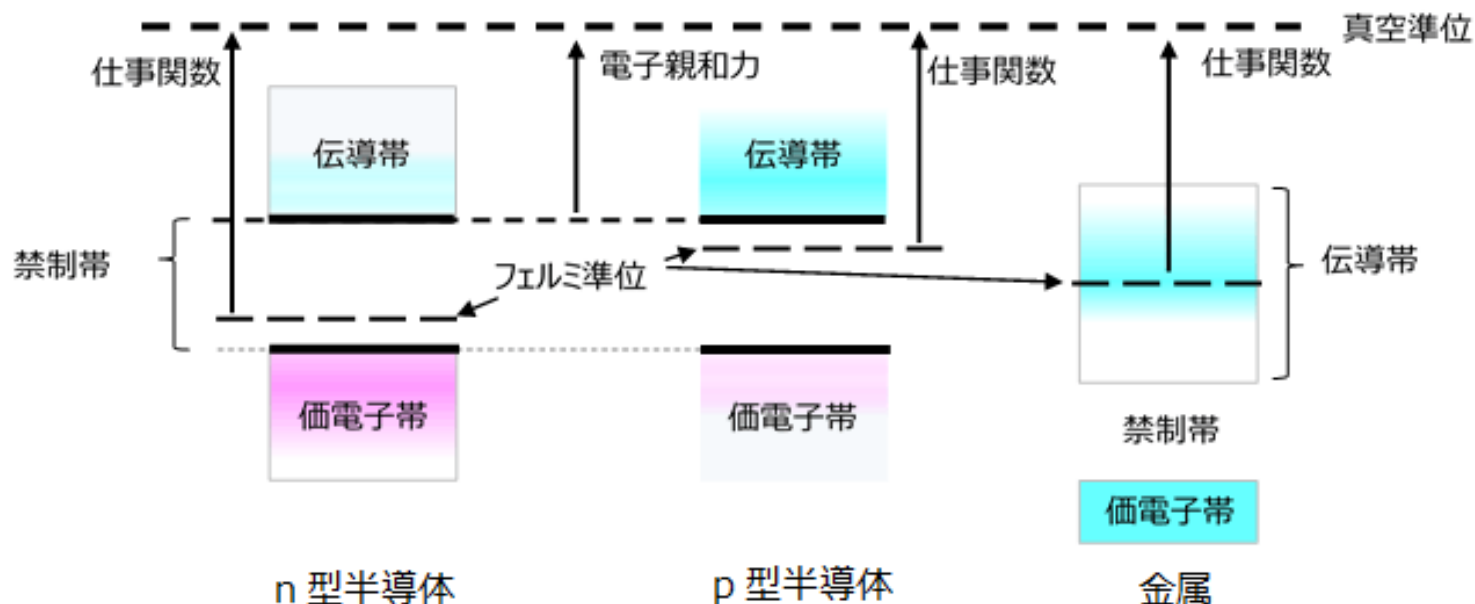
金属と半導体の接合の場合も無バイアスではフェルミ準位が一致するように接合します。拡散電位（障壁電位）の基準となる電位は少し異なり、仕事関数が使用されます。後で述べるようにこの差分の大小は接合時の特性を左右します。



2. 金属・半導体接合

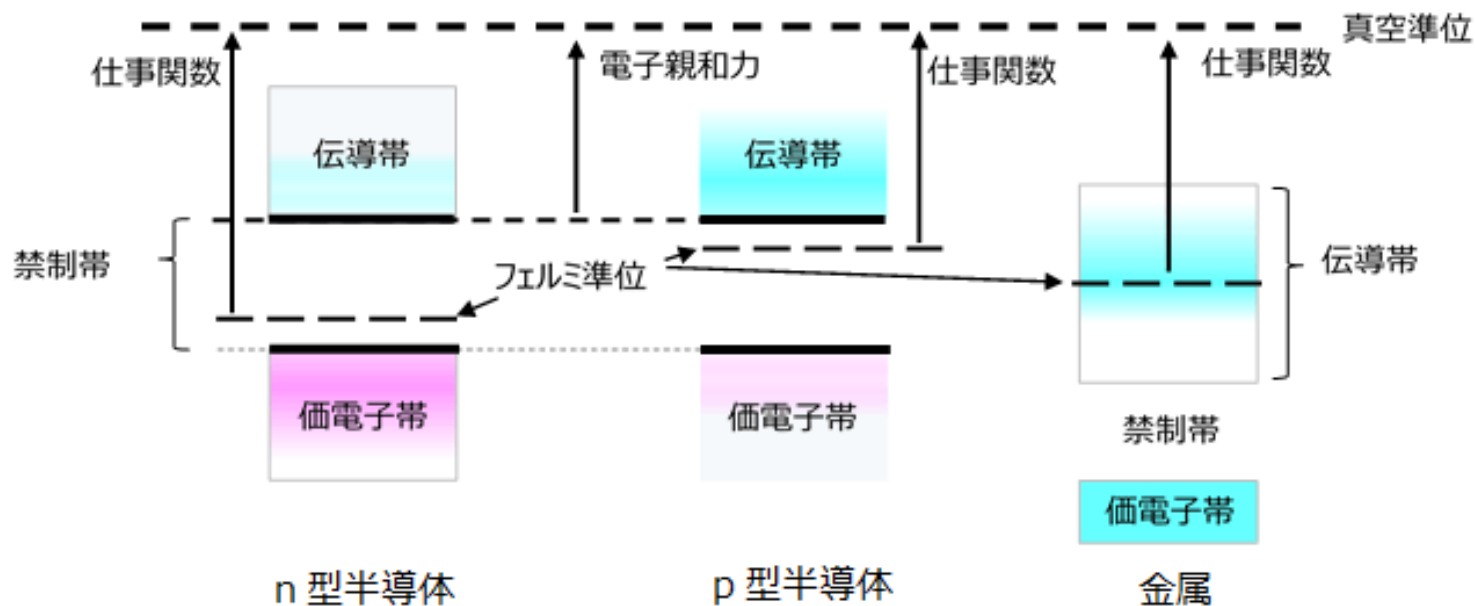
ここで使用する用語を整理しておきます。

- 電子親和力：一般的に原子や分子に電子を1つ与えたときに放出されるエネルギーです。半導体では伝導帯の最低エネルギーレベルから真空準位までのエネルギー差になります。金属の場合、仕事関数と大きさが一致します。
- フェルミ準位：電子の存在する確率がフェルミ分布の計算上1/2となるエネルギー準位。
- 仕事関数：自由電子を分子から1つ取り出すのに必要なエネルギーです。フェルミ準位と真空準位の差になります。
- 真空準位：電子などの電荷を持った粒子が、運動エネルギーゼロの状態で見るときのエネルギー準位



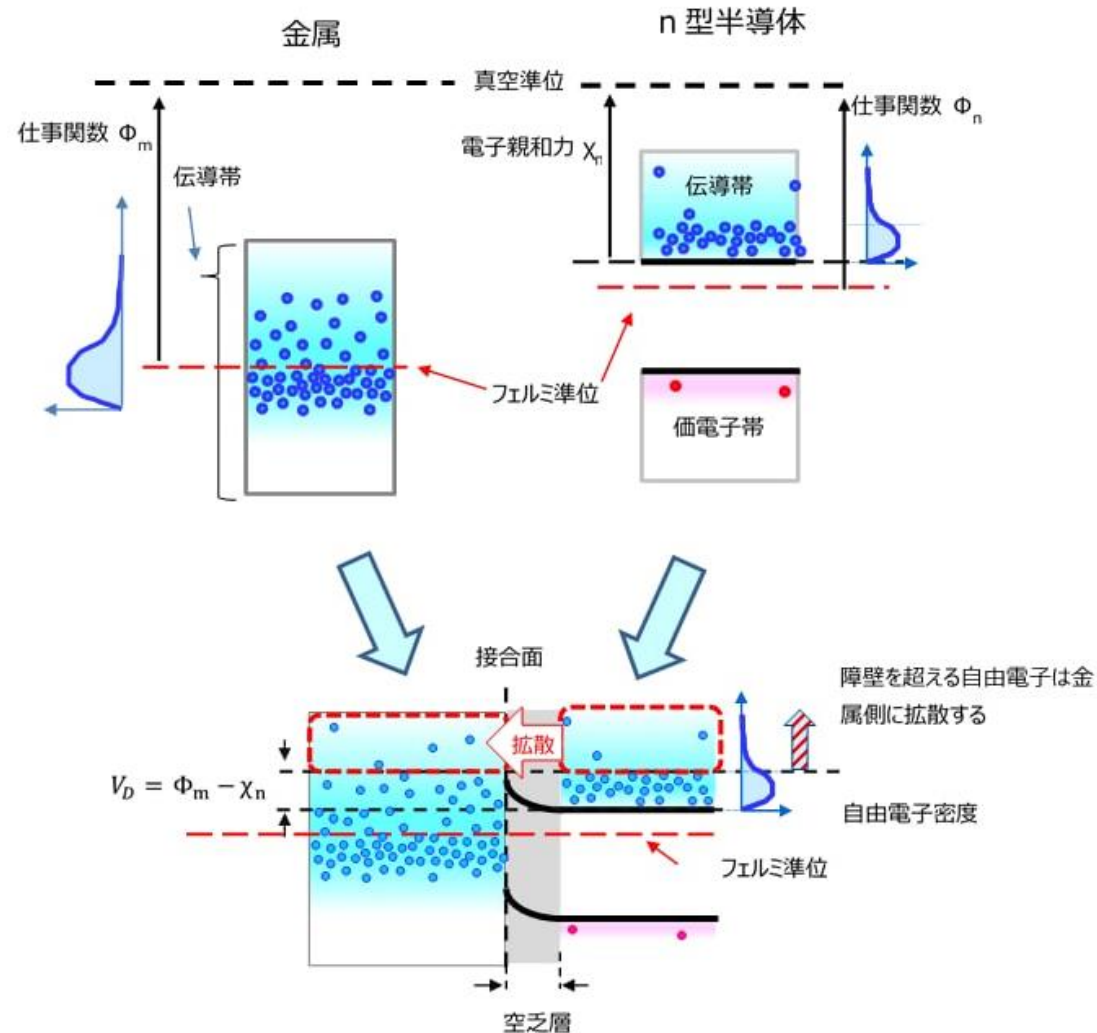
2. 金属・半導体接合

n型半導体（仕事関数 ϕ_n ）と金属（仕事関数 ϕ_m ）を接合させた場合、この仕事関数の大きさにより異なる特性となります。n型半導体の仕事関数と比較して、金属の仕事関数が高い（ $\phi_m > \phi_n$ ）場合はショットキー接合、低い（ $\phi_m < \phi_n$ ）場合は、オーミック接合となります。半導体の仕事関数は、フェルミ準位から真空準位を引いた値です。



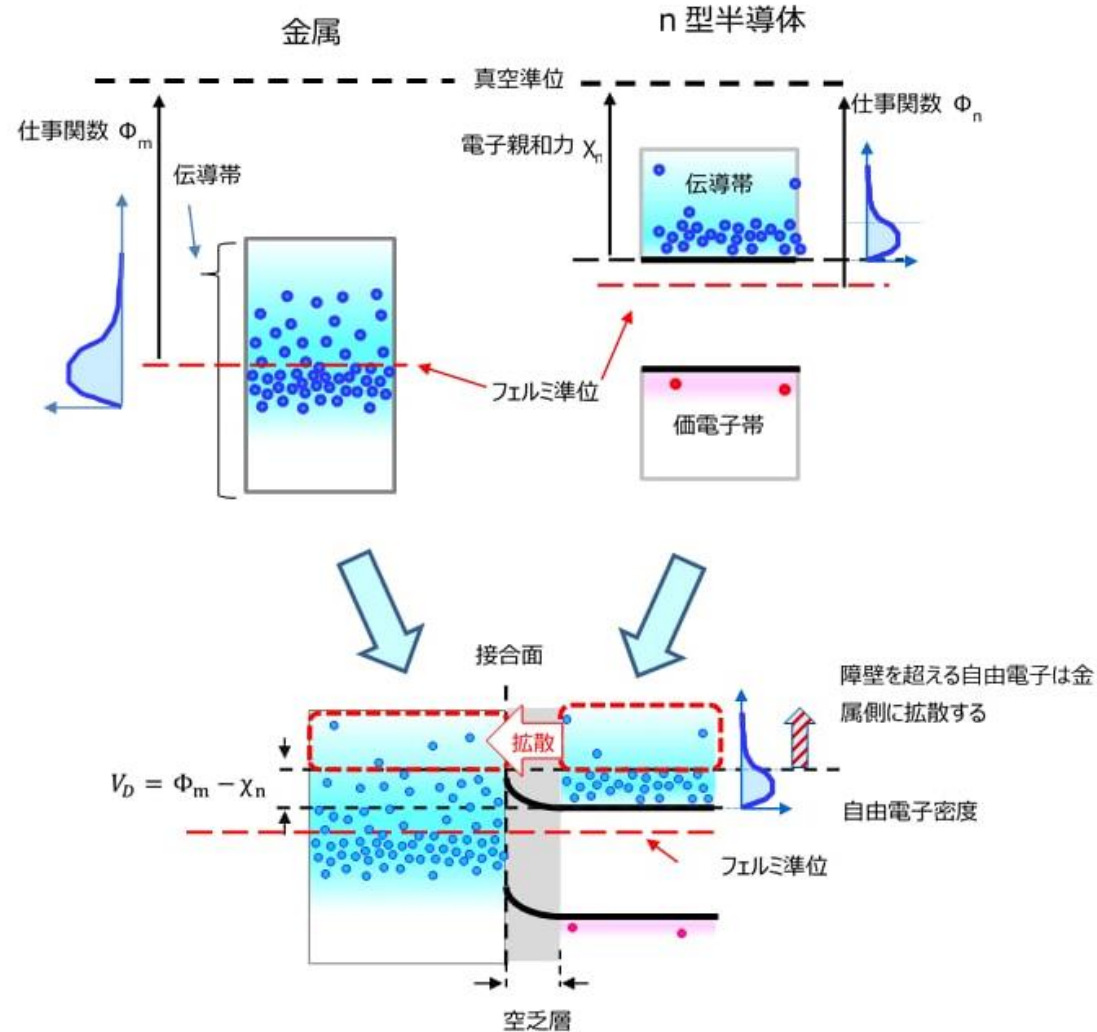
2.1. ショットキー接合 ($\Phi_m > \Phi_n$)

ショットキー接合は金属の仕事関数 Φ_m に比べ小さい仕事関数 Φ_n を持つn型半導体(またはp型半導体)と金属を接触させたときの接合状態を指します。この接合はショットキーダイオードに使用されます。n型半導体と金属を用いたショットキー接合のエネルギーバンド図を示します。



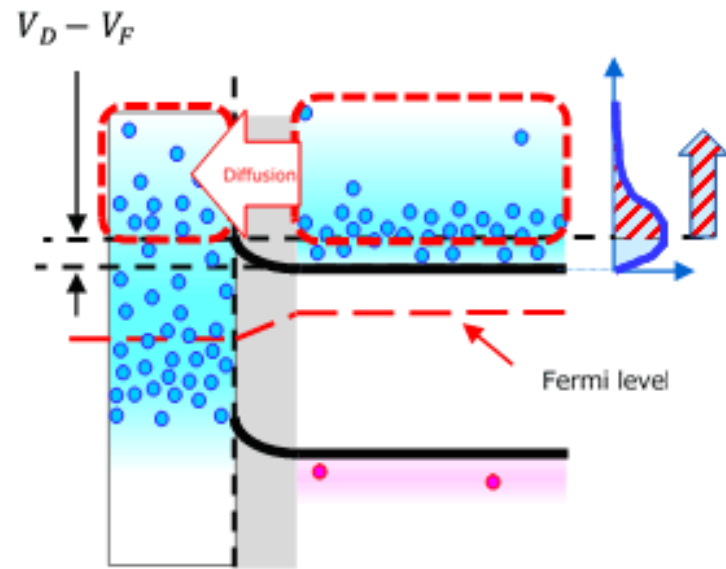
2.1. ショットキー接合 ($\Phi_m > \Phi_n$)

エネルギーレベルの高い半導体の伝導帯側から金属側に電子が移動します。これにより半導体側にのみ空乏層が広がります。pn接合と同様にフェルミ準位は一致します。平衡状態では、金属側からみて金属の仕事関数 Φ_m からn型半導体の仕事関数 Φ_n を引いた拡散障壁 $V_D = \Phi_m - \chi_n$ が接合面にあります。

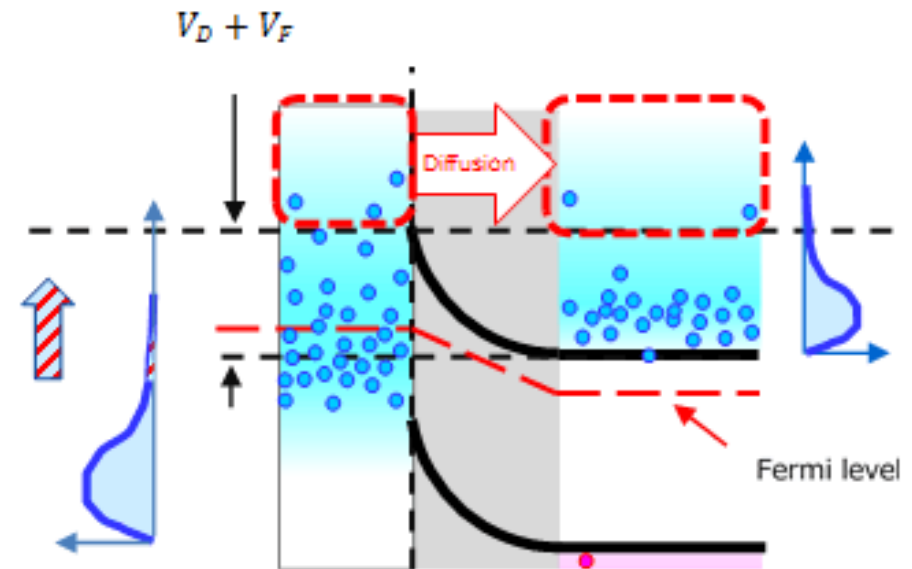


2.1. ショットキー接合 ($\Phi_m > \Phi_n$)

フェルミ分布に従いn型半導体側の自由電子は分布し、この障壁を超える電子は金属側に流れ込みます。金属側から見た障壁は外部から電圧を加えても変わりませんが、半導体側から見た障壁は印加電圧分シフトします。このシフトによりショットキーバリアダイオードを流れる電流が変化します。



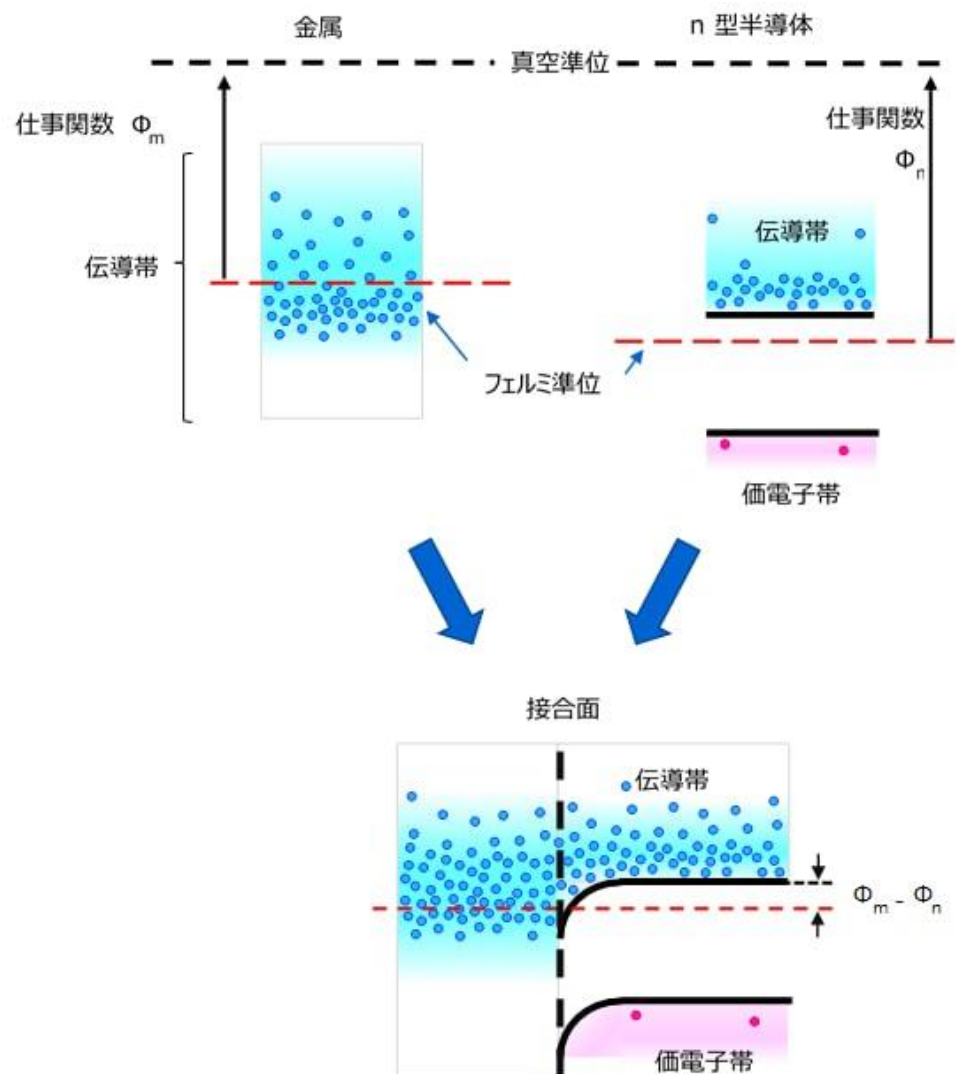
ショットキー接合（順バイアス）



ショットキー接合（逆バイアス）

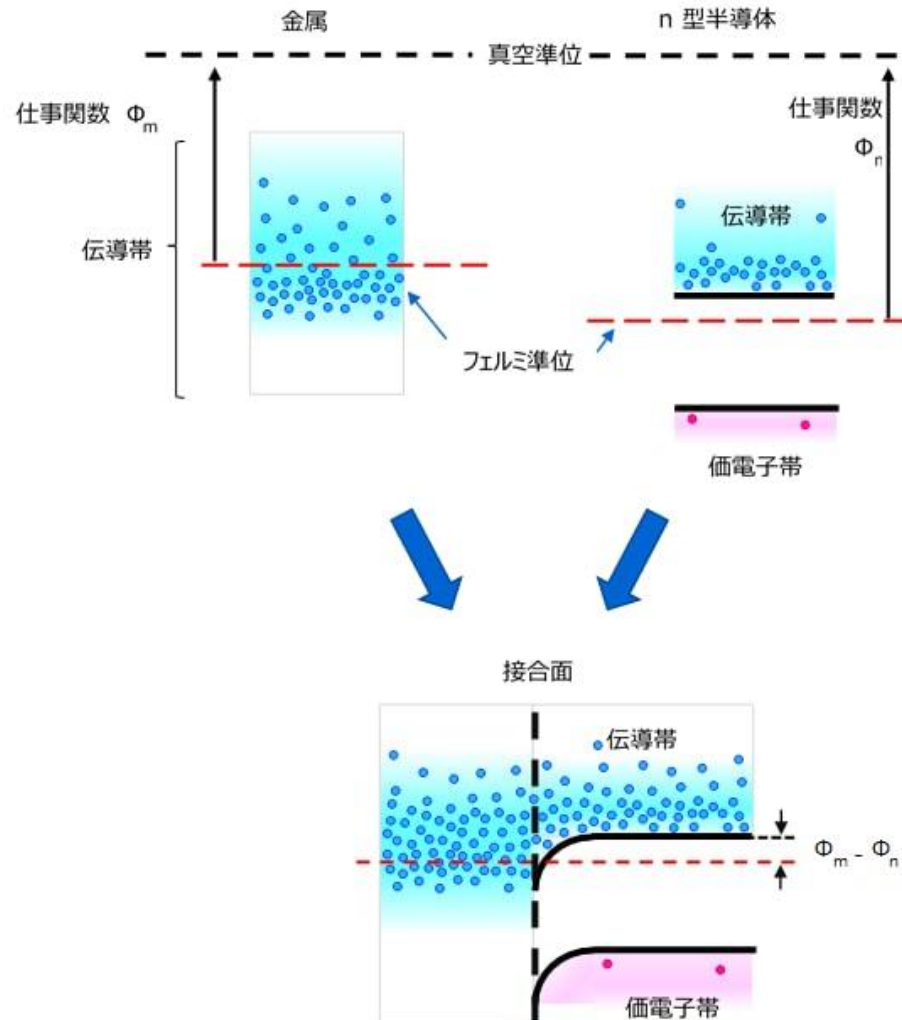
2.2. オーミック接合 ($\Phi_m < \Phi_n$)

オーミック接合はn型半導体の仕事関数 Φ_n が金属の仕事関数 Φ_m に比べ大きいとき、2つの物質を接触させたときになります。n型半導体と金属を用いたオーミック接合のエネルギーバンド図を示します。



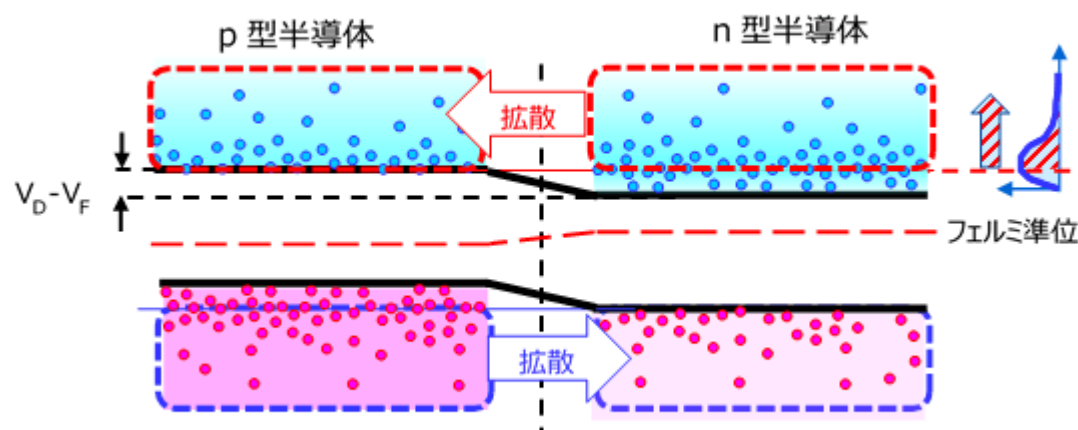
2.2. オーミック接合 ($\Phi_m < \Phi_n$)

図に示すように拡散障壁はありません。このため外部から印加される電圧に対し、極性によらず電流が流れます。ショットキー接合のようなダイオード特性（整流特性）はなく、単なる抵抗特性を示します。半導体（チップ）とパッケージを結ぶボンディング用の半導体側の電極（ボンディングパッド）などに用いられます。

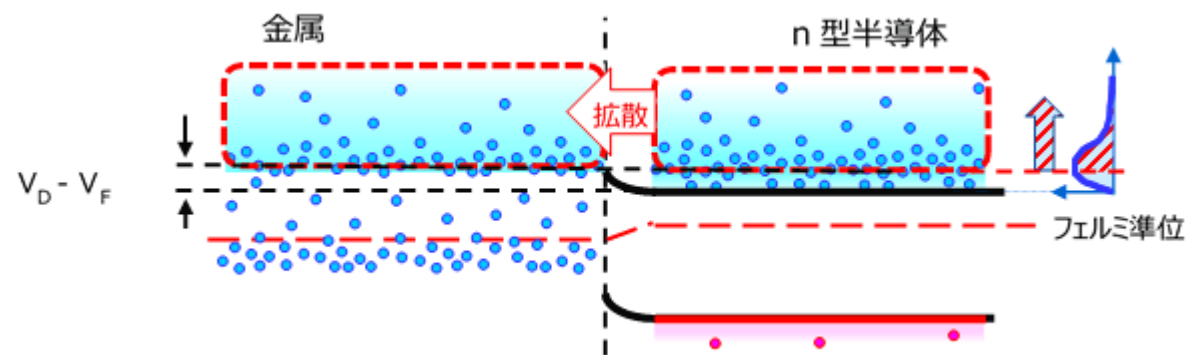


2.3. 伝導度変調

pn接合と金属・半導体接合の説明をしてきました。復習になりますが、電圧を印加したときの電流の担い手（キャリア）がpn接合ではバイポーラー（電子と正孔）、金属・半導体接合はユニポーラー（電子、または正孔のどちらか片方、モノポーラーとも呼ばれます）になります。



pn接合
(順バイアス V_F 印加時)

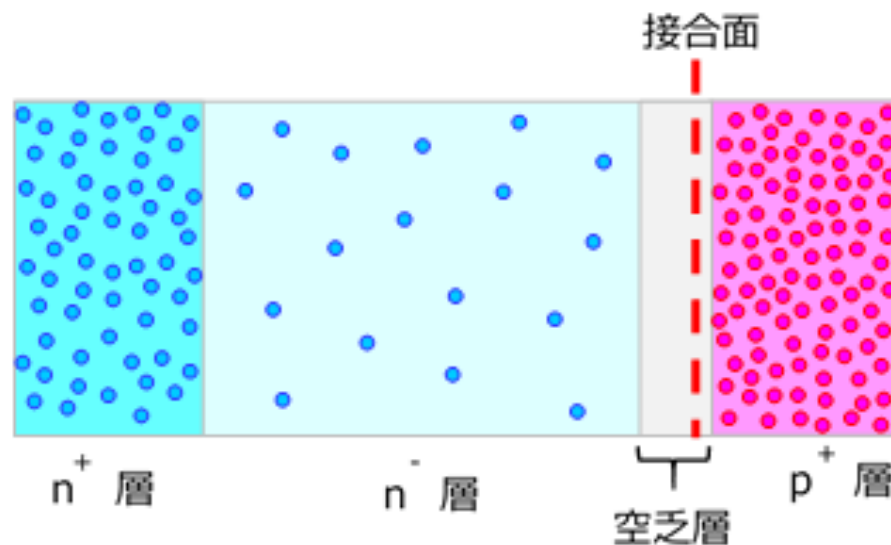


金属・半導体接合
(順バイアス V_F 印加時)

2.3. 伝導度変調

pn接合は、低濃度のn型（またはp型）半導体基板の上に、高濃度のホウ素 B などのp型不純物を拡散または、積層（エピ）、打ち込み（インプラ）して作られます。このため低濃度のn型（またはp型）の部分が直列抵抗として働きます。実際には、pn接合の伝導度変調の効果により直列抵抗が下がります。

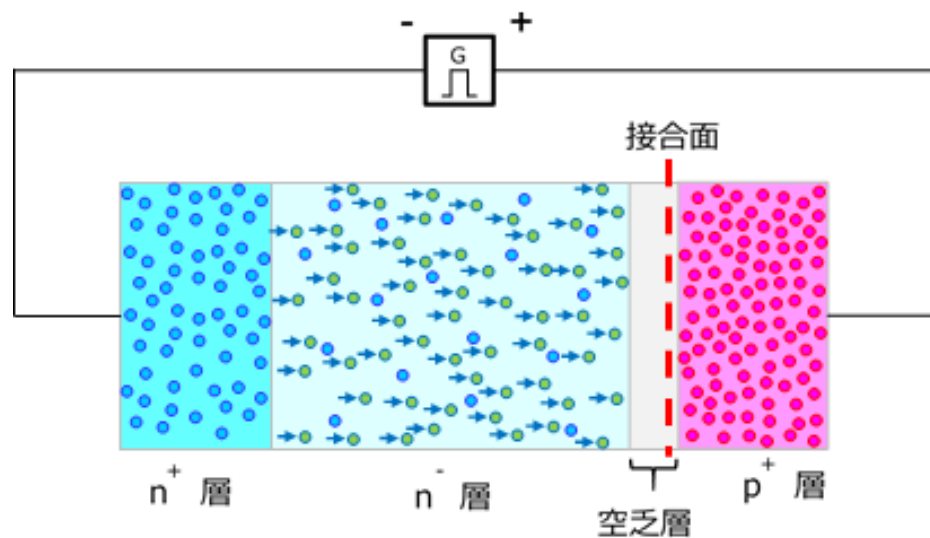
一般的なpn接合ダイオードは濃度の薄いn層（n⁻）を濃度の濃いp層（p⁺）とn層（n⁺）で挟むような構造となっています。特に極度に濃度の薄いn⁻層を持つダイオードをPINダイオードと呼びます。一般的なpn接合ダイオードでもPINダイオードほどの低濃度ではありませんが類似の構造を持っています。



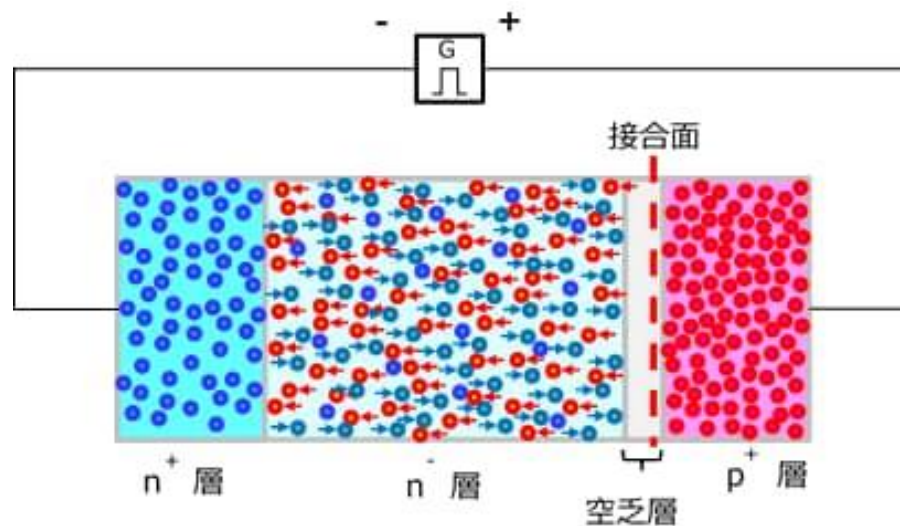
pn接合ダイオード
（無バイアス時）

2.3. 伝導度変調

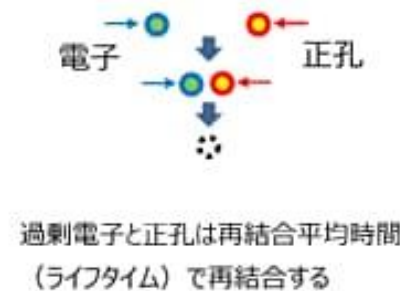
電源から供給される電子はn+層を通り、n-層に供給されます。この過剰電子に対し、電氣的に中和を保つためにp+層から正孔が供給されます。最終的にはこの電子とホールは再結合しますが、この結合には平均的な時間として、ライフタイムと呼ばれる時間が必要です。このライフタイムの期間は電子と正孔が共存することになります。このため、n-層は高濃度の不純物を添加したときと同じように低抵抗となります。



pn接合ダイオード
(順バイアス時 電圧印加直後)

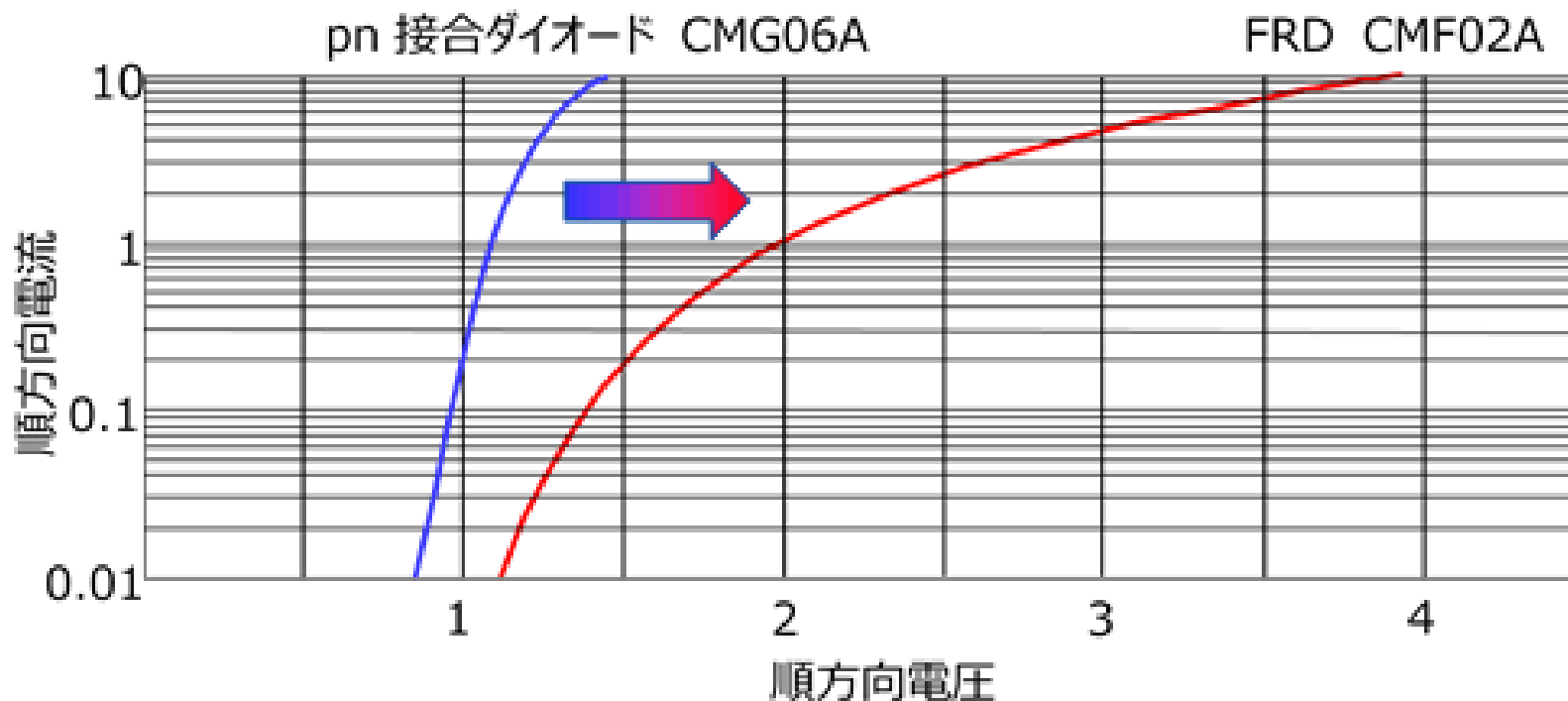


pn接合ダイオード
(順バイアス時 定常動作時)



2.3. 伝導度変調

ライフタイムが長いほどこの伝導度変調効果は高くなりますが、オンからオフへの移行時間（逆回復時間・リバースリカバリータイム）が長くなります。この逆回復時間を短く（ライフタイムを短く）したダイオードとしてFRD（ファーストリカバリーダイオード）があります。通常のpn接合ダイオードとFRDの順方向電圧を比較するとFRDの傾きが緩い（抵抗値が高い）ことがわかります。



TOSHIBA