

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)

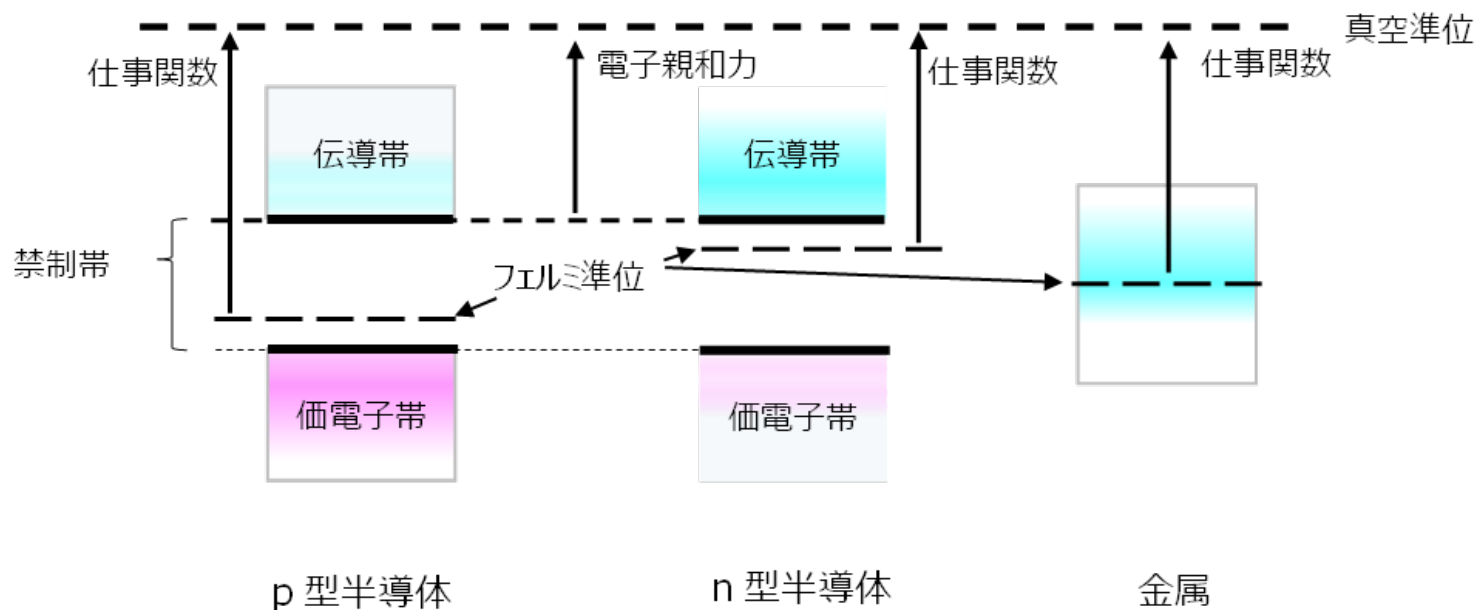
TOSHIBA

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。

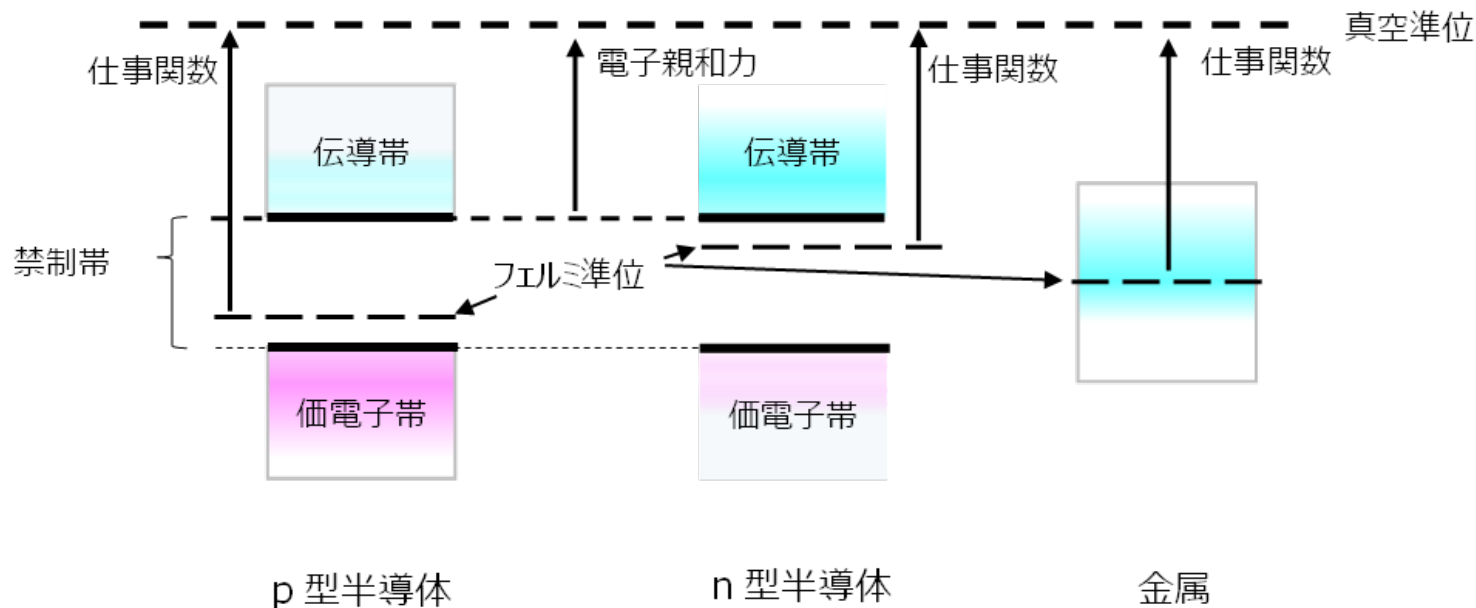
金属と半導体の接合の場合も無バイアスではフェルミ準位が一致するように接合します。拡散電位（障壁電位）の基準となる電位は少し異なり、仕事関数が使用されます。後で述べるようにこの差分の大小は接合時の特性を左右します。



2. 金属・半導体接合

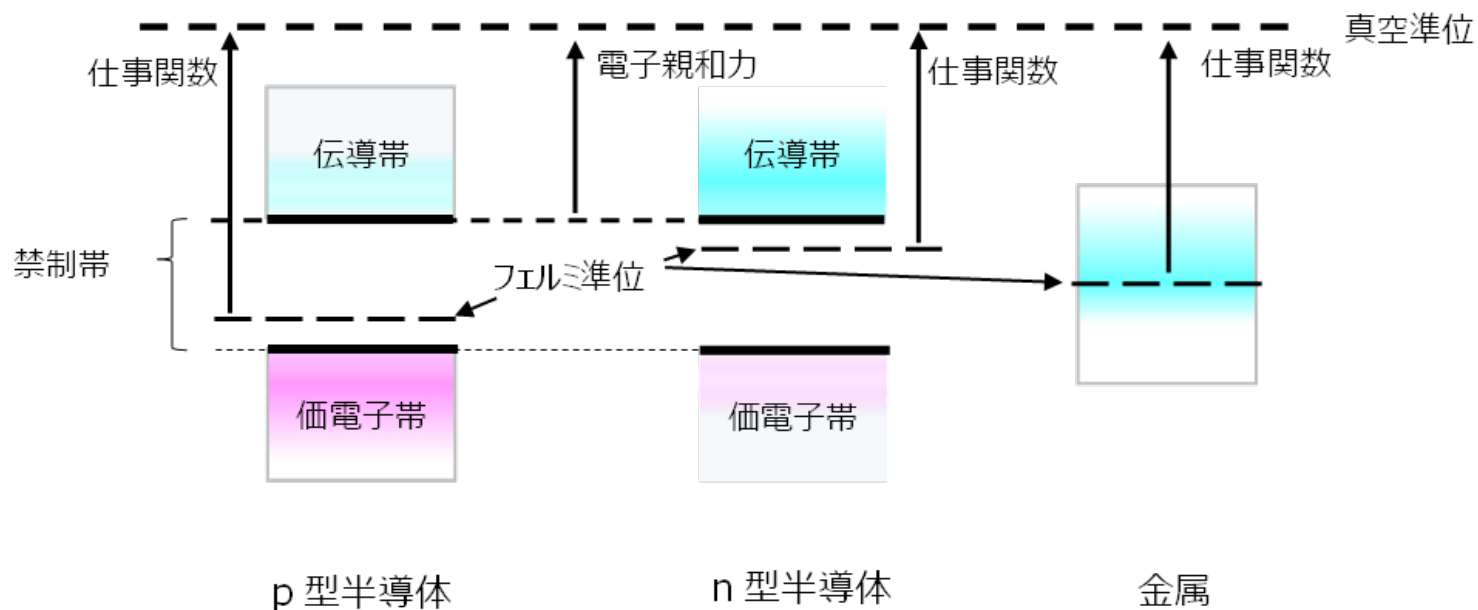
ここで使用する用語を整理しておきます。

- 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



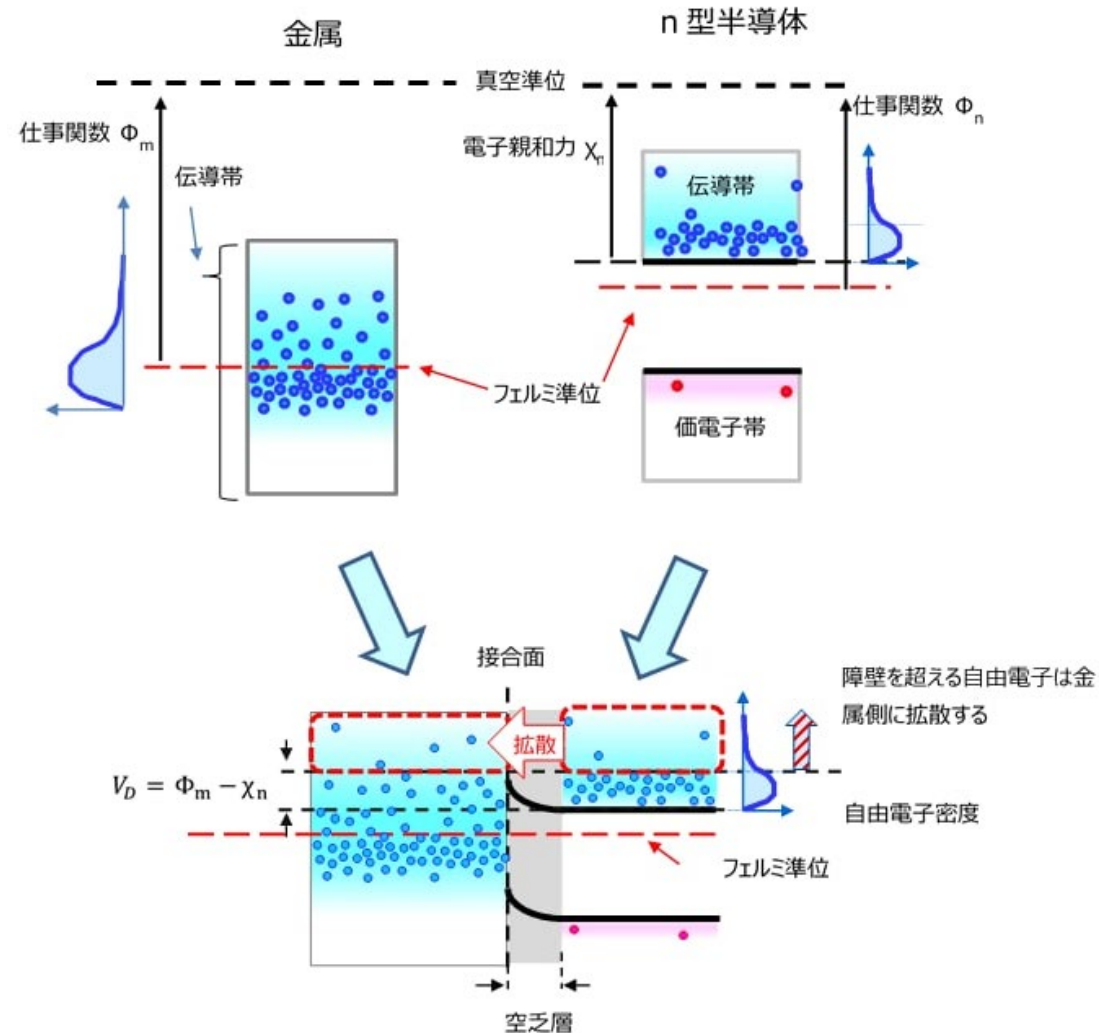
2. 金属・半導体接合

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。



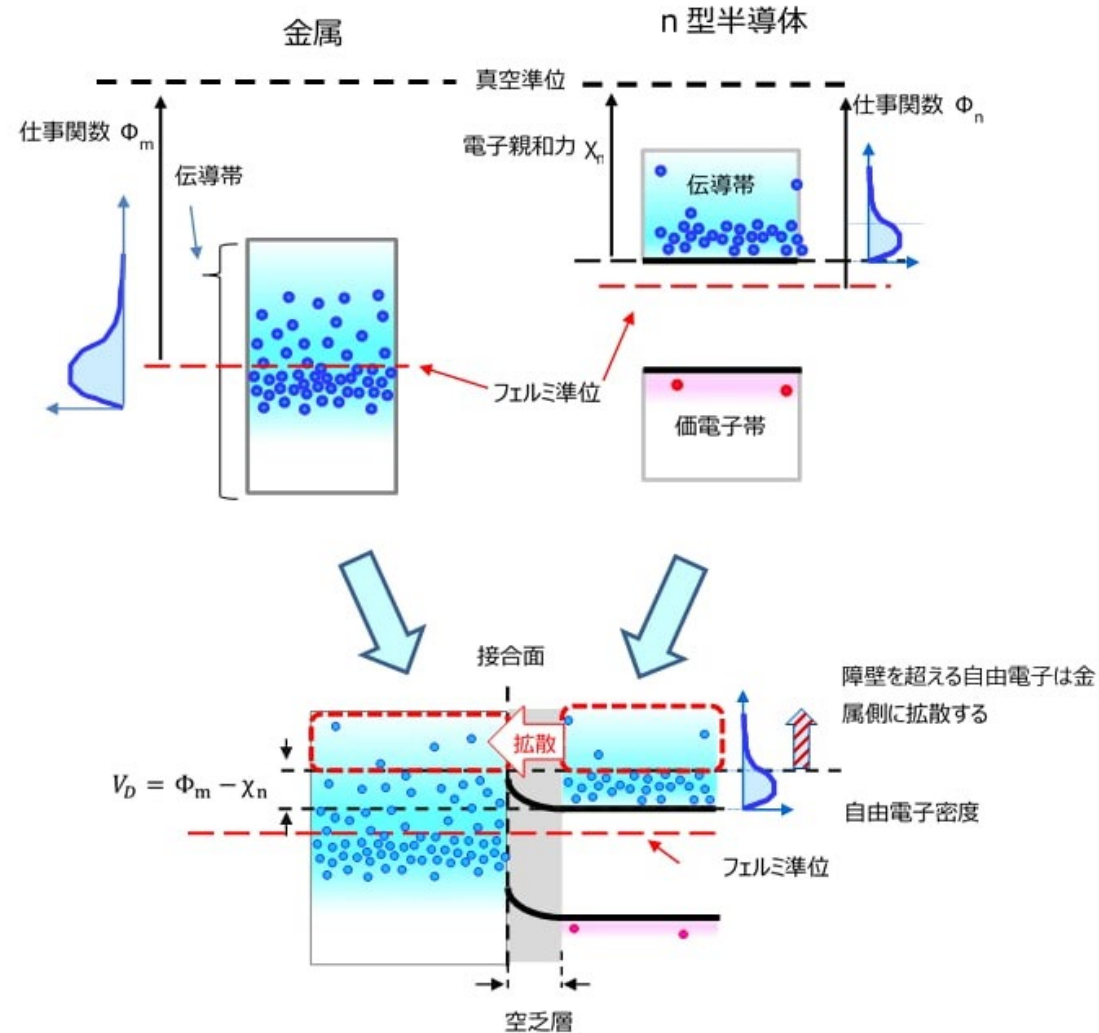
2.1. ショットキー接合 ($\Phi_m > \Phi_n$)

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。



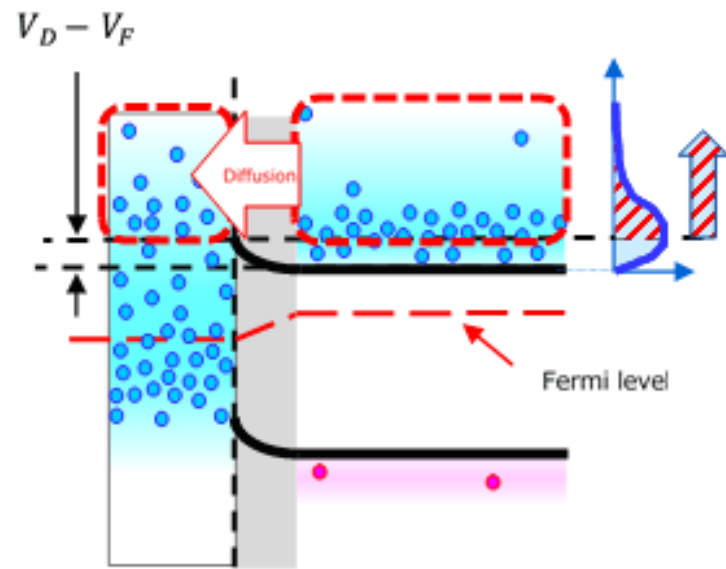
2.1. ショットキー接合 ($\Phi_m > \Phi_n$)

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。

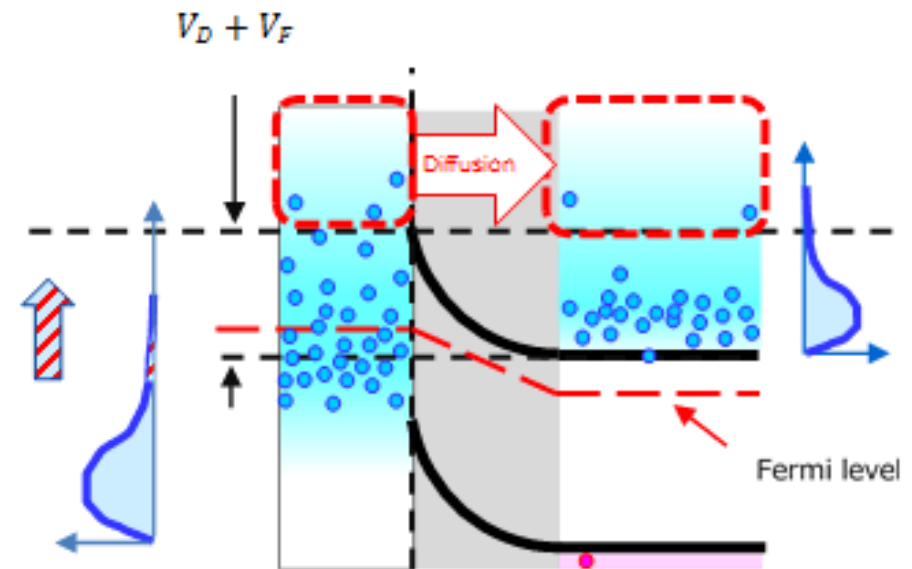


2.1. ショットキー接合 ($\Phi_m > \Phi_n$)

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。



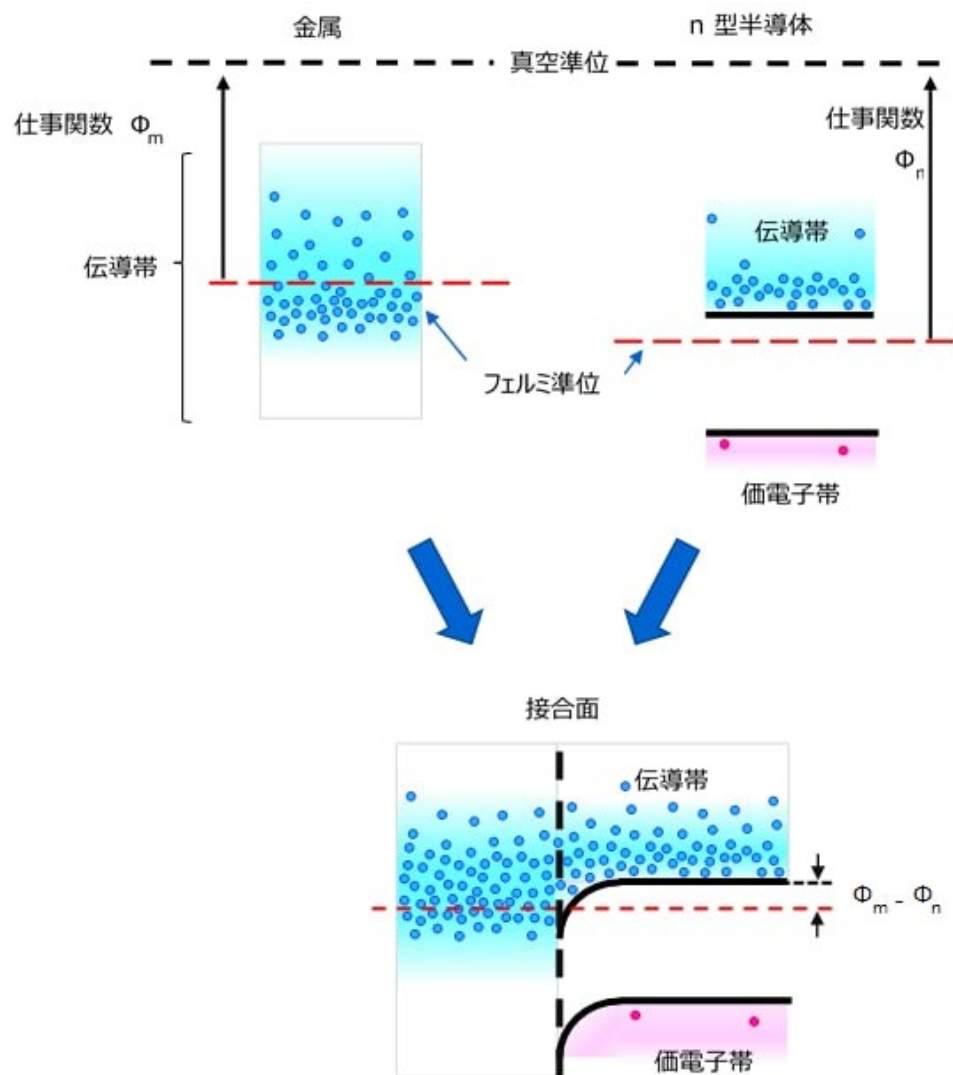
ショットキー接合 (順バイアス)



ショットキー接合 (逆バイアス)

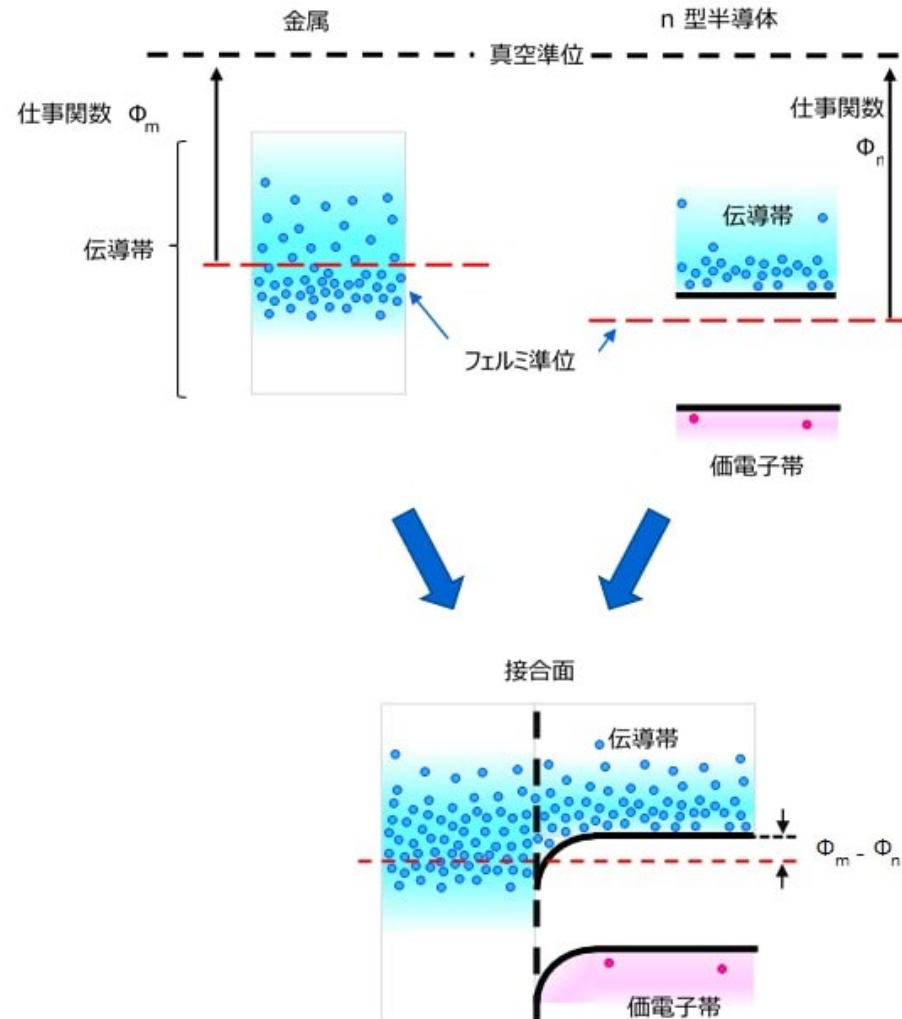
2.2. オーミック接合 ($\Phi_m < \Phi_n$)

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。



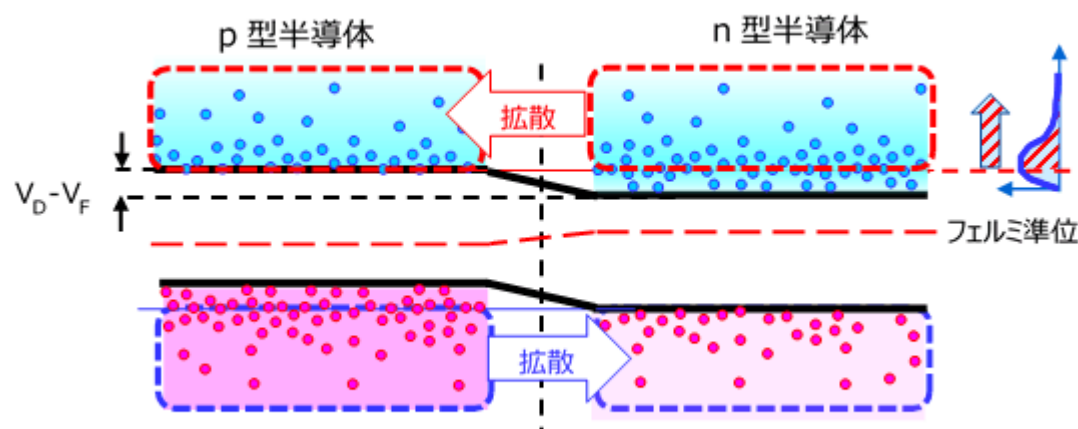
2.2. オーミック接合 ($\Phi_m < \Phi_n$)

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。

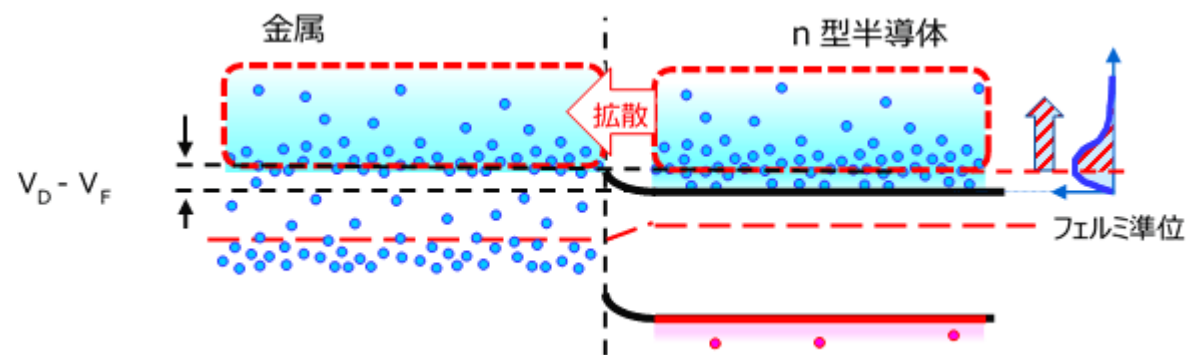


2.3. 伝導度変調

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)

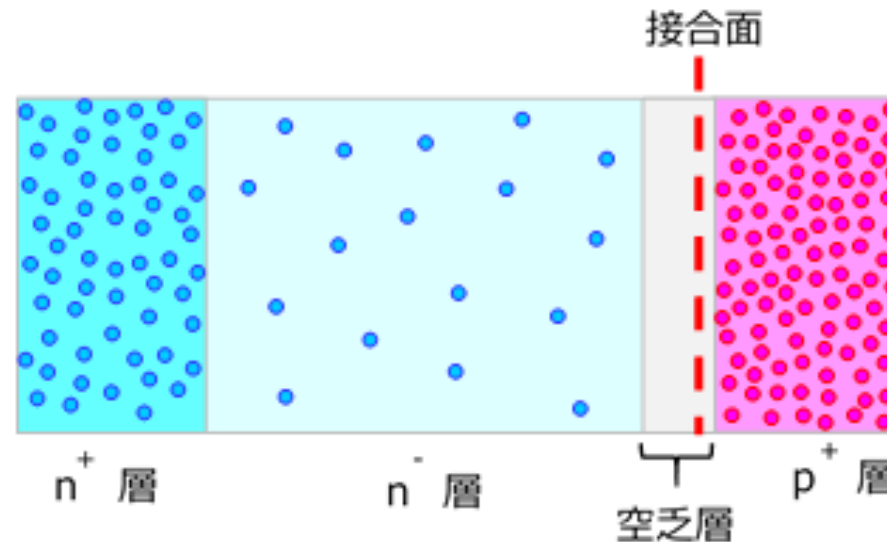


金属・半導体接合
(順バイアス V_F 印加時)

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。

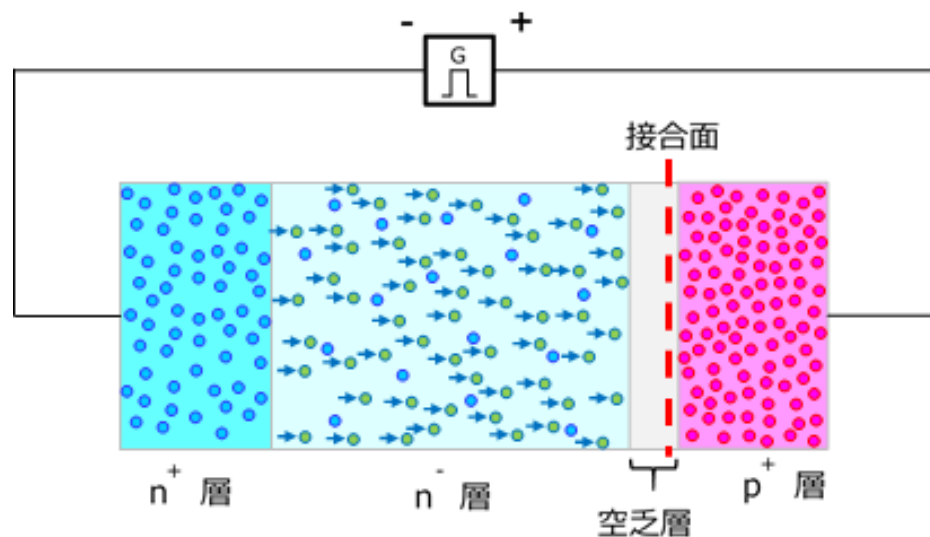
一般的なpn接合ダイオードは濃度の薄いn層（n⁻）を濃度の濃いp層（p⁺）とn層（n⁺）で挟むような構造となっています。特に極度に濃度の薄いn⁻層を持つダイオードをPINダイオードと呼びます。一般的なpn接合ダイオードでもPINダイオードほどの低濃度ではありませんが類似の構造を持っています。



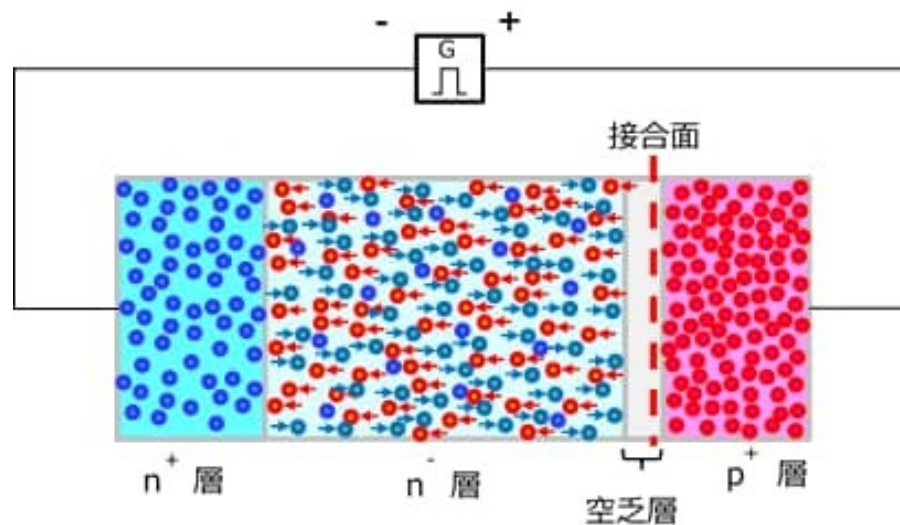
pn接合ダイオード
(無バイアス時)

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)

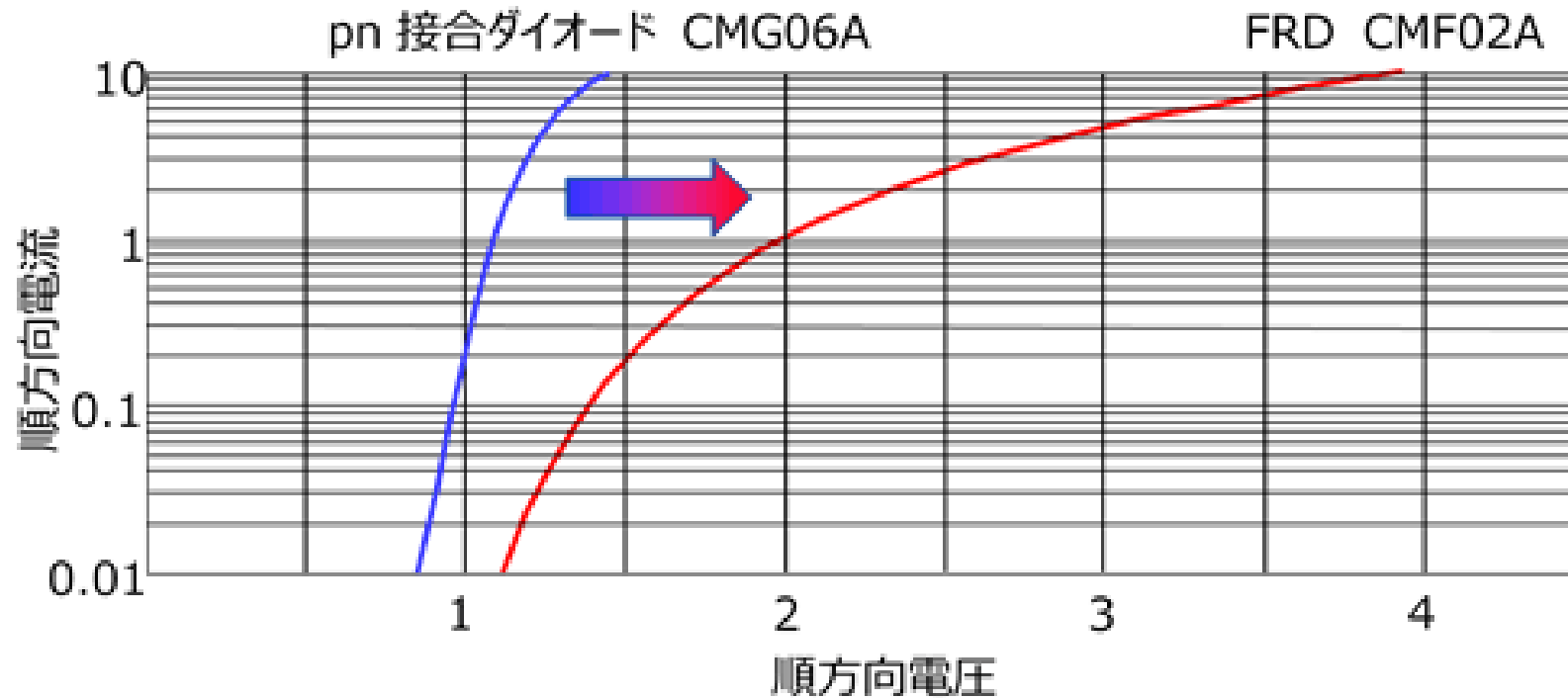


pn接合ダイオード
(順バイアス時 定常動作時)



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。



製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。
本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（ヘルスケア除く）、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、発電関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社Webサイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品のRoHS適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制するRoHS指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。

TOSHIBA