

金属 - 半導体接合（続く）

空乏層の幅

前回の授業で説明した金属 - 半導体接合をもう少し定量的に取り扱うことにしよう。

空乏層における電位の変化は、空乏層内に残っている不純物により正の帯電により生じる（ $n$ 型半導体で話を進めている）。ポアソンの方程式

よりポテンシャル変化は

となり、空乏層の幅は

で与えられる。空乏層の幅はドーピング濃度が高いほど薄くなる。これは、電荷の密度が高くなり、電位勾配が急になるので、より短い距離でポテンシャルを稼げるからである。

電圧 - 電流特性

逆バイアスの場合には、障壁の高さは電場により変化しない。障壁を通過する電子の数は、熱励起によるもののみなので、やはり電場に依存しない。一方、順バイアスの場合には、障壁の高さが電場により低下していく。このため、障壁を通過する電子の数は電場にも依存するようになる。最終的な式は

となる。

P - n 接合

次に、半導体 - 半導体接合を考える。とりあえず、半導体の母剤は同じ物質（通常はシリコン）であることにしよう。

半導体で  $p$  -  $n$  接合を作るのには、（電子立国日本の自叙伝で見た限りでは）引き上げでシリコンの単結晶を作るときに、 $p$  型になる不純物を入れて  $p$  型で引き上げる途中で  $n$  型不純物を加えて  $n$  型に持ち込む。さらに、トランジスタを作るときは、最初の不純物を加えるようにする。

母剤が同じ場合は  $n$  型と  $p$  型では  $n$  型の方がフェルミエネルギーが高くなる。よって、両者の接合により、 $n$  から  $p$  領域へ電子が流入し、そして、両者の間に電位差が生じる。金属 - 半導体接合の場合には、金属の方がキャリア密度が遥かに高いために、電位勾配は半導体側のみで生じたけれども、半導体どうしの接合の場合は、ドーピング密度が同じ程度なら両方に電位勾配が生じる。接合の付近では、キャリアのない欠乏層が生じる。

電流 - 電圧特性

この状態で、 $n$  の側に  $-$ 、 $p$  の側にプラスの外部電場をかけると、障壁の高さが低くなり、界面を超えて流れる電流量が増加する。一方、 $n$  側をプラスにすると、界面のエネルギー差は増加し、そして空乏層の幅も広がってしまう。

つまり、 $p - n$  接合においても、ショットキー接合と同様に整流特性がある。とは言え、金属 - 半導体接合と異なり、接合の両側でキャリアが異なっているために、キャリアの再結合という、新たな要因が加わってくる。

#### キャリアの再結合と平均拡散距離

キャリアの連続の式に対して、電流の式を考え、さらに定常状態の過程を置くと、拡散係数と再結合確率を含んだ式になる。

この式を解くことにより、距離の関数としての余剰キャリア密度が求められる。そして、平均拡散距離が拡散定数と再結合寿命に依存するものであることが分かる。

#### 接合型トランジスタ

トランジスタは増幅素子としてポピュラーなものである。これから、説明するのは接合型トランジスタと呼ばれるもので、実は、最近の CPU などでは電界効果型トランジスタ尾が使われており、トランジスタと一口で言っても種類があるものなのだけれど、接合型は最初に実用化されたものだし、ダイオードの延長にあるので、ここで紹介することにする。

トランジスタに進む前に、それ以前の増幅素子、3 極真空管の構造を見ておこう。3 極真空管には 3 つの電極がある。一つはエミッタで、ヒーターによって加熱され、熱電誌を放出する電極である。2 つめはコレクタでエミッタから放出された電子を集める電極である。この 2 つだけだと、整流作用はあるけれども、増幅作用はない。増幅作用のためには第 3 の電極、ベースが必要である。ベースは、エミッタと同じ符号の電場が印加される。これにより、ベースの電圧が上がると熱電子はベースの電圧で阻止されてコレクタに到達出来なくなる。つまり、ベースの電圧制御により、エミッタ - コレクタ間の電流を制御出来るのである。

さて、接合型トランジスタにも 3 つの電極があり、エミッタ、コレクタ、ベースと呼ばれている。この名称は 3 極真空管から横流れをしたものだ。

エミッタ、コレクタ間に電圧が印加されても、ベースとコレクタ間が逆バイアスであり、エミッタとコレクタ間も順バイアスと家でも、エミッタコレクタ間の電場はベースとコレクタ間に主にかかってしまうので、障壁はあまり低くならず電流は流れない。

ここで、エミッタとベースの間に順バイアスを印加すると、エミッタとベース間の障壁が低くなり電流が増加する。もし、ここで、ベースの長さが平均拡散長より長いと、ベースに到達した電子はそこで再結合擦るわけで、単なる、エミッタ - ベース間のダイオードという話になる。

しかし、ベースの厚さが平均拡散長より十分に薄いと、ベースを拡散した電子はコレクタ領域に入り、逆バイアスの大きな電位差で加速されてコレクタ電極に飛び込んでいく。

つまり、エミッタ、ベース間の順バイアスにより、エミッタ - コレクタ間に電流が生じるように出来るのである。これが、接合型トランジスタにより増幅機構である。

接合型トランジスタでは、増幅するためにはエミッタ - ベース間に電流が流れることになる。そういう意味では電流 - 電流増幅素子と言えるのではないかと思う。