

導体・絶縁体・半導体

篠原@物理のかぎプロジェクト

2005-09-22

我々は日常的に金属はよく電気を通すし、ゴムなどは電気をほとんど通さない、ということを知っています。

これらは抵抗率の違いで、金属など電気を通しやすいものは導体、逆にゴムなどの電気を通しにくいものを絶縁体と呼び、その中間の抵抗率のものを半導体と呼んでいます。ものの本には金属と半導体の境目は $10^{-3}[\Omega cm]$ 、半導体と金属の境目は $10^6[\Omega cm]$ 程度と書かれているものが多いのですが、では、この抵抗率の違いはどこから来るものなのでしょうか？また、導体と半導体、半導体と絶縁体はどこが違うのか、考えてみたいと思います。

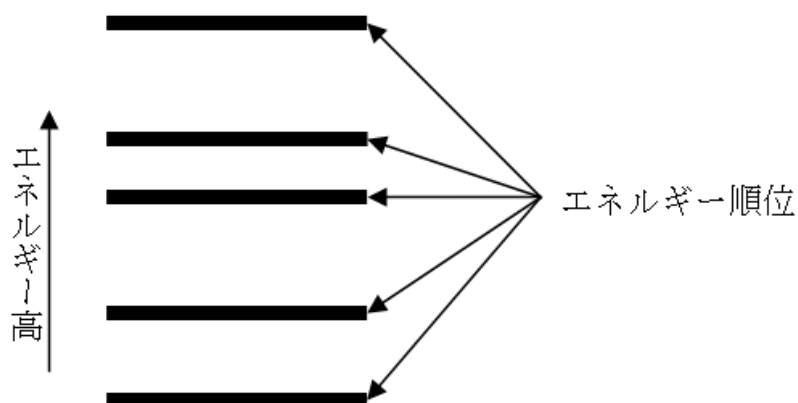
エネルギー帯

抵抗率のことを考えるためには、やはり電荷を運ぶ担い手である電子のことについて理解しなければなりません。

そのために、まず原子1個の周りを回る電子のことから考えて見ましょう。

原子1個の場合

量子力学によると、「電子が取りうるエネルギーの値はとびとびである」という結果が得られます。原子1個の場合について、これを概念的に表すと下の図のようになります。



これは、縦軸がエネルギーのグラフだと思ったらいいでしょう。横軸に意味はありません。(線を太く描いていますが、実際には1本の線です。)

この図で示してあるように、電子が取ることのできるエネルギーを、「エネルギー準位」(または単に「準位」と呼びます。エネルギー準位は言わば電子が座ることの出来る「座席」だと思ってもらえば、イメージしやすいでしょう。電子はエネルギー準位、つまり「座席」があるところには座れますが、座席のないところに座ることは出来ません。

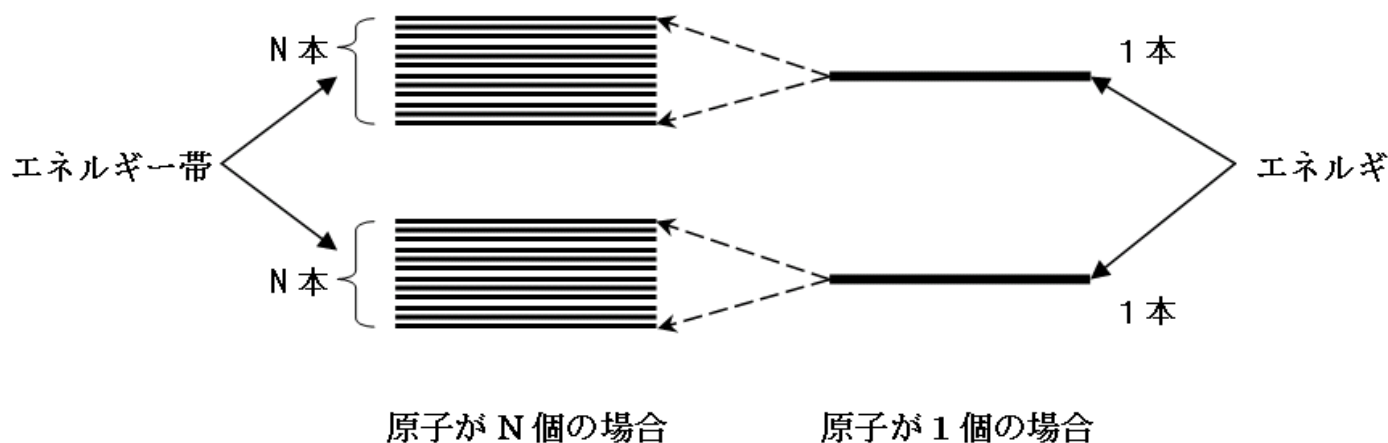
原子が多数の場合

では、原子が1個ではなく、多数(N個とします)の原子が集まった場合はどうなるのでしょうか。原子1個の場合と同じことが言えるのでしょうか?

実は、原子1個の場合と違う構造になります。それは、「パウリの排他律」というものが効いてくるからです。

パウリの排他律とは、「二つの電子が同じ状態をとることはできない」というものです。要するに、「一つの座席に二つ以上の電子が座ることは出来ない」と思っただけいたらよいと思います。

では、パウリの排他律が効いて来ると、どのようなことが起こるのでしょうか?今、N個の原子が集まって一つの固体を作ったとします。すると、パウリの排他律により、N個の原子に属する電子はそれぞれが同じエネルギーを取ることができないため、少しだけエネルギーの違う準位を作り、もともと1本だったエネルギー準位はN本に分かれることになります。原子1個の場合と同じように、概念的に表すと、下の図のようになります。



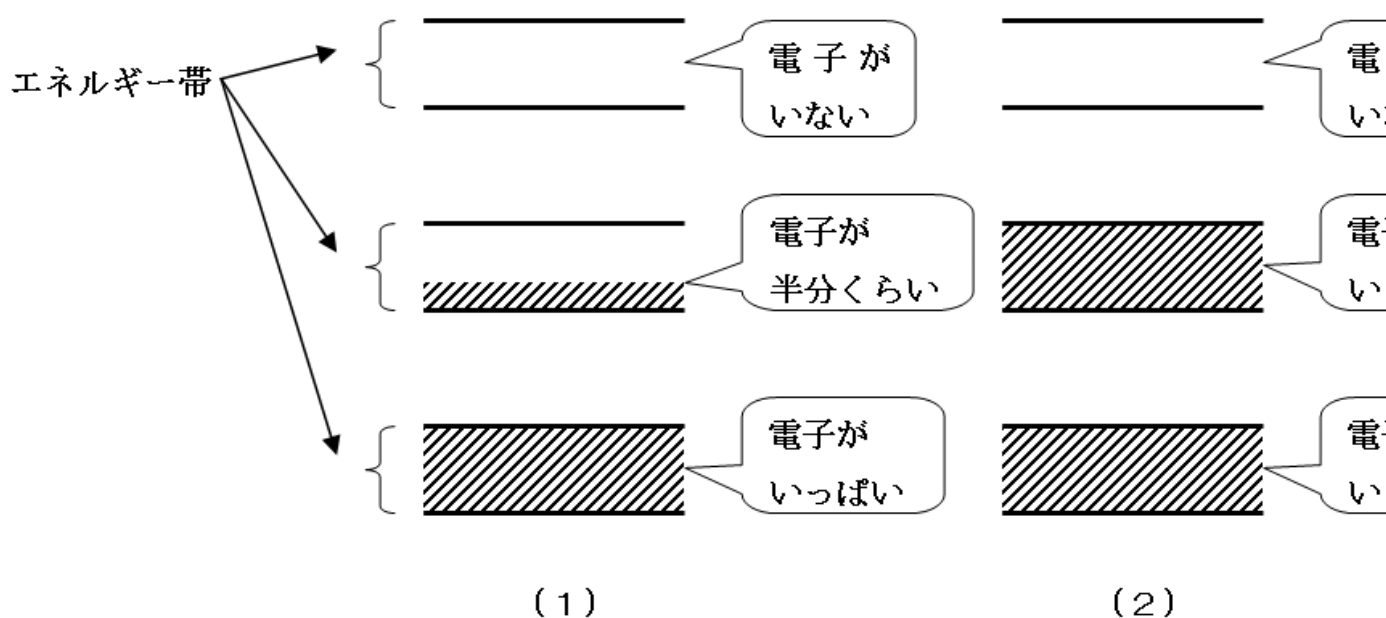
ここで、Nはとても大きな数です。例えば、角砂糖程度の大きさの固体には 10^{23} 個程度の原子があります。Nがこれだけ大きいと、N本の準位のエネルギー差を測定することは不可能で、見た目上ほとんどエネルギー準位が連続的に分布していて、バンド(帯)上の準位を作ります。これが、

「エネルギー帯 (エネルギーバンド)」と呼ばれるものです。

抵抗率の違い

エネルギー帯が理解できたところで、次はいよいよ物質中での電気伝導、即ち電子の移動について考えてみたいと思います。

一般に自然界では、エネルギーが低い状態で安定となります。すなわち、物質中での電子は、エネルギーが低いエネルギー帯から順番に埋まっていくことになります。このとき、エネルギー帯の埋まり方は、次の2種類に分けることができます。



この図で、エネルギー帯は3つしか書いていませんが、実際にはこの上と下にもっとたくさんのエネルギー帯があります。

(1)の図では、電子はあるエネルギー帯の半分くらいまで詰まっていて、残りの半分は空になった状態です。(2)の図では、あるエネルギー帯まで電子がいっぱい詰まっていて、それより上のエネルギー帯では空になった状態です。

実は、(1)が導体の場合のエネルギー帯を示していて、(2)が絶縁体や半導体の場合のエネルギー帯を示しているのです！いよいよ、先が見えてきましたね！では、それぞれの場合について、どのように電気が伝わるのか、詳しく見ていくことにしましょう。

導体

絶縁体，半導体

■ おまけ - 光の反射，透過