

# 第 2 章

## ダイオードの基礎

ダイオードは、半導体デバイスとして基礎的な構造をしている。構造があまりにも簡単であるため、往々にしてダイオードの説明は簡単に片づけられてしまう傾向にある。しかし、寄生素子の影響を無視できないような高周波の領域においては、ダイオードの性質を十分に理解しておかないと、とんでもない結果を招いてしまうことがある。

ただし、ダイオードに用いる接合には様々な種類があり、それらのすべてを本書で解説することはできない。そこで本章では、PN接合を中心に説明していくことにする。

### 2.1 半導体の基礎方程式

---

まず、半導体の基礎方程式について説明しよう。どのような理論を学ぶにしても、方程式がどこから出発して、どこまでが正確であり、また、どこからが近似式であるかをしっかりと理解しておくことは重要なことである。

半導体を取り扱うための基礎方程式として、五つの方程式が必要となる。それは、ポアソンの方程式、二つの電流密度に関する方程式、二つの連続の方程式の五つである。これらについて、順に説明していく。

#### 2.1.1 ポアソンの方程式

ポアソン(Poisson)の方程式は、電磁気学で最初に出てくるマックスウェルの四つの方程式の中の一つで、厳密に成り立つ基本的な方程式であり、次の式で表現されている。

$$\text{div} \mathbf{D} = \rho \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで、 $\rho$ は電荷密度である．太字はベクトルであることを示している． $\mathbf{D}$ は電束密度と呼ばれ，電界  $E$  とは次の関係式で結ばれている．

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \dots\dots\dots (2.2)$$

$\epsilon$ は誘電率と呼ばれる物質の性質に関連したパラメータで，一般的にはテンソルという形式になるが，本書においては単に定数として扱う．定数として扱っても，これから扱う理論においては大きな誤差は生じない．この定数  $\epsilon$ の値は，シリコンの場合，

$$\epsilon = 1.04 \times 10^{-12} \text{ [ F/cm ]}$$

である．これからさらに半導体について調べていくが，実際の半導体の構造は3次元であるが簡単のため1次元として扱うことにする．そのため当然のことであるが，2次元や3次元の現象を表現することはできない．

1次元として扱った場合，式(2.1)，式(2.2)は，

$$\epsilon \frac{dE}{dx} = \rho \dots\dots\dots (2.3)$$

となる．

半導体には主にシリコンが用いられるが，このシリコンは4価の結合腕を互いに出しあって結びついている．シリコンの中に5価の腕を持つ物質(リン，ヒ素など)を加えると腕が一つあまり，これによる電子がシリコン中を浮遊することになる．この5価の腕を持つ原子はドナーと呼ばれ，電子を失ったドナーはプラスの電気を持ち，ドナー・イオンと呼ばれN型半導体を作る．

また，シリコンの中に3価の腕を持つ物質(ボロンなど)を加えると腕が一つ足りなくなり，その不足した腕はホールまたは正孔と呼ばれ，電子の場合と同じようにシリコン中を浮遊する．この3価の腕を持つ原子はアクセプタと呼ばれ，一つ腕が少ないアクセプタは電子を捕まえてマイナスの電気を持ち，アクセプタ・イオンと呼ばれP型半導体を作る．

電子やホールはシリコンの中を自由に動き回れるがドナー・イオンやアクセプタ・イオンは質量が大きいことと，その他の原子と結びついているため，自由に動き回ることにはできない．

このように，半導体に不純物と呼ばれる物質を混合することにより，様々な機