

# 第7章 半導体&電子の動きから見るダイオード&トランジスタ

## 7-1

まずはマイクロからはじめる

### トランジスタの原点…ダイオードのI-V特性

吉田 誠 Makoto Yoshida, 小池 一步 Kazuto Koike

ダイオードはP型半導体とN型半導体が原子レベルで接合されたPN接合でできており、式(1)は教科書でよく見かけるダイオードの電流  $I$  と電圧  $V$  の関係である  $I-V$  特性を示す式、図1(a)はそのグラフです。

$$I = I_s \left( \exp \frac{qV}{nkT} - 1 \right) [A] \dots \dots \dots (1)$$

式(1)において、 $q$ は電子の電荷量  $1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ 、 $k$ はボルツマン定数  $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ 、 $T$ は絶対温度[K]、 $V$ は印加電圧[V]、 $I_s$ はダイオードに逆方向に電圧を加えたときに流れる逆飽和電流[A]で、使われている半導体の種類や温度で決まる値です。また、 $n$ はダイオード・ファクタで、一般に  $n=1 \sim 2$  の材料特性や動作条件などで決まる値です。

電圧の変化に伴い急激に電流が増加することを実感できそうな例えとして、図1(b)に示すタケノコの成長があります。図1(c)はタケノコの成長に関する文献(1)から、タケノコのある1つの個体の成長データを抜き出してグラフにしたものです。日ごとに丈が指数関数的に急増する、右上がりの曲線を描きます。モウソウチクでは1日で119 cm 伸びたという記録(2)があるそうで、気が付くとあっという間に成長していたというのが竹の特徴ですが、グラフの形も  $I-V$  特性ととても似ているように思います。

このように、PN接合の  $I-V$  特性は非線形で、なおかつ急激に変化していることがわかります。接合トランジスタもPN接合をもつので、アンプなどのアナログ回路では接合部の電圧に何らかの負帰還をかけて電

流変化を調整しているのもうなずけます。

ダイオードの  $I-V$  特性は、半導体のどのような性質から出てきたのでしょうか。本稿では、このPN接合について半導体のなかのマイクロな動きを、といっても回路設計者ができるだけ簡単にイメージできることに重点を置いて、問題のない範囲で厳密性は少しだけ横に置いておいて解説します。

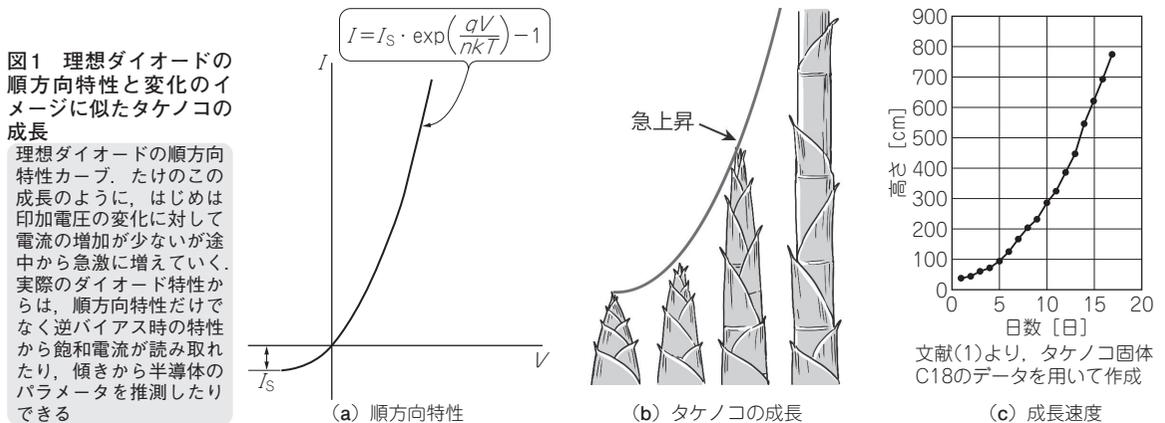
#### ● キャリアの動きをイメージする

回路設計するうえで、半導体の中の電子やホールなどのキャリアの動きは少し遠いように感じるかもしれませんが、しかし、キャリアの動きをイメージできるようになれば、例えばタイオードの動作メカニズムなどもイメージしやすく、よりデバイスを使いこなせるようになって、性能を極めた回路設計もできるようになります。

また、PN接合の動作イメージは、ダイオード以外にも接合トランジスタや電界効果トランジスタ(FET)などの能動素子の動作メカニズムを理解する助けとなってくれる重要な基本知識です。

ところで、最近話題の量子コンピュータなどで身近になった量子力学の分野は回路屋さんからすると遠い存在のようにも思えますが、実はPN接合などの半導体も量子力学を応用したデバイスです。

本稿を通してイメージをつかんでから、量子力学にも触れつつ正確に解説されている半導体デバイス関連の名著に触れてみるのも楽しいと思います。



トランジスタくん

主要特性

定番回路

マイコン内部

MOSFET

半導体

半導体イメージ