



## 第3章 高いゲインと低雑音特性が得られる SiGe-HBT & GaAs-HEMT

### 高周波用トランジスタの実力と使い方

谷越 貞夫/市川 裕一  
Sadao Tanikoshi/Yuichi Ichikawa

現在入手可能なトランジスタとしては、Si(シリコン)バイポーラ・ジャンクション・トランジスタ(Si-BJT)、Si-MOSFET、Si-JFET、GaAs-MESFET、GaAs-HEMT、GaAs-HBTなどがあります。

高周波用トランジスタの種類と、使用周波数範囲を表すと図1のようになります。また図2に、これらの概略構造を示します。

#### 高周波トランジスタの種類と特徴

##### ● 最も広く使われる Si-BJT

図2(a)のSi-BJT(接合型シリコン・トランジスタ)は現在、高周波トランジスタとしてはもっとも広く使われています。

数百MHz以下の比較的低い周波数ではゲインは大きく取れますが、 $f_T$ (トランジション周波数)が20GHz止まりであるため、2G~3GHz以上の周波数帯では大きなゲインが得られなくなり、雑音指数(Noise Figure；NF)が悪化します。

ただし、 $1/f$ ノイズが他の形式のトランジスタより少ないため、位相ノイズ特性を重視した発振回路には多く使われます。

##### ● ひずみ特性の良い Si-FET

図2(c)のSi-MOSFET(絶縁ゲート電界効果トランジスタ)は、混変調や相互変調などの3次ひずみの発生が少なく、ノイズ特性が優れているため、TVチューナのフロントエンドなどに使用されます。現在、多くはAGC機能をもたせるためデュアル・ゲートのSi-MOSFETが使われます。

図2(b)に示したSi-JFET(接合型電界効果トランジスタ)もノイズ特性が優れているため、100MHz程度までのAM/FMチューナなどに使われます。ただし、FETはBJTと比べると $g_m$ が小さいため、大きなゲインは得られません。

##### ● 高周波特性の優れた GaAs デバイス

GaAs(ガリウム砒素)などの化合物半導体を使ったデバイスは、素子内部の電子の移動速度がSiより速いため、Si-BJT、Si-FETといったSi系デバイスの上限使用周波数より高い周波数(10GHz以上)で使うことができます。

図2(d)のMESFET(金属半導体接合FET)や、MESFETの高周波特性およびノイズ特性を改善した図2(e)のHEMT(高電子移動度トランジスタ)、

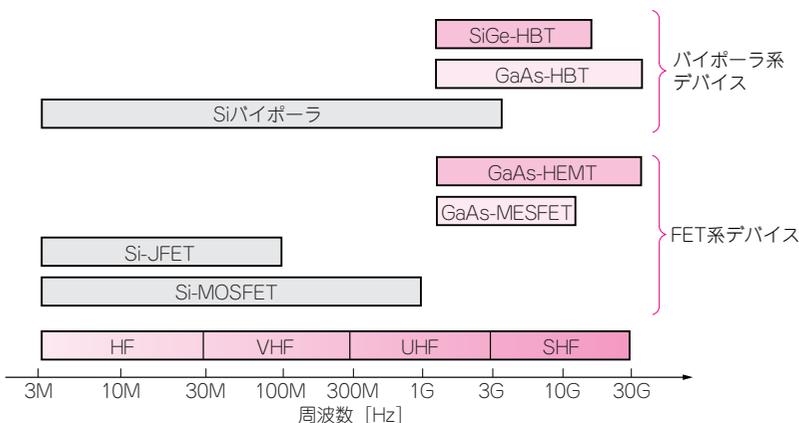


図1 いろいろな高周波用トランジスタの位置づけ

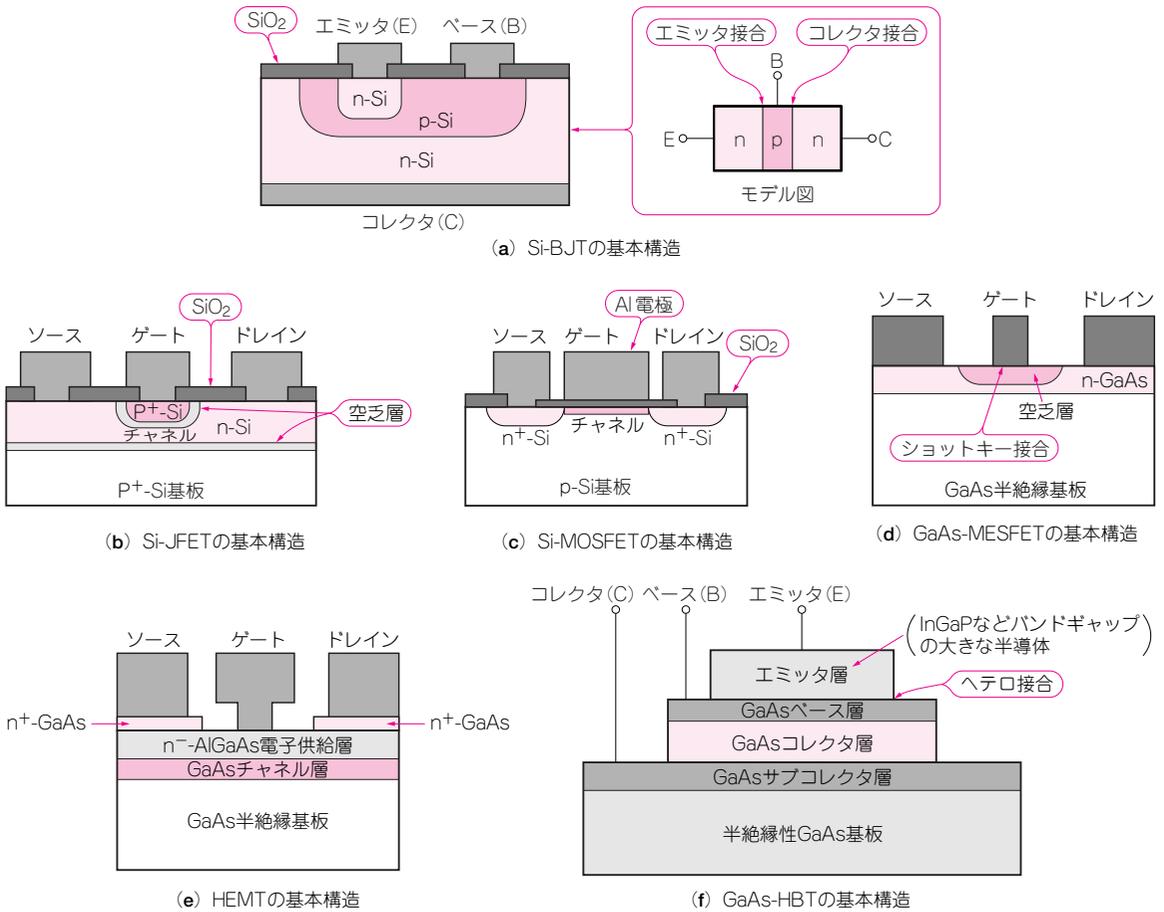


図2 各種高周波用トランジスタの基本構造

MESFETやHEMTより高いゲインが得られる図2(f)のHBT(ヘテロ接合バイポーラ・トランジスタ)といった種類があります。

ここでHBT(Hetro-junction Bipolar Transistor)とは、エミッター-ベース接合あるいはベース-コレクタ接合にバンド・ギャップの異なる異種(hetro)半導体接合を使用したトランジスタの総称です。

MESFETが古くから使われていますが、Si-FETと同様にあまり高いゲインが得られないため、Si-BJTに近い性質をもち、高周波特性が優れたHBTが開発されて広く使われるようになってきています。ただし、化合物半導体デバイスは材料が高価なので、Si系デバイスより高くなるのが欠点です。

### 高周波用 SiGe トランジスタ

SiGe(シリコン・ゲルマニウム)トランジスタとは、ベースがSiとGeの2種類の半導体の混晶で構成されるHBTのことです。

### ● SiGe トランジスタの特徴

このトランジスタの特徴は、ベースの不純物濃度を高くしてベースの寄生抵抗を下げられること、ベースでのSiとGeの組成比を変化させてベース内に電界を働かせ、電子の通過速度を上げられることです。その結果、従来のSi単体のトランジスタよりも優れた高周波特性が実現可能となりました。

SiGeトランジスタはベースの寄生抵抗が低いため、**Si単体のトランジスタよりロー・ノイズ**(すなわち雑音指数NFが低い)であり、**電子の通過速度が速いため $f_T$ が高い**といった特徴があります。

また化合物系半導体と異なり、Si基板上に形成できるため、低コストであるという点も特徴です。

SiGeトランジスタの構造を図3、外観を写真1に示します。

### ● Si-BJT との比較

市販のSiGe-HBT MT4S102T(東芝)と、高周波増幅用Si-BJT MT3S35T(東芝)のマイクロ波での特性の比較を表1に示します。