

現在のBJT -高周波用HBT-

高田 育紀

平成 30 年 9 月 9 日

BJT は、パワーデバイスとしての活躍の場はなくなったのであるが、現在 HBT (Heterojunction Bipolar Transistor) として高周波分野で広く使われている。HBT は耐圧が 2 ~ 3V 程度なので本講座の扱う高耐圧パワーデバイスの範疇に入らないのだが、その動作機構の特色を紹介する価値があろう。

さて、1980 年代に実用化した自動車電話の送信段には Si BJT が使われていたが (800MHz)、1990 年頃には 1GHz 以上の周波数では GaAs MESFET (MEtal Semiconductor FET) や、その微弱信号処理には雑音特性の良い HEMT (High Electron Mobility Transistor) ¹ が用いられた。そして、1989 年に実用化した 700MHz 携帯電話の出力段には始め GaAs MESFET が用いられたが、1990 年代の前半に特性が改善された Si MOSFET に置き替わった。ところが、携帯電話の通信方式が多重圧縮方式等より高度になると出力トランジスタに求められる増幅特性の直線性が厳しくなると、この特性が MOSFET や HFET 等の電界効果素子 (FET) よりも優れたバイポーラ素子が見直されて、HBT として復活して現在の主流デバイスとなっている²。

BJT の電力利得の高周波特性の改善は、原理的に (1.) ベース領域の厚みを薄くすると共に、(2.) ベース領域の拡がり抵抗を小さくすれば良い。(1.) は MOCVD を用いる等で容易に実現できるが、(2.) の対応としてベース不純物濃度を高くすると (*n*pn トランジスタでは) ベースからエミッタへの正孔の流

入が増えて電流増幅率 h_{FE} が低下する。この対策として、エミッタ領域にベース領域よりも大きいエネルギーギャップ E_g を有する半導体材料を用いたものが HBT である³。

この効果は、半導体領域中の $n_h n_e$ 積が E_g と共に指数的に減少することから得られる ($n_h n_e \propto \exp(-E_g)$)。それは、ヘテロ エピタキシャル成長で作成した *pin* 構造の LED の p^+ 領域や n^+ 領域のそれぞれに i 領域からの自由電子や正孔が実質的に流入しない状況と同じである⁴。HBT は数百 GHz 動作が報告されており、MESFET や HFET よりも高速である。これは、上記 (1.) のベース領域を薄くする方が横方向の微細加工よりも容易なためである。

本文は、著者の講義資料 第 III 部 [3] に 17.9 節 “現在の BJT -高周波用 HBT-” として付加すべきものであるが、第 III 部改訂版の発刊計画がないのでここに公開する。

参考文献

- [1] 高田 育紀, パワーデバイスの基礎 第 II 部 (第 2 版), 13 章 “発光ダイオードの動作原理”, 2017-05
- [2] 高田 育紀, “高輝度 LED の開発経緯と動作機構の再検討 -パワーデバイス屋が考えた LED の動作機構-,” H29 電気学会研究会資料, EDD-17-077/ SPC-17-176, pp.21-28, 2017-11-21. (文献 [1] の修正版に相応する)
- [3] 高田 育紀, パワーデバイスの基礎 第 III 部 (第 2 版), 2017-05

³ コレクタ領域の E_g も大きくなっている場合が多い。Si-SiGe-Si や AlGaAs-GaAs-GaAs, InP-InGaAs-InGaAs, InP-GaAsSb-InP の例がある。

⁴ 著者の講義資料 [1] 13 章 “発光ダイオードの動作原理” の修正版に当たる文献 [2] の 6.4 節 “*pin* 構造の効用” を参照されたい。ちなみに、SiGe MOSFET は Ge を混ぜたシリコン層のチャネル移動度が大きくなる効果を利用している。

¹ 富士通の三村 高志が 1980 年に開発した最初の HFET (Hetero-structure FET) の商品名で、これを増幅器の初段に用いることで衛星放送の受信アンテナの小形化が可能になった。

² 基地局の送信機は GaAs HFET から GaN HFET に変わって、携帯電話でも GaN HFET が期待されている。ちなみに、受信機の低雑音増幅器も GaAs HEMT から CMOS に変わった。