

(参考資料 2015 #8-p.1):高田

大電流動作は、n-領域の電界存在領域の幅xnを小さくして電界強度EFを増やして、大きなJcを流す状況。

この時、電荷担体存在領域がベース領域からコレクタ側に伸展する。



(参考資料 2015 #8-p.2):高田 小電流動作は低耐圧トランジスタと変わらない。 p⁻ベース領域での自由電子の拡散電流。 大電流動作は、n⁻領域の電界存在領域の幅xnを小さくして電界強度EFを増やして、大きなJcを流す状況。 xbは長くなり、拡散電流であるJcが低下することで安定な動作となる。



(参考資料 2015 #8-p.3) :高田

JBの第2項は、p+領域内の自由電子の拡散電流に当たる。 p+不純物が高濃度のため小さくなり無視できる。



15年12月5日土曜日 (参考資料 2015 #8-p.4):高田

ドリフト速度(µ EF)が飽和速度(vs)に達すると、xnの短縮によるJcの増大効果なし。 代わりに、(正味の負電荷密度が増えると)電界強度EF増大する関係が働きJcが増大する。 電界強度EFは直線的に増大し、その傾きは (巨大電流動作では) Jcに比例する。この関係を使って、短絡耐量の解札 が行われた(1983年)。



(参考資料 2015 #8-p.5):高田



(参考資料 2015 #8-p.6) :高田 1983年 BJT短絡動作機構の説明

Jc*は、 Ic/(エミッタ面積)。デバイス面積で求めると、 Jc Vce≈ 100kW/cm²。



(参考資料 2015 #8-p.7):高田

壊れるところ(エミッタ中央の短絡部とトランジスタ段間部のエミッタ領域)を取り去っていった。 原理的なトランジスタ構造のみが残った。

<解説: PwDev#8: バイポーラ トランジスタ(BJT)の基本動作-II: device simulationに拠る計算結果 >	
1.(p.1)右上の高耐圧BJT構造の上辺部(赤破線)の正孔と自由電子密度nh, neと電位EPの分布のVBE依存性を示す(@VCE=1V)。 <左上図>の小電流動作(@VBE =0.6V)では、p-領域のコレクタ側に1V近い電位差が生じてVCEを保持している。ここには高 電界が存在するのでnh ≈ne ≈0となる(空乏層)。自由電子はp-領域中の勾配(nBe/Lp-)を拡散電流として流れて、コレクタ電泳 となる。 nBe= (ni ² /N _A) exp(qVBE/kT).	 笵
2.(p.1)<左下図>はVBE =0.7V、<右下図>はVBE =0.8Vの状況である。n 領域の電荷担体密度はコレクタ側に直線的に低下して、その先からコレクタn+層の間でVcEが保持される。B-C間に正孔は流れ得ないので、正孔の拡散を押し止めるコレクタからベース側に向かう電界が存在する。自由電子は、密度勾配による拡散機構とこの内部電界に因るドリフト機構に因ってコレクタ側に動く(Ic)。両機構に因る電流値は等しい。n 領域左端部の自由電子密度は nE = ni exp(qVBE/2kT)である。	
 上記(1.)は、#7講義参考資料p.6図のV_{CE} =10Vの状況に相応する。(2.)の<左下図>は#7-p.6図のV_{CE} =1V図と同じである。BJT内部の分布は、V_{BE}(すなわち内部の電荷担体量)とV_{CE}の両方に依存する。 	
4.(p.2)は、(p.1)に示す小電流動作<上図>と大電流動作<下図>の状況を模式的に示している。<上図>の電圧保持領域以外と< 下図>のベース拡張領域外のn・領域は抵抗として働いて、不純物濃度Non-と同じ密度の自由電子が存在する。抵抗を流れる るドリフト電流値(q µe EF Non-)よりもコレクタ電流密度Jcが増すと、小電流動作<上図>→大電流動作<下図>に移行する。	导
5. BJTのベース電流JBは、pinダイオードの小電流動作と同じ形で表される(p.3-第1式)。ただし、自由電子成分はp+領域を行 するBJT構造ではn'Beが小さくなるので無視できる。小電流動作のhFEはJc= qDe(nBe/Lp-)をこのJBで除した値となる。	有
6.(p.3)右下の上側の式はn-領域中で、正孔の拡散電流とドリフト電流が打ち消し合うことを示している。この式から求めたp 部電界Eiを下側の自由電子電流式に代入して、Einsteinの関係式(qD= kTµ)を用いるとドリフト電流成分が拡散電流成分に 等しくなることが導かれる。この自由電子電流をJcとして先のJBで除すと大電流動作のhFEが得られて、hFE∝1/Jcが判る。	勺
7.Jcが増すと、 <p.2下図>の電界強度[EF= Jc/(q μe N_{Dn}-)]がそれに比例して増大することで、n-抵抗領域を電流が流れる。 ころが、EFが増すとドリフト速度vdは早晩飽和速度vsに達する。するとJcの増大は自由電子密度neが(N_{Dn}-よりも)増えることで賄われる。そして大電流でne >> N_{Dn}-となる状況が(p.4)である。n-領域の総電荷密度は負となって、その傾きはJcに比例すると近似できる。Jc V_{CE}= (εsvs/2)Em²となるが、衝突電離作用による増倍率が(1+1/h_{FE})程度となる目処としてEm=150 kV/cmと選べば、衝突電離作用で発生した正孔がJcを流し続ける臨界条件としてJcV_{CE}~110kW/cm²を得る。</p.2下図>	
8. BJTの短絡動作試験を行うと(p.5)の#1波形の破壊が問題になったが、それが起こるのはBJTや試験条件に拠らずJ _E V _{CE≈} 200kW/cm ² となった <p.6右図>。2倍の差はエミッタ面積がコレクタ面積の約1/2であるためである。</p.6右図>	
15年12月5日土曜日 (参考資料 2015 #8-p.8):高田	8

BJTの短絡動作時の瞬時破壊は、BJTの普通の高電圧,大電流動作で、電界強度が高くなって衝突電離作用が起こり、それによって発生した正孔がベース電流として働く。発生率がJc/hFEを超えれば正帰還が起きてJcが増大し続いる。これを破壊と判断していた。

また、L負荷オフ時の破壊は、トランジスタ構造を純化して寄生部を無くすことで解決した(p.7)。<次回詳説する