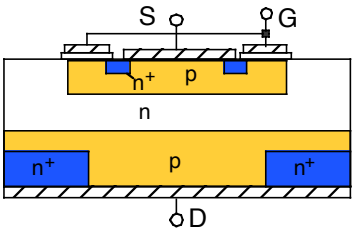
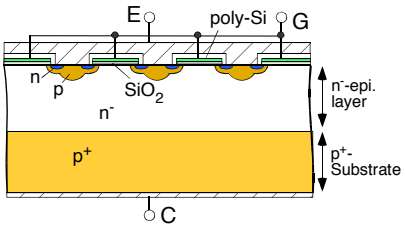
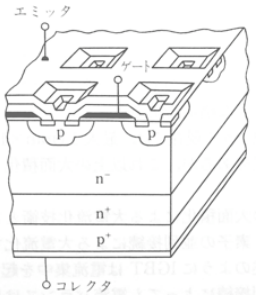
IGBTの発展 (I-開発期)



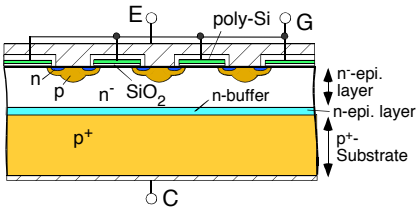
山上特許('68申請, '72成立)



IGBTの基本構造(NPT-I)



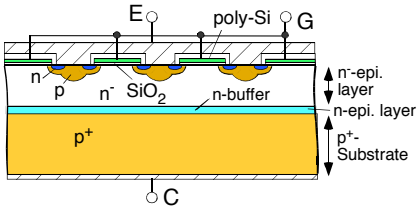
多角形エミッタ



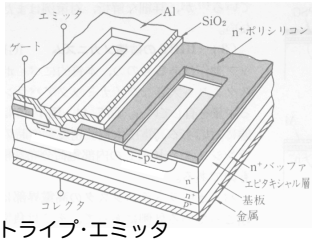
IGBTの基本構造(PT-II)
n-buffer
Life Time制御
(for 高速動作)

(参考資料 2014 #10-p.1:高田)
ライフタイム制御は、高速ダイオードと同様にオン時の電荷担体密度を下げる。狙いも同じ。
n-bufferは、耐圧保持に必要なn⁻厚みを低減し、オン電圧を下げる。

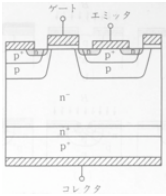
IGBTの発展 (II-実用化: コレクタ, Life Time)

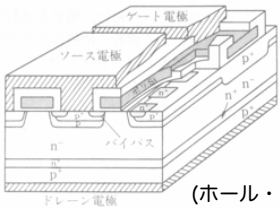


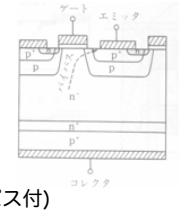
IGBTの基本構造(PT-II)
n-buffer, Life Time制御
ストライプ·エミッタ, n⁺エミッタ微細化
for Latching回避



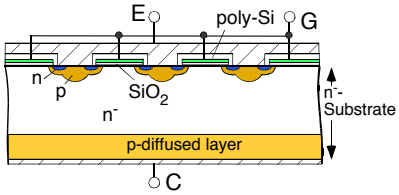
ストライプ·エミッタ



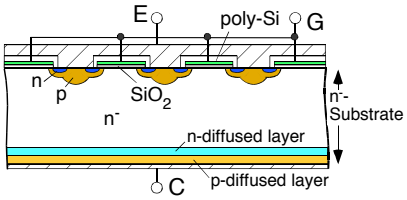




(ホール・バイパス付)



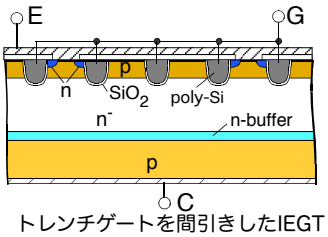
IGBTの基本構造(NPT-II)
no n-buffer, no Life Time制御
(エピ工程を省く)



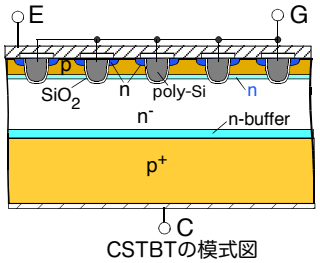
IGBTの基本構造(HV-IGBT, FS-IGBT)
短いn⁻領域, 長いp-well間隔, 局所ライフタイム

(参考資料 2014 #10-p.2:高田)

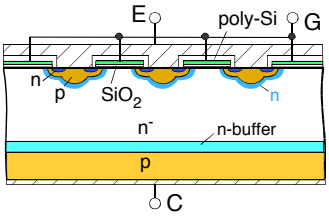
IGBTの発展 (IV-エミッタ構造)



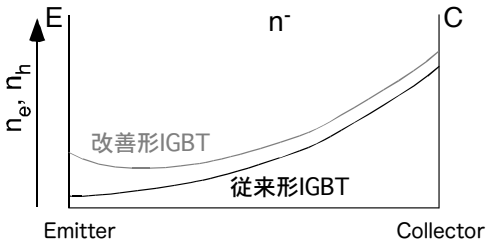
トレンチゲートを間引きしたIEGT



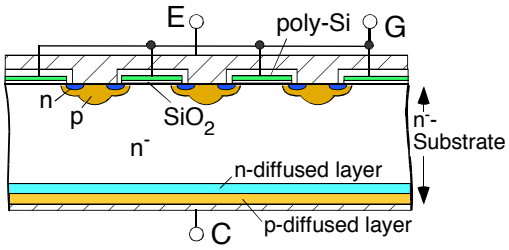
CSTBTの模式図



HiGTの模式図



オン状態のキャリア分布



IGBTの基本構造(HV-IGBT, FS-IGBT)

Short Collector構造, Long Life Time

(参考資料 2014 #10-p.3:高田)

トレンチ ゲート構造は、1990年始めには低オン抵抗を得る究極のエミッタ構造と期待されたが、以外にもソース領域を間引いた方が低オン抵抗になった。

IGBTの開発史

～1990年: n^+バッファとライフタイムの最適化

～1995年: エミッタ・パターンの微細化

(実は、表面p領域比率の低減?)

～2000年: トレンチ・ゲートによるチャネル幅の拡大

(最適チャネル密度があった: IEGT)

3~4.5kV IGBTの実用化

(Light Punch Through構造, 最適p-well密度)

2005年～: 薄いウエハ加工技術を活用した最適設計

(低耐圧IGBT)

望ましい電荷密度分布の実現 (高速動作にも効果)

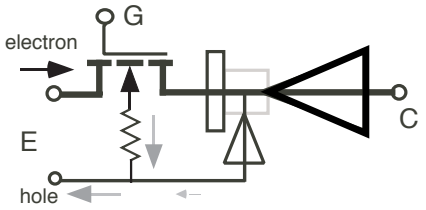
各世代の開発目標は必ずしも正しくなかった

IGBTの開発 -オン電圧の低減をめぐる失敗の歴史-

(参考資料 2014 #10-p.4:高田)

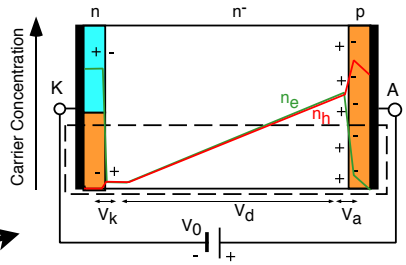
MOSFET機能の高耐圧化

IGBT

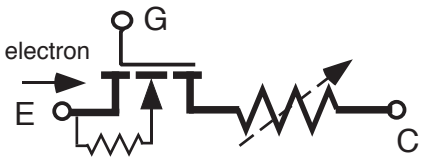


スイッチ　　電圧保持

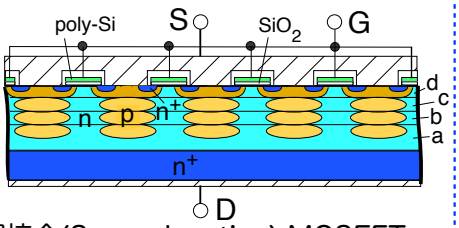
MOSFET + 不完全ダイオード



超接合MOSFET



MOSFET + (可変抵抗)



超接合(Super Junction) MOSFET

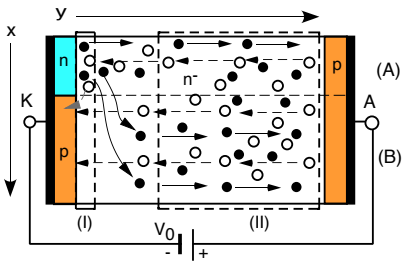
(参考資料 2014 #10-p.5:高田)

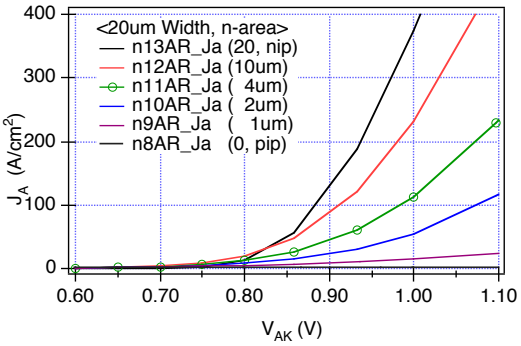
IGBTは、スイッチング機能はMOSFETに依る。 ダイオードは電圧保持(耐圧)機能を分担。

基本製造工程はMOSFET、基本構造は不完全pinダイオード。原理把握に長大な期間を要した。

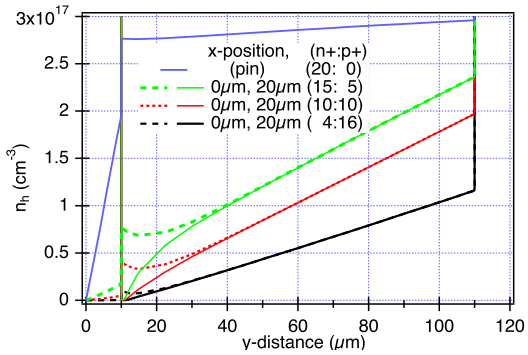
単純な不完全 pinダイオード　n^+領域幅依存性

正孔と自由電子の流れ

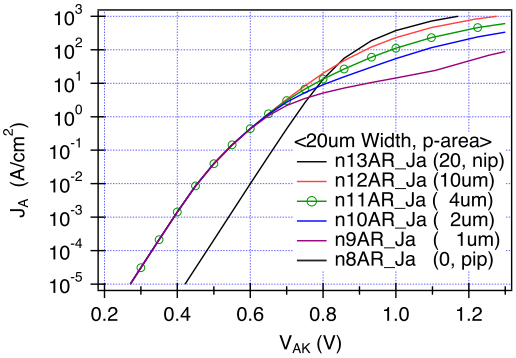




J_A-V_{AK}特性 (直線表示)



正孔密度(n_h) @V_{AK}=1V



J_A-V_{AK}特性 (指数表示)

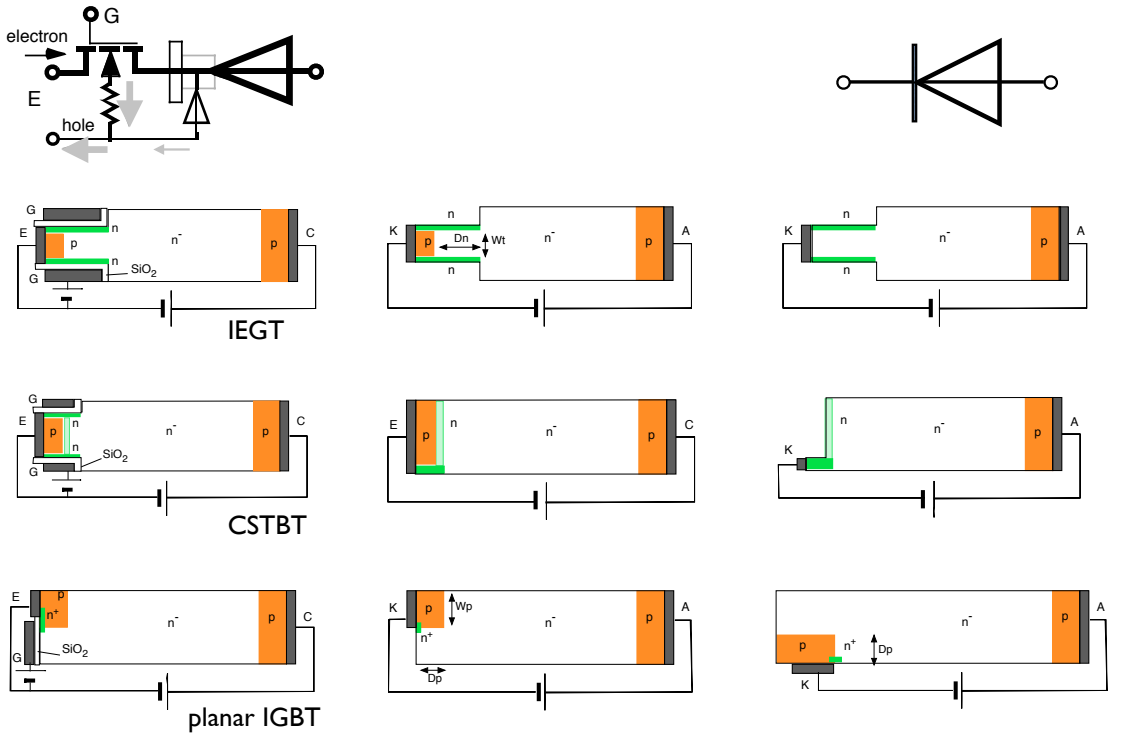
(参考資料 2014 #10-p.6:高田)

カソード側: 正孔は p^+(p/n境界) > p^+領域 >> n^+領域と分布。

自由電子はn^+領域のみに存在する。

n^-領域: 正孔も自由電子も均一に分布する(どちらもドリフト電流)。

各種IGBTを単純化した構造



IGBTs → partial pin Diode → (substantial pin Diode)

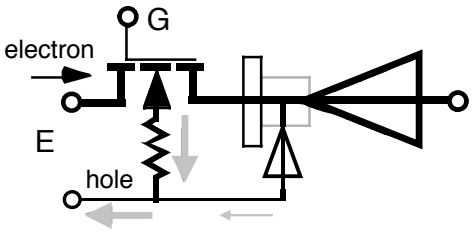
(参考資料 2014 #10-p.7:高田)

IGBTの進歩は、内蔵ダイオード構造がpinダイオードに近づく歴史であった。

(2009/11/26)

まとめ-I (IGBTのON/OFF動作)

- IGBT(MOSFET+pin diode)はMOSFETの高耐圧の一方策
- 不完全pinダイオードのオン電圧の低減方策
  - カソードp領域を小さくするか,(n領域より)奥に配置(A).
  - n^-領域長の短縮(B).
- オフ過程はGCTと同じ: pip構造に蓄積した電荷の排出.
- IGBTの等価モデル. (pnp TR動作は行ってない)



(参考資料 2014 #10-p.8:高田) (pnp形BJTは正孔電流だけが主電流を担うが、IGBTは自由電子電流と正孔電流が流れる)

・IGBTの課題:

150℃以上の高温動作(低リーク電流). ゲート酸化膜信頼性. 高電圧,大電流動作の繰り返し限界の明示.