

パワーエレクトロニクス
第四回 パワー半導体デバイス
整流回路

平成31年5月8日

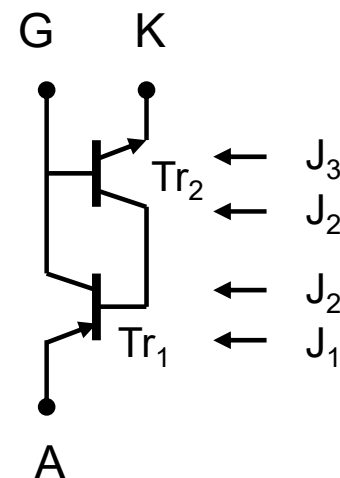
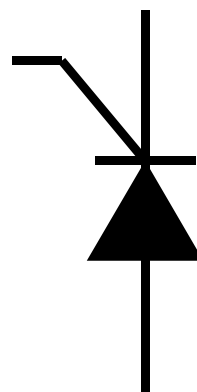
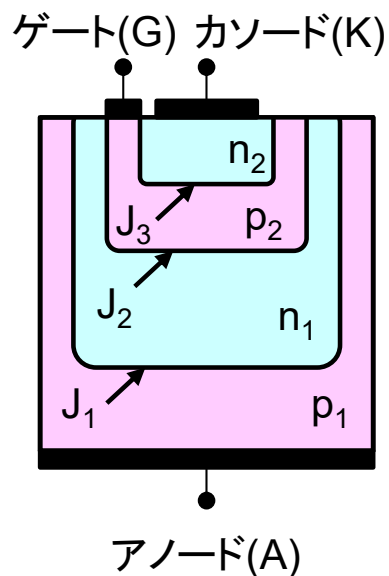
授業の予定

- パワーエレクトロニクスに必要な基礎知識
- パワー半導体デバイス
- 整流回路
- 整流回路の交流側特性と他励式インバータ
- 交流電力制御とサイクロコンバータ
- 直流チョッパ
- DC-DCコンバータと共振形コンバータ
- 自励式インバータ
- 演習

パワーデバイスの種類と構造

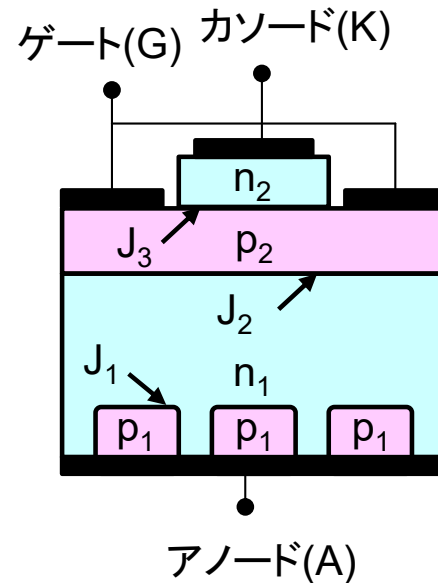
- 自然消弧素子
 - ダイオード
 - サイリスタ
- 自己消弧素子
 - GTO
 - バイポーラトランジスタ
 - MOSFET
 - IGBT

サイリスタ



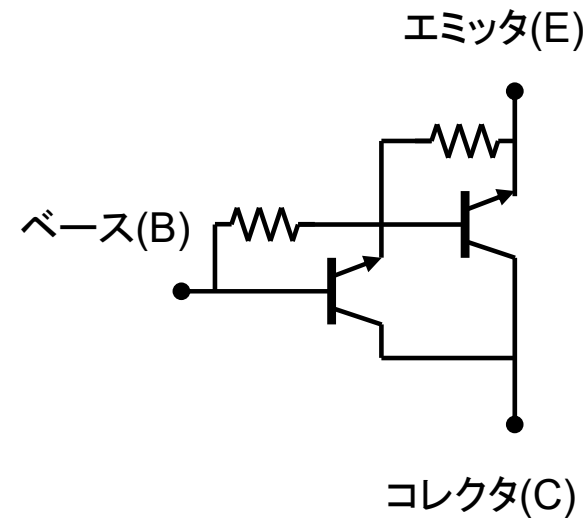
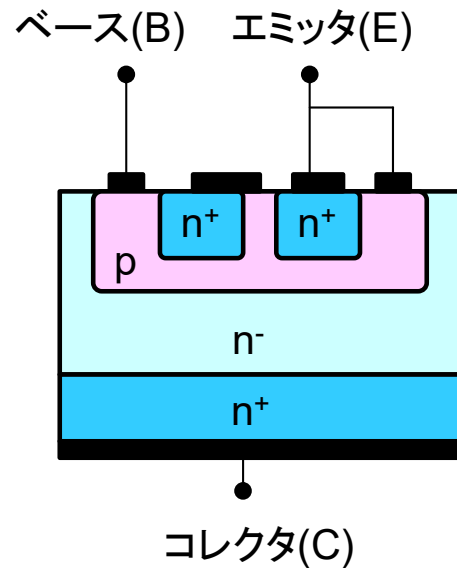
- ターンオン
 - 接合J₃を順バイアス
 - 注入された電子が、高電界のかかっているJ₂で加速、なだれ破壊
 - 光直接点弧有
- ターンオフ
 - AK間電圧を小さくする、電圧の極性を反転
 - J₁, J₃逆バイアス

GTO



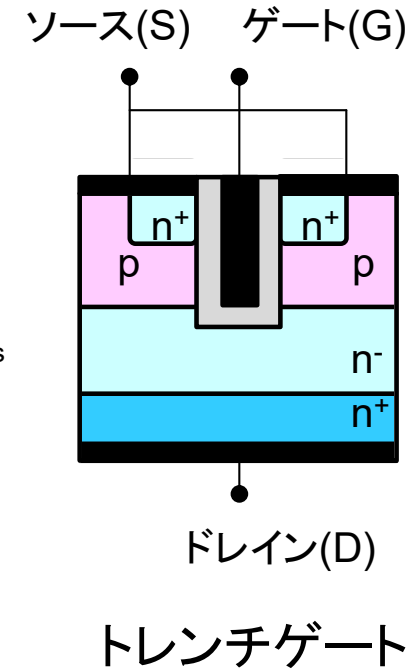
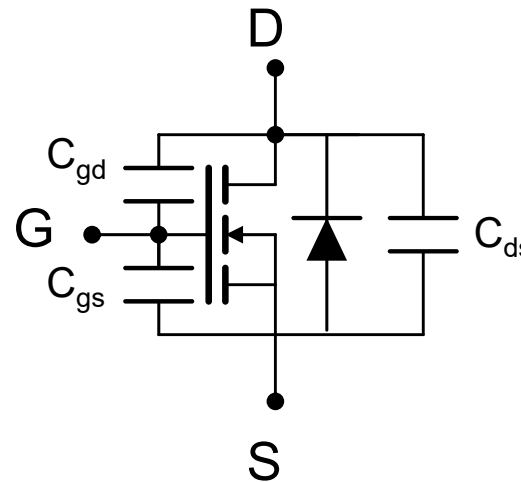
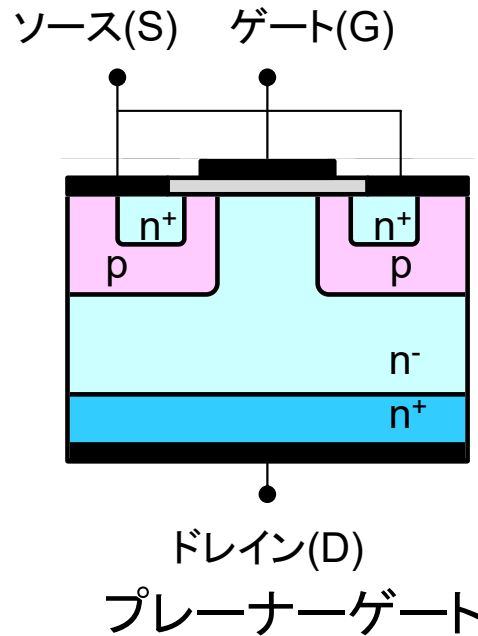
- GTOサイリスタ
 - アノードは短絡エミッタ構造
 - 阻止状態で、急峻な電圧変化によるターンオンを防ぐ
 - オン時はJ₂近傍にキャリアが蓄積
 - ターンオフ時にJ₂のキャリアを引き抜く
 - 微細GTOの集合

パワーバイポーラトランジスタ



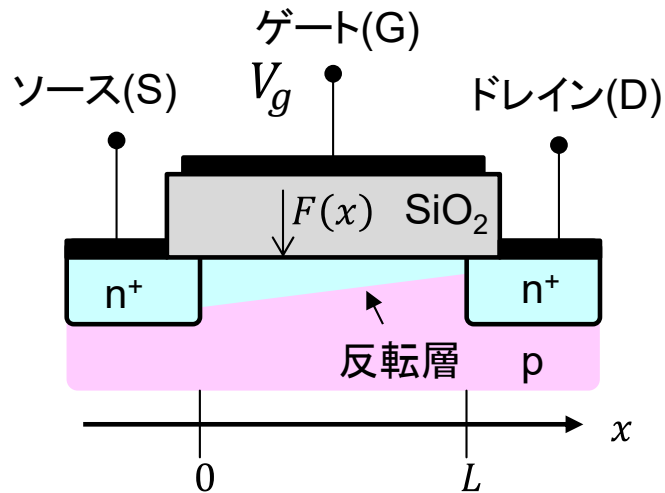
- パワー用として耐圧, 電流容量, 放熱を向上
 - コレクタ領域不純物濃度を下げ耐圧向上
 - N^+ 層を作りできるだけ低抵抗化
- ダーリントン接続構造

パワーMOSFET



- 熱暴走しない(バイポーラトランジスタとの比較)
- 短チャネル化で抵抗抑制
 - V-shaped grooved MOSFET
 - 二重拡散(double diffused) MOSFET 電流横向き
 - 縦型(vertical DMOSFET) 電流縦向き, 基板全体使用, 大電流化
- 寄生(ボディ)ダイオード有

パワーMOSFETの動作



L :チャンネル長, W :チャンネル幅, d :酸化膜厚, ϵ :誘電率, μ :移動度
 $F(x)$:酸化膜内電界, $V(x)$:界面電位, $Q(x)$:誘起電荷(単位面積当たり)

ガウスの法則
$$F(x) = \frac{Q(x)}{\epsilon} = \frac{V_g - V(x)}{d}$$

チャンネル電流
(ドリフト)
$$I_d = Q(x)\mu \frac{dV(x)}{dx} W = \frac{\mu W \epsilon}{d} \{V_g - V(x)\} \frac{dV(x)}{dx}$$

パワーMOSFETの動作

- 電圧電流特性

- 線形領域

- $I_d = \frac{\mu W C_g}{L} V_d \left(V_g - V_{th} - \frac{V_d}{2} \right)$

- 飽和領域

- $I_d = \frac{\mu W C_g}{2L} (V_g - V_{th})^2$

- 遮断領域

- $I_d = 0$

- C_g : 単位面積当たり絶縁層静電容量

- V_{th} : ゲート閾値電圧

パワーMOSFETの動作

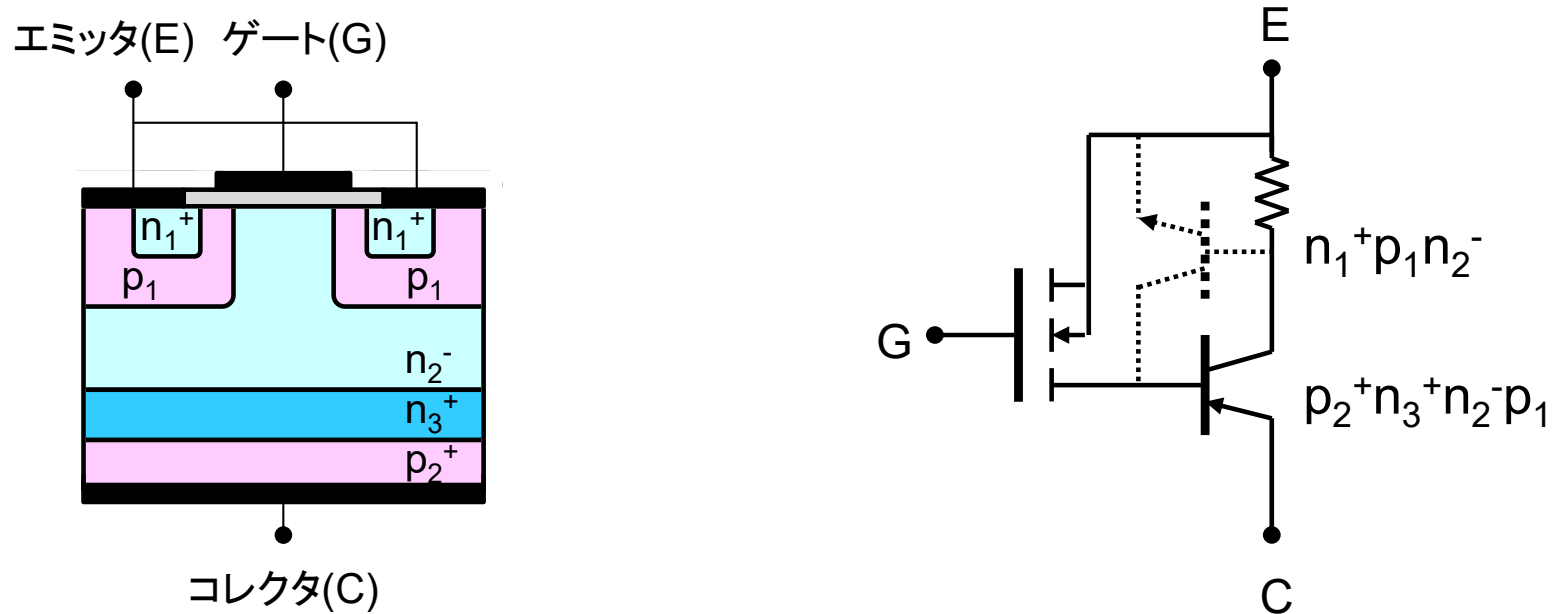
- g_m : 相互コンダクタンス

- $g_m = \frac{dI_d}{dV_g}$

- 線形領域 $g_m = \frac{\mu W C_g}{L} V_d$

- 飽和領域 $g_m = \frac{\mu W C_g}{L} (V_g - V_{th})$

IGBT



- MOSFETのドレイン n^+ と, ドレインの金属電極間に p^+ 領域を形成
- NチャネルMOSFETがバイポーラトランジスタ $p_2^+(n_3^+n_2^-)p_1$ をオン
 - 少数キャリア注入による抵抗低減
- $p_2^+(n_3^+n_2^-)p_1n_1^+$ に寄生サイリスタ構造を持つ
 - ラッチアップ動作 危険
- 寄生(ボディ)ダイオード無

整流回路

- 半波整流回路
- 全波整流回路
- 単相整流回路
- 三相整流回路
- 位相制御整流回路
- 抵抗負荷
- 誘導負荷
- 容量負荷