

4. パワー半導体デバイス(2)

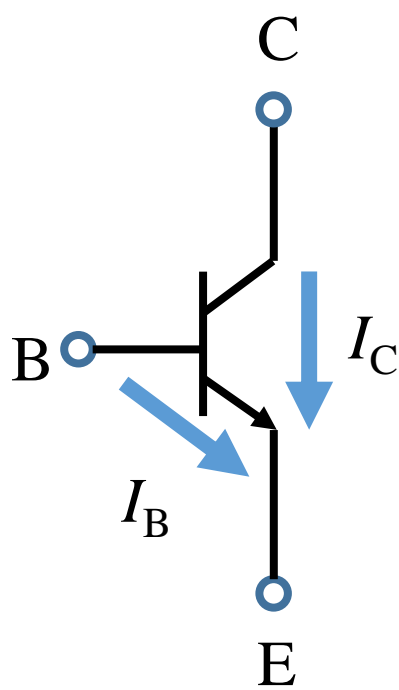
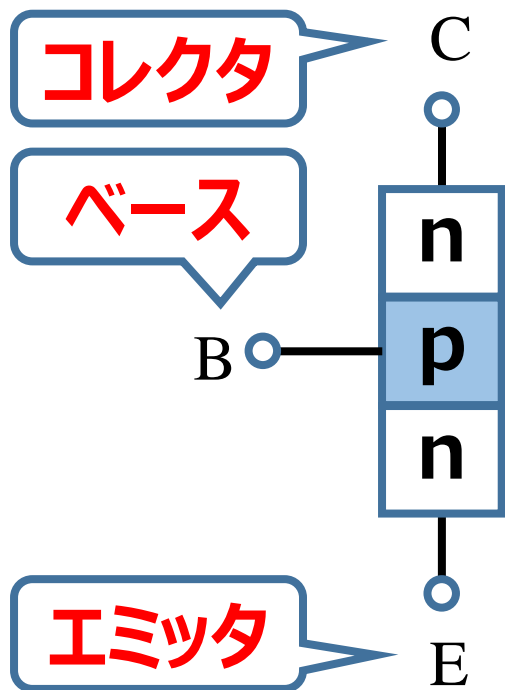
4. Power Semiconductor Device (2)

講義内容

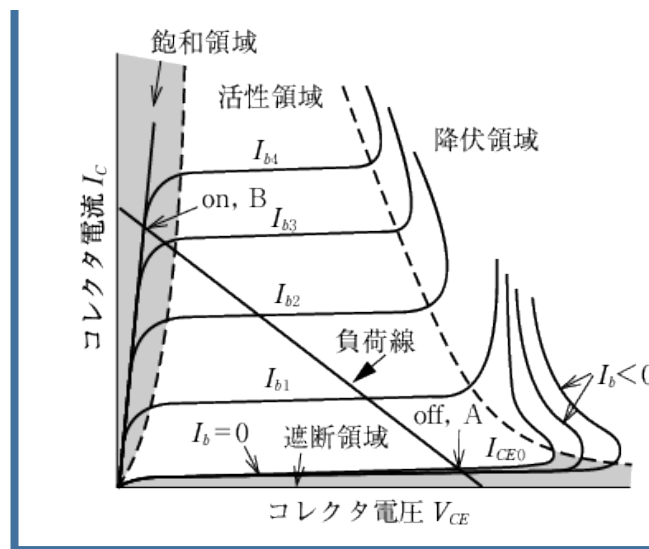
1. バイポーラパワートランジスタ
2. パワーMOSFET
3. IGBT

バイポーラパワートランジスタ

バイポーラパワートランジスタ : パワー用BJT(Bipolar Junction Transistor)
npn 3層又は **pnp** 3層からなる3端子素子 → 2つの **pn接合** を持つ



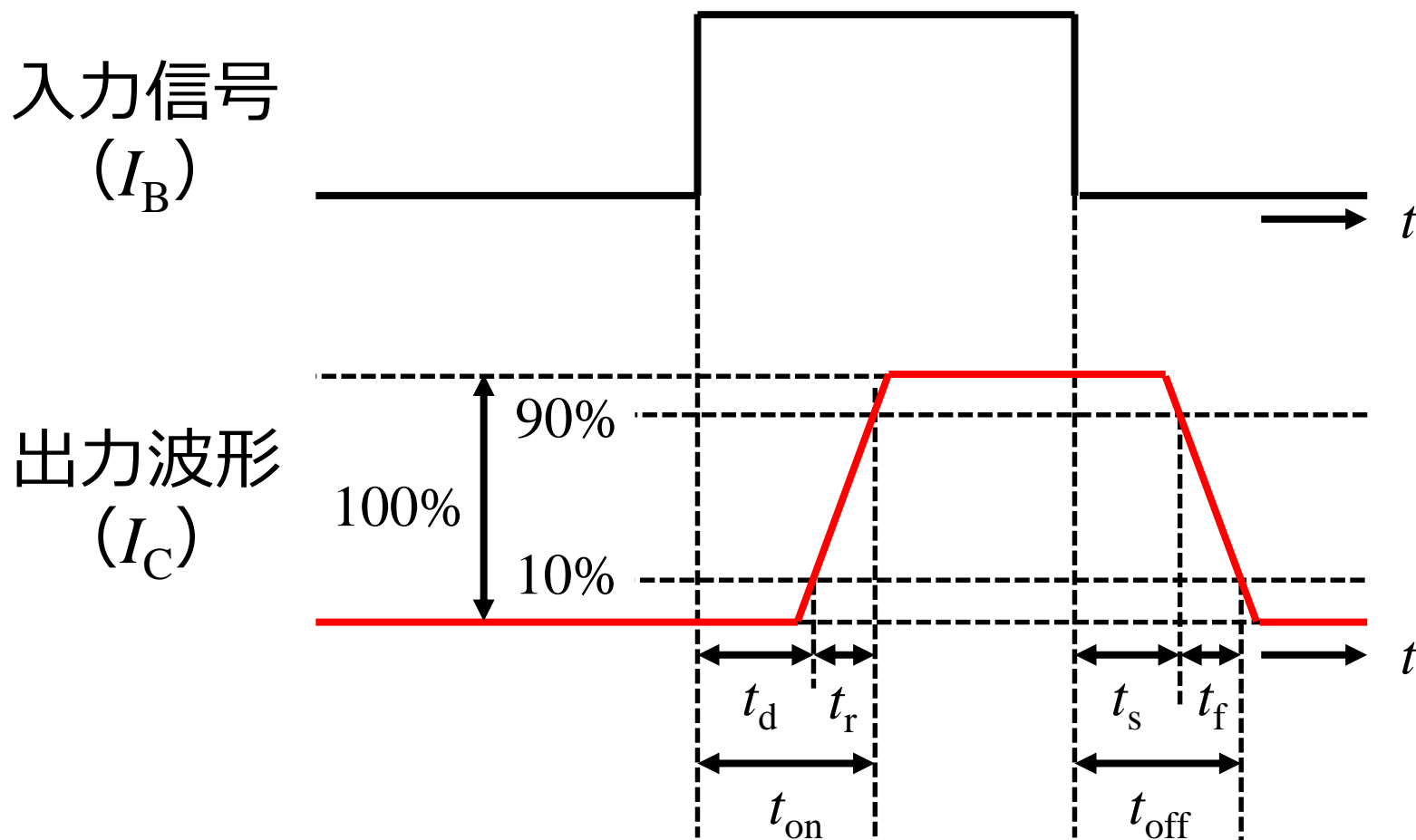
BJTのV-I特性



スイッチング素子として
使用する場合は
遮断 / **飽和** 領域で
素子を動作させている

一般に **npn** 形が使用される (他の素子も同様)

バイポーラパワートランジスタのスイッチング特性



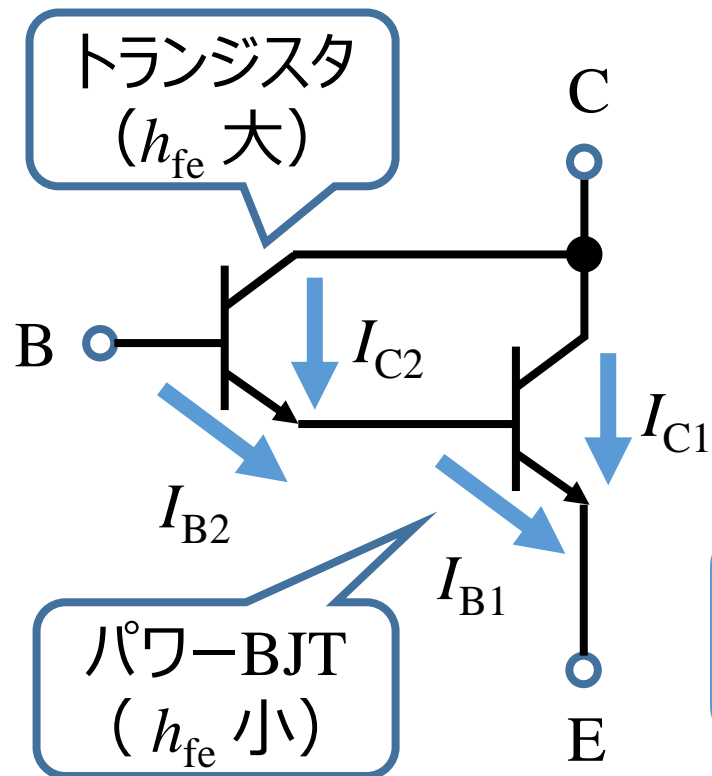
- t_{on} : ターンオン時間
- t_d : 遅延時間
- t_r : 上昇時間
- t_{off} : ターンオフ時間
- t_s : 蓄積時間
- t_f : 下降時間

蓄積時間は
少数キャリア 蓄積時間を表している

➡ **少数キャリア** の活動による **長い** 蓄積時間のせいで **高周波駆動** が **できない**

電流増幅率とダーリントン接続

パワーBJTは
電流増幅率が**小さい**



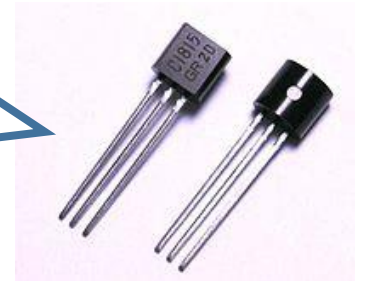
電流増幅率 $\beta = h_{fe} = \frac{I_C}{I_B}$

$$\begin{aligned} I_{C1} &= h_{fe1} I_{B1} \\ &= h_{fe1} (I_{B2} + I_{C2}) \\ &= h_{fe1} (I_{B2} + h_{fe2} I_{B2}) \\ &= h_{fe1} (1 + h_{fe2}) I_{B2} \end{aligned}$$

電流増幅率が增大！

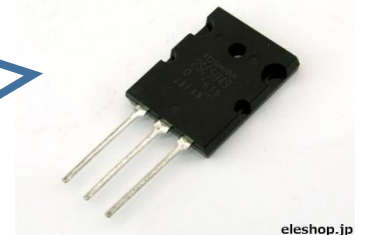
ダーリントン接続

h_{fe}
70~700



小信号用BJT
(2SC1815)

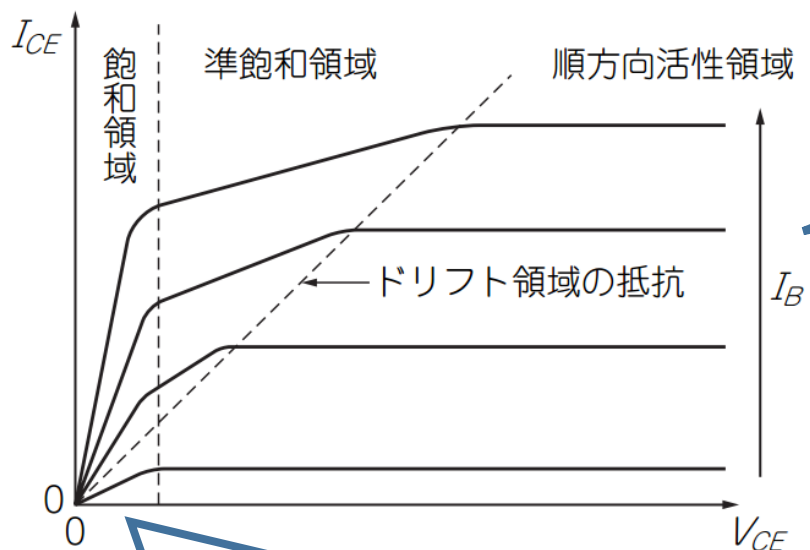
h_{fe}
55~160



パワー用BJT
(2SC5949-0)

バイポーラトランジスタの特性のまとめ

BJTのV-I特性



ベース電流を上げると、コレクタ電流が**増大** → **電流制御**形

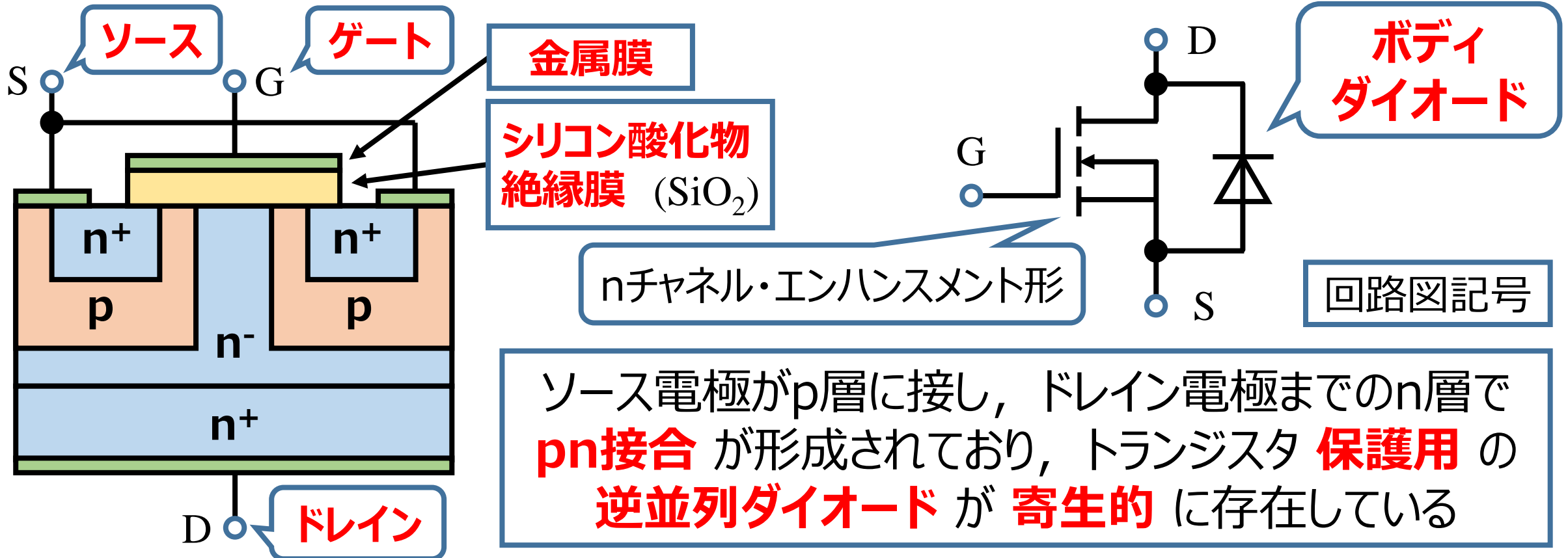
ベース電流の大きさに**コレクタ**電流を**制御**しているため、**ベース駆動電力**が**大きい**

長い**少数キャリア蓄積**時間によって**高周波駆動**に向かないが、**オン抵抗**が小さい

BJTのデメリットが大きく、他のデバイスのメリットが大きいため使用されなくなっている

パワーMOSFET

パワーMOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor)
パワー用金属酸化膜半導体(**MOS**)構造の電界効果トランジスタ(**FET**)



MOSFETの概念

(パワー) BJT → **電流** 制御

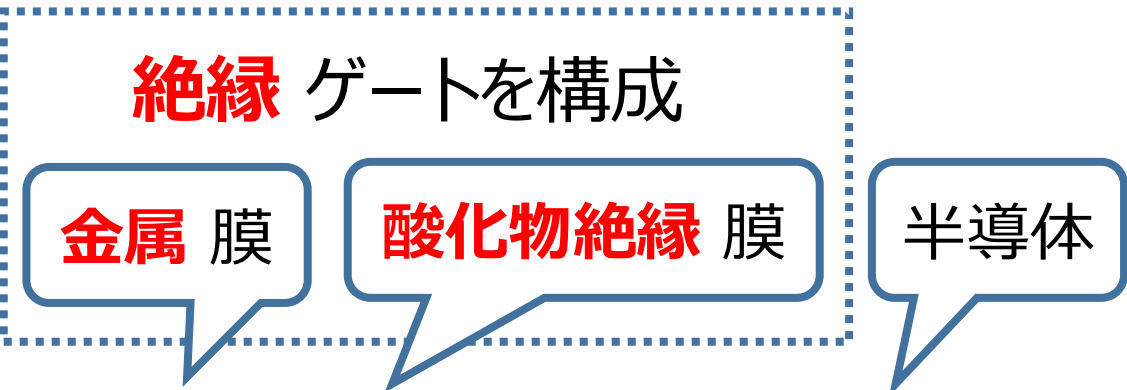
動作原理に
関与している
キャリアが **2** つ → bi-polar

扱いにくい…

MOSFET → **電圧** 制御

動作原理に
関与している
キャリアが **1** つ → uni-polar

扱いやすい!

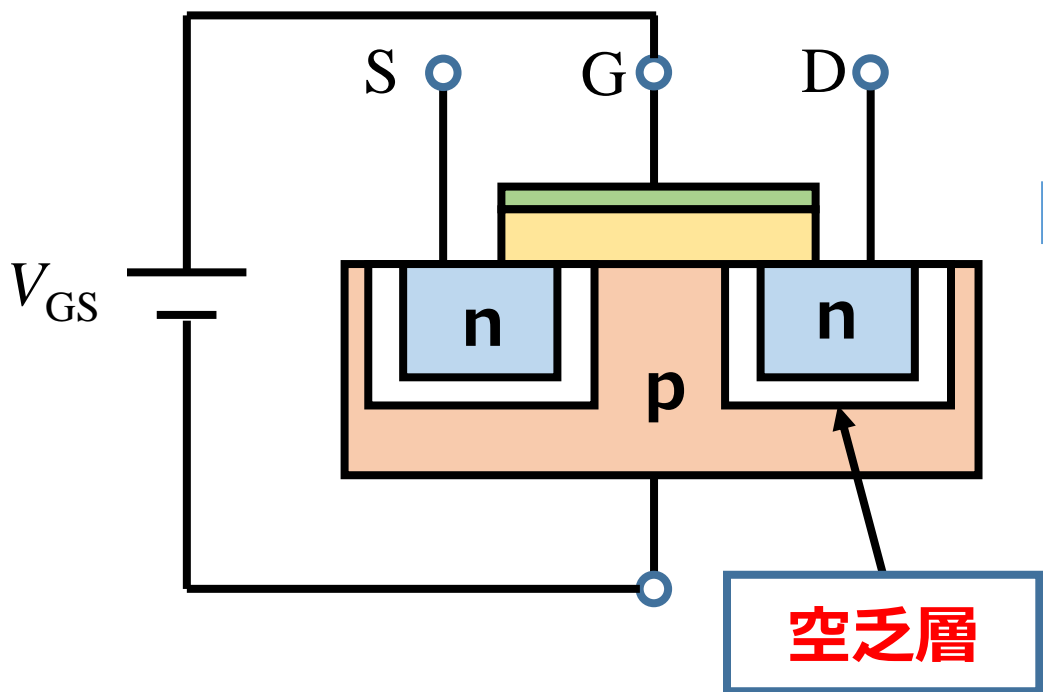


電圧 制御で動作するトランジスタ
→ **電界効果** トランジスタ(FET)

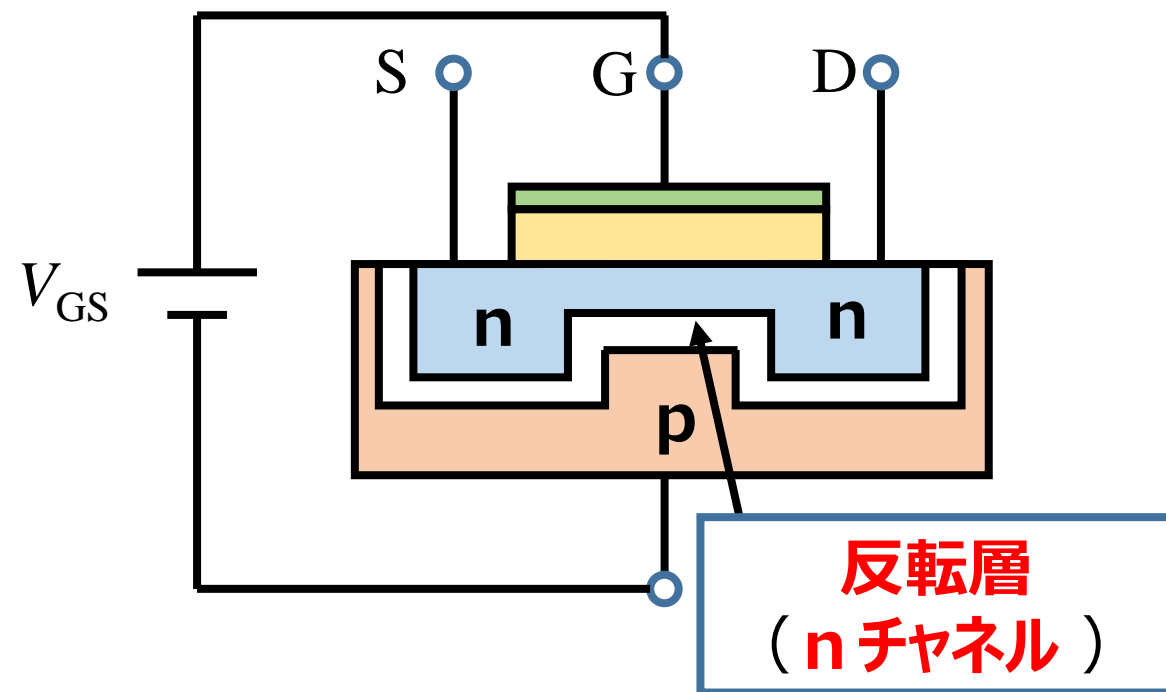
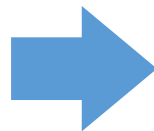
Metal **O**xide **S**emiconductor **F**ield **E**ffect **T**ransistor = **MOSFET**

パワーMOSFETの動作原理(1)

※簡易モデル

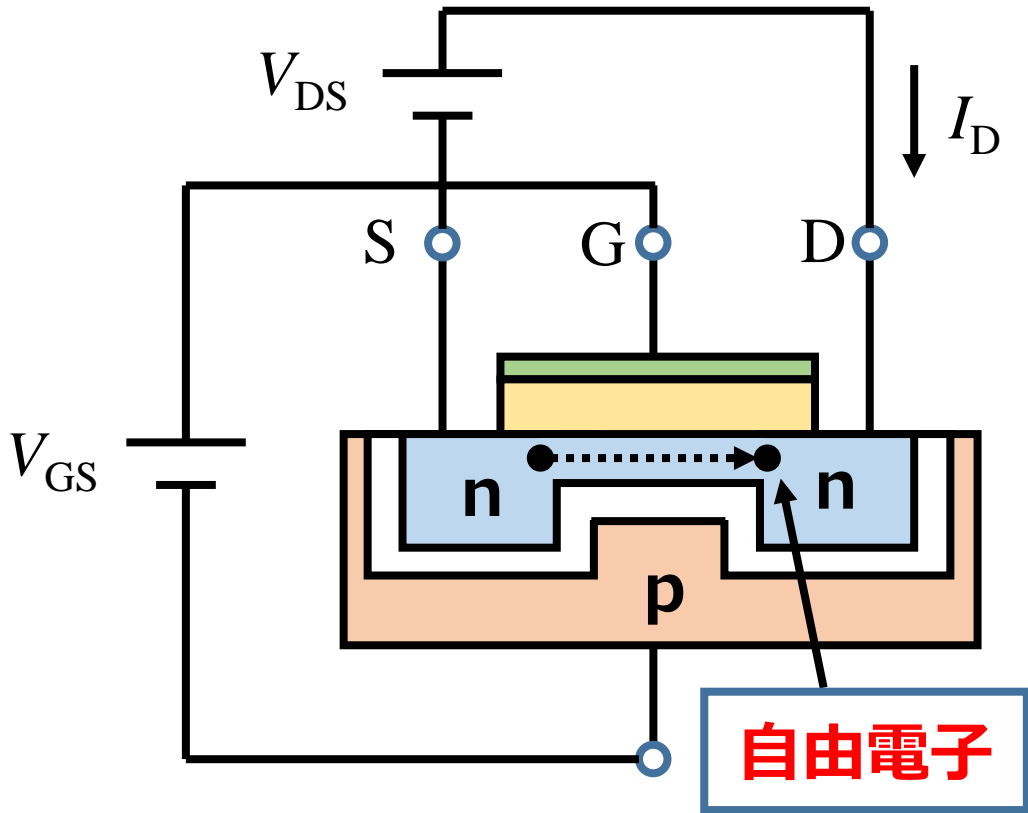


Gに正の電圧を印加

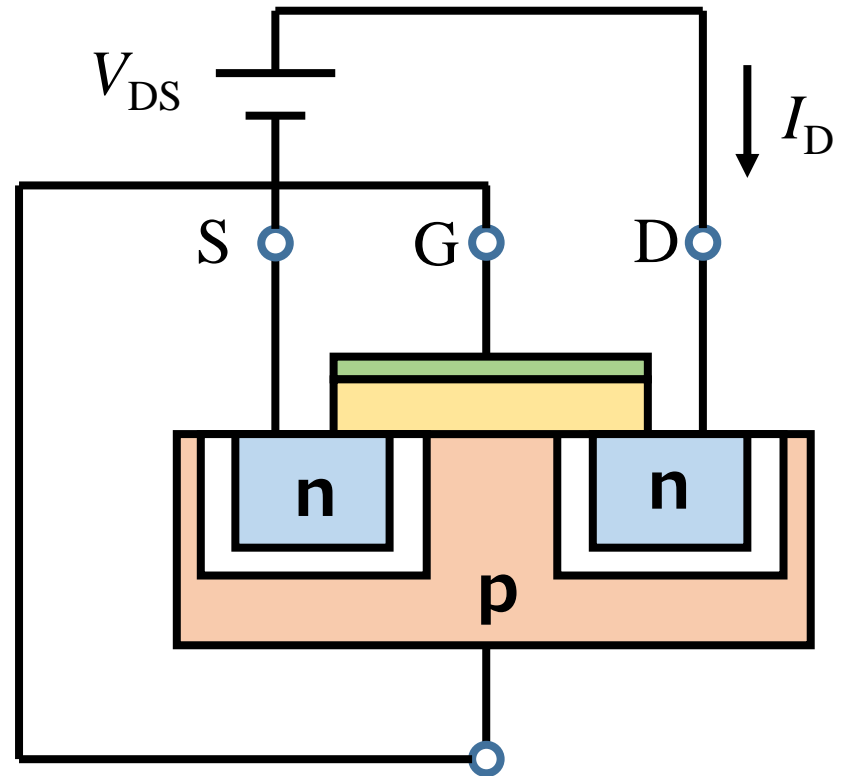
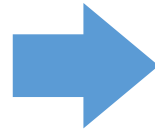


p層の酸化物絶縁膜直下に
nチャネルの反転層が生成

パワーMOSFETの動作原理(2)

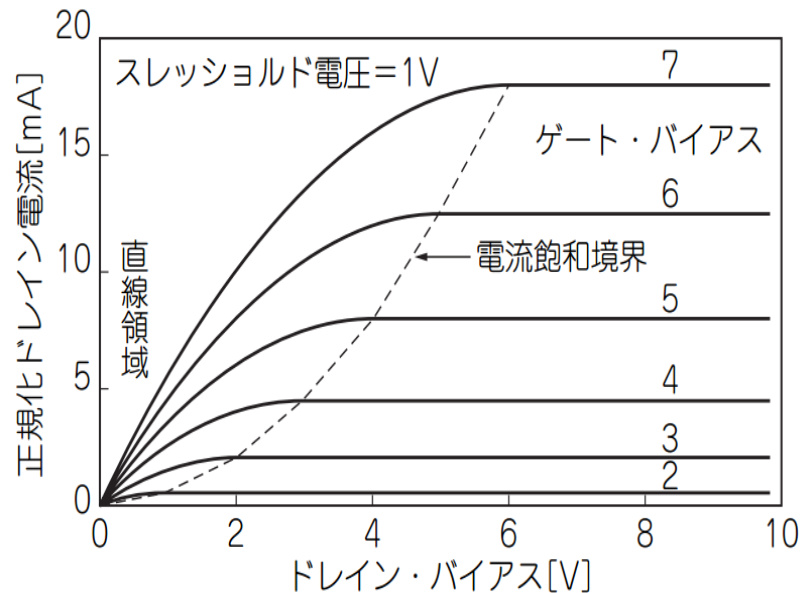


D-S間に電圧を印加すると、SからDに自由電子が移動し、ドレイン電流が流れ、MOSFETがオンになる



G-S間の電圧をゼロに戻すと、反転層が無くなり、nチャンネルが遮断され（門の役割）MOSFETがオフになる

MOSFETのV-I特性



ゲート・ソース間電圧を上げると、
ドレイン電流が増大 ⇒ 電圧制御形



絶縁ゲートを使用しており、ゲート電流が
ほぼ流れないため、ゲート駆動電力が小さい

ドリフト層へのキャリアの蓄積が無いため、蓄積時間による遅延がなく、
高周波駆動に適しているが、高耐圧化をするためにドリフト層の濃度を薄く、
厚さを厚くしているため、それがそのままオン抵抗に反映されて大きくなる

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)
絶縁ゲート形バイポーラトランジスタ

二つの特性の
良いところ取り！

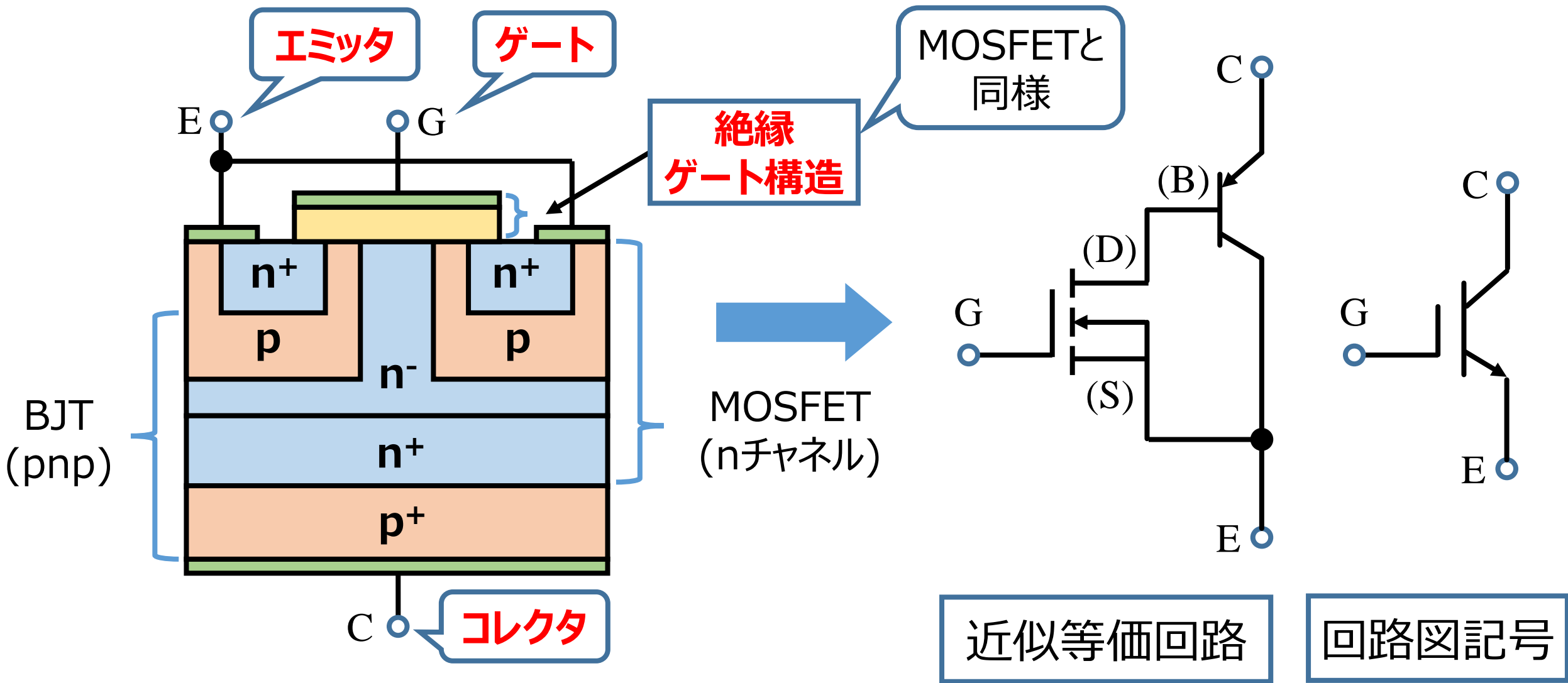
IGBT

パワーBJT : **高耐圧・大電流** 特性
パワーMOSFET : **高速スイッチング** 特性

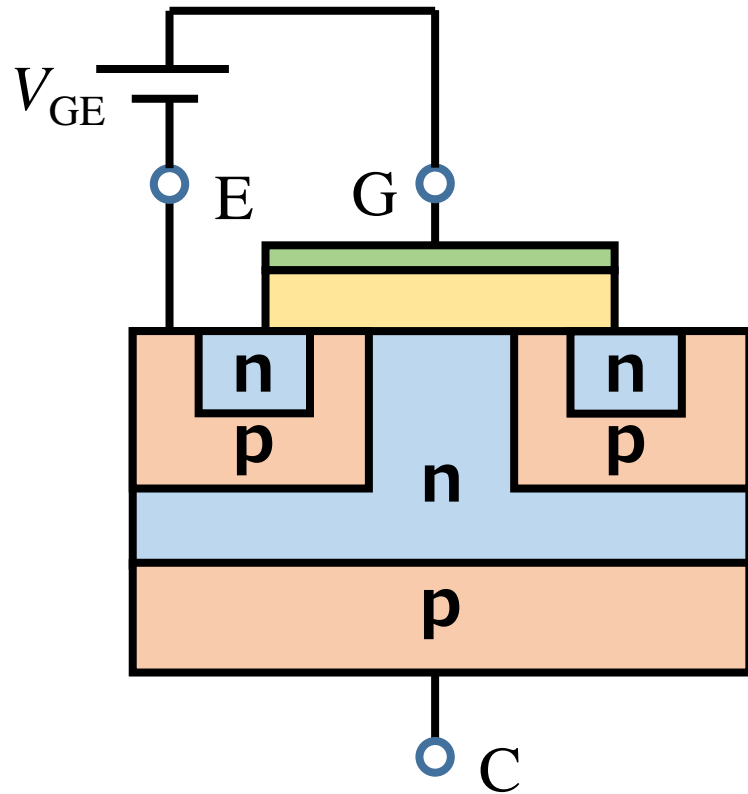
パワーBJT : **ON** 時の損失は **少ない** が **電流駆動** 形なため **ベース駆動** 電力が **大きく** , **スイッチング** も 比較的 **低速** なため, **高周波化** が見込めない

パワーMOSFET : **電圧駆動** 形な上, **ゲート駆動** 電力は **小さく** , **スイッチング** も **高速** なため, **高周波化** が見込めるが, **ON** 時の損失は比較的 **大きい**

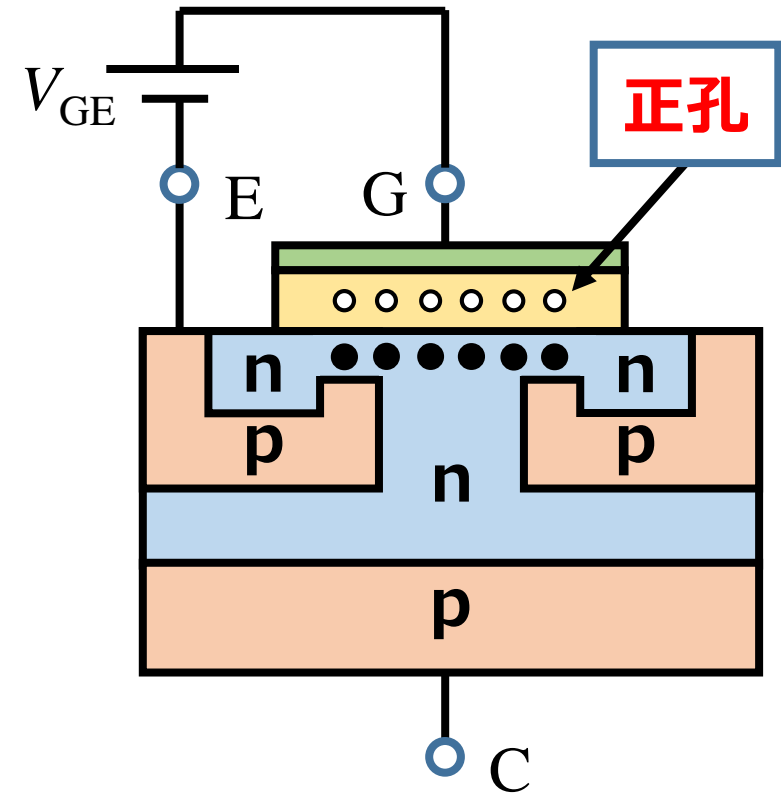
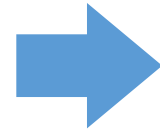
IGBTの構造および等価回路



IGBTの動作原理(1)

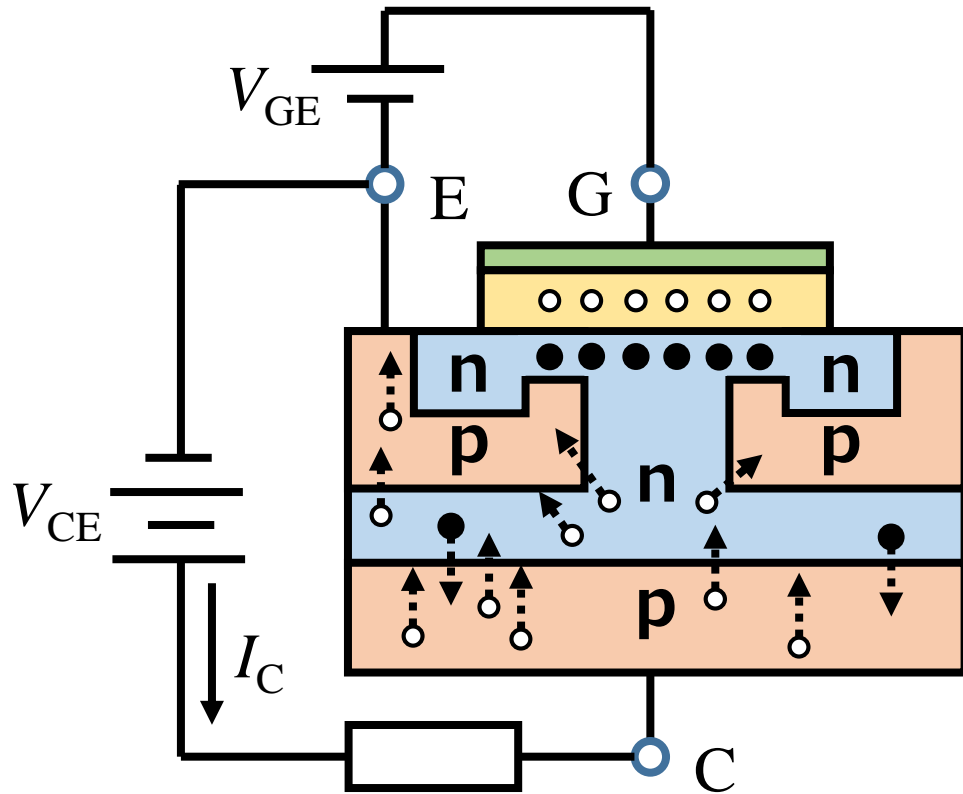


G-E間に電圧を印可
(MOSFETと同様)

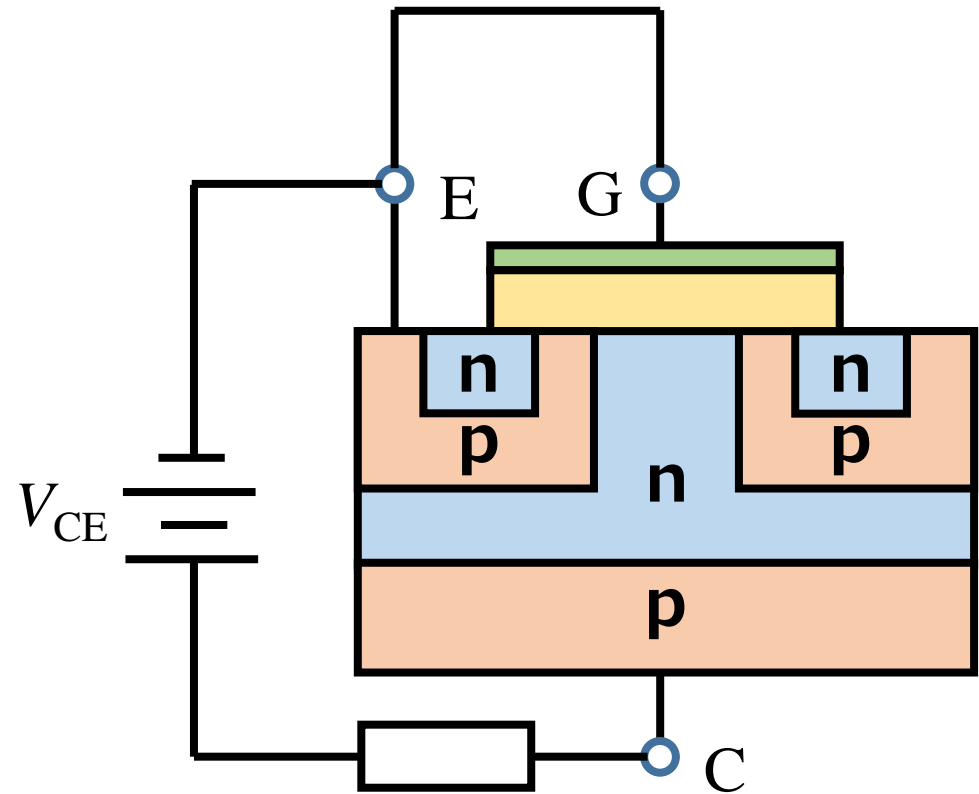
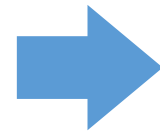


酸化物絶縁膜直下にnチャネル反転層が
形成され, MOSFET部分がONになる

IGBTの動作原理(2)

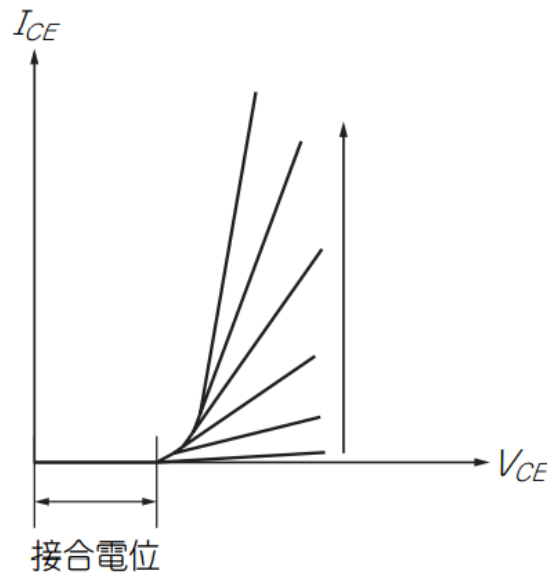


C-E間に電圧を印加するとCからEに向かって正孔のなだれ込みが発生し、C-E間に電流が流れ、IGBTがオンになる

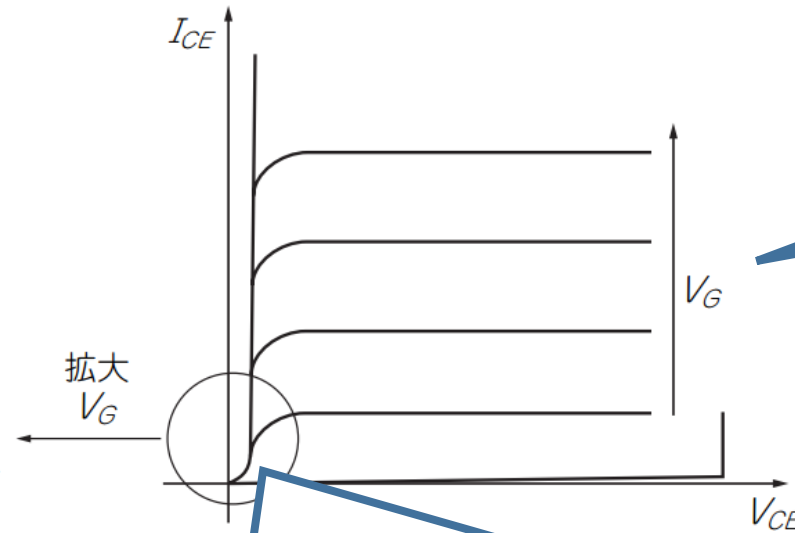


G-E間の電圧をゼロに戻すと、反転層が無くなり、MOSFET部分のnチャンネルが遮断され、IGBTがオフになる

IGBTのV-I特性



接合電位 と呼ばれる
電圧値から
電流が流れ始める



パワーBJT と同様, **オン抵抗** が小さい

ターンオフ 時には **BJT** の特性である **少数キャリア** の
蓄積 によって **テール電流** と呼ばれる電流が流れ続ける

MOSFET と同様の
電圧制御 形

絶縁ゲート 構造のため,
ゲート駆動電力が **小さい**

パワー半導体デバイスの応用範囲

