



TOSHIBA

すぐにわかる! ディスクリート半導体の基礎 ～ダイオード、トランジスター基礎知識編～

2024年5月

東芝デバイス&ストレージ株式会社

半導体応用技術センター

半導体応用技術企画部

Contents

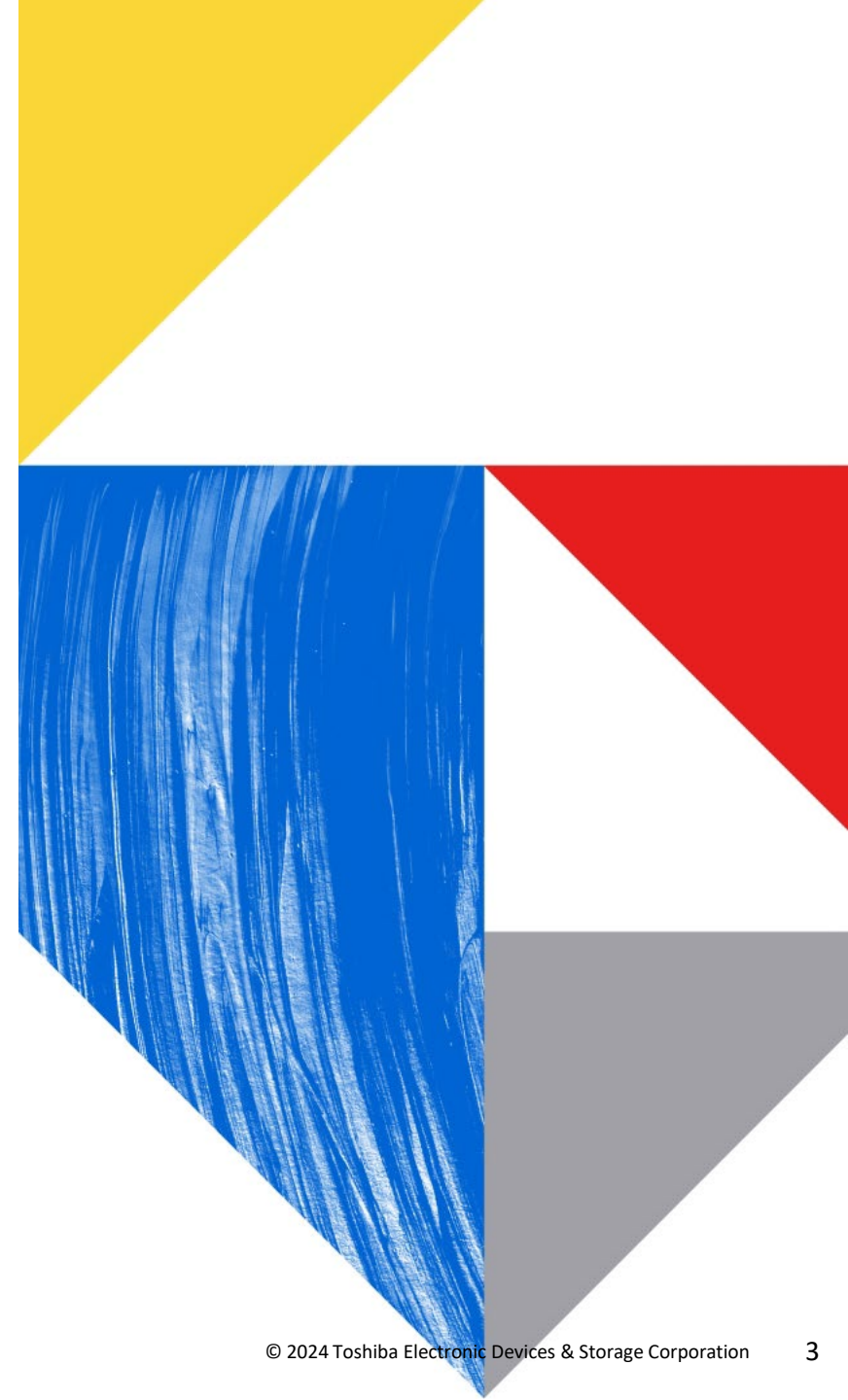
01 半導体の基礎

02 ダイオードの基礎

03 トランジスターの基礎

01

半導体の基礎



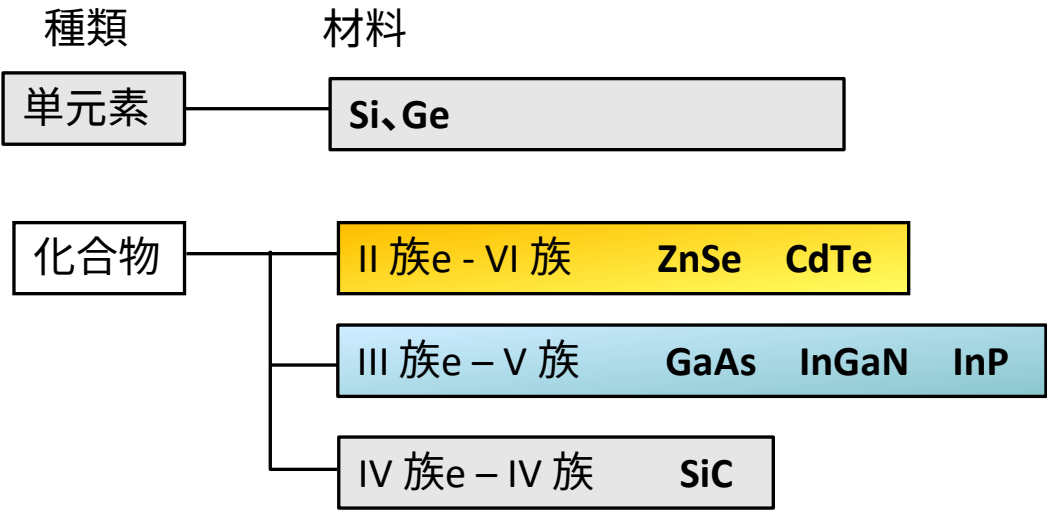
半導体とは



半導体の材料

*IV族のシリコン(Si)にV族のリン(P)を加えると、
n型半導体ができます。

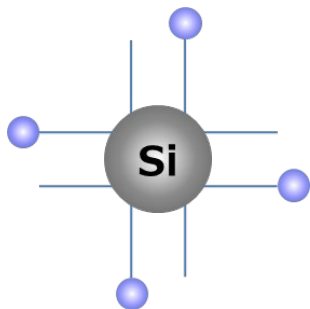
*IV族のシリコン(Si)にIII族のホウ素(B)を加えると、
p型半導体ができます。



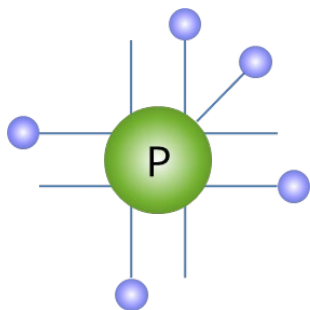
II族	III族	IV族	V族	VI族
Be ベリリウム	B ホウ素	C 炭素	N 窒素	O 酸素
Mg マグネシウム	Al アルミニウム	Si シリコン	P リン	S 硫黄
Zn 亜鉛	Ga ガリウム	Ge ゲルマニウム	As 砒素	Se セレン
Cd カドミウム	In インジウム	Sn スズ	Sb アンチモン	Te テルル
Hg 水銀	Tl タリウム	Pb 鉛	Bi ビスマス	Po ポロニウム

n型半導体

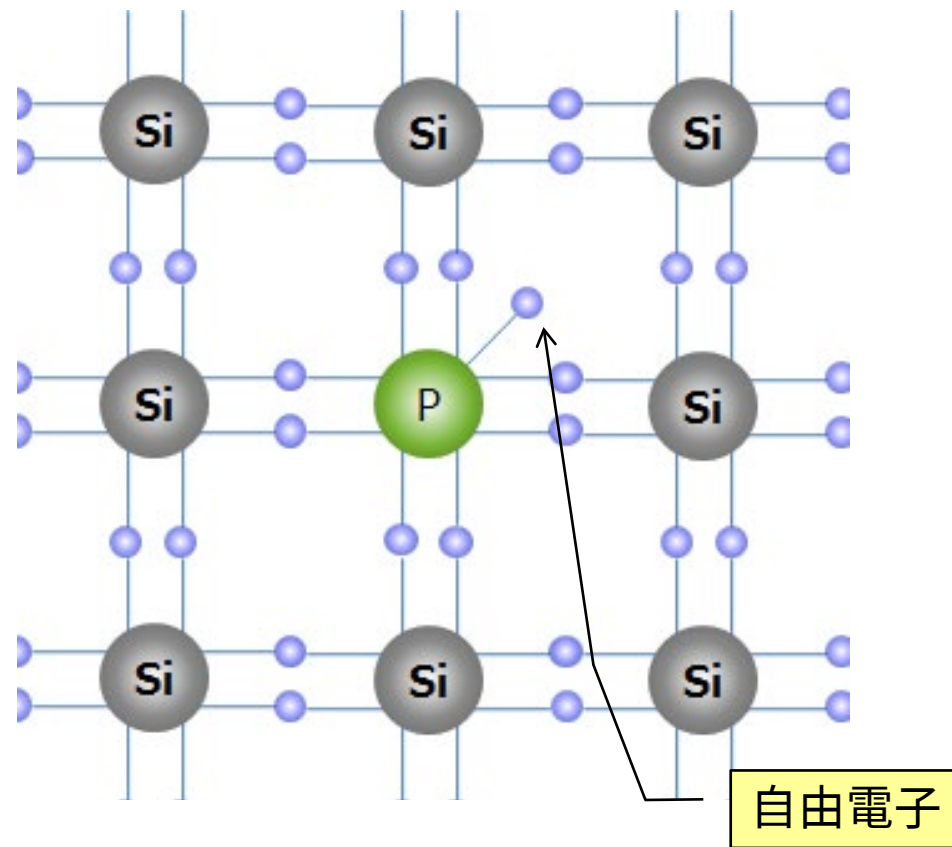
シリコン(Si)
価電子4個



リン(P)
価電子5個



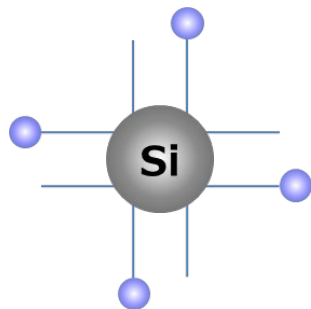
シリコンの単結晶にリンを加えると、電子が1個余って自由電子となります。



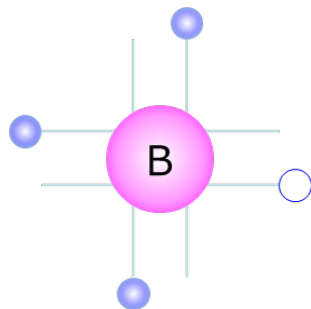
*自由電子のことを、n型半導体のキャリアと呼びます。

p型半導体

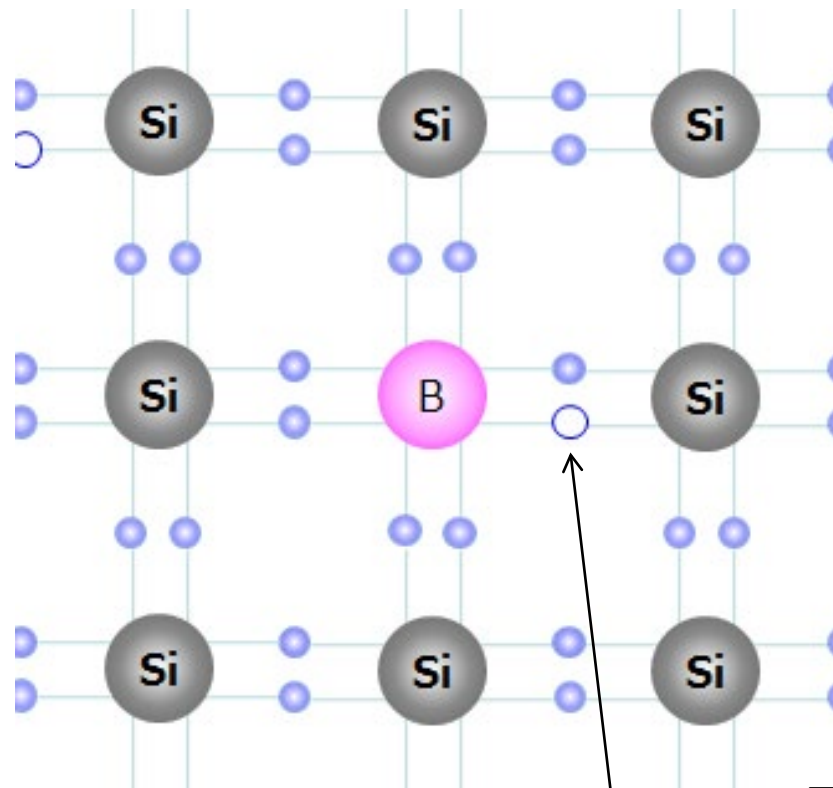
シリコン(Si)
価電子4個



ホウ素(B)
価電子3個



シリコンの単結晶にホウ素を加えると、電子が1個不足して正孔となります。



正孔

*正孔のことを、p型半導体のキャリアと呼びます。

化合物半導体とは

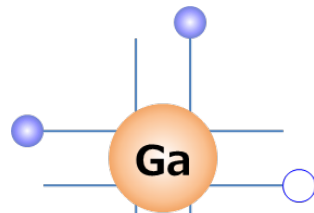
代表的な化合物半導体

II族e-VI族 : ZnSe III族e-V族 : GaAs、GaN、InP、InGaAlP、InGaN

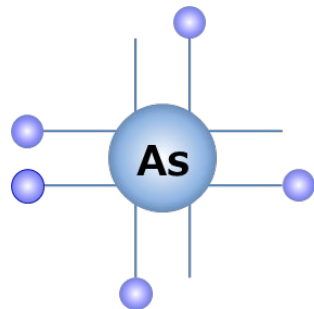
IV族e-IV族 : SiC、SiGe

【GaAsの例】

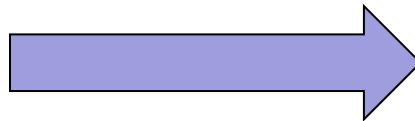
ガリウム(Ga)
価電子3個



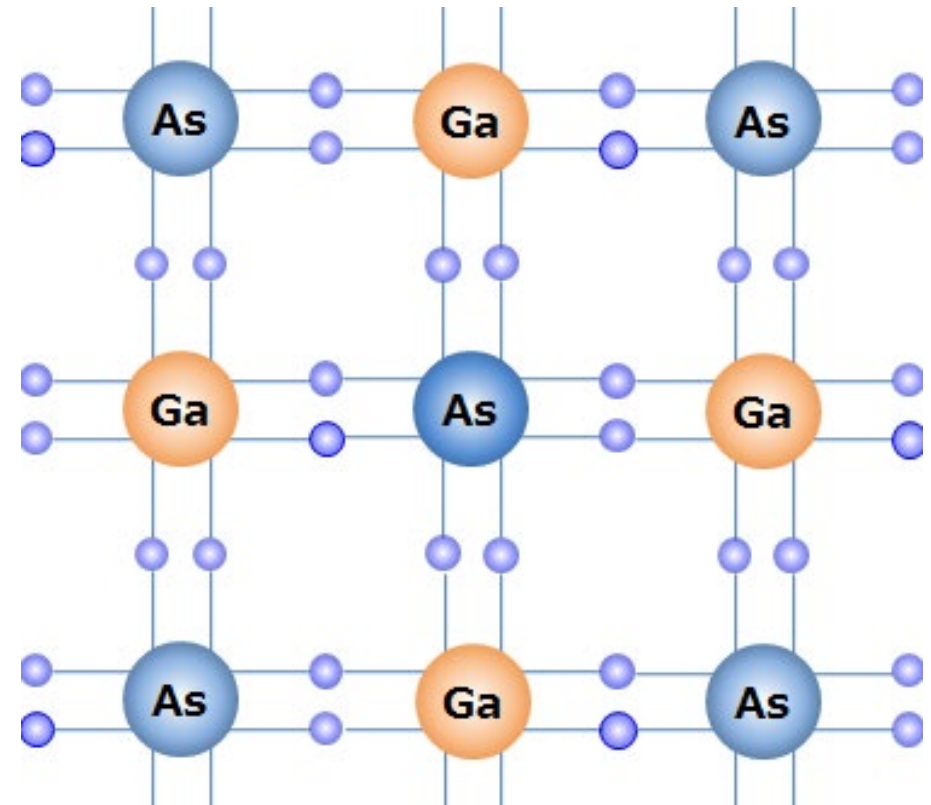
砒素(As)
価電子5個



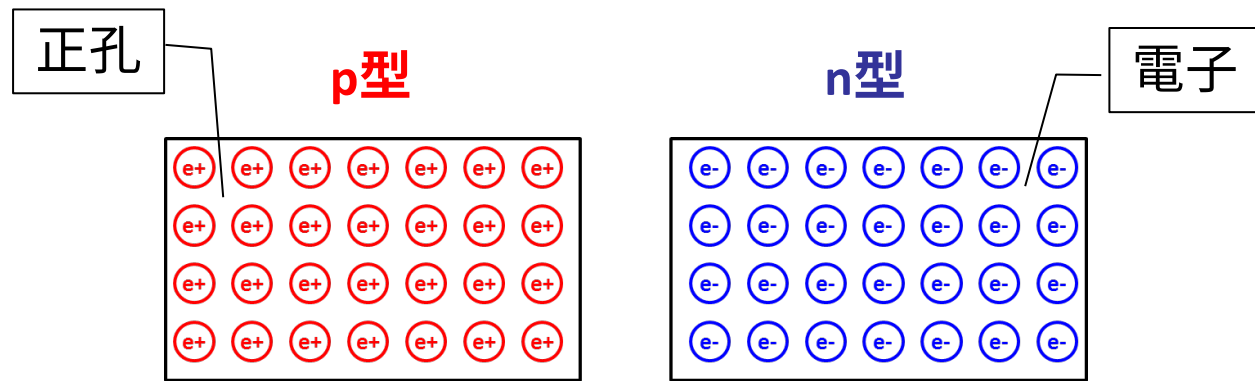
ガリウムが多ければ
p型半導体に



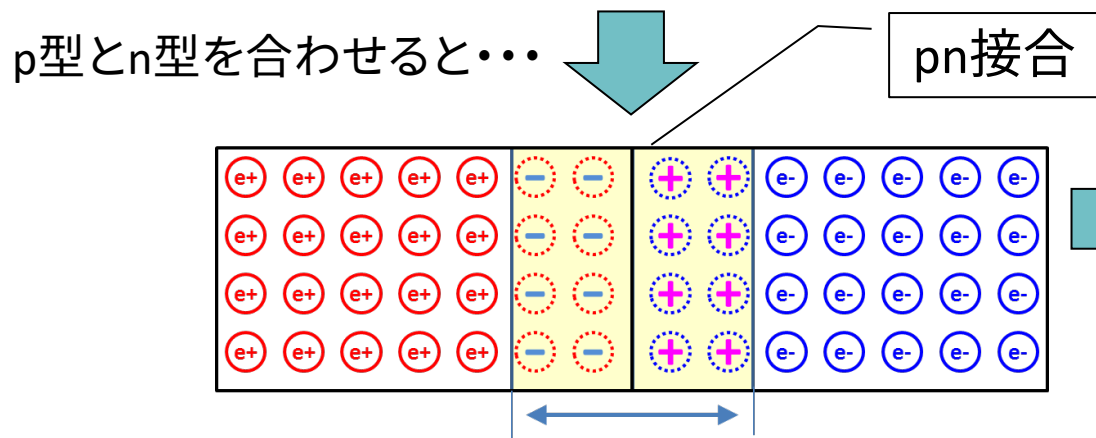
砒素が多ければ
n型半導体に



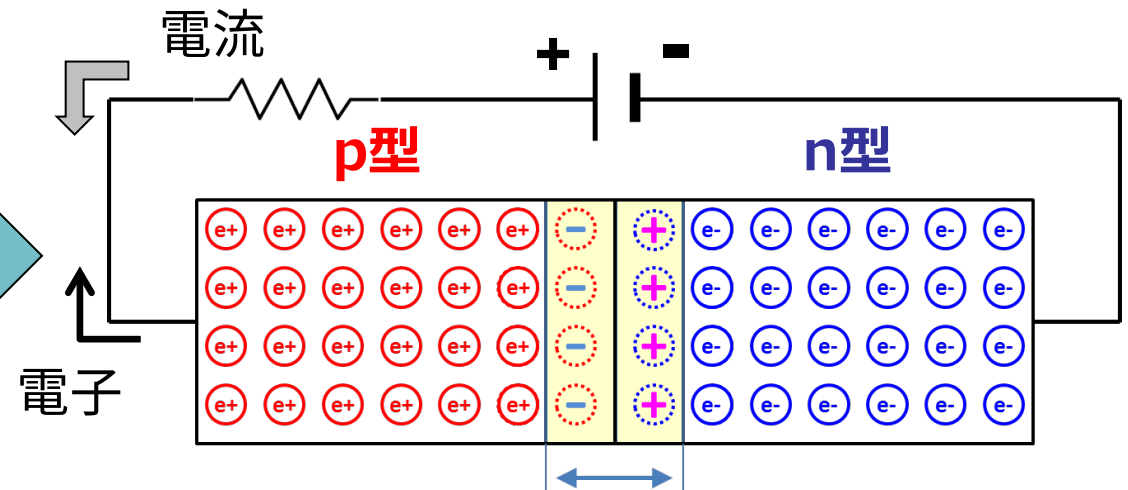
pn接合とは



p型に+を、n型に-をつないで
電圧をかけると電流が流れます。

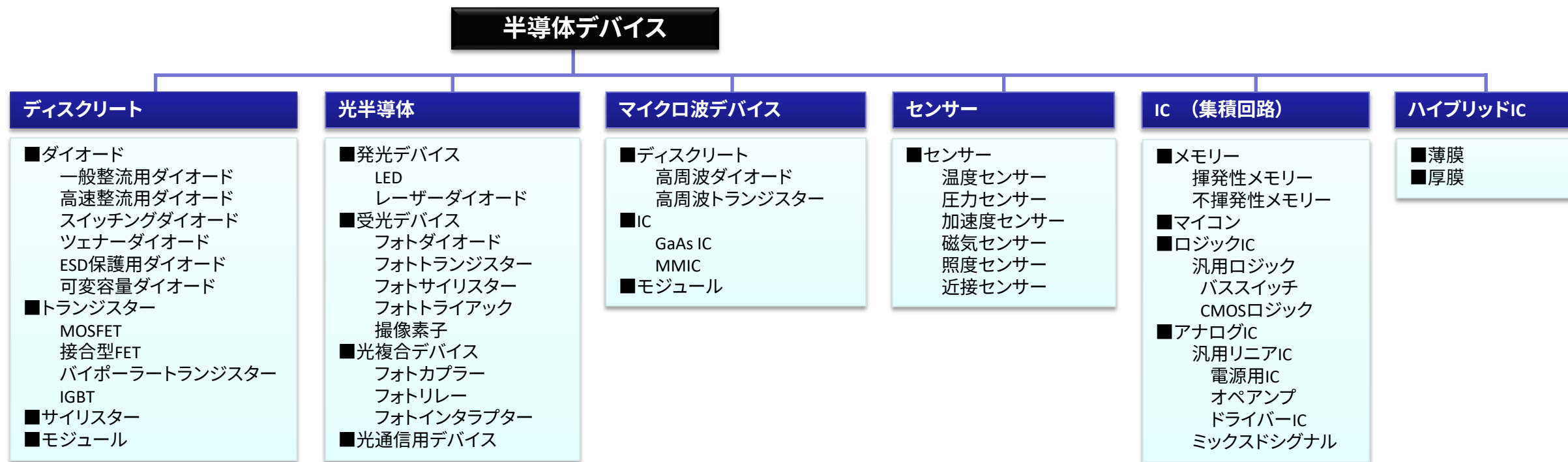


境界付近に空乏層ができる



空乏層は狭くなる

半導体デバイスの種類



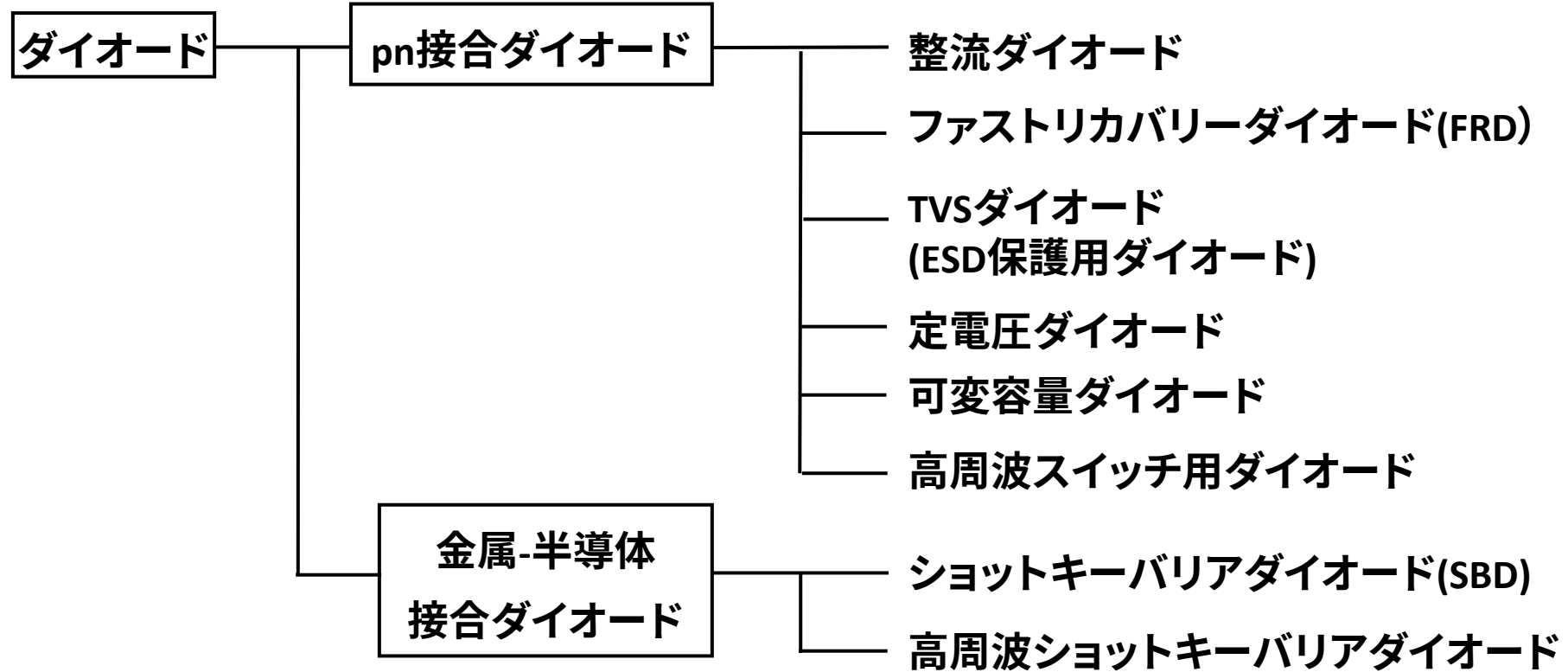
02

ダイオード



ダイオードの種類

ダイオードの分類例

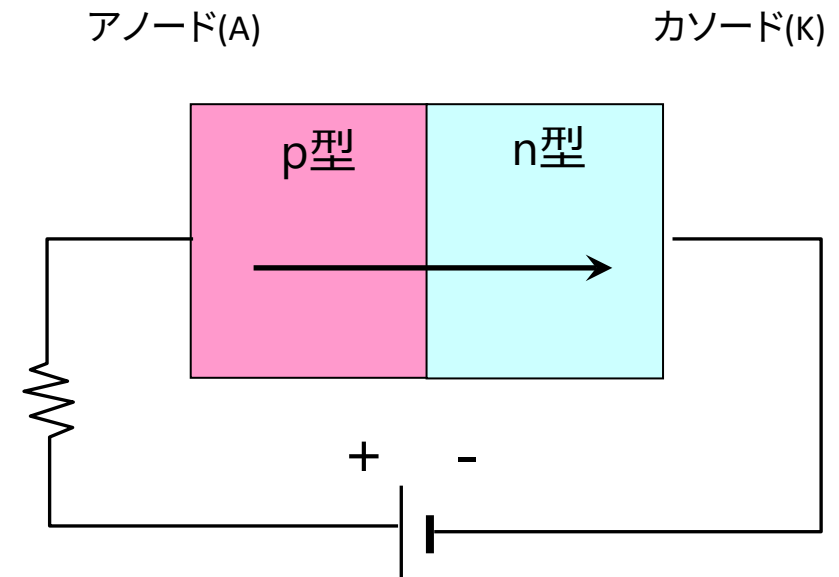


- 用途：整流、検波、定電圧源、サージ保護、インバーター還流用、高周波帯域切り換え、高周波同調回路、信号処理用と電力処理用とに分類する場合があります。

整流ダイオードの働き



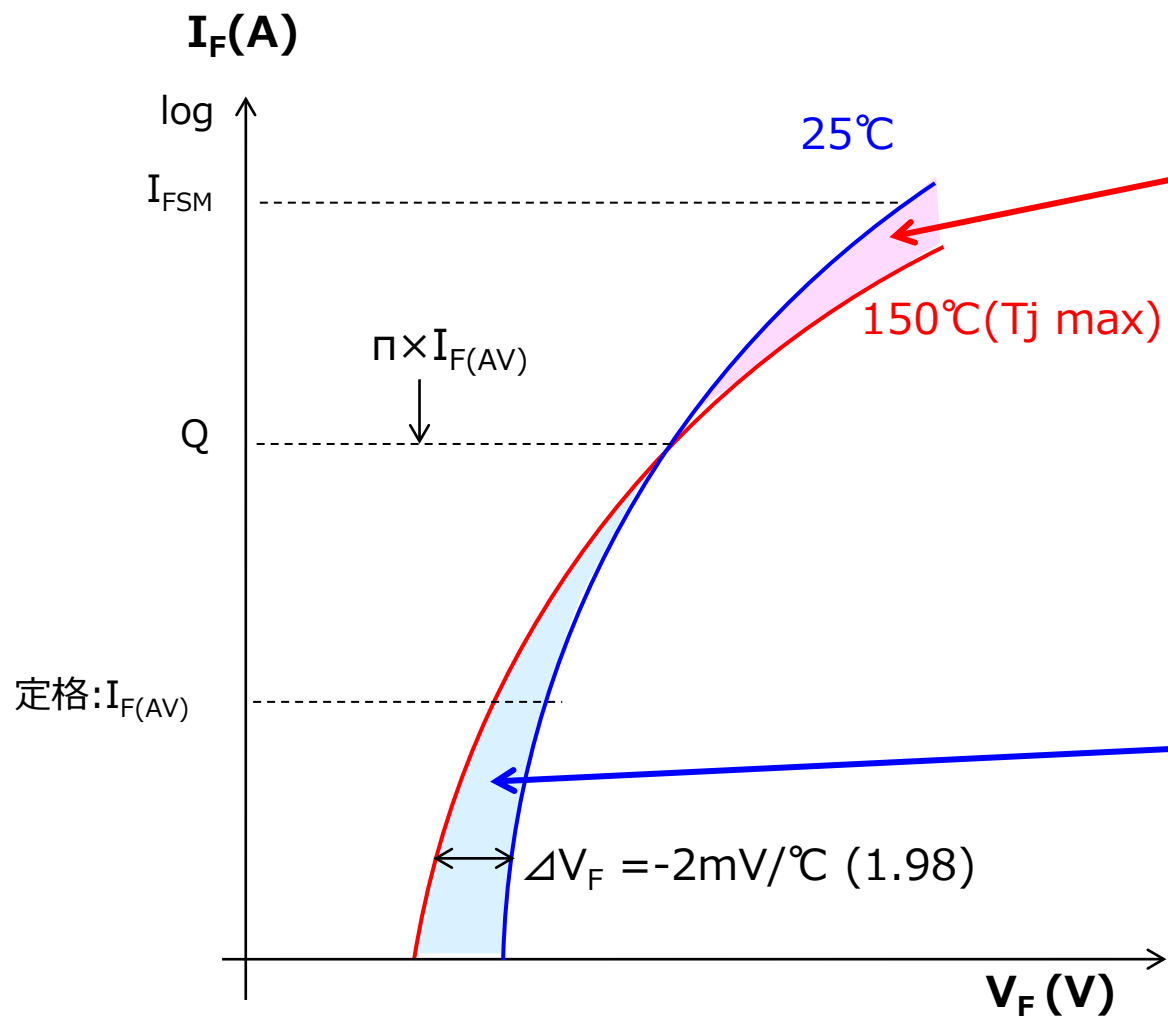
ダイオードの記号と電極名



ダイオードの極性

参考:Cathode (カソード) のシンボルは“k”はドイツ語 (Kathode) に由来します。

整流ダイオードの順方向特性

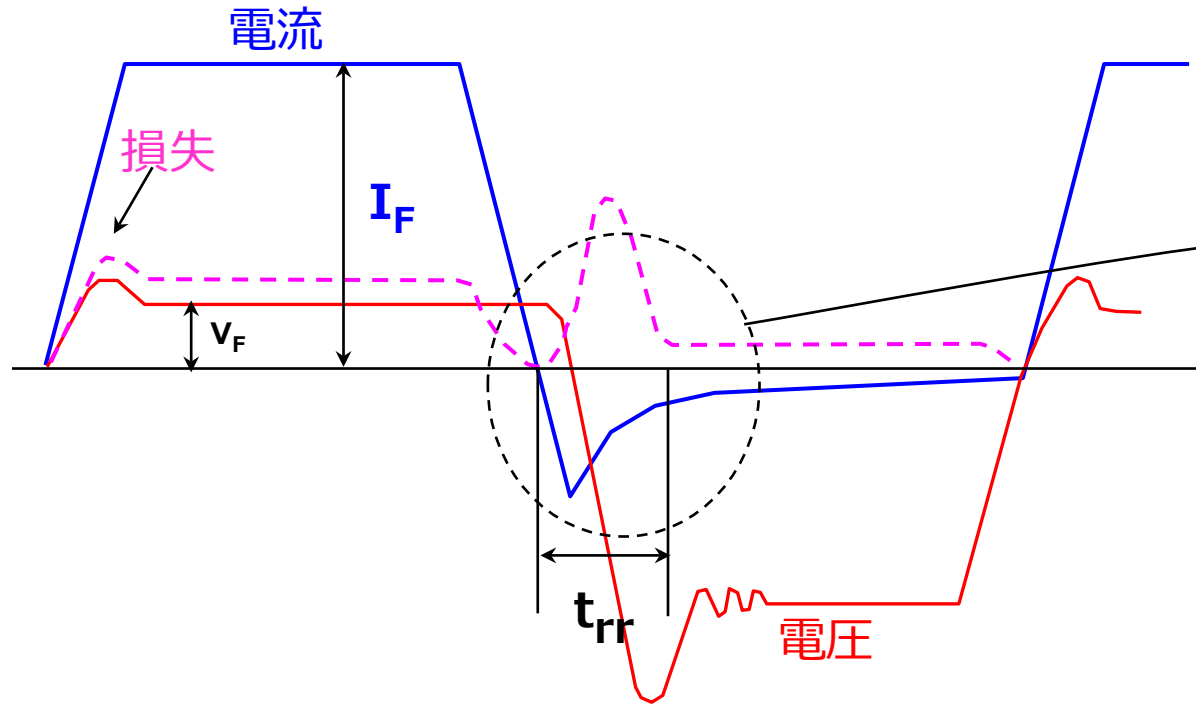


キャリアの衝突が支配的なエリア
 \Rightarrow 温度が高い程、 V_F が高くなる

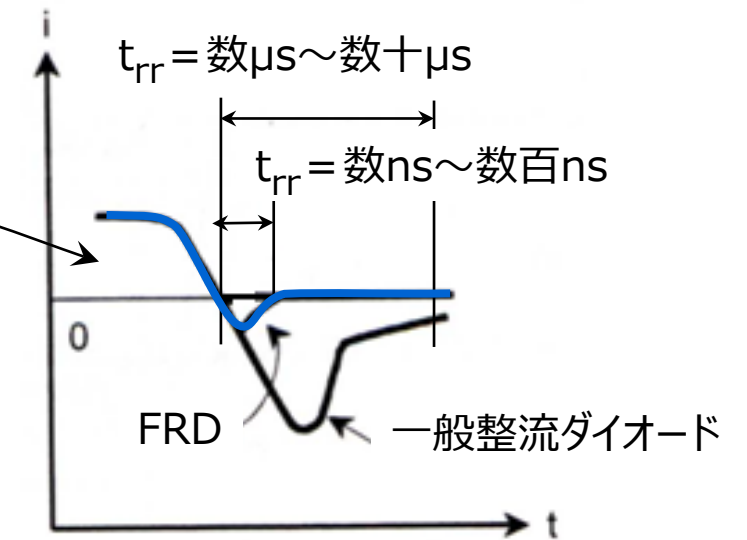
キャリアの移動度が支配的なエリア
 \Rightarrow 温度が高い程、 V_F が低くなる

ファストリカバリダイオード(Fast Recovery Diode : FRD)

FRD: 数kHz~100 kHzの高周波のスイッチングに使用
整流ダイオード: 500Hz以下の低周波応用に使用



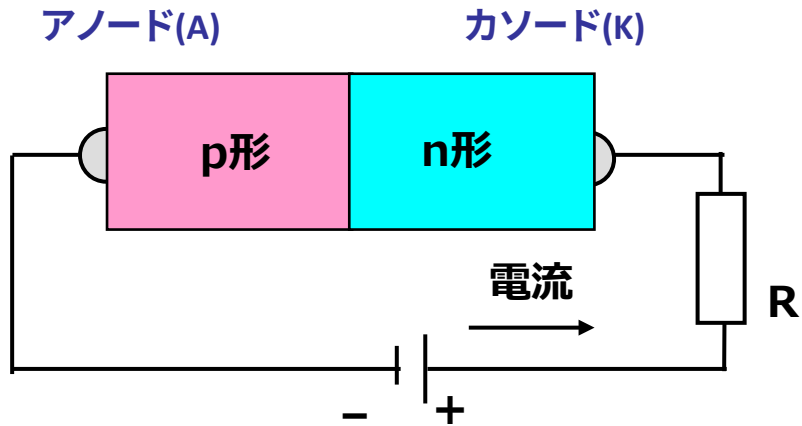
ダイオードスイッチング波形例と損失



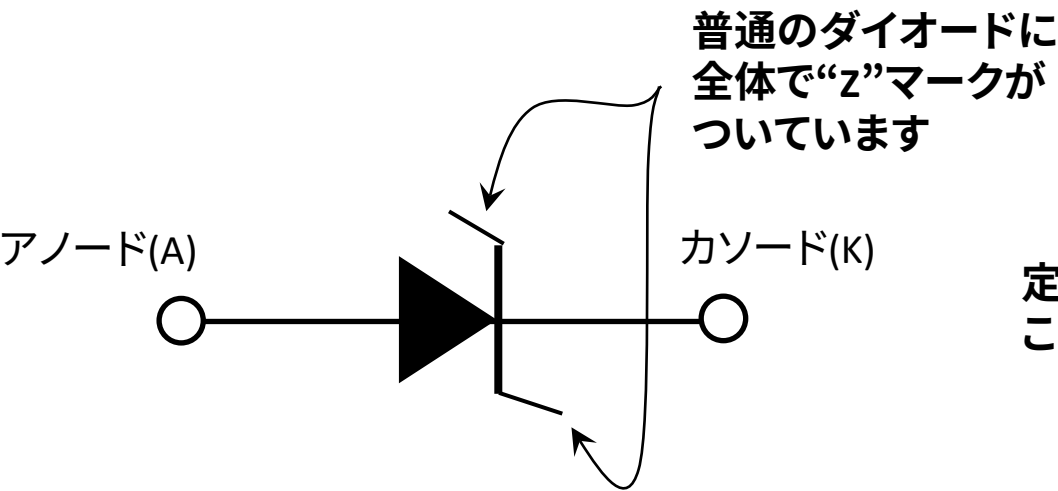
一般の整流ダイオードとFRDの t_{rr} 比較

逆回復時間(t_{rr})による損失(逆回復損失)は、周波数が低いと無視できますが、周波数とともに増加し数kHz以上になると無視できなくなります。

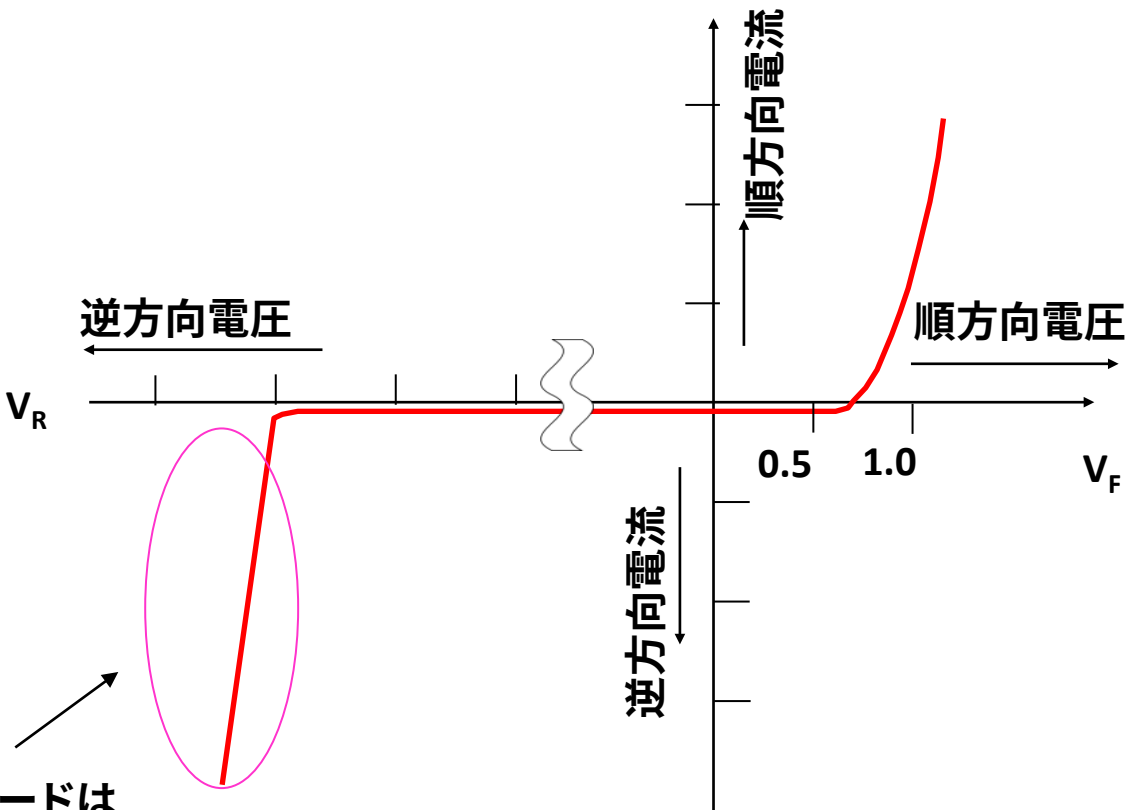
定電圧ダイオード (ツェナーダイオード)



定電圧ダイオードの構造と接続

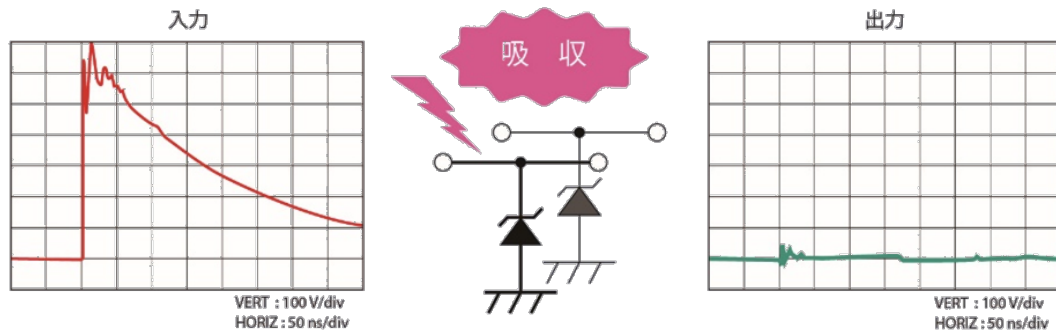
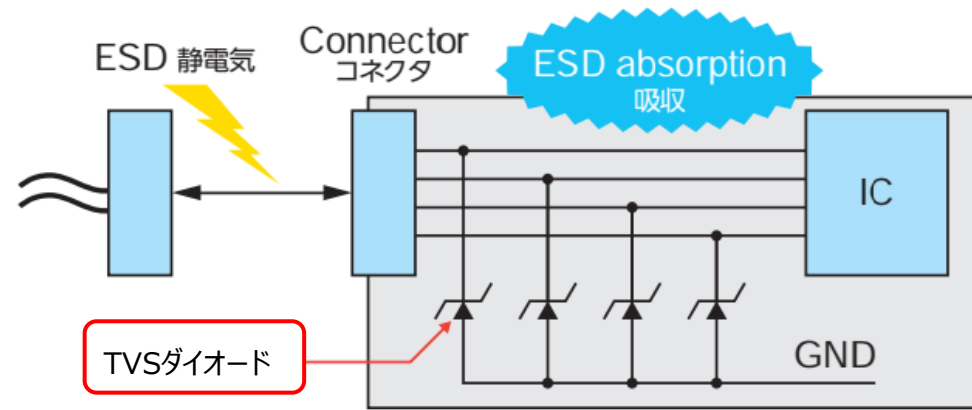


定電圧ダイオードの記号

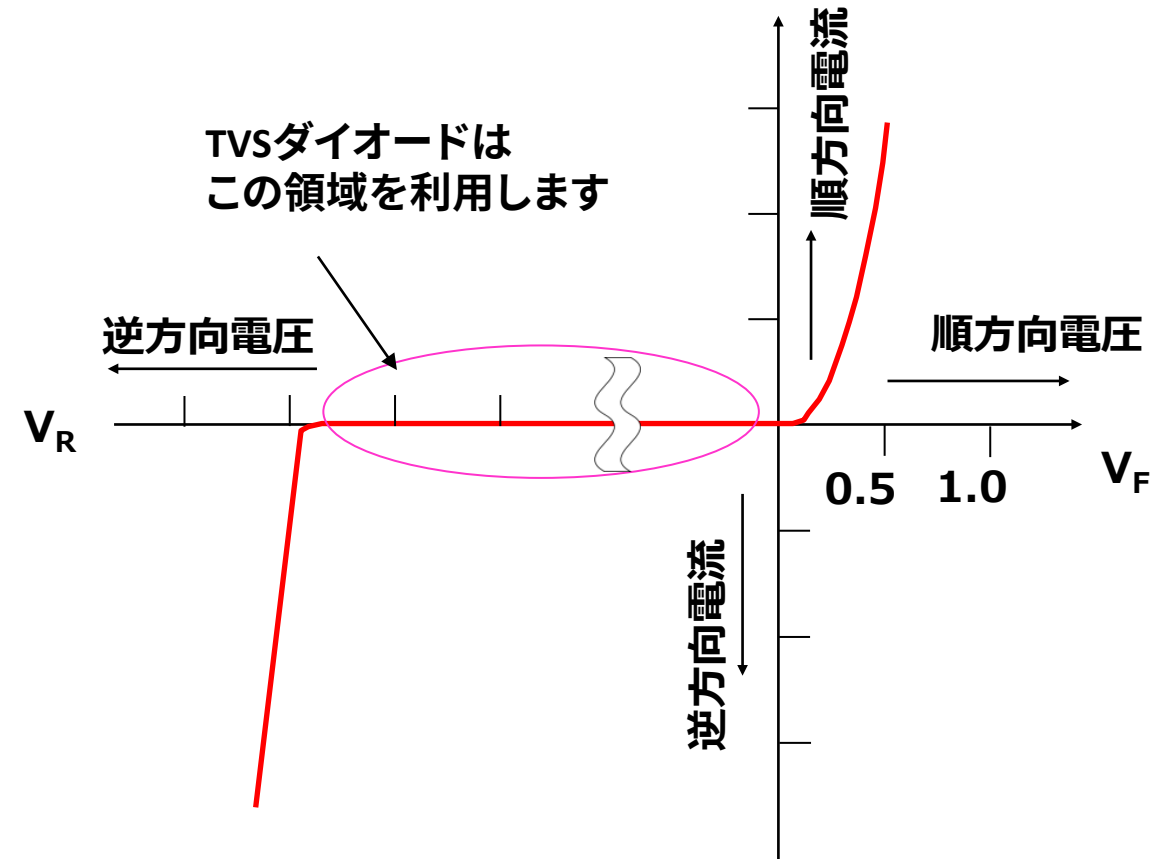


定電圧ダイオードの電气的特性

TVSダイオード (ESD保護用ダイオード)



TVSダイオードの使用例



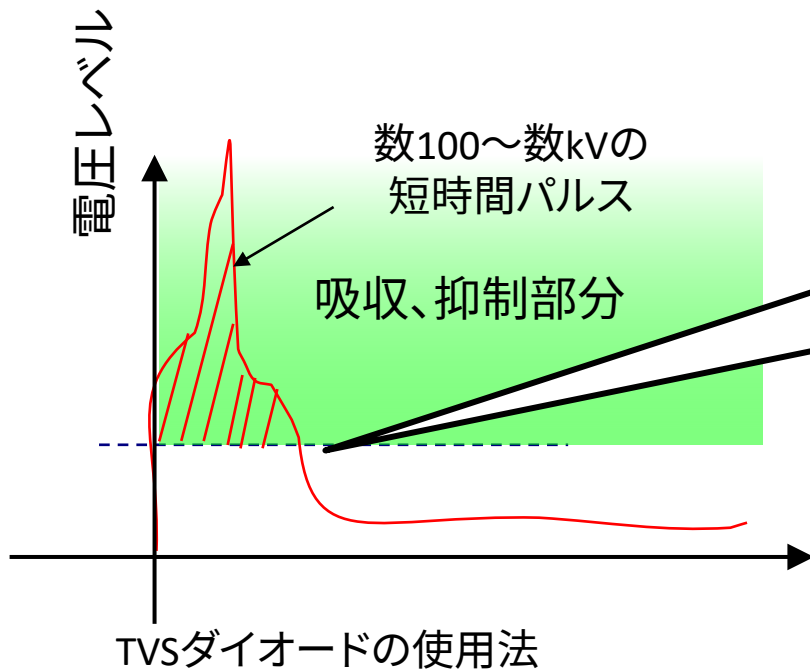
TVSダイオードの電气的特性

TVSダイオードを使用することにより、侵入する静電気(ESD)を吸収し回路の誤動作防止、ICなどのデバイス保護をすることができます。

TVSダイオードと定電圧ダイオードの違い(1)

TVSダイオード

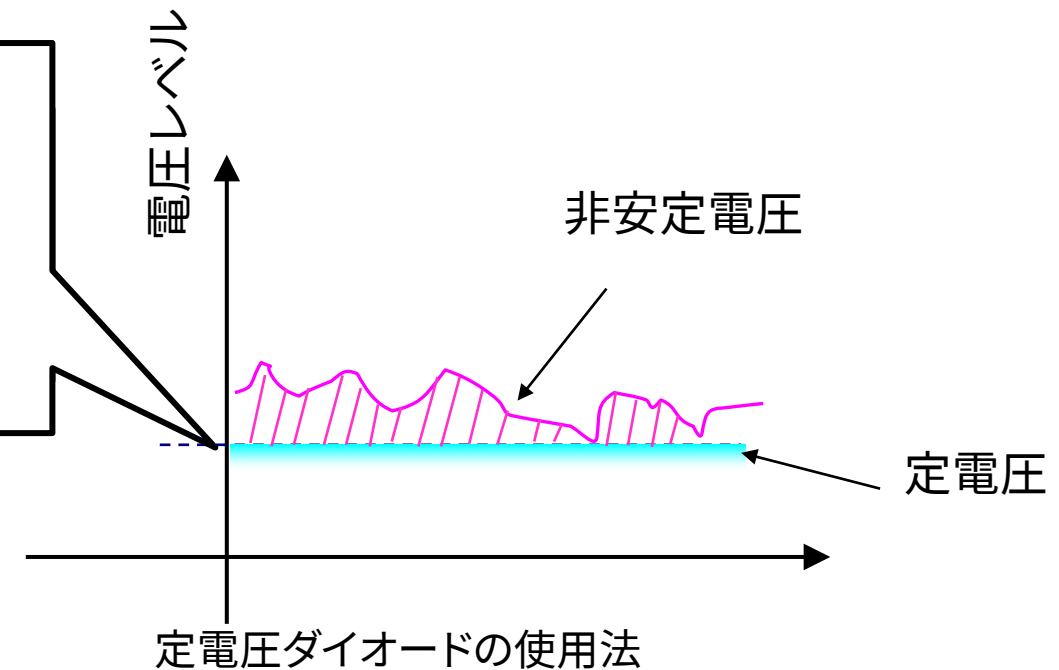
静電気、短時間パルスの吸収、抑制



両ダイオード共に一定電圧以上をカットする働きは同じですがその目的が違います。

定電圧ダイオード

定電圧制御、基準電源

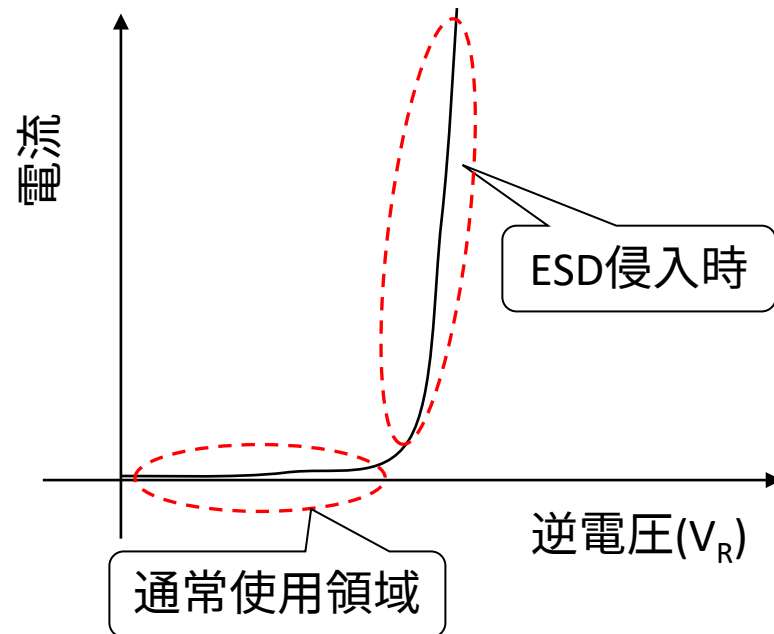


TVSダイオードと定電圧ダイオードの違い(2)

《TVSダイオード》

通常は、逆阻止状態（電流がほとんど流れず電圧のみが印加される）で使⽤します。

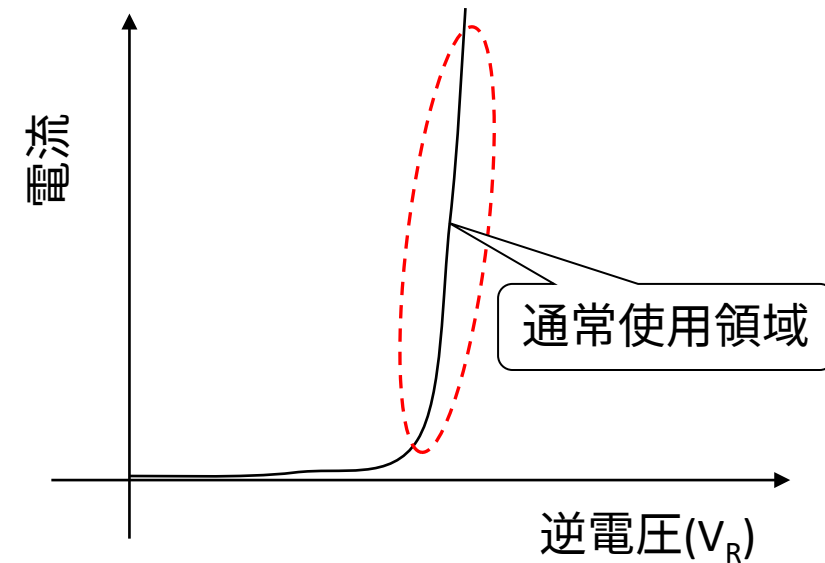
一定の電圧（クランプ電圧）を超える電圧が印加された時のみ降伏（クランプ）動作が発生します。



TVSダイオードの使用領域

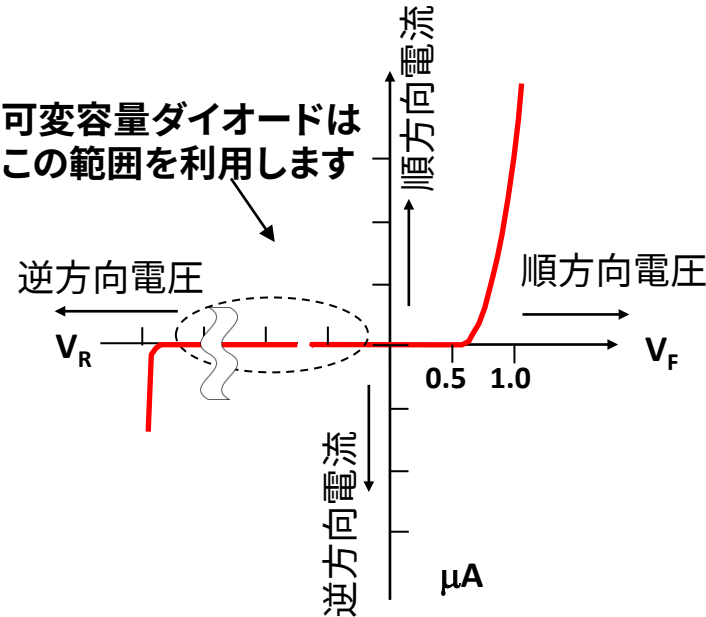
《定電圧ダイオード》

通常は、電流を流し降伏状態で使⽤します。
常に降伏（ツェナー）電流を流す使用方を想定しています。

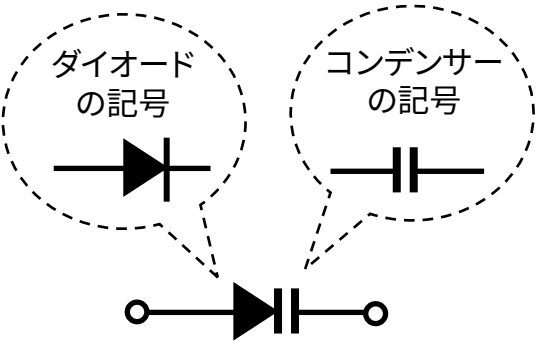


定電圧ダイオードの使用領域

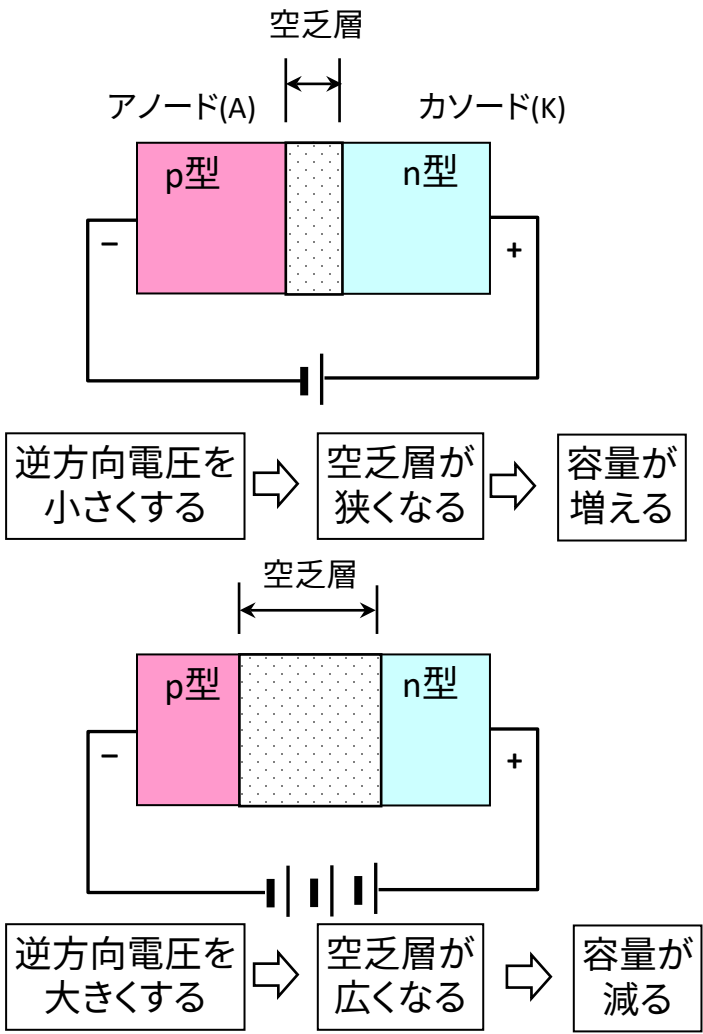
可変容量ダイオード



可変容量ダイオードの電気的特性



可変容量ダイオードの記号



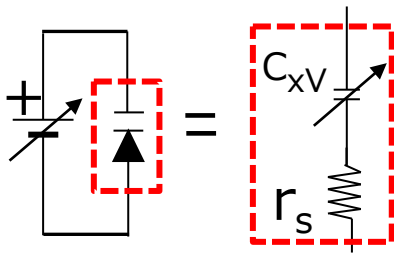
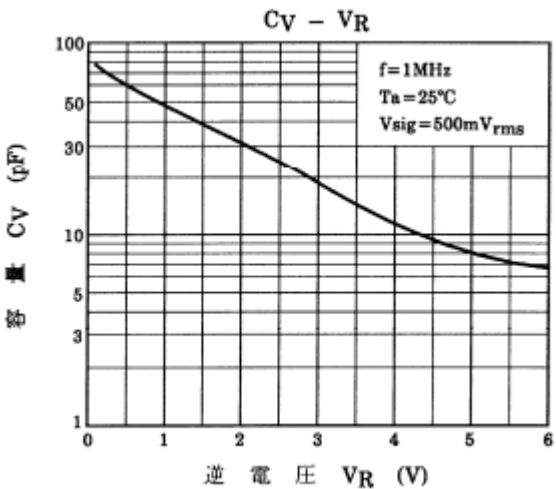
可変容量ダイオードの空乏層と容量の関係

可変容量ダイオード

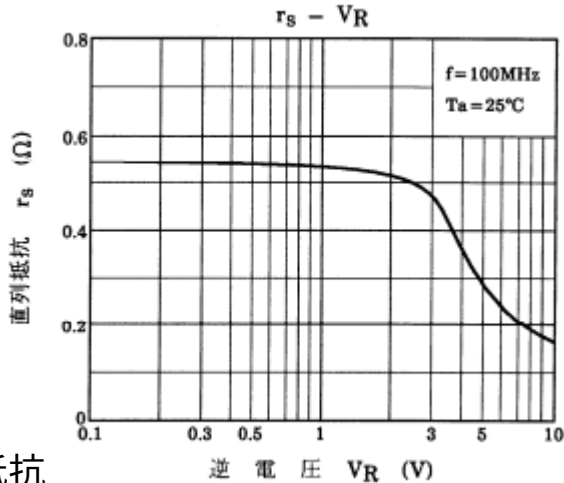
電気的特性 (Ta = 25°C)

項目	記号	測定条件	最小	標準	最大	単位
逆電圧	V_R	$I_R = 1 \mu A$	10	-	-	V
逆電流	I_R	$V_R = 10 V$	-	-	3	nA
容量	C_{1V}	$V_R = 1 V, f = 1 MHz$	44	-	49.5	pF
容量	C_{6V}	$V_R = 6 V, f = 1 MHz$	5.4	-	7.3	pF
容量比	C_{1V}/C_{6V}	-	6.3	7.5	-	-
直列抵抗	r_s	$V_R = 4 V, f = 100 MHz$	-	0.4	0.8	Ω

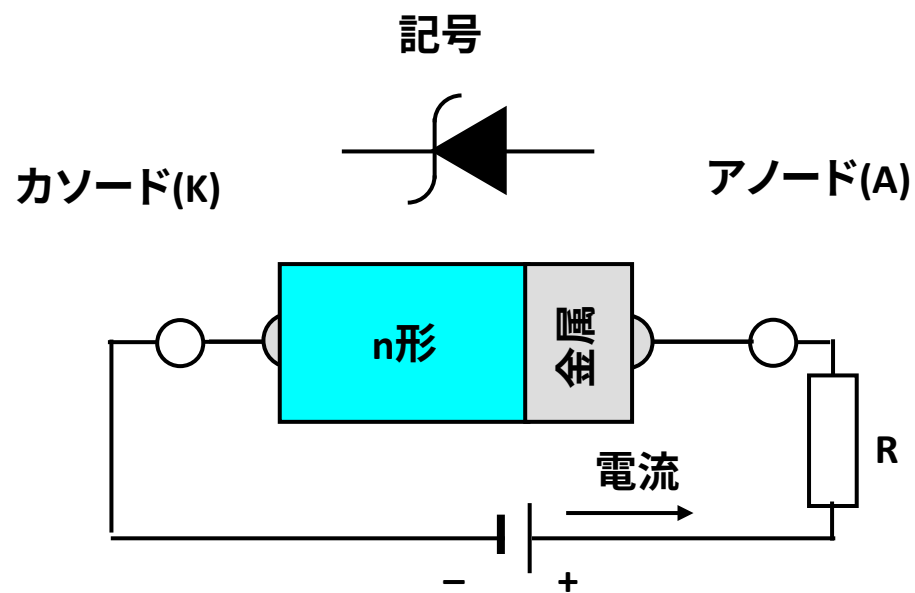
可変容量ダイオードの重要な特性は、他のダイオードのように順電圧 V_F 、スイッチング特性などでは無く、容量特性とその容量の変化量（電圧に対する依存性）となります。



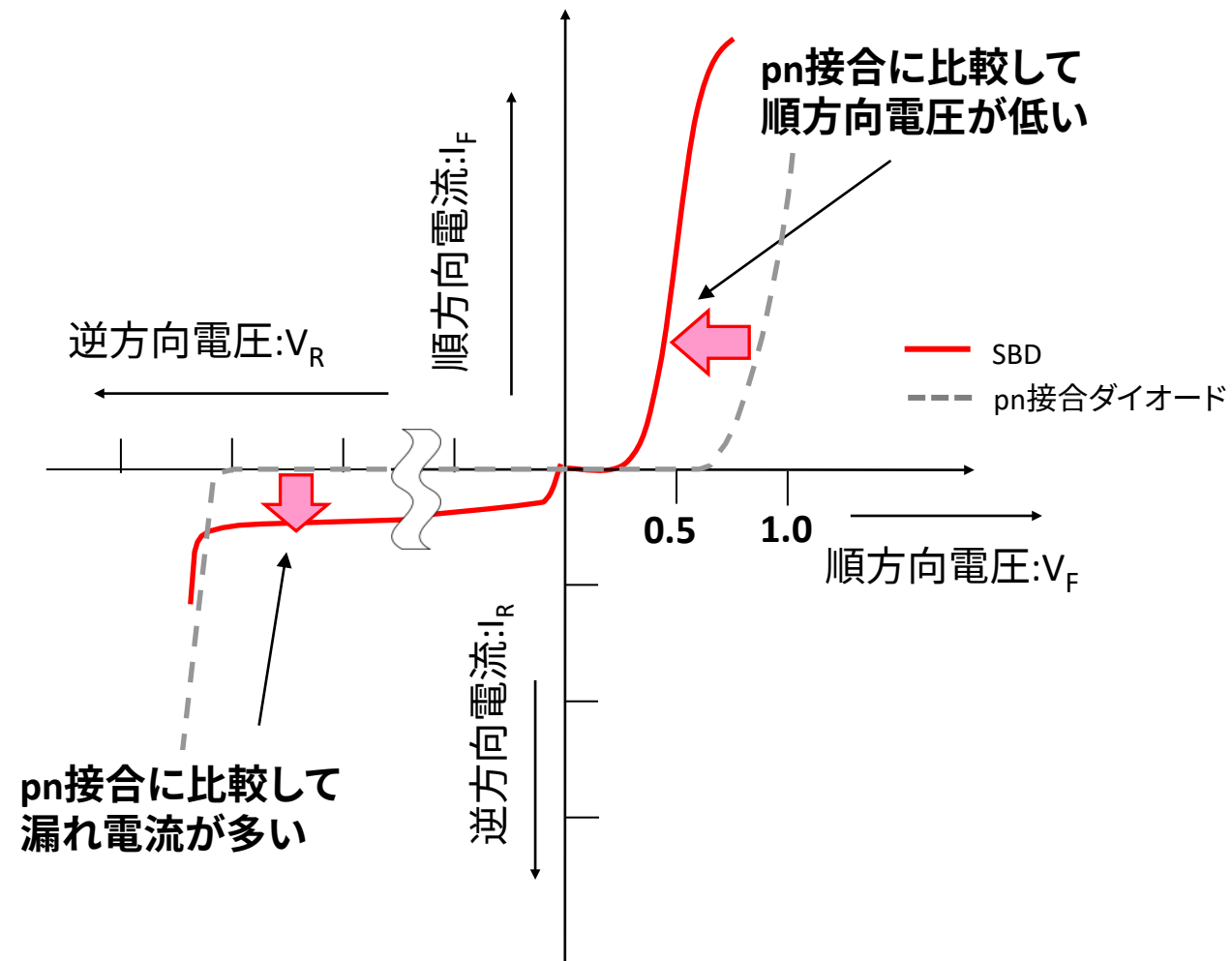
r_s : 等価直列抵抗



ショットキーバリアダイオード(Schottky Barrier Diode : SBD)

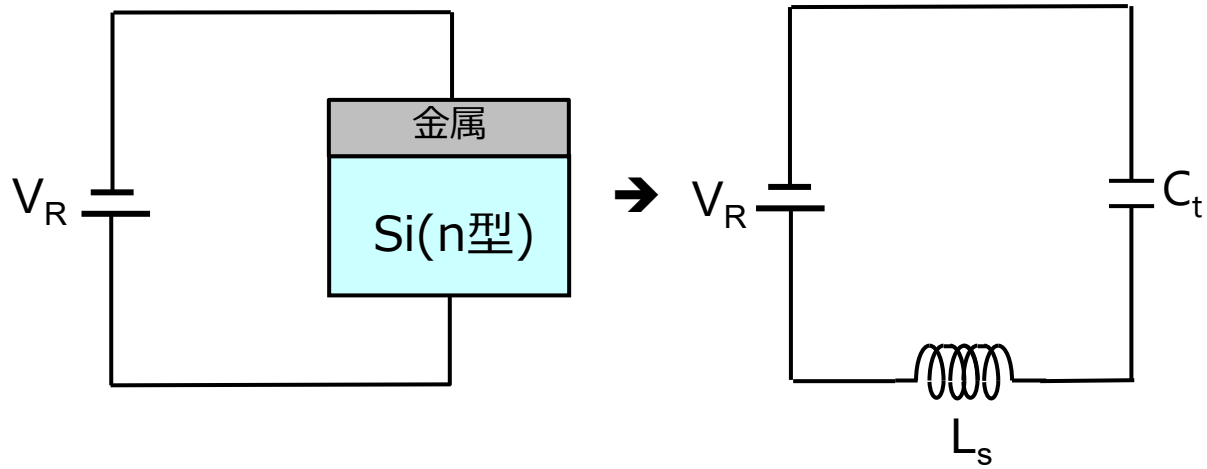


ショットキーバリアダイオードの構造と記号



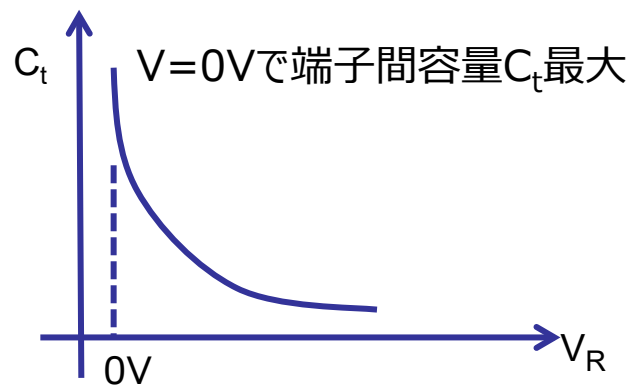
ショットキーバリアダイオードの電気的特性

SBDの逆回復特性

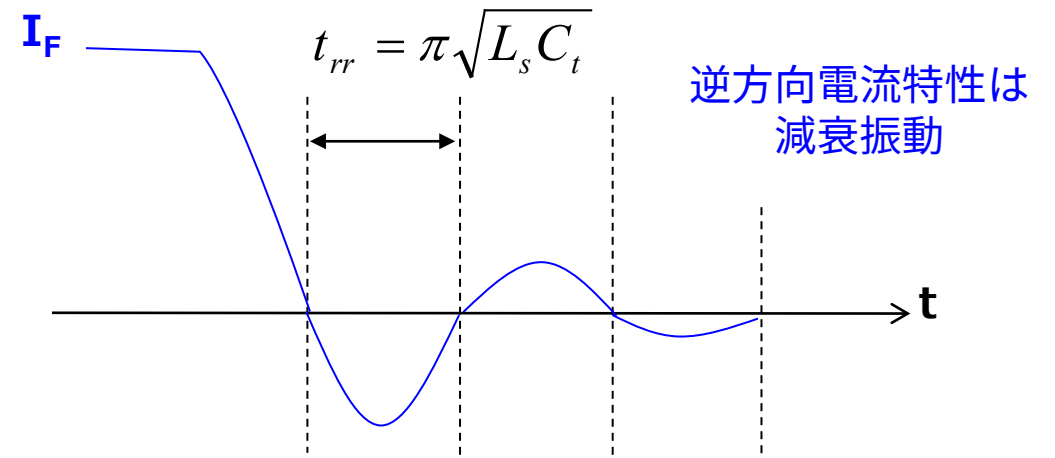


SBDに逆方向電圧(V_R) をかけたときの等価回路

C_t : 端子間容量
 L_s : 回路の寄生インダクター

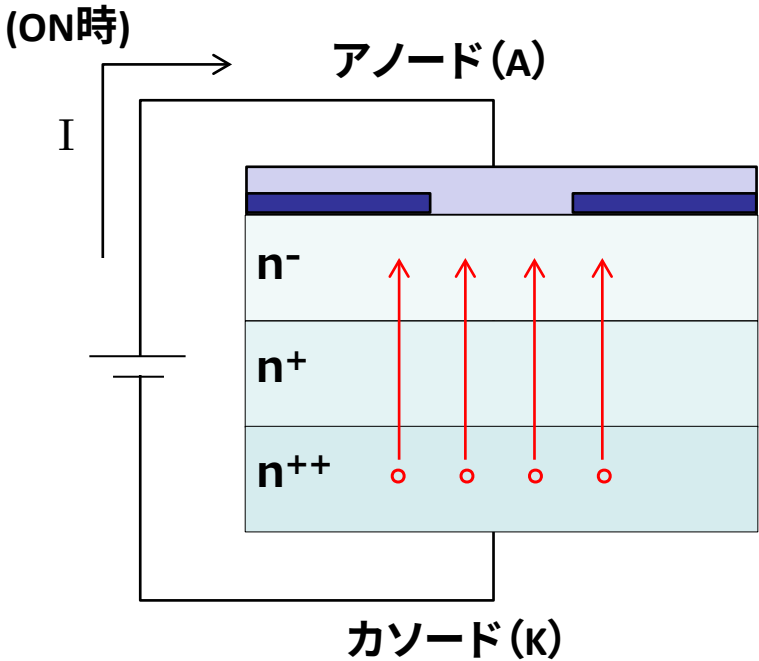
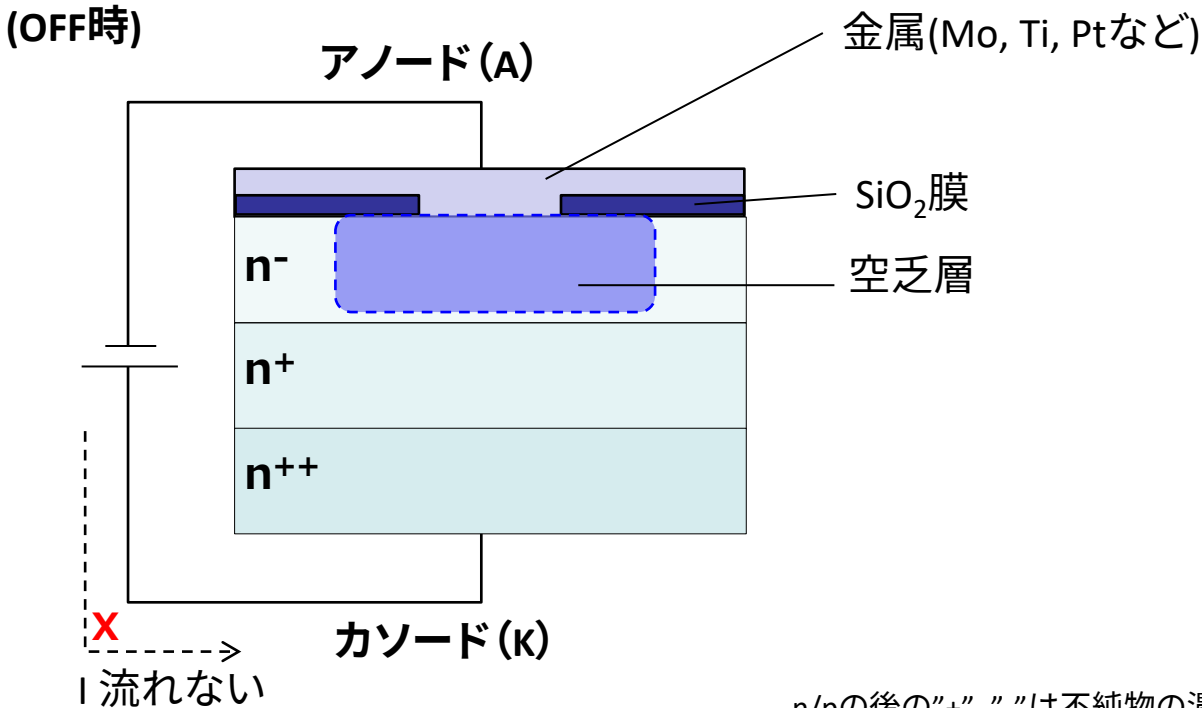


SBDの端子間容量特性



SBDの代表的逆回復特性

SBDの金属による差



n/pの後の"+","-"は不純物の濃度のレベルを示します。"+"は、高濃度で低抵抗、"- "は低濃度で高抵抗となります。

金属の仕事関数	Pt				Mo				V				Ti			
	Φ_B				大				←				小			
	V_F				大				←				小			
	I_{RRM}				小				→				大			

金属の仕事関数

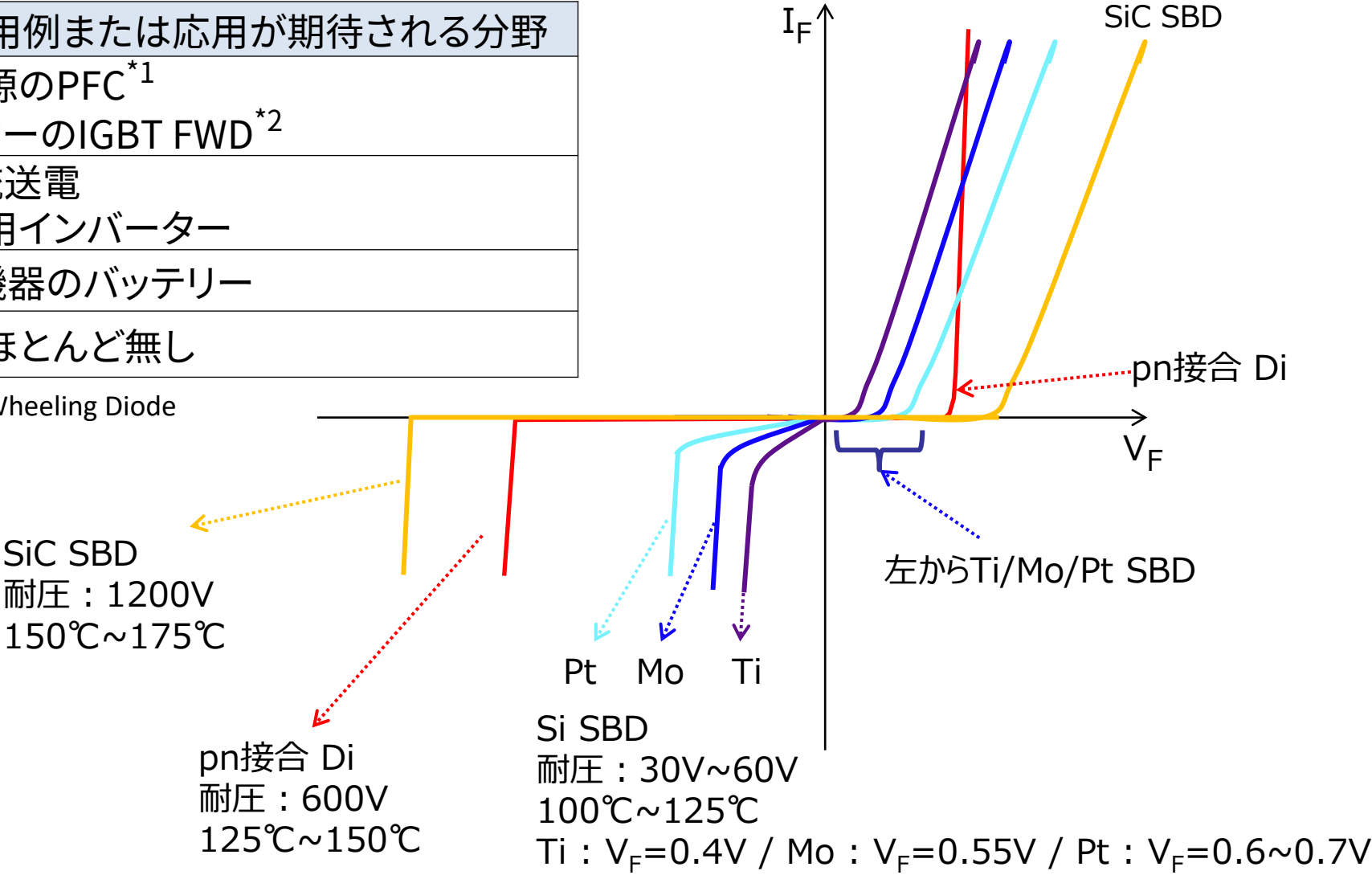
Φ_B : エネルギー準位差 (ショットキー障壁)

Si のエネルギー準位

各種ダイオードの特性と応用

Diodeの種類		市場での応用例または応用が期待される分野
SiC SBD		・高効率電源のPFC ^{*1} ・インバーターのIGBT FWD ^{*2}
SiC、pn接合 Diode		・HVDC直流送電 ・鉄道車両用インバーター
Si SBD	Mo/V	・モバイル機器のバッテリー
	Pt/Ti	・実用例はほとんど無し

*1 : Power Factor Correction、*2 : Free-Wheeling Diode

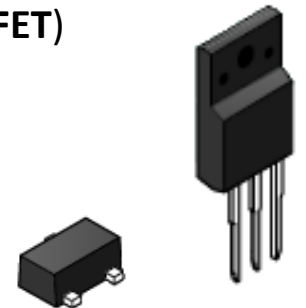
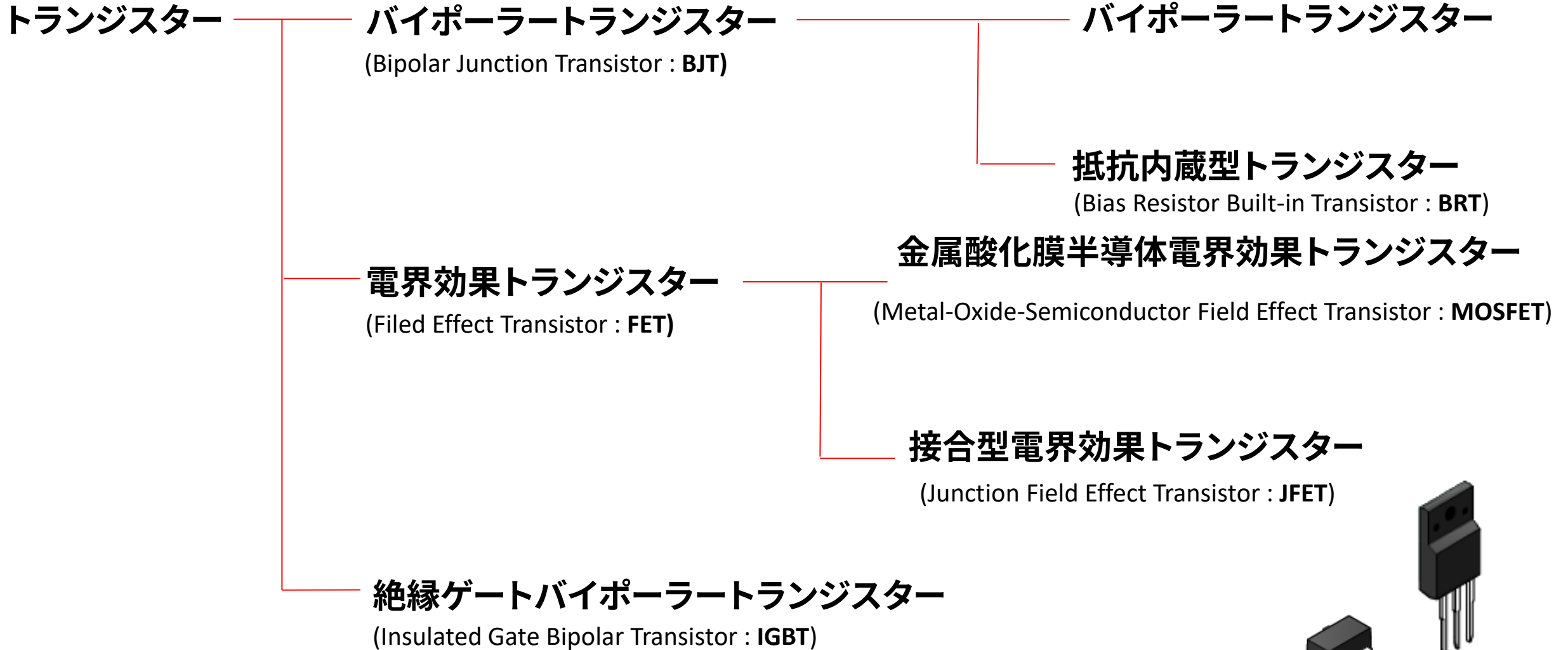


03

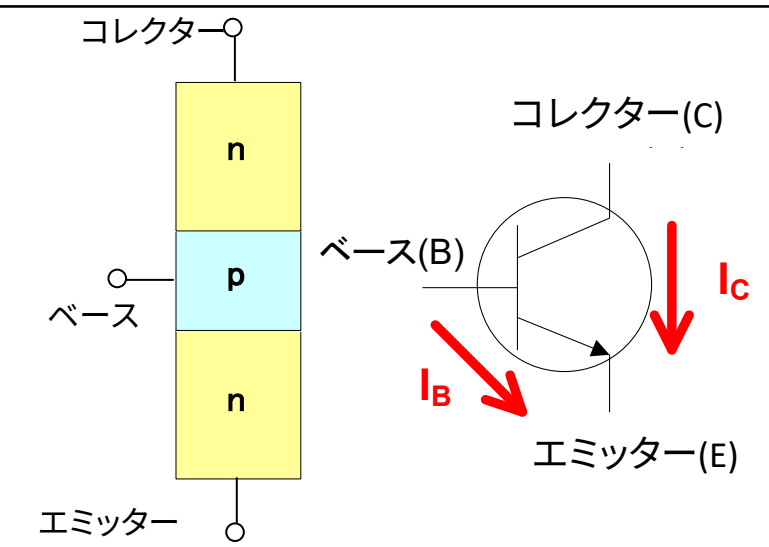
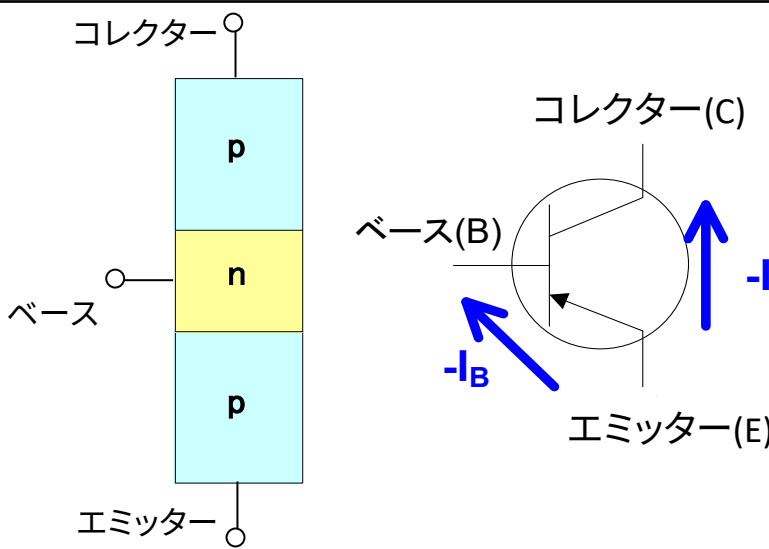
トランジスター



トランジスタの種類

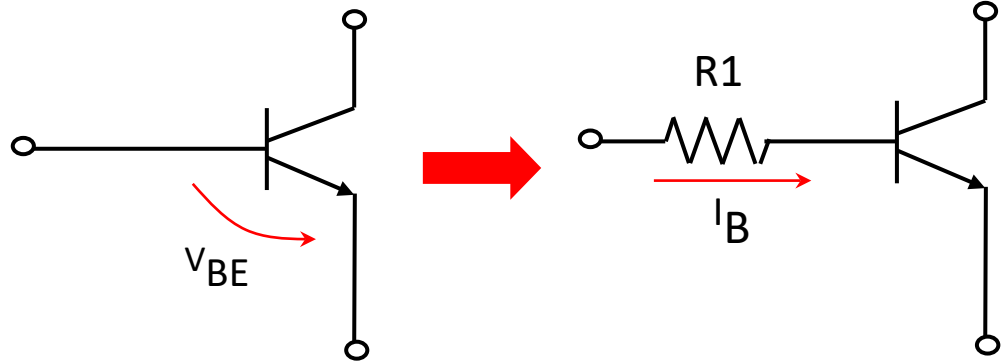


バイポーラトランジスタ(Bipolar Junction Transistor : BJT)

		動作	構造と記号
BJT	NPN型	BJTは、ベース電流によって駆動する 電流駆動型 です。 小さい信号を大きな信号に変換する 増幅作用 があります。	
	PNP型	コレクター電流I_Cとベース電流I_Bの比(I_C / I_B)を直流電流増幅率と呼び、記号h_{FE}で表します。	

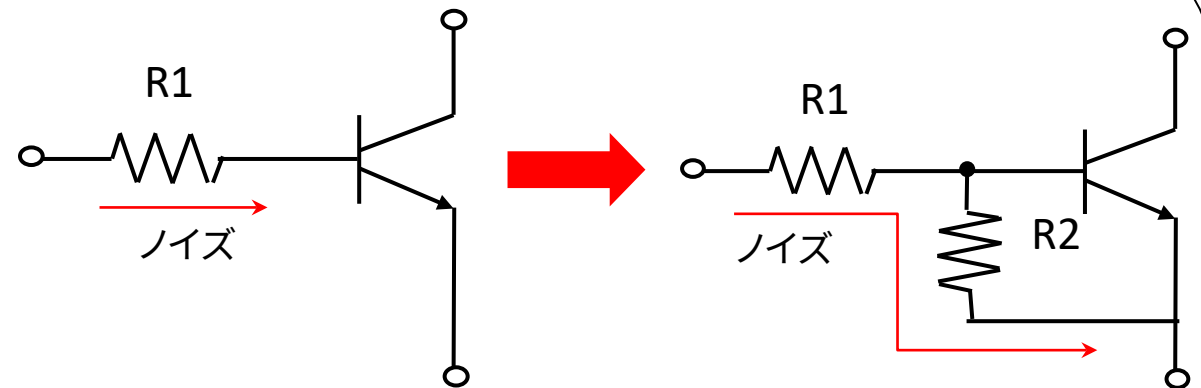
抵抗内蔵型トランジスタ(Bias Resistor Built-in Transistor : BRT)

抵抗内蔵型トランジスタ(BRT)：BJTに抵抗を内蔵したもの。



動作が不安定
電流制限が無いと
制御が難しい

動作が安定
入力抵抗を追加する
ことにより、入力電流の
制御がし易い

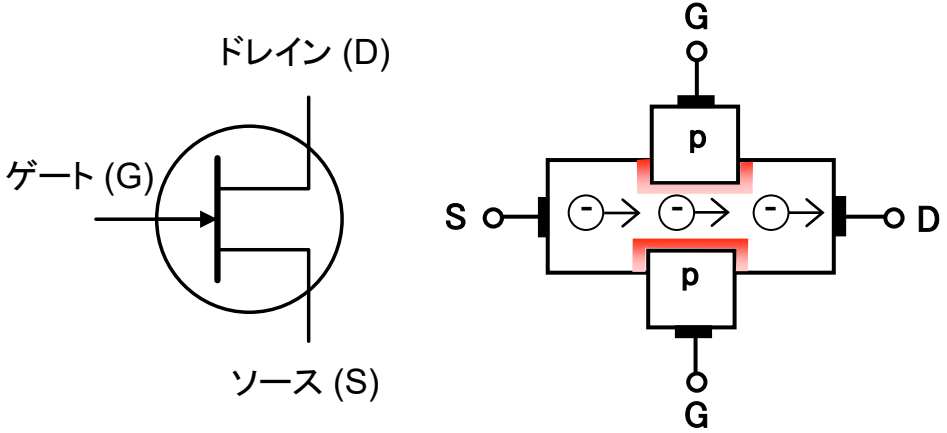
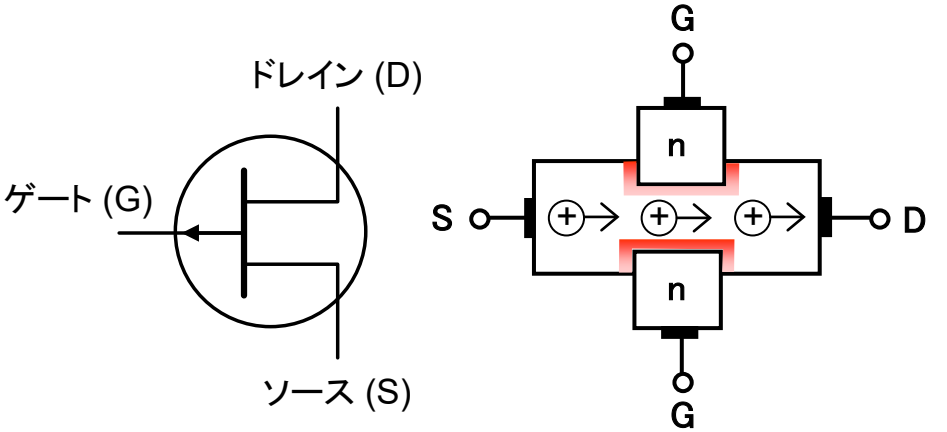


ベースのノイズの影響を
受け誤動作しやすい
電流などがそのままトラン
ジスタのベースに入り、
トランジスタがONする

誤動作が起こりにくい
ノイズがR2を介して
バイパスするのでノイズに対する
誤動作が発生しにくくなる

BJTのベース回路に抵抗が必要な理由

接合型電界効果トランジスタ(Junction Field Effect Transistor : JFET)

		動作	記号と動作
JFET	N-ch型	<p>JFETは、ゲート・ソース間に印加する電圧でドレイン・ソース間の制御を行う、電圧駆動型です。</p> <p>＜N-ch型の場合＞</p> <p>①NチャネルのJFETは、ドレイン・ソース間に電圧を印加すると電子がソースからドレインに流れる</p>	<div></div>
	P-ch型	<p>②ゲート・ソース間に逆バイアスを印加すると空乏層が拡がり、①の電子の流れを抑制する（電子の流れる路が狭くなる）</p> <p>③ゲート・ソース間逆バイアスの電圧を更に増加させると、空乏層によりチャネルがふさがり電子の流れが止まる</p>	<div></div>

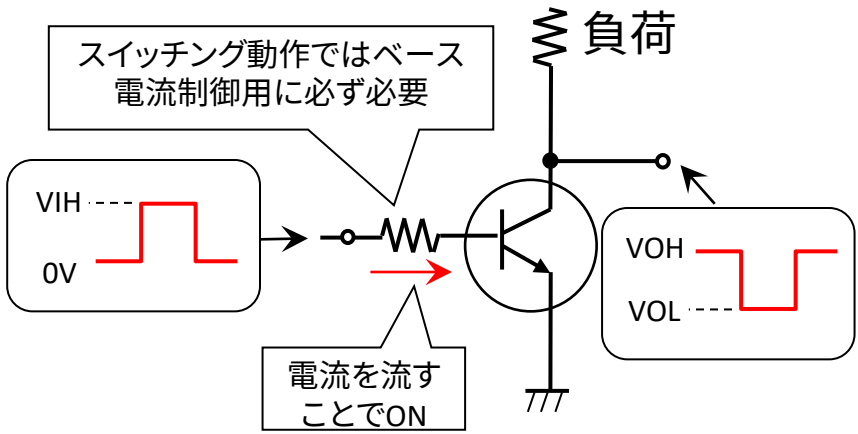
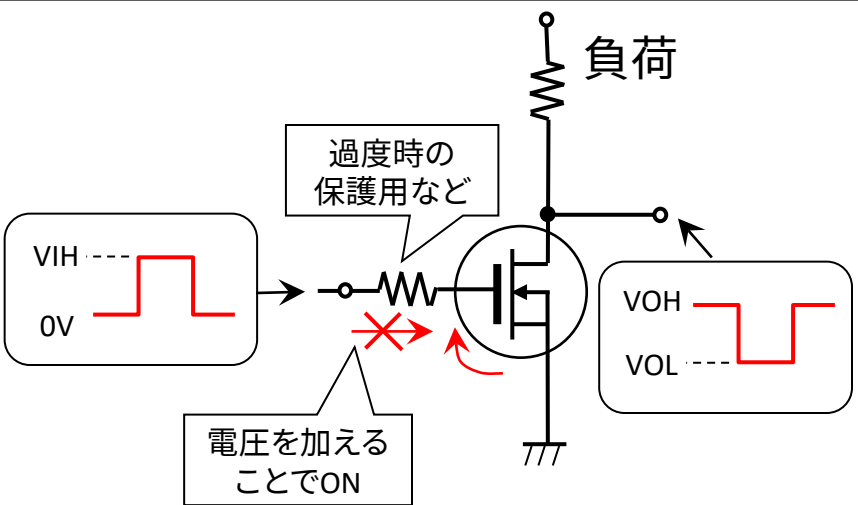
MOSFET

(金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ(Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor))

		用途	記号と動作
MOSFET	Nチャネル	AC-DC電源、DC-DCコンバーター およびインバーター機器他	
	Pチャネル	ロードスイッチ、ハイサイドスイッチ他	

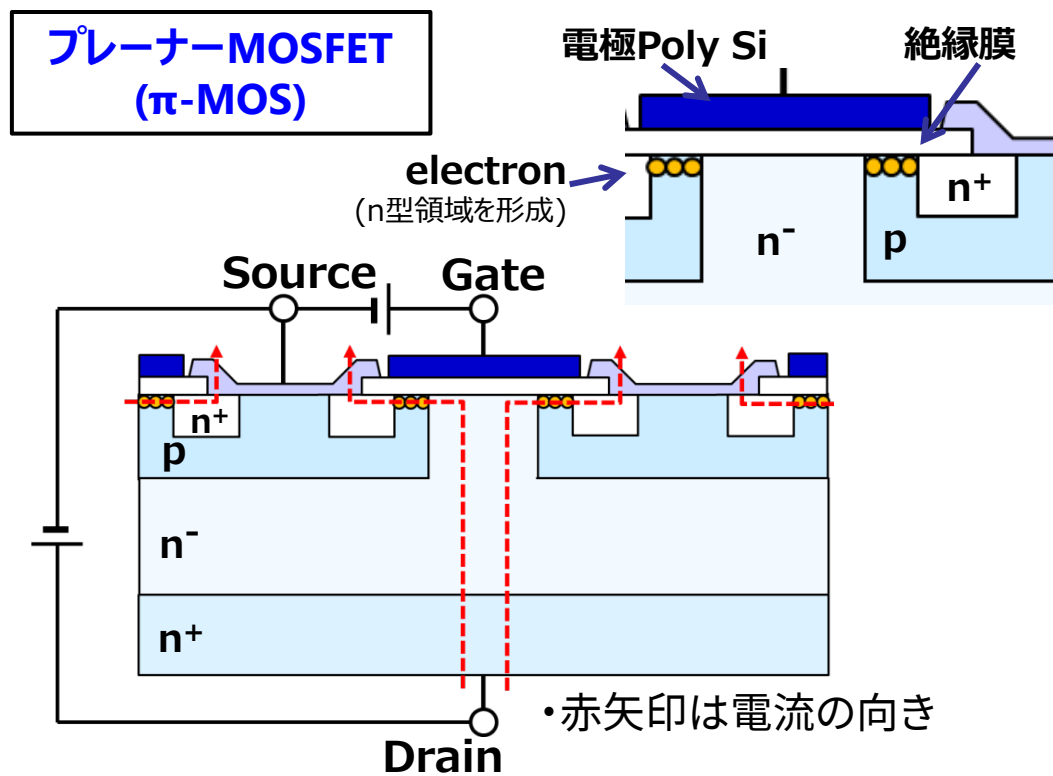
	入力インピーダンス	帰還容量	安全動作領域
MOSFET (電圧駆動素子)	大きい	小さい	広い
BJT (電流駆動素子)	小さい	大きい	狭い

BJTとMOSFETの動作

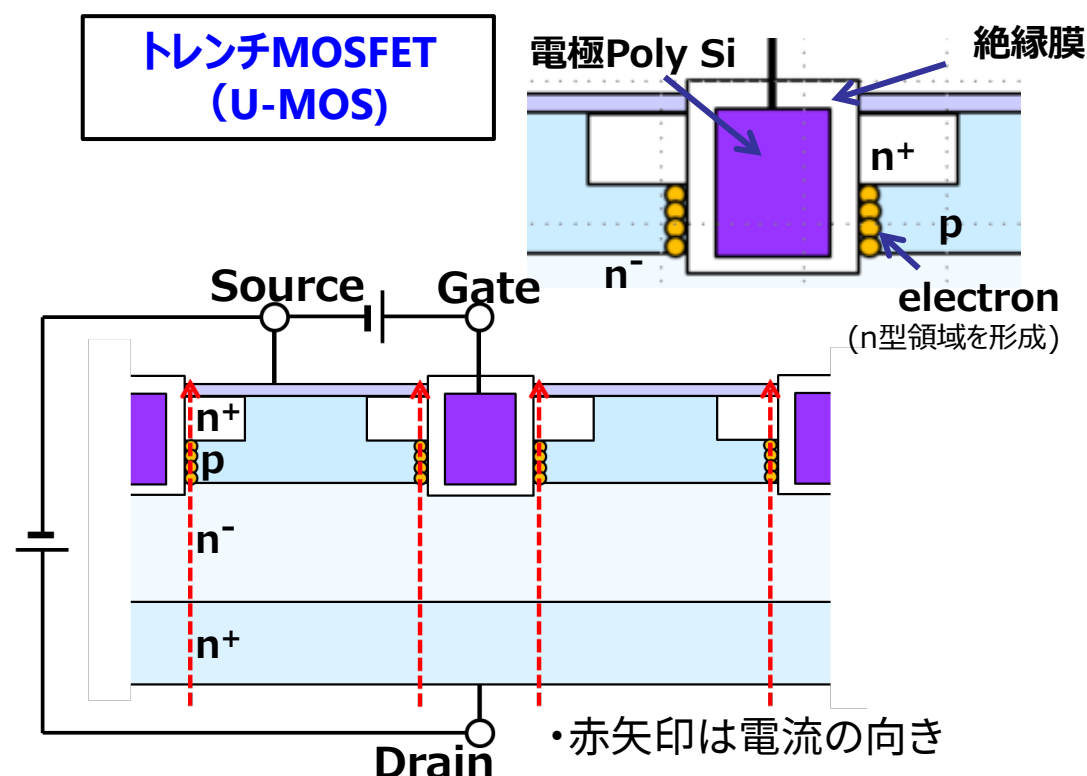
	動作	スイッチング動作
BJT	<p>ベース電圧を上げていくとベース電流が流れ始め、そのベース電流に比例してコレクター電流が流れます。この流れ始める電圧は約0.7Vで、この電圧の事を、ベース・エミッター間の<u>スレッシュホールド電圧V_{BE}</u>と呼びます。コレクター電流を流す為にはベース電流を流す必要があり、<u>継続的にドライブ用の電力が必要です</u>。</p> <p>(駆動電圧が低い、継続的なドライブ電力が必要)</p>	 <p>The diagram shows a BJT switching circuit. The base is connected to a square wave input (VIH to 0V) through a resistor. The collector is connected to a load resistor (負荷) and a square wave output (VOH to VOL). The emitter is grounded. Annotations include: 'スイッチング動作ではベース電流制御用に必ず必要' (Base current control is always necessary for switching operation), '電流を流すことでON' (Turns ON by flowing current), and 'スレッシュホールド電圧V_{BE}' (Threshold voltage V_{BE}).</p>
MOSFET	<p>ゲート・ソース間電圧によりチャネルを形成するので駆動電圧は<u>一定電圧以上が必要です</u>。ひとたびチャネルが形成されるとON状態は<u>継続</u>し、ドレイン電流は流れ続けます。このため<u>ドライブに必要な電力は小さく済みます</u>。OFF状態への移行は、ゲートに溜まった電荷を放電しチャネルを取り除くことで行います。</p> <p>(BJTに比べ駆動電圧が高い、小さなドライブ電力)</p>	 <p>The diagram shows a MOSFET switching circuit. The gate is connected to a square wave input (VIH to 0V) through a resistor. The drain is connected to a load resistor (負荷) and a square wave output (VOH to VOL). The source is grounded. Annotations include: '過度時の保護用など' (For protection during overdrive, etc.), '電圧を加えることでON' (Turns ON by adding voltage), and 'スレッシュ電圧V_{th}' (Threshold voltage V_{th}).</p>

MOSFETの構造と動作

- ① ドレイン・ソース間にドレイン+極性で電圧を印加します。(ドレイン・ソース間電圧： V_{DS})
- ② ゲート・ソース間にゲート+極性で電圧を印加します。(ゲート・ソース間電圧： V_{GS})
- ③ その結果、ゲート酸化絶縁膜直下のp型領域に電子(エレクトロン)が引き寄せられ、p型領域の一部がn型化されます。
(このp型領域のn型化された層のことを“反転層 (チャネル)”といいます。)
- ④ ③の反転層によりMOSFETは、ドレイン側より $n^+ \rightleftharpoons n^- \rightleftharpoons$ 反転層(n) $\rightleftharpoons n^+$ と全領域がn型領域となります。
- ⑤ この結果、MOSFETは低抵抗として動作するので、印加された V_{DS} と負荷で決定されるドレイン電流が流れる事になります。



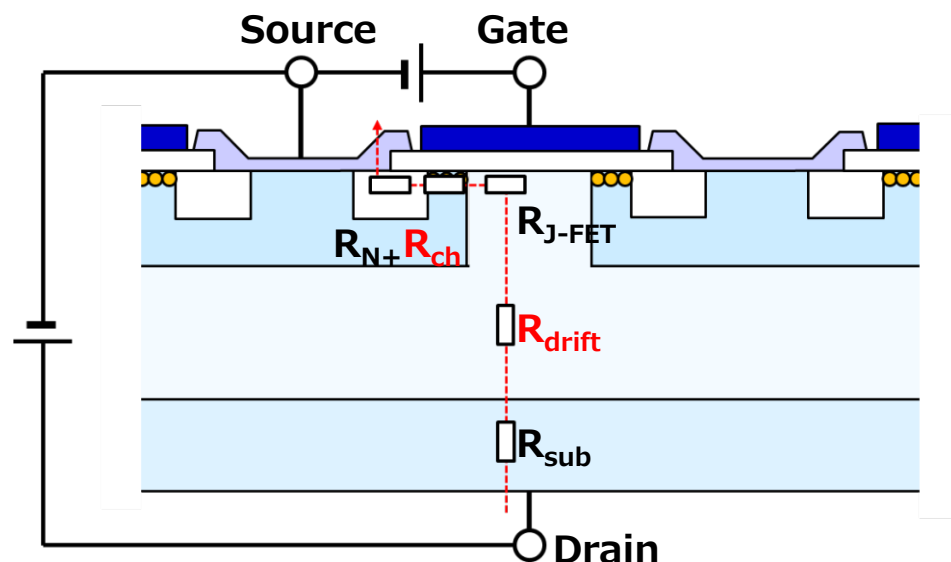
プレーナーMOSFETの構造と動作



トレンチMOSFETの構造と動作

MOSFET: $R_{DS(ON)}$ の決定要因

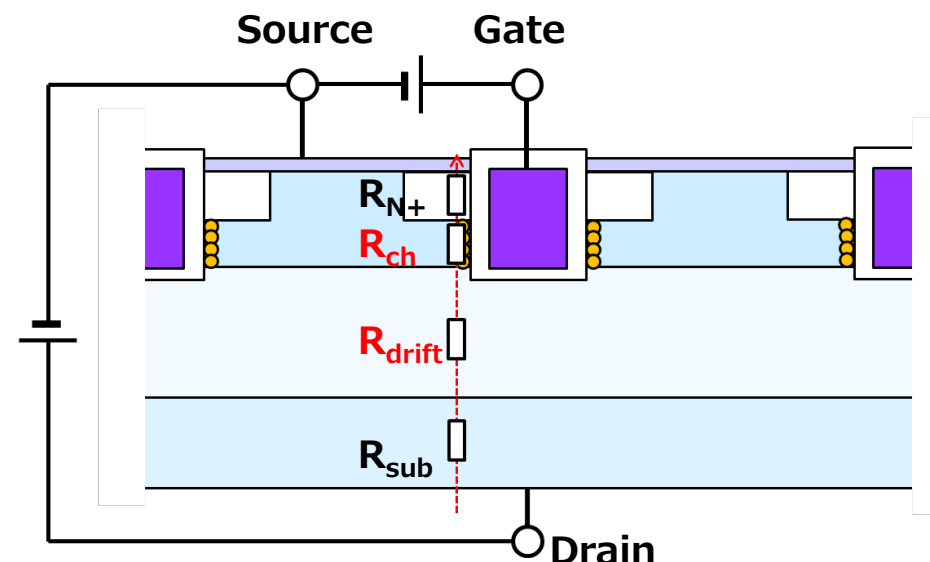
プレーナーMOSFET (π -MOS)



プレーナーMOSのオン抵抗決定因子

$$R_{DS(ON)} = R_{sub} + \underline{R_{drift}} + R_{J-FET} + \underline{R_{ch}} + R_{N+}$$

トレンチMOSFET (U-MOS)



トレンチMOSのオン抵抗決定因子

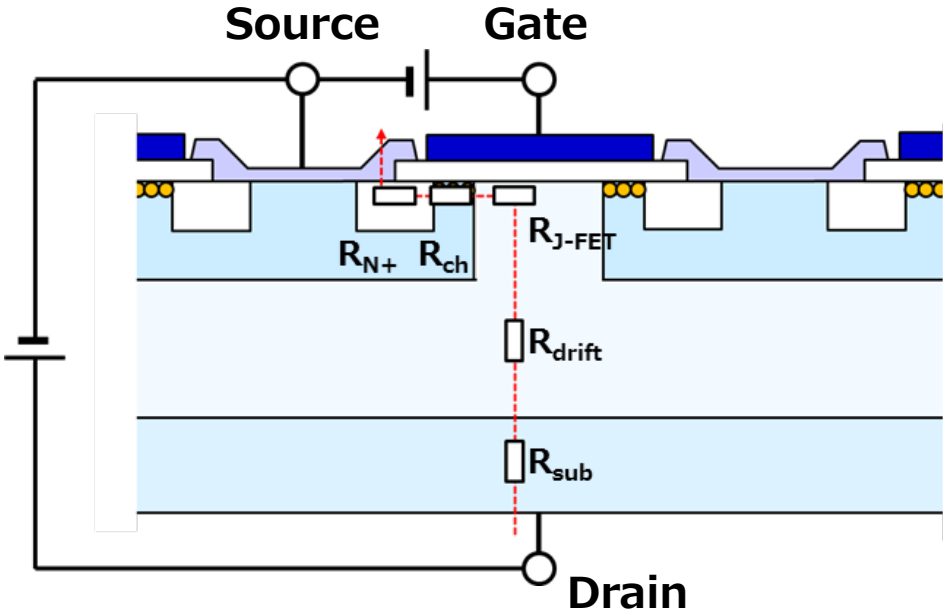
$$R_{DS(ON)} = R_{sub} + \underline{R_{drift}} + \underline{R_{ch}} + R_{N+}$$

【デバイスの構造・耐圧により $R_{DS(ON)}$ を決定する因子の比率が変化する】

$V_{DSS}=600V$ の場合: $R_{drift} \gg R_{ch} > R_{J-FET}, R_{N+}, R_{sub} \Rightarrow R_{drift}$ で $R_{DS(ON)}$ は決定されます。

$V_{DSS}=30V$ の場合: ● π -MOS --- $R_{ch} + R_{J-FET} > R_{drift} \gg R_{sub}, R_{N+}$ ● U-MOS --- $R_{ch} \approx R_{drift} \gg R_{sub}, R_{N+}$
 \Rightarrow U-MOS構造による微細化で R_{ch} が大幅に低下し、 $R_{DS(ON)}$ を下げる事が出来ます。

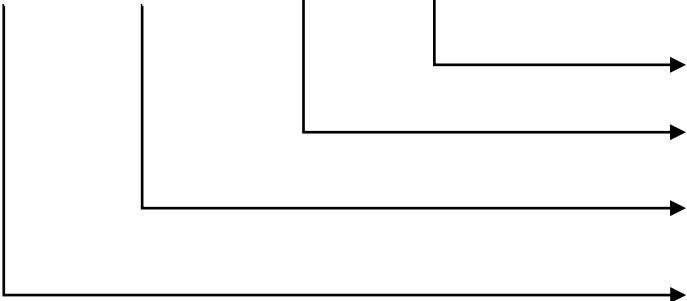
MOSFET：低 $R_{DS(ON)}$ 化



MOSFETのオン抵抗因子

低オン抵抗化への取組概要

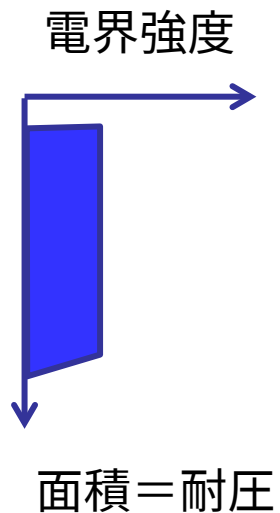
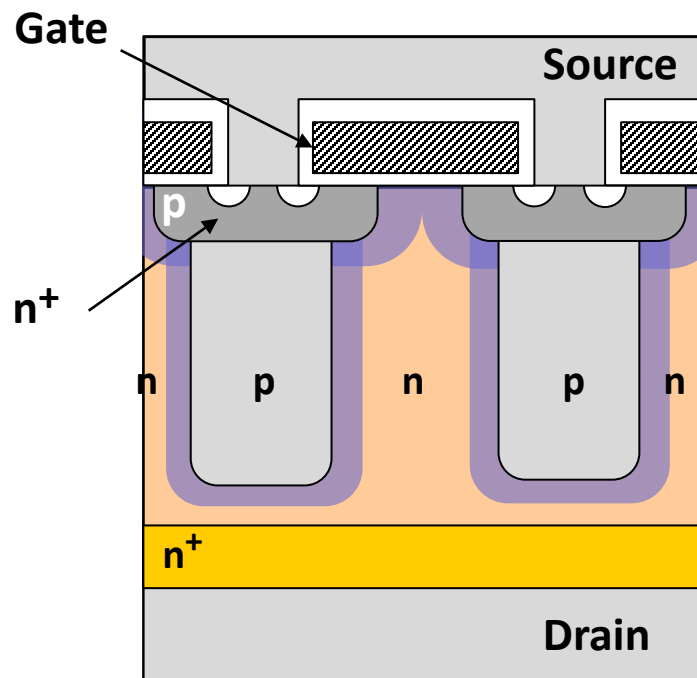
$$R_{ON} = R_{sub} + R_{drift} + R_{J-FET} + R_{ch} + R_{N+}$$



低オン抵抗化手法	短所	改善策
微細化	Ciss増加	短ch化
微細化 Trench	同上	Trench化+短ch化
Super Junction化	製造TATが長い	Single Epi化
薄Wafer化 (N++高濃度化)	製造が難しい	薄Wafer技術導入

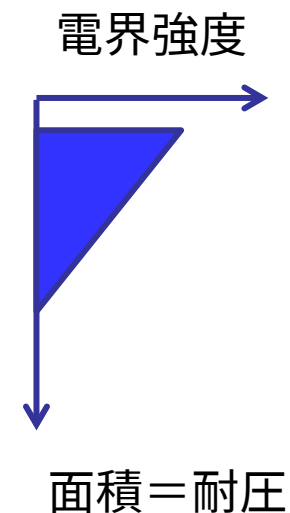
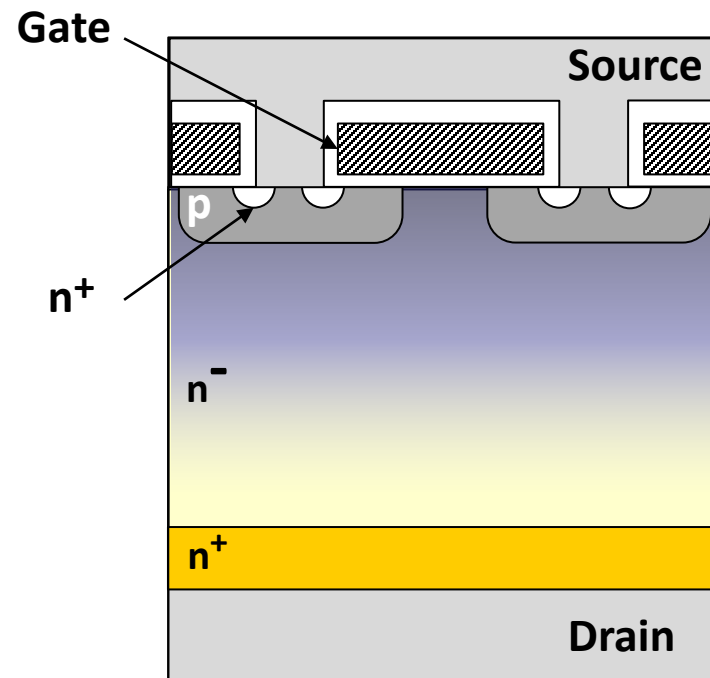
Super Junction MOSFET

SJ-MOS (DTMOS)



SJ-MOSの構造と電界

DMOS (π -MOS)



DMOSの構造と電界

MOSFETの構造別特長

各種MOSFETの特徴と応用

東芝名称		U-MOS	π-MOS	DTMOS
一般名称		トレンチMOSFET	DMOS プレーナーMOSFET	SJ-MOS
耐圧		○ ～250V	◎ ～900V	◎ 600V～
低オン抵抗化		◎	△	◎
大電流化		◎	△	◎
高速化		○／◎	○	◎
応用	分野	バッテリー応用	中小容量コンバーター	大・中容量コンバーター
	機器	NBPC、DC-DCコンバーター、 車載モーター機器	チャージャー、アダプター 中小型TV、LED照明	基地局・サーバー電源、中・大型TV、 パワーコンディショナー

- ◇ 耐圧：ターゲットとする耐圧に対し、最適な構造を選択しています。

◇ 低オン抵抗化：250V以下の製品ではU-MOSが、それ以上ではSJ-MOS(またはDTMOS)が有利となります。

◇ 大電流化：低オン抵抗化と同じ傾向になります。

◇ 高速化：U-MOSはゲートの容量(C_{iss})が増加するため高速スイッチングには不利になります。
ただし製品によっては低オン抵抗特性を生かし、 $R_{on} \times C_{iss}$ を小さく設計した高速スイッチング用も製品化されています。

MOSFET: ドレイン電流と許容損失

P_D : 許容損失

⇒ 指定の温度条件でデバイスが許容できる電力損失(許容電力)

Q) $T_{ch(max)}=150\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_c=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $R_{th(ch-c)}:3.13\text{ }^{\circ}\text{C/W}$ のMOSFET の P_D は?

$$A) \quad P_D = \frac{T_{ch\ max} - T_c}{R_{th(ch-c)}} = \frac{150\text{ }^{\circ}\text{C} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}}{3.13\text{ }^{\circ}\text{C/W}} = 39.9\text{ W} \div \underline{40\text{ W}}$$

I_D : ドレイン電流

⇒ DC定格、順方向に直流で流せる電流値 (常温で定義される)

Q) $P_D=40\text{ W}$ 、 $R_{DS(ON)}=0.16\text{ }\Omega\text{ Max}$ のMOSFETの I_D 定格は?

$$A) \quad I_D = (P_D / R_{DS(ON)})^{1/2} = (40\text{ W} / 0.16\text{ }\Omega)^{1/2} = 15.8\text{ A}$$

I_{DP} : パルスドレイン電流*

⇒ 指定されたパルス幅のドレイン電流値、一般的にDC定格の4倍程度

* 一部保証していない製品もあります

MOSFET:アバランシェ耐量

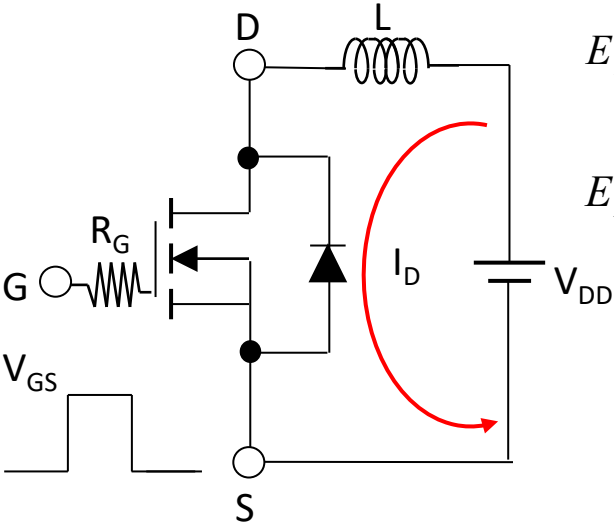
アバランシェエネルギー

⇒指定の条件下で、 V_{DS} を超えて印加しても
許容できるエネルギーの最大値

アバランシェ電流

⇒アバランシェ降伏時の最大許容電流

SJ-MOS(DTMOS)は、DMOS(π -MOS)に比べ
電流密度が大きく、アバランシェ耐量は、
同一電流定格の場合小さくなります。



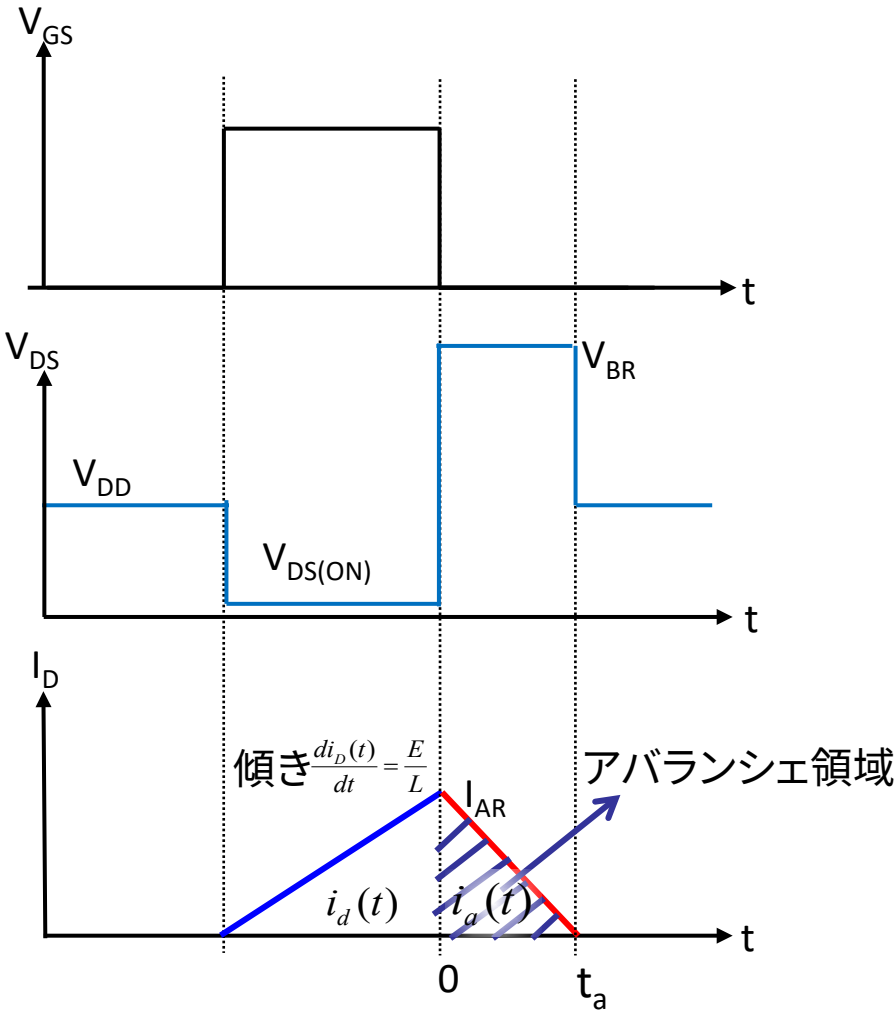
$$E_{AS} = \int_0^{t_a} i_a(t) V_{BR} dt, i_a(t) = I_{AR} \left(1 - \frac{t}{t_a} \right)$$

$$E_{AS} = \int_0^{t_a} I_{AR} V_{BR} \left(1 - \frac{t}{t_a} \right) dt$$

$$= I_{AR} V_{BR} \left[t - \frac{t^2}{2t_a} \right]_0^{t_a}$$

$$= \frac{t_a}{2} (I_{AR} V_{BR})$$

アバランシェ耐量 (エネルギー、電流) 試験回路・波形と
アバランシェエネルギーの算出方法



MOSFET:容量特性

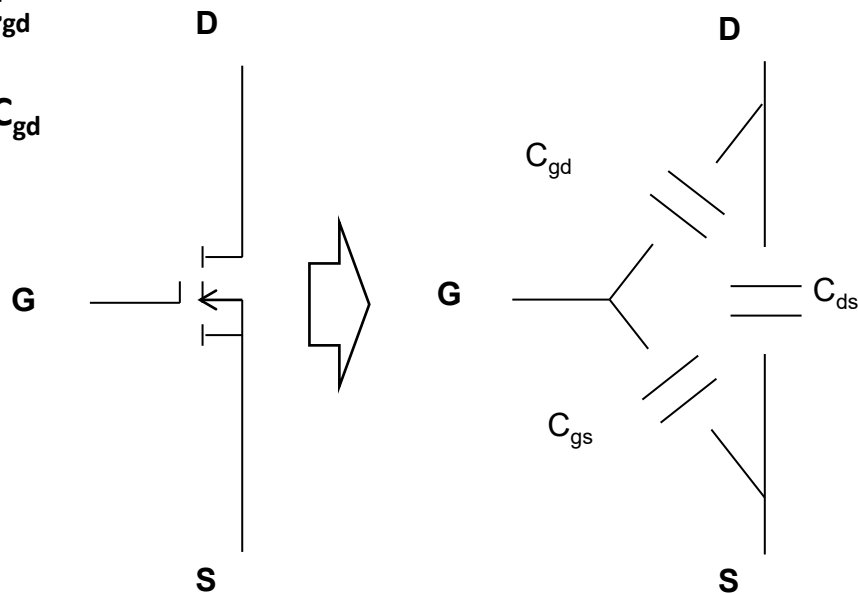
C_{iss} 、 C_{rss} 、 C_{oss} いずれの容量特性もMOSFETのスイッチング特性に影響を及ぼす重要な要素

C_{iss} : 入力容量 ($C_{iss} = C_{gd} + C_{gs}$) \Rightarrow ゲート・ドレイン間容量とゲート・ソース間容量の和: 遅延時間に影響
 C_{iss} が大きくなる程、遅延時間が長くなります。

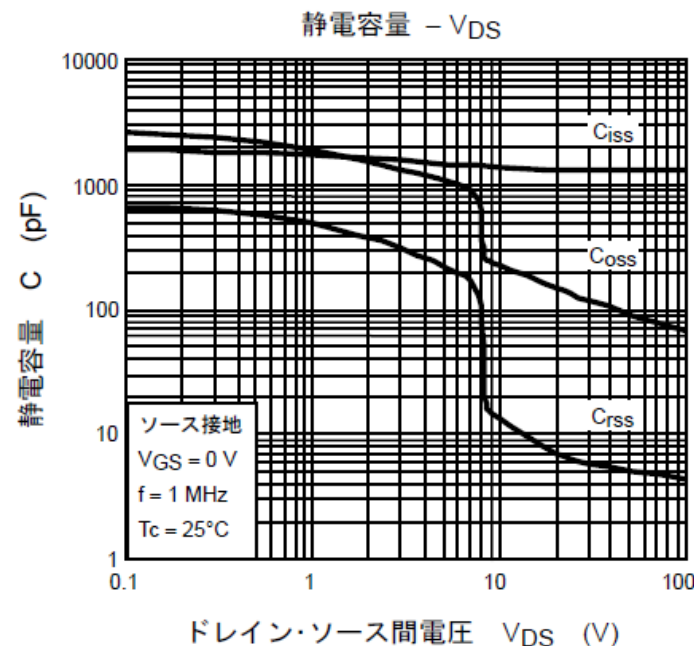
C_{rss} : 帰還容量 ($C_{rss} = C_{gd}$) \Rightarrow ゲート・ドレイン間容量: 高速化のためには低容量化が必要
 C_{rss} が大きい場合、ドレイン電流立ち上がり特性が悪くなり損失的に不利に働きます。

C_{oss} : 出力容量 ($C_{oss} = C_{gd} + C_{ds}$) \Rightarrow ゲート・ドレイン間容量とドレイン・ソース間容量の和: ターンオフ特性及び軽負荷時の損失へ影響
 C_{oss} 大の場合、ターンオフ dv/dt は小さくなりノイズ的には有利ですが、軽負荷時の損失が大きくなります。

$$\begin{aligned}C_{iss} &= C_{gs} + C_{gd} \\C_{rss} &= C_{gd} \\C_{oss} &= C_{ds} + C_{gd}\end{aligned}$$



MOSFETの容量モデル

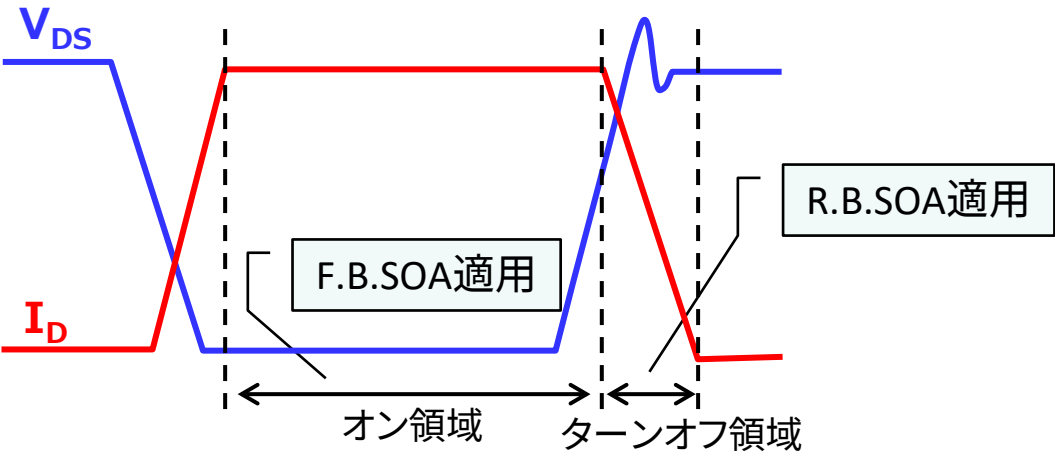


MOSFETの代表的な容量特性

MOSFET:安全動作領域 (Safe Operating Area or Area of Safe Operating: SOA)

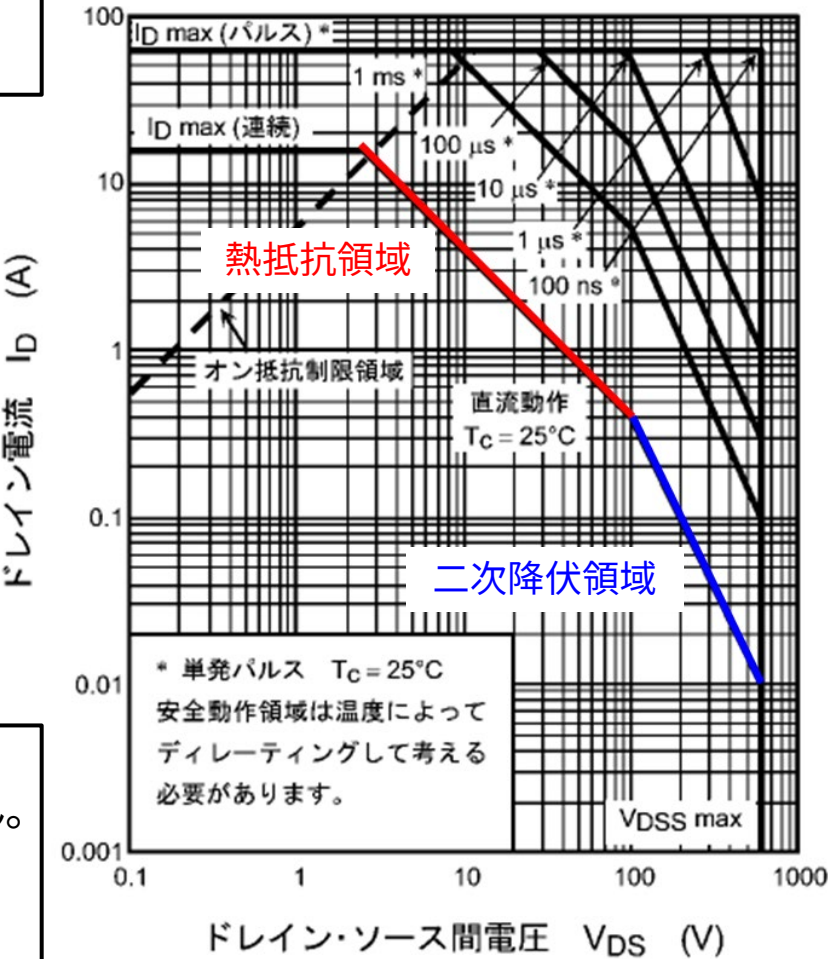
2つのモードの安全動作領域

- ①Forward Bias SOA (F.B. SOA) : オン状態における電流－電圧の可使用領域を表す
- ②Reverse Bias SOA (R.B. SOA) : ターンオフ時の電流－電圧可使用領域を表す



実動作におけるSOAの定義

- MOSFETは、アバランシェの保証のようにターンオフ時の定格電圧・電流動作（短時間）が一般的に保証されておりR.B.SOAは発表されていません。
- F.B.SOAは、電流(定格 I_D 他)、電圧(定格 V_{DS})、熱抵抗の3つの制限領域と二次降伏領域から成ります。
- 3つの制限領域は、各デバイスの定格、熱抵抗から算出されるが、二次降伏領域は、デバイスの実測から求められます。



MOSFETのF.B.SOA事例

IGBT

《IGBT》 (Insulated Gate Bipolar Transistor: 絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)

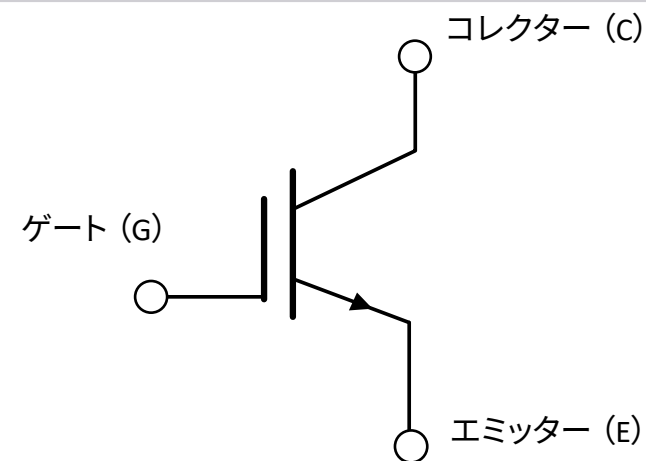
前段に電圧駆動のMOSFETを用い、後段に大電流を流せるトランジスターを組み合わせた大電流制御に適したデバイスです。

《等価回路と動作内容》

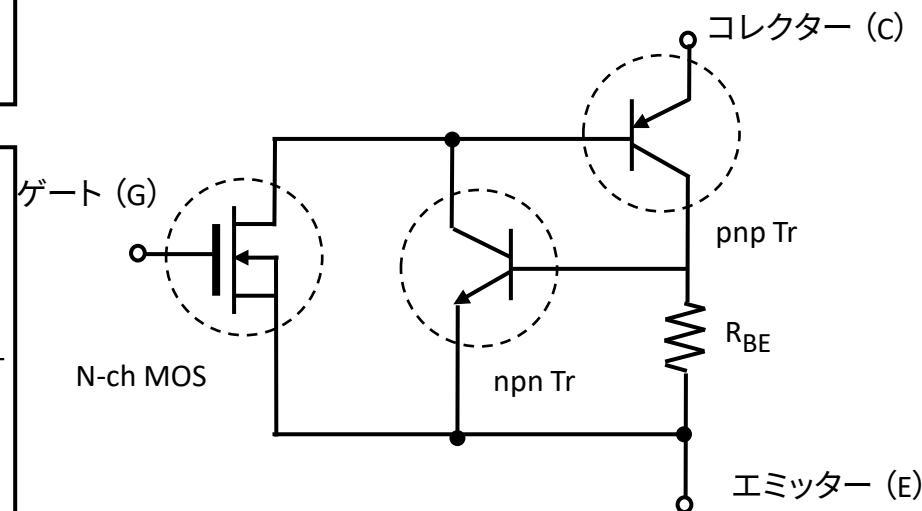
- npn Trは、 R_{BE} により動作しないように設計されています。
- N-ch MOSのゲートにオン信号を与えるとN-ch MOSが導通状態になります。
- その結果、**pnp Trのエミッターからベースへ電流が流れます。**このベース電流は、**N-ch MOSのオン抵抗を下げる働きをします。**(伝導度変調)

《MOSFETとの対比》

- ゲートドライブは、N-chのMOSFETと同じです。
- オン状態時、N-ch MOSのオン抵抗が小さくなり**大電流の通電が可能となります。**
- pnp Trのエミッター・ベース間の電圧降下が全電流領域で発生します。
(約1.0V程度がオン電圧として**上積み**されます。)



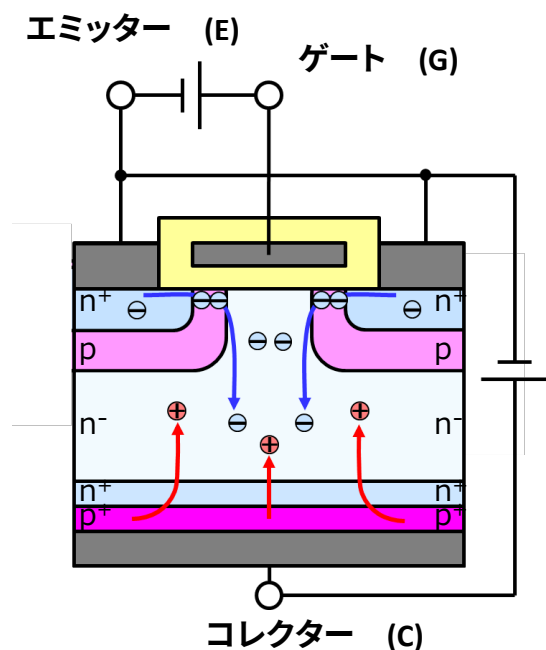
IGBTの記号



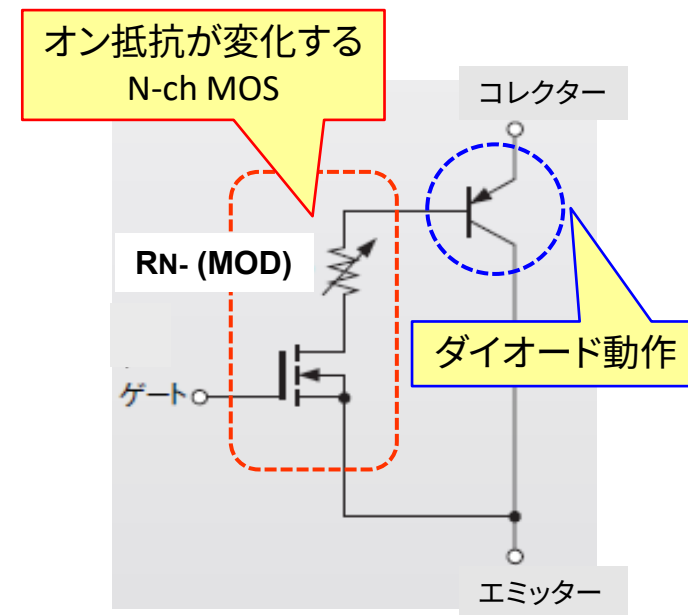
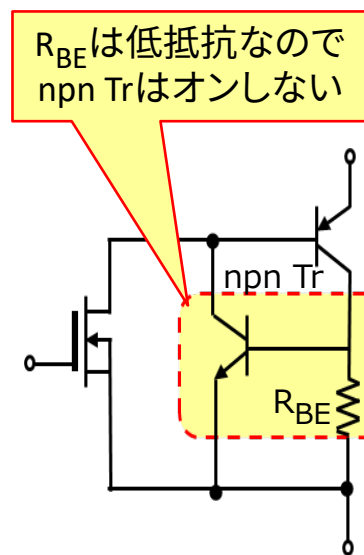
IGBTの内部等価回路

IGBTの動作

- ① ゲートに正電圧が印加されておりゲート直下のP層に反転層ができ、通常のN-ch MOSFETと同様にN-ch MOSがオン状態となります。
- ② N-ch MOSがオン状態になるとコレクター電極が+電位で有るため、コレクター側のP+層からN+層を經由してN-層に正孔(ホール: +電荷)が注入され、この注入された正孔によりエミッター側からの電子の注入が加速されます。
- ③ 高抵抗層であるN-層における電子・正孔量すなわちキャリア量が増加しN-層の抵抗値を下げる働きをします。(伝導度変調)



IGBTの動作



IGBTの等価回路と実動作上の回路イメージ

RC-IGBT/IEGTとは

RC-IGBT (Reverse Conductive : 逆導通 IGBT)

◇ IGBTチップのコレクターであるp層にn層による開口部を設けダイオードを構成します。このダイオードは、一般のIGBTに挿入されるFWD(*1)と同様な働きをします。

◇ 薄ウェハー技術の導入に伴い製品化が可能となりました。

ダイオードとIGBTが、1チップのため組立が簡単で安価な製品が可能となりますが、両者の性能を分離して制御することが困難なため、適合しない応用があります。

(*1:FWD—Free Wheeling Diodeの略で一般的にリアクタンスの逆起電力の転流用に用いられます。)

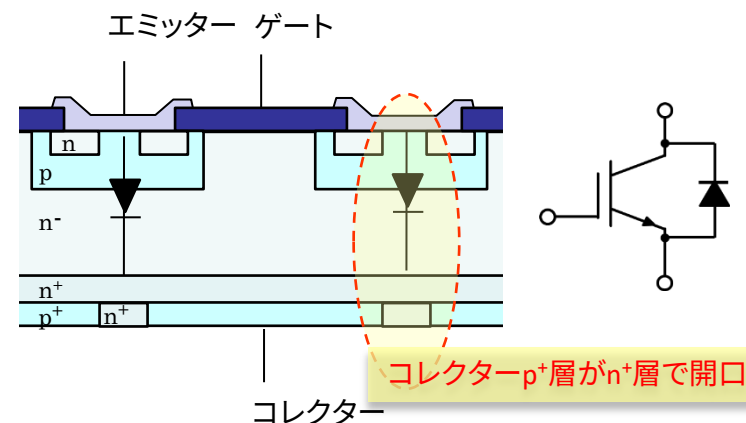
IEGT (Injection Enhanced Gate Transistor: 注入促進型IGBT)

◇ 高耐圧のIGBTは、エミッター側のドリフト層 (n^- 層) のキャリア濃度が低下し低 $V_{CE(sat)}$ 特性を得ることが難しくなります。

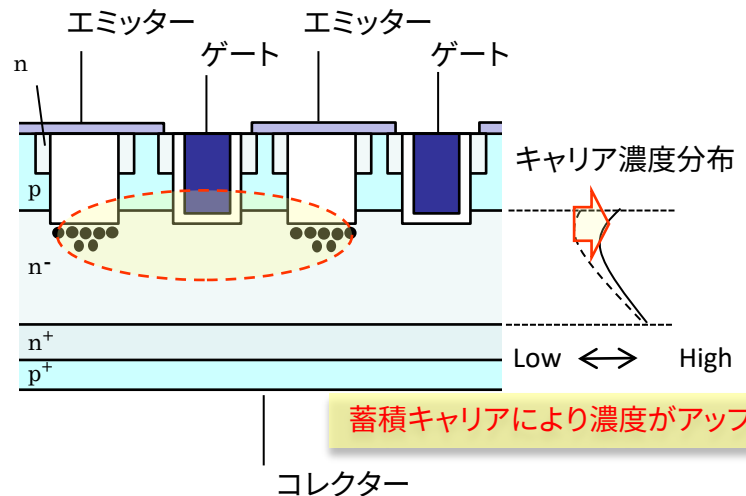
◇ IEGTは、高耐圧 (一般的には1200V以上) で低 $V_{CE(sat)}$ 性能を得るために開発されました。

◇ トレンチゲート構造でかつゲート電極の引き出しを間引いています。その結果、間引かれたゲート電極直下にキャリアが蓄積されエミッター側のキャリア濃度を高めます。













◇ 高キャリア濃度によりドリフト層 (n^-) の抵抗値が低下、低 $V_{CE(sat)}$ 化を図れます。



RC-IGBTの構造



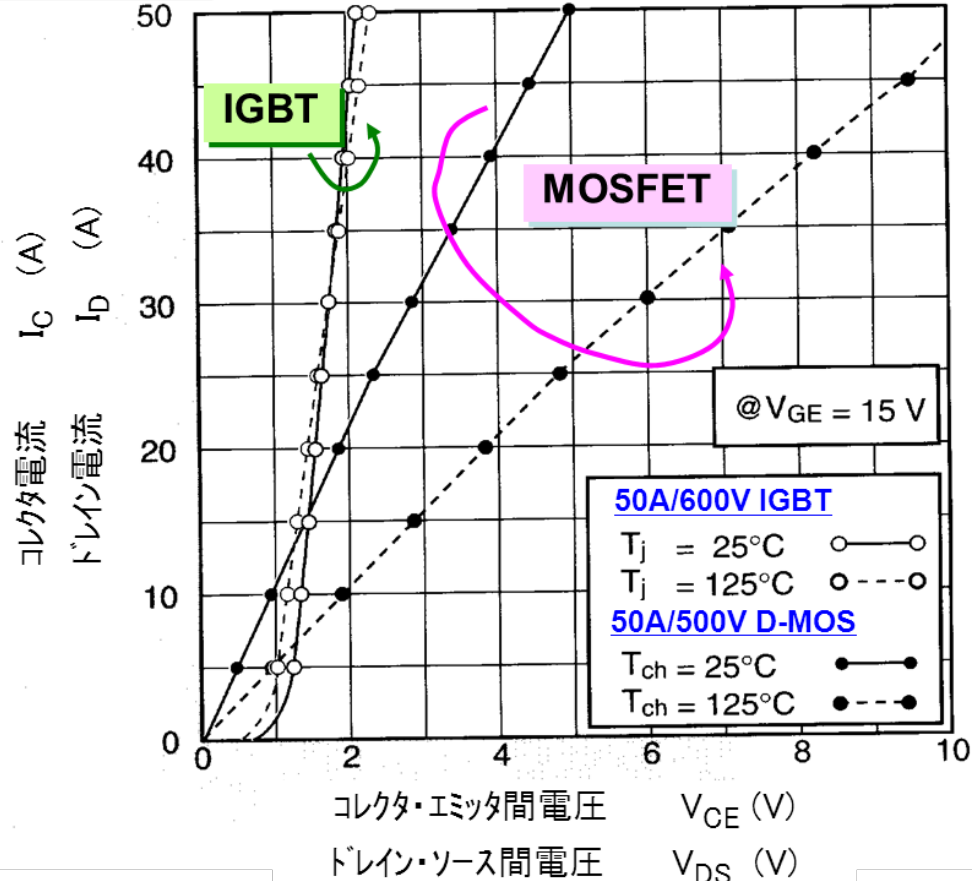
IEGTの構造とキャリア濃度

	調理家電・誘導加熱応用機器	汎用インバーター
特長	<div>① ソフトスイッチング専用 (電圧共振用／電流共振用)</div> <div>② 低スイッチング損失</div> <div>③ FWD内蔵</div> <div> TO-3P(N)</div>	<div>① ハードスイッチング用</div> <div>② 高破壊耐量</div> <div>③ FRD内蔵</div> <div><div> TO-220SIS</div><div> TO-3P(N)</div></div>
耐圧	600V ～ 1800V	600V
用途	<div> IH調理器</div> <div> IH炊飯器</div> <div> インバーター電子レンジ</div> <div> 複写機のIH定着加熱</div>	<div> インバーター洗濯機</div> <div> UPS</div> <div> インバーターコントローラ</div> <div> インバーターエアコン</div> <div> 車載用エアコン</div>

注：スイッチング周波数が50kHzを超えるハードスイッチングの場合、主としてMOSFETが使用されます。

IGBTとMOSFETの比較

順方向特性例



MOSFETとIGBTの順方向特性比較

小電流領域では、MOSFETが低い電圧降下であり優れた性能となります。

大電流領域において、IGBTの順方向特性はMOSFETに対して優れています。

MOSFETの順方向特性は、強い正の温度特性を有していますので高温・大電流領域の性能で更にこの差は拡大します。

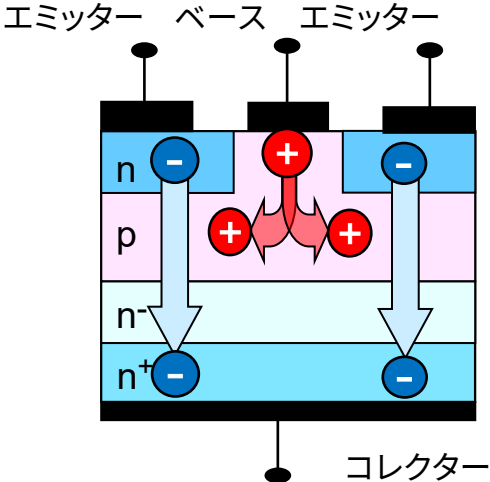
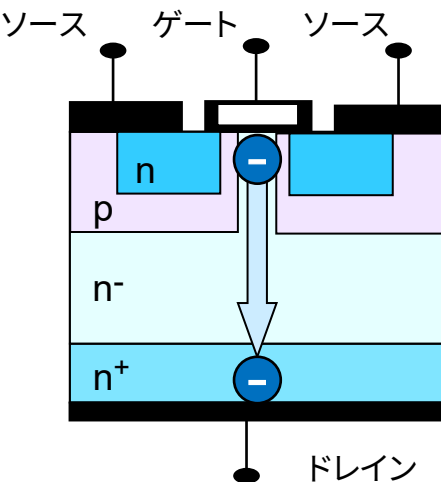
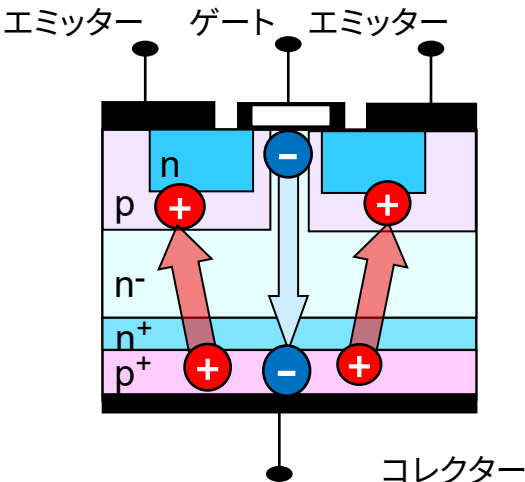
中・高耐圧製品で比較した場合の例です。
トレンチMOSFETのように低耐圧品は、非常にオン抵抗が小さく、実動作電流領域ではMOSFETの方が小さくなります。

本特性及びそのスイッチング性能 (MOSFETがより高速スイッチング性能) から

◇ MOSFETは、スイッチング電源のような100kHz前後で低電流密度の応用

◇ IGBTは、インバーターのような20kHz前後以下の周波数で高電流密度の応用に多用されています。

各トランジスタの比較まとめ

トランジスタの構造	BJT	MOSFET	IGBT
	 <p>エミッター ベース エミッター</p> <p>コレクター</p>	 <p>ソース ゲート ソース</p> <p>ドレイン</p>	 <p>エミッター ゲート エミッター</p> <p>コレクター</p>
ゲート(ベース)ドライブ方式	電流ドライブ (低入力インピーダンス)	電圧ドライブ (高入力インピーダンス)	電圧ドライブ (高入力インピーダンス)
ゲート(ベース)ドライブ回路	複雑 (部品点数大)	容易	容易
順方向特性	低 $v_{CE(sat)}$	高 $v_{CE(sat)}$ (大電流領域) スレッショールド電圧無	低 $v_{CE(sat)}$ スレッショールド電圧有
スイッチング速度	低速 (キャリア蓄積効果有り)	超高速 (ユニポーラ動作)	高速 (MOSFETとBJTの中間)
FWD (含内蔵ダイオード)	無	有 (Body diode)	無 (RC構造*では有)
安全動作領域	狭いSOA領域	広いSOA領域	中間的SOA領域

*: IGBTと並列にダイオードを持つ構造のIGBTです。(RC-IGBT: Reverse-conducting IGBT)

TOSHIBA