





# アナログ電子回路

授業開始までしばらくお待ちください。

# 授業の受講に関して

- 講義資料（スライド等）は Google drive に置く。授業前には虫喰い状態のスライドのみを提供するが、授業後に穴埋め版を uncovered フォルダに置くので復習に活用されたい。  
<https://drive.google.com/drive/folders/1yzIsRZsVGFErhnfzn8Hycsn6nRPNCczn>



- 授業の録画も同じところに置く。
- ミニレポートは **Google Forms**  
(<https://forms.gle/MpUmErDi6qk8GSUC6>) に提出。

# 授業の進め方

- 出席は UNIPA で取るが、出席そのものは評価せず。極論するとテストのみ出席で他は全欠席でも A 評価はあり得る。なお、**不正出席をした場合は 21 点の減点**とする。
- 基本的には**中間演習と期末試験**で評価。
- 毎回ミニレポートを課す。出す者は提出期間を厳守すること。
- 試験の不合格者は**毎回のミニレポートと出席**で少し救済する。  
(しっかりした内容のミニレポートを概ね 9 割以上提出し、かつ UNIPA で 8 割以上遅刻せず出席していた場合最大 10 点程度の救済。提出数や出席数が少ない場合は救済幅が縮小する。いずれかが 7 割を下回ったら一切救済しない。締め切り後の提出は認めない。)
- スライド穴埋め版はその回の授業終了後に公開。
- 授業中に**スライドの誤りを見つけて指摘してくれた者には、誤り一箇所につき先着一名様限り 100 点満点 1 点相当の加点を行う。(ただしごく軽微なものなど、内容によっては加点しない場合もあり。)

2025

# S科アナログ電子回路

Analog Electronics

## 『真打ち！トランジスタ登場』

小林裕之

大阪工業大学 RD 学部システムデザイン工学科



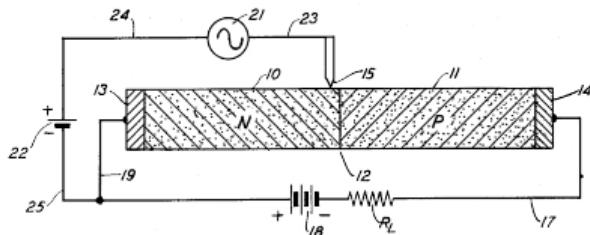
OSAKA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

4 of 14

a L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X + Beamer slideshow



左から Bardeen, Shockley, Brattain



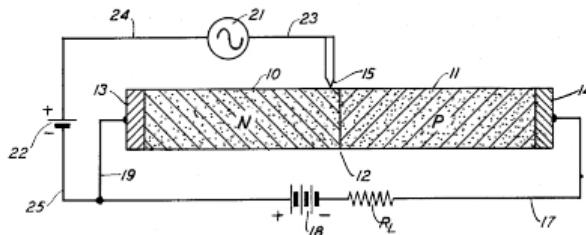
出典(上)en.wikipedia.org, (下)US 特許文書

- 1947年にアメリカの \_\_\_\_\_で発明される。(悲願がついに成就)
- 発明者の \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_は1956年に **ノーベル物理学賞**を受賞。
- これ以前の増幅器は真空管(1906)。壊れやすく信頼性が低かった<sup>a</sup>。
- いろいろな意味ですべてがここから始まった…。

<sup>a</sup>トランジスタが誕生して即、問題解決したわけではない。



左から Bardeen, Shockley, Brattain



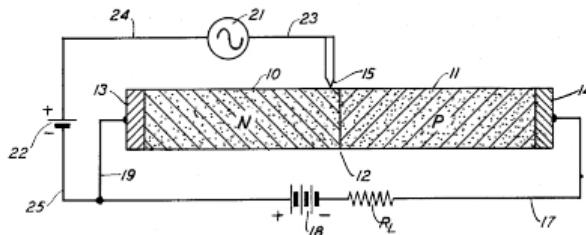
出典(上)en.wikipedia.org, (下)US 特許文書

- 1947年にアメリカの ベル研究所で発明される。(悲願がついに成就)
- 発明者の \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_は 1956年に **ノーベル物理学賞**を受賞。
- これ以前の増幅器は真空管(1906)。壊れやすく信頼性が低かった<sup>a</sup>。
- いろいろな意味ですべてがここから始まった…。

<sup>a</sup> トランジスタが誕生して即、問題解決したわけではない。



左から Bardeen, Shockley, Brattain



出典(上)en.wikipedia.org, (下)US 特許文書

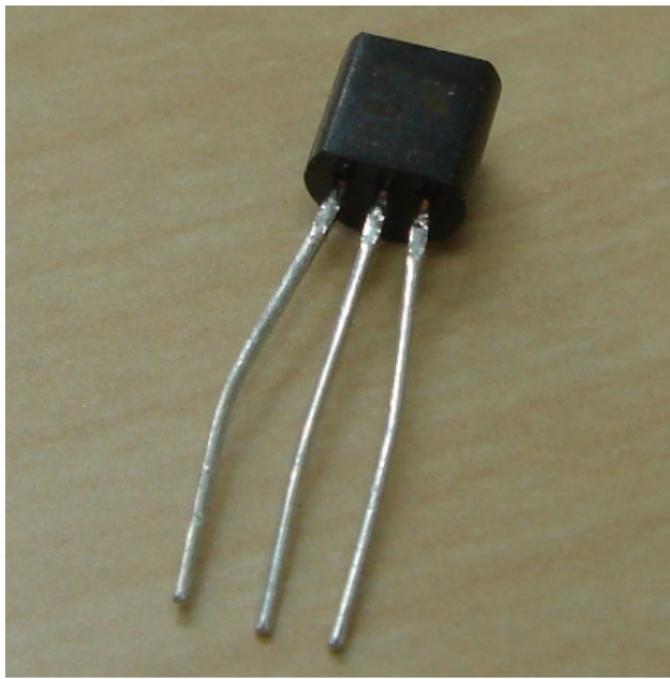
- 1947年にアメリカのベル研究所で発明される。(悲願がついに成就)
- 発明者のバーディーン, ブラッテン, ショックレーは1956年に**ノーベル物理学賞**を受賞。
- これ以前の増幅器は真空管(1906)。壊れやすく信頼性が低かった<sup>a</sup>。
- いろいろな意味ですべてがここから始まった…。

<sup>a</sup>トランジスタが誕生して即、問題解決したわけではない。

# コラム: 半導体部品のパッケージ

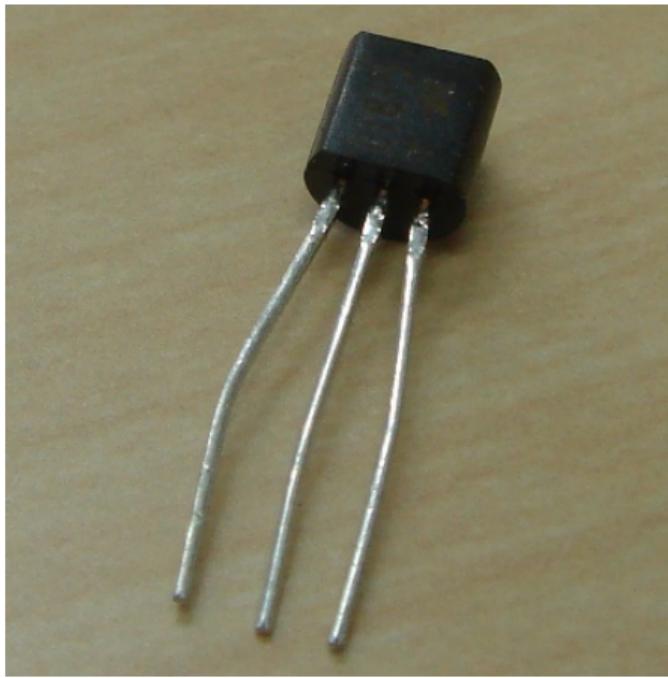


前ページで「即、問題解決したわけではない」と書いたトランジスタですが、一番の問題は水分やナトリウムなどの不純物でした(ということがわかるまでも大変だったらしいです)。空气中にいくらでもあるこれらを遮断するためにさまざまな「パッケージ」が開発されました。初期のトランジスタは金属の缶で外気を遮断する CAN パッケージ(写真左のデカいトランジスタおよびその右隣)が主流でしたが、とても高コストでした。その後プラスチックモールドパッケージが開発され、現代では(一般的な用途のふつうのトランジスタは)ほぼプラスチックモールドパッケージです。ちなみに CPU のパッケージもプラスチックモールド、セラミックなどいくつかあります。



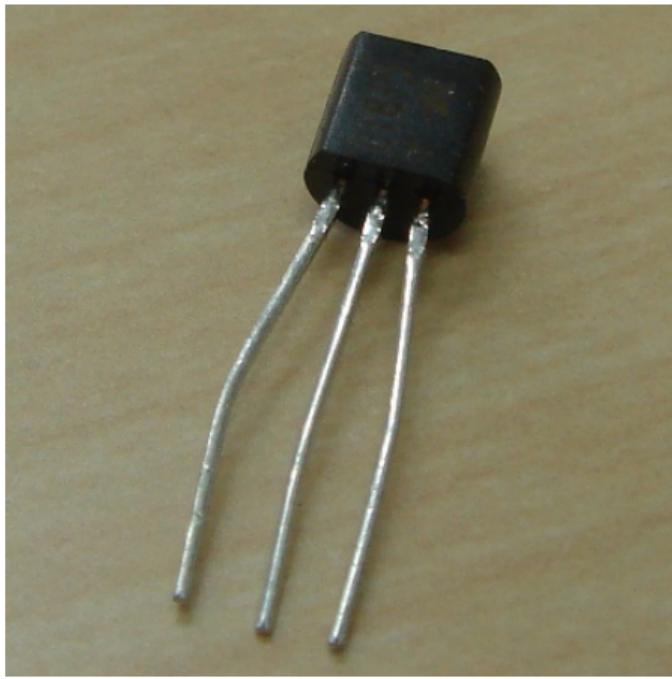
- (主として) 3 端子の素子
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, を持つ  
\_\_\_\_\_ トランジスタ
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, を持つ  
\_\_\_\_\_ トランジスタ

# TRANSISTOR = TRANS +



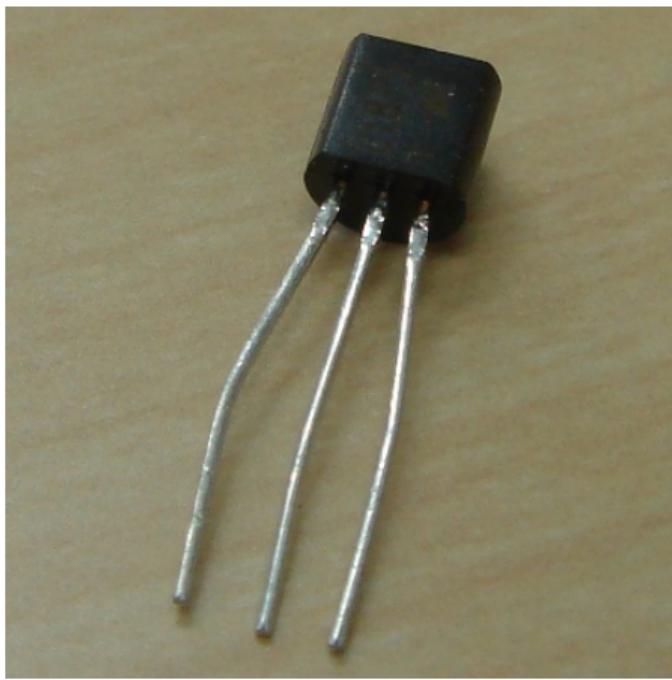
- (主として) 3 端子の素子
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, を持つ  
\_\_\_\_\_ トランジスタ
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, を持つ  
\_\_\_\_\_ トランジスタ

# TRANSISTOR = TRANS + RESISTOR



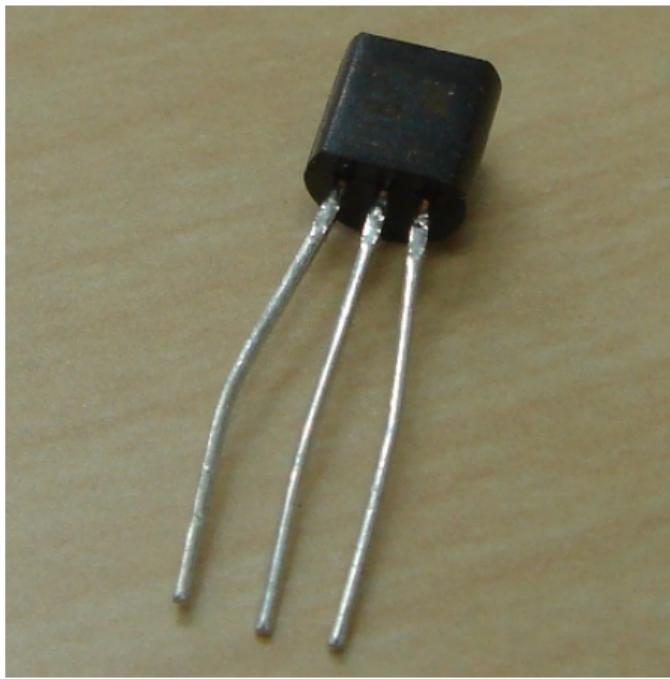
- (主として) 3 端子の素子
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, を持つ  
\_\_\_\_\_ **トランジスタ**
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, を持つ  
\_\_\_\_\_ **トランジスタ**

# **TRANSISTOR = TRANS + RESISTOR**



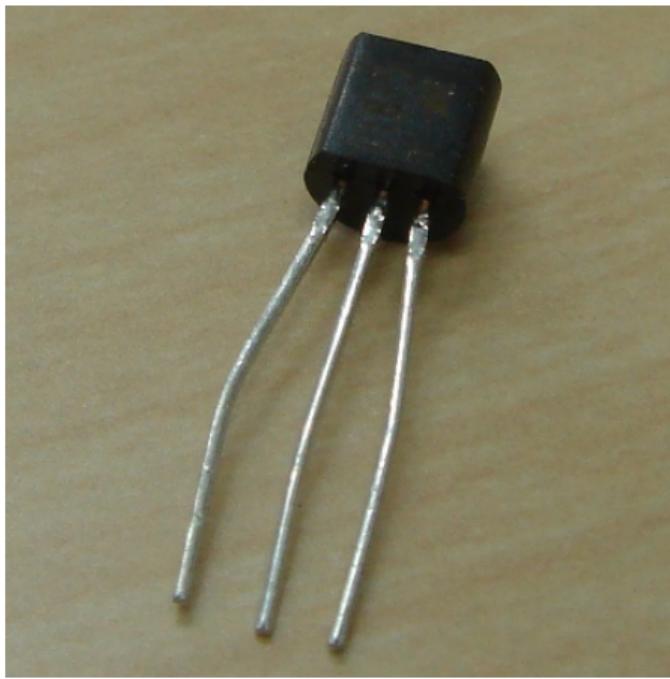
- (主として) 3 端子の素子
  - ベース (base),  
\_\_\_\_\_，  
持  
つ \_\_\_\_\_ **トランジスタ**
  - \_\_\_\_\_， \_\_\_\_\_  
持つ  
\_\_\_\_\_ **トランジスタ**

# TRANSISTOR = TRANS + RESISTOR



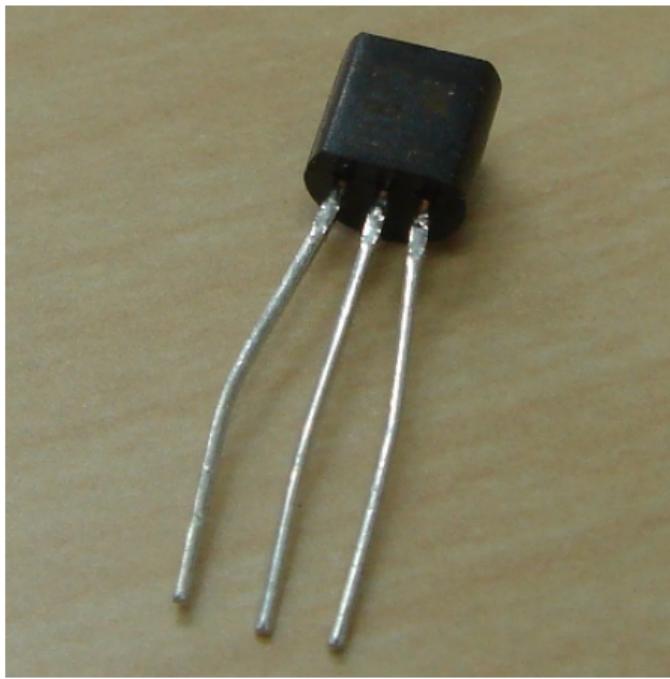
- (主として) 3 端子の素子
- ベース (base),  
エミッタ (emitter),  
を持つ  
\_\_\_\_\_ トランジスタ
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_,  
を持つ  
\_\_\_\_\_ トランジスタ

# TRANSISTOR = TRANS + RESISTOR



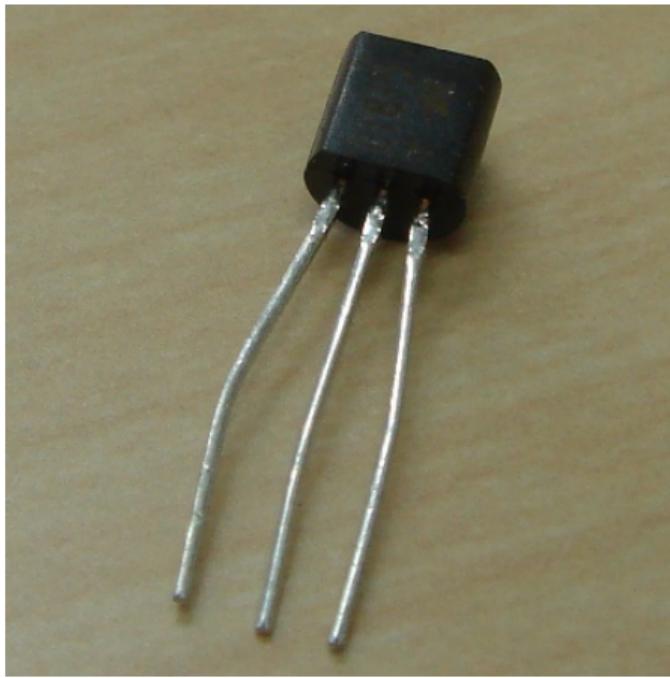
- (主として) 3 端子の素子
- ベース (base),  
エミッタ (emitter),  
コレクタ (collector) を持  
つ **トランジスタ**
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_,  
\_\_\_\_\_ を持つ  
**トランジスタ**

# TRANSISTOR = TRANS + RESISTOR



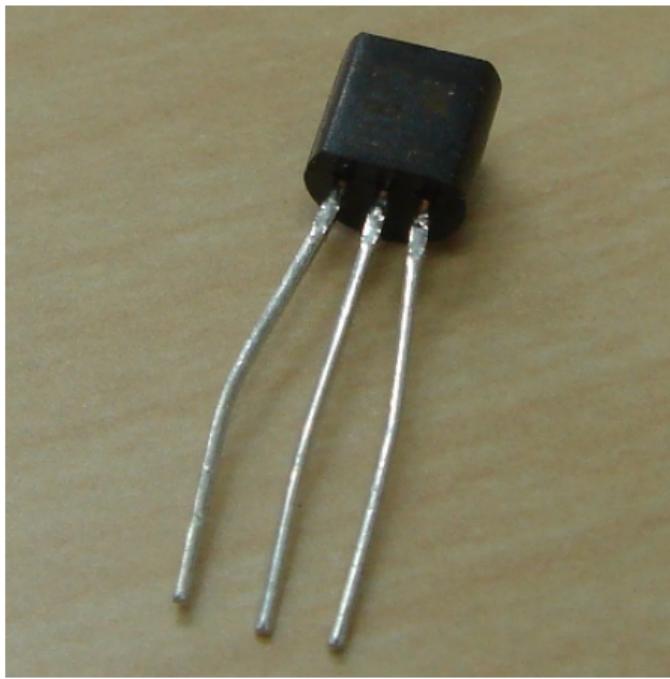
- (主として) 3 端子の素子
- ベース (base),  
エミッタ (emitter),  
コレクタ (collector) を持  
**つバイポーラ トランジスタ**
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_,  
\_\_\_\_\_を持つ  
**トランジスタ**

# TRANSISTOR = TRANS + RESISTOR



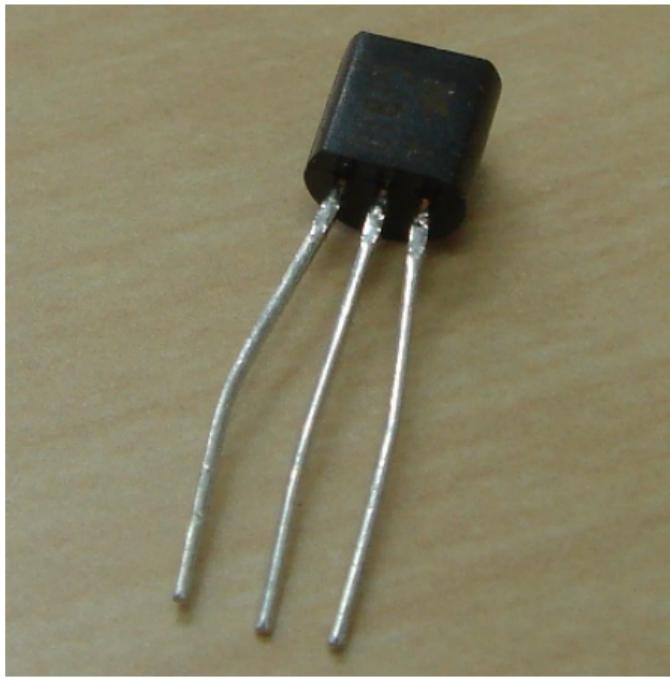
- (主として) 3 端子の素子
- ベース (base),  
エミッタ (emitter),  
コレクタ (collector) を持  
**つバイポーラ トランジスタ**
- ゲート (gate), \_\_\_\_\_,  
\_\_\_\_\_を持つ  
**\_\_\_\_\_トランジスタ**

# TRANSISTOR = TRANS + RESISTOR



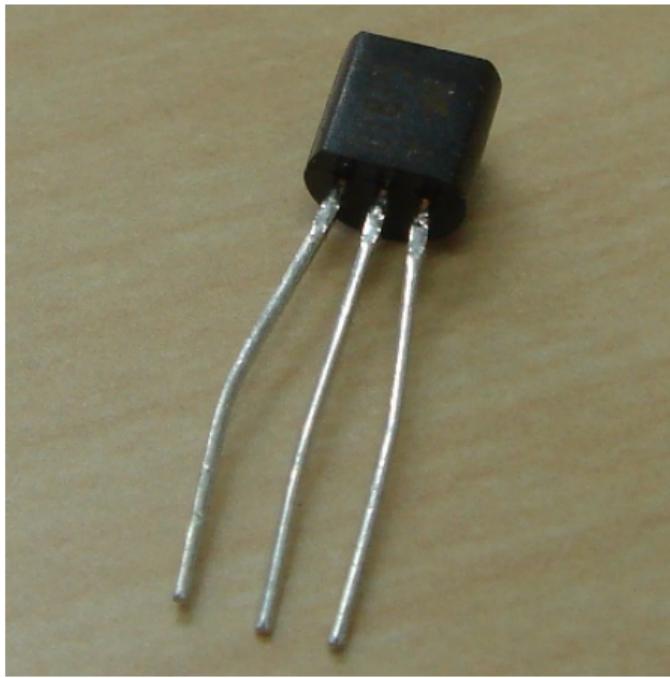
- (主として) 3 端子の素子
- ベース (base),  
エミッタ (emitter),  
コレクタ (collector) を持  
**つバイポーラ トランジスタ**
- ゲート (gate), ソース (source),  
を持つ  
**トランジスタ**

# TRANSISTOR = TRANS + RESISTOR



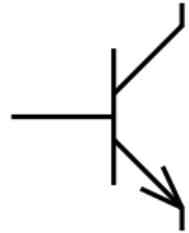
- (主として) 3 端子の素子
- ベース (base),  
エミッタ (emitter),  
コレクタ (collector) を持つ  
**バイポーラ トランジスタ**
- ゲート (gate), ソース (source),  
ドレイン (drain) を持つ  
**トランジスタ**

# TRANSISTOR = TRANS + RESISTOR

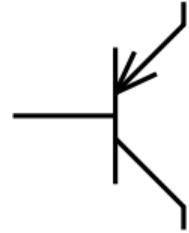


- (主として) 3 端子の素子
- ベース (base),  
エミッタ (emitter),  
コレクタ (collector) を持つ  
**バイポーラ トランジスタ**
- ゲート (gate), ソース (source),  
ドレイン (drain) を持つ  
**MOS トランジスタ**

# バイポーラトランジスタの記号



npn トランジスタ



pnp トランジスタ

矢印に注目！

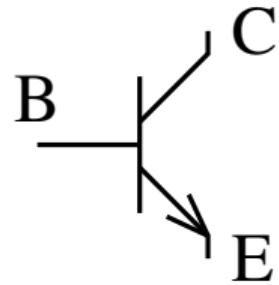
矢印が…

• エミッタ

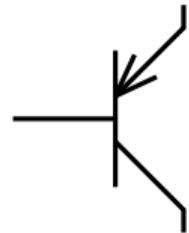
• 電流の向き

とすると覚えやすい。

# バイポーラトランジスタの記号



npn トランジスタ



pnp トランジスタ

矢印に注目！

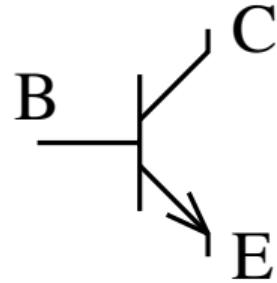
矢印が…

• エミッタ

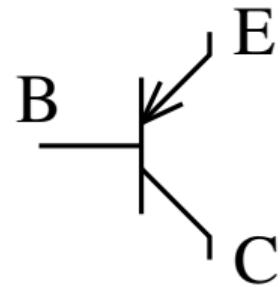
• 電流の向き

とすると覚えやすい。

# バイポーラトランジスタの記号



npn トランジスタ



pnp トランジスタ

矢印に注目！

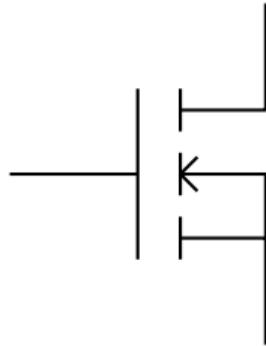
矢印が…

• エミッタ

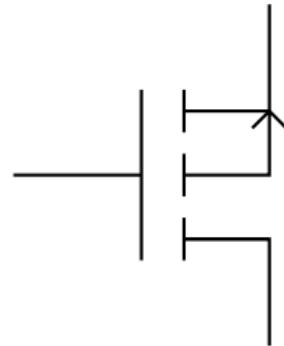
• 電流の向き

とすると覚えやすい。

# MOS トランジスタの記号



n チャネル  
MOSFET



p チャネル  
MOSFET

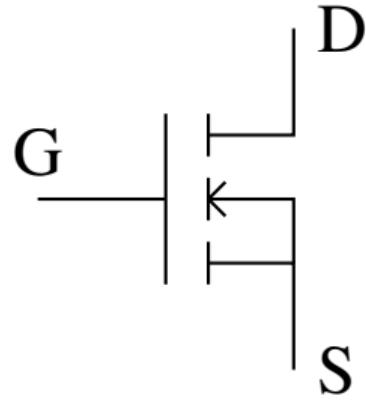
矢印に注目！

矢印が…

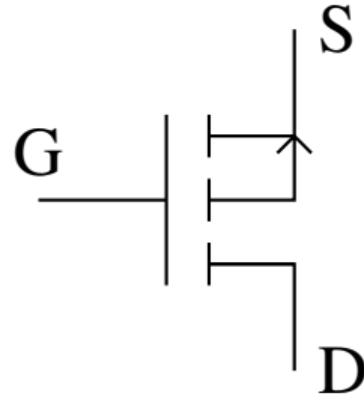
- ソース
- 電圧の向き

とすると覚えやすい。

# MOS トランジスタの記号



n チャネル  
MOSFET



p チャネル  
MOSFET

矢印に注目！

矢印が…

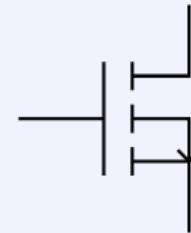
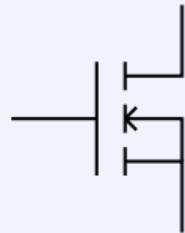
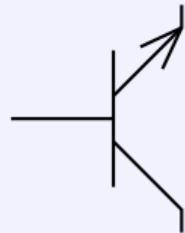
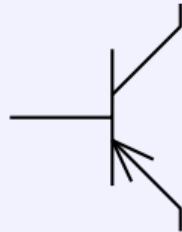
- ソース
- 電圧の向き

とすると覚えやすい。

# 今後使う記号の確認

演習:

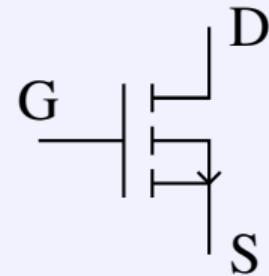
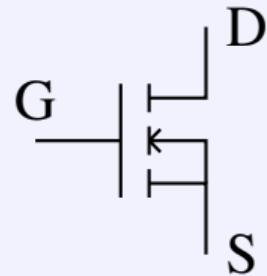
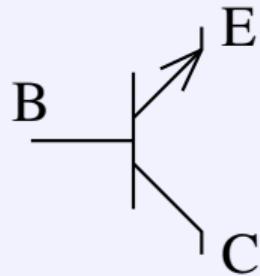
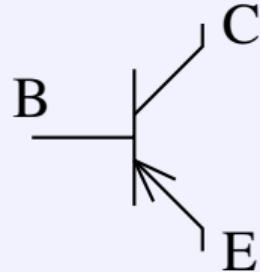
- B, C, E, G, D, S 端子はどれか?



# 今後使う記号の確認

演習:

- B, C, E, G, D, S 端子はどれか?



# ふたつのトランジスタ～まずは簡単に紹介～

## バイポーラトランジスタ:

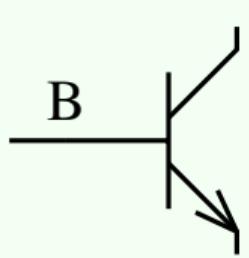
- $I_B$  の変化に比例して  $I_C$  の電流が変化する。
- その増幅率 が重要なパラメタ。
- 見ての通り  $\beta$  は無次元数。

## MOSトランジスタ(MOSFET):

- $V_{GS}$  の変化に比例して  $I_D$  の電流が変化する。
- その増幅率 が重要なパラメタ。  
伝達コンダクタンス
- 見ての通り  $g_m$  の単位は 。 ( $g_m$ : transconductance)

# ふたつのトランジスタ～まずは簡単に紹介～

## バイポーラトランジスタ:



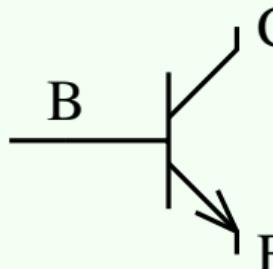
- $I_B$  の変化に比例して  $I_C$  の電流が変化する。
- その増幅率 が重要なパラメタ。
- 見ての通り  $\beta$  は無次元数。

## MOSトランジスタ(MOSFET):

- $V_{GS}$  の変化に比例して  $I_D$  の電流が変化する。
- その増幅率 が重要なパラメタ。  
伝達コンダクタンス
- 見ての通り  $g_m$  の単位は 。 ( $g_m$ : transconductance)

# ふたつのトランジスタ～まずは簡単に紹介～

## バイポーラトランジスタ: 電流で電流を制御



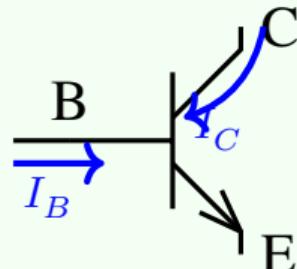
- $I_B$  の変化に比例して  $I_C$  の電流が変化する。
- その増幅率 が重要なパラメタ。
- 見ての通り  $\beta$  は無次元数。

## MOSトランジスタ(MOSFET):

- $V_{GS}$  の変化に比例して  $I_D$  の電流が変化する。
- その増幅率 が重要なパラメタ。  
伝達コンダクタンス
- 見ての通り  $g_m$  の単位は 。 ( $g_m$ : transconductance)

# ふたつのトランジスタ～まずは簡単に紹介～

## バイポーラトランジスタ: 電流で電流を制御



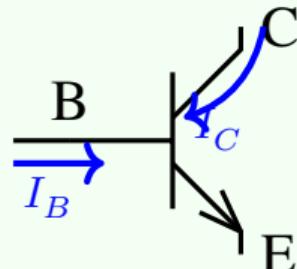
- $I_B$  の変化に比例して  $I_C$  の電流が変化する。
- その増幅率 が重要なパラメタ。
- 見ての通り  $\beta$  は無次元数。

## MOSトランジスタ(MOSFET):

- $V_{GS}$  の変化に比例して  $I_D$  の電流が変化する。
- その増幅率 が重要なパラメタ。  
伝達コンダクタンス
- 見ての通り  $g_m$  の単位は 。 ( $g_m$ : transconductance)

# ふたつのトランジスタ～まずは簡単に紹介～

## バイポーラトランジスタ: 電流で電流を制御



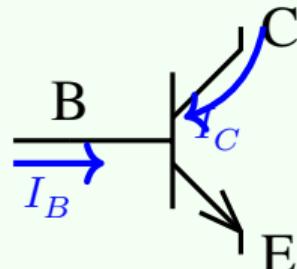
- $I_B$  の変化に比例して  $I_C$  の電流が変化する。
- その增幅率  $\beta = I_C/I_B$  が重要なパラメタ。
- 見ての通り  $\beta$  は無次元数。

## MOSトランジスタ(MOSFET):

- $V_{GS}$  の変化に比例して  $I_D$  の電流が変化する。
- その增幅率 が重要なパラメタ。  
伝達コンダクタンス
- 見ての通り  $g_m$  の単位は 。 ( $g_m$ : transconductance)

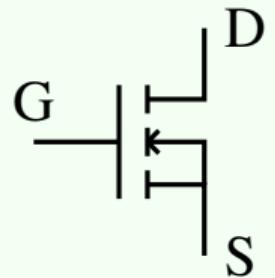
# ふたつのトランジスタ～まずは簡単に紹介～

## バイポーラトランジスタ: 電流で電流を制御



- $I_B$  の変化に比例して  $I_C$  の電流が変化する。
- その増幅率  $\beta = I_C/I_B$  が重要なパラメタ。
- 見ての通り  $\beta$  は無次元数。

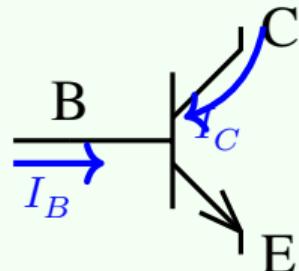
## MOSトランジスタ(MOSFET): 電圧で電流を制御



- $V_{GS}$  の変化に比例して  $I_D$  の電流が変化する。
- その増幅率 が重要なパラメタ。  
伝達コンダクタンス
- 見ての通り  $g_m$  の単位は 。 ( $g_m$ : transconductance)

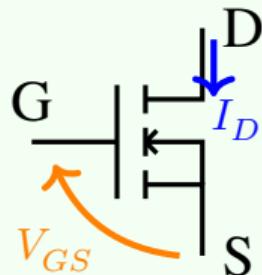
# ふたつのトランジスタ～まずは簡単に紹介～

## バイポーラトランジスタ: 電流で電流を制御



- $I_B$  の変化に比例して  $I_C$  の電流が変化する。
- その増幅率  $\beta = I_C/I_B$  が重要なパラメタ。
- 見ての通り  $\beta$  は無次元数。

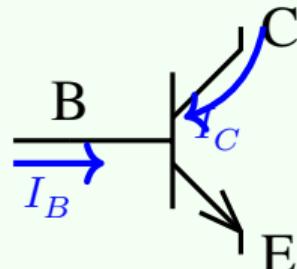
## MOSトランジスタ(MOSFET): 電圧で電流を制御



- $V_{GS}$  の変化に比例して  $I_D$  の電流が変化する。
- その増幅率 が重要なパラメタ。  
伝達コンダクタンス
- 見ての通り  $g_m$  の単位は 。 ( $g_m$ : transconductance)

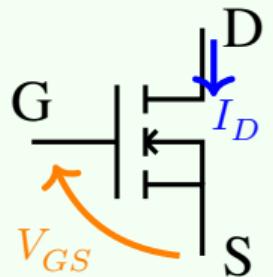
# ふたつのトランジスタ～まずは簡単に紹介～

## バイポーラトランジスタ: 電流で電流を制御



- $I_B$  の変化に比例して  $I_C$  の電流が変化する。
- その増幅率  $\beta = I_C/I_B$  が重要なパラメタ。
- 見ての通り  $\beta$  は無次元数。

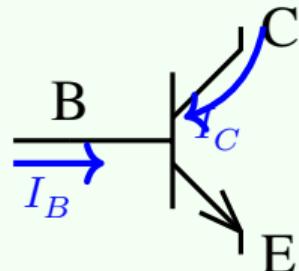
## MOSトランジスタ(MOSFET): 電圧で電流を制御



- $V_{GS}$  の変化に比例して  $I_D$  の電流が変化する。
- その増幅率  $g_m = I_d/V_{GS}$  が重要なパラメタ。伝達コンダクタンス
- 見ての通り  $g_m$  の単位は 。 ( $g_m$ : transconductance)

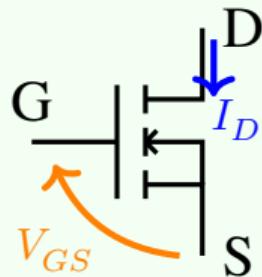
# ふたつのトランジスタ～まずは簡単に紹介～

## バイポーラトランジスタ: 電流で電流を制御



- $I_B$  の変化に比例して  $I_C$  の電流が変化する。
- その増幅率  $\beta = I_C/I_B$  が重要なパラメタ。
- 見ての通り  $\beta$  は無次元数。

## MOSトランジスタ(MOSFET): 電圧で電流を制御



- $V_{GS}$  の変化に比例して  $I_D$  の電流が変化する。
- その増幅率  $g_m = I_d/V_{GS}$  が重要なパラメタ。伝達コンダクタンス
- 見ての通り  $g_m$  の単位は S。 ( $g_m$ : transconductance)

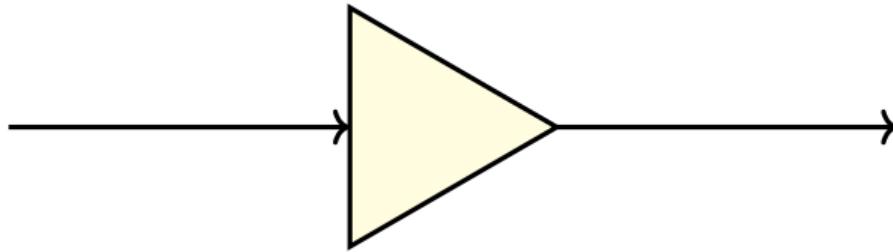
## 一番基本的な使い方・ありがたみ

- バイポーラ Tr $\rightarrow I_B$  をちょっと変化することで  $I_C$  を大きく変化させる。
- MOS Tr $\rightarrow V_{GS}$  をちょっと変化することで  $I_D$  を大きく変化させる。

Tr を  $y = f(x)$  とすれば、『 $x$  をちょっと変化することで  $y$  が大きく変化』と考えられるということは……!! (すこし後に続く。)

# バイポーラトランジスタの一番基本的な使い方のイメージ

あくまでも  $\beta$  が何かを直感的に理解するための極端な単純化です。

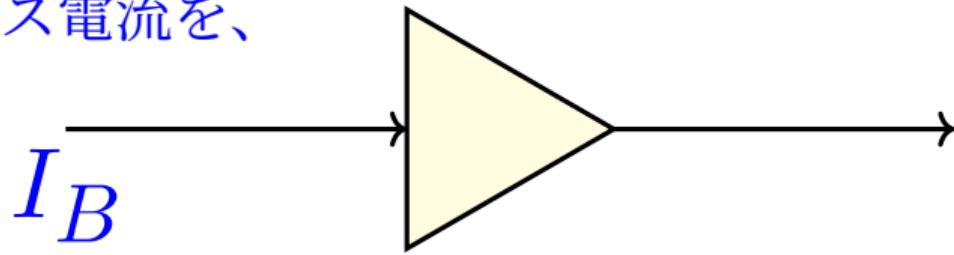


単位を考えればわかるように  $\beta$  は当然無次元数。

# バイポーラトランジスタの一番基本的な使い方のイメージ

あくまでも  $\beta$  が何かを直感的に理解するための極端な単純化です。

ベース電流を、

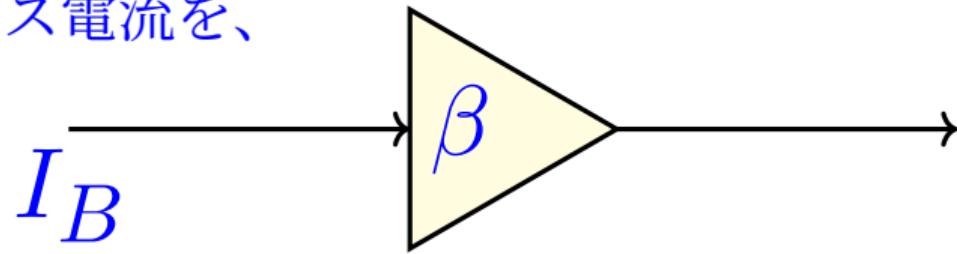


単位を考えればわかるように  $\beta$  は当然無次元数。

# バイポーラトランジスタの一番基本的な使い方のイメージ

あくまでも  $\beta$  が何かを直感的に理解するための極端な単純化です。

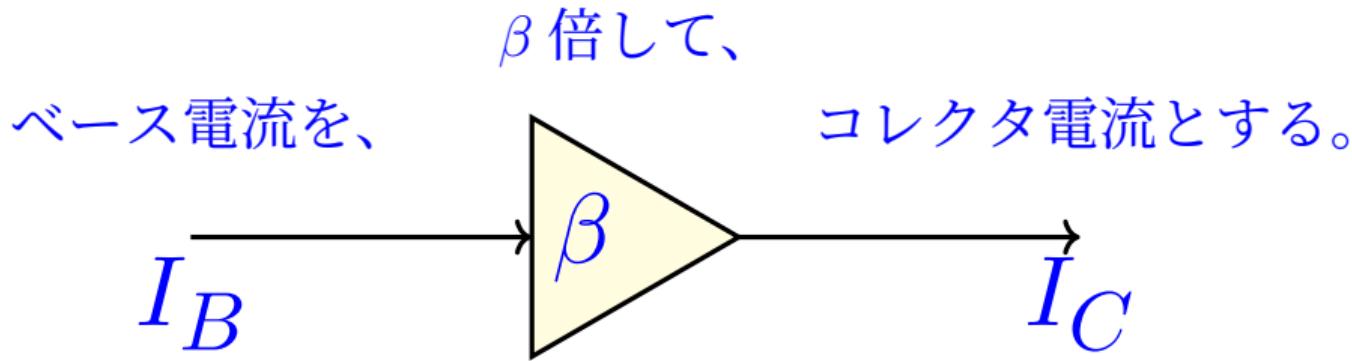
$\beta$  倍して、  
ベース電流を、



単位を考えればわかるように  $\beta$  は当然無次元数。

# バイポーラトランジスタの一番基本的な使い方のイメージ

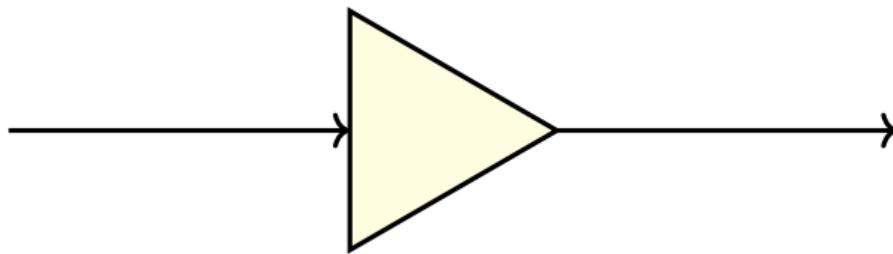
あくまでも  $\beta$  が何かを直感的に理解するための極端な単純化です。



単位を考えればわかるように  $\beta$  は当然無次元数。

# MOSトランジスタの一番基本的な使い方のイメージ

あくまでも  $g_m$  が何かを直感的に理解するための極端な単純化です。

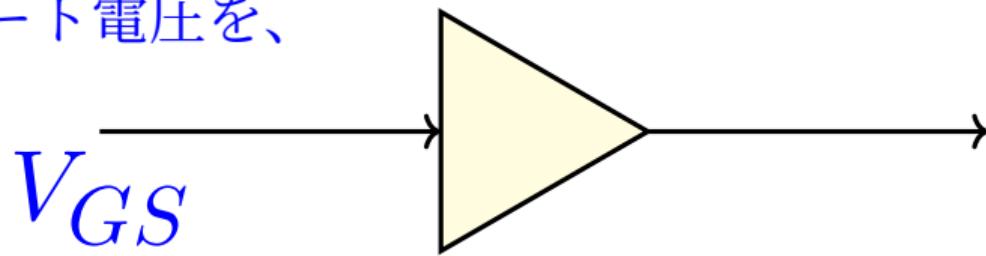


$1/g_m (\Omega)$  の抵抗器に  $V_{GS}$  (V) の電圧をかけたら  $I_D$  (A) の電流が流れ  
る、と理解すればいい。だからトランス。

# MOSトランジスタの一番基本的な使い方のイメージ

あくまでも  $g_m$  が何かを直感的に理解するための極端な単純化です。

ゲート電圧を、

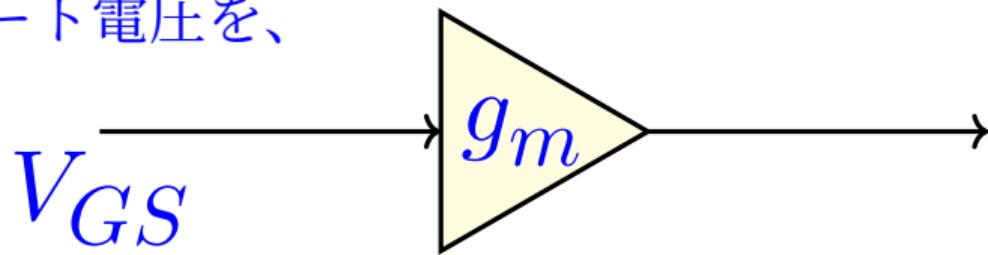


$1/g_m (\Omega)$  の抵抗器に  $V_{GS}$  (V) の電圧をかけたら  $I_D$  (A) の電流が流れ  
る、と理解すればいい。だからトランス。

# MOSトランジスタの一番基本的な使い方のイメージ

あくまでも  $g_m$  が何かを直感的に理解するための極端な単純化です。

$g_m$  倍して、  
ゲート電圧を、

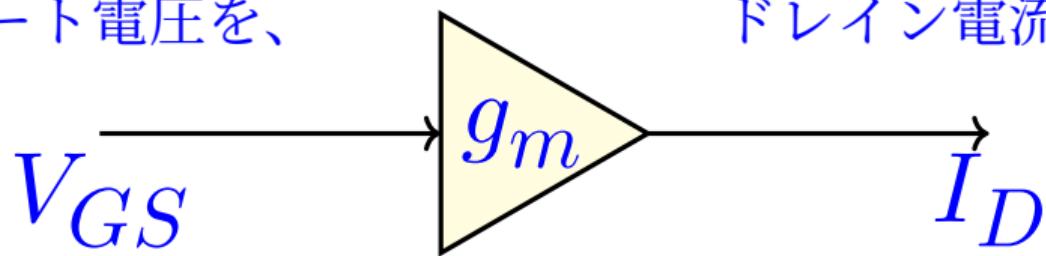


$1/g_m (\Omega)$  の抵抗器に  $V_{GS} (V)$  の電圧をかけたら  $I_D (A)$  の電流が流れ  
る、と理解すればいい。だからトランス。

# MOSトランジスタの一番基本的な使い方のイメージ

あくまでも  $g_m$  が何かを直感的に理解するための極端な単純化です。

$g_m$  倍して、  
ゲート電圧を、 ドレイン電流とする。

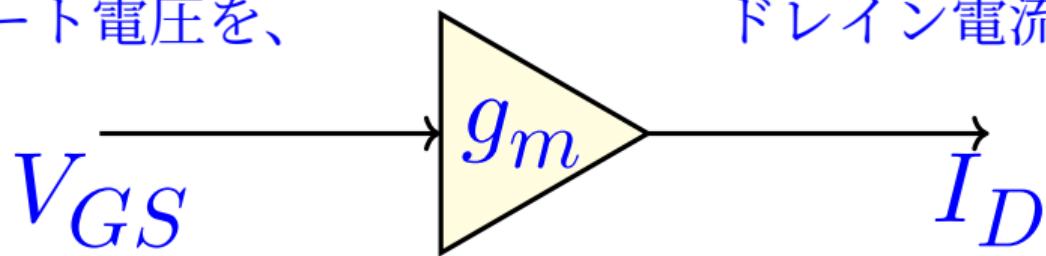


$1/g_m (\Omega)$  の抵抗器に  $V_{GS}$  (V) の電圧をかけたら  $I_D$  (A) の電流が流れ  
る、と理解すればいい。だからトランス。

# MOSトランジスタの一番基本的な使い方のイメージ

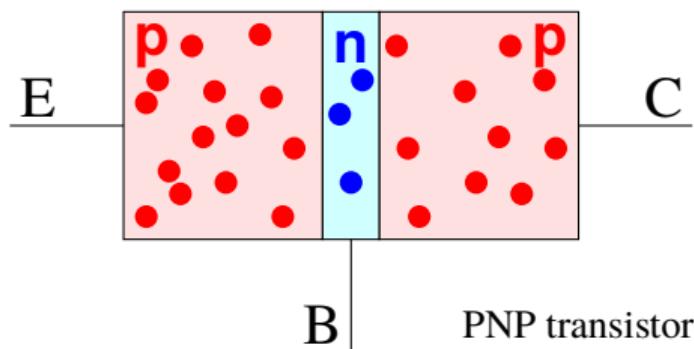
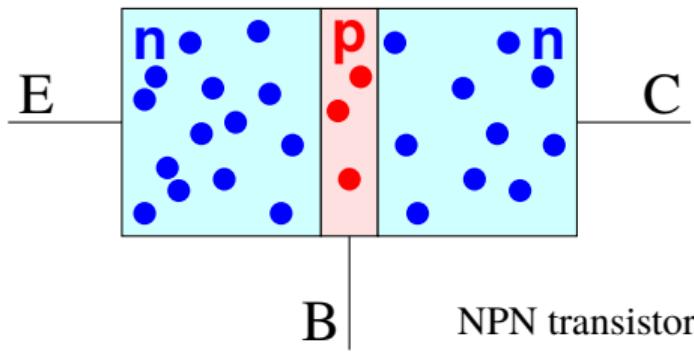
あくまでも  $g_m$  が何かを直感的に理解するための極端な単純化です。

$g_m$  倍して、  
ゲート電圧を、 ドレイン電流とする。



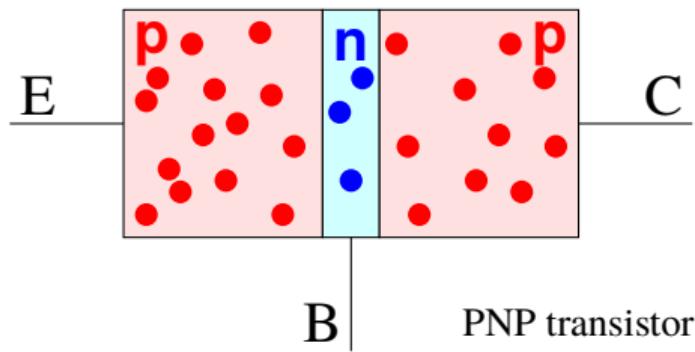
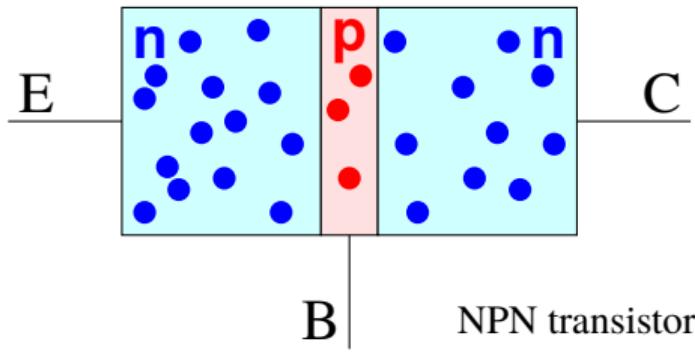
$1/g_m (\Omega)$  の抵抗器に  $V_{GS}$  (V) の電圧をかけたら  $I_D$  (A) の電流が流れ  
る、と理解すればいい。だからトランス**コンダクタンス**。

# バイポーラトランジスタの原理



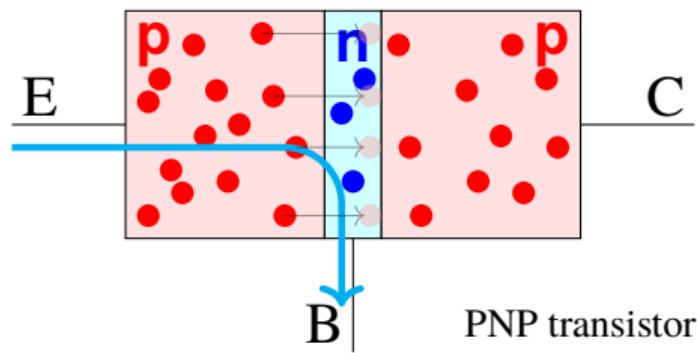
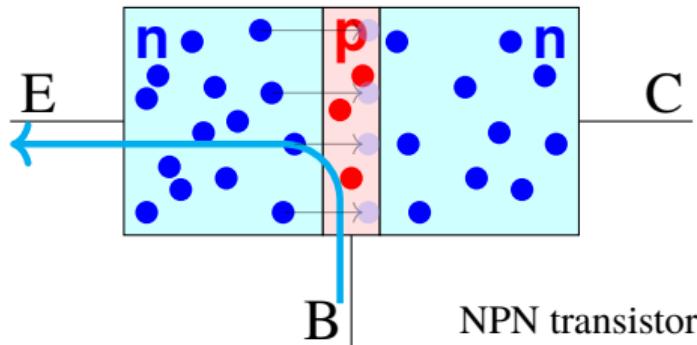
- n-p-n あるいは p-n-p の三層構造。中央の層が薄い。以下、NPN で説明。
- EB 間に をかけると **ダイオードと同じ理屈** で電流が流れる。
- ただし、中間の層は薄いのでホールが少なく、全部電子で埋まる。埋まるばかりか余る。
- そして  $E \rightarrow C$  に電圧をかけると、(本来 BC 間のダイオード構造にとって逆電圧なので電流が流れないとはずが)  $C \rightarrow E$  に電流が流れる。
- このときベース電流を少し変化させるとコレクタ電流が大きく変化する。

# バイポーラトランジスタの原理



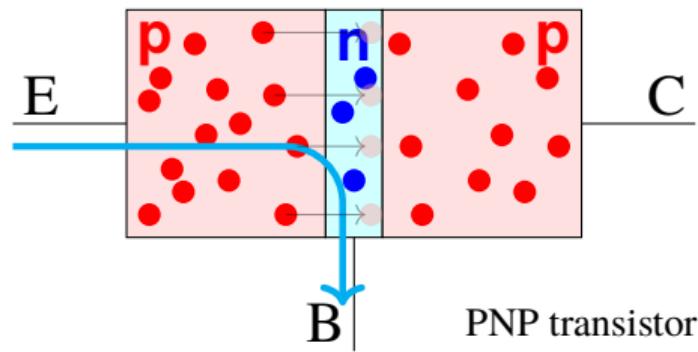
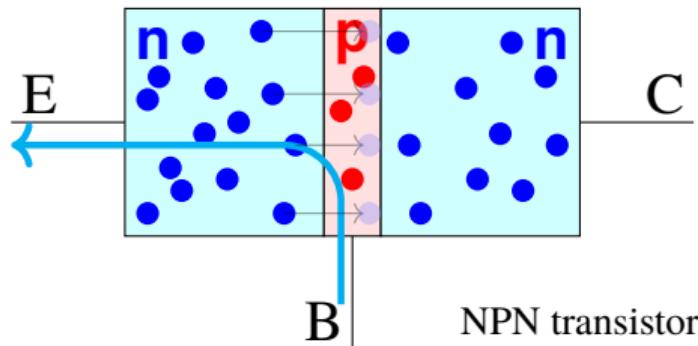
- n-p-n あるいは p-n-p の三層構造。中央の層が薄い。以下、NPN で説明。
- EB 間に順電圧をかけると **ダイオードと同じ原理**で電流が流れる。
- ただし、中間の層は薄いのでホールが少なく、全部電子で埋まる。埋まるばかりか余る。
- そして E→C に電圧をかけると、(本来 BC 間のダイオード構造にとって逆電圧なので電流が流れないとはずが) C→E に電流が流れる。
- このときベース電流を少し変化させるとコレクタ電流が大きく変化する。

# バイポーラトランジスタの原理



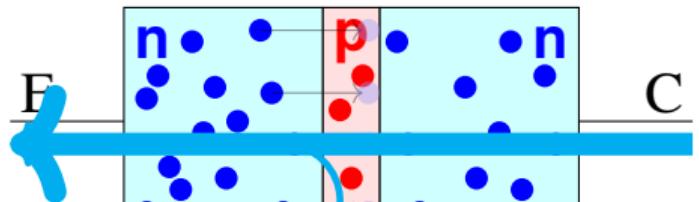
- n-p-n あるいは p-n-p の三層構造。中央の層が薄い。以下、NPN で説明。
- EB 間に順電圧をかけると **ダイオードと同じ原理**で電流が流れる。
- ただし、中間の層は薄いのでホールが少なく、全部電子で埋まる。埋まるばかりか余る。
- そして E→C に電圧をかけると、(本来 BC 間のダイオード構造にとって逆電圧なので電流が流れないとはずが) C→E に電流が流れる。
- このときベース電流を少し変化させるとコレクタ電流が大きく変化する。

# バイポーラトランジスタの原理

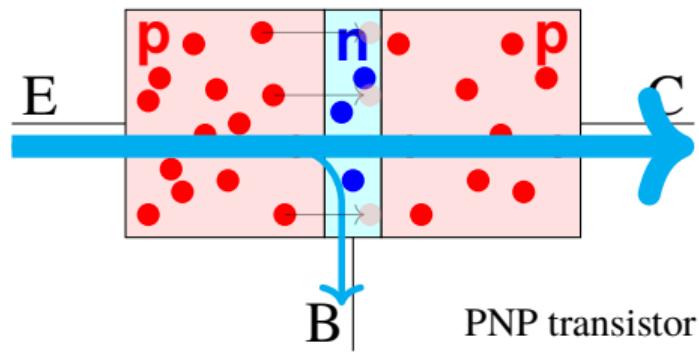


- n-p-n あるいは p-n-p の三層構造。中央の層が薄い。以下、NPN で説明。
- EB 間に順電圧をかけると **ダイオードと同じ原理**で電流が流れる。
- ただし、中間の層は薄いのでホールが少なく、全部電子で埋まる。埋まるばかりか余る。
- そして E→C に電圧をかけると、(本来 BC 間のダイオード構造にとって逆電圧なので電流が流れないとはずが) C→E に電流が流れる。
- このときベース電流を少し変化させるとコレクタ電流が大きく変化する。

# バイポーラトランジスタの原理



NPN transistor



PNP transistor

- n-p-nあるいはp-n-pの三層構造。中央の層が薄い。以下、NPNで説明。
- EB間に順電圧をかけると**ダイオードと同じ理屈**で電流が流れる。
- ただし、中間の層は薄いのでホールが少なく、全部電子で埋まる。埋まるばかりか余る。
- そしてE→Cに電圧をかけると、(本来BC間のダイオード構造にとって逆電圧なので電流が流れないとはずが)C→Eに電流が流れる。
- このときベース電流を少し変化させるとコレクタ電流が大きく変化する。

# バイポーラトランジスタを使う際の大前提

いわゆるバイアスというやつです。

- **B-E 間に**

## をかける。

BE 間に少しでも電流が流れればいいのでダイオードの on 電圧 (0.6~0.7V) くらい。

- **B-C 間に**

## をかける。

電流をどのくらい増幅したいかによるが前項よりは高めがふつう。

# バイポーラトランジスタを使う際の大前提

いわゆるバイアスというやつです。

- **B-E間に順方向電圧をかける。**

BE間に少しでも電流が流れればいいのでダイオードのon電圧(0.6~0.7V)くらい。

- **B-C間にをかける。**

電流をどのくらい増幅したいかによるが前項よりは高めがふつう。

# バイポーラトランジスタを使う際の大前提

いわゆるバイアスというやつです。

- **B-E間に順方向電圧をかける。**

BE間に少しでも電流が流れればいいのでダイオードのon電圧(0.6~0.7V)くらい。

- **B-C間に逆方向電圧をかける。**

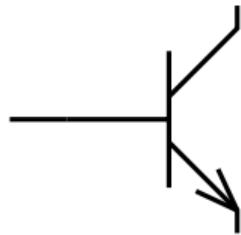
電流をどのくらい増幅したいかによるが前項よりは高めがふつう。

# バイポーラトランジスタの基本的な使い方

- 電流の収支はつり合う:  $I_E =$

- 【 $I_B \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考える:

( $\beta$ : )



- 【 $I_E \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考えることもできる:

( $\alpha$ : )

- $\alpha$  と  $\beta$  の関係:

$$\beta =$$

- 実際の  $\alpha$  は 1 弱、 $\beta$  は 50 ないし 200 程度。

# バイポーラトランジスタの基本的な使い方

- 電流の収支はつり合う:  $I_E =$

- 【 $I_B \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考える:

( $\beta$ : )

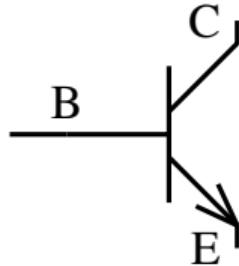
- 【 $I_E \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】考えることもできる:

( $\alpha$ : )

- $\alpha$  と  $\beta$  の関係:

$$\beta =$$

- 実際の  $\alpha$  は 1 弱、 $\beta$  は 50 ないし 200 程度。



# バイポーラトランジスタの基本的な使い方

- 電流の収支はつり合う:  $I_E =$

- 【 $I_B \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考える:

( $\beta$ : )

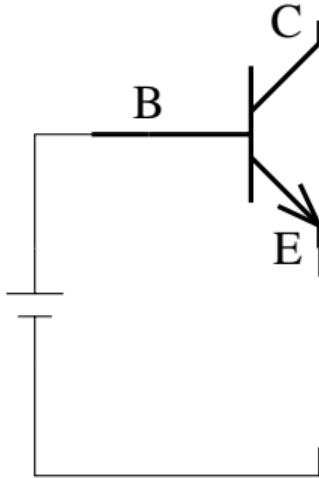
- 【 $I_E \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】考えることもできる:

( $\alpha$ : )

- $\alpha$  と  $\beta$  の関係:

$$\beta =$$

- 実際の  $\alpha$  は 1 弱、 $\beta$  は 50 ないし 200 程度。



# バイポーラトランジスタの基本的な使い方

- 電流の収支はつり合う:  $I_E =$

- 【 $I_B \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考える:

( $\beta$ : )

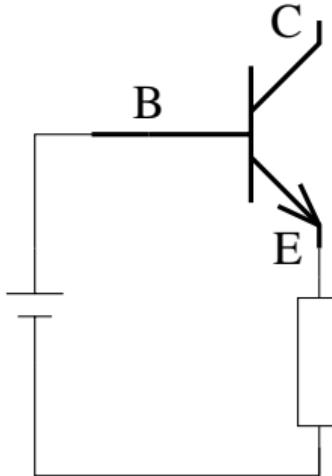
- 【 $I_E \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】考えることもできる:

( $\alpha$ : )

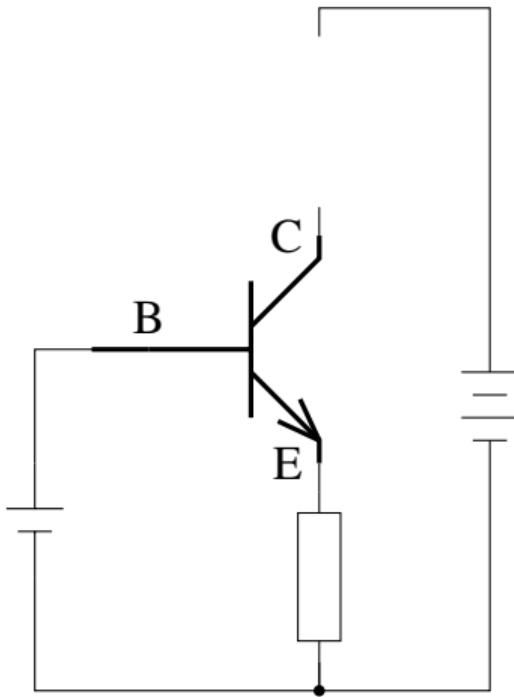
- $\alpha$  と  $\beta$  の関係:

$$\beta =$$

- 実際の  $\alpha$  は 1 弱、 $\beta$  は 50 ないし 200 程度。

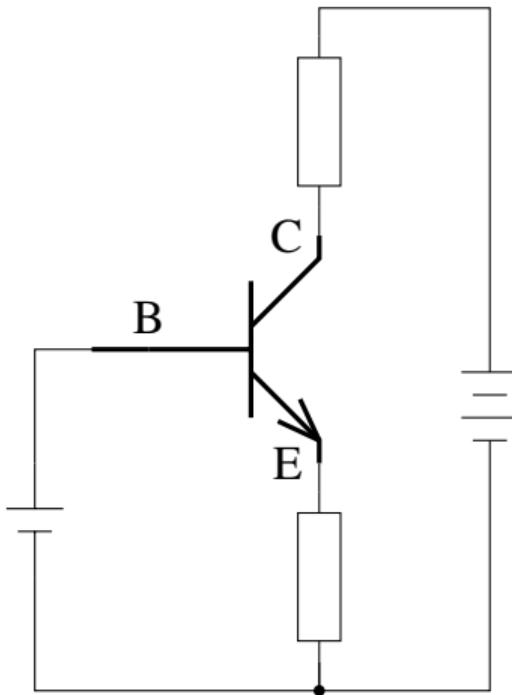


# バイポーラトランジスタの基本的な使い方



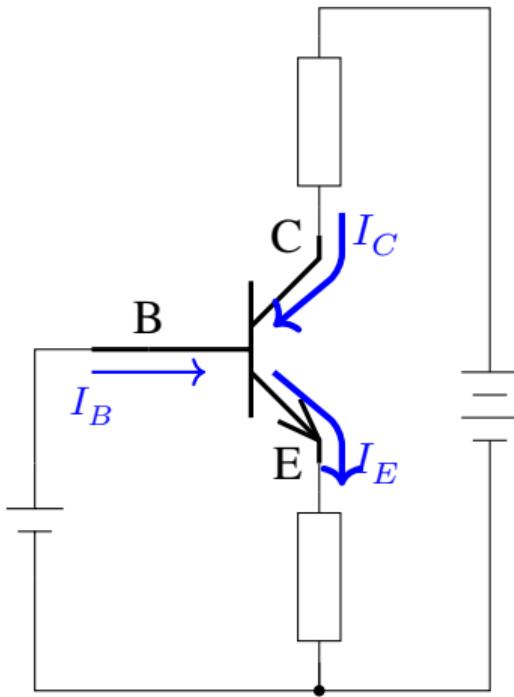
- 電流の収支はつり合う:  $I_E =$
- 【 $I_B \rightarrow (\text{増幅}) \rightarrow I_C$ 】と考える:  
( $\beta:$ )
- 【 $I_E \rightarrow (\text{増幅}) \rightarrow I_C$ 】と考えることもできる:  
( $\alpha:$ )
- $\alpha$  と  $\beta$  の関係:  
 $\beta =$
- 実際の  $\alpha$  は 1 弱、 $\beta$  は 50 ないし 200 程度。

# バイポーラトランジスタの基本的な使い方



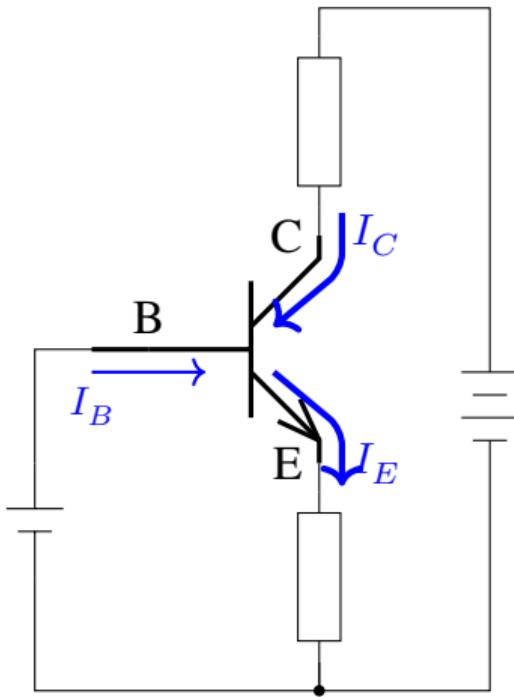
- 電流の収支はつり合う:  $I_E =$
- 【 $I_B \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考える:  
( $\beta$ : )
- 【 $I_E \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考えることもできる:  
( $\alpha$ : )
- $\alpha$  と  $\beta$  の関係:  
 $\beta =$
- 実際の  $\alpha$  は 1 弱、 $\beta$  は 50 ないし 200 程度。

# バイポーラトランジスタの基本的な使い方



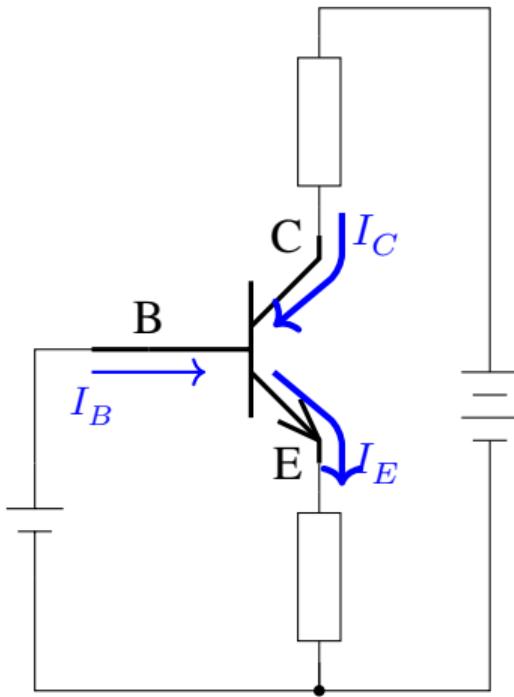
- 電流の収支はつり合う:  $I_E = I_B + I_C$
- 【 $I_B \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考える:  
( $\beta$ : )
- 【 $I_E \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考えることもできる:  
( $\alpha$ : )
- $\alpha$  と  $\beta$  の関係:  
 $\beta =$
- 実際の  $\alpha$  は 1 弱、 $\beta$  は 50 ないし 200 程度。

# バイポーラトランジスタの基本的な使い方



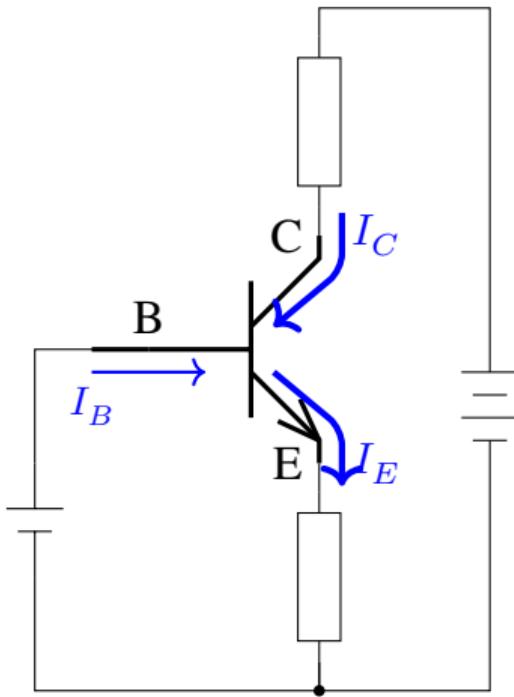
- 電流の収支はつり合う:  $I_E = I_B + I_C$
- 【 $I_B \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考える:  
 $I_C = \beta I_B$  ( $\beta$ : )
- 【 $I_E \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】考えることもできる:  
( $\alpha$ : )
- $\alpha$  と  $\beta$  の関係:  
 $\beta =$
- 実際の  $\alpha$  は 1 弱、 $\beta$  は 50 ないし 200 程度。

# バイポーラトランジスタの基本的な使い方



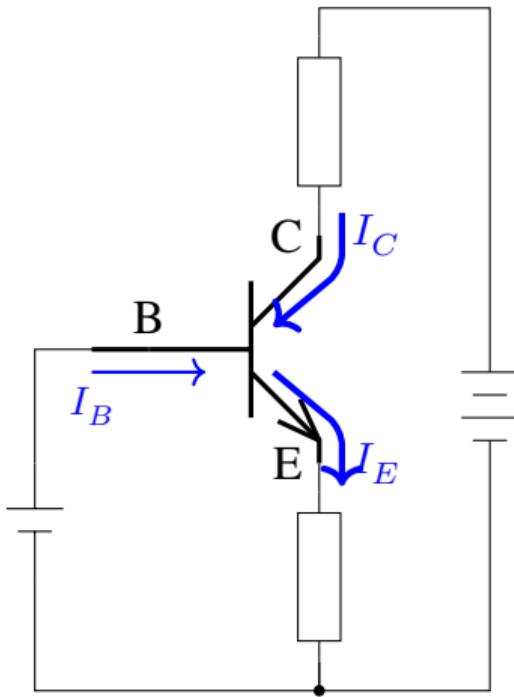
- 電流の収支はつり合う:  $I_E = I_B + I_C$
- 【 $I_B \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考える:  
 $I_C = \beta I_B$  ( $\beta$ : **エミッタ接地電流増幅率**)
- 【 $I_E \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】考えることもできる:  
( $\alpha$ : )
- $\alpha$  と  $\beta$  の関係:  
 $\beta =$
- 実際の  $\alpha$  は 1 弱、 $\beta$  は 50 ないし 200 程度。

# バイポーラトランジスタの基本的な使い方



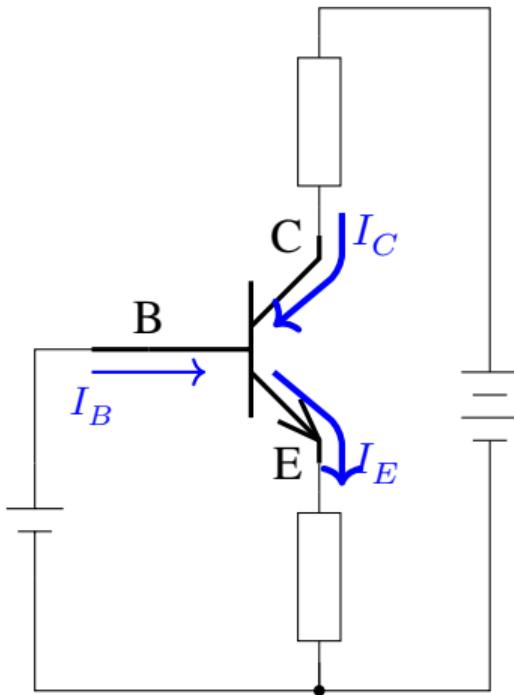
- 電流の収支はつり合う:  $I_E = I_B + I_C$
- 【 $I_B \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考える:  
 $I_C = \beta I_B$  ( $\beta$ : **エミッタ接地電流増幅率**)
- 【 $I_E \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考えることもできる:  
 $I_C = \alpha I_E$  ( $\alpha$ : )
- $\alpha$  と  $\beta$  の関係:  
 $\beta =$
- 実際の  $\alpha$  は 1 弱、 $\beta$  は 50 ないし 200 程度。

# バイポーラトランジスタの基本的な使い方



- 電流の収支はつり合う:  $I_E = I_B + I_C$
- 【 $I_B \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考える:  
 $I_C = \beta I_B$  ( $\beta$ : **エミッタ接地電流増幅率**)
- 【 $I_E \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】考えることもできる:  
 $I_C = \alpha I_E$  ( $\alpha$ : **ベース接地電流増幅率**)
- $\alpha$  と  $\beta$  の関係:  
 $\beta =$
- 実際の  $\alpha$  は 1 弱、 $\beta$  は 50 ないし 200 程度。

# バイポーラトランジスタの基本的な使い方



- 電流の収支はつり合う:  $I_E = I_B + I_C$
- 【 $I_B \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】と考える:  
 $I_C = \beta I_B$  ( $\beta$ : エミッタ接地電流増幅率)
- 【 $I_E \rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_C$ 】考えることもできる:  
 $I_C = \alpha I_E$  ( $\alpha$ : ベース接地電流増幅率)
- $\alpha$  と  $\beta$  の関係:  
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$
- 実際の  $\alpha$  は 1 弱、 $\beta$  は 50 ないし 200 程度。

問: ベース電流が  $15 \mu\text{A}$  のときにエミッタ電流が  $3 \text{mA}$  であるトランジスタの  $\alpha$ ,  $\beta$  を求めよ。

答: ,

問: ベース電流が  $15 \mu\text{A}$  のときにエミッタ電流が  $3 \text{mA}$  であるトランジスタの  $\alpha, \beta$  を求めよ。

答:  $\alpha \simeq 0.995$ ,

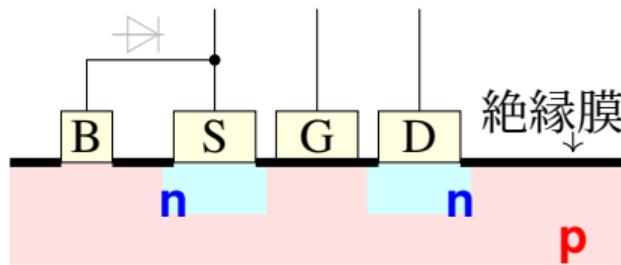
# バイポーラトランジスタの練習問題

問: ベース電流が  $15 \mu\text{A}$  のときにエミッタ電流が  $3 \text{mA}$  であるトランジスタの  $\alpha, \beta$  を求めよ。

答:  $\alpha \simeq 0.995, \beta = 199$

# MOS トランジスタの原理

このページは n チャネル MOSFET の説明ですが、n と p と各種方向を入れ替えれば p チャネルも同じ。



n チャネル MOS トランジスタの構造

S ソース (source)

G ゲート (gate)

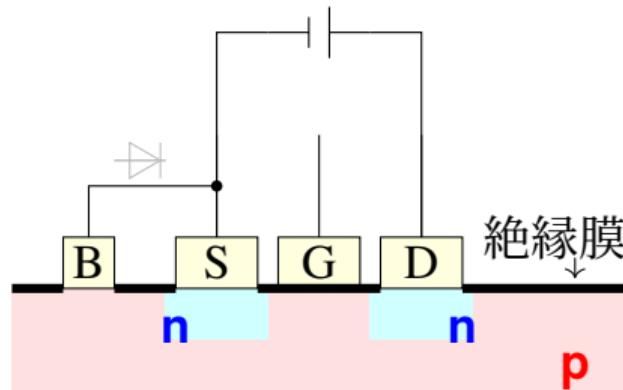
D ドレイン (drain)

B バックゲート or バルク or ボディ or サブスレート

- p 型基板に n 領域があり、表面を酸化絶縁膜が覆っている。n 領域の酸化膜は穴が空いていて電極が直接触れる。p 領域には電極は触れない。

# MOS トランジスタの原理

このページは n チャネル MOSFET の説明ですが、n と p と各種方向を入れ替えれば p チャネルも同じ。



n チャネル MOS トランジスタの構造

S ソース (source)

G ゲート (gate)

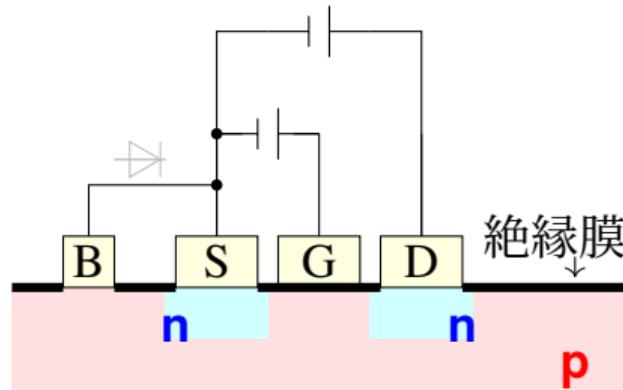
D ドレイン (drain)

B バックゲート or バルク or ボディ or サブスレート

- p 型基板に n 領域があり、表面を酸化絶縁膜が覆っている。n 領域の酸化膜は穴が空いていて電極が直接触れる。p 領域には電極は触れない。
- $V_{DS}$  を印加しただけでは当然電流は流れない。

# MOS トランジスタの原理

このページは n チャネル MOSFET の説明ですが、n と p と各種方向を入れ替えれば p チャネルも同じ。



n チャネル MOS トランジスタの構造

S ソース (source)

G ゲート (gate)

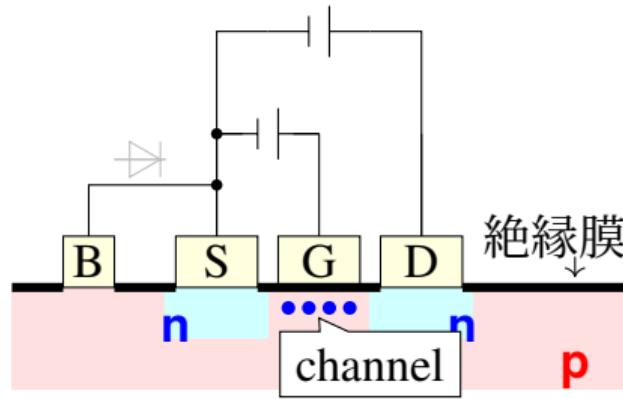
D ドレイン (drain)

B バックゲート or バルク or ボディ or サブスレート

- p 型基板に n 領域があり、表面を酸化絶縁膜が覆っている。n 領域の酸化膜は穴が空いていて電極が直接触れる。p 領域には電極は触れない。
- $V_{DS}$  を印加しただけでは当然電流は流れない。
- $V_{GS}$  としてしきい電圧以上の順電圧をかけると、ゲート直下に p 領域の電子が引き付けられて **チャンネル** が形成される。

# MOS トランジスタの原理

このページは n チャネル MOSFET の説明ですが、n と p と各種方向を入れ替えれば p チャネルも同じ。



n チャネル MOS トランジスタの構造

S ソース (source)

G ゲート (gate)

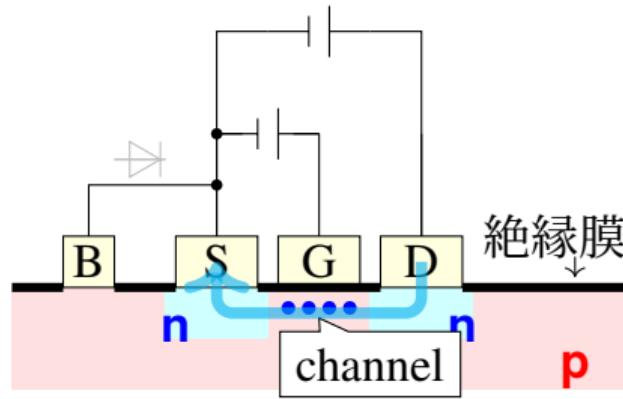
D ドレイン (drain)

B バックゲート or バルク or ボディ or サブスレート

- p 型基板に n 領域があり、表面を酸化絶縁膜が覆っている。n 領域の酸化膜は穴が空いていて電極が直接触れる。p 領域には電極は触れない。
- $V_{DS}$  を印加しただけでは当然電流は流れない。
- $V_{GS}$  としてしきい電圧以上の順電圧をかけると、ゲート直下に p 領域の電子が引き付けられて **チャネル** が形成される。

# MOS トランジスタの原理

このページは n チャネル MOSFET の説明ですが、n と p と各種方向を入れ替えれば p チャネルも同じ。



n チャネル MOS トランジスタの構造

S ソース (source)

G ゲート (gate)

D ドレイン (drain)

B バックゲート or バルク or ボディ or サブスレート

- p 型基板に n 領域があり、表面を酸化絶縁膜が覆っている。n 領域の酸化膜は穴が空いていて電極が直接触れる。p 領域には電極は触れない。
- $V_{DS}$  を印加しただけでは当然電流は流れない。
- $V_{GS}$  としてしきい電圧以上の順電圧をかけると、ゲート直下に p 領域の電子が引き付けられて **チャネル** が形成される。
- すると D から S に電流が流れる。

# MOSトランジスタを使う際の大前提

いわゆるバイアスというやつです。

- **G-S間に電圧をかける。**  
GS間にチャネルを形成するだけの(しきい電圧以上の)電圧でいい。
- **D-S間に電圧をかける。**  
電流をどのくらい増幅したいかによる。大きさにより計算モデルが変わる。

# MOSトランジスタを使う際の大前提

いわゆるバイアスというやつです。

- **G-S間に順方向電圧をかける。**  
GS間にチャネルを形成するだけの(しきい電圧以上の)電圧でいい。
- **D-S間に電圧をかける。**  
電流をどのくらい増幅したいかによる。大きさにより計算モデルが変わる。

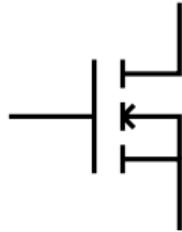
# MOS トランジスタの基本的な使い方

- ゲートに電流は流れない。電流収支は釣り合う。
- 【 $\rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_D$ 】と考える:

$(g_m:$

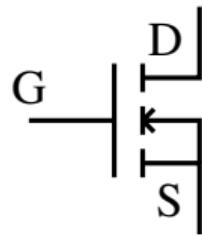
)

しかしここでまさかの大どんでん返し！



# MOS トランジスタの基本的な使い方

- ゲートに電流は流れない。電流収支は釣り合う。
- 【 $\rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_D$ 】と考える:

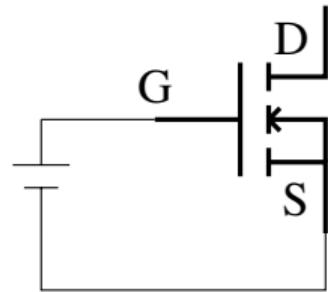


$(g_m:$  )

しかしここでまさかの大どんでん返し！

# MOS トランジスタの基本的な使い方

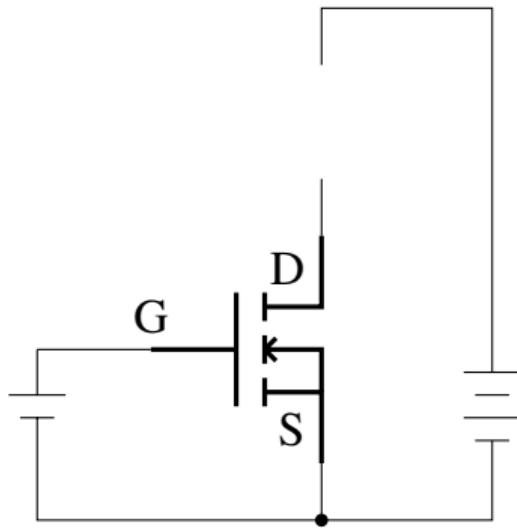
- ゲートに電流は流れない。電流収支は釣り合う。
- 【 $\rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_D$ 】と考える:



$(g_m:$  )

しかしここでまさかの大どんでん返し！

# MOS トランジスタの基本的な使い方

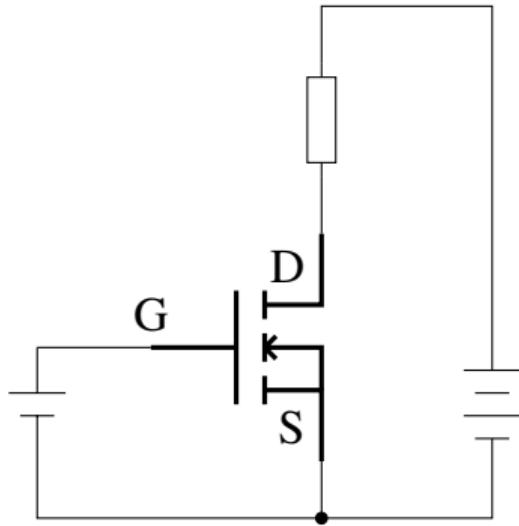


- ゲートに電流は流れない。電流収支は釣り合う。
- 【  $\rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_D$ 】と考える:

$(g_m:$

しかしここでまさかの大どんでん返し！

# MOS トランジスタの基本的な使い方

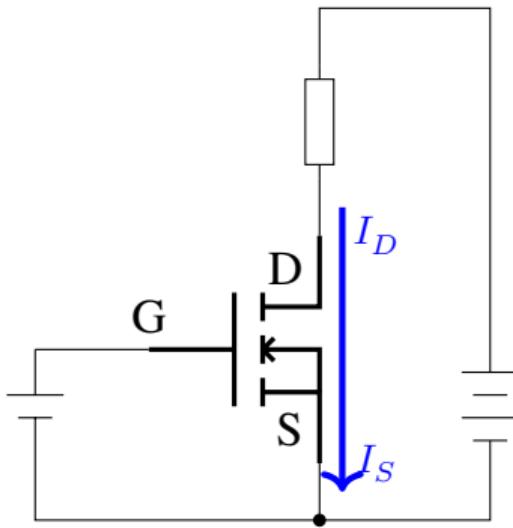


- ゲートに電流は流れない。電流収支は釣り合う。
- 【  $\rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_D$ 】と考える:

$(g_m:$

しかしここでまさかの大どんでん返し！

# MOS トランジスタの基本的な使い方

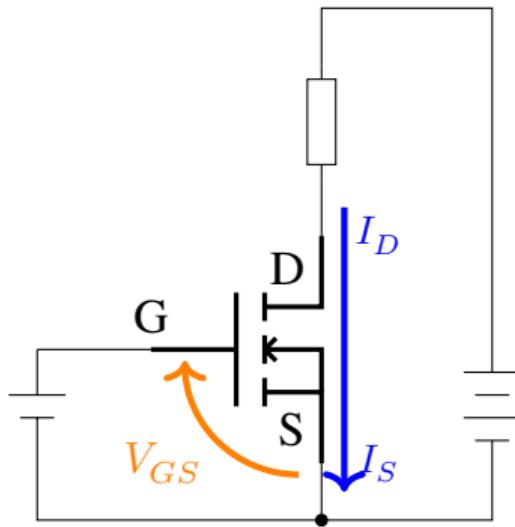


- ゲートに電流は流れない。電流収支は釣り合う。 $I_G = 0, I_D = I_S$
- 【 $\rightarrow$ (増幅) $\rightarrow I_D$ 】と考える:

( $g_m$ :

しかしここでまさかの大どんでん返し！

# MOS トランジスタの基本的な使い方

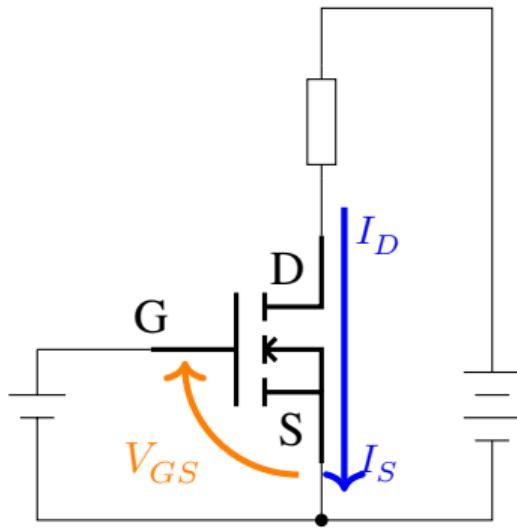


- ゲートに電流は流れない。電流収支は釣り合う。 $I_G = 0, I_D = I_S$
- $[V_{GS} \rightarrow \text{(増幅)} \rightarrow I_D]$  と考える:

( $g_m$ :

しかしここでまさかの大どんでん返し！

# MOS トランジスタの基本的な使い方

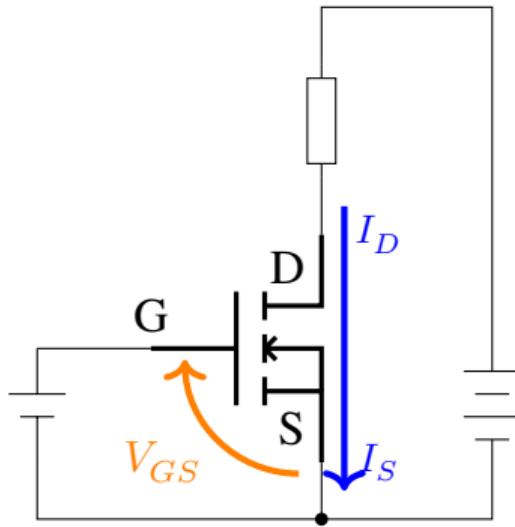


- ゲートに電流は流れない。電流収支は釣り合う。 $I_G = 0, I_D = I_S$
- $[V_{GS} \rightarrow \text{(増幅)} \rightarrow I_D]$  と考える:

$$I_D = g_m V_{GS} \quad (g_m: )$$

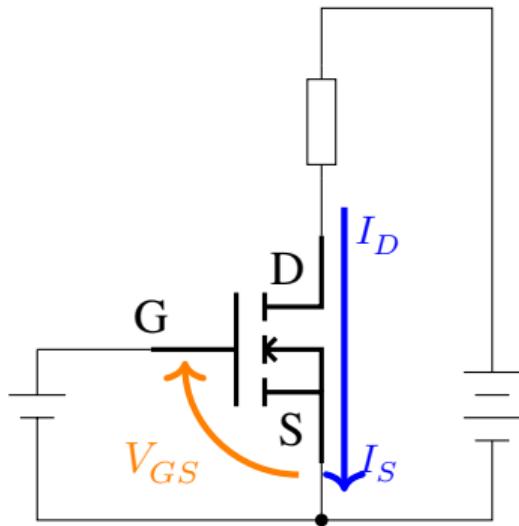
しかしここでまさかの大どんでん返し！

# MOS トランジスタの基本的な使い方



- ゲートに電流は流れない。電流収支は釣り合う。 $I_G = 0, I_D = I_S$
  - $[V_{GS} \rightarrow \text{(増幅)} \rightarrow I_D]$  と考える:  
 $I_D = g_m V_{GS}$  ( $g_m$ : 伝達コンダクタンス)
- しかしここでまさかの大どんでん返し！

# MOS トランジスタの基本的な使い方



- ゲートに電流は流れない。電流収支は釣り合う。 $I_G = 0, I_D = I_S$
- $[V_{GS} \rightarrow \text{(増幅)} \rightarrow I_D]$  と考える:  
 $I_D = g_m V_{GS}$  ( $g_m$ : 伝達コンダクタンス)  
しかしここでまさかの大どんでん返し！

**実際は  $I_D = g_m V_{GS}$  ではない。**

(じゃあそもそも  $I_D = g_m V_{GS}$  って一体何よ…。)

# 実際の $I_D$ と $V_{GS}$ の複雑な関係

単純な関係の方は後日あらためて出てきますのでご安心を。

## バイアス条件で動作が変わる ( $V_T$ : しきい電圧)

- $V_{GS} < V_T$

$$I_D =$$

- $V_{DS} < V_{GS} - V_T$  ({線形, 抵抗, 非飽和} 領域)

$$I_D =$$

- $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$  (飽和領域)

$$I_D =$$

$K$  は **トランジスタの開通率** といい、チャネルの物理的なサイズで  $K = K_0 \frac{W}{L}$  と決まる。ここで  $K_0$  は単位トランジスタの開通率、 $W, L$  はそれぞれチャネル幅、長さ。

MOSトランジスタは飽和領域で使うのが基本。

# 実際の $I_D$ と $V_{GS}$ の複雑な関係

単純な関係の方は後日あらためて出てきますのでご安心を。

## バイアス条件で動作が変わる ( $V_T$ : しきい電圧)

- $V_{GS} < V_T$

$$I_D = 0$$

- $V_{DS} < V_{GS} - V_T$  ({線形, 抵抗, 非飽和} 領域)

$$I_D =$$

- $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$  (飽和領域)

$$I_D =$$

$K$  は **トランジスタの開通率** といい、チャネルの物理的なサイズで  $K = K_0 \frac{W}{L}$  と決まる。ここで  $K_0$  は単位トランジスタの開通率、 $W, L$  はそれぞれチャネル幅、長さ。

MOSトランジスタは飽和領域で使うのが基本。

# 実際の $I_D$ と $V_{GS}$ の複雑な関係

単純な関係の方は後日あらためて出てきますのでご安心を。

## バイアス条件で動作が変わる ( $V_T$ : しきい電圧)

- $V_{GS} < V_T$

$$I_D = 0$$

- $V_{DS} < V_{GS} - V_T$  ({線形, 抵抗, 非飽和} 領域)

$$I_D = 2K(V_{GS} - V_T - \frac{V_{DS}}{2})V_{DS}$$

- $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$  (飽和領域)

$$I_D =$$

$K$  はトランジスタの物理的なサインズで  $K = K_0 \frac{W}{L}$  と決まる。ここで  $K_0$  は単位トランジスタのトランジスタ係数,  $W, L$  はそれぞれチャネル幅、長さ。

MOSトランジスタは飽和領域で使うのが基本。

# 実際の $I_D$ と $V_{GS}$ の複雑な関係

単純な関係の方は後日あらためて出てきますのでご安心を。

## バイアス条件で動作が変わる ( $V_T$ : しきい電圧)

- $V_{GS} < V_T$

$$I_D = 0$$

- $V_{DS} < V_{GS} - V_T$  ({線形, 抵抗, 非飽和} 領域)

$$I_D = 2K(V_{GS} - V_T - \frac{V_{DS}}{2})V_{DS}$$

- $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$  (飽和領域)

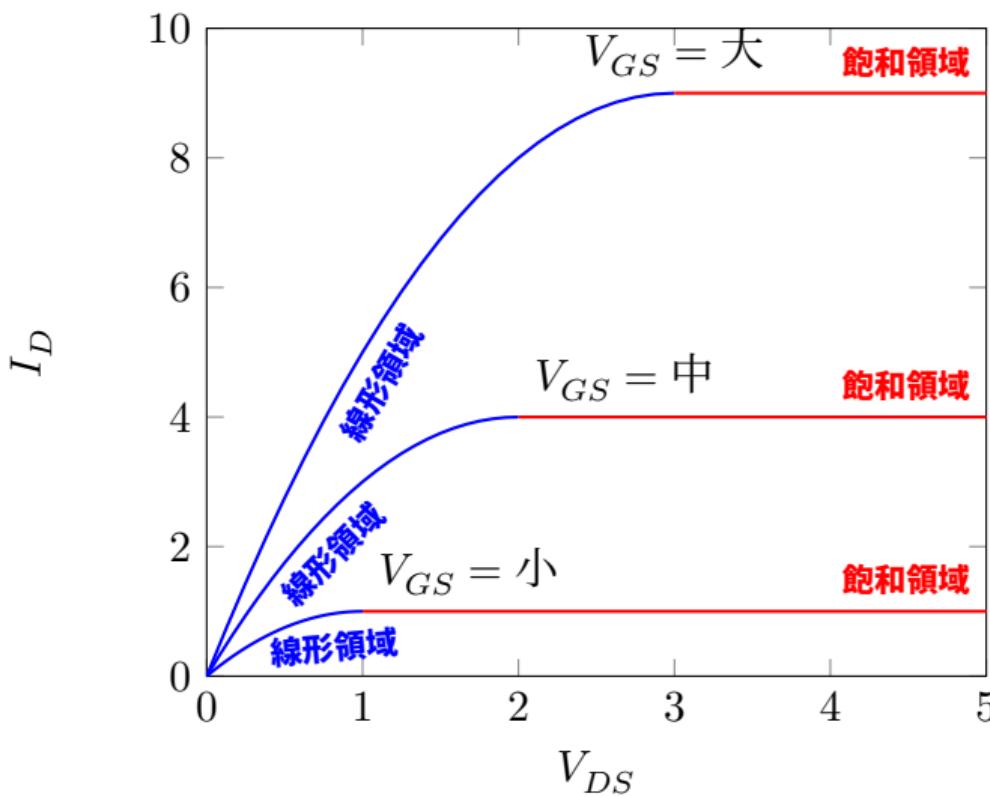
$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

$K$  は **トランジスタの開通率** といい、チャネルの物理的なサイズで  $K = K_0 \frac{W}{L}$  と決まる。ここで  $K_0$  は単位トランジスタの開通率、 $W, L$  はそれぞれチャネル幅、長さ。

**MOSトランジスタは飽和領域で使うのが基本。**

# $I_D$ を $V_{DS}$ の関数として見てみると……

飽和領域では  $V_{DS}$  に依存しなくなっている！(式からも明らかですが。)



- 飽和領域

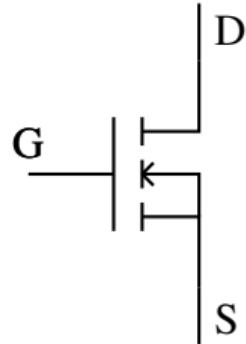
$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

- 線形領域

$$I_D = 2K(V_{GS} - V_T - \frac{V_{DS}}{2})V_{DS}$$

$V_{GS}$  で  $I_D$  を制御しようと思ったら、飽和領域の方が使い勝手が良さそう？

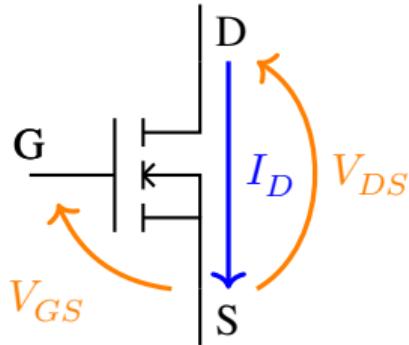
# MOS トランジスタの練習問題



問:  $V_T = 1.0\text{ V}$  の MOSFETにおいて、 $V_{DS} = 10\text{ V}$ ,  $V_{GS} = 3\text{ V}$  のとき  $I_D = 10\text{ A}$  であった。伝達コンダクタンスパラメタ  $K$  を求めよ。はじめに、この状態が飽和領域か非飽和領域かを調べることから始めること。

答: なので 領域。  $K =$

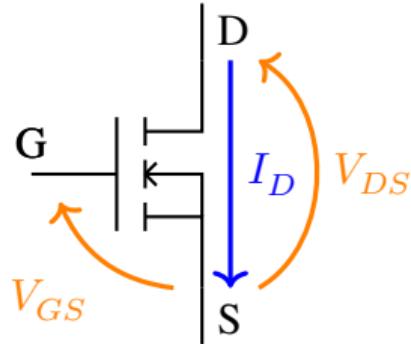
# MOS トランジスタの練習問題



問:  $V_T = 1.0\text{ V}$  の MOSFETにおいて、 $V_{DS} = 10\text{ V}$ ,  $V_{GS} = 3\text{ V}$  のとき  $I_D = 10\text{ A}$  であった。伝達コンダクタンスパラメタ  $K$  を求めよ。はじめに、この状態が飽和領域か非飽和領域かを調べることから始めること。

答: なので 領域。 $K =$

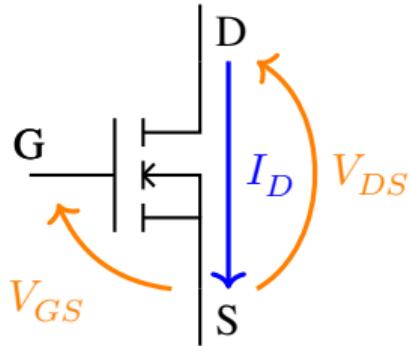
# MOS トランジスタの練習問題



問:  $V_T = 1.0\text{ V}$  の MOSFETにおいて、 $V_{DS} = 10\text{ V}$ ,  $V_{GS} = 3\text{ V}$  のとき  $I_D = 10\text{ A}$  であった。伝達コンダクタンスパラメタ  $K$  を求めよ。はじめに、この状態が飽和領域か非飽和領域かを調べることから始めること。

答:  $V_{DS} > V_{GS} - V_T$  なので 領域。  $K =$

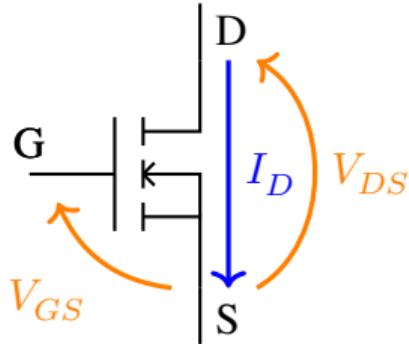
# MOS トランジスタの練習問題



問:  $V_T = 1.0\text{ V}$  の MOSFETにおいて、 $V_{DS} = 10\text{ V}$ ,  $V_{GS} = 3\text{ V}$  のとき  $I_D = 10\text{ A}$  であった。伝達コンダクタンスパラメタ  $K$  を求めよ。はじめに、この状態が飽和領域か非飽和領域かを調べることから始めること。

答:  $V_{DS} > V_{GS} - V_T$  なので 飽和 領域。  $K =$

# MOS トランジスタの練習問題



問:  $V_T = 1.0\text{ V}$  の MOSFETにおいて、 $V_{DS} = 10\text{ V}$ ,  $V_{GS} = 3\text{ V}$  のとき  $I_D = 10\text{ A}$  であった。伝達コンダクタンスパラメタ  $K$  を求めよ。はじめに、この状態が飽和領域か非飽和領域かを調べることから始めること。

答:  $V_{DS} > V_{GS} - V_T$  なので 飽和 領域。 $K = \frac{I_D}{(V_{GS}-V_T)^2} \simeq 2.5\text{ A/V}^2$

- 抵抗器は  $I$  や  $V$  がどんな値でも  $I = \frac{V}{R}$  が成り立った。
- バイポーラトランジスタは  
**まらない。**  
→ B-E と B-C に適当な電圧をかける必要がある。
- MOSトランジスタは **電圧状態を始まらない。**  
→ G-S と D-S に適当な電圧をかける必要がある。

電圧の状態 ( ) の準備が必要

- 抵抗器は  $I$  や  $V$  がどんな値でも  $I = \frac{V}{R}$  が成り立った。
- バイポーラトランジスタは **B→E 電流を流さないことには始まらない。**  
→ B-E と B-C に適当な電圧をかける必要がある。
- MOS トランジスタは **電圧状態を にしないことには始まらない。**  
→ G-S と D-S に適当な電圧をかける必要がある。

電圧の状態 ( ) の準備が必要

- 抵抗器は  $I$  や  $V$  がどんな値でも  $I = \frac{V}{R}$  が成り立った。
- バイポーラトランジスタは **B→E 電流を流さないことには始まらない。**  
→ B-E と B-C に適当な電圧をかける必要がある。
- MOS トランジスタは **電圧状態を飽和領域にしないことには始まらない。**  
→ G-S と D-S に適当な電圧をかける必要がある。

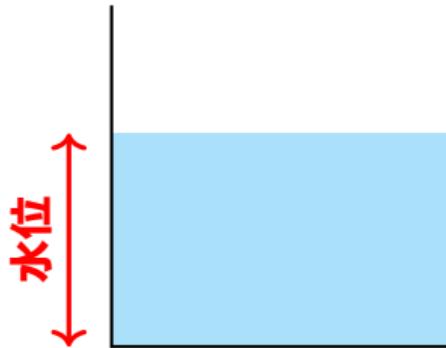
## 電圧の状態 ( ) の準備が必要

- 抵抗器は  $I$  や  $V$  がどんな値でも  $I = \frac{V}{R}$  が成り立った。
- バイポーラトランジスタは **B→E 電流を流さないことには始まらない。**  
→ B-E と B-C に適当な電圧をかける必要がある。
- MOS トランジスタは **電圧状態を飽和領域にしないことには始まらない。**  
→ G-S と D-S に適当な電圧をかける必要がある。

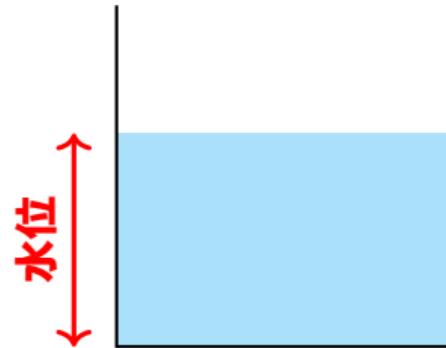
## 電圧の状態 (バイアス) の準備が必要

# バイアスのざっくりとしたイメージ

## 抵抗器（等）のイメージ



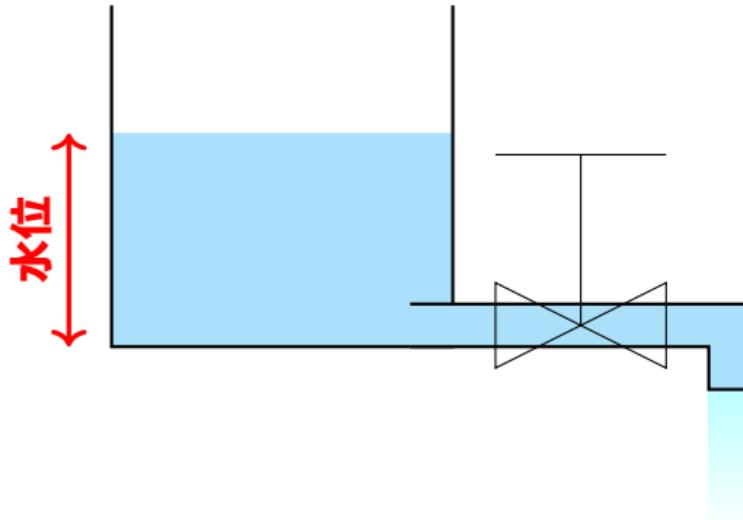
## トランジスタのイメージ



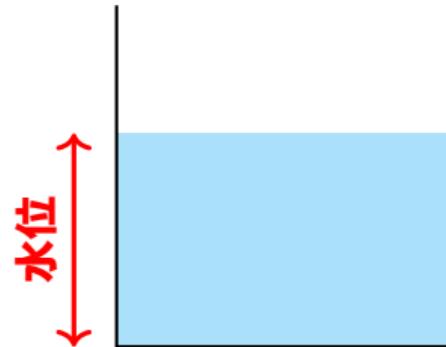
OF TECHNOLOGY

# バイアスのざっくりとしたイメージ

## 抵抗器（等）のイメージ



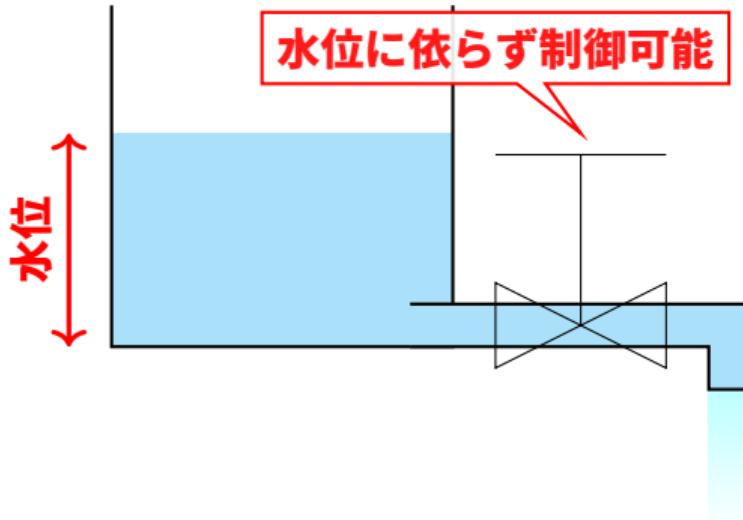
## トランジスタのイメージ



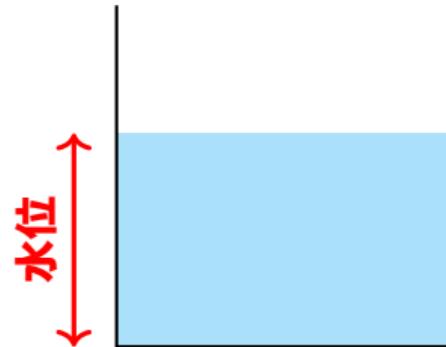
OF TECHNOLOGY

# バイアスのざっくりとしたイメージ

## 抵抗器（等）のイメージ

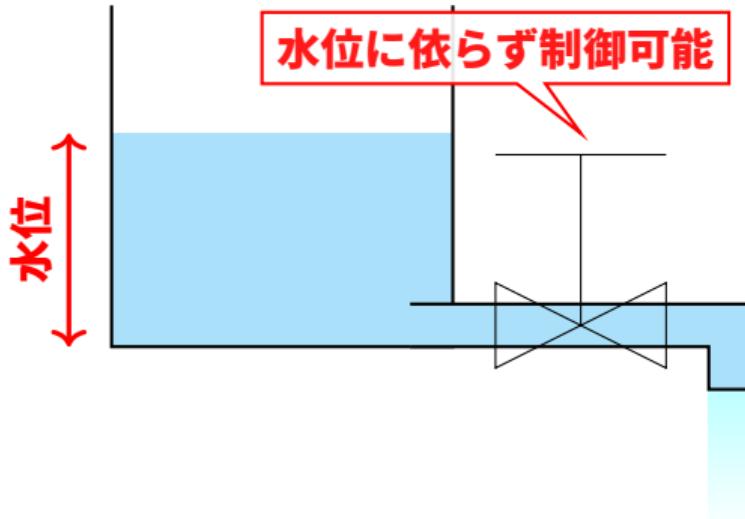


## トランジスタのイメージ

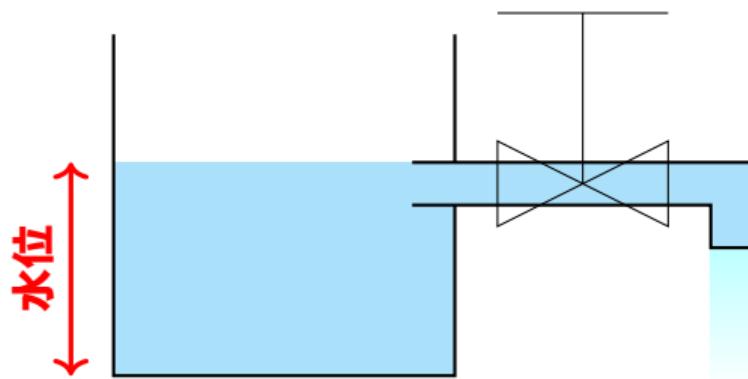


# バイアスのざっくりとしたイメージ

## 抵抗器（等）のイメージ

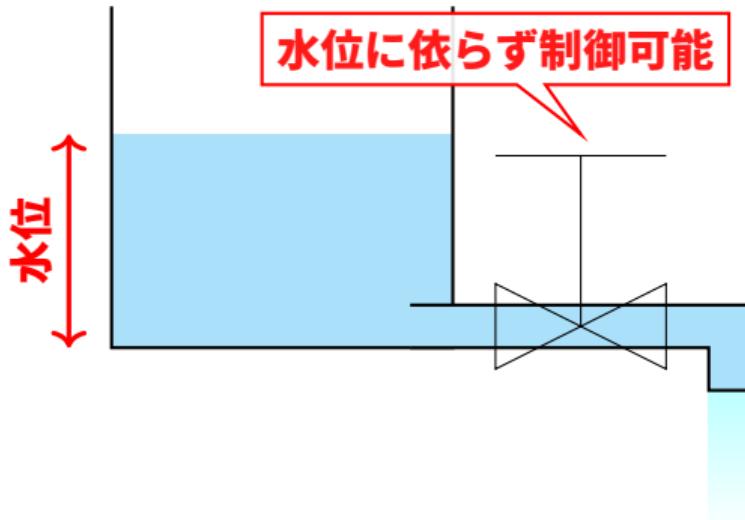


## トランジスタのイメージ

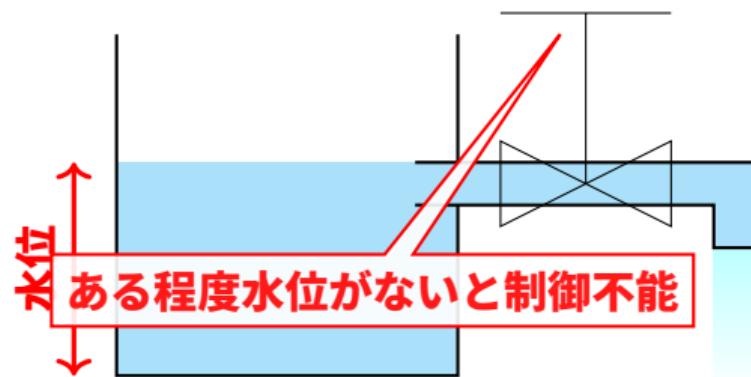


# バイアスのざっくりとしたイメージ

## 抵抗器（等）のイメージ

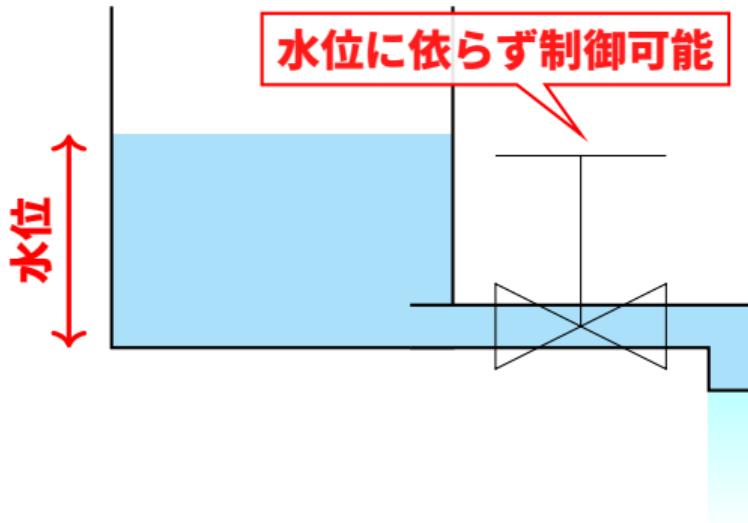


## トランジスタのイメージ

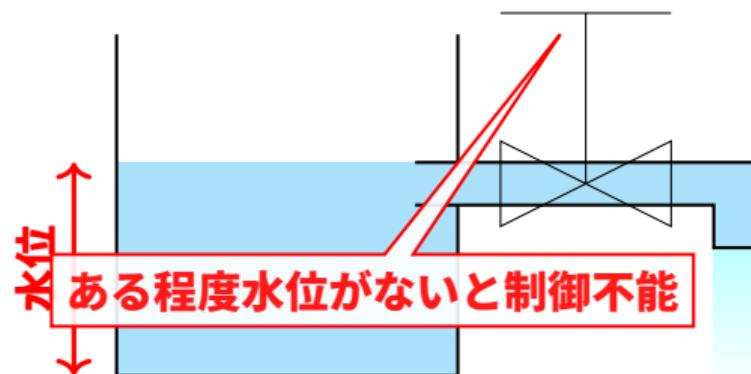


# バイアスのざっくりとしたイメージ

## 抵抗器（等）のイメージ



## トランジスタのイメージ



この『水位』がバイアスのイメージ

OF TECHNOLOGY

# バイアス（大信号）について

- トランジスタは基本的な電圧（向き・大きさ）をかけて使うのが前提。(例: E→B や B→C の向きの適当な大きさの電圧)
- これを という。(前のページの水位に相当。)
- 情報を持たせた信号は、この電圧に加えるかたちで与える。これを という。(前のページのバルブの開閉に相当。)
- バイアスのことを、小信号に対して ともいう。
- アナログ電子回路では、大信号と小信号を分けて議論する。



# バイアス（大信号）について

- トランジスタは基本的な電圧（向き・大きさ）をかけて使うのが前提。(例: E→B や B→C の向きの適当な大きさの電圧)
- これを **バイアス** という。(前のページの水位に相当。)
- 情報を持たせた信号は、この電圧に加えるかたちで与える。これを という。(前のページのバルブの開閉に相当。)
- バイアスのことを、小信号に対して ともいう。
- アナログ電子回路では、大信号と小信号を分けて議論する。



# バイアス（大信号）について

- トランジスタは基本的な電圧（向き・大きさ）をかけて使うのが前提。(例: E→B や B→C の向きの適当な大きさの電圧)
- これを **バイアス** という。(前のページの水位に相当。)
- 情報を持たせた信号は、この電圧に加えるかたちで与える。これを **小信号** という。(前のページのバルブの開閉に相当。)
- バイアスのことを、小信号に対して ともいう。
- アナログ電子回路では、大信号と小信号を分けて議論する。



# バイアス（大信号）について

- トランジスタは基本的な電圧（向き・大きさ）をかけて使うのが前提。(例: E→B や B→C の向きの適当な大きさの電圧)
- これを **バイアス** という。(前のページの水位に相当。)
- 情報を持たせた信号は、この電圧に加えるかたちで与える。これを **小信号** という。(前のページのバルブの開閉に相当。)
- バイアスのことを、小信号に対して **大信号** ともいう。
- アナログ電子回路では、大信号と小信号を分けて議論する。



# バイアス（大信号）について

- トランジスタは基本的な電圧（向き・大きさ）をかけて使うのが前提。(例: E→B や B→C の向きの適当な大きさの電圧)
- これを **バイアス** という。(前のページの水位に相当。)
- 情報を持たせた信号は、この電圧に加えるかたちで与える。これを **小信号** という。(前のページのバルブの開閉に相当。)
- バイアスのことを、小信号に対して **大信号** ともいう。
- アナログ電子回路では、大信号と小信号を分けて議論する。



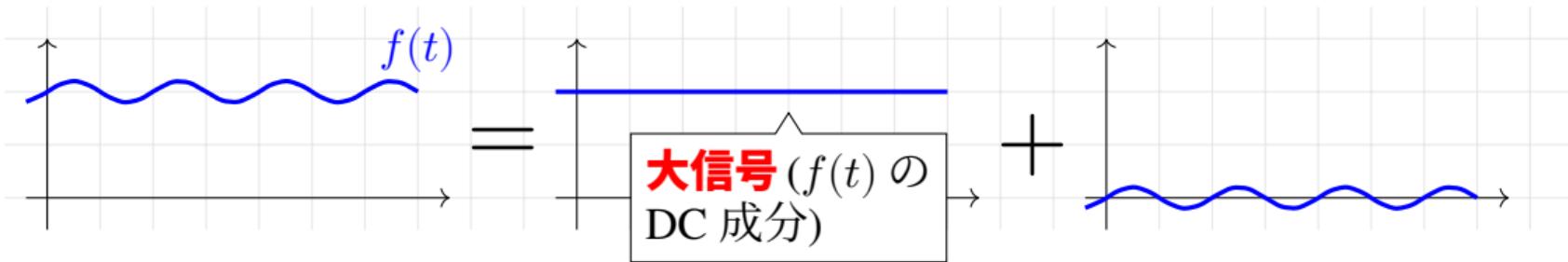
# バイアス（大信号）について

- トランジスタは基本的な電圧（向き・大きさ）をかけて使うのが前提。(例: E→B や B→C の向きの適当な大きさの電圧)
- これを **バイアス** という。(前のページの水位に相当。)
- 情報を持たせた信号は、この電圧に加えるかたちで与える。これを **小信号** という。(前のページのバルブの開閉に相当。)
- バイアスのことを、小信号に対して **大信号** ともいう。
- アナログ電子回路では、大信号と小信号を分けて議論する。



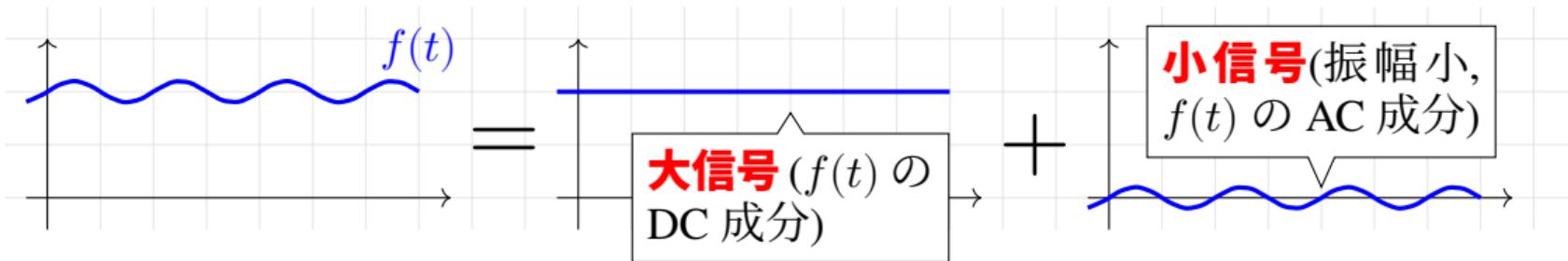
# バイアス（大信号）について

- トランジスタは基本的な電圧（向き・大きさ）をかけて使うのが前提。(例: E→B や B→C の向きの適当な大きさの電圧)
- これを **バイアス** という。(前のページの水位に相当。)
- 情報を持たせた信号は、この電圧に加えるかたちで与える。これを **小信号** という。(前のページのバルブの開閉に相当。)
- バイアスのことを、小信号に対して **大信号** ともいう。
- アナログ電子回路では、大信号と小信号を分けて議論する。



# バイアス（大信号）について

- トランジスタは基本的な電圧（向き・大きさ）をかけて使うのが前提。(例: E→B や B→C の向きの適当な大きさの電圧)
- これを **バイアス** という。(前のページの水位に相当。)
- 情報を持たせた信号は、この電圧に加えるかたちで与える。これを **小信号** という。(前のページのバルブの開閉に相当。)
- バイアスのことを、小信号に対して **大信号** ともいう。
- アナログ電子回路では、大信号と小信号を分けて議論する。



# 今回と次回以降の話の位置づけ

- ① 飽和領域では  $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$ 、つまり  $I_D$  は  $V_{GS}$  の関数。

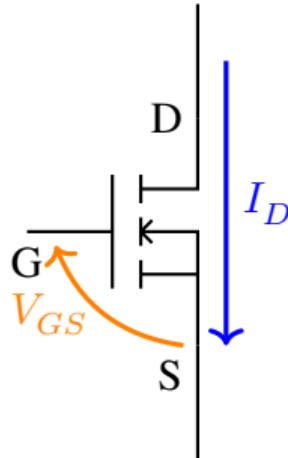


と表せる。

- ②  $V_{GS} = V + \Delta v$  と考えよう。 $(V$  が  
が  
。)

- ③ 一次近似すると…

$$I_D(V_{GS}) =$$



# 今回と次回以降の話の位置づけ

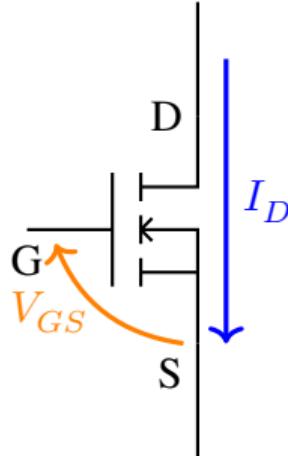
- ① 飽和領域では  $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$ 、つまり  $I_D$  は  $V_{GS}$  の関数。

→  $I_D(V_{GS})$  と表せる。

- ②  $V_{GS} = V + \Delta v$  と考えよう。 $(V$  が  $\Delta v$  が )

- ③ 一次近似すると…

$$I_D(V_{GS}) =$$



# 今回と次回以降の話の位置づけ

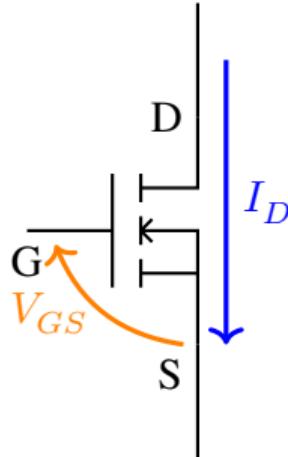
- ① 飽和領域では  $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$ 、つまり  $I_D$  は  $V_{GS}$  の関数。

→  $I_D(V_{GS})$  と表せる。

- ②  $V_{GS} = V + \Delta v$  と考えよう。 $(V$  がバイアス、 $\Delta v$  が )

- ③ 一次近似すると…

$$I_D(V_{GS}) =$$



# 今回と次回以降の話の位置づけ

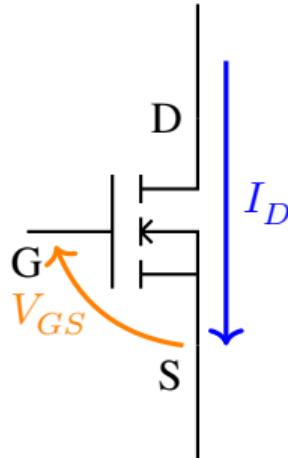
- ① 飽和領域では  $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$ 、つまり  $I_D$  は  $V_{GS}$  の関数。

→  $I_D(V_{GS})$  と表せる。

- ②  $V_{GS} = V + \Delta v$  と考えよう。 $(V$  が**バイアス**、 $\Delta v$  が**小信号**。)

- ③ 一次近似すると…

$$I_D(V_{GS}) =$$



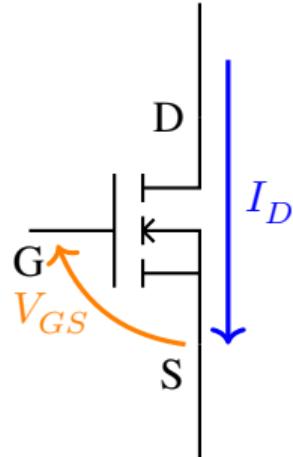
# 今回と次回以降の話の位置づけ

- ① 飽和領域では  $I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$ 、つまり  $I_D$  は  $V_{GS}$  の関数。

→  $I_D(V_{GS})$  と表せる。

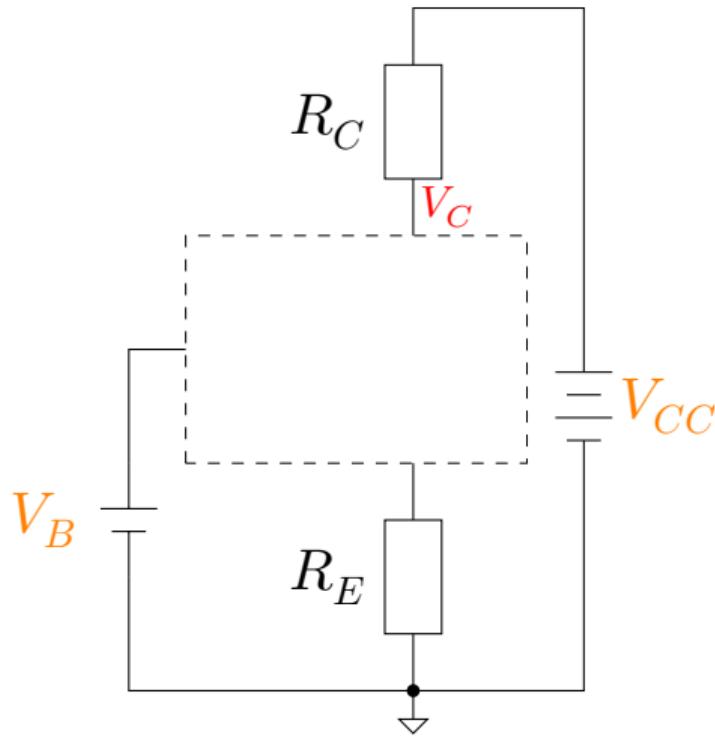
- ②  $V_{GS} = V + \Delta v$  と考えよう。 $(V$  が**バイアス**、 $\Delta v$  が**小信号**。)

- ③ 一次近似すると…



$$I_D(V_{GS}) = \underbrace{I_D(V)}_{\text{今回の注目点}} + \underbrace{I'_D(V) \times \Delta v}_{\text{次回以降}}$$

# バイアス設計問題

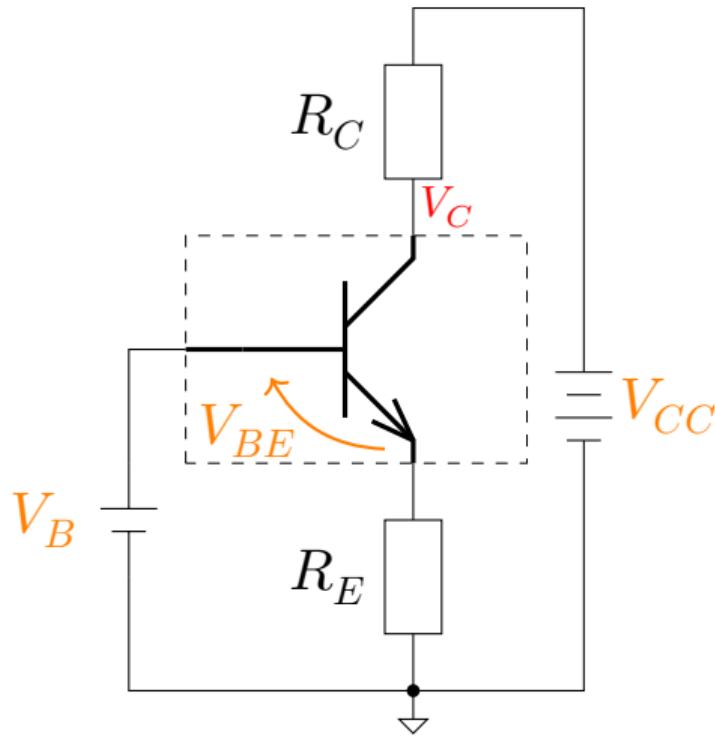


- バイアス電圧を  $V_{BE}$  とする。
- $I_B$  は小さいので 0 として考  
える。

問: 図の回路の  $V_C$  を求めよ。

ナレータ・ノレータで表して『大信号モデル』ということもある。

# バイアス設計問題

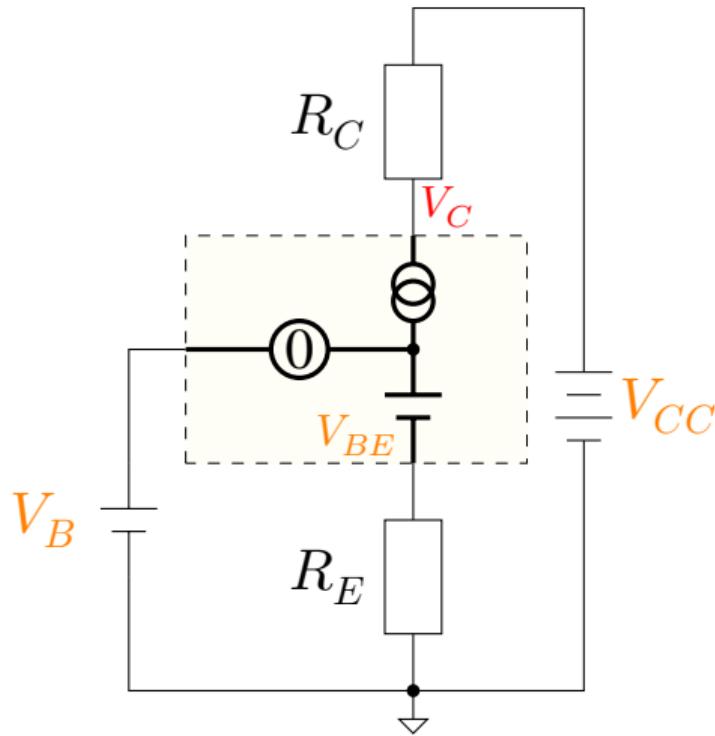


- バイアス電圧を  $V_{BE}$  とする。
- $I_B$  は小さいので 0 として考  
える。

問: 図の回路の  $V_C$  を求めよ。

ナレータ・ノレータで表して『大信号モデル』ということもある。

# バイアス設計問題

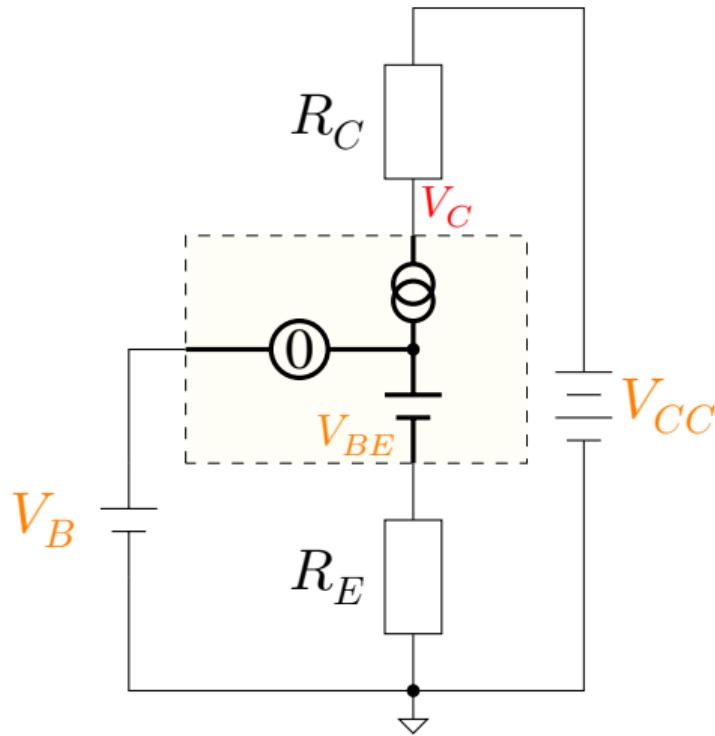


- バイアス電圧を  $V_{BE}$  とする。
- $I_B$  は小さいので 0 として考  
える。

問: 図の回路の  $V_C$  を求めよ。

ナレータ・ノレータで表して『大信号モデル』ということもある。

# バイアス設計問題



- バイアス電圧を  $V_{BE}$  とする。
- $I_B$  は小さいので 0 として考  
える。

問: 図の回路の  $V_C$  を求めよ。

$$V_{CC} - \frac{R_C}{R_E} (V_B - V_{BE})$$

ナレータ・ノレータで表して『大信号モデル』ということもある。

# ミニレポート課題 (受付期間: 授業当日～次回授業の前日)

受付期間外には提出しないこと。(自動処理しています。)

- トランスコンダクタンスパラメタが  $K = 3 \text{ (A/V}^2\text{)}$ 、
- しきい電圧が  $V_T = 2 \text{ (V)}$

の MOS トランジスタにおいて、 $V_{DS} = 8 \text{ (V)}$  のときのドレン電流を  $I_D = 12 \text{ (A)}$  としたい。ソース・ゲート間バイアス  $V_{GS}$  を求めよ。その際、線形領域か飽和領域なのかも理由とともに示すこと。

提出は下記 URL の Google Forms。歪んでいない、開いた時に横倒しになっていない、コントラストが読むに耐えうる PDF で提出すること。**手書きを写真撮影する場合はスキャナもしくはスキャナアプリの使用を必須とする。**

<https://forms.gle/MpUmErDi6qk8GSUC6>

