

# アナログ回路工学

## (5月7日, 第01回講義)

電気電子情報工学専攻  
情報通信制御システム工学講座  
坪根 正

# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(講義の目標1/5) 担当：坪根 正

1. 小信号等価回路を用いてMOSトランジスタの特性を  
解析できる
2. 増幅回路の周波数特性を解析できる
3. 集積回路を構成する差動増幅器とバイアス回路の  
原理を説明できる
4. 演算増幅器の動作を説明できる

# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義) (講義の目標2/5) 担当：坪根 正

電気・電子・情報の技術者として...

常識である『アナログ回路』に関する理論

CMOS集積回路の基礎を身につける

# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(講義の目標3/5) 担当：坪根 正

なぜアナログは難しいのか？

(1) ノイズ・雑音

ディジタル回路に比べて影響大

(2) トレードオフ

ディジタル回路： 速度  $\Leftrightarrow$  電力

アナログ回路： 速度、電力、利得、精度、...

(3) 設計の困難さ

自動化, モデル化

$\Leftrightarrow$  デジタル： 論理合成・レイアウトの自動化

# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義) (講義の目標4/5) 担当：坪根 正

なぜアナログ回路が重要なのか？

… 全てのアナログ回路をデジタル回路に置き換えられるなら、  
アナログ回路は不要ではないのか？

→ アナログ回路は不可欠！

微小信号の増幅

ワイヤレス通信

高速技術・高周波技術

センシング技術

# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(講義の目標5/5) 担当：坪根 正

なぜCMOSか？

(1) 低い電力消費

(2) 細線化

他のデバイスに比べて集積度大

(3) 低い製造コスト

1素子あたりのコスト小

デジタル・アナログ混在が可能(SoC)

(欠点) 動作速度・ノイズ

バイポーラトランジスタ(BJT)に比べ劣る(?)

→ 小型化によりほぼ同等

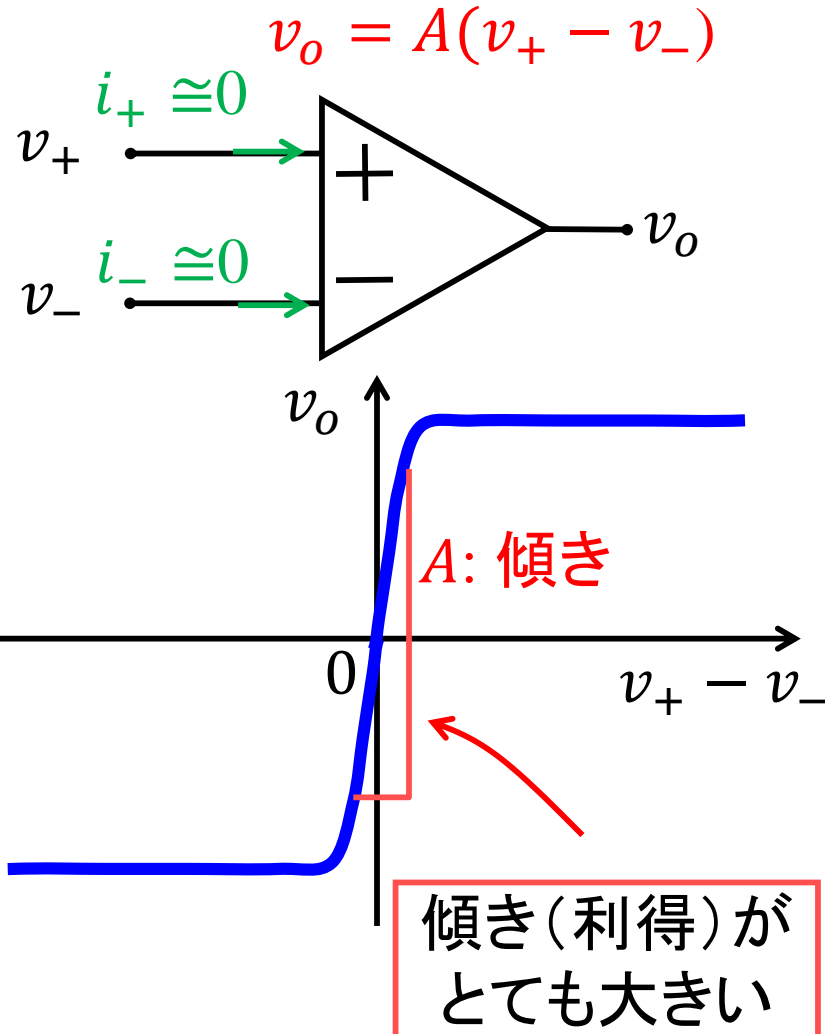
# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(オペアンプ1/3)

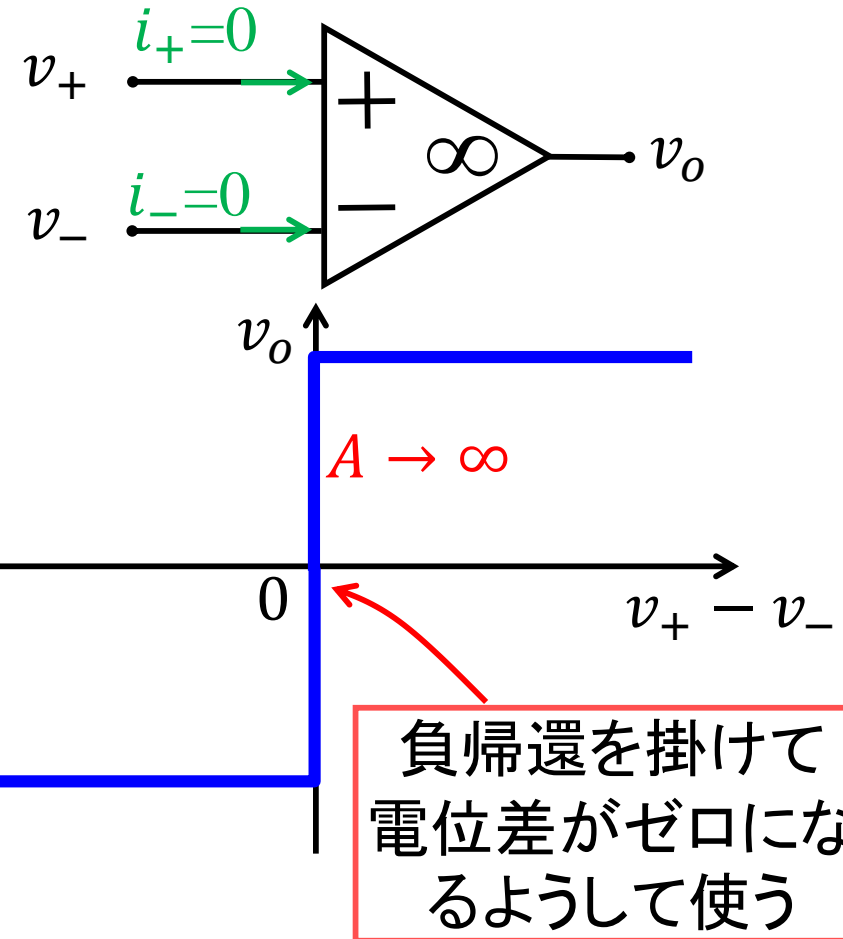
担当：坪根 正

学生実験「アナログICとその応用」と関係

実際のオペアンプ



理想オペアンプ

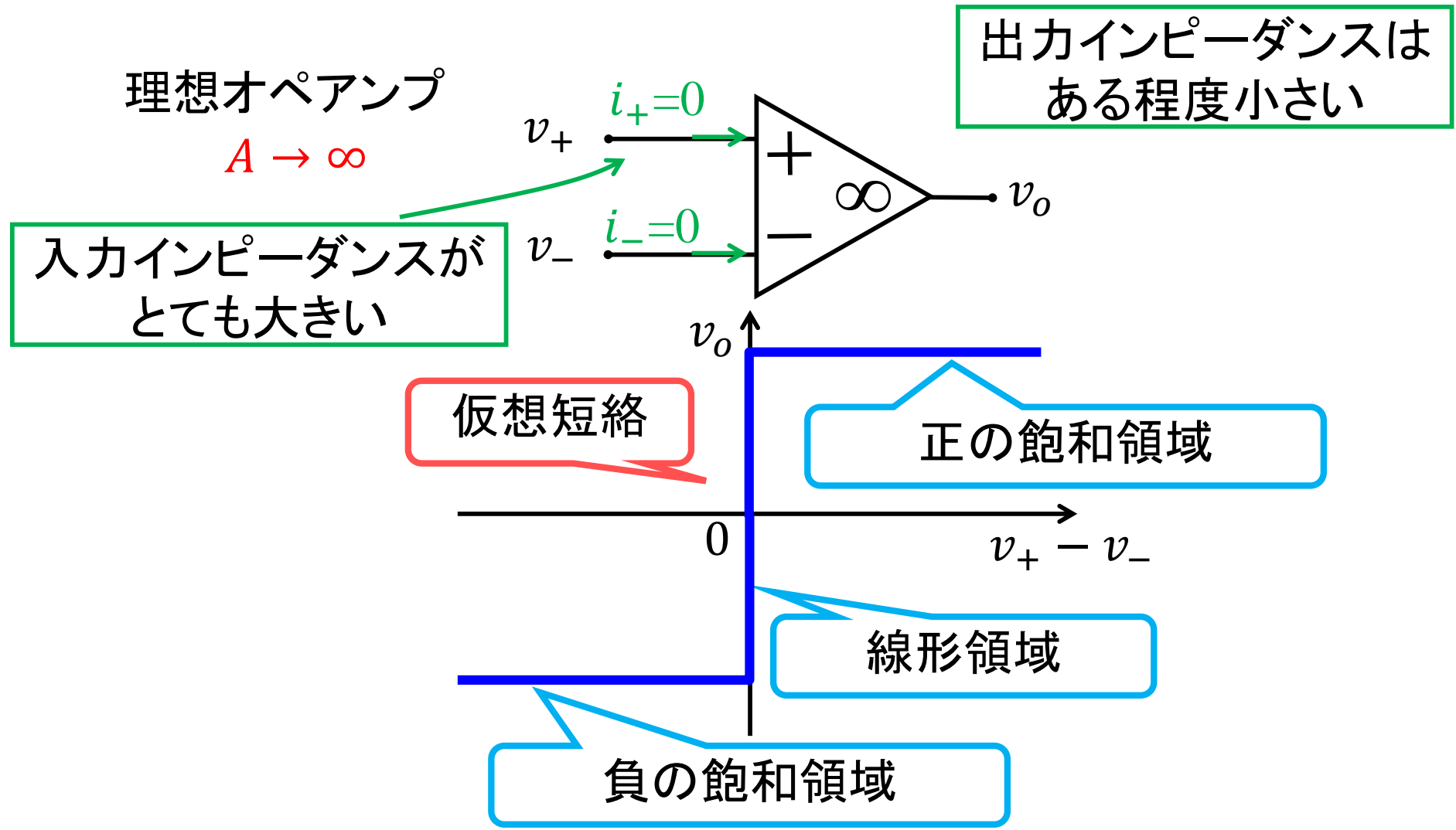


# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(オペアンプ2/3)

担当：坪根 正

学生実験「アナログICとその応用」と関係





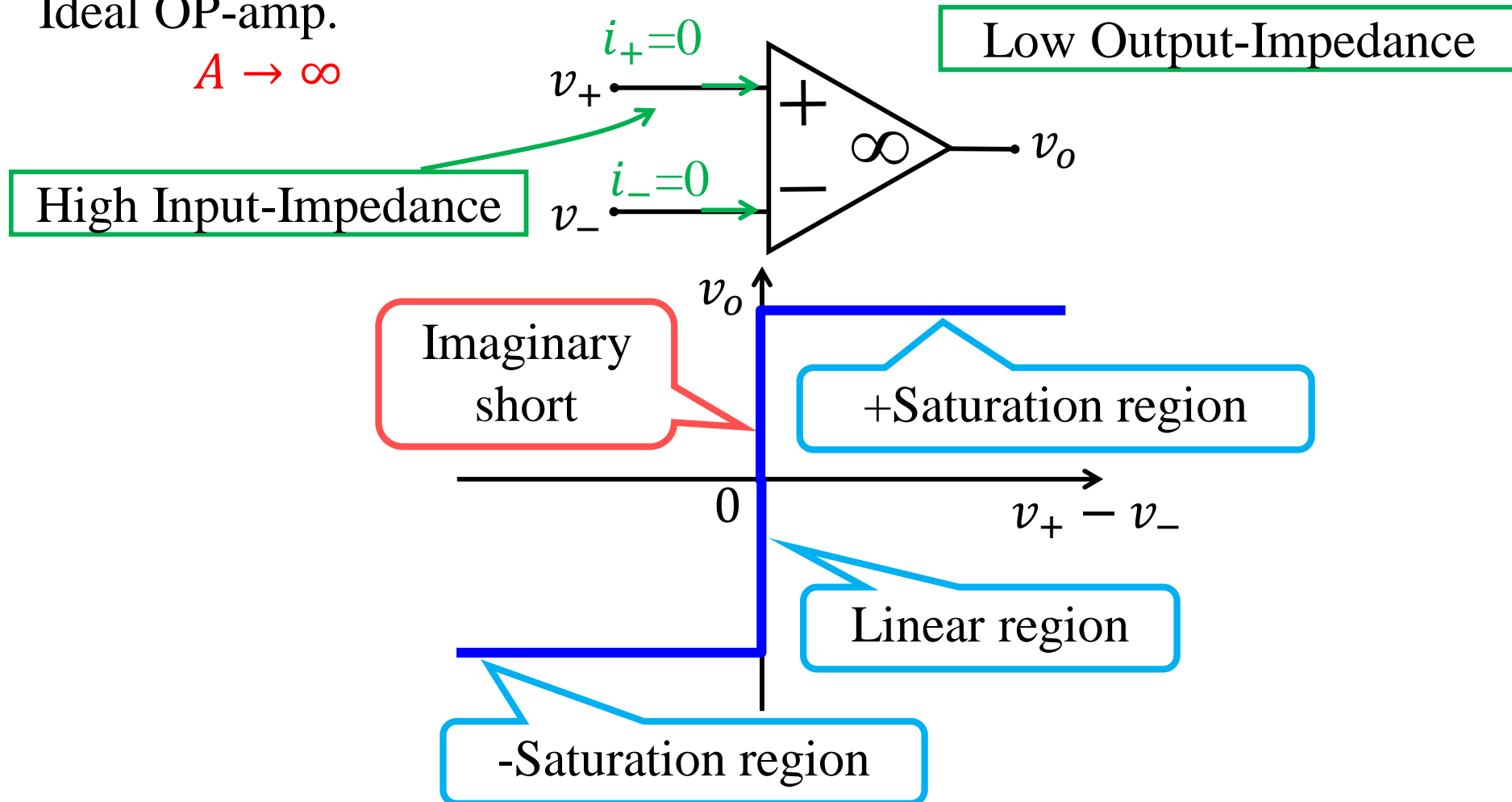
# Characteristic of OPamp.

relating to *Analog IC and its applications*

in Electric, Electronics and Information Engineering Laboratory 1

Ideal OP-amp.

$$A \rightarrow \infty$$



# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(オペアンプ3/3)

担当：坪根 正

学生実験「アナログICとその応用」と関係

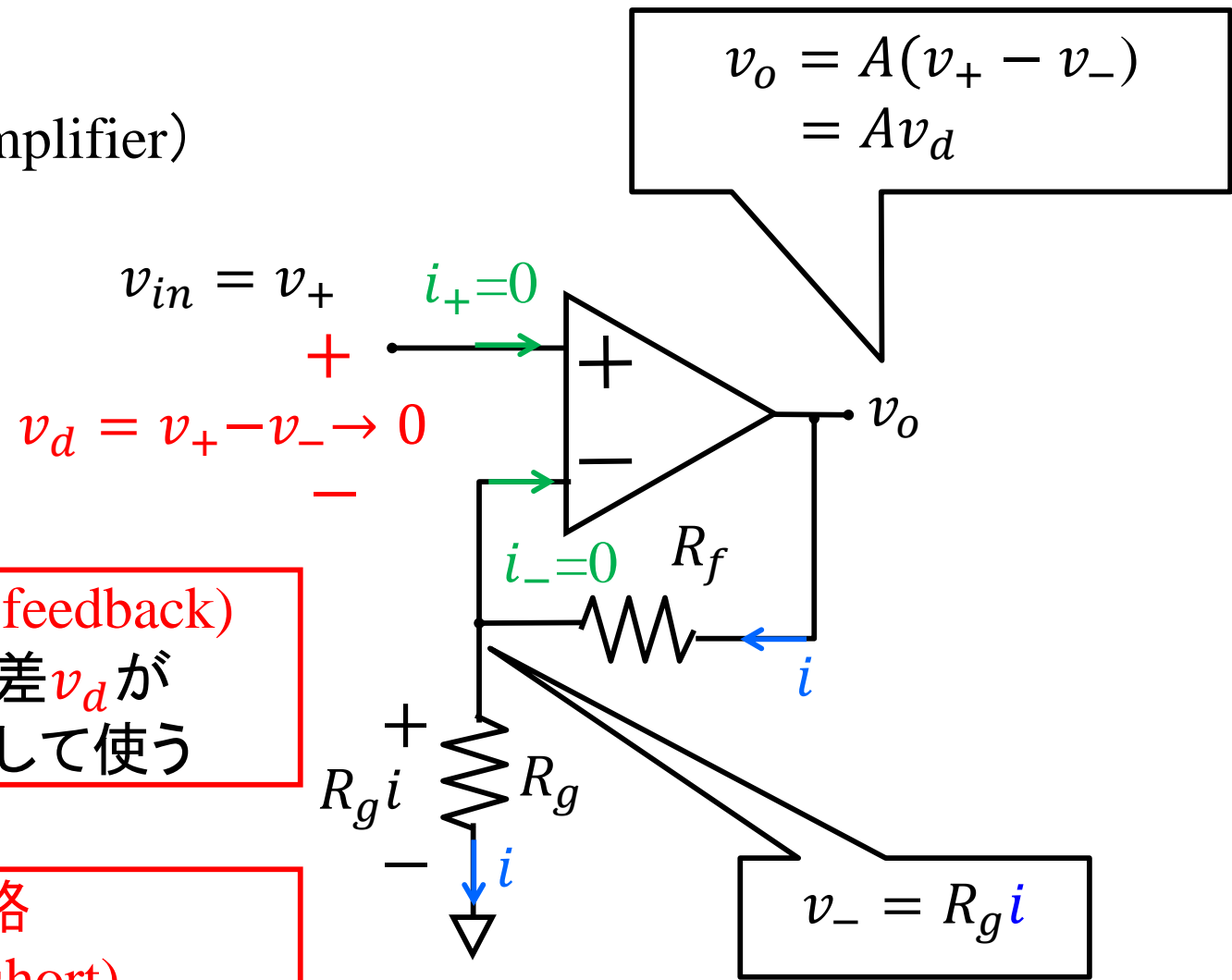
非反転増幅器

(Non-inverting amplifier)

負帰還(negative feedback)  
を掛けて電位差 $v_d$ が  
ゼロになるように使う



仮想短絡  
(Imaginary short)



# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(講義予定)

担当：坪根 正

5/ 7 (木): 講義ガイダンス・電子回路の基礎確認

5/14(木): MOSTランジスタの特性

5/21(木): MOSTランジスタの増幅作用

5/28(木): 基本増幅回路の小信号特性(1)

6/ 4 (木): 基本増幅回路の小信号特性(2)

6/11(木): 増幅回路の高周波特性

6/18(木): 前半のまとめと演習(レポート作成日)

6/22(月): 第1回レポート提出締め切り

6/25(木): 差動増幅回路(1)

7/ 2 (木): 差動増幅回路(2)

7/ 9 (木): 電流源回路, バイアス回路

7/16(木): 負帰還回路

7/23(木): MOS集積回路, 演算増幅器

7/30(木): (予備日)(レポート作成日)

8/ 3(月): 第2回レポート提出締め切り

# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(講義の進め方)

担当：坪根 正

講義(木曜日1限)

[ILIASから講義資料, 演習問題をダウンロード](#)

## 参考書

CMOS Analog Circuit Design

P.E.Allen, D.R.Holberg (Oxford)

アナログCMOS集積回路の設計

Behzad Razavi (丸善)

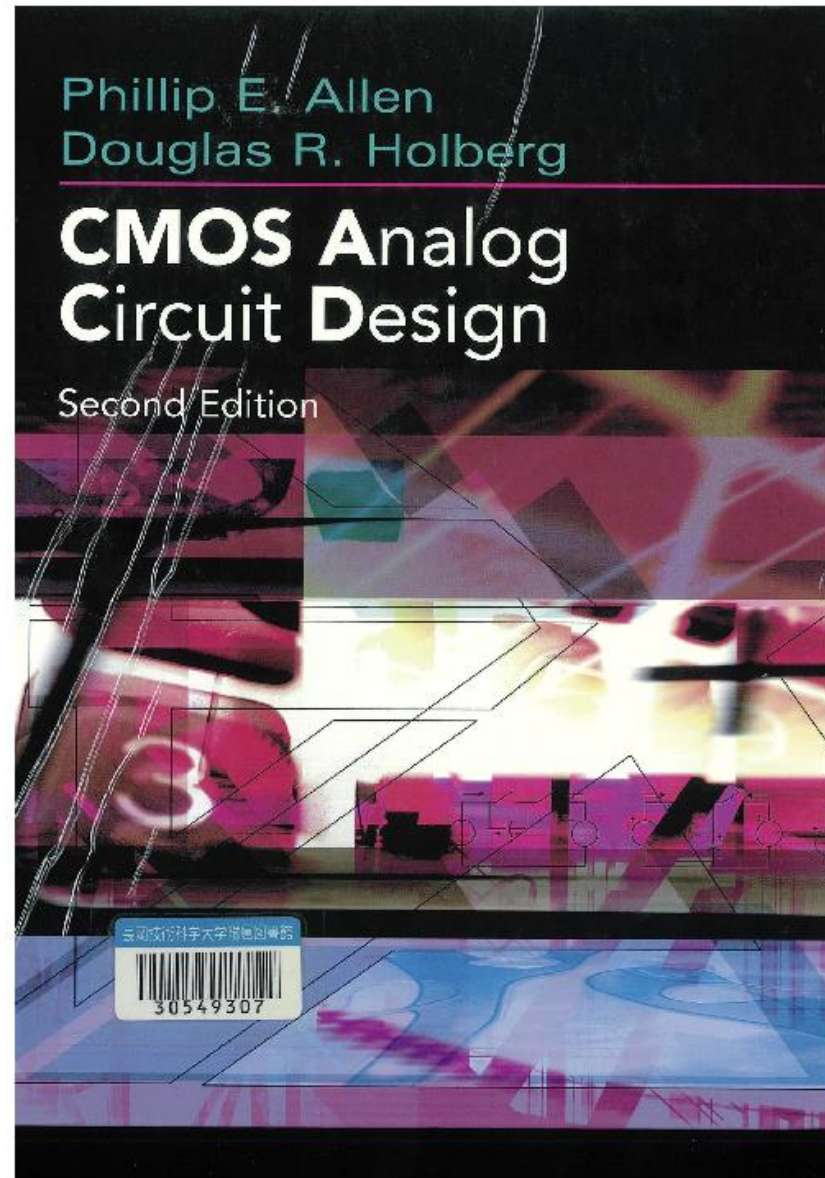
LSI設計者のためのCMOSアナログ回路入門

谷口 研二(CQ出版)

# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(参考書 1/3)

担当：坪根 正



# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(参考書 2/3)

担当：坪根 正



# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

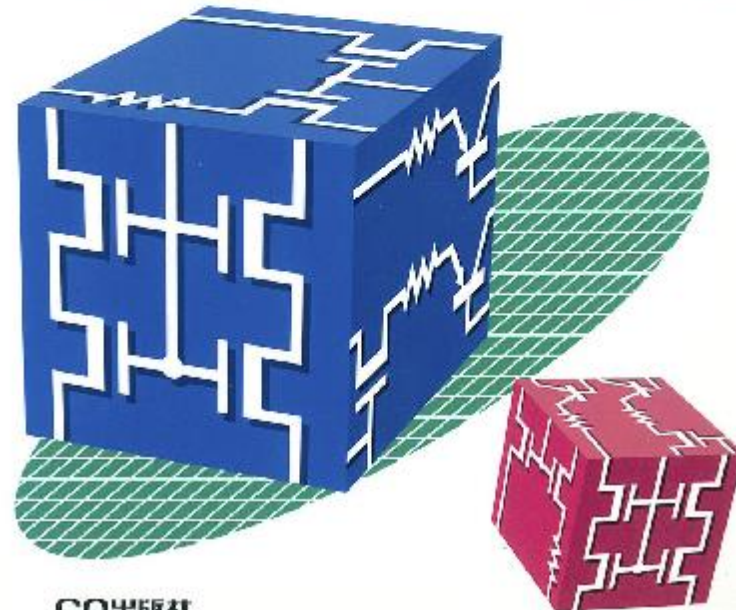
(参考書 3/3)

担当：坪根 正

LSI設計者のための  
**CMOS**  
**アナログ回路**  
**入門**

谷口 研二 著  
*Kenji Taniguchi*

Semiconductor Series  
半導体シリーズ



CQ出版社



# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(成績評価)

担当：坪根 正

前半レポート： 40%

前半の講義毎の演習： 10%

後半レポート： 40%

後半の講義毎の演習： 10%



合計60%未満

不合格



# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(本日の講義内容)

担当：坪根 正

pn接合の基礎となる知識

技術者としての一般常識

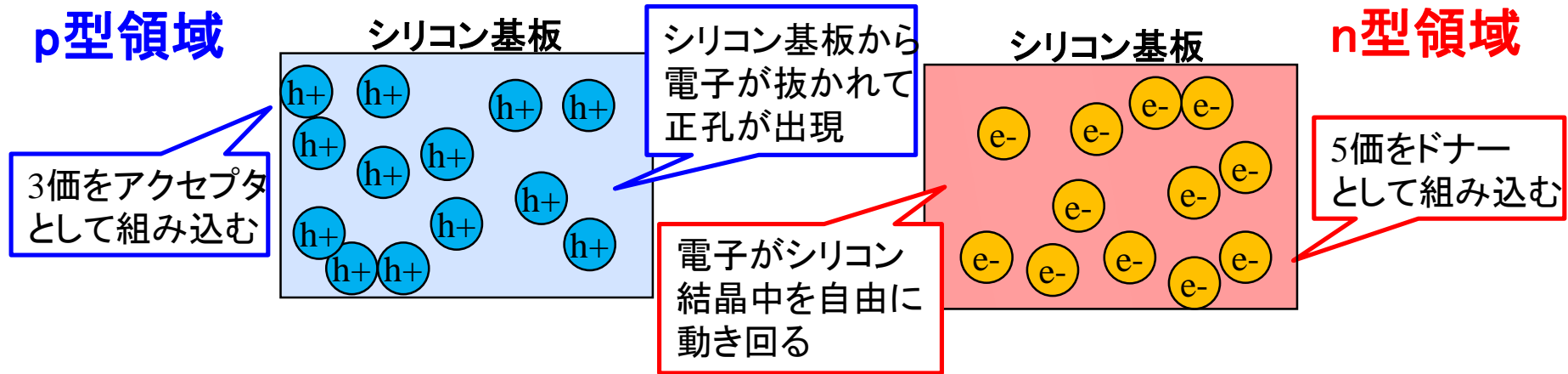
n型MOS FETの構造

を確認(復習)する

# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(pn接合の電気的特性 1/2)

担当：坪根 正

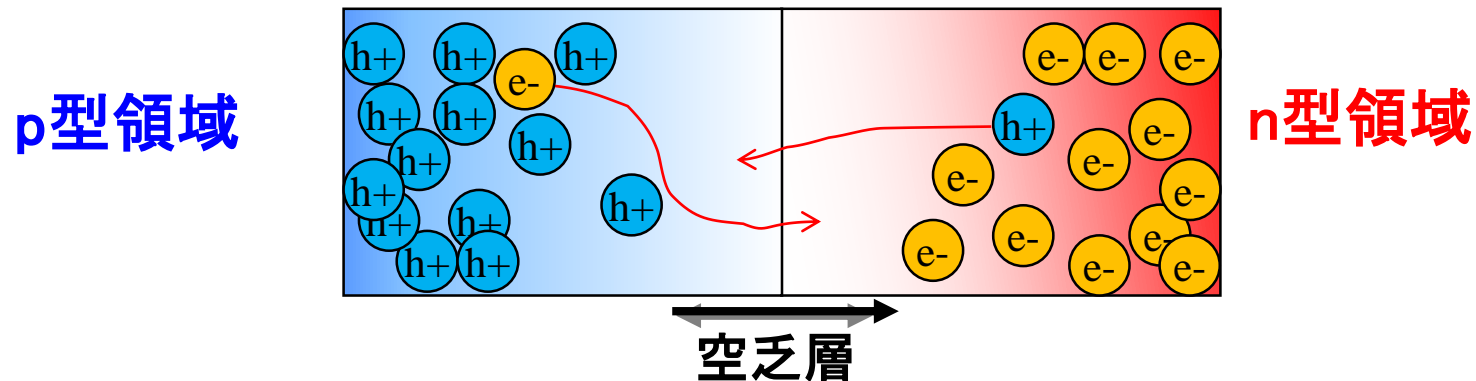


これを接合する: → **拡散現象**が生じる

**n型半導体の多数キャリア(電子)がp型半導体へ移動(拡散電流)**

接合界面付近で, 電子・正孔対が再結合

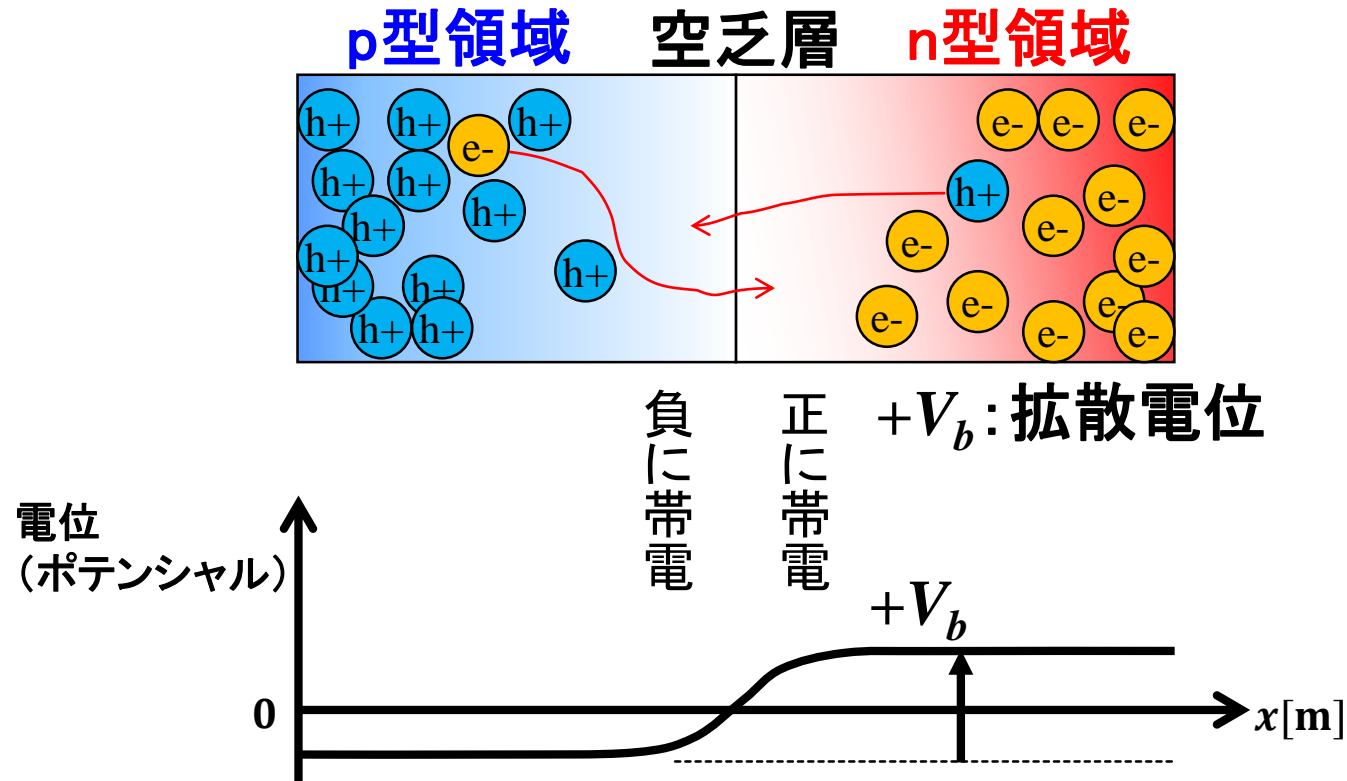
→ **高抵抗領域(空乏層)**の形成



# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(pn接合の電気的特性 2/2)

担当：坪根 正



**拡散電位**によりn型領域の電子が移動出来なくなる  
→ 電子と正孔の濃度が変化しない**安定状態**

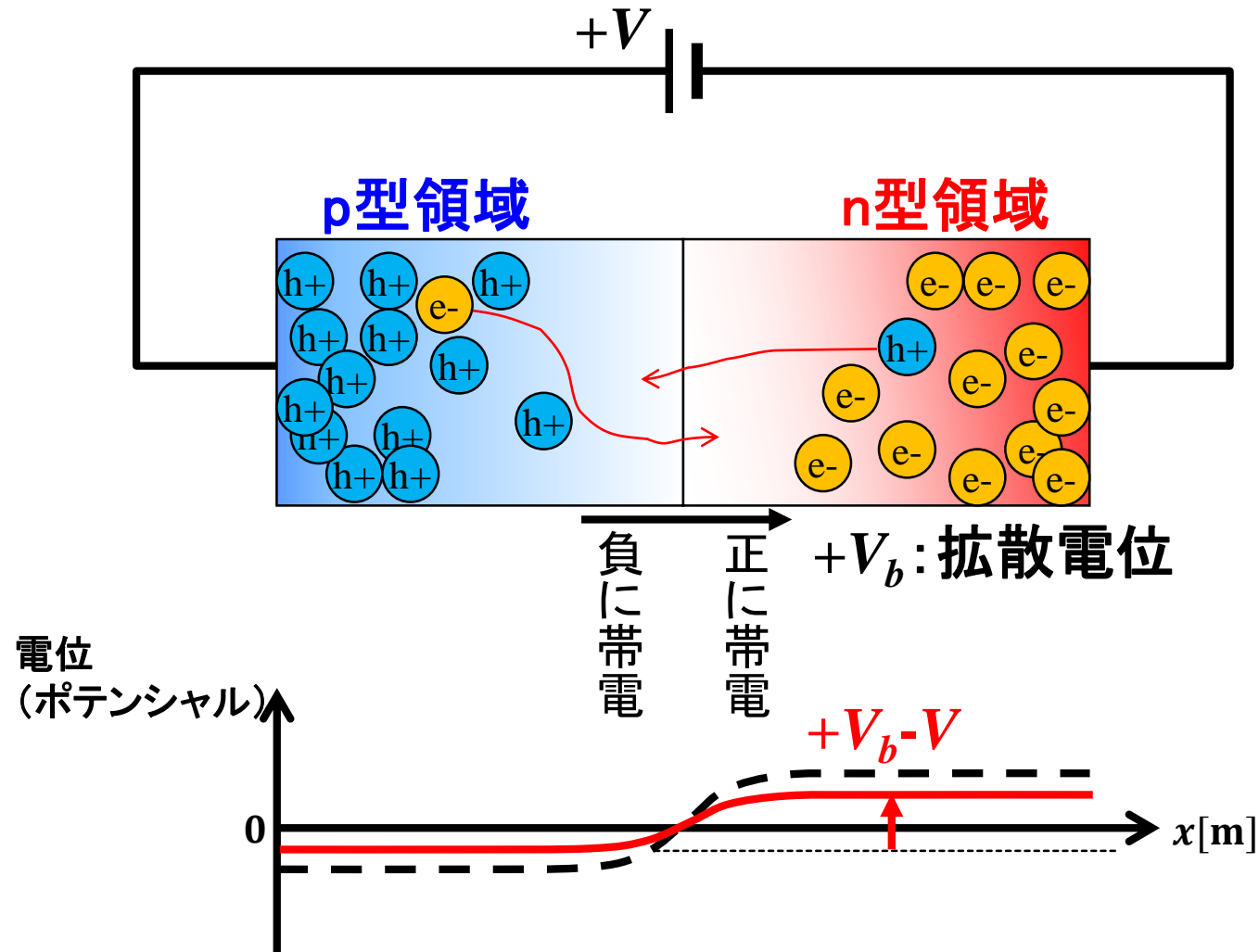
**ドリフト現象**: 少数キャリアの移動(電界ドリフト)も生じる

# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(順方向バイアス)

担当：坪根 正

順方向電圧の印加→拡散電位の低下→**拡散電流(多数キャリア)**

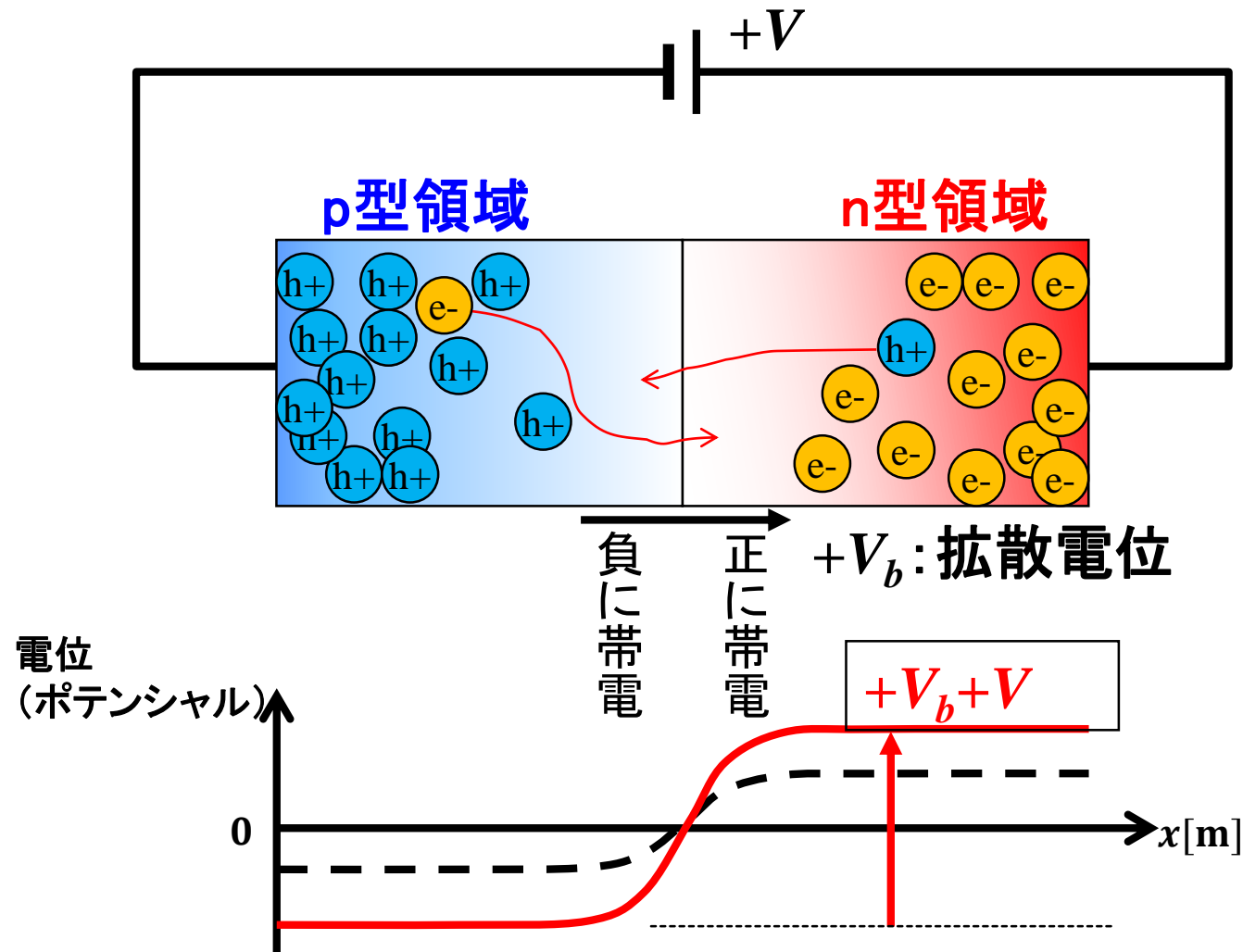


# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(逆方向バイアス)

担当：坪根 正

逆方向電圧の印加→拡散電位の増大→ドリフト電流(少数キャリア)



# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

(ダイオード特性)

担当：坪根 正

ダイオードの電流-電圧特性：

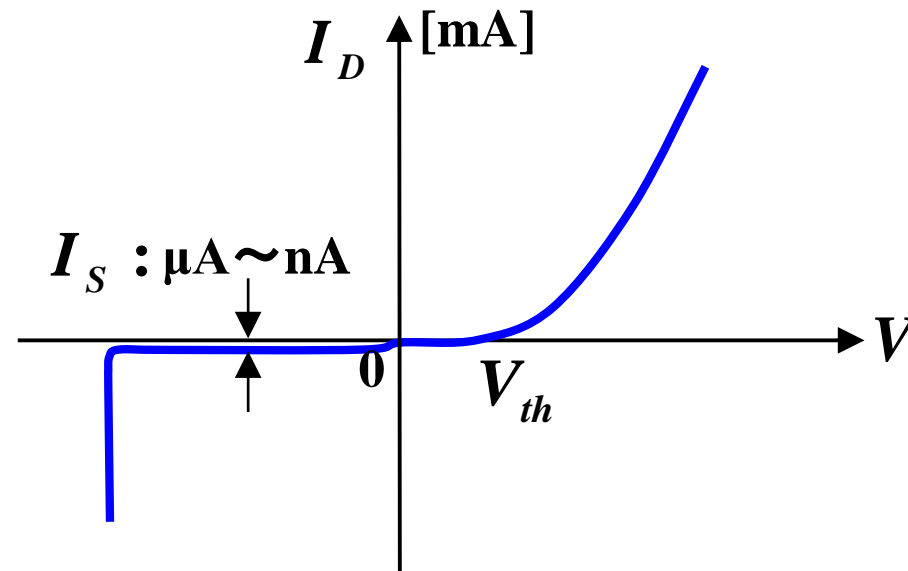
$$I = I_s \left( e^{\frac{qV}{k_B T}} - 1 \right)$$

$I_s$  : 逆方向飽和電流

$k_B$  : ボルツマン定数

$T$  : 絶対温度

$q$  : 電子の電荷



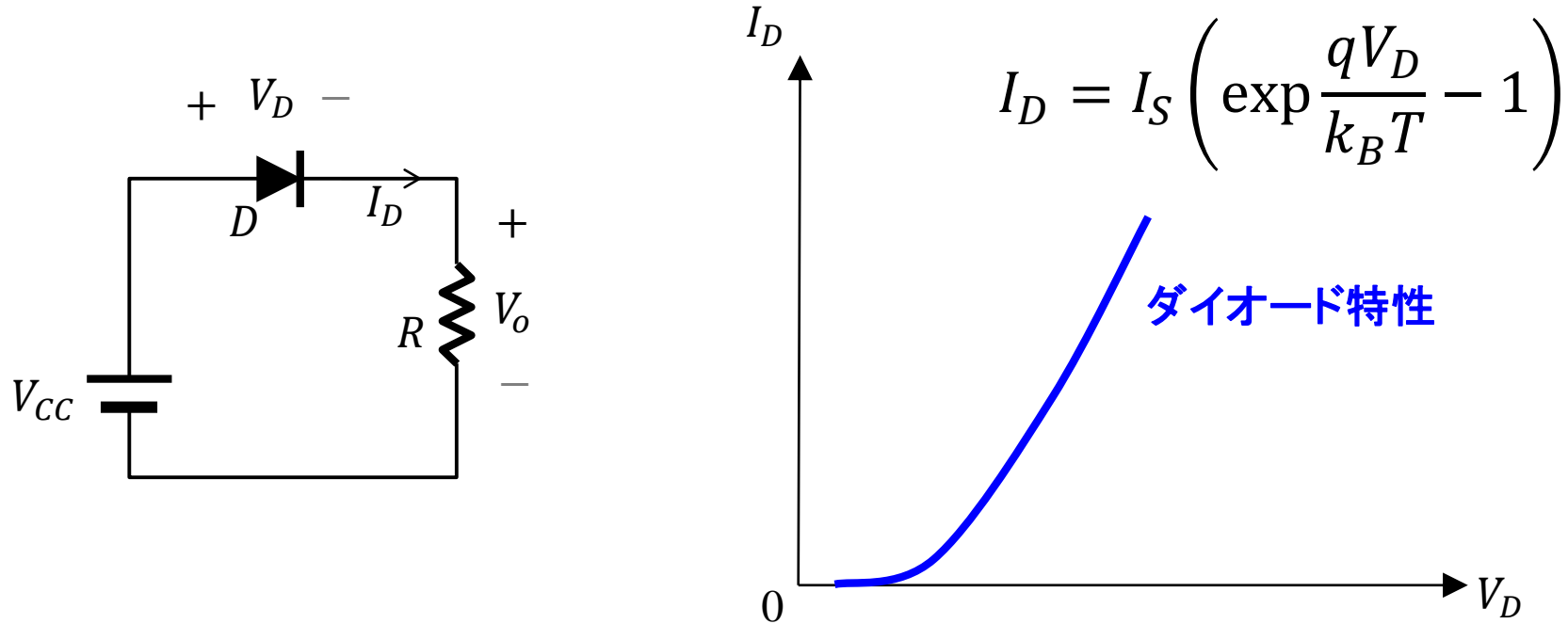
# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

## (ダイオード特性)

担当：坪根 正

下の回路で, ダイオードを流れる電流 $I_D$ と出力電圧 $V_o$ を求めたい.

どのようにすれば良いか? 図を使って説明せよ.

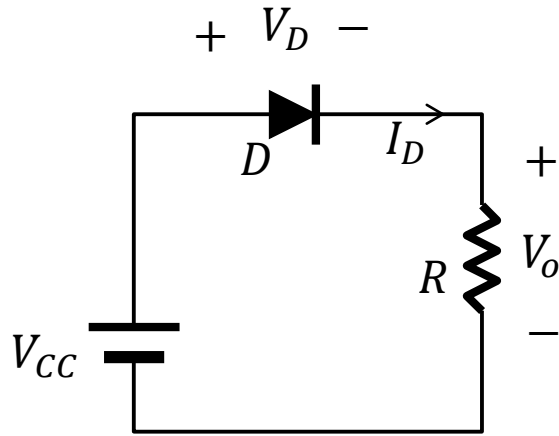


# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

## (ダイオード特性)

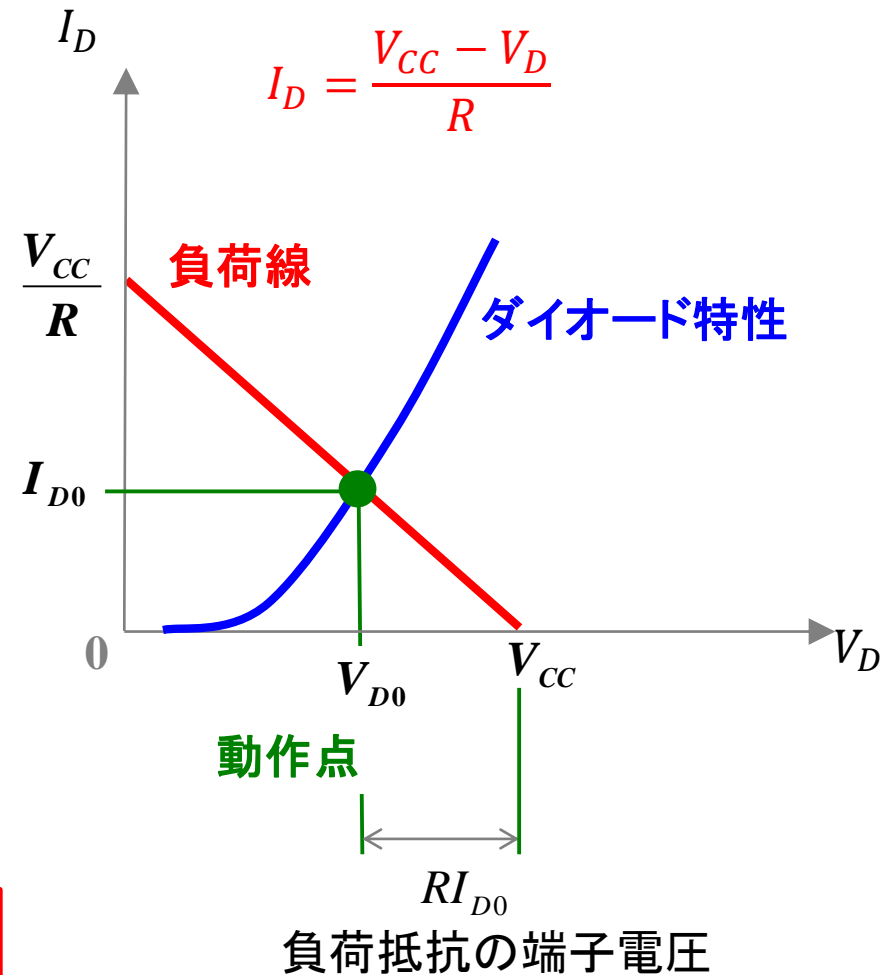
担当：坪根 正

ダイオードの直流特性:



$$I_D = I_S \left( \exp \frac{qV_D}{k_B T} - 1 \right)$$

$$V_{CC} = V_D + RI_D$$





# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

## (技術者としての一般常識) 担当：坪根 正

次の用語を説明出来ますか？

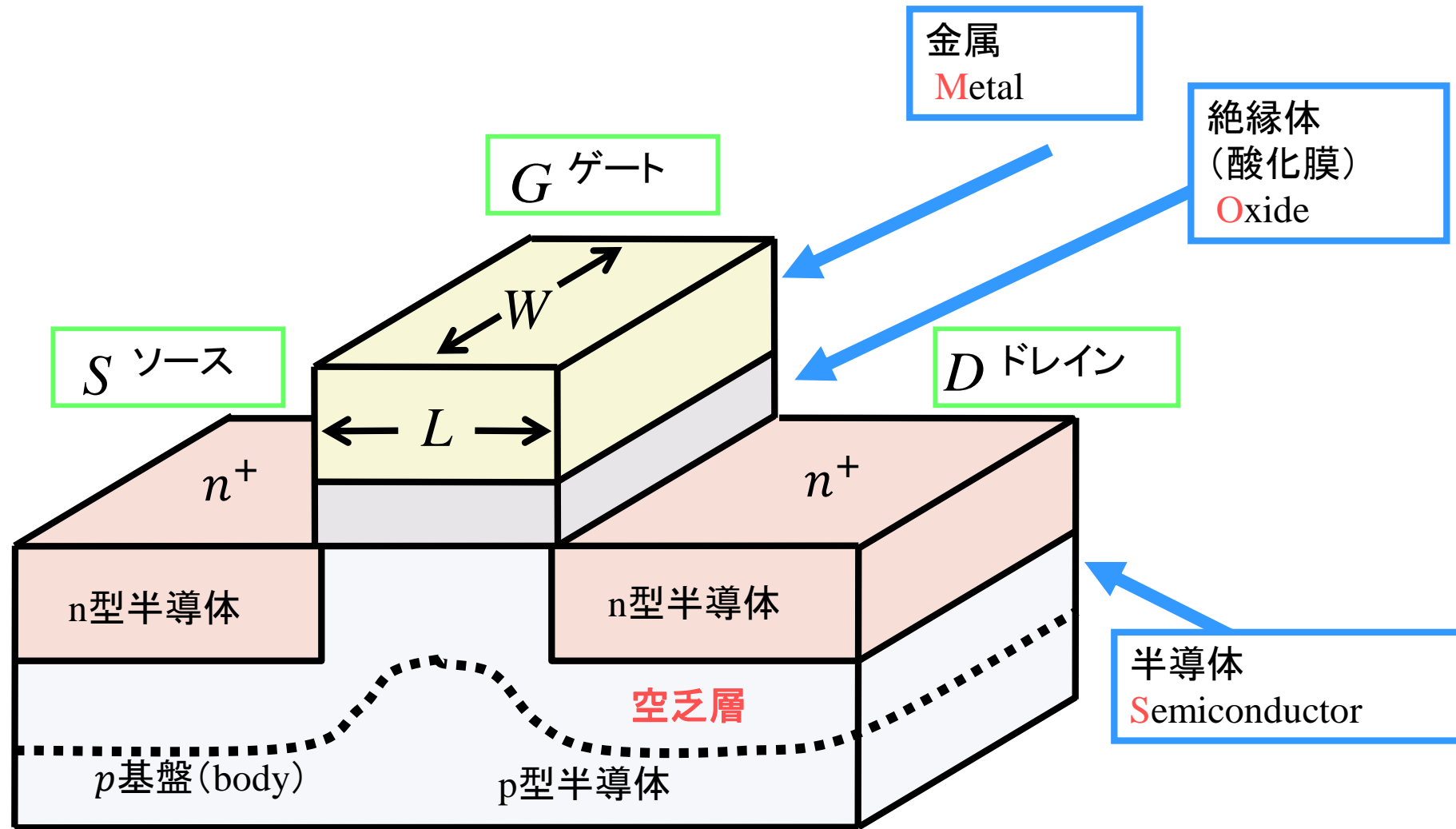
(ILIASでアンケートに回答して下さい)

- (1) デシベル (decibel)
- (2) CMOS(complementary metal oxide semiconductor)
- (3) 電界効果トランジスタ (FET: field effect transistor)
- (4) カットオフ周波数 (cutoff frequency)
- (5) バイアス回路 (bias circuit)
- (6) 小信号等価回路(small-signal equivalent circuit)
- (7) 帰還回路 (feedback circuit)
- (8) 差動増幅回路 (differential amplifier)
- (9) オペアンプ (operational amplifier)
- (10) 入力 / 出力インピーダンス (input/output impedance)

# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

## (nMOSの構造 1/2)

担当：坪根 正



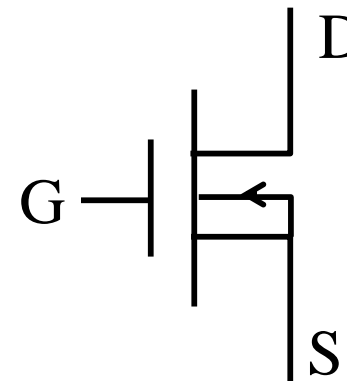
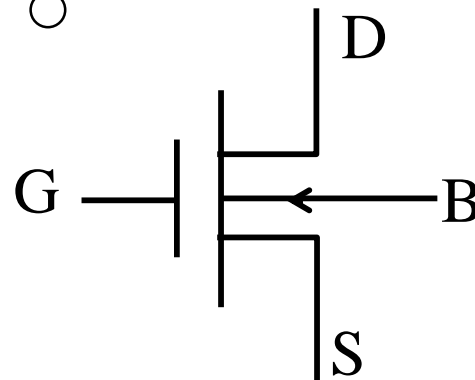
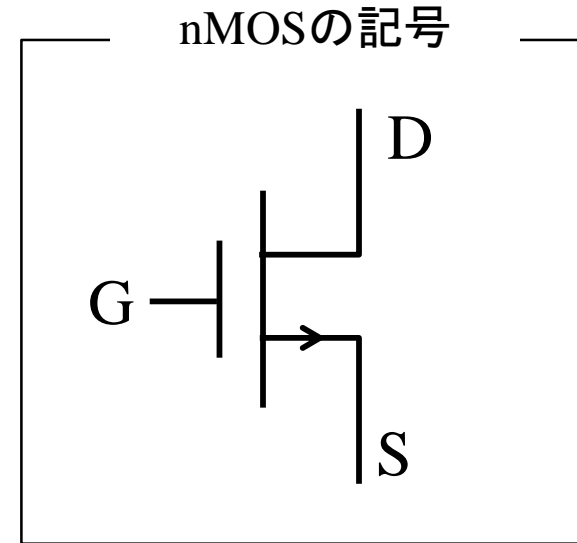
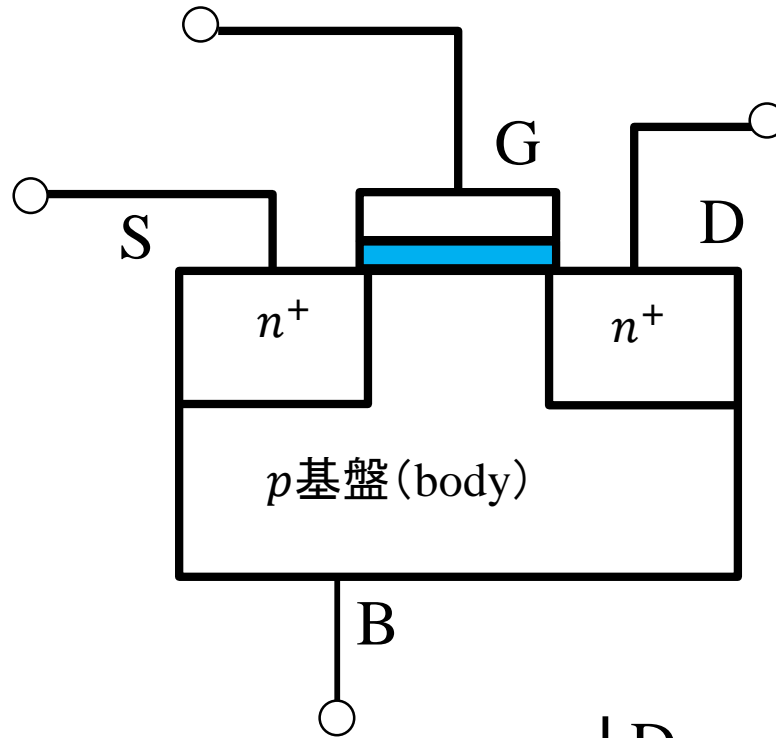
$L$ : チャンネル長

$W$ : チャンネル幅

# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

## (nMOSの構造 2/2)

担当：坪根 正



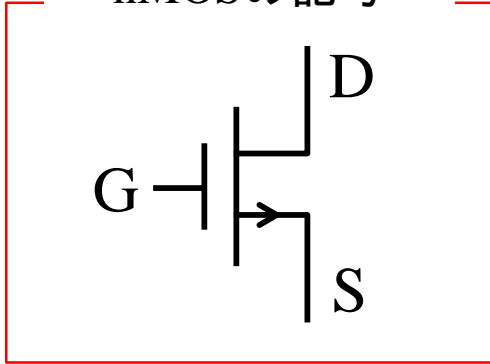
(回路記号はいろいろあるようです)

# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義)

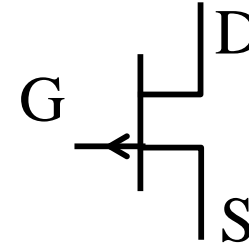
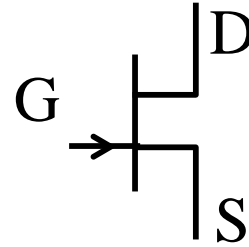
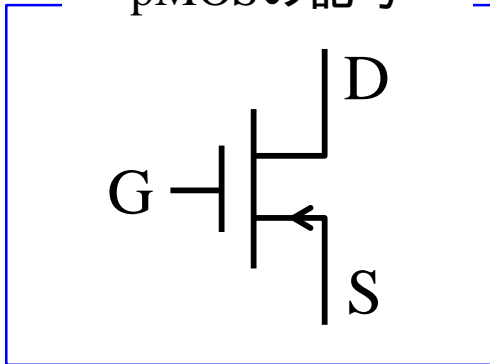
(FETの回路の記号の例)

担当：坪根 正

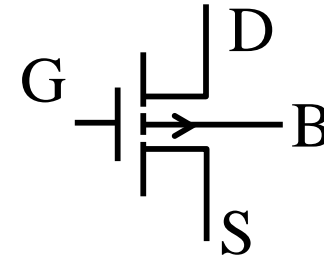
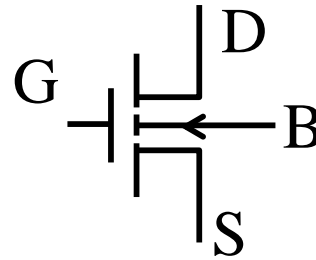
nMOSの記号



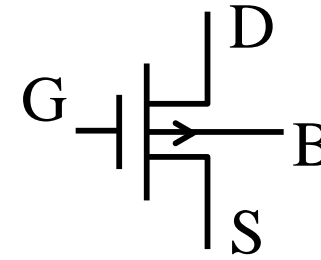
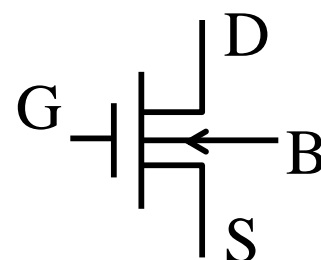
pMOSの記号



接合型FET



エンハンスメント型MOSFET



ディプレッション型MOSFET

n型

p型

# アナログ回路工学 (5/7, 第01回講義) (まとめ) 担当：坪根 正

## pn接合の基礎となる知識

次回に説明するのMOSFETの電気特性の基礎になります  
イメージを膨らませておいて下さい

## 技術者としての一般常識

ILIASでアンケートに回答して下さい

もし、説明出来ない言葉があれば勉強(復習)して下さい

## n型MOSFETの構造

MOSの回路記号の確認

本日の演習問題の締め切りは 5月11日(月) 23:59 です