平成26年度前期東京工業大学学部講義

電子デバイス

Electron Devices

資料（３）　Handout

Kazuya Masu
Director, ICE Cube Center
Solutions Research Laboratory
Precision and Intelligence Laboratory
Dept. Electronics and Applied Physics

益　一　哉
異種機能集積研究センター
ソリューション研究機構
精密工学研究所
大学院・物理電子システム創造専攻

Tel & Fax: 045-924-5022 Email: masu@ieee.org,
http://masu-www.pi.titech.ac.jp/~masu/index-j.html

Green ICE Tokyo Tech Information Communication Energy
Semiconductor Solution Research

TOKYO TECH Pursuing Excellence

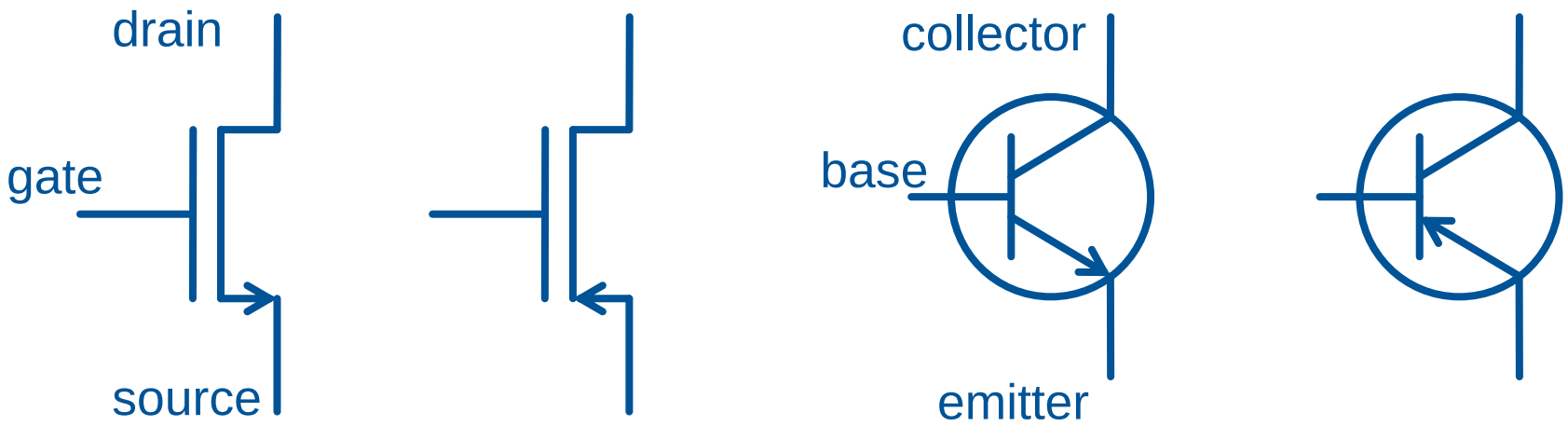
Today's purpose

- Qualitative understand of the origin of bipolar transistor action
- The base width should be small. This is origin of transistor action.

Bipolar Transistor

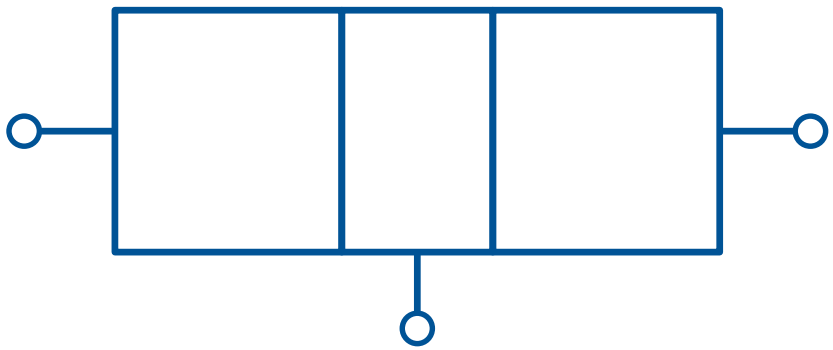
TOKYO TECH
Pursuing Excellence

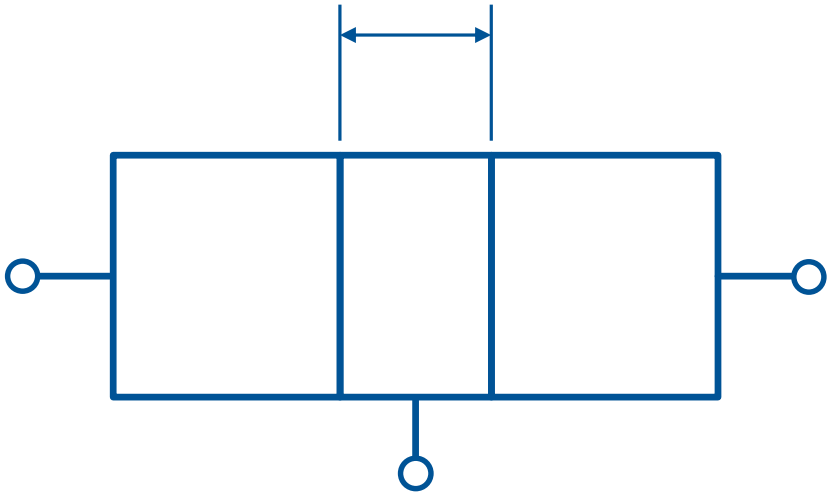
Unipolar	Bipolar
単極性	両極性
電子（または正孔）	電子と正孔
MOSFET MISFET J-FET（Junction FET）	Bipolar Tr HBT（Hetero Bipolar Tr）



nMOSFET pMOSFET npn Bp pnp Bp

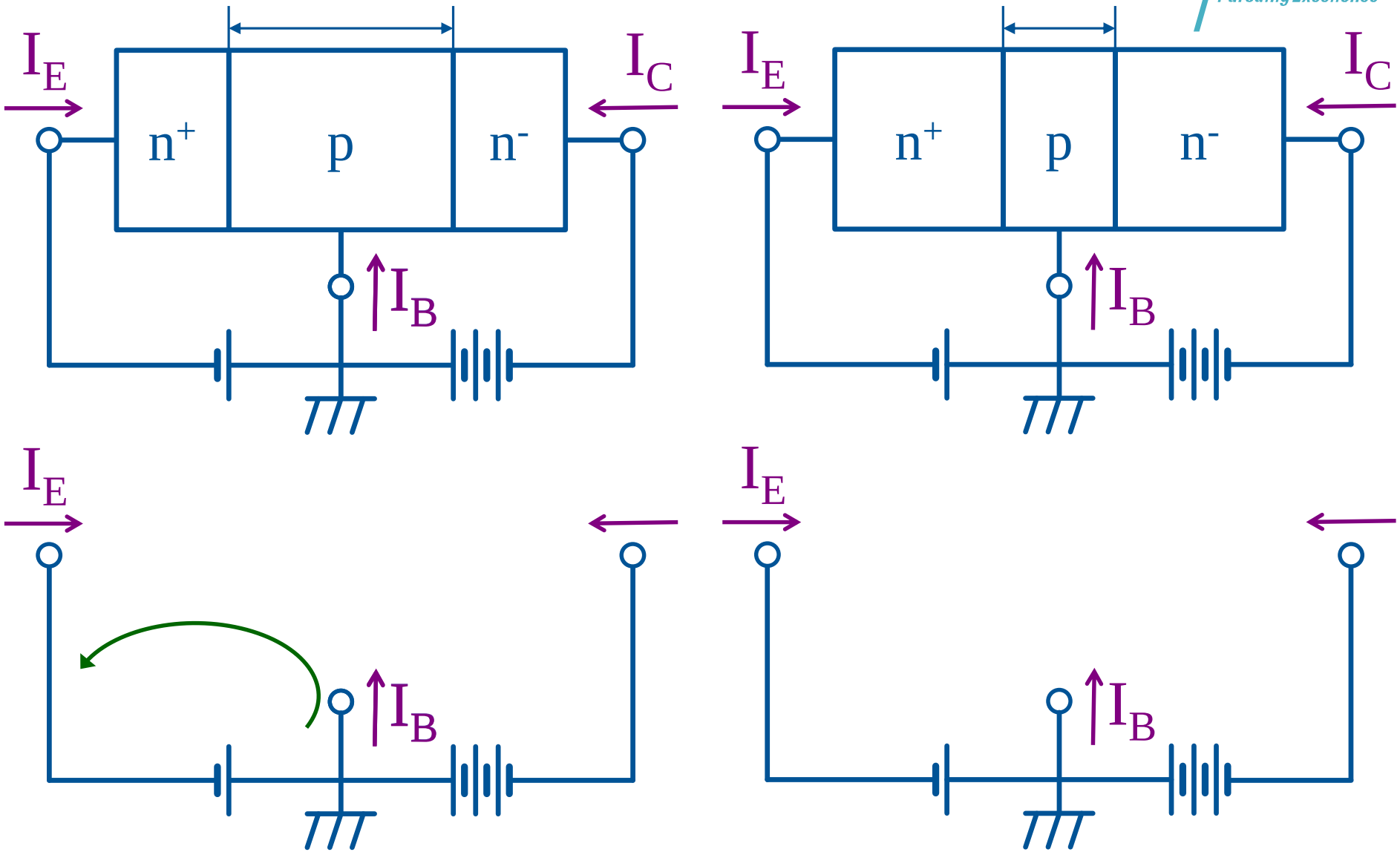
Tatsuya Masu





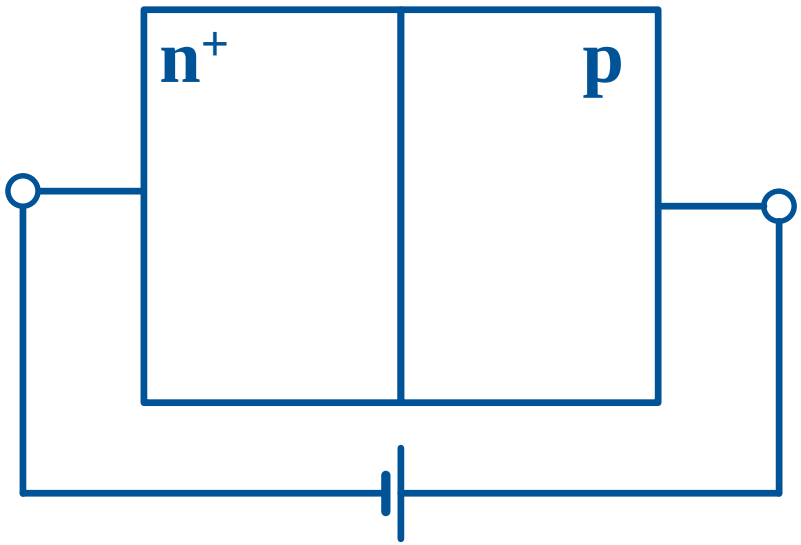
Bipolar Transistor

TOKYO TECH
Pursuing Excellence



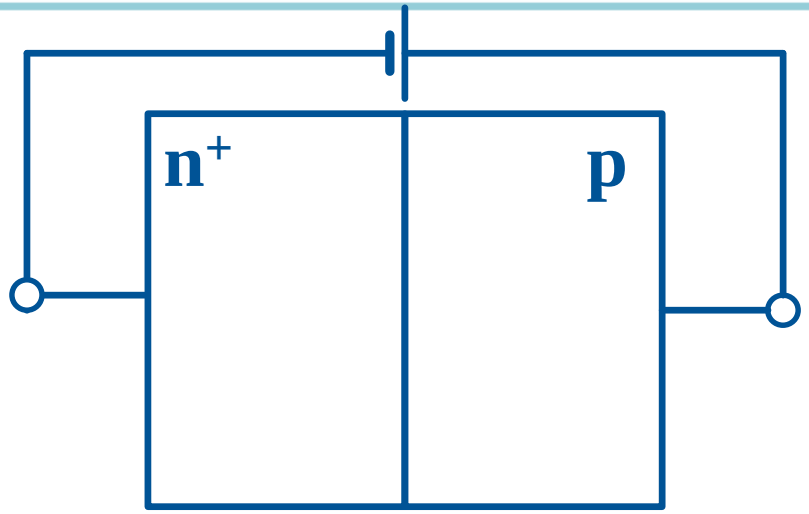
Kazuya Masu

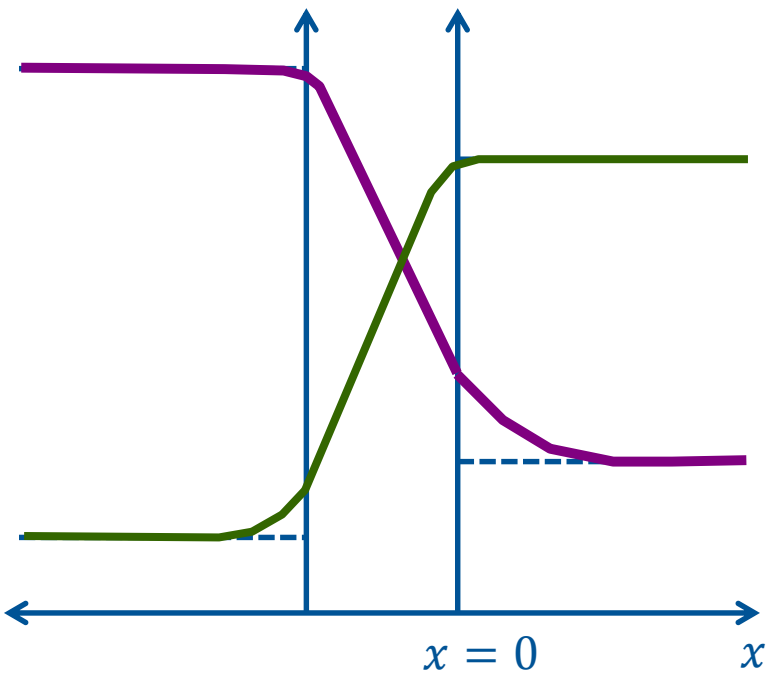
Review: n^+p junction (1)



Review: n^+p junction (2)

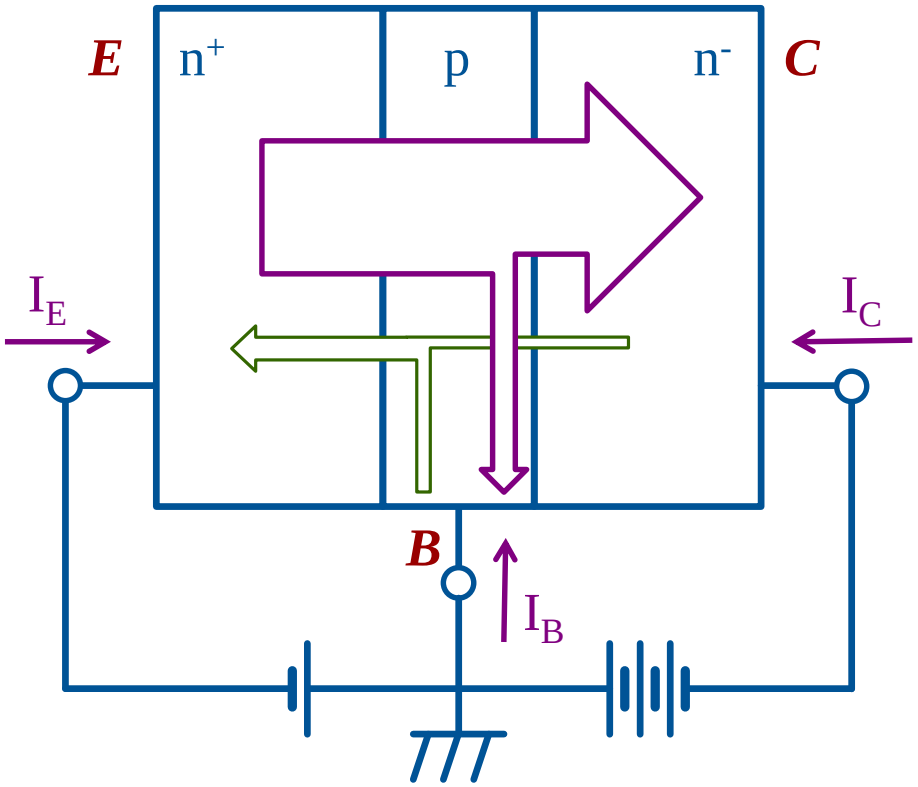
TOKYO TECH
Pursuing Excellence





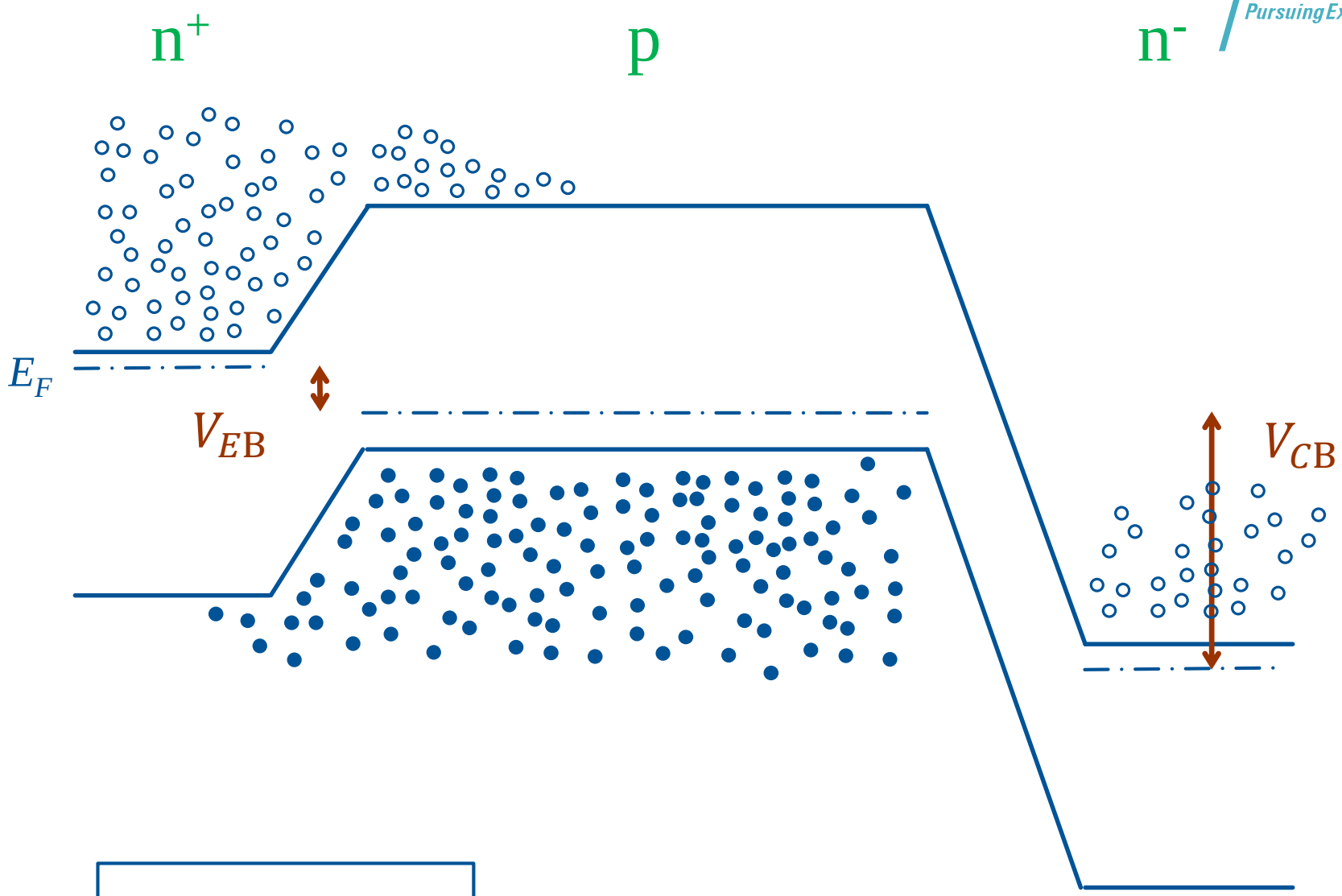
Kazuya Masu

Bipolar Transistor



Carrier injection: wide base width

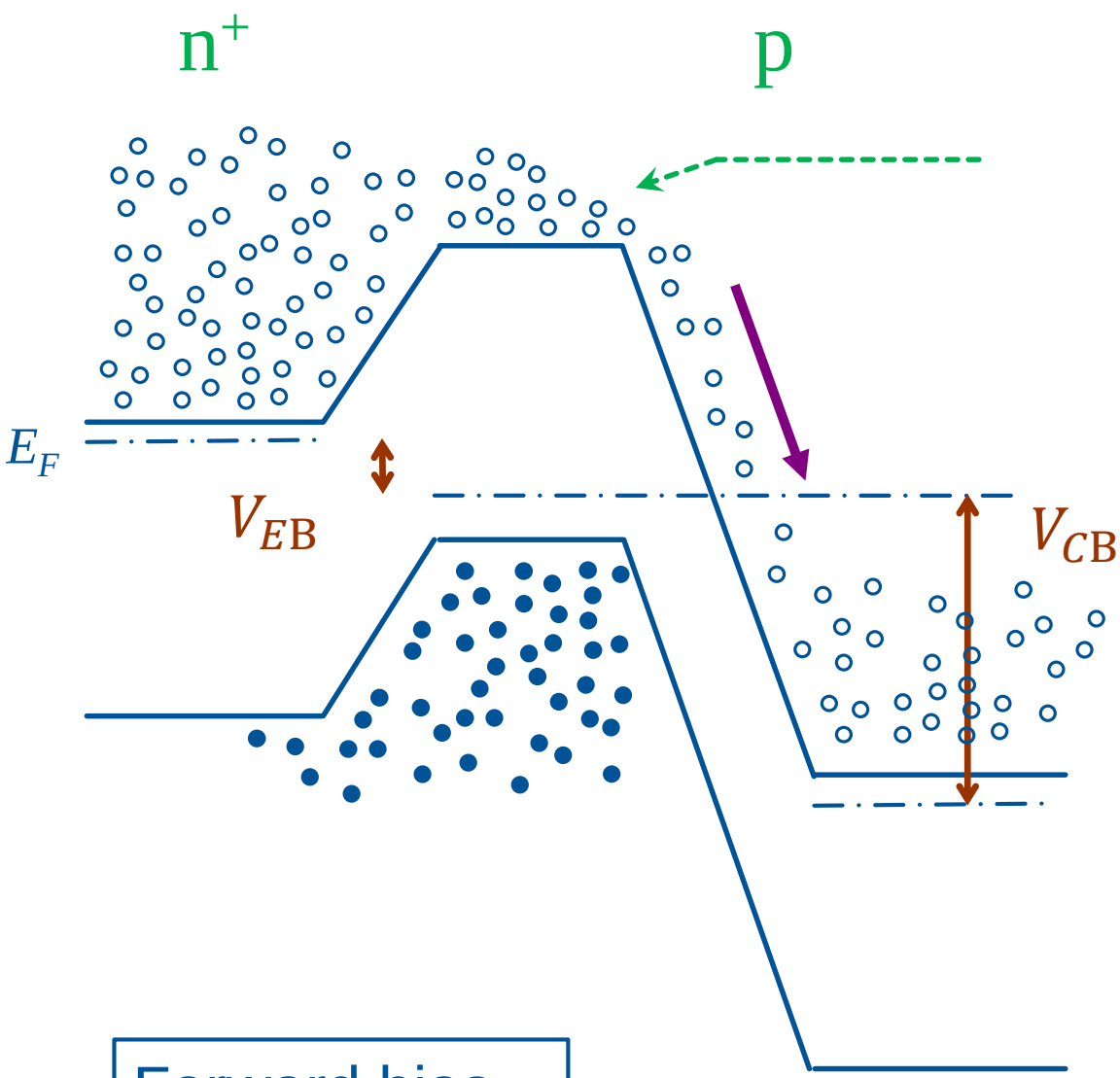
TOKYO TECH
Pursuing Excellence



Kazuya Masu

Carrier injection: narrow base width

TOKYO TECH
Pursuing Excellence



Forward bias
順方向バイアス

Reverse bias 逆方向バイアス

Kazuya Masu

実際のバイポーラトランジスタの構造

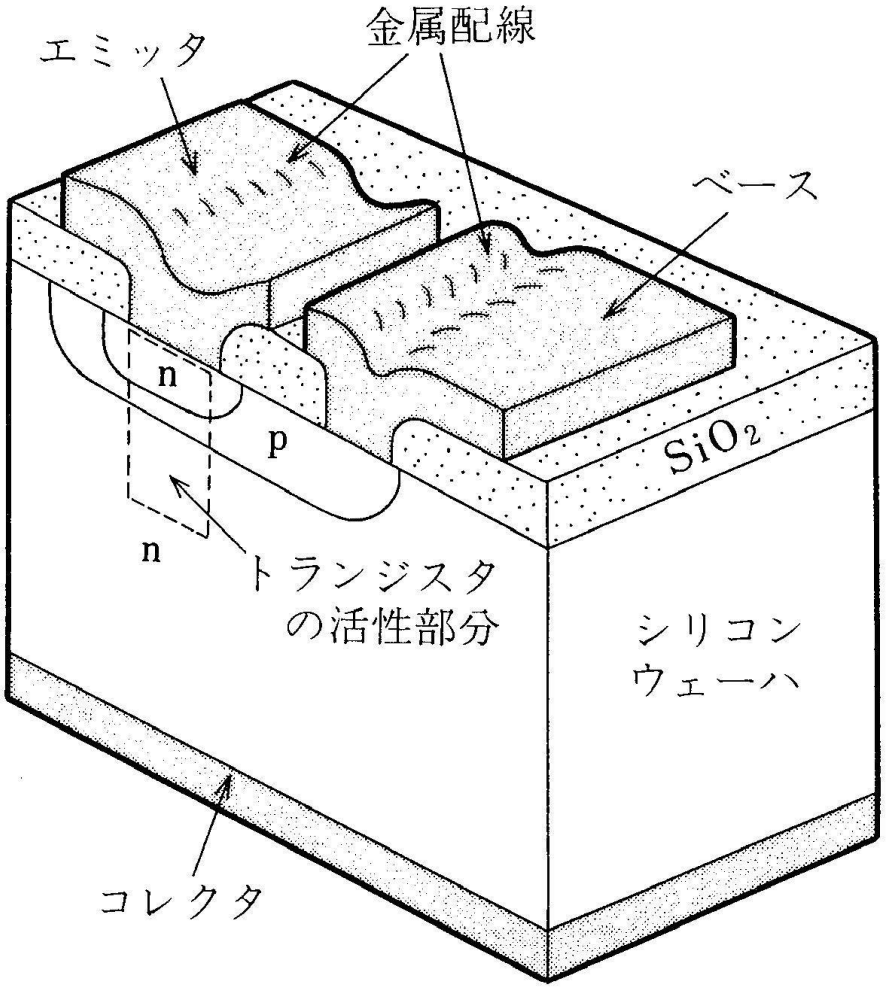


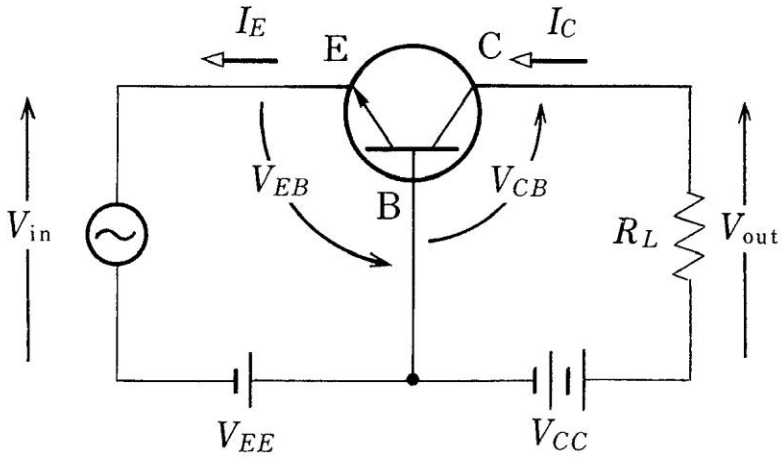
図 3・4　シリコンプレーナプロセスによるバイポーラトランジスタ（npn 形）の概形

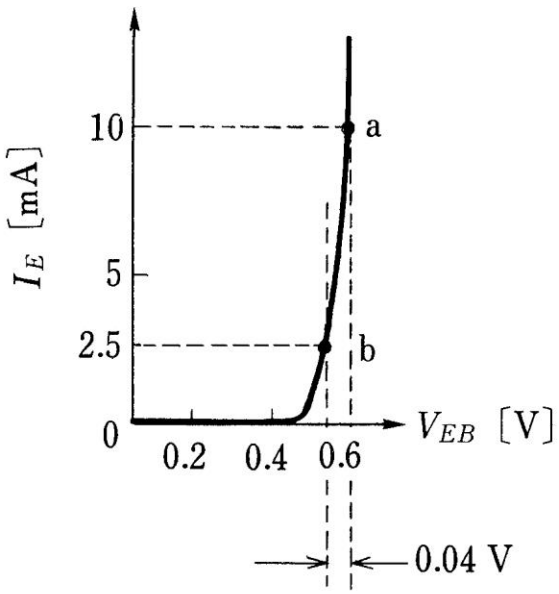
ベース接地回路における電圧増幅動作

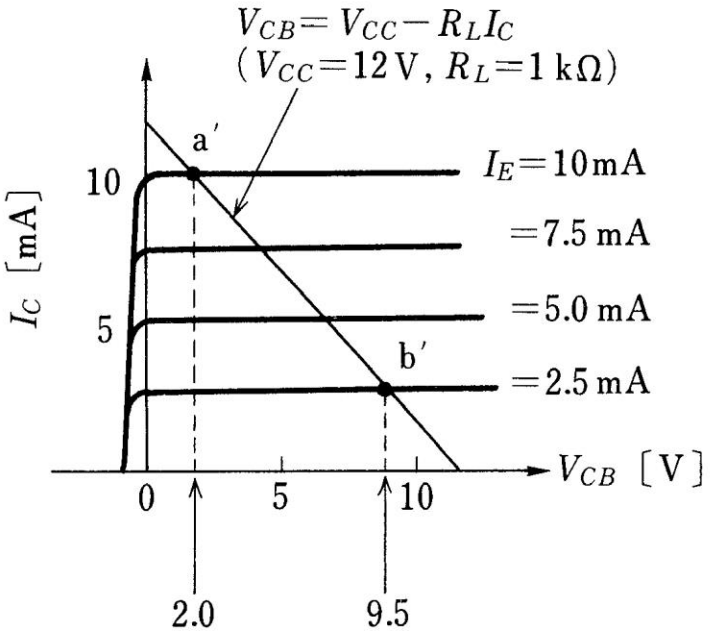
V_{EB}

基準点

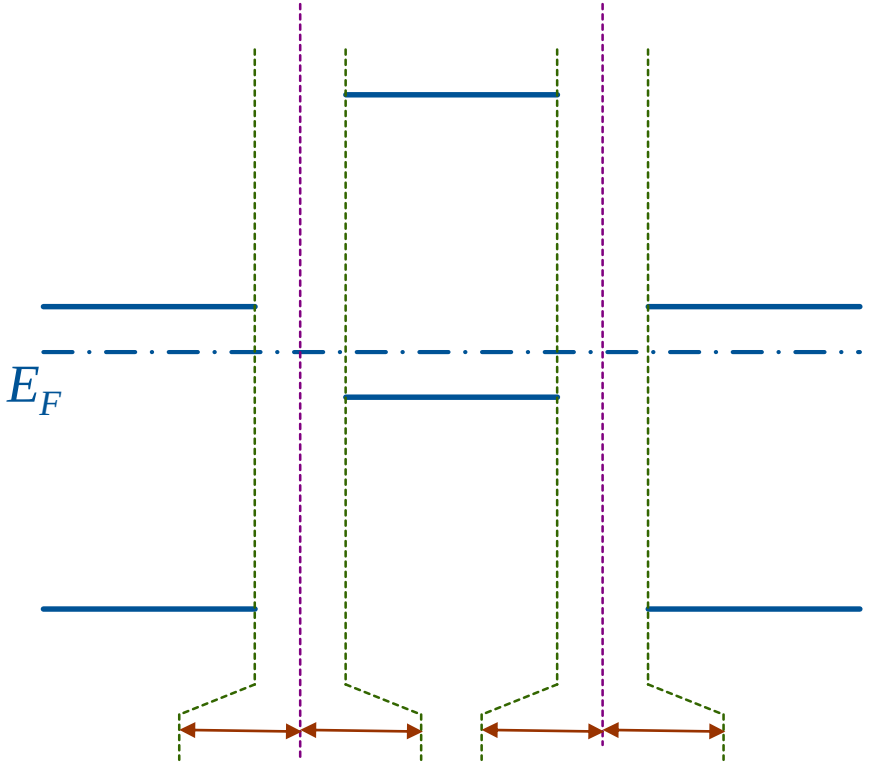
かかっている点

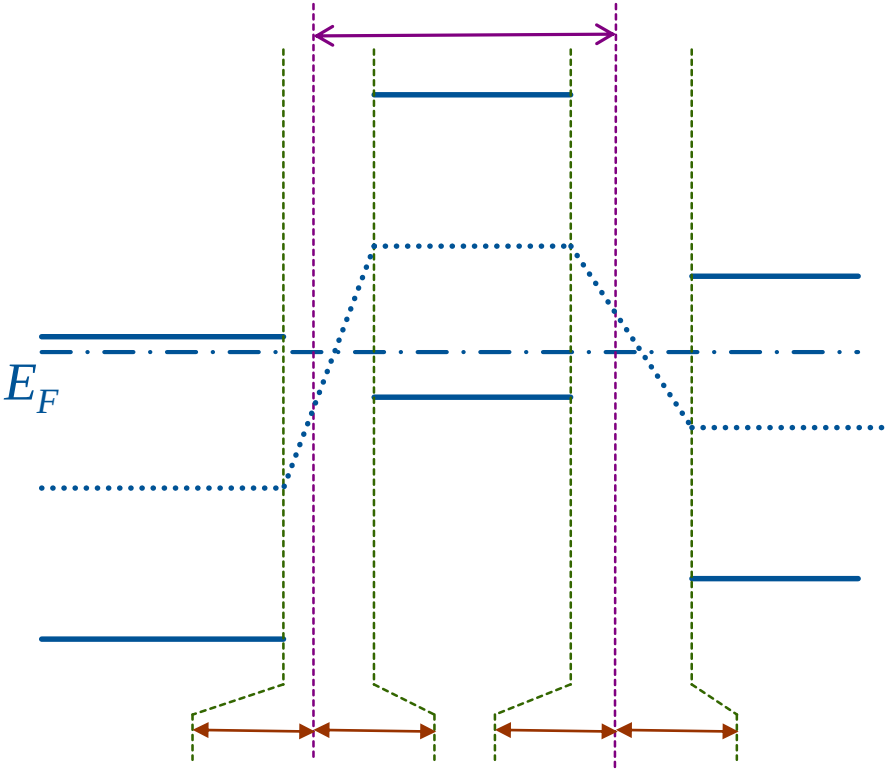






npn接合とn^+pn^-接合





宿題

- npnとn^+pn^-接合について、具体的に下記の数値を入れたときのバンド図を描け。
- ベース幅W_{base}は、0.2μmと仮定せよ。
- 描くときは、横軸1cm=0.1μm, 5cm=1eVというように適当に数値を仮定して描け。
- $W_E, W_{BE}, W_{CE}, W_C,$ $\phi_{E\mathrm{B}}, \phi_{B\mathrm{B}}, \phi_{C\mathrm{B}}$ をきちっと明示せよ。

- npn接合
  - $N_D(emitter) = 10^{16}(cm^{-3})$
  - $N_A(base) = 10^{16}(cm^{-3})$
  - $N_D(collector) = 10^{16}(cm^{-3})$
- n^+pn^-接合
  - $N_D(emitter) = 10^{20}(cm^{-3})$
  - $N_A(base) = 10^{16}(cm^{-3})$
  - $N_D(collector) = 10^{14}(cm^{-3})$

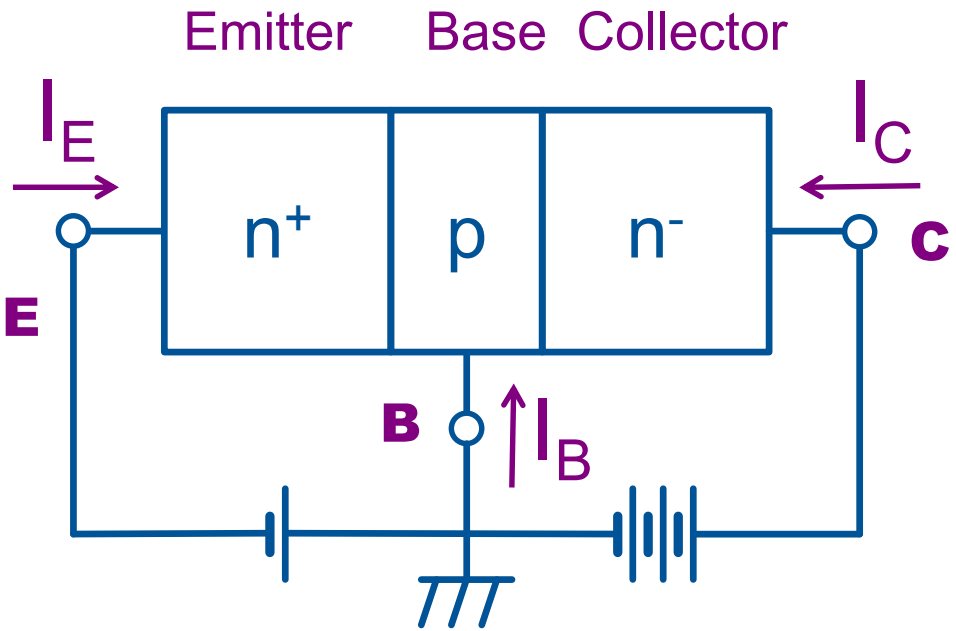
- 提出：7月2日（月）講義終了時まで。もしくは電子メイルでpdfファイル添付。手書きの場合はスキャンでOK。

数値をいれて考える

- npnとn^+pn^-接合について、具体的に下記の数値を入れたときのバンド図を描け。
- ベース幅W_{base}は、0.6μmと仮定せよ。
- 描くときは、横軸1cm=0.1μm,（3～5）cm = 1eVというように適当に数値を仮定して描け。
- $W_E, W_{BE}, W_{CE}, W_C,$ $\phi_{E\mathrm{B}}, \phi_{B\mathrm{B}}, \phi_{C\mathrm{B}}$ をきちっと明示せよ。

- npn接合
  - $N_D(emitter) = 2 \times 10^{16}(cm^{-3})$
  - $N_A(base) = 2 \times 10^{16}(cm^{-3})$
  - $N_D(collector) = 2 \times 10^{16}(cm^{-3})$
- n^+pn^-接合
  - $N_D(emitter) = 1 \times 10^{19}(cm^{-3})$
  - $N_A(base) = 2 \times 10^{16}(cm^{-3})$
  - $N_D(collector) = 1 \times 10^{15}(cm^{-3})$

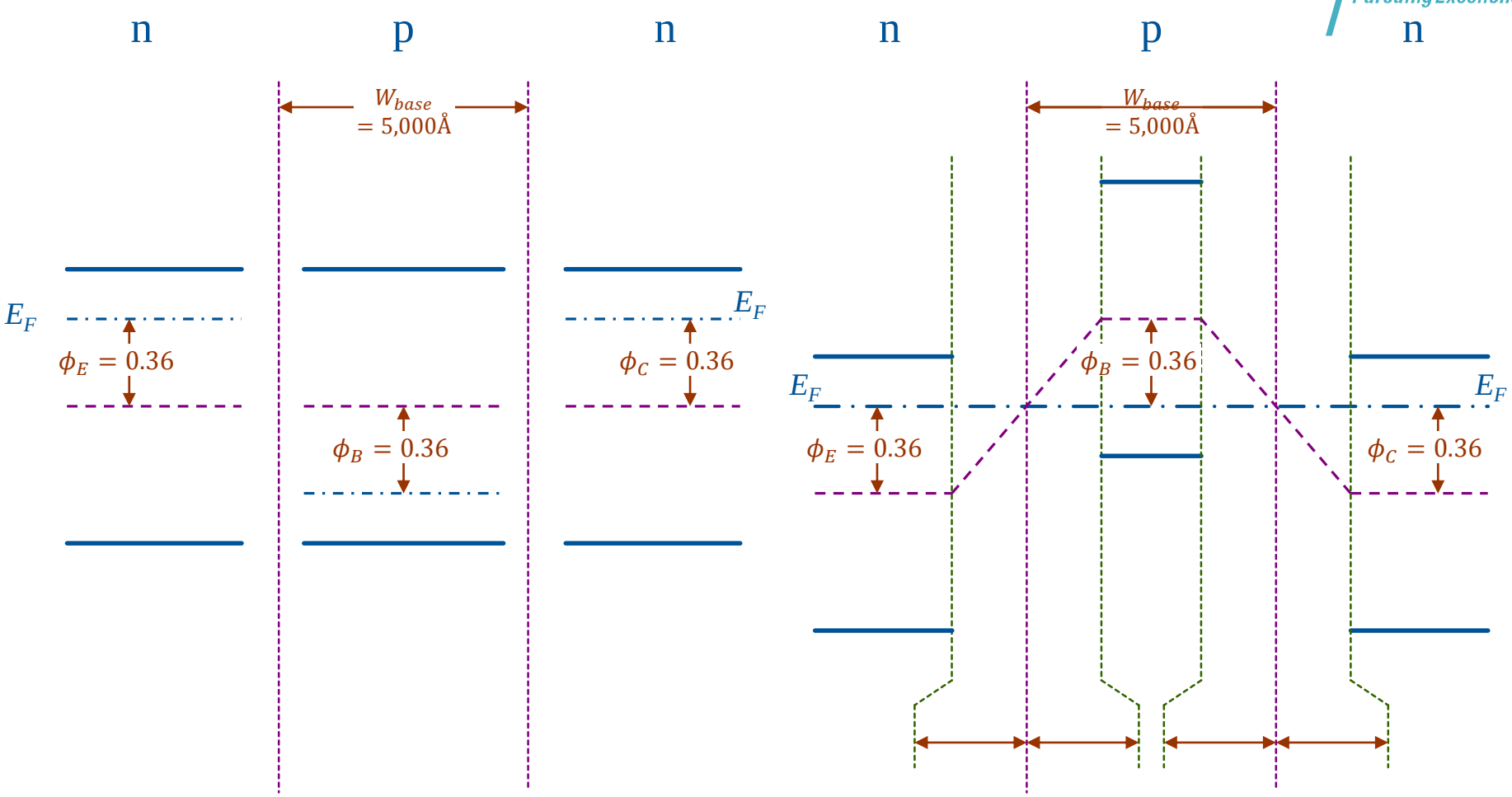
n^+pn^-接合



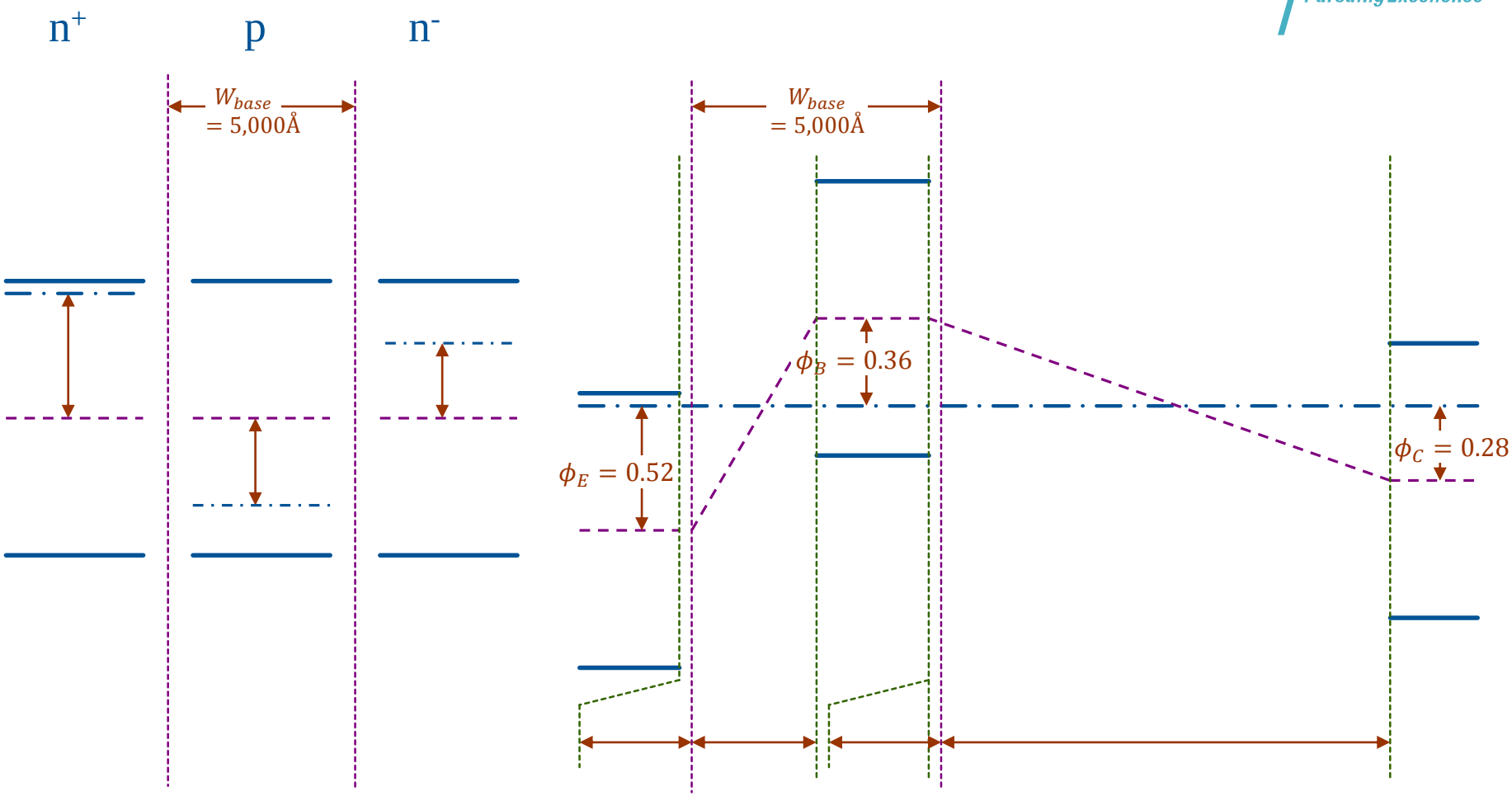
順方向バイアス　　逆方向バイアス

- エミッタ／ベース接合間には順方向バイアス、ベース／コレクタ間には逆方向バイアスを印加する。
- この時のバンド図は？

npn接合（接合前と接合後）



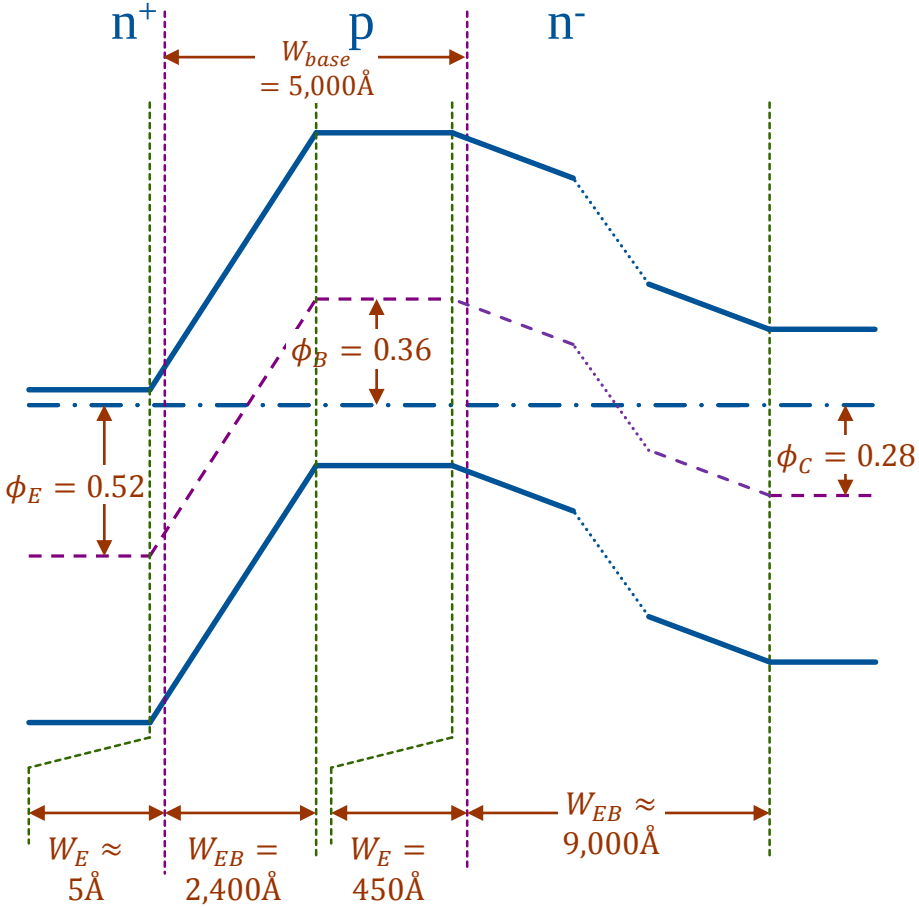
n^+pn^-接合



- Zero bias

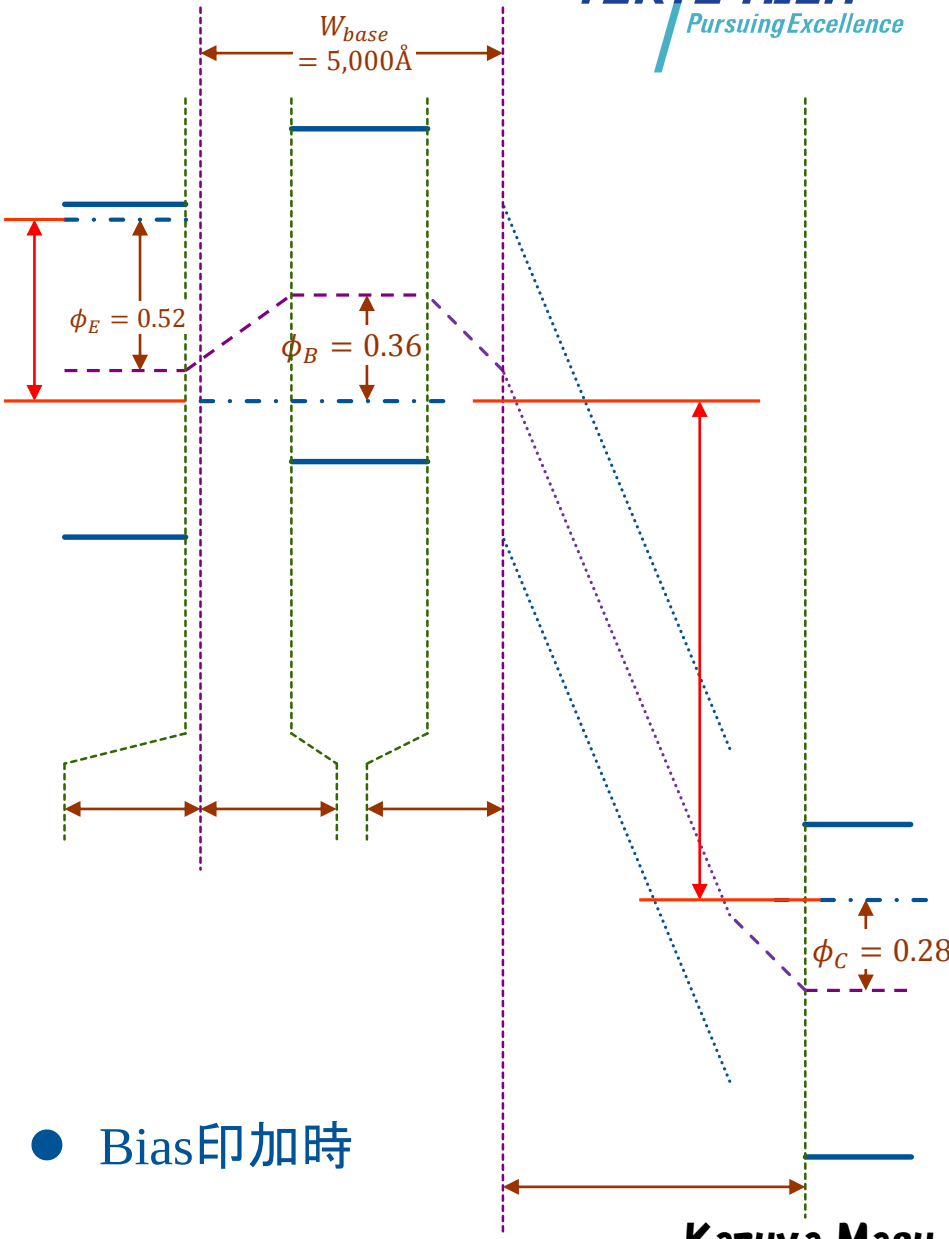
n+pn-接合

TOKYO TECH
Pursuing Excellence



$N_{Ed} = 1 \times 10^{19} cm^{-3}$ $N_{Ba} = 2 \times 10^{16} cm^{-3}$ $N_{Cd} = 1 \times 10^{15} cm^{-3}$

- Zero bias

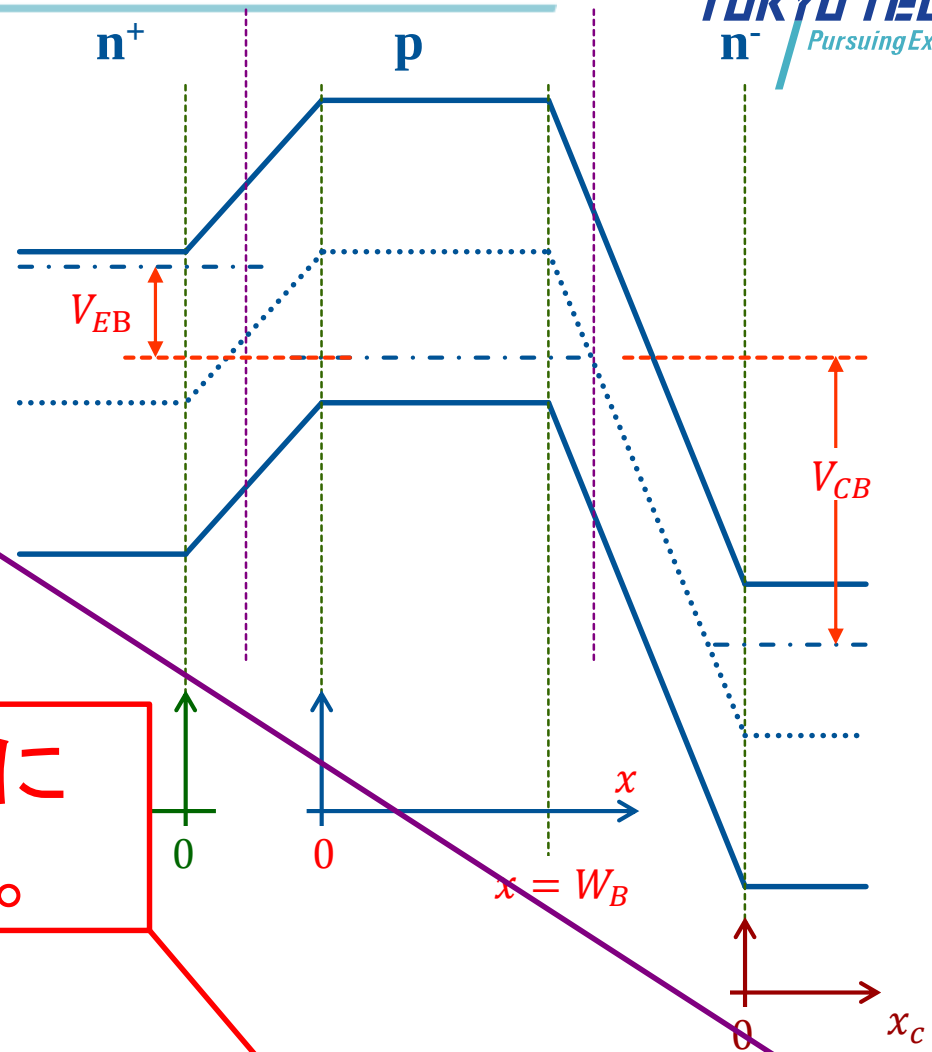


- Bias印加時

n^+pn^-接合 電流ー電圧特性

- エミッタ、ベース、コレクタ領域のそれぞれの少数キャリア連続の方程式を解く。境界条件は、pn接合の電流電圧特性を求めたときから類推可能である。
- 全部の少数キャリアの連続方程式を解くならば、解が分かり易くなるように、x軸を定義して解くと良い。
- エ
合
じ
- コレクタには、ベース領域を突っ切った電子が流れ込む。

講義中配付資料に誤りがありました。



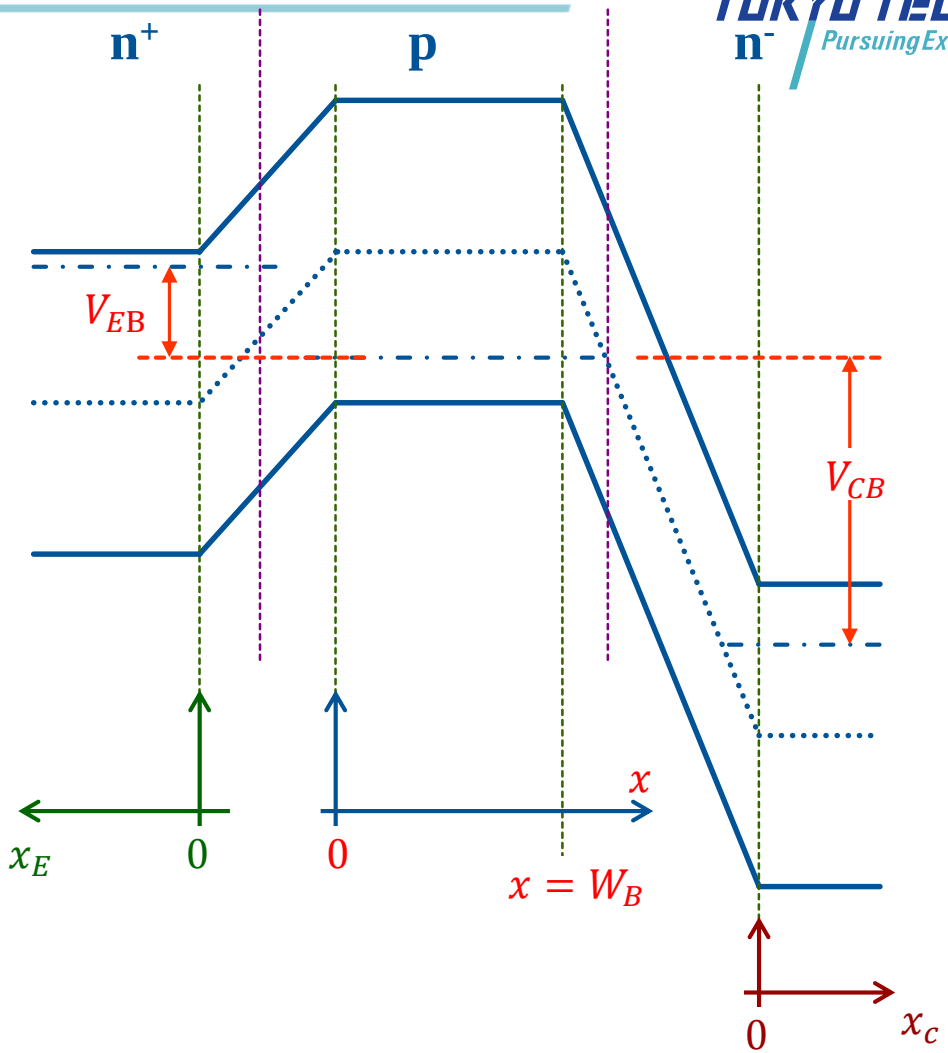
不純物濃度 N_E
多数キャリア（電子）$n_E(x)$
少数キャリア（正孔）$p_E(x)$
熱平衡時の濃度: n_{E0}
熱平衡時の濃度: p_{E0}

不純物濃度 N_B
多数キャリア（電子）$n_B(x)$
少数キャリア（正孔）$p_B(x)$
熱平衡時の濃度: n_{B0}
熱平衡時の濃度: p_{B0}

不純物濃度 N_C
多数キャリア（電子）$n_C(x)$
少数キャリア（正孔）$p_C(x)$
熱平衡時の濃度: n_{C0}
熱平衡時の濃度: p_{C0}

n^+pn^-接合 電流ー電圧特性

- エミッタ、ベース、コレクタ領域のそれぞれの少数キャリア連続の方程式を解く。境界条件は、pn接合の電流電圧特性を求めたときから類推可能である。
- 全部の少数キャリアの連続方程式を解くならば、解が分かり易くなるように、x軸を定義して解くと良い。
- エミッタ・ベース間はpn接合の順方向の解き方と同じ。
- コレクタには、ベース領域を突っ切った電子が流れ込む。



不純物濃度 N_E
多数キャリア（電子）$n_E(x)$
少数キャリア（正孔）$p_E(x)$
熱平衡時の濃度: n_{E0}
熱平衡時の濃度: p_{E0}

不純物濃度 N_B
少数キャリア（電子）$n_B(x)$
多数キャリア（正孔）$p_B(x)$
熱平衡時の濃度: n_{B0}
熱平衡時の濃度: p_{B0}

不純物濃度 N_C
多数キャリア（電子）$n_C(x)$
少数キャリア（正孔）$p_C(x)$
熱平衡時の濃度: n_{C0}
熱平衡時の濃度: p_{C0}

Today's summary

宿題

- npnとn^+pn^-接合について、具体的に下記の数値を入れたときのバンド図を描け。
- ベース幅W_{base}は、0.6μmと仮定せよ。 変更します。
- $W_E, W_{BE}, W_{CE}, W_C,$ $\phi_{E\mathrm{B}}, \phi_{B\mathrm{B}}, \phi_{C\mathrm{B}}$ を求めよ。

提出　4月28日(月)講義終了まで。

- npn接合
  - $N_D(emitter) = 10^{16}(cm^{-3})$
  - $N_A(base) = 10^{16}(cm^{-3})$
  - $N_D(collector) = 10^{16}(cm^{-3})$
- n^+pn^-接合
  - $N_D(emitter) = 10^{20}(cm^{-3})$
  - $N_A(base) = 10^{16}(cm^{-3})$
  - $N_D(collector) = 10^{14}(cm^{-3})$

講義中配付資料を変更します。

宿題

- npnとn^+pn^-接合について、具体的に下記の数値を入れたときのバンド図を描け。
- ベース幅W_{base}は、0.6μmと仮定せよ。
- $W_E, W_{BE}, W_{CE}, W_C,$ $\phi_{E\mathrm{B}}, \phi_{B\mathrm{B}}, \phi_{C\mathrm{B}}$ を求めよ。

提出　４月２８日（月）講義終了まで。

- npn接合
  - $N_D(emitter) = 2 \times 10^{16}(cm^{-3})$
  - $N_A(base) = 2 \times 10^{16}(cm^{-3})$
  - $N_D(collector) = 2 \times 10^{16}(cm^{-3})$
- n^+pn^-接合
  - $N_D(emitter) = 1 \times 10^{19}(cm^{-3})$
  - $N_A(base) = 2 \times 10^{16}(cm^{-3})$
  - $N_D(collector) = 1 \times 10^{15}(cm^{-3})$

ドーピング量を上記の値に変更します。