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　Presentation

資料（６）Supplement : Summary of Bipolar Tr.

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

益　一　哉
異種機能集積研究センター
フロンティア研究機構
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

講義日程・内容（平成26年度）

1. 4月 7日（月） pn接合の復習
2. 4月14日（月） 半導体デバイスと集積回路
3. 4月21日（月） ﾊﾞｲﾎﾟｰﾗﾄﾗﾝｼﾞｽﾀ（Ⅰ）：構造と理想I-V特性
4. 4月28日（月） ﾊﾞｲﾎﾟｰﾗﾄﾗﾝｼﾞｽﾀ（Ⅱ）：等価回路モデル
5. 5月 7日（水） ﾊﾞｲﾎﾟｰﾗﾄﾗﾝｼﾞｽﾀ（Ⅲ）：デバイス設計
6. 5月12日（月） ﾊﾞｲﾎﾟｰﾗﾄﾗﾝｼﾞｽﾀ（Ⅳ）：動作速度
7. 5月19日（月） MOSダイオード
8. 5月26日（月） 中間試験
9. 6月 2日（月） MOSトランジスタ（Ⅰ）：構造と基本I-V特性
10. 6月 9日（月） MOSトランジスタ（Ⅱ）：Scaling、SCE
11. 6月16日（月） MOSトランジスタ（Ⅲ）：動作速度
12. 6月23日（月） MOSトランジスタ（Ⅳ）：CMOS基本回路
13. 6月30日（月） MOSトランジスタ（Ⅴ）：作製プロセス
14. 7月 7日（月） メモリデバイス，パワーデバイス
15. 7月14日（月） 期末試験

5月26日（月）中間試験：試験範囲は4/7～5/12まで。 前半：益、後半：大見

(1) Review: pn junction (a)

TOKYO TECH Pursuing Excellence

- The pn junction is assumed as follows:

p-type region	
N_a	doping concentration (acceptor concentration)
p_{po}	Hole density at thermal equilibrium
n_{po}	electron density at thermal equilibrium
D_e	Electron diffusion coefficient $[\mathrm{cm}^2/\mathrm{s}]$
τ_e	electron life time $[\mathrm{s}]$
L_e	$L_e = \sqrt{D_e \tau_e}$ $[\mathrm{cm}]$ electron diffusion length

n-type region	
N_d	doping concentration (donor concentration)
n_{no}	electron density at thermal equilibrium
p_{no}	hole density at thermal equilibrium
D_h	hole diffusion coefficient $[\mathrm{cm}^2/\mathrm{s}]$
τ_h	hole life time $[\mathrm{s}]$
L_h	$L_e = \sqrt{D_e \tau_e}$ $[\mathrm{cm}]$ hole diffusion length

n_i:intrinsic carrier density, k : Boltzmann constant, T : temperature

- Understanding of majority and minority carriers.
- What is built-in potential? Also, show the built-in potential Φ_{bi} at room temperature using N_a, N_d, and n_i.

(1) Review: pn junction (b)

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

- In an n^+p junction, the donor concentration N_d of n^+ region is much larger than the acceptor concentration of N_a of p-region.
- The depletion layer width W is expressed by $W = W_n + W_p$, where W_n and W_p are the depletion layers which spread into n- and p-type regions, respectively.
- Show the relation among W_n, W_p, N_d, and N_a. Which depletion layer width is wider in n^+p junction, W_n, or W_p?

(1) Review: pn junction (c)

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

- Generally, in pn junction, there are two current components; electron current and hole current. Which component is larger in the n^+p junction?
- Show the current ratio $\gamma = \frac{electron\ current}{hole\ current}$ of pn junction using the parameters shown in the table.

(2) Overview of integrated circuit

TOKYO TECH Pursuing Excellence

- Message from Masu
  - The semiconductor industry is growing in the world; 5-7% per year.
  - Integrated circuit is the hardware core component in ICT era.
  - The basic understanding of electron devices such as bipolar and MOS transistor is required for the electronics engineers to survive the ICT era.

(3) Today's purpose

- Qualitative understand of the origin of bipolar transistor action
- 定性的にトランジスタ動作の原理を理解する。
- The base width should be small. This is origin of transistor action.
- ベース幅が小さいことが本質である。

(3) Today's summary

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

- The bipolar transistor action originates from the small base width.
- バイポーラトランジスタの動作は、ベース幅が小さいことに起因する。
- In n^+pn^- junction transistor, injected electrons from emitter to base flow thru base as diffusion current, and the electrons that reach the collector edge are attracted to the collector by the larger electric field.
- n^+pn^- 接合型トランジスタでは、エミッタからベースに注入された電子はベース領域を拡散電流として突っ切り、コレクタ端に到達した電子は強電界によりコレクタに流れる。
- Current from emitter to collector thru base will be analyzed by solving current equations. The method is similar to the pn junction analysis.

(4) Today's purpose

- Understanding of bipolar transistor action from the carrier transport. The carrier transport is analyzed by solving the continuity and current equations.

  トランジスタ動作をキャリア輸送から理解する。キャリア輸送は、連続と電流の式を解くことにより導く。

- To understand how to increase the common-base current gain.

  ベース接地電流増幅率を如何に大きくするかを理解する。

(4) Today's summary

TOKYO TECH
Pursuing Excellence

- Current from emitter to collector thru base can be analyzed by solving continuous and current equations with appropriate boundary conditions.
  - エミッタからベースを突っ切ってコレクタに達する電流は、適当な境界条件化で少数キャリア連続と電流の式を解けば求まる。
- In order to increase the common-base current gain, the emitter doping concentration should be larger than base doping. The smaller base width provides the larger common-base current gain.
  - ベース接地電流増幅率を増大させるためにはエミッタ不純物濃度は大きくすべきである。ベース幅が短くなると電流増幅率は大きくなる。

(5) Today's purpose

- Understanding of current-voltage characteristics of common-base, emitter, and collector.
- Understanding of small signal equivalent circuit.

(5) What's next?

- Understanding of current-voltage characteristics of common-base, emitter, and collector.
- Understanding of small signal equivalent circuit.
- Today's circuit is just DC-characteristics. How is the RF characteristics? What determines the RF characteristics?

(6) Today's purpose

- Understanding what determine the frequency characteristics of bipolar transistor.

(6) Summary

- Capacitance component affect the frequency characteristics.
- Important frequencies of bipolar transistor
  - α cut-off frequency
  - β cut-off frequency
  - Cut-off frequency f_t
    - The frequency where current gain becomes one.
  - Maximum oscillation frequency
    - Maximum available power gain become one.