

Circuit / Semiconductor Track

The theory of p-n junctions in semiconductors and p-n junction transistors

W Shockley

Bell system technical journal (1949)

Contents

01 Introduction

02 Background

03 Shockley Equation

04 Mathematical Proof

05 Diffusion of Minority Carriers

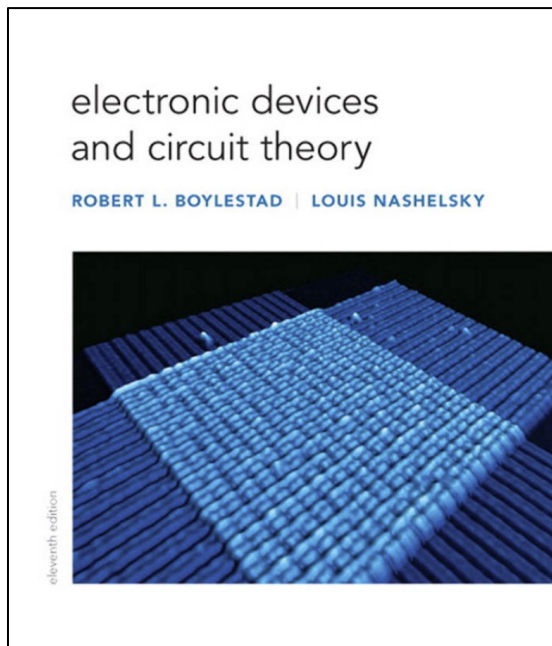
06 Extension to Transistor

07 Conclusion

01 Introduction

Remind

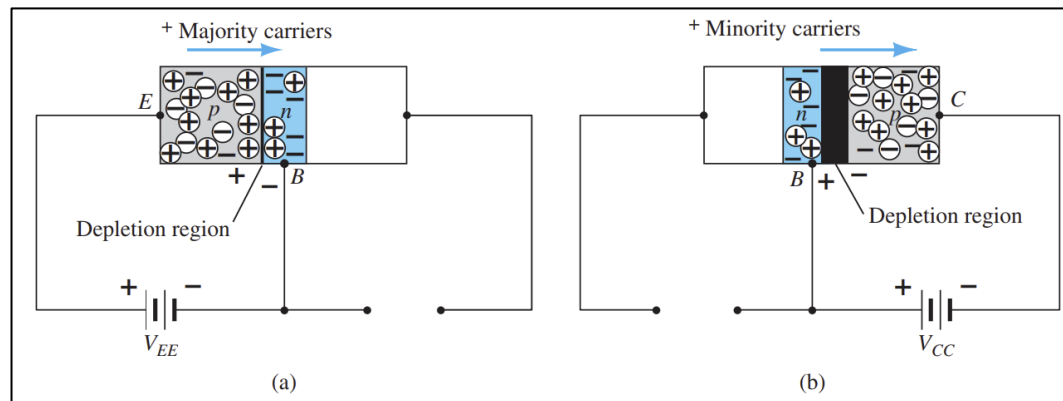
지금까지 전기공학부 전공 과정 내 반도체를 다루는 수업은 26년 1학기 기준으로 3개의 수업이 있었다. 특히 전자공학, 전자회로 수업에서 주로 반도체 소자들을 학습하는데, 사실 학습이 아니라 암기해야 할 것으로 취급해왔다.



01 Introduction

Remind

P-N Junction Transistor(and Semiconductor)에 대한 논문으로 반도체 관련 다양한 논문을 보기 전 초기에 기반을 다질 필요가 있다 생각



정확한 내용의 반도체의 기초를 학습

01 Introduction

Remind

p-n 접합에서 발생하는 전자와 양공의 주입 및 확산 메커니즘을 수학적으로 분석하여 정류 특성을 규명하고, 이를 바탕으로 p-n-p 트랜지스터의 작동 원리까지 포괄적으로 설명해 주는 핵심 기초 이론서이다.

**The Theory of p - n Junctions in Semiconductors and p - n
Junction Transistors**

By W. SHOCKLEY

02 Background

I_{ps}, I_{ns} : 정공과 전자에 의한 포화 역방향 전류 밀도 T : 절대온도 (K)

03 Shockley Equation

p-n 접합에서 발생하는 전자와 양공의 주입 및 확산 메커니즘을 수학적으로 분석하여 정류 특성을 규명하고, 이를 바탕으로 p-n-p 트랜지스터의 작동 원리까지 포괄적으로 설명해 주는 핵심 기초 이론서이다.

$$I_{dc}(v_0) = (I_{ps} + I_{ns})[e^{qv_0/kT} - 1]$$

04 Mathematical Proof

수식의 $[e^{qv_0/kT} - 1]$ 부분에서 정류 작용에 수학적 증명이 포함

- 순방향 전압을 걸면 지수함수 항이 기하급수적으로 커지며 전류가 흐른다
- 역방향 전압을 걸면 지수함수 항이 0 으로 수렴하고, 전류는 아주 미미한 값인 $-(I_{ps} + I_{ns})$ 에 고정된다.

$$I_{dc}(v_0) = (I_{ps} + I_{ns})[e^{qv_0/kT} - 1]$$

즉, 한쪽 방향으로만 전기가 통하는 이상적인 다이오드의 특성을 수학적으로 완벽하게 모델링한 것이다.

05 Diffusion of Minority Carriers

"접합부를 가로지르는 전류가 n- t y p e 내의 정공 확산과 p- t y p e 내의 전자 확산에 의해 운반"

I_{ps} 와 I_{ns} 과 같은 포화 전류항으로 표현을 보면

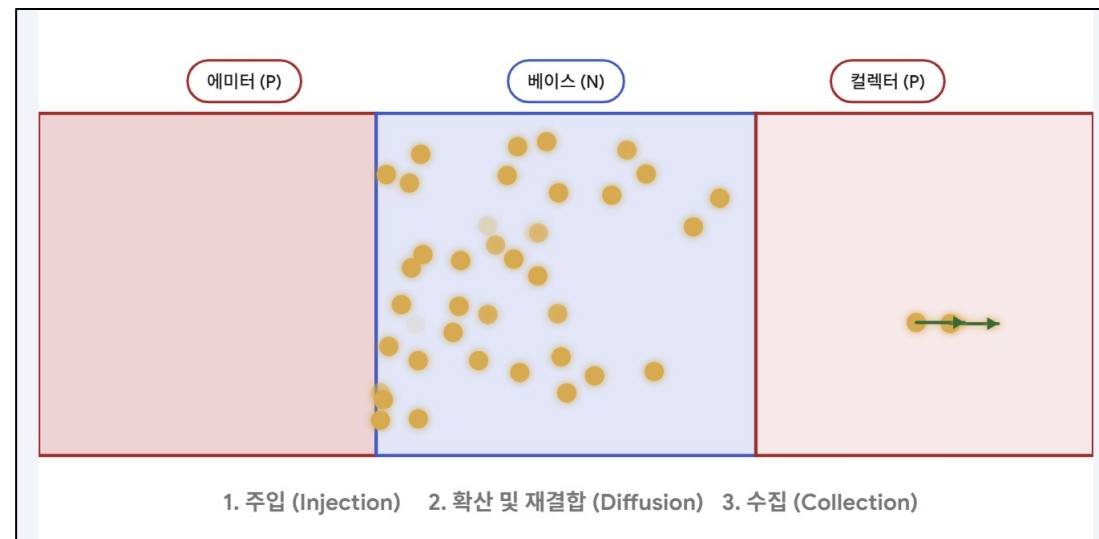
예로 ($I_{ps} = qp_n D / L_p$) 식을 보면 전류가 정공확산계수 D , n 영역의 평형 정공밀도 p_n , 정공의 확산 길이 L_p 로 이루어져 있다.

$$I_{dc}(v_0) = (I_{ps} + I_{ns})[e^{qv_0/kT} - 1]$$

다수 캐리어가 아닌 소수 캐리어가 얼마나 확산하는지(L_p) 가 반도체 전류를 결정한다는 것을 담은 식이다.

06 Extension to Transistor

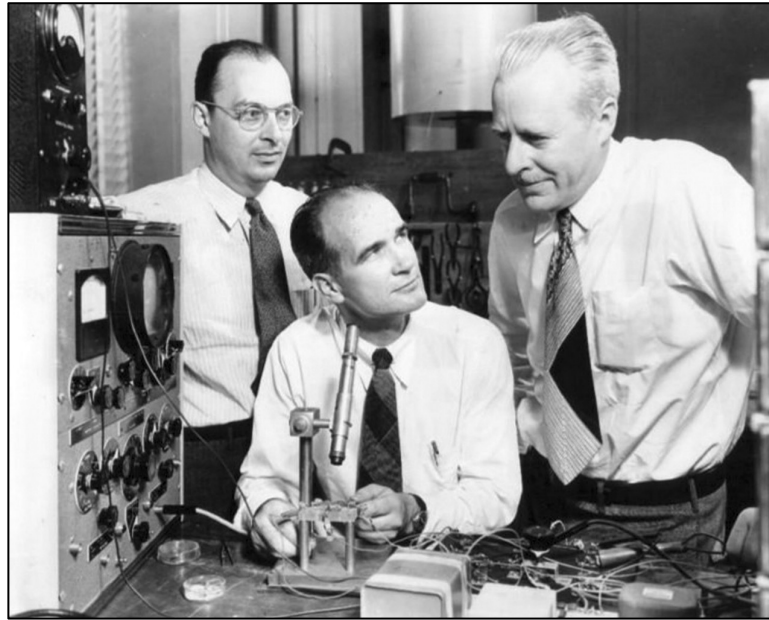
1. 에미터 - > 베이스: V_{EB} 는 p - n 접합부의 전위 장벽을 낮춘다.
2. 베이스 내부 확산: 확산 길이 L_p 와 베이스의 두께 ω 에 따라 재결합 또는 확산이 이루어진다.
3. 베이스 - > 컬렉터: 컬렉터로 확산 시 역방향 바이어스로 인해 흐른다.



제미나이 시뮬 캡처본

07 Conclusion

쇼클리 방정식을 분석하며 기존 원리나 해당 현상만 알고 있던 것들을 수식으로 볼 수 있었으며
반도체의 기초적인 방정식을 보며 **현대 반도체 물리학 전체를 대표하는 단 하나의 방정식**을 이해했다.



Circuit / Semiconductor Track

Thank you

송실대학교 전기공학부 학술 소모임 NOVA

발표자 : 유지상