

2014년도 제51회 변리사 제2차 국가자격시험 문제지

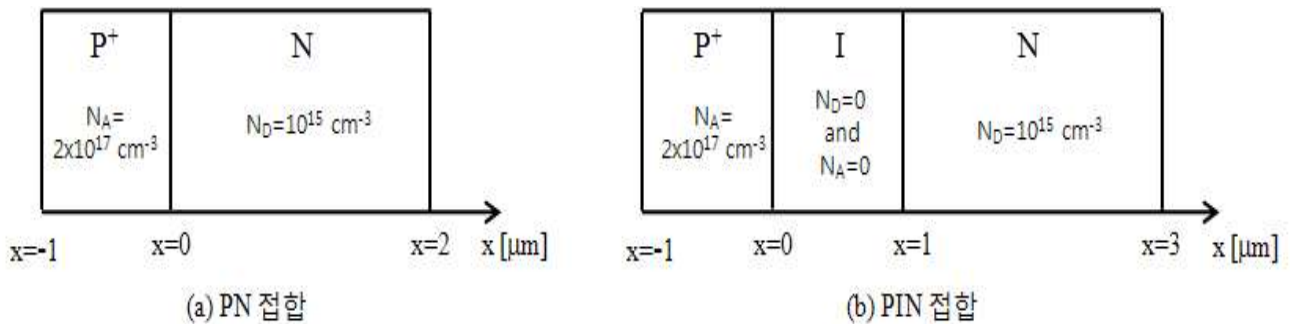
교시	시험과목	시험시간	수험번호	성명
2교시	반도체공학	120분		

【 문제-1 】 (30점)

아래 그림은 상온(300 K)에서의 Si PN 및 PIN 접합(junction)을 나타내고 있다. 여기서, P⁺와 N층의 도핑(doping) 농도는 각각 억셉터 농도 (N_A) = $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 및 도너 농도 (N_D) = 10^{15} cm^{-3} 이며, 이때 각 층의 길이는 아래 그림에 나타난 바와 같다. (여기서, 아래 그림은 개략적으로 표시되었고 scale은 실제와 다르며 실리콘의 도핑 농도는 축퇴되지 않은 반도체(non-degenerated semiconductor)라고 가정한다.) 다음의 물음에 답하시오.

주요 상수:

thermal voltage at 300 K: $V_{th}(300 \text{ K}) = 0.026 \text{ V}$
 intrinsic carrier concentration of Silicon at 300 K: $n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3}$
 electron charge: $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
 relative dielectric constant of Silicon (Si): $\epsilon_r = 11.8$
 dielectric constant of free space: $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$



- (1) 열적평형상태(thermal equilibrium)에서 각 다이오드의 내부전위(built-in voltage)를 구하시오. (6점)
- (2) 열적평형상태에서 각 다이오드의 전기장 $E(x)$ vs. x 그래프를 개략적으로 그리고 y 좌표값인 최대전기장 (E_{max})과 x 좌표값인 P층과 N층의 공핍 폭 (depletion width)의 값을 각각 구하고 단위를 표시하시오. (18점)
- (3) 열적평형상태에서 각 다이오드의 단위면적당 접합 정전용량(junction capacitance; $[\text{F/cm}^2]$)을 구하시오. (6점)

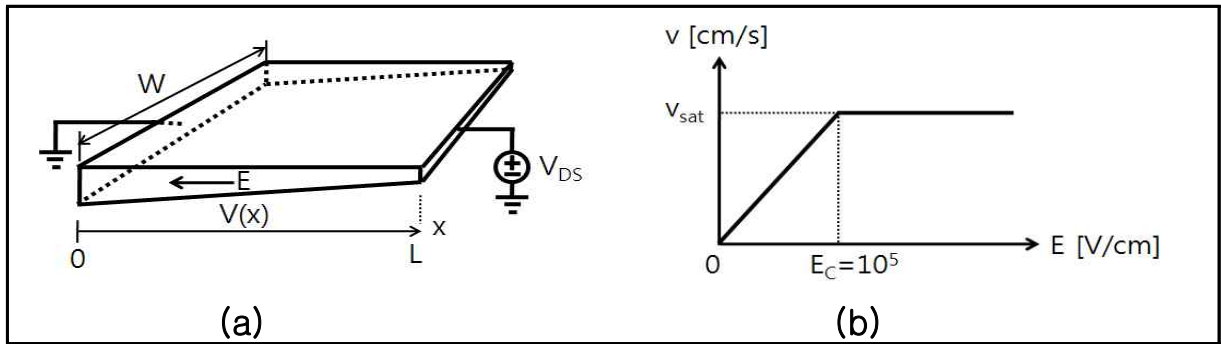
【 문제-2 】 (20점)

일반적인 PN 접합 반도체 다이오드에 있어 공핍영역(depletion region) 또는 공간 전하영역(space charge region)의 정의를 기반으로 동작 특성을 설명한다. 또한 역방향 바이어스(reverse bias)를 가하는 경우 애벌랜치 항복(Avalanche breakdown)과 제너 항복(Zener breakdown) 현상으로 전류의 급격한 증가를 설명하며 이러한 항복 현상들(breakdown phenomena)을 일반적으로 항복 전압(breakdown voltage)으로 나타낸다. 아래 질문에 답하시오.

- (1) 애벌랜치 항복과 제너 항복의 차이점에 대하여 설명하시오. (4점)
- (2) 온도가 증가함에 따라 애벌랜치 항복 전압과 제너 항복 전압이 어떻게 되는지 설명하시오. (6점)
- (3) 같은 구조 및 축퇴되지 않은(non-degenerated) 동일한 도핑(doping)으로 만든 PN 접합 Si 다이오드와 Ge 다이오드의 경우 물질 차이에 따른 애벌랜치 항복 전압의 차이를 설명하시오. (4점)
- (4) PN 접합에서 N형 반도체의 중성영역(neutral region)과 공간전하영역의 경계를 가정하고 예측하는 척도 및 전위분포(potential distribution)를 지배하는 특성 길이로 사용하는 디바이 길이(Debye length)가 있다. N형 반도체에서 디바이 길이에 영향을 주는 소자 파라미터 (예를 들어, 도핑 농도 또는 두께)는 무엇이며 어떻게 영향을 주는지를 설명하고, 디바이 길이가 감소하는 경우 경계부분에서의 전위분포가 어떻게 변화하는지를 설명하시오. (6점)

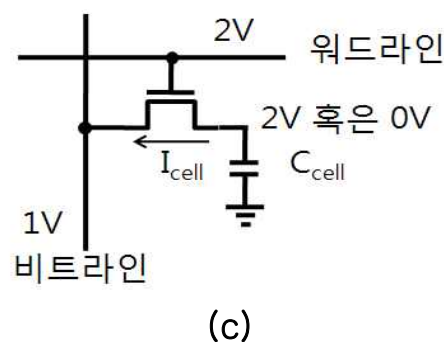
【 문제-3 】 (30점)

그림 (a)는 어떤 N형 MOSFET의 채널을 보인 것이다. 채널 내 임의의 지점 x에서의 전압 $V(x)$ 는 x에 비례하여 증가한다. 그림 (b)는 이 채널 내에 형성되는 전기장 E와 캐리어인 전자의 속도 v의 관계를 모델링한 것으로서 E_c 는 임계 전기장의 세기 (10^5 V/cm), v_{sat} 는 전자의 포화속도이며 물질의 고유한 특성이다. 채널 길이(L), 채널 폭(W), 단위 면적당 산화박막층 커패시터 용량(C_{ox}), 전자의 이동도(μ_n), 문턱 전압(V_T), 게이트-소오스 전압(V_{GS}), 드레인-소오스 전압(V_{DS})이 주어질 때, 드레인-소오스 전류(I_{DS})는 얼마나 많은 전하량이 얼마나 빠른 속도로 움직이느냐로 결정되므로 $I_{DS} = W \cdot Q_{inv} \cdot v$ (여기서 Q_{inv} 는 채널의 단위 면적당 전하량)로 나타낼 수 있다. (단, 바디효과는 고려하지 않는다.)



- (1) $E \leq E_C$ 일 때, 제시문에서 주어진 I_{DS} 식에서 Q_{inv} 는 x 에 따라 값이 달라지므로 $x=L/2$ 에서의 평균값을 이용하여 전류-전압식을 구하시오. (단, 채널은 드레인 영역까지 존재한다.) (6점)
- (2) (1)의 결과에서 채널이 핀치 오프(pinch-off) 되어 채널 양단 전압 $V_{DS}=V_{GS}-V_T$ 일 때의 전류-전압식을 구하시오. (4점)
- (3) $V_{DS}=V_{DS(sat)}$ 일 때 $E=E_C$ 에 도달하여 전자의 속도가 포화된다. 이 때, 제시문에서 주어진 I_{DS} 식에서 Q_{inv} 의 평균값을 사용하여 전류-전압식을 구하고 I_{DS} 가 L 과 무관함을 보이시오. (6점)

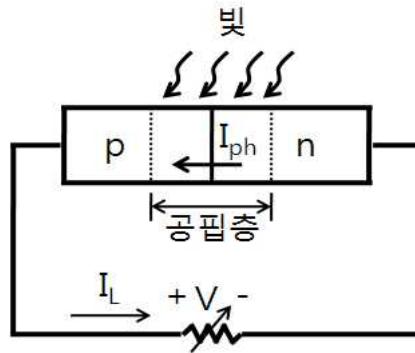
그림 (c)는 DRAM 셀의 간단한 모델이다. 셀 커패시터 C_{cell} 에는 "High"= 2 V 혹은 "Low"= 0 V 가 저장되며, 워드라인 전압은 2 V 이고 비트라인 전압은 1 V 이다. 셀 트랜지스터의 $L=200\text{ nm}$, $W=200\text{ nm}$, $V_T=0.5\text{ V}$, $\mu_n C_{ox}=10^{-4}\text{ A/V}^2$ 이다. (1)~(3)에서 구한 전류식을 이용하여 다음 물음에 답하시오. (단, 바디효과는 고려하지 않는다.)



- (4) "High" 및 "Low" 데이터를 읽을 때의 초기 전류 I_{cell} 을 각각 구하시오. (7점)
- (5) 그림 (c)에서 이번에는 L , W , 산화박막층 두께 t_{ox} 를 모두 $1/10$ 의 크기로 비례 축소(scaling)하여 집적도를 100배로 높였다. (셀 커패시터의 면적도 같은 비율로 비례축소 되었다.) "High" 및 "Low" 데이터를 읽을 때의 초기 전류 I_{cell} 을 각각 구하시오. (7점)

【 문제-4 】 (20점)

다음과 같은 긴 실리콘 PN 접합 태양전지에 빛이 일정하게 조사되면 빛의 세기(intensity)에 비례하는 광전류 I_{ph} 가 발생하며, 이 PN 접합의 순방향 전류는 $I_F = I_s \left[\exp\left(\frac{V}{V_{th}}\right) - 1 \right]$ 의 이상적인 전류식이 적용된다고 가정한다. 여기서 I_s 는 역포화 전류로서 10^{-10} A이며, V_{th} 는 열 전압(thermal voltage)으로서 상온(300 K)에서 26 mV이다. 가변 부하저항을 달아서 태양전지로부터 에너지를 뽑아 쓸 때, 다음의 물음에 답하시오. (소수점 1자리까지 구해도 무방함)



- (1) 광전류 I_{ph} 가 역방향으로 흐르는 이유를 설명하시오. (3점)
- (2) 부하저항에 흐르는 전류 I_L 이 I_{ph} 와 일치하지 않는 이유를 설명하시오. (3점)
- (3) 부하저항에 전달되는 전력 P 를 전압 V 의 함수로 나타내시오. (4점)
- (4) (3)에서 구한 전력 P 의 식에서 $\frac{dP}{dV} = 0$ 이 되는 V 의 값 V_m 을 구하여 I_{ph} 를 V_m 의 함수로 나타내시오. (4점)
- (5) 부하저항을 조절하여 $V=10V_{th}$ 일 때 최대전력이 전달되었다. 이때의 저항($k\Omega$)을 구하시오. (3점)
- (6) 이번에는 빛의 세기를 변화시키고, 부하저항을 다시 조절하였더니 $V=11V_{th}$ 에서 최대전력이 전달되었다. 이 경우 빛의 세기는 이전 세기의 몇 배인지 구하시오. (3점)