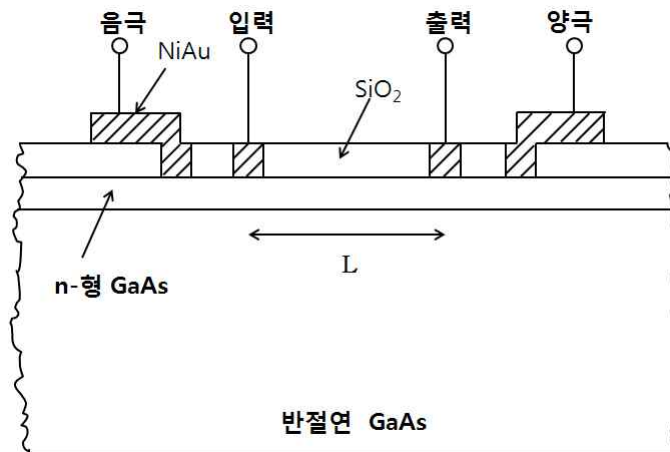
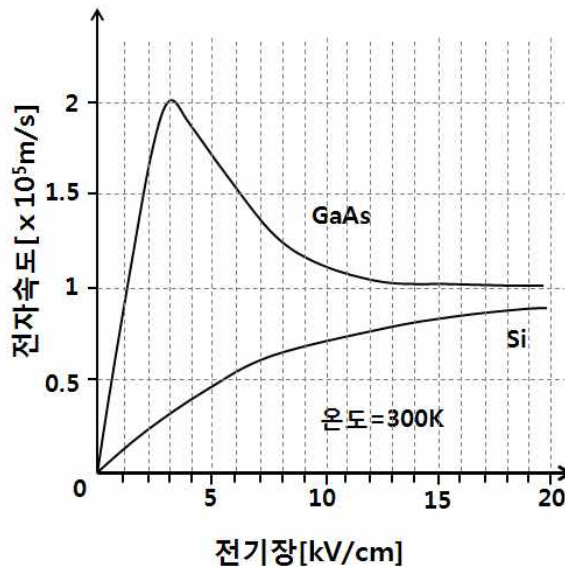


【 문제-1 】 (30점)

그림 (a)는 입력과 출력 그리고 음극과 양극이 n -형 반도체와 연결된 건다이오드(Gunn diode) 개략 단면도를 나타낸다. 그리고 낮은 전기장에서 도핑농도가 $N_D = 5 \times 10^{15} [\text{cm}^{-3}]$ 인 n -형 GaAs 반도체와 $N_D = 5 \times 10^{15} [\text{cm}^{-3}]$ 인 n -형 Si 반도체의 상온에서 전기장에 대한 전자속도는 그림 (b)와 같다. 다음의 물음에 답하시오. (단, Si와 GaAs의 비유전상수는 각각 11.7과 13.1이고 자유공간 유전상수는 $8.85 \times 10^{-14} [\text{F/cm}]$ 이다.)



(a) 건다이오드 구조



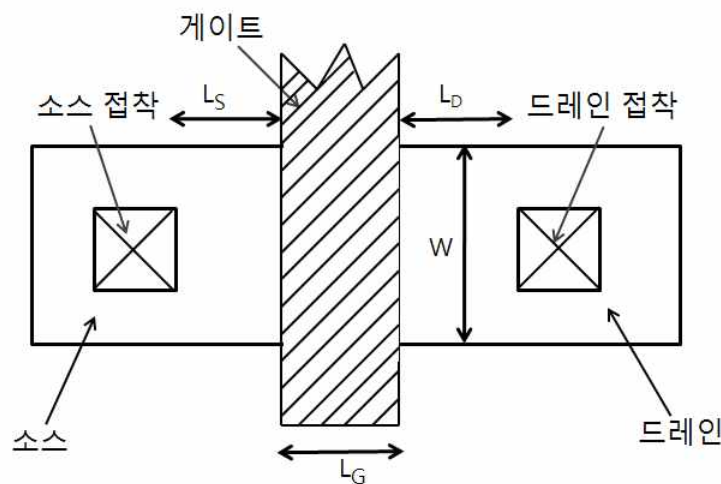
(b) 전기장 대 전자속도 특성

- (1) 그림 (b)의 전기장 $0 < \mathcal{E} < 3 [\text{kV/cm}]$ 영역에서 Si와 GaAs의 이동도 (mobility)를 구하고, 전기장 $4 < \mathcal{E} < 7 [\text{kV/cm}]$ 영역에서 GaAs의 이동도를 구하시오. (4점)

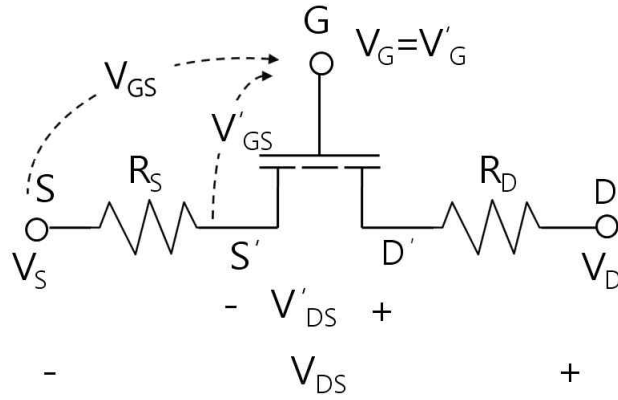
- (2) 전자농도가 $n[\text{cm}^{-3}]$ 이고, 전자이동도가 $\mu_n[\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}]$, 유전율이 ϵ 인 반도체 경우, 한 지점의 $t=0\text{s}$ 에서 알짜(net) 체적전하밀도 $\rho_v(0)[\text{C}/\text{cm}^3]$ 에 의한 유전 완화시간(dielectric relaxation time) τ_d 를 전류연속방정식을 이용하여 유도하시오. (단, 발생과 재결합의 효과를 무시한다.) (8점)
- (3) 전기장 $0 < \mathcal{E} < 3[\text{kV}/\text{cm}]$ 영역에서 도핑농도가 $N_D = 5 \times 10^{15}[\text{cm}^{-3}]$ 인 n -형 GaAs 반도체와 $N_D = 5 \times 10^{15}[\text{cm}^{-3}]$ 인 n -형 Si 반도체의 유전 완화시간을 문제 (1)과 문제 (2)에서 구한 값과 식으로 각각 구하시오. (8점)
- (4) 그림 (b)에서 건다이오드가 동작하는 부정 이동도(negative mobility) 영역이 일어나는 이유를 GaAs $E-k$ 다이어그램의 밴드구조를 그린 후 설명하고, 건효과가 일어나기 필요한 조건을 기술하시오. (10점)

【 문제-2 】 (20점)

그림 (a)는 소스와 드레인에 기생 직렬저항을 가진 균일한 농도의 n -형 MOS 트랜지스터의 평면도이고, 그림 (b)는 등가회로이다. 등가회로에서 프라임 표시는 진성(intrinsic) 소자의 변수를 나타내고 게이트의 길이가 $L_G[\text{cm}]$ 이며, 채널의 폭이 $W[\text{cm}]$ 이다. 문턱전압 이하에서 누설전류를 줄이기 위한 소스와 드레인 유전체 스페이스(dielectric spacer)가 각각 L_S, L_D 일 때 다음의 물음에 답하시오.

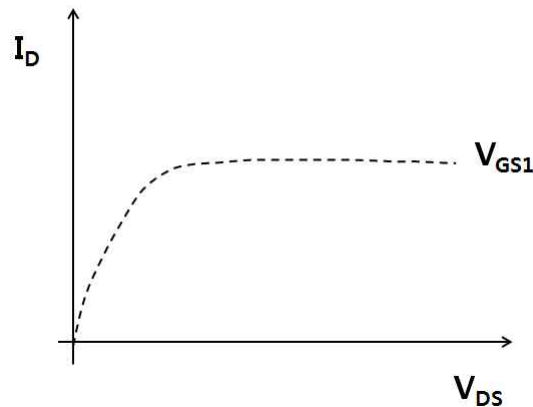


(a) n -형 MOS 트랜지스터의 평면도



(b) n -형 MOS 트랜지스터의 등가회로

- (1) 그림 (a)에서 유전체 스페이스의 유효 면저항 $R_{sq}[\Omega/\square]$ 이며 금속과 반도체 접촉저항이 $R_c[\Omega]$ 일 때 기생 소스저항과 기생 드레인저항을 각각 구하고, 기생 직렬저항을 줄이기 위한 방법 2가지를 기술하시오. (6점)
- (2) 아래 그림은 기생직렬저항이 없는 전압-전류 출력 특성곡선이며 V_{DS} 는 드레인-소스전압, I_D 는 드레인전류, V_{GS1} 은 임의의 게이트-소스전압이다. (6점)
- 1) 기생 소스저항과 기생 드레인저항의 효과를 고려한 특성곡선을 그리시오.
 - 2) 기생 소스저항과 기생 드레인저항에 의한 특성곡선의 변화(그림 (b)를 이용한 V_{GS} 그리고 V_{DS} 의 관계식을 포함)를 설명하시오.



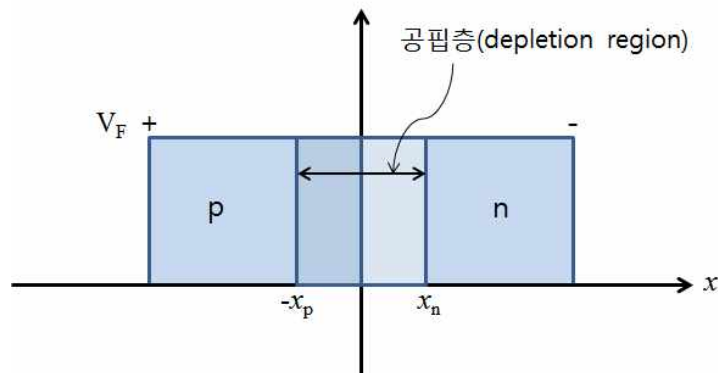
- (3) 문제 (2)에서 기생직렬저항이 있는 전압-전류 출력 특성곡선의 선형영역에서 채널저항을 구하는 방법을 설명하고, n -형 MOS 트랜지스터의 제곱법칙에 의한 드레인전류식으로부터 채널저항을 구하는 조건을 제시하고 채널저항의 관계식을 구하시오. (8점)

【 문제-3 】 (30점)

- (1) 반도체 내부에는 전자와 정공이 존재하고 이러한 전하의 움직임에 의해 전류가 생성된다. 반도체 내부에서 전류가 흐르는 두 가지 메커니즘을 설명하고, 전하의 움직임을 1차원으로 가정할 때 전체 전류밀도를 아래 물리량을 이용하여 기술하시오. (6점)

$n(p)$: 전자(정공) 밀도, $\mu_n(\mu_p)$: 전자(정공)의 이동도(mobility),
 $D_n(D_p)$: 전자(정공)의 확산계수(diffusion coefficient),
 e : 전자 전하량의 크기, \mathcal{E}_x : x 방향의 전기장

- (2) 아래 그림의 pn 접합 다이오드에 전압 V_F 를 인가하였다. 다음의 물음에 답하시오. (8점)



- 1) 위 다이오드의 전체 영역에서 정상상태의 소수캐리어 밀도를 개략적으로 그리시오.
- 2) 문제 (1)의 결과를 이용하여 pn 접합 다이오드의 전류-전압 관계식을 도출하면 다음과 같다.

$$J = J_s \left[\exp\left(\frac{e V_F}{k_B T}\right) - 1 \right]$$

이때, J_s 를 전자와 정공의 확산계수, 확산길이, 평형상태의 농도로 나타내시오.

(단, $x = x_n$ 에서 $\frac{dp}{dx} = -\frac{p_{n0}}{L_p} \left[\exp\left(\frac{e V_F}{k_B T}\right) - 1 \right]$, $x = -x_p$ 에서

$\frac{dn}{dx} = \frac{n_{p0}}{L_n} \left[\exp\left(\frac{e V_F}{k_B T}\right) - 1 \right]$ 를 이용한다. $n_{p0}(p_{n0})$ 는 평형상태에서 $p(n)$ 영역의 소수캐리어인 전자(정공)의 농도, k_B 는 볼츠만 상수, T 는 온도, $L_n(L_p)$ 는 전자(정공)의 확산길이(diffusion length)이다.)

- (3) 문제 (2)에서 언급한 다이오드에 외부 태양광을 입사하여 전기에너지를 얻음으로써 태양전지로 사용할 수 있다. 실리콘을 이용하여 다이오드를 제조하였고 도핑은 균일하게 이루어졌다. 온도 $T = 300$ [K]에서 실리콘 pn 접합 다이오드의 특성은 다음과 같다.

$N_A = 5 \times 10^{16} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	$D_n = 35 \text{ [cm}^2\text{/s]}$	$\tau_{n0} = 2 \times 10^{-7} \text{ [s]}$
$N_D = 1 \times 10^{16} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$	$D_p = 12.4 \text{ [cm}^2\text{/s]}$	$\tau_{p0} = 1 \times 10^{-7} \text{ [s]}$

빛의 흡수에 의한 광전류밀도가 $J_{ph} = 40 \text{ [mA/cm}^2\text{]}$ 인 경우, 이러한 태양전지의 개방전압(open circuit voltage) V_{oc} 를 구하시오. (단, 실리콘의 진성 캐리어농도 $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$ 이고 볼츠만 상수 $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ [J/K]}$ 이다.) (10점)

- (4) 문제 (2)와 문제 (3)에서 언급한 다이오드를 광센서로 활용하려고 한다. 다음의 물음에 답하시오. (6점)

- 1) 광센서로 활용하기 위한 광다이오드의 원리를 설명하시오.
- 2) 빛의 흡수에 의한 과잉 캐리어(excess carrier)는 충분히 긴 다이오드 전체에 대해 균일하게 발생한다고 가정한다. 온도 $T = 300$ [K] 일 때, 역바이어스 조건에서 다이오드의 광전류밀도 J_L 를 구하시오. (단, 공핍층의 폭 $W = 9.44 \times 10^{-5} \text{ [cm]}$ 이며 과잉 캐리어의 발생율(generation rate) $G_L = 10^{21} \text{ [cm}^{-3}\text{/s]}$ 라고 가정한다.)

【 문제-4 】 (20점)

전자가 1차원 자유도를 가진 무한 결정격자에 존재한다고 가정한다. 격자 상수는 a 이고 전자의 유효질량은 m_n^* 라 한다. 다음의 물음에 답하시오.

- (1) 전도대($E \geq E_c$)에 존재하는 전자에 대해 결정격자의 단위 길이 당 허용 에너지 상태밀도함수 $g(E)$ 를 구하시오. (단, 전도대에 존재하는 전자의 에너지는 $E = E_c + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_n^*}$ 이다. 이때, \hbar 는 플랑크 상수이고 $k = \frac{p}{\hbar}$ (p 는 전자의 운동량)이다.) (6점)

- (2) 문제 (1)에서 구한 상태밀도함수를 $g(E) = A \sqrt{\frac{m_n^*}{E - E_c}}$ 라 할 때(A 는 임의의 상수) 열적평형상태에서 전도대에 존재하는 전자의 밀도 n_0 를 구하시오. (단, 전자 분포함수 $f(E) \approx \exp\left(-\frac{E - E_F}{k_B T}\right)$ 라 가정하고 $\int_0^\infty \eta^{-1/2} \exp(-\eta) d\eta = \sqrt{\pi}$ 이다. 이때, E_F 는 페르미 에너지를 의미한다.) (6점)

- (3) 문제 (2)의 결과를 이용하여 열적평형상태에서 가전자대($E \leq E_v$)에 존재하는 정공의 밀도 p_0 를 기술하고, 평형상태에서 페르미 에너지를 전자와 정공의 유효질량과 E_c , E_v 를 이용하여 나타내시오. (단, 가전자대에 존재하는 정공의 유효질량은 m_p^* 라 한다.) (8점)