

EL DIODO EMISOR DE LUZ – LED

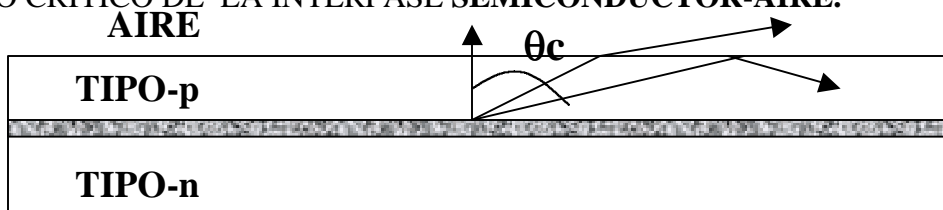
- UNA UNIÓN PN POLARIZADA DIRECTAMENTE EMITE LUZ A TRAVÉS DE EMISIÓN ESPONTÁNEA ESTE FENÓMENO SE DENOMINA ELECTROLUMINISCENCIA.
- UN LED ES EN FORMA SENCILLA UNA HOMOUNIÓN PN POLARIZADA DIRECTAMENTE.
 - LA LUZ SE GENERA DEBIDO A LA RECOMBINACIÓN RADIATIVA DE PARES ELECTRÓN-HUECO EN LA REGIÓN DE VACIAMIENTO-
 - PARTE DE LA LUZ SE ESCAPA DEL DISPOSITIVO Y SE ACOPLA A LA FIBRA.
 - LA LUZ EMITIDA ES INCOHERENTE CON UNA ANCHURA ESPECTRAL RELATIVAMENTE GRANDE DE 30 A 60nm Y UN ENSANCHAMIENTO ANGULAR RELATIVAMENTE GRANDE.

LA CARACTERÍSTICA LUZ-CORRIENTE

- LA VELOCIDAD DE INYECCIÓN DE PORTADORES ES: I/q
- LA EFICIENCIA CUÁNTICA INTERNA η_{int} .
 - CANTIDAD DE PARES ELECTRÓN-HUECO QUE RECOMBINAN POR EMISIÓN ESPONTÁNEA.
- LA VELOCIDAD DE GENERACIÓN DE FOTONES ES: $\eta_{int}(I/q)$
- LA POTENCIA ÓPTICA INTERNA ES: $P_{int} = \eta_{int} \left(\frac{\hbar\omega}{q} \right) I$
 - $\hbar\omega$ ES LA ENERGÍA DEL FOTÓN
- LA POTENCIA EMITIDA: $P_e = \eta_{ext} \eta_{int} \left(\frac{\hbar\omega}{q} \right) I$
 - η_{ext} ES LA EFICIENCIA CUÁNTICA EXTERNA. ES LA CANTIDAD DE FOTONES QUE SE ESCAPA DEL DISPOSITIVO

REFLEXIÓN TOTAL INTERNA EN LA CARA DE SALIDA DE UN LED

- REFLEXIÓN TOTAL INTERNA EN LA CARA DE SALIDA DE UN LED. SÓLO LA LUZ EMITIDA EN EL CONO QUE FORMA UN ÁNGULO θ_c SE TRANSMITE. θ_c ES EL ÁNGULO CRÍTICO DE LA INTERFASE SEMICONDUCTOR-AIRE.



DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA CUÁNTICA EXTERNA η_{ext}

- SE TOMA EN CUENTA LA ABSORCIÓN INTERNA Y LA REFLEXIÓN EN LA INTERFASE AIRE-SEMICONDUCTOR.
- SE CONSIDERA TAMBIEN LA REFLEXIÓN TOTAL INTERNA EN LA INTERFASE.

CONDICIÓN PARA LA LUZ QUE SE ESCAPA DE LA SUPERFICIE DEL LED
 •SE EMITE LUZ QUE INCIDE SOBRE LA INTERFASE **DENTRO DE UN CONO DE ÁNGULO θ_c DENOMINADO ÁNGULO CRÍTICO.**

• **n** =ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL MATERIAL
$$\theta_c = \text{sen}^{-1}\left(\frac{1}{n}\right)$$

•**LA ABSORCIÓN INTERNA PUEDE EVITARSE:**

•USANDO LED'S DE HETEROESTRUCTURA, DONDE LAS CAPAS DE REVESTIMIENTO ALREDEDOR DE LA CAPA ACTIVA SON **TRANSPARENTES A LA RADIACIÓN GENERADA.**

•SE OBTIENE PARA LA EFICIENCIA CUÁNTICA EXTERNA:

$$\eta_{\text{ext}} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{\theta_c} T_f(\theta) 2\pi \text{sen}(\theta) d\theta$$

•SE ASUME QUE LA RADIACIÓN SE EMITE UNIFÓRMEMENTE EN TODAS LAS DIRECCIONES EN UN ÁNGULO ESPACIAL DE **4π**

• **T_f** =FACTOR DE TRANSMISIÓN DE FRESNEL. DEPENDE DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA θ :

•**PARA INCIDENCIA NORMAL: $\theta=0$.**
$$T_f = \frac{4n}{(n+1)^2}$$

•**LA EFICIENCIA CUÁNTICA EXTERNA PARA INCIDENCIA NORMAL:**
$$\eta_{\text{ext}} = n^{-1}(n+1)^{-2}$$

LA POTENCIA EMITIDA

- PARA UN VALOR TÍPICO DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL SEMICONDUCTOR **$n=3,5$** SE OBTIENE: **$\eta_{\text{ext}}=1,4\%$**
- SOLO UNA PEQUEÑA PARTE DE LA POTENCIA INTERNA APORTA A LA POTENCIA DE SALIDA ÚTIL.**
- OTRA FUENTE DE PÉRDIDA DE LA POTENCIA ÚTIL DE SALIDA OCURRE DURANTE EL **ACOPLAMIENTO DE LA LUZ EN LA SUPERFICIE DE LA FIBRA.**

EL LED COMO UNA FUENTE DE LAMBERTIAN

- ES UNA FUENTE ÓPTICA DE LUZ CON NATURALEZA INCOHERENTE.
 - CON UN ÁNGULO DE DISTRIBUCIÓN: $S(\theta) = S_0 \cos \theta$
 - S_0 ES LA INTENSIDAD EN LA DIRECCIÓN $\theta=0$.
 - LA EFICIENCIA DEL ACOPLAMIENTO ES: $\eta_c = (NA)^2$
 - NA ES LA APERTURA NUMÉRICA DE LA FIBRA ÓPTICA.
- VALORES TÍPICOS: $NA=0,1-0,3$
- SOLO UN PEQUEÑO PORCENTAJE DE LA POTENCIA EMITIDA SE LOGRA ACOPLAR A LA FIBRA ÓPTICA

POTENCIA DE ALIMENTACIÓN DEL LED

- $<100\mu W$
- LA POTENCIA INTERNA DEL LED PUEDE EXCEDER LOS: $>10mW$

LA EFICIENCIA CUÁNTICA TOTAL η_{tot}

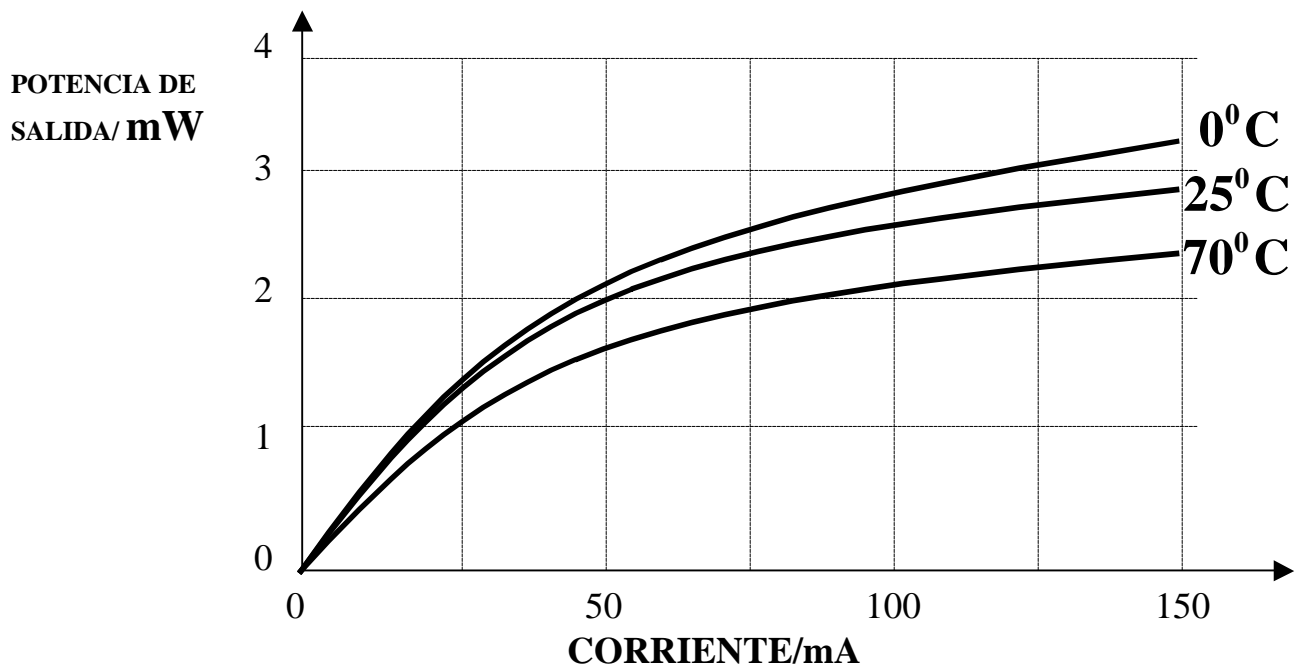
- DESCRIBE EL RENDIMIENTO TOTAL DEL LED.
- DEFINICIÓN DE η_{tot}
 - ES LA RELACIÓN ENTRE:
 - P_e : LA POTENCIA ÓPTICA EMITIDA Y
 - $P_{elec}=V_o I$: LA POTENCIA ELÉCTRICA APLICADA.
 - V_o ES LA CAIDA DE TENSION EN EL DISPOSITIVO.

$$\eta_{tot} = \eta_{ext} \eta_{int} \left(\frac{\hbar\omega}{qV_0} \right) \quad \hbar\omega \approx qV_0 \rightarrow \eta_{tot} \approx \eta_{ext} \eta_{int}$$

LA RESPUESTA ÓPTICA R

- ES OTRA MAGNITUD QUE SE USA PARA CARACTERIZAR EL RENDIMIENTO DEL LED: $R = \frac{P_e}{I} \rightarrow R = \eta_{ext} \eta_{int} \left(\frac{\hbar\omega}{q} \right) \rightarrow R = \eta_{tot} V_0$
- valor típico $R \approx 0,01W / A$
- R SE MANTIENE CONSTANTE SI LA RELACIÓN P_e/I ES CONSTANTE.
 - ESTE TIPO DE RELACIÓN SÓLO SE MANTIENE SOBRE UN RANGO DE CORRIENTE LIMITADA.

CURVAS LUZ-CORRIENTE L-I PARA VARIAS TEMPERATURAS DE UN LED TÍPICO EN 1,3μm



- **LA RESPUESTA ÓPTICA R DEL DISPOSITIVO DISMINUYE PARA ALTAS CORRIENTES SOBRE 80mA DEBIDO AL DOBLAMIENTO DE LA CURVA L-I.**
- **UNA CAUSA DE LA DISMINUCIÓN DE R ES EL INCREMENTO DE LA TEMPERATURA EN LA REGIÓN ACTIVA.**
- **LA EFICIENCIA CUÁNTICA INTERNA η_{int} DEPENDE NORMÁLMENTE DE LA TEMPERATURA. DEBIDO AL INCREMENTO DE LA VELOCIDAD DE RECOMBINACIÓN PARA ALTAS TEMPERATURAS.**

DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL

- **LA DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA FUENTE DE LUZ AFECTA EL RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES ÓPTICO A TRAVÉS DE LA DISPERSIÓN DE LA FIBRA.**
- **LA DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL ESTÁ CONTROLADA POR EL ESPECTRO DE LA EMISIÓN ESPONTÁNEA:**

$$R_{spon}(\omega) = \int_{E_c}^{\infty} A(E_1, E_2) f_c(E_2) [1 - f_c(E_1)] p_{cv} dE_2$$

- **SE CALCULA NUMÉRICAMENTE Y DEPENDE DE DIFERENTES PARÁMETROS MATERIALES.**

APROXIMACIÓN DEL ESPECTRO DE EMISIÓN ESPONTÁNEA:

•CONDICIONES:

- A(E₁,E₂)** ES DIFERENTE DE CERO SOLO SOBRE UN RANGO DE ENERGÍA ESTRECHO, CERCANO A LA ENERGÍA DEL FOTÓN.
- LAS FUNCIONES DE FERMI SE APROXIMAN A SUS EXPRESIONES EXPONENCIALES, ASUMIENDO UN PROCESO DE INYECCIÓN DÉBIL. SE OBTIENE:

PARA DETERMINAR
LA CURVA
TEÓRICA

$$R_{\text{spont}} = A_0 (\hbar\omega - E_g)^{1/2} e^{-\frac{\hbar\omega - E_g}{K_B T}}$$

•**A₀**=CONSTANTE

•**E_g**=ENERGÍA DE LA BANDA PROHIBIDA

EL MÁXIMO DE R_{spont}

- SE DEDUCE PARA: $\hbar\omega = E_g + K_B \frac{T}{2}$

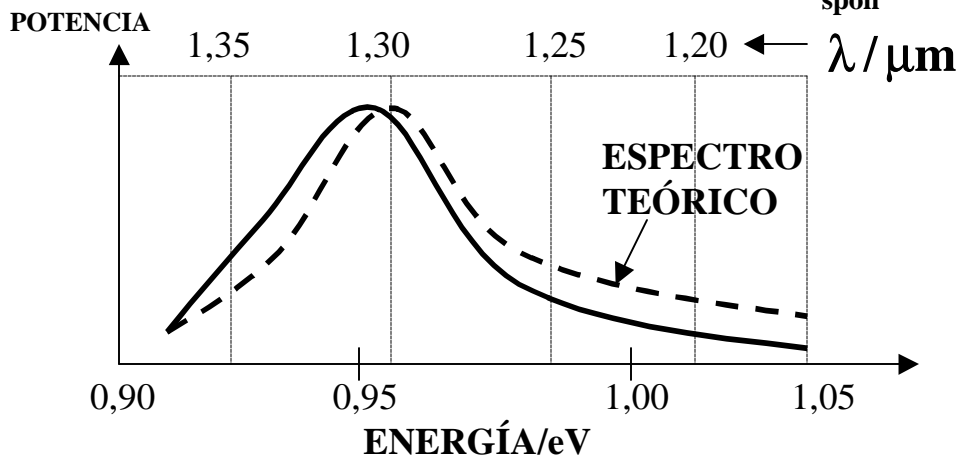
- ANCHURA TOTAL DE UN MÁXIMO MEDIO: $\Delta\nu \approx 1,8 \frac{K_B T}{h}$
- PARA TEMPERATURA AMBIENTE ES: $T \approx 300^0 K$ $\Delta\nu \approx 11 THz$
- EN LA PRÁCTICA LA ANCHURA ESPECTRAL SE EXPRESA EN NANÓMETROS, USANDO:

$$\Delta\nu \approx \left(\frac{c}{\lambda^2} \right) \Delta\lambda$$

- $\Delta\lambda$ ES MAYOR EN EL LED DE InGaAsP IRRADIANDO EN $1,3\mu m$ EN EL FACTOR 1,7, COMPARADO CON EL LED DE GaAs

SALIDA ESPECTRAL DE UN LED TÍPICO EN $1,3\mu m$, COMPARADA CON LA CURVA TEÓRICA DE:

$$R_{\text{spont}} = A_0 (\hbar\omega - E_g)^{1/2} e^{-\frac{\hbar\omega - E_g}{K_B T}}$$



InGaAsP
T=280 K
 $\lambda_p=1,3\mu m$

LIMITACIONES DEL LED EN APLICACIONES EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES:

- LA DISPERSIÓN LIMITA EL BL
- APLICACIÓN EN CORTAS DISTANCIAS Y B=10-100Mb/s