

RECOMBINACIÓN NO RADIATIVA

LA MAYORÍA DE LOS ELECTRONES Y HUECOS RECOMBINAN GENERANDO LUZ.

ALGUNOS ELCTRONES Y HUECOS RECOMBINAN SIN EMISIÓN DE LUZ: **MECANISMOS:**

- POR DEFECTO
- SUPERFICIAL
- DE AUGER

ESTOS PROCESOS REDUCEN EL NÚMERO DE PARES ELECTRÓN-HUECO QUE EMITEN LUZ.

EL PROCESO DE LA RECOMBINACIÓN DE AUGER

LA ENERGÍA LIBERADA DURANTE LA RECOMBINACIÓN DEL PAR ELECTRÓN-HUECO ES ENTREGADA A OTRO ELECTRÓN O HUECO **EN FORMA DE ENERGÍA CINÉTICA**, LOS CUALES GENERAN LUZ UN TIEMPO DESPUÉS.

LA EFICIENCIA CUÁNTICA INTERNA

CONSIDERA EL EFECTO DE LA RECOMBINACIÓN NO RADIATIVA

$$\eta_{\text{int}} = \frac{R_{\text{rr}}}{R_{\text{rr}} + R_{\text{nr}}} = \frac{R_{\text{rr}}}{R_{\text{tot}}}; \quad \eta_{\text{int}} = \frac{\tau_{\text{rr}}}{\tau_{\text{rr}} + \tau_{\text{nr}}}$$

Rrr=RECOMBINACIÓN RADIATIVA.
Rnr=RECOMBINACIÓN NO RADIATIVA

τ_{nr} , τ_{rr} =TIEMPOS DE RECOMBINACIÓN.
N=DENSIDAD DE PORTADORES

SEMICONDUCTOR DE BANDA PROHIBIDA DIRECTA

EL MÍNIMO DE LA BANDA DE CONDUCCIÓN Y EL MÁXIMO DE LA BANDA DE VALENCIA APARECEN PARA EL MISMO VALOR DEL VECTOR DE ONDA DEL ELECTRÓN

LA PROBABILIDAD DE RECOMBINACIÓN RADIATIVA ES GRANDE EN LOS SEMICONDUCTORES DE BANDA PROHIBIDA DIRECTA.

DURANTE LA RECOMBINACIÓN ELECTRÓN-HUECO SE CONSERVA LA ENERGÍA Y EL IMPULSO

COMO **GaAs** Y **InP** $\eta_{\text{int}} \approx 0,5$
CUANDO DOMINA LA EMISIÓN ESTIMULADA: $\eta_{\text{int}} \approx 1$

SEMICONDUCTOR DE BANDA PROHIBIDA INDIRECTA

- INTERVIENE UN FONÓN PARA PODER CONSERVAR EL IMPULSO
- SE REDUCE LA RECOMBINACIÓN RADIATIVA $\tau_{rr} > \tau_{nr}$
- LA EFICIENCIA CUÁNTICA SE HACE MENOR QUE 1. $\eta_{int} \ll 1$
- VALORES TÍPICOS PARA EL Si, G. $\eta_{int} \propto 10^{-5}$
- EL Si, Y EL G, NO ENCUENTRAN APLICACIÓN COMO FUENTES ÓPTICAS

LA VELOCIDAD DE RECOMBINACIÓN RADIATIVA SUPERPOSICIÓN DE EMISIÓN ESPONTANEA Y ESTIMULADA

$$R_{rr} = R_{spon} + R_{stim}$$

LED

$$R_{spon} \gg R_{stim} \rightarrow R_{nr} \approx R_{spon}$$

$$\eta_{int} = \frac{R_{spon}}{2R_{spon}} \eta_{int} = 50\%$$

LASER SEMICONDUCTOR

$$R_{rr} \approx R_{stim} \quad R_{stim} \gg R_{nr}$$

$$\eta_{int} \approx \frac{R_{stim}}{R_{stim}} \eta_{int} = 100\%$$

EL TIEMPO DE VIDA DEL PORTADOR DE CARGA τ_c

TIEMPO DE RECOMBINACIÓN TOTAL DE LOS PORTADORES DE CARGA EN AUSENCIA DE LA RECOMBINACIÓN ESTIMULADA.

N=DENSIDAD DE LOS PORTADORES

$$R_{spon} + R_{nr} = \frac{N}{\tau_c}$$

- τ_c ES CONSTANTE, SI R_{spon} Y R_{nr} VARÍAN LINEALMENTE CON N
- EN LA PRÁCTICA R_{spon} Y R_{nr} VARÍAN NO LINEAL CON N

$$R_{spon} + R_{nr} = A_{nr}N + BN^2 + CN^3$$

A_{nr} =COEFICIENTE NO RADIATIVO

B =COEFICIENTE DE RECOMBINACIÓN ESPONTANEA RADIATIVA

C =COEFICIENTE DE AUGER

DEPENDENCIA DEL TIEMPO DE VIDA DEL PORTADOR DE CARGA τ_c DE LA DENSIDAD DE PORTADORES “N”.

$$\tau^{-1} = A_{nr} + BN + CN^2$$

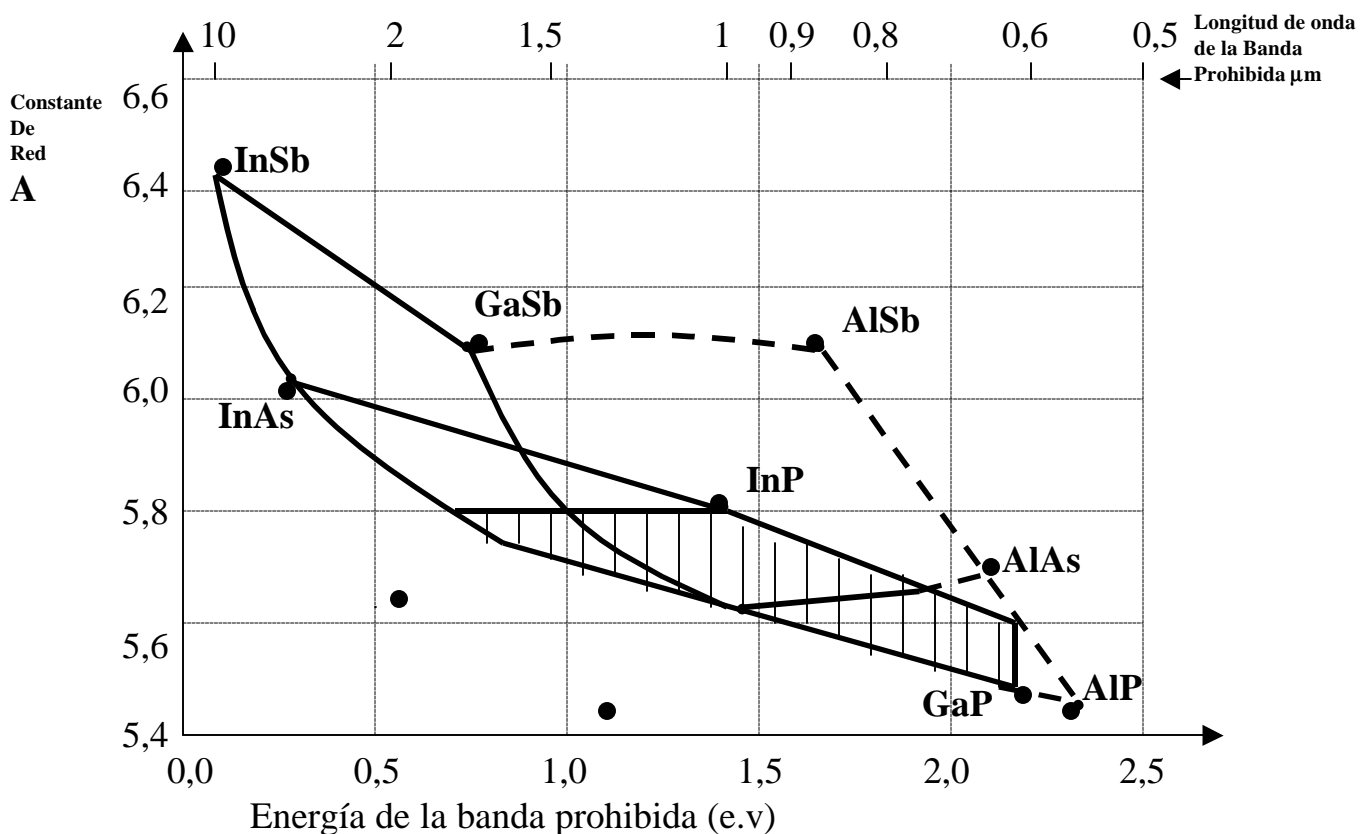
SEMICONDUCTORES CON BANDA PROHIBIDA DIRECTA
EN LOS DISPOSITIVOS DE HETEROESTRUCTURA EL RENDIMIENTO
DEPENDIENDO DE LA CALIDAD DE LA INTERFASE INTERMEDIA

SI LAS CONSTANTES DE RED SON IGUALES EN UNA PROPORCIÓN MEJOR QUE EL 0,1%. **DISMINUYE LA FORMACIÓN DE DEFECTOS EN LA ESTRUCTURA CRISTALINA.**

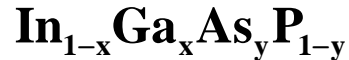
SEMICONDUCTORES COMPUESTOS TERNARIOS Y CUATERNARIOS

- SE FABRICAN ARTIFICIALMENTE SEMICONDUCTORES DIFERENTES CON LA MISMA CONSTANTE DE RED.
- UNA FRACCIÓN DEL SITIO DE LA RED DE UN SEMICONDUCTOR BINARIO COMO GaAs SE REEMPLAZA POR OTRO ELEMENTO.
- **COMPUESTO TERNARIO:** UNA FRACCIÓN “x” DE ÁTOMOS DE Ga POR ÁTOMOS DE Al $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$
- **COMPUESTO CUATERNARIO:** $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$
- EL NUEVO SEMICONDUCTOR TIENE:
 - LA MISMA CONSTANTE DE RED
 - SE INCREMENTA LA ANCHURA DE LA BANDA PROHIBIDA. DEPENDE DE “x”. SE APROXIMA: $E_g(x) = 1,424 + 1,247x$

con $0 < x < 0,45$



- LOS COMPUESTOS TERNARIOS Y CUATERNARIOS SE FORMAN USANDO SEMICONDUCTORES BINARIOS DE LOS GRUPOS III Y V
- **LA REGIÓN SOMBREADA:** SON LOS COMPUESTOS CUATERNARIOS CON UNA BANDA PROHIBIDA DIRECTA, DE LOS ELEMENTOS In, Ga, As, P.



- LA LINEA HORIZONTAL QUE PASA A TRAVÉS DEL InP MUESTRA LOS COMPUESTOS CUATERNARIOS DEL InP.

- LA LINEA HORIZONTAL QUE UNE GaAs CON EL AlAs DE LOS COMPUESTOS TERNARIOS $\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$

- LA BANDA PROHIBIDA DE ESTOS COMPUESTOS ES DIRECTA PARA VALORES DE “x” DE APROX. 0,45

$$E_g(x) = 1,424 + 1,247x$$

- LOS PUNTOS REPRESENTAN LOS SEMICONDUCTORES BINARIOS.
- LAS LINEAS QUE UNEN LOS PUNTOS SON LOS COMPUESTOS TERNARIOS.
- LOS TRAMOS DE LAS LÍNEAS PUNTEADAS: EL COMPUESTO TERNARIO TIENE UNA BANDA PROHIBIDA INDIRECTA.
- EL ÁREA DE UN POLÍGONO CERRADO CORRESPONDE A UN COMPUESTO CUATERNARIO.
- LA BANDA PROHIBIDA DE LOS COMPUESTOS CUATERNARIOS NO SON NECESARIAMENTE DIRECTOS.

LA CAPA ACTIVA Y LAS CAPAS DE REVESTIMIENTO SE DISEÑAN PARA QUE “x” SEA MAYOR EN LAS CAPAS DE REVESTIMIENTO COMPARADO CON EL VALOR DE “x” PARA LA CAPA ACTIVA.

LA LONGITUD DE ONDA DE LA LUZ EMITIDA

SE DETERMINA DE LA ANCHURA DE LA BANDA PROHIBIDA SIENDO LA ENERGÍA DEL FOTÓN APROXIMÁDAMENTE IGUAL A LA ANCHURA DE LA BANDA PROHIBIDA.

LA CAPA ACTIVA DE GaAs

- LA ENERGÍA DE LA BANDA PROHIBIDA:

$$E_g = 1,424\text{eV} \quad E_g \approx h\nu = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow \lambda \approx 0,87\mu\text{m}$$
- LA LONGITUD DE ONDA SE REDUCE A

$$\lambda \approx 0,87\mu\text{m}$$

USANDO UNA CAPA ACTIVA DE: $x \approx 0,1$

FUENTES ÓPTICAS BASADAS EN GaAs

- OPERAN EN EL RANGO: $0,81-0,87\mu\text{m}$
- SE USARON EN LA PRIMERA GENERACIÓN DE FIBRA ÓPTICA.
- LA DISPERSIÓN SE REDUCE EN EL RANGO $1,3-1,6\mu\text{m}$

FUENTES ÓPTICAS DE InP

- OPERAN EN EL RANGO: $1,3-1,6\mu\text{m}$
- LA BANDA PROHIBIDA DEL InP SE REDUCE FORMANDO EL COMPUESTO CUATERNARIO $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$
 - RELACIÓN ENTRE LOS VALORES “x” Y “y” $x/y=0,45$
 - CON ESTA RELACIÓN SE IGUALA LAS CONSTANTES DE RED

LA BANDA PROHIBIDA DE LOS COMPUESTOS CUATERNARIOS

- SE PUEDE EXPRESAR EN TÉRMINOS “x” Y “y”

$$E_g(y) = 1,35 - 0,72y + 0,12y^2 \text{ con } 0 \leq y \leq 1$$
- LA BANDA PROHIBIDA MAS ANGOSTA SE OBTIENE PARA: $y=1$

EJEMPLO DE UN COMPUESTO TERNARIO

- EMITE LUZ PARA $\lambda=1,65\mu\text{m}$ PARA $E_g=0,75\text{eV}$
 $\text{In}_{0,55}\text{Ga}_{0,45}\text{As}$
- RANGO DE OPERACIÓN: $\lambda=1,0$ A $1,65\mu\text{m}$ INCLUYE $\lambda=1,3$ A $1,6\mu\text{m}$

TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DE LAS FUENTES ÓPTICAS SEMICONDUCTORAS

- TÉCNICAS DE MÚLTIPLE CRECIMIENTO EPITAXIAL SOBRE UN SUSTRATO BASE DE GaAs O InP
- LA ANCHURA Y LA COMPOSICIÓN DE CADA CAPA SE CONTROLA CON ALTA PRECISIÓN.
- SE APLICAN TÉCNICAS DE MÚLTIPLE CRECIMIENTO EPITAXIAL.
- TÉCNICAS PRIMARIAS:
 - CRECIMIENTO EPITAXIAL DE FASE LÍQUIDA.
 - CRECIMIENTO EPITAXIAL EN FASE AL VAPOR.
 - CRECIMIENTO EPITAXIAL POR RADIACIÓN.
 - DEPENDIENDO SI LOS CONSTITUYENTES ESTÁN EN FORMA LÍQUIDA, EN VAPOR O SE APLICAN POR RADIACIÓN

•**CRECIMIENTO EPITAXIAL EN FASE AL VAPOR: DEPOSITACIÓN QUÍMICA AL VAPOR.**

•**DEPOSITACIÓN QUÍMICA METÁLICA Y ORGÁNICA AL VAPOR: METALES ALCALINOS SE USAN COMO UNA MEZCLA COMPUESTA.**

•**CONTROLAN LA ANCHURA DE LA CAPA ACTIVA HASTA 1nm**

•**NORMÁLMENTE SE USAN CAPAS ACTIVAS DE 10nm**

•**PARA ESTOS LASER**

•**LOS PORTADORES ESTÁN ENCERRADOS EN UN POZO CUÁNTICO.**

•**SE MEJORA EL RENDIMIENTO DEL LASER. SE DENOMINAN:**

•**LASERS DE POZOS CUÁNTICOS.**

LASERS CON MULTIPOZOS CUÁNTICOS

•**PARA INCREMENTAR EL RENDIMIENTO DEL LASER.**

•**SE FABRICAN DISPOSITIVOS CON CAPAS ACTIVAS MÚLTIPLES DE 5 A 10nm DE ANCHURA.**

•**SEPARADAS POR BARRERAS TRANSPARENTES DE APROXIMÁDAMENTE 10nm DE ANCHO.**

LASER DE MULTIPOZOS CUÁNTICOS DEFORMADOS

•**UNA DEFORMACIÓN INTENCIONAL CONTROLADA DE LA CAPA ACTIVA MEJORA EL RENDIMIENTO DEL LASER MULTIPOZOS.**

•**EL USO DE CAPAS ACTIVAS FINAS PERMITE QUE LAS CONSTANTES DE RED SE EMPAREJEN CON UN DEFECTO DÉBIL.**

•**LA DEFORMACIÓN RESULTANTE CAMBIA LA ESTRUCTURA DE BANDAS Y MEJORA EL RENDIMIENTO DEL LASER.**