

### EL LASER SEMICONDUCTOR

- EMITE LUZ A TRAVÉS DE PROCESOS DE EMISIÓN ESTIMULADA.
  - LA DIFERENCIA ENTRE EMISIÓN ESPONTÁNEA Y ESTIMULADA ESTÁ EN LA CAPACIDAD DE IRRADIAR ALTAS POTENCIAS DE APROX. **100mW**.
  - EMISIÓN DE LUZ DE NATURALEZA COHERENTE.
  - ALTA EFICIENCIA DE ACOPLAMIENTO DE UN 50% EN LA FIBRA MONOMODO.
  - PEQUEÑO ENSANCHAMIENTO ANGULAR DEL HAZ DE LUZ COMPARADO CON EL **LED**.

- PERMITE OPERAR CON ALTAS VELOCIDADES DE TRANSMISIÓN DE APROX. **10Gb/s**
- RELATIVA **BAJA DISPERSIÓN**. DEBIDO A LA PEQUEÑA ANCHURA ESPECTRAL DE LA LUZ IRRADIADA.
- SE PUEDE MODULAR DIRÉCTAMENTE A ALTAS FRECUENCIAS SOBRE LOS 25GHz. DEBIDO AL CORTO TIEMPO DE RECOMBINACIÓN ASOCIADA CON LA EMISIÓN ESTIMULADA.
- RENDIMIENTO SUPERIOR COMPARADO CON LOS **LED's**.

### CARACTERÍSTICAS DE SALIDA DEL LASER SEMICONDUCTOR

- LA GANANCIA ÓPTICA:**
  - LA EMISIÓN ESTIMULADA ES DOMINANTE SI SE SATISFACE LA CONDICIÓN DE INVERSIÓN DE LA VECINDAD DE LAS DENSIDADES ATÓMICAS.
    - SE LOGRA CON ALTO DOPAJE DE LAS CAPAS DE REVESTIMIENTO TIPO-P Y TIPO-N. EL NIVEL DE FERMI SUPERA LA ANCHURA DE LA BANDA PROHIBIDA. PARA UNA UNIÓN PN POLARIZADA DIRÉCTAMENTE.

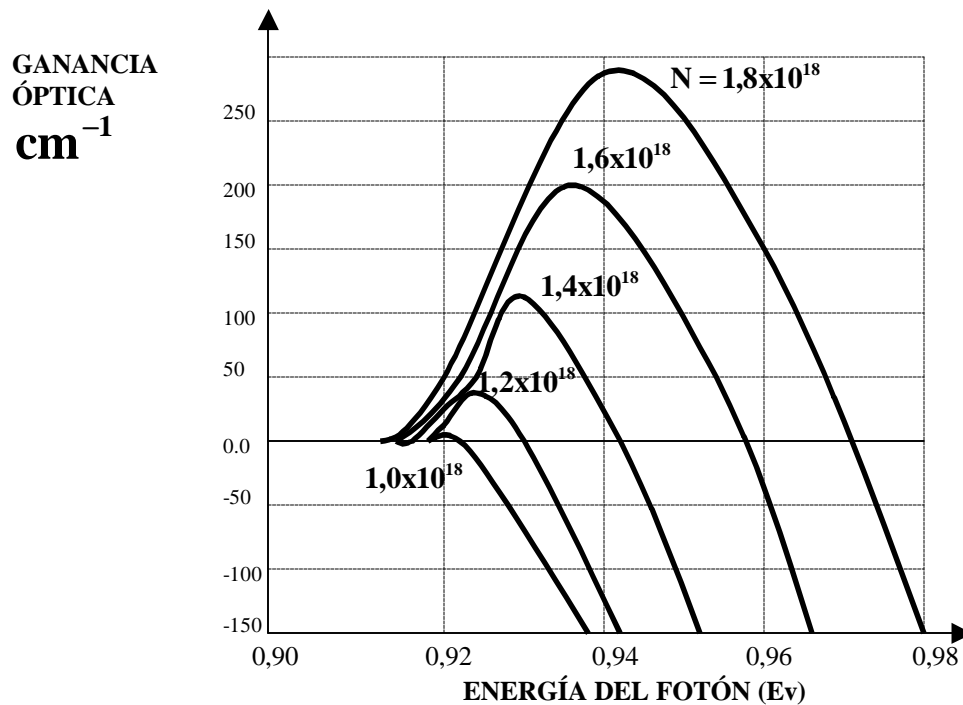
### GANANCIA ÓPTICA EN LA REGIÓN ACTIVA

- SE DEBE GENERAR INVERSIÓN DE LA VECINDAD DE DENSIDADES ATÓMICAS.

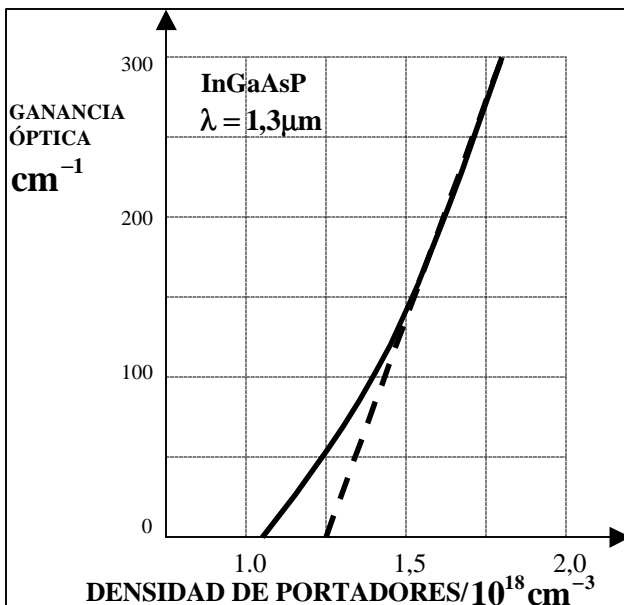
### PROPAGACIÓN DE UNA SEÑAL DENTRO DE LA CAPA ACTIVA

- LA SEÑAL DE ENTRADA SE AMPLIFICA EN:  $e^{gz}$
- g** ES EL COEFICIENTE DE GANANCIA. SE DETERMINA NUMÉRICAMENTE DE:  $g \propto R_{stim} - R_{abs}$

**FIGURA: LA GANANCIA CALCULADA PARA InGaAsP EN  $1,3\mu\text{m}$  COMO CAPA ACTIVA. CON DIFERENTES VALORES DE LA DENSIDAD DE PORTADORES INYECTADOS “N”.**



- AL INCREMENTARSE  $N$ ,  $g$  SE HACE POSITIVA SOBRE UN RANGO ESPECTRAL QUE SE INCREMENTA CON  $N$ .
- EL VALOR PICO DE LA GANANCIA  $g_p$  SE INCREMENTA CON  $N$ . ACOMPAÑADO DE UNA VARIACIÓN DE LA MÁXIMA ENERGÍA DEL FOTÓN.



**FIGURA: VARIACIÓN DE LA GANANCIA PICO  $g_p$  CON “N”.**  
 •LA LÍNEA PUNTEADA MUESTRA QUE  $g_p$  PUEDE CONSIDERARSE LINEAL AL VARIAR “N” EN LA REGIÓN DE ALTA GANANCIA.

•**LA GANANCIA ÓPTICA DE LOS SEMICONDUCTORES SE INCREMENTA RÁPIDAMENTE INMEDIÁTAMENTE DESPUÉS DE GENERARSE LA INVERSIÓN DE LA VECINDAD DE LAS DENSIDADES DE PORTADORES.**

•FABRICANDO LASERS SEMICONDUCTORES DE DIMENSIONES MENORES QUE 1mm SE LOGRA ALTAS GANANCIAS.

•**APROXIMACIÓN DE LA GANANCIA PICO:**

•LA DEPENDENCIA LINEAL CERCANA DE  $g_p$  EN FUNCIÓN DE “N” SE PUEDE APROXIMAR:  $g_p(N) = \sigma_g(N - N_T)$

• $N_T$ =VALOR DE TRANSPARENCIA DE LA DENSIDAD DE PORTADORES.

• $\sigma_g$ =GANANCIA DE ÁREA. GANANCIA DIFERENCIAL.

•**VALORES TÍPICOS PARA InGaAsP:**

$$N_T \approx 1,0 \text{ a } 1,5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}; \quad \sigma_g \approx 2 \text{ a } 3 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$$

•**EN LA REGIÓN DE ALTA GANANCIA DONDE  $g_p$  EXCEDE LOS  $100 \text{ cm}^{-1}$**

•ES VÁLIDA LA APROX.  $g_p(N) = \sigma_g(N - N_T)$

•LA MAYORÍA DE LOS LASERS SEMICONDUCTORES OPERAN EN ESTA REGIÓN.

•EL USO DE ESTA ECUACIÓN SIMPLIFICA LOS CÁLCULOS POR NO CONSIDERARSE LOS DETALLES DE LA ESTRUCTURA DE BANDAS

•LOS PARÁMETROS  $g_p$  Y  $N_T$  PUEDEN DETERMINARSE NUMÉRICAMENTE O MEDIRSE EXPERIMENTÁLMENTE.

•**LASERS SEMICONDUCTORES CON UN VALOR GRANDE DE  $\sigma_g$ ,**

•**TIENEN UN MAYOR RENDIMIENTO**

•SE PUEDE GENERAR LA MISMA GANANCIA

•CON UNA BAJA DENSIDAD DE PORTADORES

•O CON UNA BAJA INYECCIÓN DE CORRIENTE.

•**LASERS SEMICONDUCTORES DE POZOS CUÁNTICOS MEJORAN EL  $\sigma_g$  EN 100% COMPARADO CON LOS DISEÑOS STANDART**

**APROXIMACIÓN PARA LA GANANCIA PICO EN LASERS DE POZOS CUÁNTICOS:**

$$g_p = g^0 \text{ para } N = N^0; N^0 = eN_T$$

### RETROALIMENTACIÓN Y UMBRAL LASER

- NO SÓLO LA GANANCIA ÓPTICA ES SUFICIENTE PARA LA OPERACIÓN DEL LASER.
- LA RETROALIMENTACIÓN ÓPTICA ES OTRA CONDICIÓN NECESARIA PARA LA OPERACIÓN DEL LASER.
- CONVIERTE UN AMPLIFICADOR EN UN OSCILADOR.

### GENERACIÓN DE LA RETROALIMENTACIÓN LASER

- SE UBICA EL MEDIO GENERADOR DE LA GANANCIA DENTRO DE UNA CAVIDAD ÓPTICA FORMADA POR DOS ESPEJOS
- SE DENOMINA: CAVIDAD DE FABRY-PEROT.

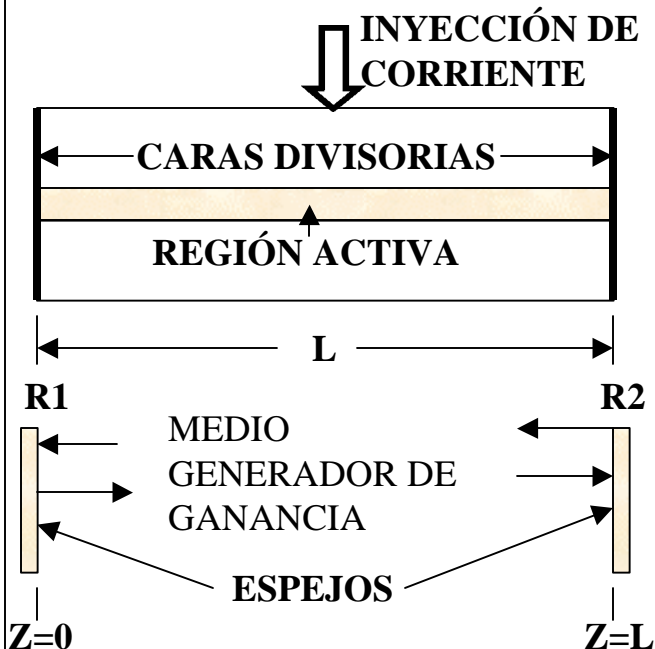
### LOS SEMICONDUCTORES LASERS

- NO REQUIEREN ESPEJOS EXTERNOS
- LAS DOS CARAS QUE DIVIDEN AL LASER ACTÚAN COMO ESPEJOS CON LA REFLECTIVIDAD:  $R_m = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$
- $n$ =ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL MEDIO GENERADOR DE GANANCIA.
- VALORES TÍPICOS:  $n=3,5$  RESULTANTE DE 30% DE REFLECTIVIDAD DE LA CARA.

### LA CAVIDAD DE FABRY-PEROT (FP)

FORMADA POR DOS CARAS QUE DIVIDEN AL LASER.

- LA GANANCIA ES SUFICIENTEMENTE ALTA
- PUEDE TOLERAR PÉRDIDAS ELEVADAS.



**FIGURA: ESTRUCTURA BÁSICA DE UN LASER SEMICONDUCTOR Y DE UNA CAVIDAD FABRY-PEROT.**

- LAS CARAS DIVISORIAS ACTÚAN COMO ESPEJOS REFLECTORES

### EL CONCEPTO DEL UMBRAL LASER

- UNA DETERMINADA CANTIDAD DE FOTONES GENERADOS POR EMISIÓN ESTIMULADA, **SE PIERDE**.
  - DEBIDO A LAS PÉRDIDAS EN LA CAVIDAD.
  - ESTA CANTIDAD DE FOTONES TIENE QUE SER REESTABLECIDOS EN FORMA CONTINUA.
- SI LA **GANANCIA ÓPTICA** NO ES LO SUFICIENTEMENTE GRANDE PARA COMPENSAR LAS **PÉRDIDAS DE LA CAVIDAD**, LA **VECINDAD DE FOTONES NO PUEDE FORMARSE**.
- DADO QUE UNA **CANTIDAD MÍNIMA DE GANANCIA** ES NECESARIA PARA LA OPERACIÓN LASER.
  - **ESTA CANTIDAD MÍNIMA SÓLO PUEDE GENERARSE:**
    - SI EL LASER ES BOMBEADO POR ENCIMA DE UN **NIVEL UMBRAL**.
    - LA CORRIENTE NECESARIA PARA LOGRAR EL NIVEL UMBRAL SE DENOMINA: **CORRIENTE UMBRAL**.

### DETERMINACIÓN DE LA CONDICIÓN UMBRAL.

- **MÉTODO SENCILLO:**
  - ESTUDIAR COMO CAMBIA LA **AMPLITUD DE UNA ONDA PLANA** DURANTE UNA PROPAGACIÓN DE IDA Y VUELTA.
  - CONSIDERANDO UNA ONDA PLANA CON:  **$E_0$** =AMPLITUD,  **$\omega$** =FRECUENCIA,  **$k=n \omega/c$** =NÚMERO DE ONDA.

### LA PROPAGACIÓN DE IDA Y VUELTA.

- LA AMPLITUD SE INCREMENTA EN:  **$e^{(g/2)2L}$** 
  - DEBIDO A LA GANANCIA DE POTENCIA “ **$g$** ”
- LA FASE CAMBIA EN  **$2kL$** .
  - **$L$**  ES LA LONGITUD DE LA CAVIDAD LASER.
- LA AMPLITUD CAMBIA EN:  **$\sqrt{R_1 R_2} e^{-\alpha_{int} L}$** 
  - **DEBIDO A:**
    - LA REFLEXIÓN EN LAS CARAS DEL LASER.
    - A LA PÉRDIDA INTERNA  **$\alpha_{int}$**  QUE CONSIDERA: PORTADORES LIBRES, ABSORCIÓN, DISPERSIÓN Y OTROS MECANISMOS DE PÉRDIDAS POSIBLES.
    - **$R_1$  Y  $R_2$**  SON LAS REFLECTIVIDADES DE CADA UNA DE LAS CARAS.
      - EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS:  **$R_1 = R_2$**
      - ESTAS DOS REFLECTIVIDADES PUEDEN SER DIFERENTES, SI CADA CARA DEL **LASER** RECIBE UN REVESTIMIENTO PARA CAMBIAR SU REFLECTIVIDAD NATURAL