

DETERMINACION DE LAS TEMPERATURAS EN UNA GUIA REENTRANTE DIRIGIDA A LA EXCITACION DE LASERES GASEOSOS POR MICROONDAS.

G.D. Santiago*, G.J. Fochesatto#, C.F. Mosquera, C.A. Raffo

Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
Paseo Colón 850 (1063), Capital Federal
CONICET
e-mail: willy@udceilap.edu.ar

Presentamos un cómputo de las temperaturas traslacionales y vibracionales, obtenidas en una descarga continua de microondas destinada a la excitación de un láser de CO₂. La descarga se efectúa en una guía reentrante. Por la resolución de la ecuación de Helmholtz utilizando un método de diferencias finitas se obtuvieron longitudes de onda de corte y distribuciones de campo eléctrico como funciones del perfil de densidad electrónica del plasma.

We present computed values of traslational and vibrational temperatures obtained in a CW microwave pumped CO₂ laser. Microwave discharge proceeds in a ridged waveguide. After solving Helmholtz's equation by a finite element method we obtained cut-off wavelengths and electric field distribution as a function of plasma density profile.

Introducción

El bombeo de láseres de CO₂ por medio de descargas de radiofrecuencia permite excitar grandes volúmenes de medio activo, con baja descomposición de la mezcla y facilidades al momento de diseñar un dispositivo sellado.

Recientemente el uso de descargas de microondas ha visto un notorio crecimiento por la posibilidad de construir un contenedor del medio láser enteramente metálico, y por el bajo costo de los magnetrones industriales.

En una presentación anterior mostramos el cálculo de la potencia de radiofrecuencias necesaria a transmitir por una guía tipo "ridge" de tal manera de alcanzar en la zona central el campo eléctrico mínimo que asegure la descarga.

En el presente trabajo extendemos el cálculo, obteniendo las longitudes de onda de corte y el campo eléctrico dentro de la guía en presencia de un plasma.

Asimismo, en base a los valores de campo y densidad electrónica calculamos la distribución de temperaturas traslacionales y vibracionales que determinan la ganancia de pequeña señal del láser

Modelo y cálculo.

Consideramos la ecuación escalar homogénea de Helmholtz ¹ correspondiente a un modo TE, con permitividad dieléctrica espacialmente variable:

$$\nabla \cdot [\epsilon_r^{-1}(x, y) \cdot \nabla H_z] + k_0^2 \cdot \mu_r H_z = 0 \quad (1)$$

con la condición de borde de derivada normal nula en el contorno.

En una guía tipo "ridge", el campo eléctrico del modo fundamental TE₁₀ presenta simetría par con respecto a los ejes A₁-A₂ y B₁-B₂ de la figura 1, por lo que es posible resolver el problema sobre la porción de área transversal que se muestra sombreada en dicha figura.

Con respecto a esta figura se prescriben condiciones de Neumann para H_z en el borde a excepción de la frontera A₁-O-B₁ sobre la cual se fuerzan condiciones de Dirichlet nulas, las que aseguran soluciones con la simetría deseada.

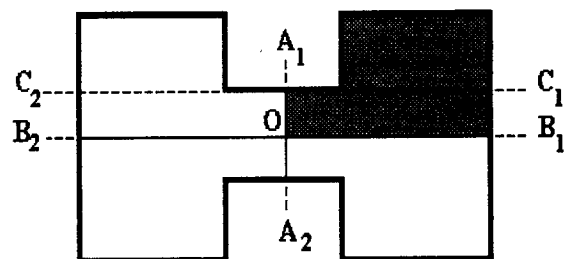


Figura 1. Sección transversal de la guía reentrante

Esto permite obtener también los modos de orden superior que presenten la misma simetría.

En el caso de un plasma, la permitividad del medio es:

$$\epsilon_r = 1 - \frac{n(x, y)q^2}{\epsilon_0 m (\nu^2 + \omega^2)} - \frac{j n(x, y)q^2 \nu}{\omega \epsilon_0 m (\nu^2 + \omega^2)} \quad (2)$$

donde $n(x, y)$ es la densidad electrónica del plasma, ν la frecuencia colisional de los electrones (función del campo

aplicado) y ω la frecuencia de excitación (en este caso 2.45 GHz).

Para descargas similares ² se ha medido $N \sim (0.3-3) 10^{15} \text{ m}^{-3}$ y $\nu \sim (10-50) \text{ GHz}$. para valores de $E/N \sim (0.5-2) 10^{-19} \text{ Vm}^2$ lo que determina una permitividad promedio de: $\epsilon_r = 0.97 - j 0.12$. Como se puede apreciar de la ec. (2), la parte imaginaria de la permitividad (asociada con la atenuación) depende más fuertemente con la densidad electrónica que la parte real de la misma, la cual determina las longitudes de onda de corte.

A partir de los valores de H_z obtenidos de (1), el campo eléctrico transversal se calcula como:

$$E_x = -\frac{j\omega\mu}{k_0^2} \frac{\partial H_z}{\partial x} \quad E_y = \frac{j\omega\mu}{k_0^2} \frac{\partial H_z}{\partial y} \quad (3)$$

En principio se calcularon los campos para una guía vacía de 10 cm de ancho, 4 cm de alto y 1 cm de "gap", fijando la condición que en el centro se obtuviera un valor de E/N igual al reportado por Ikeda ² y con estos se estimó una distribución electrónica de acuerdo con Parazzoli ³, la que fue utilizada en una corrección, recalculando iterativamente los campos.

Para el caso del modo TE_{10} se obtuvo $k_0^2 = 0.7577 + j 0.005$, normalizado al ancho de la guía con una densidad electrónica de $3 \times 10^{15} \text{ m}^{-3}$ en el centro del diagrama.

Una vez obtenidos los campos, se puede calcular la potencia de radiofrecuencia a transmitir por la guía como función de la frecuencia de excitación f y la frecuencia de corte f_c según:

$$W_t = \frac{\eta(f/f_c)^2 \sqrt{1-(f_c/f)^2}}{2} \int_S H_z^2 dS \quad (4)$$

La potencia de RF a entregar para conseguir el valor de E/N anteriormente mencionado es aproximadamente de 500 W

La figura 2 muestra la componente vertical del campo eléctrico de dicho modo a lo largo de las líneas B_1-B_2 y C_1-C_2 (sólo la mitad derecha por razones de simetría), en esta figura se observa una distribución de campo cuasi uniforme en la región central, lo que asegura un bombeo uniforme.

En base a la distribución de campo eléctrico y la conductividad térmica del medio se calculó el perfil de temperaturas traslacionales. La curva (a) de la figura 3 muestra dicho perfil a lo largo del eje vertical que pasa por el centro de la guía.

La sobre elevación en el centro es reducida ($\sim 140 \text{ K}$), lo que asegura una baja población térmica del nivel laser inferior y por ende mejor ganancia de pequeña señal. El reducido "gap" central de esta guía permite extraer fácilmente el calor de la descarga sin necesidad de recurrir al flujo forzado del medio ⁴

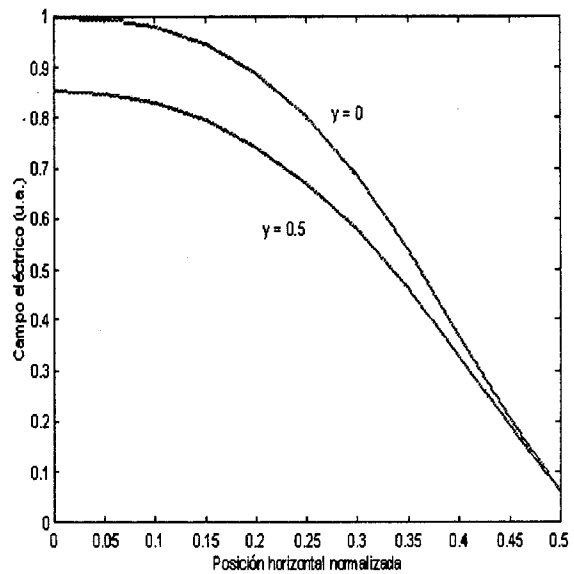


Figura 2. Distribución de campo eléctrico modo TE_{10} a lo ancho de la guía para dos coordenadas verticales

A partir de la distribución de electrones se calculó el bombeo a los niveles laser 1 y 2 (inferior y superior) como $P_{1,2} = C_{1,2} N$, donde el ritmo de excitación C es el producto de la sección eficaz de colisión electrón-molécula por la velocidad de los electrones.

Con estos valores se puede inferir las temperaturas vibracionales de cada nivel de acuerdo con el modelo de las cinco temperaturas ⁵.

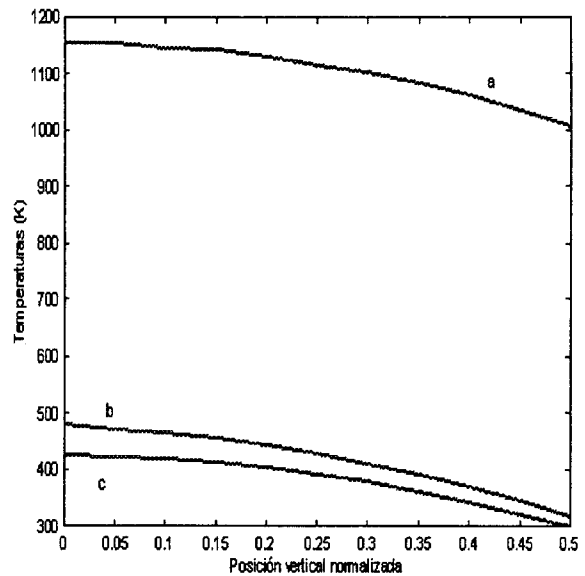


Figura 3. Temperaturas sobre el eje $A1-A2$: a) nivel laser superior, b) nivel laser inferior, c) traslacional

Las curvas (b) y (c) de la figura 3 muestran dichas temperaturas a lo largo de la sección central. Se puede apreciar que gracias a la baja suba de la temperatura traslacional, la temperatura vibracional del nivel láser inferior se mantiene reducida evitando la degradación de la ganancia de pequeña señal. También se puede apreciar que T_1 sigue aproximadamente a la temperatura traslacional T , mientras que T_2 , dominada por el bombeo sigue a la concentración de electrones. Asimismo puede notarse que por el escaso cambio de las temperaturas vibracionales en la zona central la ganancia de pequeña señal es más constante, lo que permite diseñar un sistema con amplificación óptica multipaso.

En la faz experimental se construyó un prototipo de esta guía destinada a proveer bombeo a un láser de CO_2 , excitado por la descarga generada con un magnetrón continuo HITACHI 2M107 de frecuencia 2.45 GHz.

La guía construida mide 10 cm de ancho por 4 cm de altura, con un "gap" de 1 cm y un largo de 50 cm,

habiéndose dispuesto la entrada de RF en la zona media del sector reentrante por medio de una sonda de tensión.

La misma está terminada en los extremos con placas de grafito con forma de cuña, de tal forma de poder absorber la potencia residual no absorbida por el gas.

Con el fin de extraer el calor generado en la descarga se soldó sobre dos de los lados a lo largo de la guía una serpentina por la que se hace circular agua.

En mezclas de $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$ en proporción 1:1:8 a presiones de 20 Torr se obtuvieron descargas uniformes que llenan totalmente la sección central en una extensión de 30 cm.

Referencias

- 1) B. Lichtenberg y N. Gallagher, *Opt. Eng.*, **33**, 3518-3526
- 2) T. Ikeda y M. Danno, *JQE*, **31**, 1525-1536, 1995.
- 3) C. Parazzoli y K. Chien, *JQE*, **22**, 479-488, 1986.
- 4) T. Ikeda *et al.*, *JQE*, **30**, 2657-2662, 1994.
- 5) Smith and Thomson, "Computer modeling of gas lasers" Plenum, 1978.