Rev. Cub. Fís. vol. 27 No. 2B (2010) p.238-243
ISSN: 0253-9268. Artículo original.

Revista Cubana de Física
Calle I No. 302 e/ 15 y 17
Vedado, La Habana. CP 10400
www.fisica.uh.cu/biblioteca/revcubfi/index.htm

Determinación de la resistencia térmica de láseres semiconductores a partir de parámetros medidos en régimen de pulsos

R. Pernas[†], A. Abelenda[a] y M. Sánchez[b]

Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Cuba. rpernas@cphr.edu.cu
a) Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de La Habana, Zapata y G, Vedado, Ciudad de La Habana 10400
b) Facultad de Física, Universidad de La Habana. San Lázaro y L, Vedado 10400, La Habana, Cuba
†autor para la correspondencia

Recibido el 25/05/10. Aprobado en versión final el 01/11/10.

Sumario. Se obtuvo la resistencia térmica *(Rt)* y la temperatura máxima de operación de láseres de diferentes materiales semiconductores a partir de parámetros medidos en régimen de pulsos. Se utilizó un método desarrollado en nuestro laboratorio al que se adicionan, el análisis de las incertidumbres y un criterio para decidir el valor de *Rt* a reportar. Se encontró una buena correspondencia entre los valores obtenidos y los reportados por otros métodos. Los resultados obtenidos en láseres de GaInNAs, constituyen los primeros reportes de *Rt* en este material. Aunque la temperatura característica de estos dispositivos es mayor que las de los de GaInAsP, los valores de *Rt* son similares indicando que aún se requieren mejoras para que los láseres en base a nitruros muestren todas sus potencialidades.

Abstract. We obtain the thermal resistance *(Rt)* and the maximum operating temperature of different semiconductor lasers using parameters measured in pulsed regime. A method previously developed in our laboratory was used to which are added, the uncertainty budget and a criterion to decide the *Rt* value to be reported. The results obtained in this way were found in good agreement with reported values obtained by other methods. Results for GaInNAs lasers are the first reported values of the thermal resistance in this material. Although the characteristic temperature in these devices is higher that those of GaInAsP, the thermal resistance is similar indicating that further improvements are still required to appreciate the full potential of dilute nitride devices.

Palabras clave. Diode lasers 42.55.Px, Semiconductor device, characterization, design and modelling 85.30.De, Thermal resistance.

1 Introducción

La resistencia térmica es uno de los parámetros característicos más importantes de un láser semiconductor, pues la temperatura máxima de operación (T_{max}) a que pueden operar los dispositivos y el tiempo de vida útil de los mismos están fuertemente relacionados con este parámetro. Existen varios métodos para medir la resistencia térmica de un láser semiconductor[1]. Todos se basan en determinar el incremento de temperatura en la zona activa a partir de la variación de ciertos parámetros sensibles a los cambios de temperatura que ocurren en esa región, cuando son medidos en régimen continuo (CW) con respecto a los valores obtenidos en régimen de pulsos. Entre estos parámetros se encuentran: la longitud de onda de emisión, la corriente umbral, el voltaje y la potencia óptica emitida.

En este trabajo se obtuvo la resistencia térmica (Rt) de láseres de diferentes materiales semiconductores a partir de parámetros medidos en régimen de pulsos. Se utilizó el método reportado en [2] al que se adiciona en este trabajo, el análisis de las incertidumbres y un criterio para decidir el valor de Rt a reportar.

La principal ventaja de este método radica en que sólo se necesita conocer la característica I-V del dispositivo, y la variación de su corriente umbral con la temperatura en régimen de pulsos. Al no requerir de mediciones en régimen continuo (CW), se puede determinar la resistencia térmica sin necesidad de encapsular los dispositivos lo que es especialmente útil en pruebas a nivel de laboratorio. El método permite también predecir, la temperatura y corriente umbral máxima a las que el dispositivo podría operar en régimen continuo. El método se aplicó a dispositivos de diferentes materiales y los resultados concuerdan muy bien con los valores reportados en la literatura.

El artículo está organizado de la siguiente forma: En la sección 2 se define la Resistencia térmica y la expresión general para su cálculo. En la sección 3 se explica el método utilizado para su determinación y en la sección 4 realizamos un análisis de las incertidumbres y se propone el criterio para decidir el valor de Rt a reportar. En la sección 5 se presentan y discuten los resultados obtenidos.

2 Resistencia térmica

La resistencia térmica Rt se define como el cociente entre el incremento de temperatura ΔT que experimenta la zona activa del láser (con respecto a la temperatura ambiente) y la potencia total disipada P_d. En la práctica es deseable que los dispositivos tengan el menor valor de Rt posible. La potencia total disipada incluye las pérdidas por efecto Joule y una fracción de la radiación que se emite en forma de luz[3] y se define como $P_d = P_a - P_{out}$, donde P_a es la potencia aplicada y P_{out} es la potencia luminosa emitida.

$$Rt = \frac{\Delta T}{P_d} \tag{1}$$

En el umbral $P_a = I_{th}V_{th}$ y $P_{out} = 0$, donde I_{th} y V_{th} son la corriente y el voltaje umbral en régimen continuo (CW). Como la medición de la resistencia térmica se realiza cerca del umbral, la expresión (1) se puede reescribir de la siguiente forma:

$$Rt = \frac{\Delta T}{I_{th}V_{th}} = \frac{\Delta T}{I_{th}(V_o + Rs \cdot I_{th})} \tag{2}$$

donde Rs y V_o son la resistencia serie y el voltaje de codo respectivamente. Los valores de V_o y Rs prácticamente no dependen del régimen trabajo en que se encuentre el dispositivo, continuo o pulsos. El cálculo de Rt se reduce entonces a medir o calcular ΔT de alguna manera.

3 Descripción del método utilizado

En [2] propusimos un método para determinar la resistencia térmica que se resume a continuación. Es conocido que la corriente umbral de un láser semiconductor varía con la temperatura T_h del disipador según la relación de Pankove[3]:

$$Ip(T_h) = I_o \exp\left(\frac{T_h}{T_o}\right) \tag{3}$$

donde I_o es la corriente umbral a T_h= 0K y T_o es la temperatura característica, parámetro que representa la sensibilidad térmica de la corriente umbral.

Si se conoce la curva de corriente umbral en régimen de pulsos (Ip vs. T_h), entonces para una temperatura T_h dada podemos expresar la corriente umbral en régimen continúo Ic, como sigue:

$$Ic(T_h) = Ip(T_h + \Delta T) \tag{4}$$

En esta expresión ΔT es precisamente el incremento de temperatura que experimenta la zona activa del dispositivo con respecto a la temperatura del disipador. Nótese que ΔT también puede definirse como el incremento de temperatura que debe experimentar el disipador para que la corriente umbral en régimen de pulsos a una temperatura dada $Ip(T_h)$ alcance el valor que tendría la corriente umbral en continua a esa misma temperatura $Ic(T_h)$. Despejando ΔT se obtiene que:

$$\Delta T = T_o \ln\left(\frac{Ic(T_h)}{I_o}\right) - T_h \tag{5}$$

Entonces la expresión para Rt puede ser rescrita como sigue:

$$Rt = \frac{T_o \ln\left(\frac{Ic}{I_o}\right) - T_h}{Ic(V_o + Rs \cdot Ic)} \tag{6}$$

Esta expresión permite el cálculo de la resistencia térmica si se conoce el valor de la corriente Ic en régimen continuo a la temperatura T_h. Los parámetros T_o e I_o se obtienen de la característica, corriente umbral en función de la temperatura en régimen de pulsos, mientras que V_o y Rs se determinan de la curva I-V del dispositivo.

Analizando la dependencia de Rt vs. Ic dada por (6) se puede comprobar que Rt aumenta con Ic alcanzando un máximo para cierto valor Ic = Ix si el resto de los parámetros se mantienen constantes, este valor se puede obtener resolviendo la siguiente ecuación trascendente:

$$Ix = I_o \exp\left(\frac{T_h}{T_o}\right) \exp\left(\frac{V_o + Rs \cdot Ix}{V_o + 2Rs \cdot Ix}\right) \tag{7}$$

El valor de corriente umbral Ix solución de (7) es el que provoca el mayor calentamiento ΔT del láser a la temperatura T_h en régimen continuo, es decir, hace máxima la resistencia térmica del dispositivo a esa temperatura. Utilizando (7) y (6) se obtuvo una expresión para el máximo valor Rt^m de la resistencia térmica a la temperatura T_h:

$$Rt^m\left(T_h\right) = \frac{T_o}{Ix(V_o + 2Rs \cdot Ix)} \qquad (8)$$

donde Ix es la solución de (7) a la temperatura T_h. En el análisis de la dependencia Rt^m vs. T_h realizado anteriormente[2] se encontró que esta cumple la siguiente relación cuadrática que disminuye con el aumento de la temperatura tendiendo a un mínimo.

$$Rt^m\left(T_h\right) = C + BT_h + AT_h^2 \qquad (B < 0) \qquad (9)$$

donde A, B y C son los parámetros de ajuste de esta curva.

Es conocido[4] que la resistencia térmica Rt se relaciona con el valor de la corriente umbral máxima en régimen continuo Ic_{max}, mediante la expresión:

$$Rt = \frac{T_o}{Ic_{max}(V_o + 2Rs \cdot Ic_{max})} \qquad (10)$$

que puede ser obtenida igualando a cero la derivada parcial $\delta T_h/\delta Ic$[4]. Partiendo de la analogía entre (10) y (8) podemos asumir que la resistencia térmica del dispositivo Rt, será igual a un valor $Rt^m(T_h)$ equivalente al mínimo de la curva de ajuste (9) dado que en dicho punto la corriente continua Ix alcanza su máximo valor.

La razón por la cual no tomamos el mínimo (r) de la curva de ajuste (9) como el valor de la resistencia térmica del dispositivo es que (r) es un valor teórico que corresponde al punto de la curva de ajuste donde $\delta Rt^m/\delta T_h = 0$ y esta condición, de acuerdo con (8), sólo se cumple cuando la corriente umbral en régimen continuo se hace infinita.

Como cada valor $Rt^m(T_h)$ dado por (8) tiene asociado cierta incertidumbre dado por la contribución de: Rs, V_o, T_o, I_o e Ix, si llamamos ΔRt^m a la incertidumbre de los valores $Rt^m(T_h)$ y Δr a la incertidumbre del valor mínimo (r) de la curva dada por (9), resultado del ajuste, podremos decir que un valor $Rt^m(T_h)$ es equivalente a (r), si se cumple la condición:

$$\frac{Rt^m\left(T_h\right) - r}{\sqrt{\left(\Delta Rt^m\right)^2 + (\Delta r)^2}} \leq 1 \qquad (11)$$

A partir de esta expresión, asumimos que el valor de resistencia térmica a reportar por este método, es igual al mayor valor $Rt^m(T_h)$ que cumple la condición (11). En consecuencia, la temperatura máxima de operación T_{max}, será la temperatura T_h, a la cual se obtiene el mencionado valor $Rt^m(T_h)$.

El cálculo de la incertidumbre ΔRt^m y la condición (11), utilizada para determinar Rt, constituyen mejoras al método propuesto en [2].

En resumen, los pasos para determinar Rt por este método son los siguientes:

Paso 1. Determinar los valores de los parámetros Rs, V_o, T_o, I_o en régimen de pulsos.

Paso 2. Precisar el rango de temperaturas en el que serán calculados los valores $Rt^m(T_h)$. Dicho rango puede definirse como $[T_{hi}; T_{max}]$ donde T_{hi} debe ser el valor de temperatura para el cual la corriente Ix dada por (7) es igual al menor valor de corriente umbral de pulsos que fue medido y utilizado para calcular T_o. Esta es la condición que asegurará que las corrientes Ix, soluciones de (7), cumplan la relación (4).

Paso 3. Con ayuda de (7) y (8) se calcula $Rt^m(T_h)$ en intervalos de temperatura tan pequeños como sea posible (ejemplo 1K) y se irá graficando y ajustando la relación $Rt^m(T_h)$ vs. T_h. A medida que se calculan nuevos valores $Rt^m(T_h)$, estos se comparan con el mínimo (r) de la curva de ajuste (9) utilizando la expresión (11). De (9) es fácil ver que los valores de (r) vendrán dados por la expresión:

$$r = C - \frac{B^2}{4A} \qquad (12)$$

En la siguiente sección mostramos las expresiones para el cálculo de las incertidumbres ΔRt^m y Δr. Como ya mencionamos, Rt será igual al mayor valor $Rt^m(T_h)$ que cumple la condición (11) de modo que el valor a reportar será:

$$Rt = Rt^m_{\left(T_h = T_{max}\right)} \pm \Delta Rt^m \qquad (13)$$

4 Análisis de las incertidumbres

Para calcular el valor de ΔRt^m y Δr partimos de la expresión general para el cálculo de la incertidumbre estándar combinada[5,6]:

$$\left(\Delta y\right)^2 = \sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\delta f}{\delta x_i}\right)\left(\Delta x_i\right)^2 + \\ + 2\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N}\frac{\delta f}{\delta x_i}\frac{\delta f}{\delta x_j}\left(\Delta x_i, x_j\right) \qquad (14)$$

donde la función $y = f(x_1,\ldots,x_N)$ depende de N variables. En dicha expresión, Δx_i representa la incertidumbre de la variable x_i y $\Delta x_i,x_j$ la covarianza estimada asociada a las variables x_i y x_j[6]. El segundo término del miembro derecho de esta expresión, sería nulo si todas las variables fueran independientes, es decir si no existiera correlación entre ellas.

Debido a que los valores de Rs y V_o se obtienen de la característica I-V determinando la recta que mejor ajusta el tramo lineal de esta curva, si suponemos que la recta tiene la forma $I = \alpha + \beta V$ (α y β) son los parámetros de dicha recta) entonces $Rs = 1/\beta$ y $V_o = -\alpha/\beta$. En correspondencia con estas definiciones, representamos por $\Delta\alpha$ y $\Delta\beta$ las incertidumbres de estos parámetros y por $\Delta_{\alpha\beta}$ la covarianza estimada, asociada a los mismos.

De forma análoga, la temperatura característica T_o y la corriente I_o se obtienen de la recta que mejor ajusta a la relación $\ln(I_{th})$ vs. T_h en régimen de pulsos. Si expresamos dicha recta en la forma $\ln(I_{th}) = \gamma + \xi\, T_h$, entonces $T_o = 1/\xi$ e $I_o = \exp(\gamma)$. En correspondencia con estas definiciones, representamos por $\Delta\gamma$ y $\Delta\xi$ las incertidumbres de estos parámetros y por $\Delta_{\gamma\xi}$ la covarianza estimada asociada a los mismos.

Para calcular ΔRt^m expresamos $Rt^m(T_h)$ dado en (8) en función de los parámetros α, β, ξ y de I_x:

$$Rt^m = \frac{\beta}{\xi I_x\left[2I_x - \alpha\right]} \qquad (15)$$

Aplicando (14) a la expresión (15) obtuvimos que:

$$\frac{\Delta Rt^m}{Rt^m} = \sqrt{\left(\frac{\Delta\xi}{\xi}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\alpha}{Z}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\beta}{\beta}\right)^2 + (Q)^2 + H} \qquad (16)$$

$$Q = \frac{\Delta I_x\left(4I_x - \alpha\right)}{I_x \cdot Z};\ H = \frac{2\Delta_{\alpha\beta}}{\beta \cdot Z};\ Z = 2I_x - \alpha$$

Por su parte, la incertidumbre ΔI_x de las corrientes I_x calculadas mediante (7) la expresamos en función de γ, α, ξ y sus respectivas incertidumbres, quedando:

$$\Delta I_x = \sqrt{\frac{(Z)^4 M + \left(I_x \Delta\alpha\right)^2}{(Z)^4 \exp\left[-2\left(\gamma + \xi T_h + \frac{I_x - \alpha}{Z}\right)\right] - \alpha^2}} \qquad (17)$$

Donde

$$M = \left[(\Delta\gamma)^2 + \left(\xi\Delta T_h\right)^2 + \left(T_h\Delta\xi\right)^2 + 2T_h\Delta_{\gamma\xi}\right];$$

y ΔT_h representa la incertidumbre de la temperatura.

Hasta aquí podemos calcular la incertidumbre ΔRt^m de cada valor $Rt^m(T_h)$ con ayuda del conjunto de expresiones agrupadas en (16) y (17). Ahora bien, la condición (11) requiere que se conozca, además, la incertidumbre del mínimo (r) (12). Aplicando una vez más (14) obtuvimos:

$$\Delta r = \sqrt{(\Delta C)^2 + \left(T_r \cdot \Delta B\right)^2 + \left(T_r^2 \cdot \Delta A\right)^2 - 2T_r \cdot D}$$

Donde

$$D = \left[\Delta_{BC} - (T_r \cdot \Delta_{AC}) + \left(T_r^2 \cdot \Delta_{AB}\right)\right];\ T_r = -\frac{B}{2A} \qquad (18)$$

donde ΔA, ΔB y ΔC son las incertidumbres correspondientes a los parámetros A, B y C de la curva dada por la expresión (9). Por su parte Δ_{AB}, Δ_{BC} y Δ_{AC} son las covarianzas estimadas de los parámetros que se indican.

Las incertidumbres y las covarianzas de los parámetros que definen las curvas de ajuste, fueron calculadas según [6]. Como incertidumbre para las temperaturas asumimos el valor de 0.1 K.

5 Resultados y discusión

Aplicando el método expuesto anteriormente se determinaron, la resistencia térmica y la temperatura máxima de operación de varios dispositivos de diferentes materiales: GaInAsP, GaInAsN, AlGaInAs, GaInNAs(Sb)y CdZnSe, para los que estaban disponibles en la literatura los valores de: Rs, V_o, T_o e I_o (o las curvas I-V e I_{th} vs T_h en régimen de pulsos).

En las tablas de la I a la V se resumen los resultados obtenidos. Como puede apreciarse en todos los casos en que la comparación fue posible hay una buena concordancia con los valores reportados.

La Tabla I muestra los resultados para láseres de GaInAsP que emiten en la longitud de onda de 1,3 μm y son los que se utilizan actualmente para la transmisión de información en los sistemas de comunicación por fibra óptica. Como se puede observar estos dispositivos presentan muy bajos valores de T_0 (por debajo de 100 K) por lo que poseen una baja estabilidad térmica lo que los obliga a ser utilizados acoplados a unidades de enfriamiento que encarecen estos sistemas.

Tabla I

Resultados del método: Rt, T_{max} e I_{max} para láseres de GaInAsP reportados en la literatura.

Dispositivo (L x w)	V_o (V)	Rs (Ω)	T_o (K)	Rt (K/W) T_{max} (K) I_{max} (mA)	Rt (K/W) T_{max} (K) Reportado
GaInAsP[a] 269 x 57μm^2	1.2	2.4	45	46 ± 4 313 346	- -
GaInAsP[b] 250 x 15μm^2	0.95	1.5	50	27 ± 1 364 655	30 356
GaInAsP[c] 300 x 4μm^2	0.75	10	60	270 ± 37 320 88	- 325

[a)] [7]; [b)] [8]; [c)] [9]

Tabla II

Resultados del método: Rt, T_{max} e I_{max} para diferentes láseres de GaInNAs reportados en la literatura.

Dispositivo (L x w)	V_o (V)	Rs (Ω)	T_o (K)	Rt (K/W) T_{max} (K) I_{max} (mA)
GaInAsN[a] 350 x 4μm^2	2.5	10	78	221 ± 5 336 79
GaInAsN[b] 350 x 4μm^2	2.0	10	62	227 ± 5 331 77
GaInAsN[c] 1200 x100μm^2	0.4	1.7	108	67 ± 9 302 631
GaInAsN[d] 1000 x100μm^2	1.3	1.4	94	19.8 ± 0.8 324 1092

[a] [10]; [b] [11]; [c][12]; [d][13]

En la tabla II se presentan los resultados en dispositivos de GaInAsN que emiten en 1,3 μm. Este es un material prometedor como alternativa al GaInAsP pero estos dispositivos aún no están disponibles a nivel comercial.

Para realizar comparaciones es preciso tener en cuenta que la resistencia térmica es inversamente proporcional al largo del diodo *L* y al ancho del contacto de franja *w* de modo que deben esperarse menores valores de Rt en los dispositivos con mayores valores de estos parámetros. Un aspecto sobresale cuando comparamos las dimensiones de los dispositivos de las tablas I y II que presentan valores de Rt < 80 K/W. Como puede observarse, los láseres del grupo GaInAsN, que tienen valores de *L* y *w* notablemente mayores que los del grupo GaInAsP presentan mayores valores de T_o sin embargo los valores de Rt no son sustancialmente menores que los de los dispositivos de GaInAsP. Estos resultados indican que los dispositivos en base a GaInAsN aun requieren de mejoras para mostrar todas sus potencialidades.

Un resultado interesante de las tablas I y II es que contrario a lo que cabría esperar, los dispositivos con valores de resistencia térmica relativamente grandes (>200 K/W) no necesariamente tienen los menores valores de temperatura máxima en sus respectivos grupos. Creemos que esto se debe a que la corriente umbral en pulsos de estos láseres a temperatura ambiente, es mucho más pequeña (~30 mA) que en el resto de los dispositivos del grupo (~350 mA) y es conocido que la T_{max} a la que puede operar un diodo láser se incrementa en la medida en que disminuye la corriente umbral en régimen de pulsos a temperatura ambiente[4,9]. En el caso del láser de cascada cuántica que se muestra en la Tabla III esta corriente resultó ser 1.17 A y como puede observarse este dispositivo ni siquiera operó a temperatura ambiente a pesar de que tener una resistencia térmica muy baja.

En la tabla IV se muestran los resultados para un diodo láser en base al quinario GaInNAs(Sb) reportado en [15]. En este caso los autores reportaban el valor de Rt del dispositivo sin indicar los valores de Rs y V_o. Para aplicar nuestro método asumimos valores típicos reportados para dispositivos similares por lo que nuestros resultados en este caso son solo aproximados, sin embargo como se observa el valor de Rt oque obtuvimos concuerda bastante bien con el reportado.

Es importante aclarar que habitualmente en las curvas de I_{th} vs. T aparecen puntos de cambio de pendiente que dividen en varias regiones los puntos experimentales. La existencia de estos puntos conocidos como “kinks” implica que un dispositivo tenga distintos valores de T_o en diferentes rangos de temperatura. Habitualmente esto se obvia y se reporta un valor de T_o promedio o se reporta el valor de T_o especificando el rango de temperaturas en el que se obtuvo.

La tabla V muestra los resultados para dos dispositivos que presentan kinks en sus curvas I_{th} vs. T en régimen de pulsos. Como se observa, los valores de Rt y T_{max} coinciden con los reportados sólo en el caso en que se utilice el menor (peor) valor T_o de la curva. Como es sabido, un bajo valor de T_o implica un empeoramiento del funcionamiento del dispositivo, esto indica que para aplicar el método en estos casos debe tomarse el menor valor de T_o.

Un resultado general obtenido es que para la mayoría de los dispositivos analizados, la incertidumbre de Rt es menor o igual a 4%. Para el resto obtuvimos valores entre 7% y 14% y pensamos se debe a que, en estos casos, los parámetros Rs, V_o, T_o e I_o fueron determinados a partir de curvas I-V e I_{th} vs T_h reportadas, de modo que adicionamos otras fuentes de incertidumbre en su determinación. Es por ello que creemos que de forma general el método expuesto puede ofrecer valores de Rt en un intervalo de ± 4% si el cálculo de dichos parámetros parte de mediciones directas de I, V, I_{th} y T_h. Es poco frecuente que se reporte la incertidumbre de Rt. Solo encontramos dos trabajos donde la Rt se determinó a partir de dos de los métodos experimentales más utilizados, y reportan incertidumbres de ± 5% [17] y ± 30% [18]. A partir de estos resultados podemos concluir que la incertidumbre que obtuvimos por nuestro método está dentro de las obtenidas con otros ya establecidos.

Tabla III

Resultados del método: Rt, T_{max} e I_{max} para un láser de Cascada Cuántica de AlGaInAs

Dispositivo (L x w)	V_o (V)	Rs (Ω)	T_o (K)	Rt (K/W) T_{max} (K) I_{max} (mA)	Rt (K/W) T_{max} (K) Reportado
AlGaInAs[a] 2000 x12μm^2	6.8	1	136	9.4 ± 0.7 217 1479	10 210

[a] [14]

Tabla IV

Resultados del método: Rt, T_{max} e I_{max} para un láser de antimonio GaInNAs(Sb) reportado en la literatura.

Dispositivo (L x w)	Rs (Ω)	V_o (V)	T_o (K)	Rt (K/W) T_{max} (K) I_{max} (mA)	Rt (K/W) Reportado
GaInNAs(Sb)[a] 983 x 10 μm^2	1*	2*	91.9	37 ± 1 380 721	37.8 -

[a][15]. *Estos valores fueron asumidos pues no estaban reportados para el dispositivo analizado.

Tabla V

Resultados del método: Rt, T_{max} para el valor de T_o * Por debajo del kink, ** Por encima del kink, *** Sin considerar el kink.

Dispositivos (L x w)	T_o (K) Rt (K/W) T_{max} (K)				Rt (K/W) T_{max} (K) Reportado
GaInAsP[a] 250 x 15μm^2	To: Rt: T_{max}:	69* 100 ± 5 325	60*** 85 ± 4 324	50** 27 ± 1 364	30 356
CdZnSe[b] 630 x 10 μm^2	To: Rt: T_{max}:	168* 136 ±10 351	139*** 110 ± 7 343	89** 48.1 ± 0.3 356	50 --

[a][8]; [b][16]

6 Conclusiones

En este trabajo presentamos los resultados del cálculo de la resistencia térmica a partir de parámetros medidos en régimen de pulsos. Para los dispositivos analizados determinamos, además, la temperatura máxima de operación T_{max} y la máxima corriente umbral I_{max} que podría soportar en régimen continuo. Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados en la literatura incluso en dispositivos que presentan un kink en su curva de corriente umbral vs. Temperatura, en cuyo caso el método debe aplicarse utilizando el peor (menor) valor de T_o.

El método entrega valores de resistencia térmica en un intervalo Rt ± 4% si los parámetros que se utilizan son determinados a partir de mediciones directas de I, V, I_{th} y T_h. Aunque es difícil encontrar en la literatura reportes de la incertidumbre de la Rt para hacer comparaciones podemos decir que las que arroja el método son aceptables si tenemos en cuenta que como resultado de la aplicación de dos de los métodos experimentales más comunes, se reportaron intervalos de ± 5% y ± 30%.

Comprobamos que si bien altos valores de resistencia térmica (> 200 K/W) provocan bajos valores de corriente I_{max} no ocurre necesariamente así con la T_{max} cuyos valores también dependen fuertemente del valor de la corriente umbral que circula por el dispositivo a temperatura ambiente.

Se reporta la resistencia térmica para diodos láser en base al cuaternario GaInAsN para los que aún no existen reportes experimentales en la literatura por lo que estos resultados constituyen los primeros reportes de este parámetro en este material. Los resultados muestran que aunque estos dispositivos tienen mayores valores de temperatura característica que los de GaInAsP los valores de Rt no son sustancialmente menores lo que indica que estos dispositivos aun no muestran todas sus potencialidades.

Referencias

1. J. S. Maning, “Thermal impedance of diode lasers: Comparison of experimental methods and a theoretical model”, J. Appl. Phys., Vol.52, No. 5, 3179-3184, (1981).

2. Pernas, R.; Sánchez, M.; Pena-Sierra, R.; Escobosa, A. “A new method to determine the thermal resistance in semiconductor lasers”. Devices, Circuits and Systems, 2002. Proceedings of the Fourth IEEE International Caracas Conference on, 2002 Page(s): 261 -266.

3. J. I. Pankove, “Optical processes in semiconductors”. Dover Publications Inc., New York (1971).

4. H. C. Hsieh, “Maximum Heat-sink Temperature for CW Operation of a Double Heterostructure Semiconductor Injection Laser”, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 25, No. 10, 2079-2083, (1989).

5. Evaluation of measurement data-Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100:2008.

6. Octavio Calzadilla Amaya, “Influencia de la correlación entre los parámetros de ajuste en las incertidumbres de las magnitudes experimentales”, Revista 100cias@uned, UNED, España, ISSN 1989-7189, Nº. 1, 203, (2008).

7. J. Piprek, P. Abraham and J. E. Bowers, “Self-Consistent analysis of High-Temperature Effects on strained-Layer Multi-quantum-Well InGaAsP-InP Lasers”, IEEE Journals of Quantum Electronics Vol. 36, No. 3, 366-374, (2000).

8. M. Yano, H. Imai, Ken-Ichi Hori and M. Takusagawa, “High Temperature Characteristics of Stripe-Geometry InGaAsP/InP Double-Heterostructure Lasers”, IEEE Journal Quantum Electronics, Vol. 17, 619-626, (1981).

9. M. Asada and Y. Suematsu, “The effect of loss and nonradiative recombination on the temperature dependence of threshold current 1.5 ~1.6 µm GaInAsP/InP lasers”, IEEE J. of Quantum Electronics, Vol.19, 917-923, (1983).

10. B. Borchert, A. Egorov, S. Illek, M. Komainda and H. Riechert, “1.29µm GaInNAs multiple quantum-well ridge-waveguide laser diodes with improved performance”, Electronics Letters, Vol. 35, No. 25, 2204-2206 (1999).

11. B. Borchert, A. Y. Egorov, S. Illek and H. Riechert, “Static and Dynamic Characteristics of 1.29 µm GaInNAs Ridge-Waveguide Laser Diodes”, IEEE Photonics Technology Letters, Vol.12, No. 6, 597-599, (2000).

12. S. M. Wang, Y. Q. Wei, X. D. Wang, Q. X. Zhao, M. Sadeghi and A. Larsson, “Very low threshold current density 1.3 µm GaInNAs single-quantum well lasers grown by molecular beam epitaxy”, J. Crystal Growth, 278, 734-738, (2005).

13. H. Zhao, G. Adolfsson, S. M. Wang, M. Sadeghi and A. Larsson, “Very-low-threshold current density 1.29 µm GaInNAs triple quantum well lasers grown by molecular beam epitaxy”, Electronics Letters, Vol.44, No. 7, (2008).

14. Brian Ishaug, Wen-Yen Hwang, Jae Um, Hao Lee, and Chih-Hsiang Lin. “Continuous-wave operation of a 5.2 mm quantum-cascade laser up to 210 K”. Appl. Phys. Lett. Vol 79, No. 12, (2001).

15. M. Henini, “Dilute Nitride Semiconductor”, School of Physics and Astronomy, edited by M. Henini, University of Nottingham, UK, (First edition, 2005).

16. S. L. Chuang, N. Nakayama, A. Ishibashi, S. Taniguchi and K. Nakano, “Degradation of II-VI Blue-Green Semiconductor Lasers”, IEEE J. Quantum Electron. Vol. 34, No. 5, 851-857, (1998).

17. E. Marín, I. Camps, M. Sánchez y P. Díaz, “Termal resistance of double heterostructure separate confinement GaAs/AlGaAs semiconductor lasers in stripe geometry configuration”, Rev. Mex. Fis. Vol. 42, No 3, 414-424 (1996).

18. Drenten R. R, Haberern K W and Gaines J M “Thermal characteristics of blue-green II-VI semiconductor lasers”, J. Appl. Phys. Vol. 76, No. 7, 3988-3993, (1994).