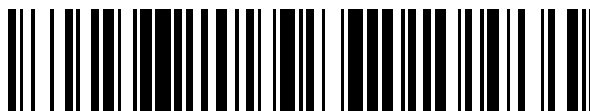


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 694 699**

51 Int. Cl.:

**H01S 5/34**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.11.2014 PCT/US2014/067646**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2015 WO15081217**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2014 E 14865881 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.08.2018 EP 3075040**

54 Título: **Láser de cascada cuántica**

30 Prioridad:

**30.11.2013 US 201361910342 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**26.12.2018**

73 Titular/es:

**THORLABS QUANTUM ELECTRONICS, INC.**

**(100.0%)**

**10335 Guilford Road**

**Jessup MD 20794, US**

72 Inventor/es:

**CANEAU, CATHERINE, GENEVIEVE;**

**ZAH, CHUNG-ENG y**

**XIE, FENG**

74 Agente/Representante:

**TEMIÑO CENICEROS, Ignacio**

ES 2 694 699 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Láser de cascada cuántica

**5 Antecedentes**

La presente divulgación se refiere, en general, a unos dispositivos de cascada cuántica tales como unos chips de amplificador óptico usados como en los láseres de cascada cuántica de cavidad integrada o exterior (QCL), fuentes ASE, y aplicaciones similares, con una potencia alta de onda continua (CW) a alta temperatura, específicamente aquellas que tienen longitudes de onda que pueden ser útiles en contramedidas infrarrojas, dispositivos de puntería de colimación térmica, gas y otros sensores moleculares, y/u otras aplicaciones, a altas temperaturas ambientales, específicamente a longitudes de onda más largas de 7  $\mu\text{m}$  y superiores.

Los documentos EP 2 461 435A1, US 2013/0266036, FEDERICO CAPASSO ET AL, "High-Performance Superlattice Quantum Cascade Lasers", REVISTA IEEE DE TEMAS SELECCIONADOS EN ELECTRÓNICA CUÁNTICA, CENTRO DE SERVICIO IEEE, PISCATAWAY, NJ, US, (199906), vol. 5, n.º 3, ISSN 1077-260X, XP011062515 [X] 1 y EP 1 133 035 A2, se relacionan respectivamente con unas estructuras de láser de cascada cuántica que comprenden una pluralidad de pozos cuánticos y una pluralidad de barreras que definen una región activa, en la que un extremo de la región activa está delimitado por una barrera inyectora, y en la que dos o más primeros pozos cuánticos adyacentes de la pluralidad en la pluralidad de pozos cuánticos que definen la región activa están colocados junto a la barrera inyectora y cada uno tiene una anchura más estrecha que las anchuras de dos o más pozos cuánticos sucesivos en la pluralidad de pozos cuánticos que definen la región activa.

**25 Sumario breve**

La presente invención tal como se define en la reivindicación 1, está dirigida a unos dispositivos de cascada cuántica que tienen una región activa que empieza con dos o más pozos delgados. Más específicamente, se desvela una estructura de láser de cascada cuántica que comprende una pluralidad de pozos cuánticos y una pluralidad de barreras, al menos una parte de la cual define una región activa, estando un extremo de dicha región activa delimitado por una barrera inyectora, en la que dos o más pozos cuánticos adyacentes de la parte de los pozos cuánticos que definen la región activa se colocan al lado de la barrera inyectora y cada uno de los dos o más pozos tiene una anchura más estrecha que la anchura de dos o más pozos cuánticos sucesivos en la pluralidad de pozos cuánticos que definen la región activa, y en la que la región activa tiene una configuración de pozo escalonado en la que un último pozo cuántico final en el otro extremo de la región activa tiene un nivel de energía de banda mínimo más bajo que un pozo cuántico adyacente de la región activa. La región activa resultante ha aumentado la vida útil de la transición desde el estado de energía de emisión de fotones superior al inferior, lo que resulta en mayores eficacias y un mejor rendimiento general para los dispositivos que emiten o emiten rayos láseres a longitudes de onda largas ( $> 7 \mu\text{m}$ ).

40

**Breve descripción de las varias vistas de los dibujos**

La siguiente descripción detallada de las realizaciones específicas de la presente divulgación, puede entenderse mejor cuando se lee junto con los siguientes dibujos, donde la estructura similar se indica con números de referencia similares y en los que:

45

La figura 1 muestra un diagrama de bandas, que ilustra los pozos cuánticos sucesivos y los niveles de energía de barrera y los espesores en una estructura de cascada cuántica existente que incluye una región activa;

La figura 2 representa un diagrama de bandas de acuerdo con un ejemplo de una región activa de pozo cuántico de la presente divulgación, útil para comprender la presente invención, que ilustra los pozos cuánticos sucesivos y los niveles de energía de barrera y los espesores en una estructura de cascada cuántica existente que incluye una región activa que tiene al menos dos pozos delgados al comienzo de la región activa (inmediatamente después de la barrera inyectora, antes de dos o más amplios pozos cuánticos);

La figura 3 representa un diagrama de bandas de acuerdo con una realización de una región activa de pozo cuántico de la presente invención, que ilustra los pozos cuánticos sucesivos y los niveles de energía de barrera y los espesores en una estructura de cascada cuántica existente que incluye una región activa que tiene al menos dos pozos delgados al comienzo de la región activa (inmediatamente después de una barrera inyectora, antes de dos o antes de dos o más amplios pozos cuánticos) y una configuración de pozos escalonados en la que al menos un último pozo cuántico final de la región activa tiene un nivel de energía mínimo más bajo que al menos un pozo cuántico adyacente de la región activa;

La figura 4 representa una curva de luz-corriente-tensión (LIV) pulsada de un chip de QCL submontado que utiliza la estructura de región activa mejorada de la figura 3; y

La figura 5 representa una curva de luz-corriente-tensión (LIV) de onda continua (CW) de un chip de QCL submontado que utiliza la estructura de región activa mejorada de la figura 3.

65

### Descripción detallada

La presente divulgación enseña la utilización de dos pozos delgados en la región activa de un dispositivo de cascada cuántica tal como un QCL para aumentar el tiempo de vida de los electrones en el estado de emisión láser superior y mejorar el rendimiento láser (el tiempo de vida del estado de emisión láser superior  $\tau_4$ ), alargando específicamente la vida útil de transición  $\tau_{43}$  de la transición desde la emisión de fotones o estado de emisión láser superior hasta la emisión de fotones o estado de emisión láser inferior en un dispositivo de cascada cuántica de cuatro niveles de dos fonones. El alargamiento de esta transición es beneficioso en los dispositivos de cascada cuántica de longitud de onda larga (desde 7  $\mu\text{m}$  hacia arriba) debido a que a medida que aumenta la longitud de onda, la brecha de energía entre el estado de emisión superior 4 y el estado de emisión inferior 3 disminuye, dando como resultado una vida útil de transición menor  $\tau_{43}$  de la transición desde la emisión de fotones o estado de emisión láser superior hasta la emisión de fotones o estado de emisión láser inferior. Basándose en las ecuaciones de velocidad de un sistema de QCL (con 4 niveles), el factor de ganancia  $g$  o la eficacia interior  $\eta$  es proporcional a  $\tau_4 (1 - \tau_3/\tau_{43})$ , donde  $\tau_3$  es la vida útil del estado de emisión láser inferior 3,  $\tau_4$  es la vida útil del estado de emisión láser superior 4, y  $1/\tau_4 = 1/\tau_{43} + 1/\tau_{42} + 1/\tau_{41} + \dots$ . Por lo tanto, un  $\tau_{43}$  más pequeño da como resultado un  $\tau_4$  más pequeño, y por lo tanto un factor de ganancia y una eficacia interior más pequeños. Por lo tanto, el alargamiento  $\tau_{43}$  puede proporcionar una eficacia mejorada en los dispositivos de cascada cuántica de longitud de onda larga (7  $\mu\text{m}$  y superiores).

Mientras que la brecha de energía debe permanecer pequeña para producir las longitudes de onda larga deseadas, la vida útil  $\tau_{43}$  también se ve afectada por el grado de superposición espacial entre los dos estados de energía, a mayor superposición resulta una vida útil más corta.

La figura 2 representa un diagrama de bandas de acuerdo con un ejemplo de una región activa de pozo cuántico de la presente divulgación, que ilustra los pozos cuánticos sucesivos y los niveles de energía de barrera y los espesores en una estructura de cascada cuántica existente que incluye una región activa que tiene al menos dos pozos delgados al comienzo de la región activa (inmediatamente después de una barrera inyectora, antes de dos o antes de dos o más amplios pozos cuánticos). Con dos pozos delgados, en lugar de uno, colocados después de la barrera inyectora, la función de onda del estado de emisión superior 4 tiene una parte aumentada localizada en los pozos delgados, pero el estado de emisión inferior 3 no puede penetrar en los pozos delgados, debido a que el nivel de energía del estado de emisión láser inferior está muy por debajo del estado de tierra de los pozos cuánticos delgados. De esta manera, se reduce la superposición entre los estados de emisión láser superior e inferior y aumenta la vida útil  $\tau_{43}$ . Por ejemplo, la vida útil  $\tau_{43}$  aumenta desde 3,7 ps en la estructura regular mostrada en la figura 1 a 5,5 ps en la estructura modificada mostrada en la figura 2, aunque las dos estructuras tienen la misma energía de transición de emisión láser que es aproximadamente de 133 meV (correspondiente a una longitud de onda de emisión láser de 9,4  $\mu\text{m}$ ).

El uso de dos (o más) pozos cuánticos delgados en el comienzo de la región activa puede aplicarse de manera beneficiosa junto con la región activa de pozo escalonado descrita anteriormente por los presentes inventores y/o sus colegas en la solicitud provisional de Estados Unidos 61/564375, presentada el 29 de noviembre de 2011, y la solicitud regular de Estados Unidos. 13/661559, presentada el 26 de octubre de 2012, publicada como el documento US 2013/0136148 A1 el 30 de mayo de 2013. La figura 3 representa un diagrama de bandas de una realización de este tipo de una región activa de pozo cuántico de la presente invención, que ilustra los pozos cuánticos sucesivos y los niveles de energía de barrera y los espesores en una estructura de cascada cuántica existente que incluye una región activa que tiene al menos dos pozos delgados al comienzo de la región activa (inmediatamente después de una barrera inyectora, antes de dos o antes de dos o más amplios pozos cuánticos) junto con una configuración de pozos escalonados en la que al menos un último pozo cuántico final de la región activa tiene un nivel de energía mínimo más bajo que al menos un pozo cuántico adyacente de la región activa. El diagrama de bandas de la figura 3 tiene una longitud de onda de emisión de 10,3  $\mu\text{m}$ . Como ejemplo, la estructura de crecimiento de una etapa/período de núcleo activo se enumera en la Tabla 1 a continuación. Los pozos delgados en este ejemplo están marcados con un asterisco.

Tabla I

Ga <sub>0,372</sub> In <sub>0,628</sub> As (pozo)	36 Å
Al <sub>0,64</sub> In <sub>0,36</sub> As (barrera)	15 Å
Ga <sub>0,372</sub> In <sub>0,628</sub> As	38 Å
Al <sub>0,64</sub> In <sub>0,36</sub> As	16 Å
Ga <sub>0,465</sub> In <sub>0,535</sub> As	39 Å
Al <sub>0,64</sub> In <sub>0,36</sub> As	16 Å
Ga <sub>0,465</sub> In <sub>0,535</sub> As	37 Å

$\text{Al}_{0,64}\text{In}_{0,36}\text{As}$	18 Å
$\text{Ga}_{0,465}\text{In}_{0,535}\text{As}$	32,5 Å
$\text{Al}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{As}$	23 Å
$\text{Ga}_{0,465}\text{In}_{0,535}\text{As}$	33 Å
$\text{Al}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{As}$	37 Å
$\text{Ga}_{0,465}\text{In}_{0,535}\text{As}$	17 Å *
$\text{Al}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{As}$	9 Å
$\text{Ga}_{0,465}\text{In}_{0,535}\text{As}$	18 Å *
$\text{Al}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{As}$	7 Å
$\text{Ga}_{0,465}\text{In}_{0,535}\text{As}$	59 Å
$\text{Al}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{As}$	8 Å
$\text{Ga}_{0,465}\text{In}_{0,535}\text{As}$	58 Å
$\text{Al}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{As}$	11 Å
$\text{Ga}_{0,372}\text{In}_{0,628}\text{As}$	45 Å
$\text{Al}_{0,64}\text{In}_{0,36}\text{As}$	22 Å
$\text{Ga}_{0,372}\text{In}_{0,628}\text{As}$	38 Å
$\text{Al}_{0,64}\text{In}_{0,36}\text{As}$	14 Å

5 La energía de transición láser es de aproximadamente 118 meV, que corresponde a 10,6  $\mu\text{m}$ . La vida útil  $\tau_{43}$  es de aproximadamente 4,8 ps. Esto es aproximadamente un 40 % más alto que el valor típico de un QCL en esta longitud de onda que es de 3,5 ps. Además, la brecha entre los niveles de energía 4 y 5 (el nivel de emisión superior y el primer nivel parásito por encima del nivel de emisión superior) aumenta mediante la región activa escalonada, aumentando además la eficacia del dispositivo de cascada cuántica que emplea esta región activa.

10 Los QCL basados en esta estructura maduraron, se fabricaron y se probaron. Las curvas de luz-corriente-tensión (LIV) de onda continua (CW) de un chip de QCL submontado de esta realización de ejemplo de la estructura de región activa desvelada, se muestran en las figuras 4 y 5, respectivamente. El chip probado tenía una cavidad de 6 mm de longitud y una franja de 9,5 m de anchura. Se emitió láser cerca de 10,7  $\mu\text{m}$ . Con este dispositivo se demostró una potencia de pico máxima de 2,1 W y un WPE pulsado máximo de 10,2 %. También se demostró una potencia de salida de CW de 1,1 W, y una potencia de salida de CW máxima sin pliegues de 1 W, y un WPE de CW  
15 máximo de un 4,8 %.

20 Como puede verse en las figuras, el dispositivo probado también mostró un buen rendimiento de temperatura. A 95 °C, la potencia de salida de CW máxima todavía alcanzó los 200 mW. Este es el primer QCL conocido con una longitud de onda mayor que 10  $\mu\text{m}$  con una salida de CW de alta potencia (> 1W) a temperatura ambiente. Otra prueba de QCL con una franja ligeramente más ancha (11,5  $\mu\text{m}$ ) demostró una potencia de salida de CW de 1,3 W a 15 °C.

**REIVINDICACIONES**

1. Una estructura de láser de cascada cuántica que comprende una pluralidad de pozos cuánticos y una pluralidad de barreras, al menos una parte de la cual define una región activa, estando un extremo de dicha región activa delimitado por una barrera inyectora, en la que:
- 5
- dos o más pozos cuánticos adyacentes de dicha parte de pozos cuánticos que define la región activa están colocados junto a la barrera inyectora y cada uno tiene una anchura más estrecha que las anchuras de dos o más pozos cuánticos sucesivos en la pluralidad de pozos cuánticos que definen la región activa, y
- 10
- en la que la región activa tiene una configuración de pozo escalonado en la que un último pozo cuántico final en el otro extremo de la región activa tiene un nivel de energía de banda mínimo más bajo que un pozo cuántico adyacente de la región activa.

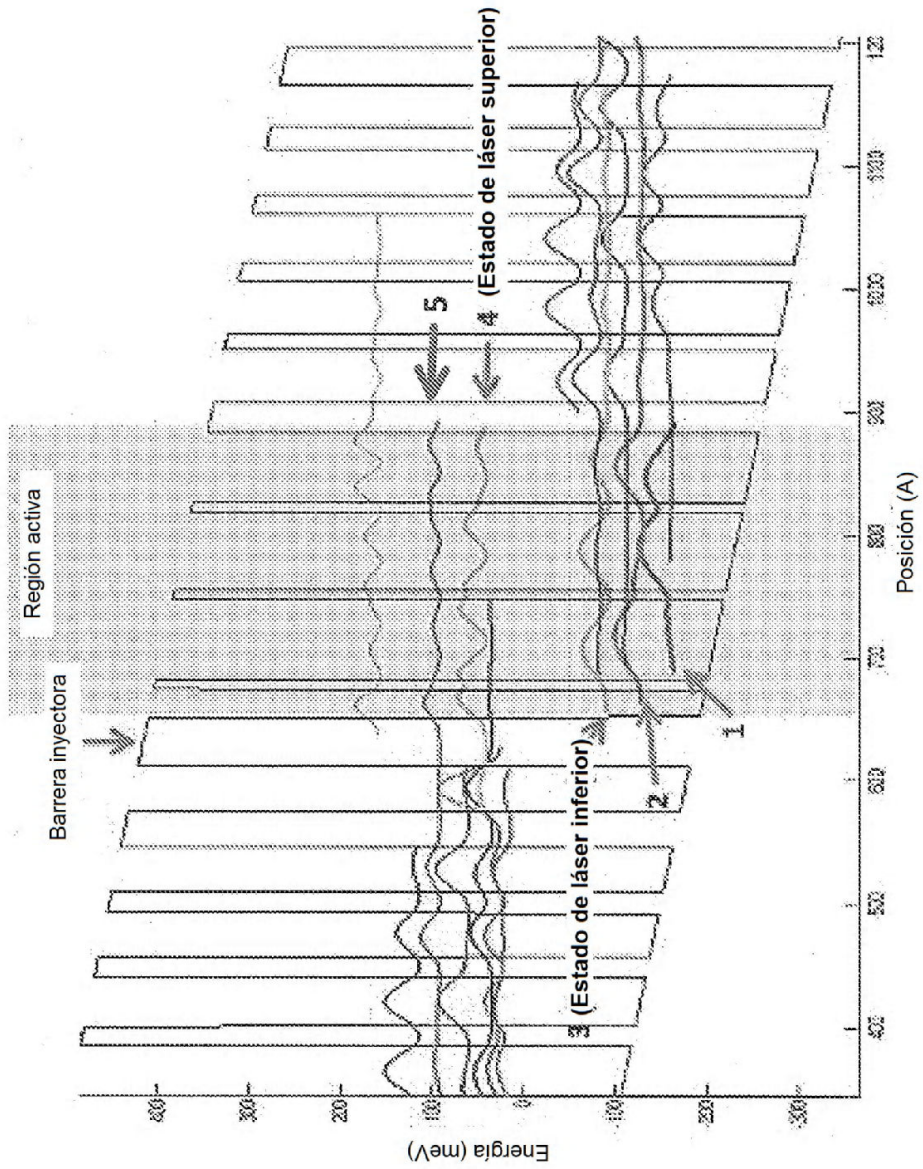


Figura 1

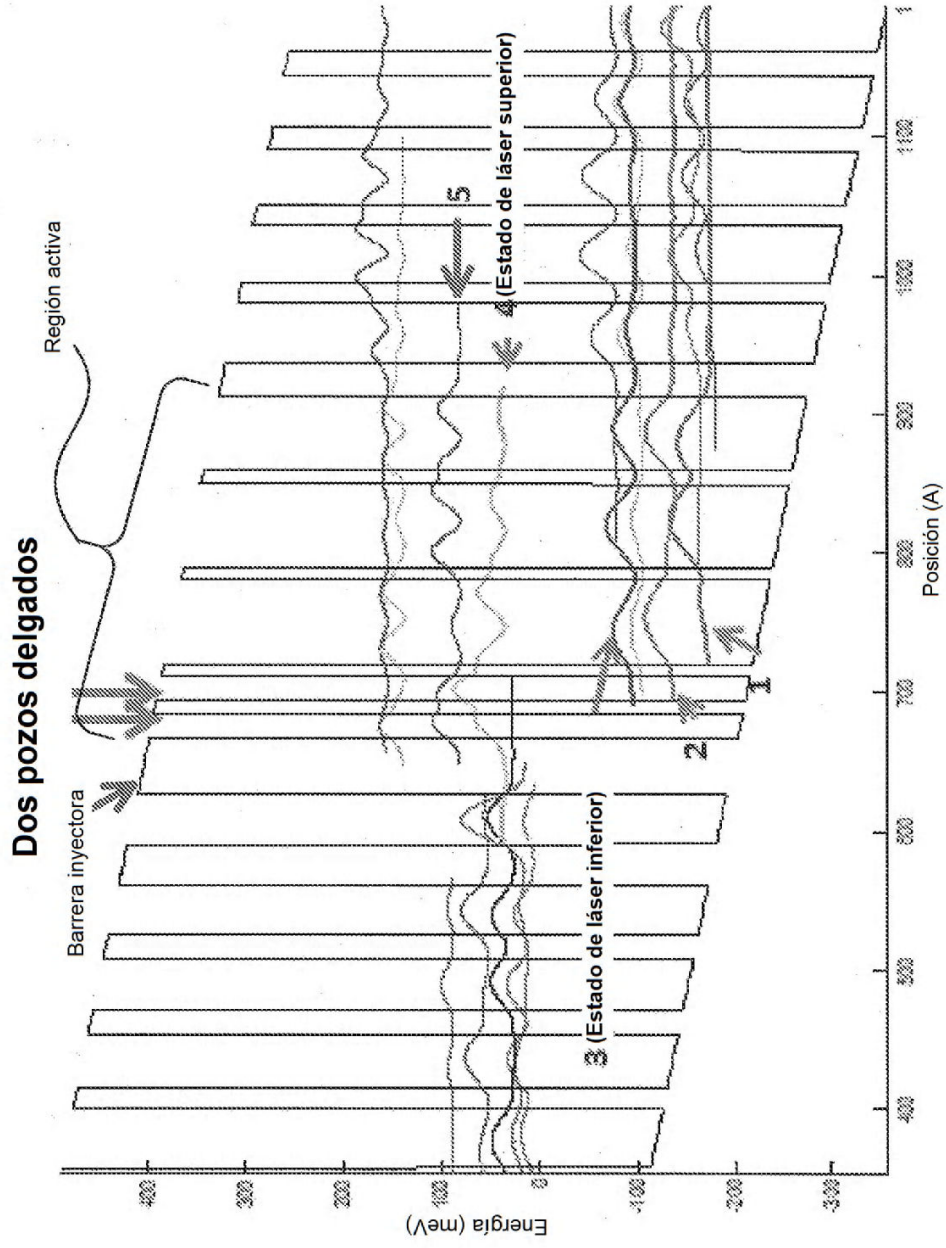


Figura 2

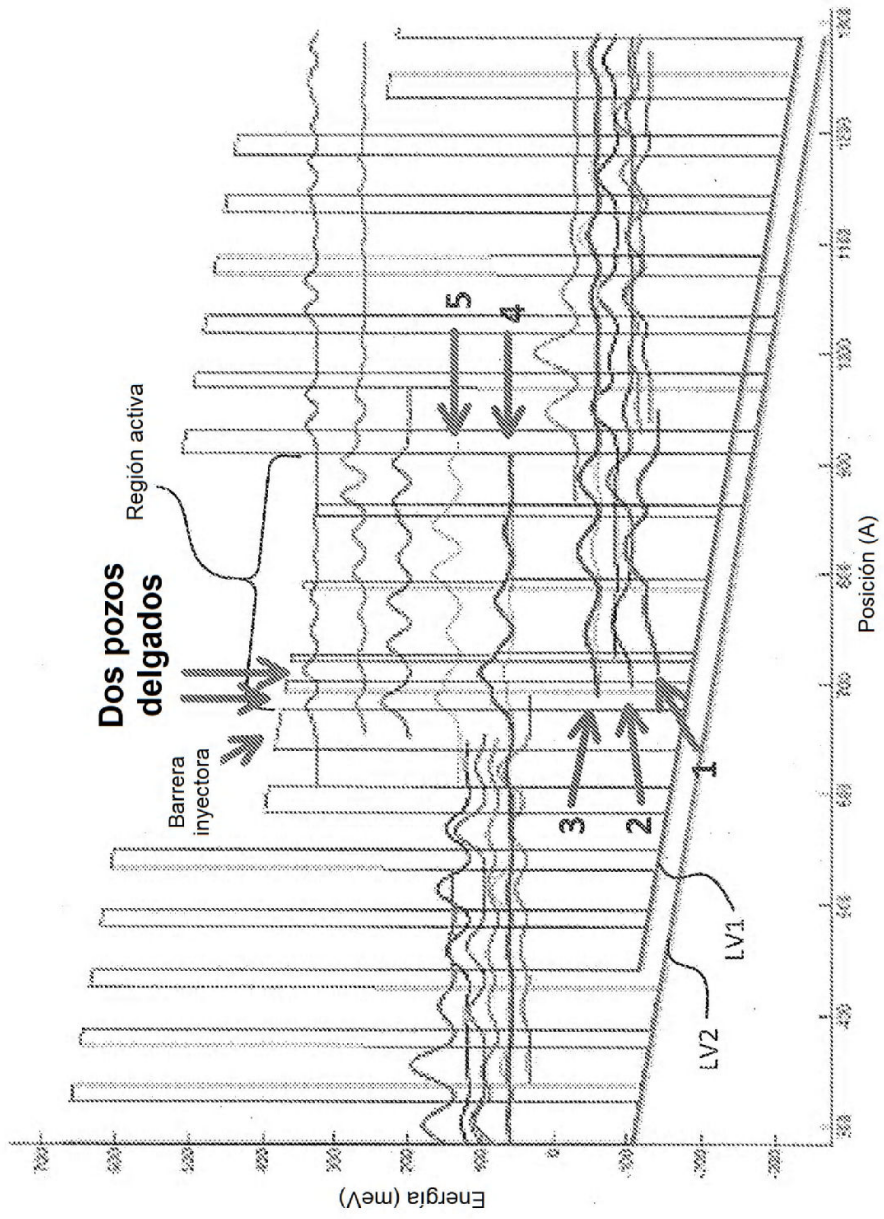


Figura 3



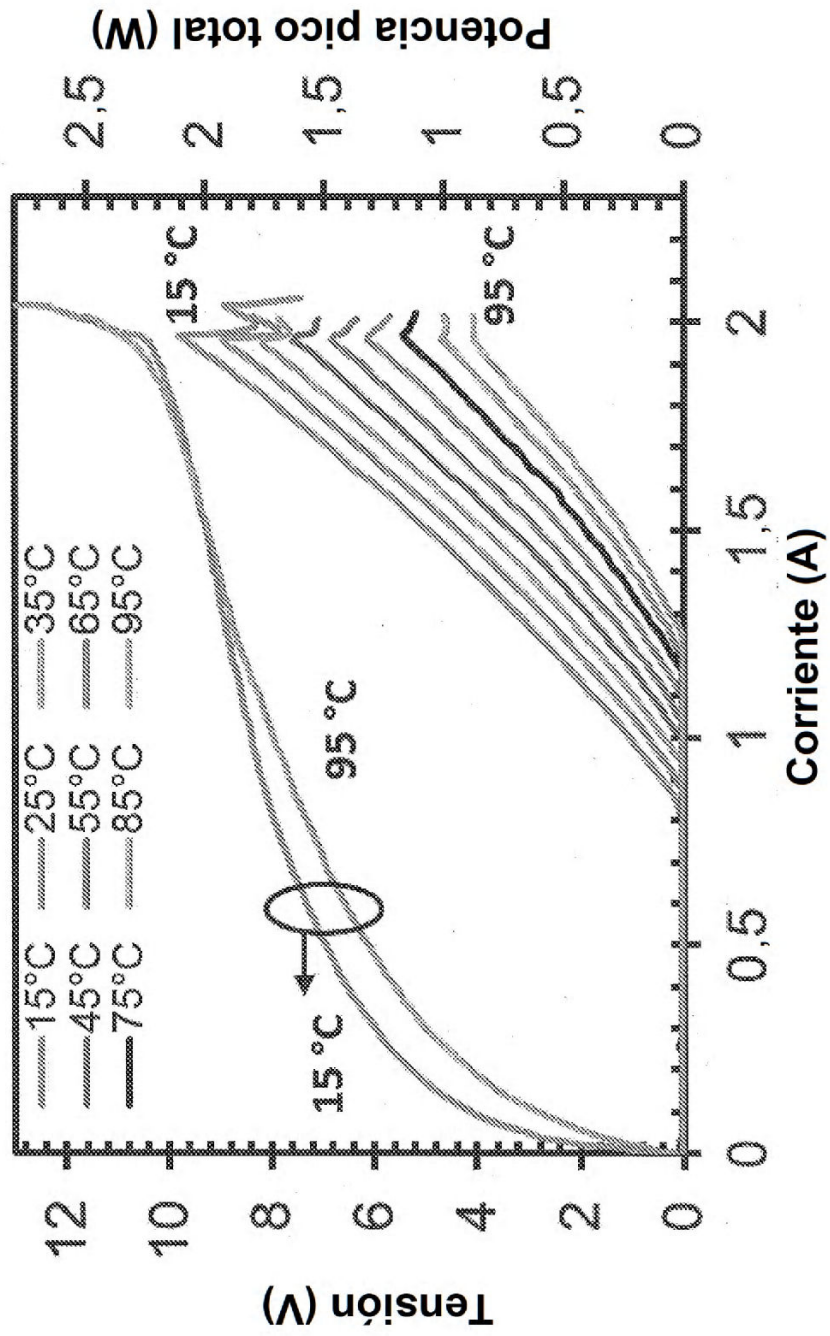


Figura 4

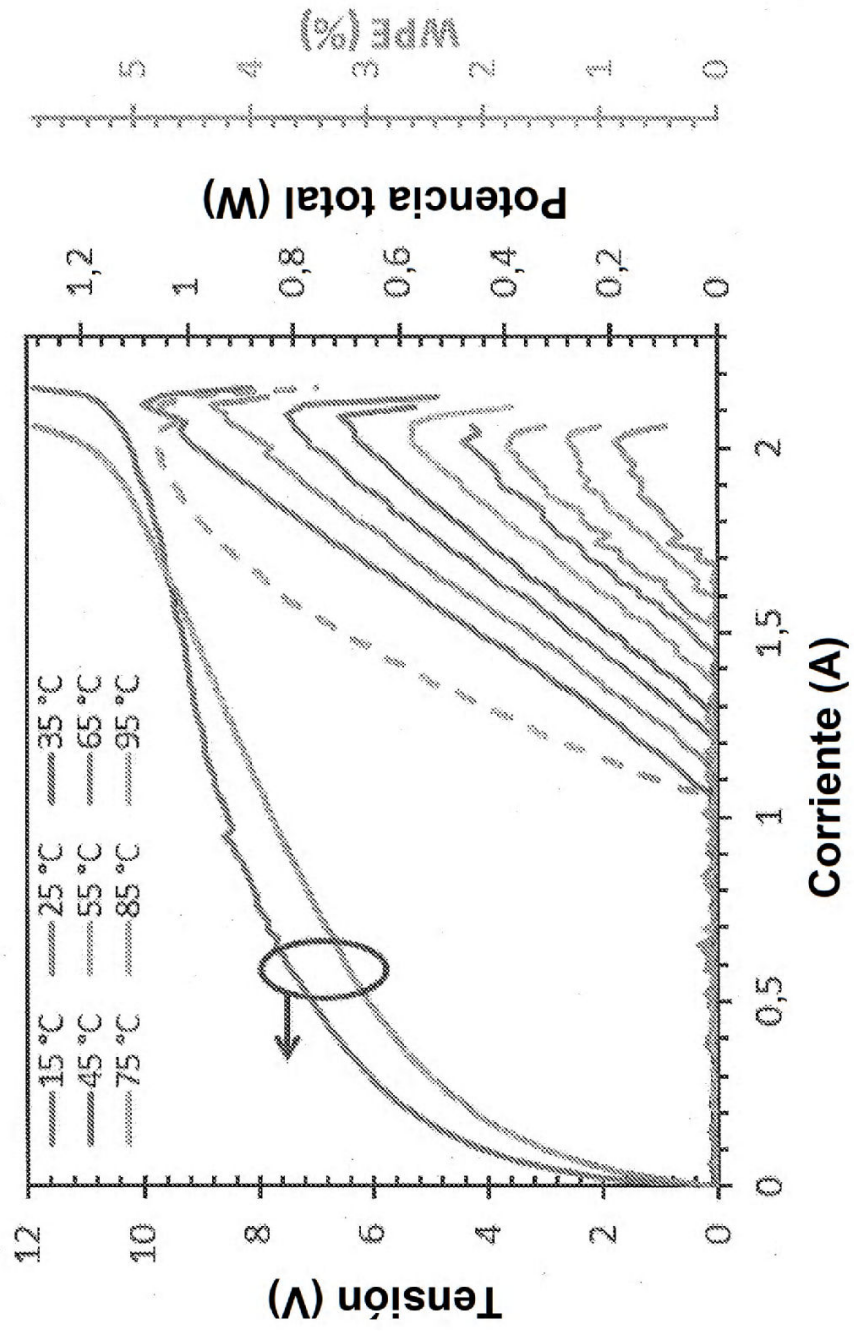


Figura 5