

444,528

PATENTE DE INVENCION

LOGAN R A 26-2-6-9 DIV A.

3.<sup>A</sup> CORONA

Int. Cl.:	
	H01S

*Memoria Descriptiva*

*sobre:*

Perfeccionamientos en aparatos para producir dispositivos ópticos de doble heteroestructura.

=====

*Solicitante:* WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED, entidad norteamericana, residente en 195 Broadway, New York, New York 10007, EE.UU. de A.

=====

La presente invención se refiere a aparatos para producir dispositivos ópticos de doble heteroestructura.

5. Una fase importante para el desarrollo de componentes de circuitos ópticos integrados monoli-

5. ticos es la eficaz transferencia de luz desde una capa guíaon  
das hasta otras de modo que diversos componentes de circuito,  
por ejemplo láseres, moduladores y detectores, se puedan in-  
terconectar ópticamente. Un método para conseguir estas trans-  
ferencias, utilizando acopladores de sección progresivamente  
decreciente, ha sido sugerido por Tien et al, y su posibilidad  
en guiondas laminares de organo silicio ha sido demostrada  
(vease, Applied Optics, Volumen 12, página 1909 (1973 y Applied  
Physics Letters, Volumen 24, página 547 (1974))). En los guía-  
10. ondas de AlGaAs, esta transferencia se ha efectuado entre un  
guiondas pasivo de separación de banda aumentada y anchura,  
en tandem con la capa activa de un láser de unión de doble he-  
tereoestructura (DH) o detector con una separación de banda  
reducida.
15. Según una modalidad ilustrativa del invento, en un lá-  
ser de unión de doble heteroestructura, la región activa dis-  
minuye progresivamente hasta un espesor cero dentro de la es-  
tructura. La disminución progresiva de sección se extiende en  
la dirección de propagación de la luz, haciendo que la radia-  
20. ción generada en la región activa se acople en una capa de  
guiondas pasivas adyacente, subyacente o superyacente. Estos  
dispositivos, cuando se fabrican a partir del sistema de GaAs  
AlGaAs han demostrado una gran eficacia de acoplamiento de  
disminución progresiva de sección y bajas densidades de co-  
25. rriente umbral de formación de rayo láser. Una ventaja que  
ofrece este tipo de láser de DH es que la dirección generada  
en la región activa de GaAs, por ejemplo, se acopla eficazmen-  
te en una separación de banda superior y, por lo tanto, una  
capa guiondas de AlGaAs de menor pérdida. Por lo tanto, la  
transmisión y modulación en un circuito integrado tiene lugar  
en la capa de baja pérdida y, si se desea, la radiación se pue  
30. de acoplar en varios puntos en el circuito de nuevo en una ca-

pa de GaAs, por ejemplo, para detección o amplificación.

Otra característica del invento es que la región activa de sección progresivamente disminuida puede terminar a corta distancia de los espejos del láser, protegiendo de éste modo la región activa sensible contra la contaminación del ambiente. De éste modo se reduce la necesidad de pasivación.

5.

Según otra modalidad del invento, la disminución progresiva de sección en la región activa se produce por una delgada máscara en el fondo de una de las cavidades de un aparato de navecilla-cursor de LPE. La máscara se coloca próxima al sustrato y evita que parte de la solución de crecimiento, directamente por encima de la máscara, se pongan en contacto con el sustrato. Las partes laterales adyacentes del fundido se ponen en contacto con el sustrato y producen crecimiento de una capa que tiene una zona de espesor uniforme contigua a una zona de sección decreciente que decrece hasta un espesor cero adyacente a los bordes de la máscara. La longitud de las zonas decrecientes es de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$  mientras que la zona de espesor uniforme puede tener tan solo 0,5  $\mu\text{m}$ . Se han podido conseguir rendimientos de acoplamiento de sección decreciente de más del 70% partiendo de una capa de GaAs de sección decreciente en una capa subyacente de  $\text{Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{As}$ . Las capas de sección decreciente se han desarrollado empleando una máscara de zafiro.

10.

15.

20.

La invención, junto con sus diversas características y ventajas, se podrá comprender fácilmente por la descripción más detallada que sigue, tomando como referencia el dibujo adjunto, en el que:

25.

La figura 1 es una vista esquemática lateral de un láser de DH que tiene una sola sección decreciente en la región activa según una modalidad del invento.

30.

La figura 2 es una vista esquemática lateral de un láser de DH que tiene dos secciones decrecientes en la región activa según otra modalidad del invento.

5. La figura 3 es una vista esquemática lateral de una disposición monolítica de un tipo modular de DH y un láser de DH según otra modalidad del invento.

La figura 4A es una vista en perspectiva y en sección transversal parcialmente cortada de un aparato de crecimiento de LPE empleado para fabricar láseres de DH; y

10. La figura 4B es una vista en perspectiva, parcialmente cortada, de dos módulos empleados en el aparato de la figura 4A para fabricar la estructura ilustrada en la figura 1, según otro aspecto del invento.

15. Volviendo ahora a la figura 1, se ilustra una modalidad del invento que sirve de ejemplo, consistente en un láser de DH que comprende, en general, un sustrato 10 donde se desarrollan epitaxialmente las siguientes capas en el orden citado: una primera capa de separación de banda ancha 12, una capa guíaondas pasiva 14, una región activa de separación de banda estrecha 16 y una segunda capa de separación de banda ancha 18. La separación de banda de la capa guíaondas pasiva 14 es menor que la de las capas de separación de banda ancha 12 y 18 y la separación de banda de la región activa 16 es menor que la de las capas 14 y 18. En general, la capa guíaondas pasiva 14 y la región activa 16 son del mismo tipo de conductividad, mientras que las capas de separación de banda ancha 12 y 18 son de tipos de conductividad opuesta. Una unión pn se forma en la estructura de capas recreciendo en primer lugar las capas del mismo tipo de conductividad al par que el sustrato y recreciendo entonces capas del tipo de conductividad opuesta en la secuencia de crecimiento de las capas. Por ejemplo después del creci

20.

25.

30.

5. miento de la región activa 16, que es del mismo tipo de conductividad que las capas precedentes 12 y 14 y el substrato, se recrece la capa 18 con el tipo de conductividad opuesta produciendo la formación de una unión p-n entre la capa 18 y las regiones de capas 14 y 16 en contacto con la capa 18.

Según una característica del invento, la región activa 16 termina dentro de la estructura en una sección decreciente 16.1 decrece gradualmente hasta un espesor cero a lo largo de la dirección de propagación de radiación (flecha 13).

10. Los contactos eléctricos óhmicos 20 y 22 se forman respectivamente sobre la capa 18 y el substrato 10. las superficies paralelas transcristalinas 24 y 26 forman los espejos del resonador láser. Cuando se polariza apropiadamente en directo por encima del umbral de formación del láser, por ejemplo  
15. con la batería 28 conectada a través de los contactos 20 y 22, tiene lugar una emisión estimulada de radiación en la región activa 16. Para el funcionamiento continuo, a la temperatura ambiente, es preferible que el espesor de la región activa 16 esté comprendido entre  $\lambda/2$  y  $1,0 \mu\text{m}$ , donde  $\lambda$  es la longitud  
20. de onda de la radiación medida en la región activa. Esta radiación se acopla (flecha 11) desde la región activa 16 por la zona de sección decreciente 16.1 en la capa guíaondas pasivas subyacentes 14. Como la capa 14 tiene una separación de banda mayor que la región activa 16, la radiación acoplada experimentará muy poca pérdida de transmisión. La reducción de pérdidas  
25. ópticas de ésta manera puede ser particularmente importante cuando la radiación acoplada ha de transmitirse en largas distancias o cuando se haya de operar en la capa guíaondas 14 (v.g. modulada).

30. Para reducir la divergencia del haz y densidad de energía

5. gia en la superficie 24, la capa guiondas pasiva 14 puede estar provista de una zona 14.1 de mayor espesor adyacente a la superficie de salida transcristalina 24. Además, la superficie 26 puede estar provista de un recubrimiento de reflexión (no ilustrado) y/o la superficie 25 puede estar provista de un recubrimiento antirreflexión (no ilustrado) para mejorar la emisión a través de la superficie 24.

10. En una modalidad ilustrativa, el láser de DH de la figura 1 se fabrica partiendo del sistema GaAs-AlGaAs, o sea, el sustrato 10 comprende n-GaAs; las capas 12 y 14 comprenden  $Al_xGa_{1-x}R$  y  $Al_yGa_{1-y}R$ , y  $x < y$ , respectivamente, donde R comprende por lo menos As y puede comprender también P; la región activa 16 comprende  $Al_zGa_{1-z}R$ ,  $0 < z < y$ ; y la capa 18 comprende  $Al_rGa_{1-r}R$ ,  $r > z$  e  $y$ . Normalmente el sustrato 10 y las capas 12 y 14 son del tipo n, la capa 18 es del tipo p y la región activa puede ser del tipo n, del tipo p o de ambos tipos (como cuando una unión p-n se sitúa dentro de la región activa). En este caso, el contacto 20 comprende normalmente una capa de  $p^+$ -GaAs formada sobre la capa 18 de  $Al_rGa_{1-r}R$  para facilitar la formación de un buen contacto eléctrico.

15. En general, los materiales empleados para fabricar las capas deberán proporcionar una gran coincidencia de retículo para reducir la probabilidad de que se formen defectos (centros de recombinación no radiativos) en la región activa 16 o en las heterouniones 15 y 17. A este respecto, las capas comprenden convenientemente AlGaAsP.

#### EJEMPLO

25. Empleando un aparato de LPE y las técnicas que se describirán a continuación, se fabricó un láser de DH del tipo ilustrado en la figura 1 que comprendía lo siguiente: un sub

30.

trato orientado de GaAs (100) del tipo n impurificado a aproximadamente  $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ , una capa 12 de  $\text{Al}_{0,22}\text{Ga}_{0,78}\text{As}$  de aproximadamente  $3,3 \mu\text{m}$  de espesor y del tipo n impurificado con Sn hasta aproximadamente  $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ; una capa 14 de  $\text{Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}$

5. As de aproximadamente  $0,4 \mu\text{m}$  de espesor y del tipo n impurificado con Sn a aproximadamente  $10^{17} / \text{cm}^3$ ; una capa (región activa 16) de GaAs de aproximadamente  $0,5 \mu\text{m}$  de espesor del tipo n impurificado de una forma no deliberada por los contaminantes normalmente presentes hasta aproximadamente  $10^{16} / \text{cm}^3$ ;
10. y una capa 18 de  $\text{Al}_{0,22}\text{Ga}_{0,78}\text{As}$  de aproximadamente  $2,8 \mu\text{m}$  de espesor del tipo p dopada con Ge hasta aproximadamente  $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ . Sobre la capa 18 se formó una capa de contacto de tipo normal (no representada) de  $p^+\text{GaAs}$  que comprendía una capa de difusión de Zn. Los contactos 20 y 22 se hicieron de Au y Sn, respectivamente.
- 15.

En este ejemplo, la zona de sección decreciente 16.1 decrecía suavemente hasta un espesor cero aproximadamente en  $100 \mu\text{m}$  y la zona 14.1 tenía también una longitud de aproximadamente  $100 \mu\text{m}$ .

20. Para efectuar las mediciones, se cortó (hendió) de una sola pastilla ambos láseres de control de secciones uniformes (aquellas sin la zona 14.1 y la sección decreciente 16.1) así como láseres acoplados en sección decreciente (TCLs) del tipo representado en la figura 1.

25. Todas las mediciones se realizaron a temperatura ambiente con excitación por medio de impulsos de corriente de  $100 \text{ ns}$ . Los láseres de control típicos tienen un espesor de región activa de aproximadamente  $0,5 \mu\text{m}$  y longitudes de cavidad de aproximadamente  $0,5 \text{ mm}$ . Para estos láseres de control la densidad de corriente umbral era de  $j_{th} \approx 2,6 \text{ kA/cm}^2$ , y
- 30.

el rendimiento cuantico diferencial era  $\eta_d \simeq 38\%$  con una iluminación de aproximadamente el 80% del espejo en la formación del rayo láser. Los valores correspondientes para láseres de control más corto con longitudes de cavidad de aproximadamente 0,25 mm eran  $j_{th} = 3 \text{ kA/cm}^2$  y  $\eta_d \simeq 43\%$  con un 60% del espejo iluminado cuando se forma el láser. A partir de este dato deducimos un rendimiento cuántico interno  $\eta_i \simeq 80 \pm 20\%$  con una pérdida normal constante  $\sigma \simeq 16 \text{ cm}^{-1}$ .

Por otro lado, los láseres acopados en sección decreciente, tenían longitudes de región activa normales de aproximadamente 0,6 mm y espesores de aproximadamente 0,5  $\mu\text{m}$ . Esto dió por resultado  $j_{th} \simeq 2,6 \text{ kA/cm}^2$  y  $\eta_d \simeq 28\%$  con un 60% normalmente del espejo iluminado en el estado de formación de rayos láser. Suponiendo que no haya pérdida en la zona 14.1. de la capa guionada pasiva 14, una eficacia de acoplamiento de sección decreciente,  $t$ , demostró ser de  $\geq 70\%$ . En todos los TCLs medidos, no se tubo indicación de formación de rayos láser perpendicular al gradiente de la sección decreciente. Además, las secciones decrecientes terminaban limpiamente sin evidencia de cintas de recrecimiento más allá de la sección decreciente como a veces aparecían antes de desarrollar la técnica de crecimiento que se describirá más adelante.

A pesar de que el contacto 20 de la figura 1 se extiende sobre la región pasiva 14.1, el flujo de corriente queda principalmente restringido a la capa activa 16 debido a la barrera potencial reducida para inyección en la heterounión entre las capas 18 y 16 si se compara con la comprendida entre las capas 18 y 14.

Todos los TCLs muestran un alto grado de polarización de la radiación de formación de rayo láser en los modos TE ex-

- cepto cerca de los bordes del dispositivo. La presencia de las zonas de sección decreciente solo modifican ligeramente el grado de polarización si se compara con la habida en los láseres de control. La observación de polarización, junto con los ex-
5. perimentos de caracterización anteriores, demuestran claramente un control del crecimiento de sección decreciente adecuado que permite integración monolítica a pequeña escala de los componentes de guiondas ópticos. Este método de acoplamiento permite también el aislamiento de la región activa enteramente
10. fuera de las superficies exteriores, como por ejemplo espejos transcristalinos, reduciendo de éste modo la contaminación de la región activa por parte del ambiente.

- También medimos los patrones de campos distantes para un TCL. Para una radiación procedente de la región activa estrecha 16 en la superficie 26 (donde su espesor era de aproximadamente  $0,5000 \mu\text{m}$ ) el semiángulo completo de energía para el campo de radiación era de aproximadamente  $48^\circ$ , mientras que el valor correspondiente a partir de la capa guiondas pasiva 14 en la superficie 24 (donde su espesor era de aproximadamente  $1,5000 \mu\text{m}$ ), era de aproximadamente  $29^\circ$ . Estos valores concordaban perfectamente bien con los cálculos basados en las dimensiones de guía y en los índices de refracción. Los patrones de campo distante se probaron a diversos niveles de bombeo hasta alcanzar corrientes correspondientes a  $2j_{th}$ . No se observó cambio en la forma de los patrones en esta gran gama de densidad de corriente. Los mecanismos de selección de modos debidos a la región activa delgada 16 y la capa guiondas pasiva 14 son por lo tanto muy eficaces. Este experimento demostró también que la conversión de modos en la zona 14.1 de la capa guiondas pasiva 14 es imperceptible según evidencia el semián-
- 15.
- 20.
- 25.
- 30.

gulo estrecho de radiación de energía.

### Estructuras Alternativas

5. Según se ilustra en la figura 2, también se construyó un TCL donde la capa activa 16' de GaAs (aproximadamente 0,5  $\mu\text{m}$  de espesor) tenía dos zonas de sección decreciente 16.1 y 16.2 de forma que la capa 16' terminaba a corta distancia de ambas superficies (espejos) 24' y 26'. La radiación generada en la región activa 16' se acopló a través de ambas capas en una capa guionada pasiva 14' de  $\text{Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{As}$  que tenía un espesor uniforme de aproximadamente 0,5  $\mu\text{m}$ , v.g., la zona 14.1 de la figura 1 se omitió. Las capas restantes eran, de otro modo prácticamente idénticas a las de la figura 1. Este TCL formaba rayo láser con  $j_{\text{th}} \sim 5 \text{ kA/cm}^2$  y  $\eta_d \sim 14\%$ .

15. Para demostrar que se pueden fabricar con facilidad circuitos integrados empleando TCLs, construimos la combinación monolítica de láser -doblador representada en la figura 3. La composición de las capas era prácticamente idéntica a las descritas anteriormente. La región activa 16" de GaAs del láser TCL tenían un espesor de aproximadamente 0,5  $\mu\text{m}$  y una sola zona de sección decreciente 16.1 " que terminaba en la región 16" en el interior de la estructura. La capa guionada pasiva de  $\text{Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{As}$  14" tenía un espesor uniforme de aproximadamente 0,5  $\mu\text{m}$ . Antes de formar los contactos eléctricos metálicos la segunda capa de separación de banda ancha 18", que comprendía  $\text{Al}_{0,22}\text{Ga}_{0,78}\text{As}$  se enmascaró y después se mordentó de una forma selectiva con una solución de  $\text{I}_2$  y KI disuelta en  $\text{H}_2\text{O}$  para formar un canal en forma de V 19 que alcanzaba hasta la capa 18". El canal 19 servía para aislar eléctricamente el láser TCL de la parte 21 que, cuando se polarizaba en inversión mediante la batería 23, servía para

20.

25.

30.

modular la radiación acoplada en la capa guiondas pasiva 14". La modulación se efectuaba de acuerdo con información procedente de la fuente 25. El modulador era un modulador del tipo DH. El canal 19 se podía llenar con un aislador eléctrico, por ejemplo un óxido, o empleando de otro modo mordentación se puede conseguir inicialmente aislamiento por bombardeo protónico.

Fabricación: LPE

10. Los dispositivos de las figuras 1-3 se fabricaron por epitaxia de fase líquida (LPE) empleando un aparato clásico de navecilla-cursor 50 representado en la figura 4A. El aparato comprende una navecilla de carbón 52 que tiene una pluralidad de cavidades 54 (se ilustran cuatro a título de ejemplo solamente) que se extiende desde la parte superior de la navecilla en un canal en el que se coloca deslizantemente un cursor de carbón 56. El cursor, que forma el fondo de las cavidades, tiene un par de rebajos en sus superficies superior donde se colocan un sustrato 57 y un germen de saturación 59. La separación entre el germen, y el sustrato es igual a la separación entre cavidades adyacentes y el germen 59 precede al sustrato 57 bajo cada cavidad. El cursor se mueve de izquierda a derecha empujando una barra de cuarzo 58 que se inserta en el orificio 60 que se extiende a lo largo del fondo de la navecilla 52. Un termopar 62 se sitúa en la barra 58 para medir la temperatura de la navecilla.

25. Unos módulos de carbón de paredes delgadas (v.g., 0,5 mm), desmontables 1,2,3, 4 que no tienen fondos, se adaptan apretados en cada cavidad. En las cavidades se depositan soluciones fuente 64 v.g., en el interior de los módulos. Todo el aparato se coloca en una camisa de cuarzo 66 que se sitúa en
- 30.

el interior de un horno. En la camisa se mantiene un ambiente de  $H_2$  puro.

Para formar el crecimiento de las capas de la figura 1 por ejemplo, el sustrato 57 era GaAs de tipo n orientado (100)

5. Los módulos 1, 2 y 4 contenían Al, Ca, As y adulterantes en proporciones apropiadas para el crecimiento de las capas 12, 14 y 18 que comprendían, respectivamente,  $n-Al_{0,22}Ga_{0,78}As$ ,  $n-Al_{0,15}Ga_{0,85}As$  y  $p-Al_{0,22}Ga_{0,78}As$ . El módulo 3 contenía Ga y As para el crecimiento de la región activa 16 de n-GaAs dopado involuntariamente por los contaminantes normalmente presentes.

10. Las etapas se formaron calentando las soluciones al punto de saturación y después deslizando en frecuencia el sustrato 57 bajo las soluciones, mientras se enfriaba el horno desde  $850^{\circ}C$  a un ritmo de  $0,2^{\circ}C$ , por minuto. Obsérvese que los adulterantes y el GaAs en exceso se añadieron a cada solución fuente tan solo después de una cocción preliminar a  $800^{\circ}C$  durante 16 horas con acceso a través de una lumbrera (no ilustrada) en la camisa 66 para no oxidar el Ga cocido. La saturación en el fondo de la soluciones se aseguró mediante sembrado de saturación

15. 59.

20. Para fabricar la zona 14.1 de la capa guiondas pasiva 14 de la figura 1 el módulo 2 se modificó. Expuesto brevemente según se ilustra en la figura 4B, el módulo 2 comprendía un tabique divisorio de carbón 68 que bifurcaba en la cavidad. El tabique divisorio 68, que tenía un espesor de  $100 \mu m$  y era de sección decreciente en su parte inferior hasta  $25 \mu m$ , se colocó de forma que existiera una pequeña holgura entre su parte inferior y la parte superior del sustrato. La proporción de crecimiento bajo el tabique divisorio está en función al tamaño y de la holgura y se reduce desde aproximadamente  $35 \mu m/^{\circ}C$

25. en una holgura de  $30 \mu m$  hasta aproximadamente  $4 \mu m/^{\circ}C$  en la

30.

holgura de 70  $\mu$ m.

5. Se depositaron soluciones idénticas en cada lado del tabique divisorio 68 de forma que la capa guíasondas pasiva 14 tenía una composición uniforme de  $Al_{0,15}Ga_{0,85}As$ . Como el tabique divisorio de carbón actúa como aleta refrigerante, la proporción de crecimiento directamente por debajo del tabique divisorio es mayor que en áreas adyacentes, por lo que la capa 14 según se desarrolla virtualmente tiene dos regiones planas unidas por una zona más espesa en forma de protuberancia simétrica cuya anchura es aproximadamente igual a la del tabique divisorio. Observese que la configuración de la figura 1 representa solamente una de las zonas planas 14:2 porque la pastilla se hendió en la cresta de la protuberancia para formar la zona 14.1.

10. Según otro aspecto del invento, el desarrollo de capas de LPF con zonas uniformes de sección decreciente, como la capa 16 de GaAs de la figura 1, se consiguió modificando el módulo 3 para incluir una máscara de zafiro 70 de 1,1 mm de anchura por 0,25 mm de espesor centrada sobre el mismo eje 55 que el tabique divisorio 68 del módulo 2. La holgura del sustrato a la máscara era de 70  $\mu$ m. La máscara 70 se mantuvo en su sitio mediante indentaciones (no ilustrada) en el fondo del módulo 3. Se producen dos zonas de sección decreciente, una adyacente a cada borde de 70.1 y 70.2 de la máscara 70. Las capas que se desarrollan tienen una zona de espesor uniforme y una zona de sección decreciente adyacente a la máscara que decrecen uniformemente a un espesor cero en distancias de 100 a 150  $\mu$ m, encontrándose los puntos de espesor cero adyacentes a los bordes 70.1 y 70.2. Las zonas de sección decreciente estaban separadas 1,1 mm aproximadamente en la anchura de la máscara. Observese una vez más que solamente se ilustra

una zona de sección decreciente en la figura 1 debido a la forma en que se cortó la pastilla.

5. También hemos descubierto que el empleo de una máscara de carbón en lugar de una máscara de zafiro es indeseable porque la primera introduce un gradiente térmico que realiza el crecimiento cerca de los bordes 70.1 y 702. y hace que la capa (zona decreciente) termine en un montículo abrupto en lugar de reducirse en espesor uniformemente. En general, el material de la máscara deberá tener las características siguientes.
10. Inerte a la reacción con las soluciones fuente, mecanizable o conformable y de conductividad térmica suficientemente baja para no producir un enfriamiento local apreciable del fundido con objeto de mejorar el crecimiento local. Dichos materiales comprenden, por ejemplo otros óxidos (cuarzo) y nituro de boro.
- 15.

20. Se comprenderá que las modalidades descritas son simplemente ilustrativas de las muchas modalidades específicas posibles que se pueden idear para representar la aplicación de los principios del invento. Los expertos en la materia pueden idear otros dispositivos numerosos y variados sin desviarse del espíritu y alcance del invento y empleando los principios del mismo. En particular la forma modular de enfocar el problema empleada en el crecimiento de las capas permite una gran variación de procedimientos de crecimiento que son útiles para formar dispositivos ópticos integrados monolíticos sin construir una navicilla de crecimiento enteramente nueva por cada secuencia de capas epitaxiales que se desee. Además, la variación de las propiedades de una capa, obtenidas empleando un módulo apropiadamente diseñado, no influye en las condiciones de crecimiento de las capas adyacentes. A pesar de que el em-
- 25.
- 30.

- pleo de la máscara 70 permite el crecimiento de segmentos de capa con cantos de sección decrecientes esta técnica se puede emplear también para dejar una zona de la guiondas expuesta, como es el canal 19 de la figura 3. La sección guiondas de heteroestructura simple pasiva formada de este modo podría proporcionar aislamiento eléctrico entre dispositivos adyacentes y sobre la guiondas expuesta se podrían realizar operaciones de elaboración diversas bien conocidas para construir componentes tales como reflectores Bragg distribuidos, filtros de transmisión, guiondas de nervadura para mejorar el control del modo de guiondas pasivo lateral, y otros dispositivos cuyo funcionamiento no exija recrecimiento de capas de revestimiento. La capacidad de controlar independientemente el ángulo de divergencia por la zona 14.1 permite conseguir un punto óptimo del acoplamiento láser a fibras ópticas. Además, se puede emplear también epitaxia de haz molecular (MBE) para desarrollar capas con zonas de sección decreciente. Tanto el LPE como el MBE son en general idóneos para el crecimiento de capas de compuesto del grupo III (a) - V (a), según es bien conocido .

Fabricación: MBE

- Se han conseguido secciones decrecientes extremadamente uniformes y graduales con una gran eficacia de acoplamiento por MBE. La estructura comprende un sustrato de GaAs sobre el que se forman tres capas:  $Al_{0,3}Ga_{0,9}As$ ,  $Al_{0,1}Ga_{0,9}As$  y GaAs. La capa de GaAs era una capa de sección decreciente. Las dos capas de AlGaAs se formaron empleando técnicas clásicas de MBE descritas en la patente EE.UU. número 3.615.931 y Cho (J. Vac. Sc. and Tech., volumen 8, página 531 (1971)). El sustrato se mantuvo a aproximadamente  $+600^{\circ}C$  y las proporciones de creci

5. miento fueron de aproximadamente 1  $\mu\text{m}$  por hora. Antes de comenzar el crecimiento de la capa de GaAs, se colocó una máscara de tántalo de 0,25 mm de espesor de bordes afilados aproximadamente a 1,4 mm por encima de la superficie del subtrato, enmascarando una parte del mismo dejándola aislada de las fuentes de Ga As situadas aproximadamente a 60 mm de la máscara. La capa de GaAs se formó entonces sobre las regiones sin enmascarar, terminando en secciones decrecientes lineales de aproximadamente 200  $\mu\text{m}$  de anchura que crecían en las áreas de penumbra de los bordes de las máscaras. Estas zonas de sección decreciente eran extremadamente uniformes excepto en la franja de 20  $\mu\text{m}$  de anchura cerca del borde de espesor cero de la zona de sección decreciente. La transmisión óptica a través de esta zona de sección decreciente era de aproximadamente 84% cerca de la separación de banda de GaAs ( $\lambda = 0,93 \mu\text{m}$ ) y casi 100% en 1,06  $\mu\text{m}$  empleando una fuente de rayos láser. Las observaciones de la superficie demostraron que la pérdida principal resultaba por difusión de la zona de sección decreciente en la parte basta, franja de 20  $\mu\text{m}$  de anchura, que aumenta según se reduce la longitud de onda.

10.

15.

20.

25. Para reducir la región de crecimiento deficiente de GaAs en el borde de la sección decreciente, se dispuso una abertura en forma de ranura por delante del cañón de Ga de 9,5 mm de diámetro, limitando la fuente a una región de flujo relativamente uniforme y eliminando las paredes interiores del cañón, con lo cual se producía una densidad de flujo menor. Se consiguió una mejora notable. El perfil visto en un microscopio de interferencia era sensiblemente más lineal, la zona basta se redujo a solamente unas cuantas  $\mu\text{m}$ , y la eficacia de acoplamiento aumentó al 100% esencialmente en

30.

5. todas las longitudes de ondas. Las zonas de sección decreciente eran también ligeramente más cortas en longitud, aproximadamente 160  $\mu\text{m}$ . El mejor comportamiento podría atribuirse a un área reducida de lento crecimiento ( $\leq 0,1 \mu\text{m/hora}$ ) en el borde de espesor cero de la sección decreciente resultante de la abertura del cañón.

N O T A

10. Descrita suficientemente la naturaleza del invento así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental. También se hace constar que el invento  
15. corresponde a una solicitud de patente presentada en Norteamérica con el nº 557.250 de 11 de Marzo de 1.975, acciéndose por lo tanto a los beneficios que conceden los Convenios Internacionales en vigor, siendo lo que constituye la esencia del referido invento y por lo que se solicita Patente de Invención  
20. por 20 años en España sobre: PERFECCIONAMIENTOS EN APARATOS PARA PRODUCIR DISPOSITIVOS OPTICOS DE DOBLE HETEROESTRUCTURA; caracterizándose por lo siguiente:

25. 1.- Perfeccionamientos en aparatos para producir dispositivos ópticos de doble heteroestructura, del tipo que comprenden un receptáculo para solución fuente que tiene por lo menos una cavidad para llevar una solución fuente y un receptáculo para sustrato que tiene un rebajo para llevar un sustrato, siendo móviles entre sí los receptáculos de la solución y el sustrato para poner la solución y el sustrato en contacto,  
30. caracterizados porque dicha cavidad por lo menos comprende

una máscara plana delgada situada en el fondo de dicha cavidad por lo menos manteniendo una relación de corta distancia con el substrato, siendo la máscara eficaz para proteger la parte del substrato situada por debajo contra la solución fuente, formándose una sección decreciente en el borde de dicha máscara.

5.

2.- Perfeccionamientos según la reivindicación 1, caracterizados porque el aparato comprende un módulo hueco separable que se ajusta apretado en dicha cavidad por lo menos, el módulo está abierto en su fondo y parte superior para que la solución se pueda depositar en el mismo y ponerse en contacto con el substrato, y la máscara se fija de un lado a otro del fondo o parte inferior abierta del módulo.

10.

3.- Perfeccionamientos en aparatos para producir dispositivos ópticos de doble heteroestructura, tal y como queda sustancialmente descrito en la presente Memoria y en los dibujos adjuntos.

15.

Esta Memoria consta de dieciocho hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 22 ENE 1976

WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED.

L. GOMEZ ACEVEDO Y MODELO

Asesorado: L. Gomez Ferraz

