

372697

III.

HAYASHI, I. 2/3

372697



SECCION TECNICA
CLASIFICACION I. P. C.
CLASE <u>H-01</u>
SUBCLASE <u>S</u>

PATENTE DE INVENCION

a favor de

WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED., de nacionalidad norteamericana, domiciliada en 195, Broadway - NEW YORK, N.Y. (EE.UU.).

por:

"Laser de inyección de semiconductor".

-----:oOo:-----
M e m o r i a d e s c r i p t i v a

La presente invención se refiere a un laser de inyección de semiconductor y más particularmente al funcionamiento del mismo empleando un efecto de confinamiento.

POOR
QUALITY



En 1952, R.N. Hall y otros hicieron constar en la publicación Physical Review Letters 9, 366 su observación de la emisión luminosa coherente producida por recombinación de huecos de electrones en uniones p-n de GaAs. Típicamente, los lasers GaAs se fabrican difundiendo zinc en obleas de GaAs tipo n con concentraciones de donador en el orden de $10^{18}/\text{cm}^3$. Para detalles estructurales, véase la obra Masers and Lasers de Thorp, J.S., Capítulo 10, St. Martin's Press, New York (1967). También se han construido lasers de inyección a partir de otros semiconductores, por ejemplo, InP, InAs e InSb. Sin embargo, todos estos lasers se fabrican a partir de una clase de material semiconductor en el que los intervalos de banda son iguales en cualquier lado de la unión. El semiconductor es usualmente monocristalino, como es explicado por R.N. Hall en la patente estadounidense 3.245.002. En el laser de unión de semiconductor se produce radiación coherente a partir de transiciones de electrones entre bandas anchas de energía, es decir, entre bandas de valencia y de conducción. Estas uniones, y en particular las uniones de GaAs, son bombeadas principalmente mediante la inyección de electrones en el lado p de la unión por aplicación directa de una corriente eléctrica. El proceso de inyección determina una inversión de la población entre un par de niveles de energía electrónica cuando es bombeada a una frecuencia suficientemente rápida y con suficiente entrada de potencia. En lasers de semiconductor este umbral de potencia puede llegar a 10^8 o 10^9 vatios/ cm^3 (o 10^5 vatios/ cm^2) a temperatura ambiente, mientras que en los lasers de gas o cristal la potencia de bombeo necesaria es usualmente del orden de 1 a 1000 vatios/ cm^3 . Desde lue-



go, las enormes necesidades de potencia de los lasers de semiconductor a temperatura ambiente no se pueden mantener mucho tiempo sin perjudicar el semiconductor.

Sin embargo, se sabe que el umbral de potencia (o, equivalentemente, la densidad de corriente) en las primeras instalaciones conocidas es aproximadamente proporcional al cubo de la temperatura absoluta en la temperatura próxima a la ambiente. En consecuencia, los lasers de semiconductor funcionan generalmente con mayor facilidad en medios ambientes de temperatura baja. Por ejemplo, los lasers GaAs funcionan a temperaturas de nitrógeno líquido (77°K) con un umbral de 1000 ampers./cm² aproximadamente. Hasta la fecha, la temperatura más elevada de funcionamiento en onda continua es de 200°K y ha sido conseguida por J.C. Dymont y L.A. D'Asaro y otros, tal como se expone en la obra Applied Physics Letters 11, 292 (1967).

La invención se refiere a un laser de inyección de semiconductor que permite el funcionamiento en onda continua a las temperaturas más elevadas posibles hasta la fecha mediante la utilización de una estructura de diodo única, la cual, como se describirá más adelante con mayor detalle, reduce el coeficiente de temperatura del umbral. En una forma de realización ilustrativa, la invención comprende dos materiales semiconductivos que tienen diferentes intervalos de banda con una unión p-n situada en la región de banda estrecha y separada del contorno de fase según una distancia menor que la longitud de difusión de las portadoras minoritarias, lo que define una región de intervalo de banda estrecha, y una región intermedia entre el contorno de fase y la unión p-n, y una región de intervalo de banda



ancha. Un efecto de confinamiento producido por una etapa de energía en la banda de conducción permite el funcionamiento del laser en onda continua a temperaturas más elevadas y con menores umbrales que como ha sido posible hasta la fecha, teniendo lugar la recombinación radiactiva de los huecos de electrones entre las bandas de conducción y de valencia.

En el umbral se produce una reducción adicional si en el intervalo de banda estrecha y/o la región intermedia existen niveles de impureza de profundidad o terminales de banda de profundidad cerca de la banda de valencia, en cuyo caso el funcionamiento del laser en onda continua se consigue mediante la recombinación de los huecos de electrones entre la banda de conducción y los niveles de profundidad. Aún se puede conseguir una ulterior mejora en el coeficiente de temperatura del umbral proveyendo terminales de banda de profundidad cerca de la banda de conducción en añadidura a los niveles de profundidad próximos a la banda de valencia. En un ejemplo de una forma de realización, los dos materiales semiconductivos utilizados son GaAs y un cristal mixto de $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ o $p\text{-GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ en los que el intervalo de banda en el cristal mixto es el mayor.

En los dibujos:

La figura 1 es una vista esquemática de una instalación de la invención.

La figura 2A es un diagrama de nivel de energía para un dispositivo polarizado hacia delante de acuerdo con una forma de realización ilustrativa de la invención.

La figura 2B es un diagrama de nivel de energía para un dispositivo polarizado hacia delante y con estados pro-



fundos de acuerdo con otra forma de realización de la invención.

5 Las figuras 3A y 3B son diagramas de nivel de energía con relación a densidad de estados a bajas y a elevadas temperaturas, respectivamente, para estructuras convencionales de laser.

10 La figura 3C es un diagrama de nivel de energía con relación a densidad de estados en la región intermedia, considerada como de tipo p, a temperaturas elevadas en una estructura que presenta un efecto de confinamiento de acuerdo con la invención.

15 La figura 4A es un diagrama de nivel de energía a temperatura elevada con relación a densidad de estados, que muestra la situación relativa de estados de impurezas profundos cerca de la banda de conducción de acuerdo con la invención.

20 La figura 4B es un diagrama de nivel de energía a temperatura elevada con relación a densidad de estados que ilustra la situación relativa de estados de aceptor profundos cerca de la banda de valencia de acuerdo con la invención; y

25 La figura 4C es un diagrama de nivel de energía a temperatura elevada con relación a densidad de estados que muestra la situación relativa de estados de terminal de banda profundos de acuerdo con la invención.

En las figuras, los símbolos representan:

- t - n tipo n
- t - p " p
- u p-n unión p-n
- 30 B banda de conducción



	I	inyección de electrón
	R	recombinación radiactiva
	RI	región intermedia
	C	contorno de fase
5	G	grada
	EP	estados profundos
	H	huecos
	IH	inyección de hueco
	E	energía
10	DBT	densidad de estados (baja temperatura)
	DTE	" " " (temperatura elevada)
	ND	nivel, de impureza donador
	NA	" " " aceptador
	T	terminales de banda profundos
15	D	densidad de estados

En la figura 1 se representa, de acuerdo con una disposición ilustrativa de la invención, un laser de inyección de semiconductor -10- quem comprende capas de intervalo de banda anchas y estrechas respectivamente -12- y -14- fabricadas con diferentes materiales semiconductores dispuestos sobre un disipador de calor -16-. A través de la estructura está conectada una fuente de corriente -18- por medio de electrodos -20- y -22- depositados respectivamente en la superficie superior de la capa -12- y entre el disipador de calor -16- y la capa -14-. Entre un contorno de fase -23- y una unión p-n -25- se define una región intermedia -24- estando la unión pn -25- situada en la capa de intervalo de banda estrecha -14-. Cuando el dispositivo es polarizado hacia delante y bombeado por la fuente -18- emite radiación coherente -26- en el plano de la región -24-

- 7 - 372697



como se ilustra. Las dos superficies opuestas -28- y -30-, que son perpendiculares al plano de la región intermedia -24-, se pulen o hacen planas y paralelas mediante técnicas ya conocidas dentro de pequeñas longitudes de onda de la radiación coherente para formar un resonador óptico paralelo plano. Las otras dos superficies -32- y -34- perpendiculares a la región -24- se hacen a menudo rugosas. Para mejorar el Q de la cavidad óptica se puede utilizar un revestimiento reflector en las superficies pulidas -28-, -30- o una estructura que tiene cuatro lados pulimentados.

Como ya se ha dicho anteriormente, una ventaja de la invención consiste en que el laser de inyección tiene una estructura de diodo única que presenta un efecto de confinamiento, cuya finalidad se explicará mas adelante. El diodo comprende dos materiales semiconductivos que tienen diferentes intervalos de banda con una unión p-n situada en la región de intervalo de banda estrecha y separada del contorno de fase (es decir, el contorno físico entre los diferentes materiales semiconductivos) según una distancia d menor que la longitud de difusión de las portadoras minoritarias (es decir, inyectadas) a la temperatura de funcionamiento del dispositivo. Típicamente, la longitud de difusión es aproximadamente de l_p , pero según los niveles de impurificación y otros parámetros, puede ser mayor.

La unión p-n y el contorno de fase separados definen así tres regiones interesantes: una región de intervalo de banda estrecha de un tipo de conductividad, una región intermedia, y una región de intervalo de banda ancha de un segundo tipo de conductividad. La región intermedia puede tener un intervalo de banda efectivo igual, o ligeramente menor,



que el de la región de intervalo de banda estrecha, y generalmente es del mismo tipo de conductividad que la región de intervalo de banda ancha, aunque puede estar ligeramente menos impurificado que la región de intervalo de banda ancha.

5 A continuación se hará una distinción entre el intervalo de banda y el intervalo de banda efectivo de un semiconductor. El intervalo de banda se define como la diferencia de energía entre la energía mínima en la banda de conducción y la energía máxima en la banda de valencia de un semiconductor no impurificado.

10 Sin embargo, en presencia de una densidad suficientemente elevada de impurezas, ya sean de donador, o de aceptador, existen terminales de banda en la banda de valencia y en la de conducción. En consecuencia, la distribución de energía es una función asintótica y por ello no están claramente
15 definidos los citados mínimo y máximo. Por tanto, un intervalo de banda efectivo se definirá como sigue. Hallar el nivel de energía próximo (justamente por debajo) de la zona inferior de la banda de conducción, de modo que de los estados de aceptador introducidos se hallen tantos encima
20 como debajo de dicho nivel. Hallar un nivel similar próximo a la zona superior de la banda de valencia. La diferencia entre dichos dos niveles se denomina el "intervalo de banda efectivo".

25 En la descripción que sigue se supondrá con fines ilustrativos que el tipo de conductividad de la región de intervalo de banda estrecha, de la región intermedia, y de la región de intervalo de banda ancha es n-p-p, respectivamente. El intervalo de banda efectivo de cada una de dichas regiones se denominará E_{gn} , E_{gi} y E_{gp} , respectivamente.



Como se muestra en la figura 2A, mediante polarización hacia delante, electrones (en portadoras minoritarias generales) de la banda de conducción son inyectados a través de la unión p-n en la región intermedia hacia el contorno de fase. Cuando se establece una inversión de la población entre las bandas de conducción y de valencia, y se sobrepasa el umbral de funcionamiento de laser, tiene lugar una recombinación radioactiva estimulada entre electrones de la banda de conducción y huecos de la banda de valencia. En las estructuras de diodo usuales los electrones inyectados atraviesan la unión al ser polarizados hacia delante y, no siendo restringidos como un contorno de fase, difunden más profundamente en la región p, con lo que disminuye la intensidad de electrones que pasan por recombinación en la región donde tiene lugar la emisión estimulada, y en virtud de ello aumenta el umbral. Sin embargo, en la presente invención los electrones inyectados en la región intermedia son confinados en ella por la fase de energía (Fig. 2A) creada por el hecho de que $E_{sp} > E_{gi}$. Esta grada de energía impide a los electrones que atraviesan el contorno de fase y por ello los confina en la región intermedia. En consecuencia, la densidad de electrones en la región intermedia es mayor que la que se obtendría sin confinamiento. Esta densidad aumentada de electrones reduce el umbral de funcionamiento de laser y puede ser fácilmente comprendido con referenciamas las figuras 3A, 3B y 3C. Las figuras 3A y 3B ilustran la energía con relación a la densidad de estados de estructuras convencionales a bajas y a elevadas temperaturas, respectivamente, y la figura 3C se refiere a una estructura a temperaturas elevadas y que presenta un efecto de confinamiento de acuerdo con



la invención. Con fines comparativos, se supone que la densidad de corriente aplicada es la misma en la estructura convencional de la figura 3B y en la invención de la figura 30.

5 Antes de describir dichas figuras con detalle, se debe hacer constar un principio fundamental del funcionamiento del laser semiconductor: que solamente los electrones que tienen energías próximas al nivel de Fermi en la banda de conducción (E_{F_c}) y los huecos con energías próximas al nivel de Fermi en la banda de valencia (E_{F_v}) pueden contribuir al funcionamiento del laser, por lo que las palabras "próximamente" significan que las energías portadoras se encuentran dentro de aproximadamente 1 a 2 kT del nivel de Fermi.

15 Como se indica en la figura 3A, a bajas temperaturas, los electrones ocupan el 100% de los estados en la banda de conducción hasta E_{F_c} y los huecos ocupan (o se hallan ausentes electrones de) el 100% de los estados en la banda de valencia por encima de E_{F_v} . Por ello, existe teóricamente inversión de población perfecta entre dichas dos energías de Fermi E_{F_c} y E_{F_v} . Sin embargo, como se muestra en la figura 3B, los electrones de portadora minoritaria son distribuidos hasta los niveles de energía más elevados debido a la excitación térmica. En consecuencia, ahora existe una mayor fracción de los electrones a energías más elevadas, lejos de (es decir, mayores de 1 a 2kT aproximadamente) el nuevo nivel de Fermi $E_{F_c}^1$ en la banda de conducción. En la banda de valencia se produce un cambio de distribución similar, pero en menor grado. El efecto combinado de dichos cambios de distribución es que la fracción de electrones

20

25

30



que pueden contribuir al funcionamiento del laser disminuye con el aumento de temperatura, lo que a su vez implica umbrales más elevados a temperaturas más altas (es decir, eficiencia reducida).

5 No obstante, en la presente invención, debido al citado efecto de confinamiento, aumenta la densidad de electrones en la región intermedia, como se muestra en la porción superior de la figura 3C. Por otra parte, el nuevo nivel de Fermi E_{F0}'' está en un nivel de energía más elevado que
10 el de las estructuras usuales (o sea más elevado de E_{F0}' (figura 3B). En consecuencia, como se ilustra en la figura 3C, una mayor parte de electrones se distribuye "cerca" del nivel de Fermi E_{F0}'' y por ello una mayor parte de electrones puede contribuir al funcionamiento del laser, lo cual reduce
15 el umbral.

La estructura n \bar{p} -p representada en la figura 2A tiene una característica adicional que se deriva del hecho de que el intervalo de banda efectivo E_{gn} en la región intermedia es menor que el intervalo de banda efectivo E_{gn} en el lado n (es decir, que generalmente el intervalo de banda efectivo en la región intermedia es inferior al de la región de intervalo de banda estrecha). En consecuencia, se evita que
20 los orificios de la región intermedia se difundan en el lado n que contribuye eficazmente a disminuir el umbral del funcionamiento del laser.
25

Un laser típico construido de acuerdo con los aludidos principios de la invención ha funcionado a aproximadamente 9000 Å cuando es bombeado a temperatura ambiente con una densidad de corriente de menos de 10.000 amp/cm². La estructura comprende GaAs tipo n. impurificado con Sn y que tiene:
30



4,2 $\times 10^{18}$ electrones/cm³. Fué formada una región Al_xGa_{1-x}As tipo p de intervalo de banda ancha empleando una técnica de vuelco a 1000°C (en la que el cristal mixto se desarrolla epitaxialmente sobre un cristal simple de GaAs) aplicada a 5 1 gm de Ga, 3,84 mg de Al, 200 mg de GaAs y 10 mg de Zn. La región intermedia fué formada mediante difusión de Zn en el GaAs tipo n. Las dimensiones típicas (en milésimas) son, con referencia a la Fig. 1, a = 14, b = 0,5, b' = 4, c = 6. Las regiones de intervalo de banda estrecha, intermedia y 10 de intervalo de banda ancha tienen profundidades de, respectivamente, 5-6 milésimas, 1,5 μ y 20 μ . Para mejorar la eliminación de calor del dispositivo, la región de intervalo de banda estrecha (por ejemplo, n-GaAs) puede ser considerablemente más delgada (por ejemplo, < 0,5 mil.).

15 Además del efecto de confinamiento, se pueden proveer estados de profundidad, ya sea estados profundos de impureza aislada o estados profundos de terminal de banda, cerca de la banda de valencia en la región de intervalo de banda estrecha, como se ilustra en la figura 2B que, con fines de ilustración, se considera nuevamente una estructura 20 tipo n-p-p (correspondiendo n-p-p al tipo de conductividad de las regiones de intervalo de banda estrecha, intermedia, y de intervalo de banda ancha, respectivamente). Así, en la figura 2B, los estados profundos se han provisto en por lo 25 menos la región tipo n de banda estrecha. En este caso la fuente de corriente-l8- (fig. 1) produce una inversión de la población entre electrones en la banda de conducción y los huecos en los estados profundos, y la consiguiente recombinación radioactiva de los huecos y los electrones determina 30 radiación coherente de funcionamiento en onda continua, como



se representa con la doble flecha en la región de intervalo de banda estrecha tipo n. Sin embargo, también es posible que la recombinación radioactiva ocurra en la región intermedia. En la estructura de estados profundos, el contorno de
5 gase sirve principalmente para controlar el tipo de inyección de portadora minoritaria que es dominante. En la estructura n-p-p es dominante el hueco de inyección desde la banda de valencia en los estados profundos sobre el lado n. En este dispositivo puede ser conveniente que \bar{d} sea muy pequeño, por
10 ejemplo que \bar{d} sea mucho menor que la longitud de difusión de las portadoras minoritarias. Ilustrativamente, la radiación a temperatura ambiente es el infrarrojo próximo de alrededor de 1,30 ev (9500Å) para un laser de inyección en el que los dos materiales semiconductores empleados son GaAs y cristal
15 mixto de p-Al_xGa_{1-x}As en los que son creados estados de impureza profunda mediante impurificación con Mn y el intervalo de banda mayor está en el cristal mixto.

Otra ventaja de la invención consiste en la reducción adicional del coeficiente de temperatura del umbral mediante
20 la provisión de estados de terminal de banda profunda cerca de la banda de conducción. Esta técnica se explicará con mayor detalle luego.

Los siguientes materiales y parámetros son solamente ilustrativos y no se deben interpretar como limitación en el
25 marco de la invención. Un laser de inyección de semiconductor, como se representa en la figura 1, se puede construir utilizando: una capa de intervalo de banda estrecha -14- (de tipo n excepto para la región intermedia -24-) que comprende GaAs desarrollado a partir de una solución de Ga que contiene de
30 1 a 10 mg de Mn y 0,1 a 2 mg de Te por 1 g de Ga; una capa



-12- de intervalo de banda ancha tipo p que comprende p-Al_xGa_{1-x}As (X = 0,1 a 0,5), es decir, un cristal mixto de AlAs y GaAs desarrollado a partir de una solución de Ga que contiene 1 a 10 mg de Zn, 1 a 10 mg de Mn y 1 a 10 mg de Al por 1 g de Ga y electrodos -20- y -22- que comprenden, respectivamente, Ti y Au y Sn y Ni. Las dimensiones típicas son (en milésimas) a=15, b'=4, b=0,5 y c=6. La profundidad de las regiones de intervalo de banda ancha y estrecha respectivamente es típicamente 20μ y 0,5 milésimas, mientras que el grueso de la región intermedia es, como se ha dicho anteriormente, preferiblemente mucho menor que la longitud de difusión de las portadoras minoritarias.

La siguiente descripción se refiere a varios problemas relacionados con un laser de GaAs, pero los problemas y soluciones que se indican son aplicables igualmente a los lasers de semiconductor que utilizan otros materiales, como InP, InAs e InSb.

Como se ha dicho anteriormente, uno de los problemas serios de los lasers de inyección de GaAs usuales estriba en el hecho de que la densidad de corriente de umbral para el funcionamiento del laser aumenta muy rápidamente con la temperatura próxima a la ambiente, es decir, es aproximadamente proporcional a T³ de modo que el umbral en temperatura ambiente es aproximadamente de cincuenta a 100 veces mayor que ala temperatura del nitrógeno líquido (77°K). En consecuencia, el laser de inyección de GaAs, que funciona fácilmente a las temperaturas del nitrógeno líquido, requiere grandes densidades de corriente (por ejemplo, de 30.000 amp/cm²) donde ha sido posible solamente el funcionamiento por impulsos y no por onda continua.



La causa principal de esta dependencia de temperatura exponencial del umbral es el cambio de distribución de portadoras con temperatura en las bandas de conducción y de valencia como se ha explicado antes con referencia a las figuras 3A y 3B.

5 El umbral elevado a temperaturas altas se puede atenuar mediante, además del empleo del efecto de confinamiento, la modificación de la forma de banda con arreglo a los preceptos de la invención como se dijo sucintamente en la anterior sección y tal como se describirá con relación a las figuras 4A,
10 4B y 4C que representan la energía con relación a la densidad de estados a una temperatura elevada.

Una técnica de estado profundo podría consistir en proveer estados de impureza aislados (donadores) cerca de la banda de conducción en un laser de semiconductor convencional
15 (por ejemplo, GaAs) que funciona con seguridad principalmente con inyección electrónica. La palabra "profundo" significa que la separación de energía E_D entre la parte inferior de la banda de conducción y los estados de impureza (como se representa en la figura 4a) es por lo menos varias veces kT
20 (por ejemplo, de 2 a 6 kT), donde k es la constante de Boltzmann y T es la temperatura absoluta del dispositivo. Si se cumple esta condición, los electrones en el nivel de impureza no serán bombeados por excitación térmica en la banda de conducción. Así, se mantendría a temperaturas más elevadas la inversión de la población entre portadoras en el nivel de impureza y la banda de valencia. Sin embargo, subsiste un problema. La energía E_D , en una primera aproximación, es proporcional en el patrón hidrógeno a m_e/ϵ^2 , donde
25 m_e es la masa electrónica efectiva y ϵ es la constante dieléctrica. En semiconductores de GaAs y en otros semiconducto-



res similares tales como InP, InAs e InSb, m_p es demasiado pequeña para producir un nivel donador aislado discreto distinguible de la banda de conducción (es decir, E_D es típicamente solo 3 o 4 meV en GaAs, mientras que $kT = 26$ meV a temperatura ambiente). En consecuencia, es difícil conseguir un elemento de impureza que produzca los estados donadores profundos necesarios para mantener la inversión de la población a temperaturas más elevadas.

Por otra parte, la masa de huecos efectiva m_h es mucho mayor que m_e (por ejemplo, $m_h \approx 10m_e$ en GaAs). En consecuencia, de acuerdo con el patrón hidrógeno, los niveles de aceptor, como se representa en la figura 4B, serían mucho más profundos (por ejemplo, E_A se halla 30 o 40 meV por encima de la banda de valencia en GaAs) que los niveles de donador. Además, varios elementos, tales como Mn , Co, Ni, Cu o Au producen niveles de aceptor más profundos que 100 meV por encima de la banda de valencia en GaAs. Sin embargo para utilizar uno de estos niveles de aceptor con el fin de obtener más inversiones de población estables a temperaturas más elevadas, es conveniente que se satisfaga cierto criterio en la región donde tiene lugar la recombinación radioactiva. A saber: (1) la densidad de electrones en la banda de conducción tiene que ser bastante elevada para ser relativamente insensible a los cambios de distribución producidos por excitación térmica, y (2) los huecos deben ocupar completamente los estados de aceptor profundo, pero unos pocos huecos han de ocupar estados en la banda de valencia, y la densidad de los huecos en los estados de aceptor debe ser tal que mediante recombinación determine suficiente intensidad para el funcionamiento del laser.



Dichos criterios se satisfacen en un laser de inyección de semiconductor de acuerdo con la invención que, como se ha dicho anteriormente, comprende dos materiales semiconductivos con diferentes intervalos de banda, una unión p-n en el material de intervalo de banda estrecha separada del límite de fase según una distancia menor que la longitud de difusión de las portadoras minoritarias, lo que define, como se ha explicado, una región intermedia entre la unión y el contorno de fase. Además, se proveen estados de aceptador "aislados" profundos en la región intermedia y/o en la de intervalo de banda estrecha mediante impurificación adecuada. Esta estructura crea una fase de energía (figuras 2A y 2B) en la banda de conducción que evita la difusión electrónica después del contorno de fase en el lado de intervalo de banda ancha. Como consecuencia de este efecto de confinamiento, y como se ha dicho con anterioridad, cuando se polariza hacia delante, se mantiene la densidad electrónica de la capa intermedia de un valor más elevado que el que se obtiene en las estructuras convencionales sin el efecto de confinamiento. Así, se satisface la condición (1). Mediante una polarización hacia delante adecuada y con una oportuna adulteración de impureza del aceptador se cumple la condición (2).

Alternativamente, como se muestra en la figura 4C, se pueden proveer estados profundos mediante elevada impurificación (por ejemplo, de $10^{19}/\text{cm}^3$) que crea en la región intermedia y/o en la de intervalo de banda estrecha estados profundos de terminal de banda, en lugar de estados profundos de impureza aislada, que se extienden desde la banda de valencia y/o la banda de conducción hasta el intervalo prohibido. Dichos terminales de banda como con los estados de



impureza profunda, mantienen relativamente constante la distribución portadora a pesar de la excitación térmica, con tal que estén a varios kT desde el borde de banda. Impurificadores típicos que pueden producir terminales de banda de conducción y de valencia comprenden Si, Ge y Sn. Por el contrario, Te por separado producirá terminales de banda de conducción, mientras que Zn por separado determina terminales de banda de valencia. Además, los cristales mixtos como $In_xGa_{1-x}As$ son particularmente sensibles a la existencia de terminales de banda profundos, es decir, una estructura de diodo en la que los dos materiales semiconductores son un cristal mixto de $In_xGa_{1-x}As$ y p-GaAs en el que cristal mixto tiene el intervalo de banda más estrecha. De acuerdo con una variante, el cristal mixto $GaAs_{1-x}Sb_x$ puede ser substituido por $In_xGa_{1-x}As$.

Es fácilmente posible realizar una cavidad de elevado Q en las dos formas de realización de la invención, que emplea solamente el efecto de confinamiento y comprende estados profundos, en comparación con los diodos de laser convencionales. En la invención el empleo de materiales contiguos de intervalo de banda estrecha y ancha, que tienen por ello diferentes índices de refracción, crea una superficie de contacto en el límite de fase que tiende a evitar pérdida de radiación en el material de intervalo de banda ancha. Además, la utilización del material de intervalo de banda más ancho disminuye la absorción de radiación estimulada debido a que la radiación tiene lugar en el intervalo de banda más estrecha o región intermedia. Así, la energía asociada con la radiación es menor que el intervalo de banda en el lado de intervalo de banda ancha y por ello no puede ser absorbi-



do muy eficazmente. Puede ser especialmente conveniente el utilizar la citada cavidad de alto Q en la forma de realización de la invención que emplea estados profundos puesto que la densidad de estados que contribuye al funcionamiento del laser es algo menor que en la estructura básica que emplea solamente el efecto de confinamiento. Para obtener una cavidad de alto Q se ha de disminuir la pérdida de reflexión en los espejos de la cavidad. Con este fin se puede utilizar un revestimiento altamente reflectante en las superficies de espejo, o una forma completamente reflectora en una cavidad de espejo de cuatro lados. Dicha estructura de alto Q reduce la densidad de corriente de umbral y ello disminuye la potencia de entrada, uno de los factores que limita la temperatura de funcionamiento.

N O T A

Se reivindica como objeto de la presente patente de invención:

1.- Laser de inyección de semiconductor, del tipo que comprende un medio activo que consta de un primer y un segundo materiales semiconductivos contiguos, caracterizada o porque dichos materiales tienen intervalos de banda distintos, entre los cuales existe un contorno de fase, estando situada en el material de intervalo de banda más estrecha una unión p-n separada del límite de fase según una distancia menor que la longitud de difusión de los portadores minoritarios, lo cual, define una región de intervalo de banda estrecha, una región intermedia entre la unión p-n y el contorno de fase, y una región de banda ancha.

2.- Laser de inyección de semiconductor, según la



reivindicación 1, caracterizado porque los portadores minoritarios son inyectados a través de la unión p-n en la región intermedia, teniendo lugar la recombinación de radiación principalmente en la región intermedia.

5 3.- Laser de inyección de semiconductor, según la reivindicación 2, caracterizado porque la región de intervalo de banda más estrecha es de tipo n, la región intermedia es de tipo p, la región de intervalo de banda más ancha es de tipo p y los portadores minoritarios son electrones.

10

4.- Laser de inyección de semiconductor, según la reivindicación 1, caracterizado porque el intervalo de banda efectivo en la región intermedia es menor que el intervalo de banda efectivo en la región de intervalo de banda más estrecha.

15

5.- Laser de inyección de semiconductor, caracterizado porque en combinación con los estados de aceptador profundos cerca de la banda de valencia en la región intermedia hay radiación de recombinación coherente estimulada que tiene lugar principalmente en la región intermedia entre los electrones de la banda de conducción y los huecos de los estados profundos.

20

6.- Laser de inyección de semiconductor, según la reivindicación 1, caracterizado porque en combinación con los estados de energía de aceptador profundos cerca de la banda de valencia en por lo menos la región de intervalo de banda más estrecha hay radiación de recombinación coherente estimulada que tiene lugar principalmente en las regiones de intervalo de banda más estrechas entre los electrones de la banda de conducción y los huecos de los estados profundos.

25

30



7.- Laser de inyección de semiconductor, según la reivindicación 6, caracterizado porque la región de intervalo de banda más estrecha es de tipo n, la región intermedia es de tipo p y la región de intervalo de banda más ancha es de tipo p, y donde los portadores minoritarios son huecos inyectados en los estados profundos de la región de tipo n.

8.- Laser de inyección de semiconductor, según la reivindicación 6, caracterizado porque los estados profundos son estados de aceptador aislados profundos cerca de la banda de valencia.

9.- Laser de inyección de semiconductor, según la reivindicación 6, caracterizado porque los estados profundos son estados de aceptador de terminal de banda profundos.

10.- Laser de inyección de semiconductor, según la reivindicación 8, caracterizado porque en combinación con los estados de donador de terminal de banda profundos cerca de la banda de conducción hay radiación de recombinación coherente estimulada que tiene lugar entre los electrones de los estados de donador y los huecos de los estados de aceptador.

11.- Laser de inyección de semiconductor, según la reivindicación 9, caracterizado porque en combinación con los estados de donador de terminal de banda profundos cerca de la banda de conducción hay radiación de recombinación coherente estimulada que tiene efecto entre los electrones de los estados de donador y los huecos de los estados de aceptador.

12.- Laser de inyección de semiconductor, según la reivindicación 1, caracterizado porque el material de intervalo de banda más ancha comprende p-GaAs, y el material de



intervalo de banda más estrecha comprende un cristal mixto seleccionado del grupo constituido por $In_xGa_{1-x}As$ y $GaAs_{1-x}Sb_x$.

5 13.- Laser de inyección de semiconductor, según la reivindicación 1, caracterizado porque el material de intervalo de banda más estrecha comprende GaAs, y el material de intervalo de banda más ancha comprende un cristal mixto de tipo p seleccionado del grupo constituido por $Al_xGa_{1-x}As$ y $GaAs_{1-x}P_x$.

10 14.- Laser de inyección de semiconductor.

Esta memoria consta de veinte y dos páginas escritas por una sola cara.

BARCELONA, 9 OCT. 1969

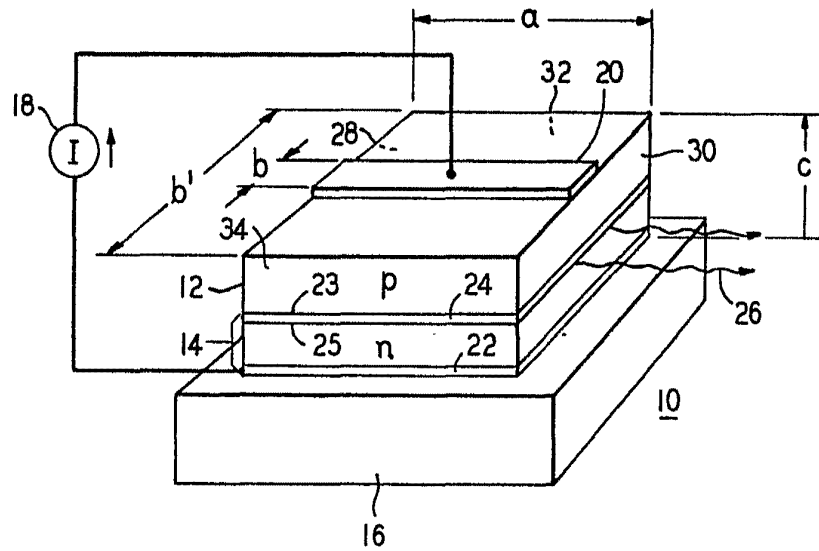
P. A.

372697

HAYASHI, I. 2/3



FIG. 1



REC. AUTORIZACION
[Handwritten signature]

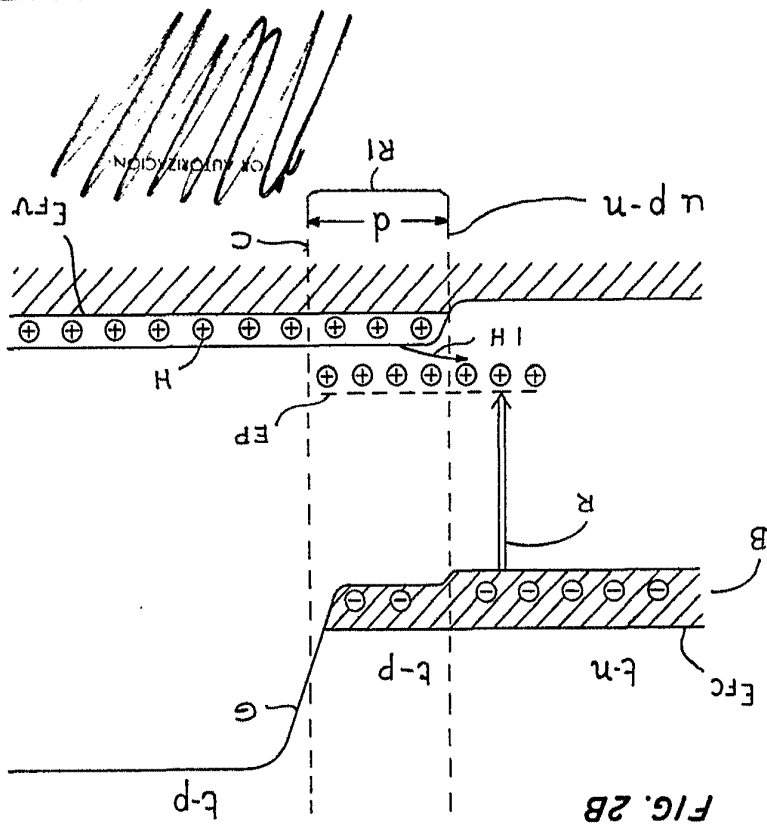


FIG. 2B

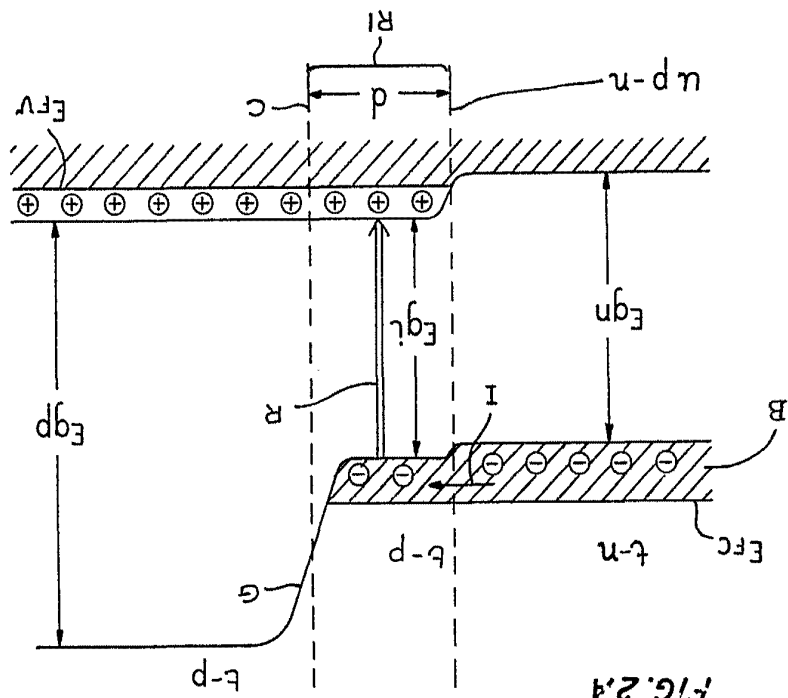


FIG. 2A



372697

HAYASHI, I. 2/3

HAYASHI, J. 273

FIG. 3A

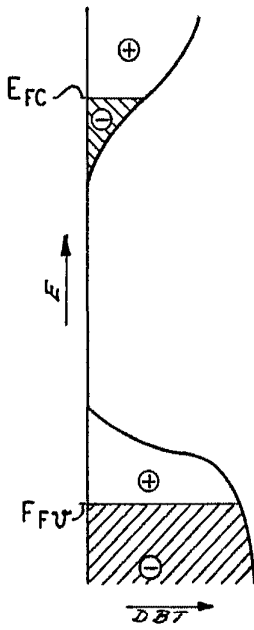


FIG. 3B

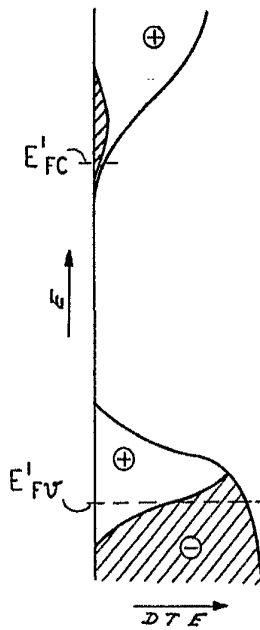


FIG. 3C

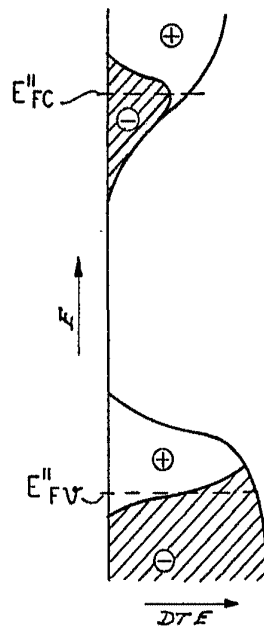


FIG. 4A

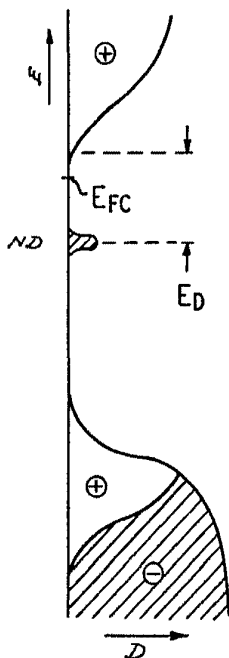


FIG. 4B

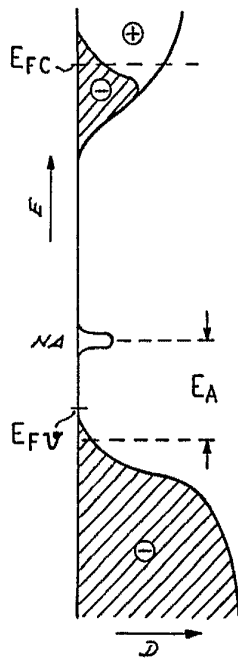
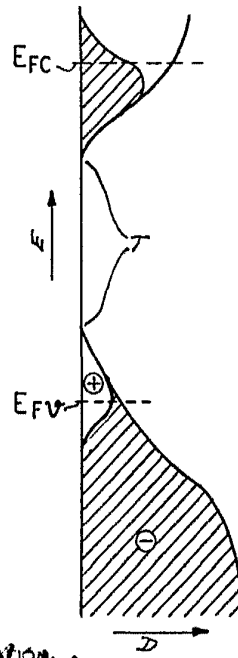


FIG. 4C



FOR AUTORIZACION.

[Handwritten scribbles and signatures]