

MINISTERIO DE INDUSTRIA  
REGISTRO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL



ESPAÑA

19	ES	11	NUMERO	10	A1
		21			
		22	FECHA DE PRESENTACION		

445527

PATENTE DE INVENCION

30	PRIORIDADES:	32	FECHA	27. Febrero. 1975	33	PAIS	Gran Bre- taña.
	31	NUMERO	08244/75				

47	FECHA DE PUBLICIDAD	51	CLASIFICACION INTERNACIONAL	62	PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
----	---------------------	----	-----------------------------	----	-----------------------------------

64	TITULO DE LA INVENCION
"UN ACOPLADOR DE GUIAONDAS OPTICO MEJORADO"	

71	SOLICITANTE (S)
STANDARD ELECTRICA, S.A.	

DOMICILIO DEL SOLICITANTE	
Madrid, calle de Ramirez de Prado, Nº 5.	

72	INVENTOR (ES)
George Horace Brooke Thompson, Ingeniero británico, 95 Copse Hill Harlow, Essex, England. David Francis Lovelace, Ingeniero británico, c/o Stadarad Teleco- munication Laboratories, Limited London Road, Harlow, Essex, England.	

73	TITULAR (ES)
STANDARD ELECTRICA, S.A.	

74	REPRESENTANTE
D. Eugenio Barroso Espinosa de los Monteros.	



G.H.B. Thompson - D.F. Lovelace, 21-3

MEMORIA DESCRIPTIVA PARA SOLICITAR PATENTE DE IN-  
VENCION EN ESPAÑA POR: "UN ACOPLADOR DE GUIAONDAS  
OPTICO MEJORADO", A NOMBRE DE STANDARD ELECTRICA,  
S.A., CON DOMICILIO EN MADRID, CALLE DE RAMIREZ DE  
PRADO, Nº 5.

-----

Este invento se refiere a los acopladores de guiaondas ópticos de acoplamiento variable y constituye una mejora o modificación de los acopladores que se describen en la solicitud de patente española Nº 440.132.

5                   En dicha especificación fueron descritos unos acopladores fabricados con un material semiconductor en los que el acoplamiento entre un par de guiaondas puede ser alterado por la aplicación de una polarización inversa en una unión p-n, por lo menos, situada de modo que bajo

10                   las condiciones de la polarización inversa se produce una



región de agotamiento que en el lado tipo-n se extiende a través de una de las guíaondas o de la región entre ellas. Un problema del diseño de tales acopladores es el de la elección de las concentraciones adecuadas de portadores que den la adecuada guía óptica en dirección lateral. En una dirección única la guía óptica se obtiene por dos heterouniones pero en dirección lateral se logra por diferencia en los índices de refracción entre regiones de concentración de electrones libres relativamente altas y relativamente bajas. Una gran diferencia en la concentración produce una guía fuerte pero con el inconveniente de que una gran concentración de portadores libres da lugar a unas pérdidas ópticas más altas de lo conveniente. Con el presente invento este inconveniente es soslayado al ser adoptado un método alternativo para la obtención de la guía óptica en dirección lateral. En el caso de que haya que hacer un uso significativo de cambios en el índice de refracción, por eliminación de los portadores libres, sigue siendo necesario elegir un nivel de dopado que sea lo suficientemente alto para que cuando se establezca la región de agotamiento se produzca un cambio adecuado del índice de refracción, pero que no sea tan alto que haga que la región de agotamiento sea muy delgada en comparación con el espesor de las guíaondas.

En este invento se proveen unas estructuras de acopladores con las que el confinamiento óptico lateral, que es el confinamiento óptico en dirección normal al dado por las heterouniones, se obtiene una estructura que tiene unos nervios que sobresalen.

De acuerdo con el presente invento se provee un acoplador de guíaondas óptico de heteroestructura doble se-



miconductora cuya heteroestructura doble tiene una capa media con un índice de refracción más alto que produce el confinamiento óptico en una dirección para dos o más guíaondas ópticamente acopladas y en el que el confinamiento óptico es producido en dirección ortogonal por unos nervios que sobresalen formados en una de las superficies del acoplador, teniendo el acoplador una o más uniones p-n situadas en las proximidades de las guías, de tal modo que con la aplicación de una polarización inversa se crea una ó más regiones de agotamiento que se extienden en o a través de uno o más de los guíaondas o de una o más de las regiones de acoplamiento entre las guíaondas.

A continuación se hace una descripción de unos acopladores de guíaondas ópticas fabricados en galio aluminio arsénico y los cuales materializan el invento en unas formas preferidas. En dicha descripción se hace referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

- la Fig. 1 muestra esquemáticamente una sección transversal de una primera construcción de acoplador de guíaondas ópticas;
- las Figs. 2 y 3 muestran, también esquemáticamente, una sección transversal de otras dos construcciones de acoplador de guíaondas ópticos, y
- las Figs. 4 y 5 muestran unas secciones transversales similares de dos versiones modificadas de la construcción de la Fig. 1.

Todos los acopladores que van a ser descritos tienen un par de guíaondas ópticamente acopladas pero es evidente que los principios de construcción y de funcionamiento son tales que estos diseños se pueden extender a acoplamiento



25 FEB  
4.

tos entre dos o más guíaondas. La aplicación de la polarización inversa a través de una de las uniones pn del acoplador produce unos cambios en el índice de refracción que afectan al acoplamiento entre las guías. Tales cambios en el índice de refracción pueden provenir en parte como resultado del efecto electroóptico producido por el campo eléctrico que aparece a través de la región de agotamiento y en parte por el barrido de los portadores libres de la región de agotamiento. En el galio arseniuro y en el galio aluminio arseniuro este segundo efecto, que es isotrópico, es mucho más pronunciado en el lado tipo-n de la unión p-n, dada la mucho mayor masa efectiva de electrones que de huecos. Por esta razón, es generalmente preferido el empleo de construcciones en las que sea la parte de la región de agotamiento del lado tipo-n de la unión p-n la que se use para modificar el acoplamiento. El acoplamiento entre dos guíaondas puede ser modificado alterando su índice de refracción o el del material que forma parte o bien alterando el índice de refracción de una sola de las guías, con lo que se perturba su acoplamiento. Esto se discute con una mayor extensión en la especificación previamente citada junto con una discusión de como el efecto electroóptico tiene que ver con la orientación de los cristales y con la propagación de la luz.

Refiriéndonos ahora a la Fig. 1 vemos que sobre un substrato ll de tipo-n  $\text{Ga}_{0,65}\text{Al}_{0,35}\text{As}$  con una concentración de portadores libres de unos  $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  ha crecido una capa tipo-n lo de  $0,2 \mu\text{m}$  de espesor de galio arseniuro que posee una concentración de portadores libres de unos  $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . A continuación, se ha dejado crecer



sobre la capa 10 otra capa 12 tipo-n de  $\text{Ga}_{0,65}\text{Al}_{0,35}\text{As}$ . La capa 12 es también de aproximadamente  $0,2\mu\text{m}$  de espesor y posee una concentración de portadores de unos  $10^{17}\text{cm}^{-3}$ . La capa de crecimiento definitiva es una capa de dopado de cinc de tipo-p de  $\text{Ga}_{0,65}\text{Al}_{0,35}\text{As}$  con una concentración de portadores de  $10^{18}\text{cm}^{-3}$  crecida sobre la capa 12. Esta capa tipo-p, que tiene típicamente un espesor del orden de  $1\mu\text{m}$  es enmascarada y selectivamente anodizada para dejar una capa 13 de óxido nativo a través de la cual sobresalen dos nervios 14 de GaALAs de tipo-p, típicamente de un espesor de  $2\mu\text{m}$  y con una separación de 2 a 3  $\text{m}\mu$

El dispositivo es calentado a continuación de modo que se produzca la difusión del adulterante tipo-p del cinc desde los nervios 14 por las zonas inferiores de la capa 12. El nivel inicial de dopado de los nervios es unas diez veces mayor que el de la capa 12 y de ahí que la difusión convierta a las zonas 15 inferiores a los nervios en material tipo-p. La difusión se efectúa normalmente de modo que los frentes de difusión 16 no hagan más que penetrar en la capa 10. La progresión de las uniones p-n queda, no obstante, detenida en la intercara entre las capas 10 y 12 debido al mayor nivel dopante de la capa 10.

Los nervios 14 están provistos de unas capas individuales de electrodos de metalización 17 que actúan conjuntamente con un electrodo (que no se muestra) que está unido al substrato de modo que por una o las dos uniones p-n pueda ser aplicada una polarización inversa.

Esta estructura se puede comparar con la que fue descrita en la especificación de la solicitud de patente Nº 440.132 antes mencionada, particularmente en lo que se

25 FEB



6.

refiere a la Fig. 4 de dicha especificación. Ya se mencionó la ventaja de poder reducir las pérdidas ópticas de los portadores libres mediante el uso de unos niveles inferiores de dopado. Otra ventaja de la construcción actual es que la  
5 difusión del cinc es mucho más superficial. En ella, el espesor de la capa 12 viene determinada por la necesidad de tener que permitir que una pequeña cantidad de la energía óptica se propague por las guías para penetrar en la región  
10 existente entre ellas y con ello producir un acoplamiento óptico. En el dispositivo de la Fig. 4 de la especificación antes mencionada la correspondiente capa (la capa 41) tiene que ser de un espesor mucho mayor, ya que este espesor tiene que ser el suficiente para que impida que su superficie superior afecte de un modo significativo a la guía óptica  
15 dentro de las propias guías. Otra diferencia que hay entre las dos estructuras es la de que ésta la guía en dirección lateral puede ser mucho más fuerte, con el resultado de poder tolerar unos radios de curvatura muchos más agudos. Puede observarse que una consecuencia útil de disponer  
20 los nervios más estrechos es la de que la estructura puede aceptar el uso de una capa 12 también más estrecha dando como resultado que los problemas de la difusión lateral Zn no se hace significativamente mayor.

La estructura del acoplador que se muestra en la  
25 Fig. 2 es básicamente similar a la del acoplador de la Fig. 1, diferenciándose en la omisión de la capa tipo-n 12. En el acoplador de la Fig. 1 la región de la capa 12 entre los nervios provee el acoplamiento entre las guías al permitir la propagación de la energía óptica en la capa 10  
30 penetrando una apreciable distancia pasados los bordes de



los nervios. En este acoplador esta función se consigue limitando la anodización de la capa tipo-p para dejar una zona 20 entre ambos nervios. Esta zona da lugar a un co-  
nexionado eléctrico entre ambos nervios que, como no con-  
viene, se elimina convirtiendo una región 21 en material  
semiaislado por un bombardeo de protones. El bombardeo de  
protones. El bombardeo de protones se puede usar también  
para convertir las regiones 22 en material semiaislante,  
reduciendo así los efectos capacitivos.

La fabricación de este acoplador de la Fig. 2 no requiere ningún paso de difusión para trasladar la unión p-n a la heterounión, pudiendo hacerse así el crecimiento de la capa 10 de galio arseniuro hasta una concentración más baja de portadores libres al no requerirse detener el avance de la unión p-n.

El acoplador que se muestra en la Fig. 3 tiene una estructura muy similar a la del acoplador de la Fig. 2, con la diferencia primordial de que, mientras la región interpuesta es enmascarada, se hace un bombardeo de protones en los nervios. Se prescinde de la capa anodizada, con lo que se establece un contacto eléctrico directo entre la metalización 17 y la parte 20 entre los nervios. El acoplador resultante funciona de modo igual a como se describió para la Fig. 1 de la especificación de la patente Thompson - 17 antes mencionada.

Las construcciones de acoplador que se describen haciendo referencia a las Figs. 4 y 5 son en esencia variaciones del acoplador previamente descrito con referencia a la Fig. 1. La construcción de la Fig. 1 supone el empleo de un dopante tipo-p de una gran movilidad, el cual se puede

25 FEB.

8.



difundir fuera del material del nervio haciendo que las uniones p-n se trasladen a la región de la superficie superior de la capa guía 10 de un índice de refracción mayor. Un posible dopante para ello es el cine, si bien su relativamente alta volatilidad impone ciertas restricciones perjudiciales en las condiciones de uso en el crecimiento epitaxial de fase líquida. Las construcciones que se muestran en las Figs. 4 y 5 están diseñadas para evitar este requerimiento en el uso de un dopante con movilidad.

La construcción del acoplador de la Fig. 4 es idéntica a la del acoplador de la Fig. 1, salvo tres diferencias. En primer lugar, la capa 12' tiene una concentración inferior de portadores que su correspondiente 12, típicamente no más de  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  en lugar de ser de aproximadamente  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . En segundo lugar, que el material del que están contruídos ambos nervios es germanio adulterado en lugar de cinc adulterado; y en tercer lugar, que a diferencia del acoplador de la Fig. 1 aquí no hay calentamiento para producir la traslación hacia abajo de las uniones p-n.

Como en esta construcción las uniones p-n quedan separadas de la capa guía 10 de índice de refracción más alto por la capa interpuesta 12' una parte del campo eléctrico asociado a la aplicación de una polarización inversa a través de una de estas uniones se genera en la capa 12' en lugar de generarse en la capa 10, que es donde más interesa. Sin embargo, con el uso de un más bajo nivel de adulteración para la capa 12' hay una pequeña reducción en el campo que atraviesa esta capa 12', pudiéndose hacer que el campo que pueda ser generado en la capa 10 sea por lo menos un 10% y típicamente hacia un 5% menor que en la proximidad a la



unión p-n.

La construcción del acoplador de la Fig. 5 es similar a la del acoplador de la Fig. 4, si bien está diseñado para hacer uso del efecto electroóptico de una unión inversamente polarizada. Para ello, la capa de substrato 11" que tiene un dopado relativamente alto, típicamente de  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  está separada de la capa guía 10" por una capa intermedia poco dopada 50 que tiene la misma composición que la capa substrato 11" pero con una concentración de portadores de típicamente  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ . Esta capa es típicamente del mismo espesor que la capa guía 10" y que la capa de recubrimiento 12", las cuales tienen ambas también una concentración de portadores de típicamente alrededor de  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ .

El uso de esta baja concentración de portadores en las tres capas delgadas 12", 10" y 50 junto con el material más altamente dopado da la seguridad de que, cuando a través de la unión es aplicada una polarización inversa, la capa de guía cae en una región de campo eléctrico relativamente alto. Cuando es establecida la región de agotamiento por la aplicación de esta polarización, la salida de los portadores libres de la zona inferior a la capa 10" tiene un efecto relativamente pequeño sobre el índice de refracción de la región, ya que el número de portadores que salen está restringido por la baja concentración inicial de portadores. En esta configuración la principal contribución al cambio del índice de refracción para la propagación de la luz en las guías viene, por el contrario, dado por el efecto electroóptico.

Una de las características debidas a que interviene casi exclusivamente el efecto electroóptico es la de que la



aplicación de una polarización inversa no tiene casi efecto sobre la transmisividad de la capa guía inferior. Cuando se hace un uso significativo de los cambios en el índice de refracción producidos al extraer los portadores libres, ya no ocurre así, debido a los efectos de absorción de portadores libres. Esta diferencia se hace significativa en el caso de que el acoplamiento haya de ser controlado polarizando inversamente la unión p-n de una de las guíaondas sin aplicar una polarización inversa igual a la otra. Con esta forma de actuación, al dar energía se produce un desajuste de la atenuación entre guías que no deja pasar al acoplador de un primer estado en que una de las piezas de entrada está acoplada exclusivamente a una de las puertas de salida a un segundo estado en el que la puerta de entrada está acoplada exclusivamente a la otra. Será posible el desacoplamiento de una de las puertas de salida en el estado en que no se da energía (acoplado con transmisividad) pero en el otro estado habrá siempre un acoplamiento residual con la otra puerta de salida.

Es de observar que las mismas consideraciones son de aplicación al acoplador que fue previamente descrito con referencia a la Fig. 2 y, con ello, que pueda haber aplicaciones para las que se requiera una forma modificada con una delgada capa inferior de baja concentración de portadores, correspondiendo a la capa 50, interpuesta entre una capa guía de baja concentración de portadores y alto índice y un sustrato de alta concentración de portadores y bajo índice. Estas consideraciones no son de aplicación a la configuración de la Fig. 3 ya que la eliminación de la absorción de portadores libres procedentes de la región de acoplamiento entre los dos canales de guíaondas no altera la igualdad



de transmisividad de los propios canales.

En la configuración de acoplador que se describe haciendo referencia a las Figs. 1, 2 y 3 el nivel de dopage de la capa de guía óptica de mayor índice de refracción situada inmediatamente debajo de la unión o uniones p-n se elige preferentemente en relación con su espesor, de modo que sus portadores libres son virtualmente extraídos por completo con una polarización inversa inmediatamente por debajo del valor de ruptura. Se ha visto, sin embargo, que con el empleo de una capa más delgada y más dopada pueden ser extraídos algunos más portadores y que, por consiguiente se puede conseguir una mejor interacción de los portadores libres mediante el uso de una capa óptica compuesta de índice de refracción óptica. Esta capa compuesta posee toda ella la misma composición pero tiene una parte superior grandement dopada adyacente a la unión o uniones p-n, por debajo de ésta una parte ligeramente dopada. La parte altamente dopada tiene típicamente una concentración de portadores de  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ , siendo la de la ligeramente dopada de  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$ .

En aquellos de los acopladores que han sido descritos que están diseñados para hacer uso de cambios del índice de refracción por extracción de portadores libres, la orientación preferida de los cristales es aquella en la que las heterouniones caen en cien (100) planos y las guías se extienden en cien (100) direcciones. La razón para ello es que el efecto electroóptico es en general sensible a la polarización pero con esta orientación el efecto electroóptico no produce cambio en el índice de refracción en la propagación de la luz a lo largo de las guías, con independencia de la polarización. Por supuesto que, para

25 FEB 1975



12.

aquellos acopladores que están diseñados para hacer uso del efecto electroóptico, es requerida una diferente orientación de los cristales.

5 En todas las estructuras que han sido descritas la capa 10 puede estar hecha de GaAlAs con tal que las demás capas tengan una concentración de aluminio lo suficientemente alta para que exista la debida diferencia en el índice de refracción.

10 Ha de entenderse que la precedente descripción de unos ejemplos específicos de este invento se ha hecho únicamente a modo de ejemplo y sin que deba ser considerada como una limitación al alcance del mismo.

15 Este invento corresponde a una solicitud de patente formulada en Gran Bretaña el día 27 de Febrero de 1975, señalada con el Nº 08244/75 y se acoge por tanto, a los beneficios que otorgan los convenios internacionales vigentes.

-----NOTA-----

20 Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta patente de veinte años son los siguientes:

25 1.- Un acoplador de guías óptico mejorado con heteroestructura doble semiconductor que tiene una capa media con un índice de refracción más alto que produce el confinamiento óptico en una dirección para dos o más guías ópticamente acopladas y en el que el confinamiento óptico es producido en dirección ortogonal por unos nervios que sobresalen formados en una de las superficies del acoplador, teniendo el acoplador una o más uniones p-n situadas en las proximidades de las guías, de tal modo

30



que con la aplicación de una polarización inversa se crea una o más regiones de agotamiento que se extienden en o a través de uno o más de las guíaondas o de una o más de las regiones de acoplamiento óptico entre las guíaondas.

5                   2.- Un acoplador de guíaondas de acuerdo con la reivindicación 1 en el que la parte de la región o regiones en el lado de tipo-n de la unión o uniones p-n se extiende por o a través de una o más de las guíaondas o de una o más de las regiones de acoplamiento óptico entre guíaondas.

10                   3.- Un acoplador de guíaondas de acuerdo con las reivindicaciones 1 ó 2 el cual está fabricado con galio aluminio arseniuro o con galio arseniuro/galio aluminio arseniuro.

15                   4.- Una acoplador de guíaondas de acuerdo con cualquiera de las precedentes reivindicaciones en el que cada una de las guíaondas tiene una unión p-n asociada que está separada de otras uniones p-n por un material semiaislante.

20                   5.- Un acoplador de guíaondas de acuerdo con la reivindicación 1, 2 ó 3 en el que la capa media con índice de refracción más alto es semiaislante en la región de cada una de las guíaondas.

25                   6.- Un acoplador de guíaondas de acuerdo con la reivindicación 4 ó 5 en el que el material semiaislante es un material semiaislante bombardeado de protones.

7.- Un acoplador de guíaondas de acuerdo con cualquiera de las precedentes reivindicaciones en el que la unión o uniones p-n está en la superficie de la capa media de índice de refracción más alto.

30                   8.- Un acoplador de guíaondas de acuerdo con la

25 FEB



14.

reivindicación 7 en el que la capa media de índice de refracción más alto tiene dos regiones de las que una primera región es de una concentración de portadores que se extiende hasta la superficie que contiene la unión o uniones p-n y la cual está respaldada por una segunda región de una menor concentración de portadores que se extiende hasta la superficie opuesta de la capa.

5  
9.- Un acoplador de guíaondas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 en el que la capa media con índice de refracción más alto está separada de la unión o uniones p-n por una capa que tiene una concentración menor de portadores que la capa media con índice de refracción más alto.

10  
10.- Un acoplador de guíaondas de acuerdo con la reivindicación 9 en el que la capa media con un índice de refracción más alto tiene una concentración de portadores que es diez ó más veces mayor que la de dicha capa de menor concentración de portadores.

20  
11.- Un acoplador de guíaondas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 en el que la concentración de portadores de la capa media con índice más alto de refracción y la de cualquier material existente entre esta capa y la unión o uniones p-n es tan baja que el cambio en el índice de refracción de una región de la capa media con índice de refracción más alto que resulta de la extracción de portadores de la misma por la aplicación de una polarización inversa a través de la unión o uniones p-n es pequeña si se compara con el cambio en el índice de refracción de la misma que resulta del efecto electroóptico producido por el campo eléctrico concomitante que se extiende a través del conjunto.

25  
30

25 FEB 1915.



12.- Un acoplador de guíaondas substancialmente como ha sido hasta aquí descrito con referencia a las Figs. 1 2 ó 3 de los dibujos que se acompañan.

13.- Una coplador de guíaondas substancialmente como ha sido hasta aquí descrito con referencia a las Figs. 4 ó 5 de los dibujos que se acompañan.

14.- Un acoplador de guíaondas óptico mejorado.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y a los fines especificados.

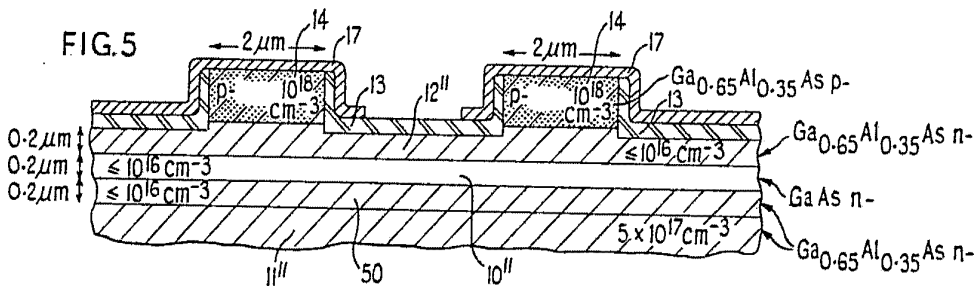
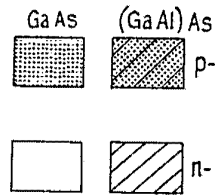
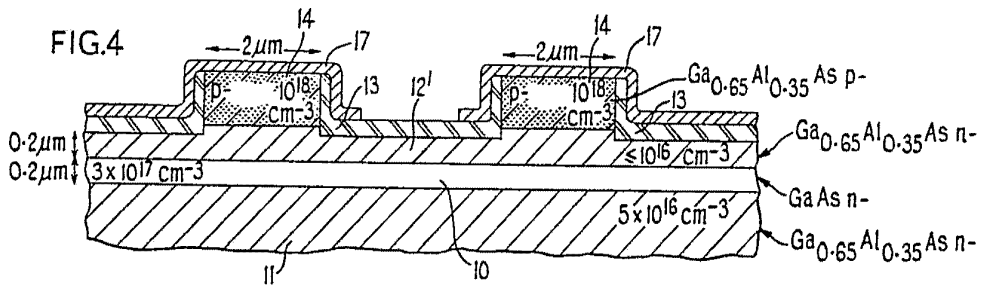
Esta Memoria consta de quince hojas escritas por una sola cara.

Madrid, 25 de Febrero de 1915.



*Eugenio Barroso*  
EUGENIO BARROSO  
Secretario General





25 FEB. 1976'



*Eugenio Barroso*  
**EUGENIO BARROSO**  
 Secretario General