

329586

PATENTE DE INVENCION

PLA 65/1465 Sp.

329586

28 JUL



Memoria Descriptiva

sobre:

"Perfeccionamientos en elementos rectificadores semiconductores regulables".

=====

Solicitante: SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AKTIENGESELLSCHAFT, entidad -
alemana, residente en Werner-von-Siemens-Str. 50 -
Erlangen, Alemania.

=====

5. Los elementos rectificadores semiconductores regulables del tipo pnpn poseen un cuerpo semiconductor esencialmente monocristalino, por ej. de silicio, con cuatro capas consecutivas de cada vez, tipo conductor opuesto. Las dos capas extremas, por lo ge-



neral de alta dotación, se donominan emisoras, las dos capas interiores bases. En una de las capas interiores se ha dispuesto frecuentemente en un escote de la capa exterior adyacente un electrodo de contacto que se denomina electrodo de encendido, ya que con su ayuda, a través de la transición pn que se encuentra entre esta capa interior y la capa exterior adyacente, se puede enviar una corriente que efectua el encendido del tiristor, es decir, la transición del estado no conductor al estado conductor del tiristor.

La invención se basa en el conocimiento de que las dimensiones y las concentraciones de dotacion de las capas, así como el curso de las concentraciones de dotación y la duración de vida de los porta-corriente determinan esencialmente el complejo total de todas las propiedades eléctricas del tiristor, es decir, la tensión de bloqueo, la tensión de basculación, la característica de paso, etc. El cometido principal de la invención es crear, mediante determinación de las magnitudes de influencia entre sí, un tiristor que muestre una capacidad de bloqueo lo más elevada posible pero cuya tensión de paso no asuma, sin embargo, valores demasiado elevados.

La invención se refiere, por lo tanto, a un elemento rectificador semiconductor regulable para corriente de alta intensidad con un cuerpo de silicio esencialmente monocristalino con secuencia de capas pnpn ó bién npnp, cuya primera capa interior tenga una concentración de dotación, casi constante en todo el espesor de la capa, que sea inferior a las concentra-



5. ciones de dotación en la segunda capa interior y en las dos capas exteriores y se caracteriza porque la primera capa interior tiene un grosor de 200 hasta 300 μ y por que la concentración de dotación asciende a $2,5 \cdot 10^{13}$ hasta hasta $1,5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. Una forma de ejecución, - como ejemplo, de un tiristor de estos, cuya primera capa interior pudiera ser del tipo n-conductor, y ulteriores posibilidades de mejoras se describen y explican a base del dibujo.
10. En la Fig. 1 se ha representado esquemáticamente el perfil de sección de un elemento semiconductor. Fig. 2 representa la secuencia de las capas semiconductoras y sirve para determinar la coordenada de lugar en la dirección correspondiente.
15. Fig. 3 muestra una imagen del curso de la concentración de dotación en las distintas capas. Fig. 4 representa la dependencia de la capacidad de bloqueo de los tiristores del grosor y de la resistencia específica de la primera capa interior n-conductora.
20. En Fig. 5 y 6 se han representado las concentraciones de los soportes de carga en estado conductor del elemento rectificador bajo inyecciones elevadas. En la Fig. 7 y se ha dibujado la dependencia de la tensión de paso de la duración de vida de soportes de carga.
25. En la Fig. 1 denomina 2 una primera capa interior, por ej. n-conductora, cuya dotación de concentración, en comparación con todas las demás capas, tiene el valor más bajo y es casi constante a través de todo
- 30.



5. el espesor de la capa. A esta capa sigue, en uno de los lados planos, una capa interior p-conductora 3 en el lado plano opuesto otra capa p-conductora, que forma la zona parcial interior de una capa exterior p-conductora. Estas dos capas 3 y 4 pueden haber sido fabricadas según distintos procedimientos conocidos. Por ejemplo se puede, a ambos lados de núcleo de silicio monocristalino en forma de disco 2 del tipo n, haber precipitado monocristalinamente más silicio del tipo p mediante descomposición pirolítica y separación de un compuesto de silicio gaseoso, por ej. SiHCl_3 ó SiCl_4 , bajo empleo de un gas soporte y de reacción por ej. H_2 y -
10. de esta manera regruesado el núcleo en forma de disco 2 en las capas 3 y 4. Un procedimiento de precipitación de éstos, que también se conoce bajo el nombre "Epitaxia" permite lograr, mediante variación arbitraria de las partes cuantitativas agregadas en material de dotación durante el proceso un curso arbitrario de los valores de concentración a través del grosor del disco. Según el mismo procedimiento se puede aplicar también la cuarta capa que falta, agregándole a la mezcla de gas a descomponer una sustancia donadora de
15. manera que esta capa exterior se vuelva n-conductora.
- 20.
- 25.

Es costumbre transformar, mediante la difusión - por todos los lados de aceptores en un monocristal de silicio en forma de disco n-conductor, una capa exterior en el tipo p de manera que, después de retirar el borde, se haya formado una secuencia de capas pnpn cuya capa interior -

30. n-conductora 2 esté formada por el núcleo mantenido invariable del monocristal de silicio, a cuyos ambos lados planos continuen las capas p-conductoras 3 y 4. Contrario al procedimiento de precipitación con el cual, según se ha dicho



se puede fabricar cualquier perfil deseado, está el procedimiento de difusión ligado a la regularidad dada por la naturaleza de la difusión. Mediante variación adecuada del parámetro de difusión y empleando varias sustancias de dotación con distintas constantes de difusión se puede, sin embargo, influenciar también el curso de la concentración.

5. La capa exterior n-conductora 5 se puede haber producido además de según uno de los procedimientos de epitaxia descritos, también mediante la aleación de un metal -
10. conteniendo donadores. Ventajosamente se emplea para ello un folio de oro con aprox. 1 % de contenido de antimonio. Después de calentar hasta por encima de la temperatura eutéctica (aprox. 370°C) hasta aprox. 700°C se ha formado, después de enfriar, una capa de cristalización 5 que muestra
15. una elevada concentración de donadores y que se denomina n-emisor. La aleación de oro-silicio, compuesta de un eutéctico, forma el electrodo de contacto 6 del n-emisor. Su forma y grosor después de la aleación total del folio de oro está unívocamente determinada por su forma y grosor original.
20. Sea por ejemplo en forma anular. También la capa de recristalización 5 tiene por lo tanto forma anular. Una forma anular se puede obtener también con uno de los procedimientos de epitaxia descritos. En la abertura anular alcanza la capa p-conductora 3 hasta la superficie del cristal. Allí -
25. hace contacto, libre de bloqueo, por ej. mediante aleación de un folio de oro conteniendo boro. La aleación formada por éste con una cantidad de silicio adyacente correspondiente ha producido un electrodo de base 7 de superficie relativamente pequeña y que sirve para la regulación del elemento rectificador. En el lado plano opuesto del monocristal en forma de disco se ha aleado a la capa exterior -
30.



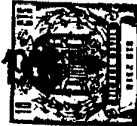
5. p-conductora 4 un metal que contiene aceptores, por ej. un folio de aluminio, que preferentemente cubre toda la superficie del disco. De esta manera se ha formado una capa de recristalización p-conductora 8 de alta dotación que forma una sección parcial exterior de la capa exterior p-conductorá y que está cubierta por un electrodo de contacto 9 que se compone de una aleación eutéctica de aluminio-silicio.

10. Las capas 8 y 4 forman juntas el p-emisor. Con esta aleación, efectuada ventajosamente en un solo proceso de trabajo, del electrodo de contacto 6 del n-emisor, del contacto de base 7 y del electrodo de contacto 9 del p-emisor se puede haber aleado simultáneamente a este último un disco de moliódono 10.

15. En el esquema de la Fig. 2 se ha ilustrado la secuencia de capas pnpn. Fig. 3 muestra el correspondiente perfil de concentración por la coordenada de lugar de curso perpendicular a través de las capas como abcisa. El núcleo mencionado está formado por la capa interior n-conductora 2 con una concentración de dotación lo más igualada posible de aprox. $5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ y un grosor W_n . A ambos lados continúan a través de las transiciones pn X_2 , que bajo carga del elemento rectificador cierra en dirección de bloqueo, o bien X_3 que efectúa el bloque en dirección de basculación, las capas p-conductoras 3 y 4 en las cuales la concentración de aceptores en las proximidades de las transiciones pn comienza con un valor inicial de aprox. $5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ subiendo hacia fuera en varias potencias de diez, por ej. - hasta un valor de algo más de 10^{17} cm^{-3} , que se ha alcanzado en la transición X_1 o bien en las proximidades de la capa 8.

30. A continuación se explica con más detalle los puntos de vista para la selección de los grosores de capa

28 JUL 1964



así como el nivel y el curso de la concentración de dotación en las distintas capas para lograr valores de paso y de bloqueo óptimos.

- En la fig. 4 se ha representado la capacidad de bloqueo de tiristores con capa interior por ej. n-conductora igualmente dotada, en dependencia de la resistencia específica $\int n$ y del grosor W_n de esta capa interior. Además se han dibujado las curvas para las correspondientes tensiones "punch-through" U_p así como la tensión "breakdown" U_B . Bajo tensión "punch-through" U_p se entiende la tensión que, colocada en una transición pn en dirección de bloqueo, provoca que la zona de carga espacial se extienda totalmente a través de las capas adyacentes, en el presente ejemplo a través de la zona central n-conductora. En la tensión "breakdown" se vuelve la fuerza del campo eléctrica en la transición pn tan grande que se presentan saltos. Esta depende de la concentración de dotación en las proximidades de la transición pn, en el presente ejemplo, por lo tanto, de la concentración de dotación en la capa central n-conductora y las capas adyacentes p-conductoras. Una forma de ejecución ventajosa de tiristores consiste en que estas capas p-conductoras, desde la transición pn interior hacia fuera muestran, una subida de la concentración de dotación en varias potencias de diez que influencia la capacidad de bloqueo en el sentido de que con gradiente disminuyendo de la concentración de dotación aumente la tensión "breakdown". En el
- 5.
 - 10.
 - 15.
 - 20.
 - 25.
 - 30.



5. presente ejemplo sube el valor de concentración en la capa exterior p-conductora en la-s proximidades de la transición pn hacia fuera aproximadamente en forma exponencial, siendo el trayecto, a través del cual la concentración de aceptores aumenta en el factor $e=2,7. . .$, de 7 hasta $13/u$. Un valor de $10/u$ da el curso de la tensión "breakdown" dibujada en la Fig. 4.

10. Como se aprecia de la Fig. 4 la capacidad de bloqueo es mayor contra mayor se seleccione el grosor W_n . Como se explica más abajo con más detalle no parece, sin embargo, por lo pronto tener sentido sobrepasar los $300/u$ ya que entonces la tensión de paso, que es decisiva para la potencia de pérdida que se forma en el elemento rectificador, sería indeseadamente elevada. Para un valor del grosor W_n de 200 hasta $300/u$ se selecciona ventajosamente una resistencia específica entre 40 y 120 Ohm.cm.

15. Estas consideraciones sobre la capacidad de bloqueo valen para ambas transiciones X_2 y X_3 que limitan con la capa interior n-conductora, esto es tanto para la capacidad de bloqueo en dirección de bloqueo como también para la dirección de basculación. Por lo tanto se selecciona en una forma de ejecución ventajosa el curso de la concentración de aceptores en las capas p-conductoras simétricamente entre si, tal y como está representado en el ejemplo de ejecución

20. A un ulterior incremento de la capacidad de bloqueo mediante aumento del grosor de capa W_n por encima de $300/u$ se opone, como ya se ha mencionado, un aumento imprevisible de la potencia de pérdida que se forma en el

30.



- elemento semi-conductor a una intensidad de corriente dada, pues en el estado de paso ha de estar inundada la zona central W, que en el ejemplo de ejecución representado abarca la capa interior p-conductora 3, la capa interior n-conductora 2 y la sección parcial 4 más debilmente dotada de la capa exterior p-conductora, por los soportes de carga de ambas polaridades. Como zonas de fuente de los soportes de carga sirven las capas exteriores, el p-emisor y el n-emisor. Concentraciones de dotación demasiado bajas conducirían, por lo tanto, en estas zonas de fuente a una inundación defectuosa y con ello a una tensión de paso indeseadamente elevada. Por esta razón se selecciona ventajosamente la concentración de dotación en la capa n-conductora exterior aprox. 10^{18} cm^{-3} o más elevada. Una concentración similarmente elevada se dispone convenientemente en una sección parcial exterior de la capa exterior p-conductora. Para la obtención de elevados valores de concentración en las dos zonas extremas son adecuados, como descrito, los conocidos procedimientos de aleación o epitaxia.
5. La elevada dotación de las capas exteriores sin embargo no es suficiente para una inundación suficiente de la zona central W o bien para una tensión de paso suficientemente baja, sino que los soportes de corriente deben, debido a su longitud de difusión L que indica en que trayecto los soportes de corriente de una polaridad disminuyen en su dirección de movimiento en el factor $e = 2,7 \dots$ y que para elevadas inyecciones es una magnitud común para ambas clases de soportes, ser capaces de inundar igualmente toda la zona central W. Lo que esto debe significar
- 10.
- 15.
- 20.
- 25.
- 30.



5. está representado en las Figs. 5 y 6, en las cuales las concentraciones de soporte de carga en las distintas capas sobre su grosor se han dibujado como abcisa y esto - una vez (Fig. 5) para una longitud de difusión grande y una vez (Fig. 6) para una longitud de difusión pequeña. En la Fig. 6 se aprecia en la zona central, cuyo grosor W es siete veces la longitud de difusión L , una clara disminución de los soportes de corriente.

10. En la Fig. 7 se ha representado para cuatro tiristores con distinto grosor de base W_n , pero por lo demás iguales concentraciones de dotación y tamaños de superficie, la dependencia de la tensión de paso U_D de la longitud de difusión L o bien de la duración de vida y de los soportes de carga. El grosor de las capas p-inundadas se ha supuesto aquí cada vez con 50μ , de manera que W es en 100μ mayor que W_n . La curva vale para una intensidad de corriente de 200 A/cm^2 , referido a la superficie del más pequeño de ambos emisores, es decir, en la Fig. 1 del n-emisor 5. Se aprecia que la tensión de paso es mayor contra menor sea, bajo por lo demás iguales circunstancias, la longitud de difusión L de los soportes de carga. Se aprecia además que con longitud de difusión dada la tensión de paso es mayor contra más gruesa sea la capa W_n o bien W . Especialmente fuerte se hace sin embargo el crecimiento de la tensión de paso cuando el grosor W de la capa central sobrepasa aproximadamente cuatro veces la longitud de difusión. Se está por lo tanto, en la elección del grosor W_n o bien W limitado hacia arriba por la longitud de difusión L y para el grosor W se seleccionará un valor que sea inferior a -

15. cuatro veces la longitud de difusión L . También se inten

20.

25.

30.

28 JUL.



tará lograr, mediante empleo de un material de partida altamente puro y procedimientos de fabricación adecuados, una longitud de difusión lo más grande posible.

En nuestra solicitud de patente alemana -

5. S 84 444 VIb/48B se propone un procedimiento de fabricación en el cual el proceso de difusión se efectúa en una ampolla de cuarzo recubierta interiormente con una capa de monóxido de silicio con lo cual, debido a una especie de afinado de vacío, se puede lograr la longitud de difusión necesaria, que con un grosor W_n de la capa central de 300μ y por lo tanto un grosor de W de aprox. 400μ deberá ser superior a 100μ . Además es importante realizar el proceso de aleación de manera que mantenga una longitud de difusión lo más grande posible. Como han demostrado detallados ensayos este es el caso cuando la temperatura de aleación se selecciona en la zona entre 700 y 750°C .
- 10.
- 15.

Con estos métodos se pueden lograr longitudes de difusión de 100μ y más. Se pueden fabricar por lo tanto tiristores cuya capa central tenga un grosor W de 400μ y cuya tensión de paso, sin embargo, sea inferior a $1,4 \text{ V}$ con una intensidad de corriente de 200 A/cm^2 .

20.

La invención se ha descrito para mayor sencillez y mejor comprensión bajo la condición previa de que una capa interior n-conductora dotada igualmente y más baja que las demás capas forma el núcleo de la secuencia de capas, y a la que continúan a ambos lados capas p-conductoras que, a su vez hacia fuera limitan con zonas de alta dotación, una de ellas con transición pn a una capa p-conductora y la otra sin transición pn a una zona p-conductora. Es sin embargo evidente que la misma ense-

25.

30.



5. fianza y sus complementos tienen validez en todos sus detalles también para el caso de tipos de conductibilidad invertidos p y n, es decir para una secuencia de capas con capa de núcleo p-conductora de concentración de dotación más baja y correspondientes ulteriores capas de concentraciones más elevadas, y tienen correspondiente aplicación debiendo insertar a los valores de concentración indicados en forma conocida los valores de resistencia correspondientemente más elevados de silicio p-conductor.

10. Las características, procesos de trabajo e indicaciones que se pueden apreciar de la descripción anterior y/o del dibujo correspondiente, no son hasta la fecha conocidos, ni en detalle ni en su combinación entre sí, señalada aquí por primera vez, por lo que se consideran valiosas mejores inventivas.

15.

N O T A

20. 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 ha ce constar que el invento corresponde a una Solicitud de Patente presentada en Alemania con fecha 30 de julio de 1965, nº. S 98 547 VIIIc/21g; acogiéndose 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 por 20 años en España, sobre "PERFECCIONAMIENTOS EN ELEMENTOS RECTIFICADORES SEMICONDUCTORES REGULABLES"; caracterizándose por lo siguiente:

25.

30.

1ª.-"Perfeccionamientos en elementos rectifi-

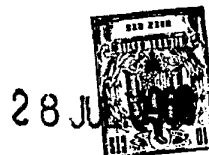


5. cadores semiconductores regulables, para corriente de alta intensidad en un cuerpo de silicio esencialmente monocristalino, con secuencia de capas pnpn ó npnp, cuya primera capa interior tiene una concentración de dotación casi constante en todo el espesor de la capa, que es inferior a las concentraciones de dotación en la segunda capa interior y en las dos capas exteriores, caracterizados porque la primera capa interior se hace con un espesor de 200 hasta 300 μ y porque su concentración de dotación tiene una magnitud de $2,5 \cdot 10^{13}$ hasta $1,5 \cdot 10^{14}$.

10. 2ª.- Perfeccionamientos según reivindicación 1, caracterizados porque la longitud de difusión a inyecciones elevadas, correspondientes a unas intensidades de corriente de 10 A/cm² hasta 200 A/cm² hace superior a una cuarta parte del grosor de la zona central inundada durante el paso de la corriente en dirección de paso de los portadores de corriente, que, a su vez, está limitada, por una parte, por una zona parcial de alta dotación de la primera capa exterior a continuación de la primera capa interior, por otra parte, por una segunda capa exterior de alta dotación a continuación de la segunda capa interior y que comprende una zona parcial de la primera capa exterior con dotación más débil así como la primera y segunda capa interior.

15. 20. 25. 3ª.- Perfeccionamientos según la reivindicación 2, caracterizados porque la longitud de difusión se dispone superior a 100 μ .

30. 4ª.- Perfeccionamientos según la reivindicación 1, caracterizados porque la concentración de dotación de la segunda capa interior hace una transición desde la



primera capa interior que crece hacia el exterior en varias potencias de diez.

5. 5ª.- Perfeccionamientos según la reivindicación 4, caracterizados porque el curso de las concentraciones de dotación de la segunda capa interior se dispone simétrica a la zona de dotación más débil de la primera capa exterior que limita contra la primera capa interior.

10. 6ª.-Perfeccionamientos según la reivindicación 1, caracterizados porque la segunda capa exterior y la zona parcial exterior de la primera capa exterior se dotan una elevada concentración de dotación de aprox. -- 10^{18} cm^{-3} ó más.

15. 7ª.- Perfeccionamientos según la reivindicación 1, caracterizados porque la primera capa interior se hace n-conductora y su resistencia específica asciende a - 40 hasta 120 Ohm. cm.

20. 8ª.- Perfeccionamientos según la reivindicación 1, caracterizados porque la primera capa interior se hace p-conductora y su resistencia específica asciende a 120 hasta 360 Ohm. cm.

9ª.-Perfeccionamientos según la reivindicación 2, caracterizados porque el valor deseado de la longitud de difusión se logra mediante un proceso de afinado de - vacío durante la fabricación del elemento semi-conductor.

25. 10ª.-Perfeccionamientos según las reivindicaciones 1, 2 y 9, caracterizados porque el proceso de aleación se ha realizado entre 700 y 750°C.

30. 11ª.-"Perfeccionamientos en elementos rectificadores semiconductores regulables", tal y como queda sustancialmente descrito en la presente Memoria, e ilustrado

28 JUL. 

en los adjuntos dibujos.

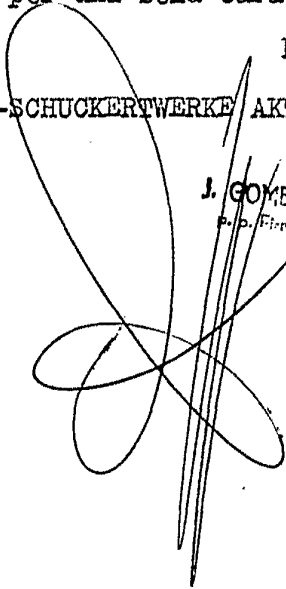
Esta Memoria consta de 15 hojas escritas a máquina por una sola cara

Madrid

28 JUL. 1966

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AKTIENGESELLSCHAFT.

J. GOMEZ ACERO Y MODEVA
P.º.º. Firmado: F. Hernández Ruiz



329586

ESCALA VARIABLE 28

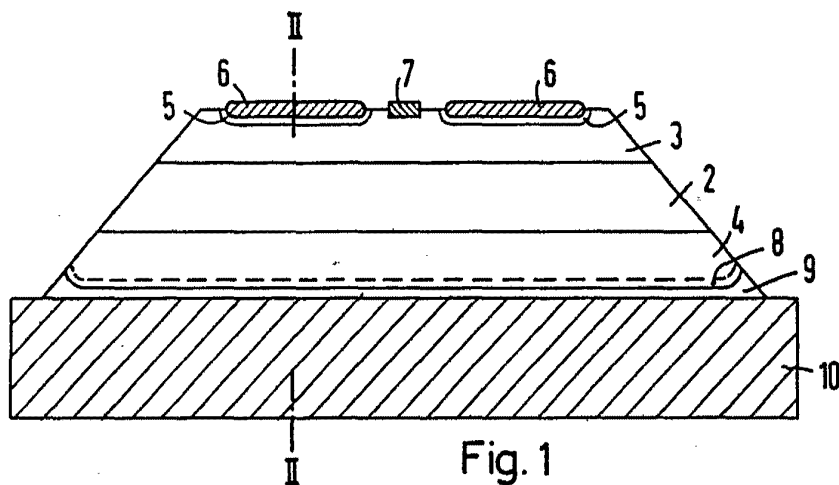


Fig. 1

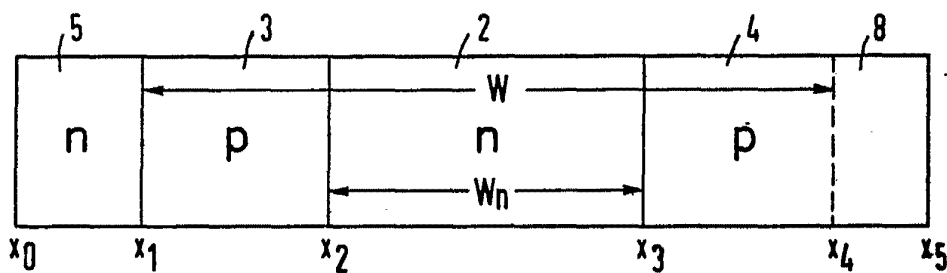


Fig. 2

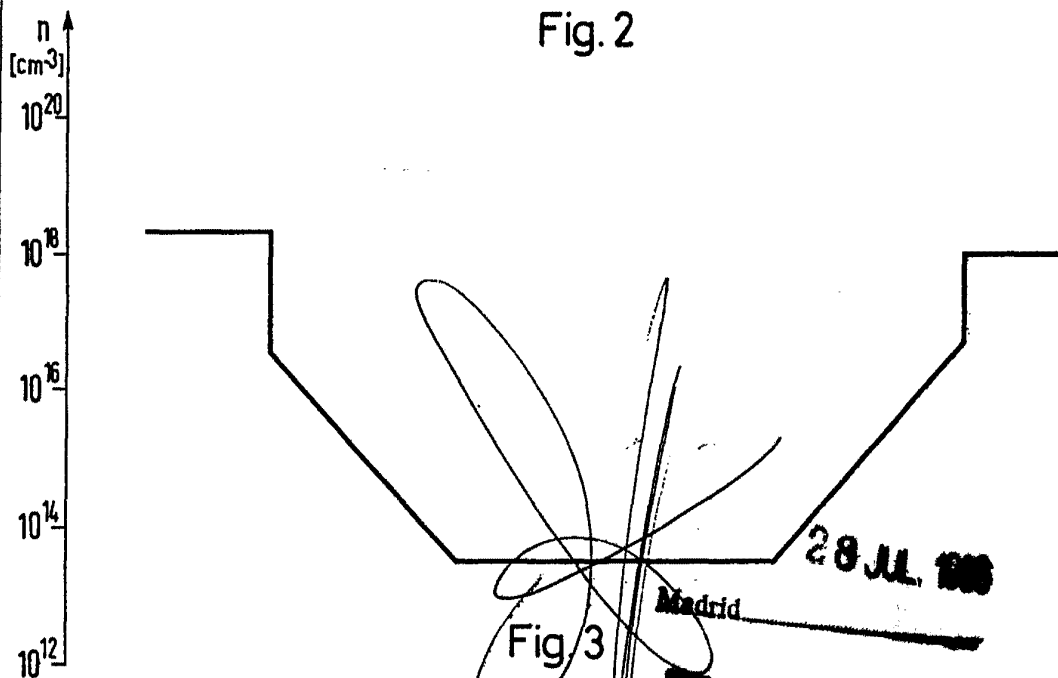


Fig. 3

28 JUL 1900

Madrid

SIEMENS SCHUCKERTWERKE

3 2 9 5 8 6 ESCALA VARIABLE

26 JUL 1968

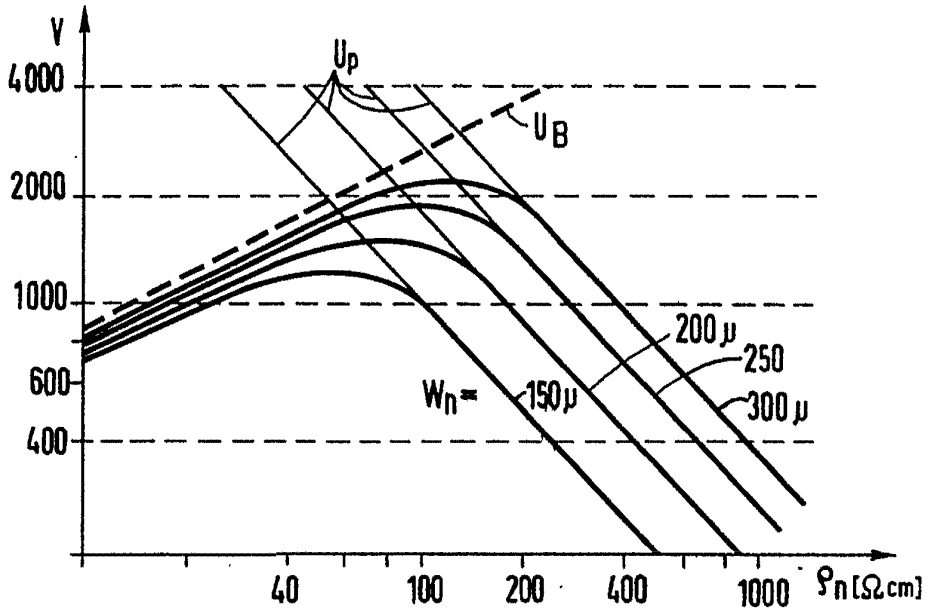


Fig. 4

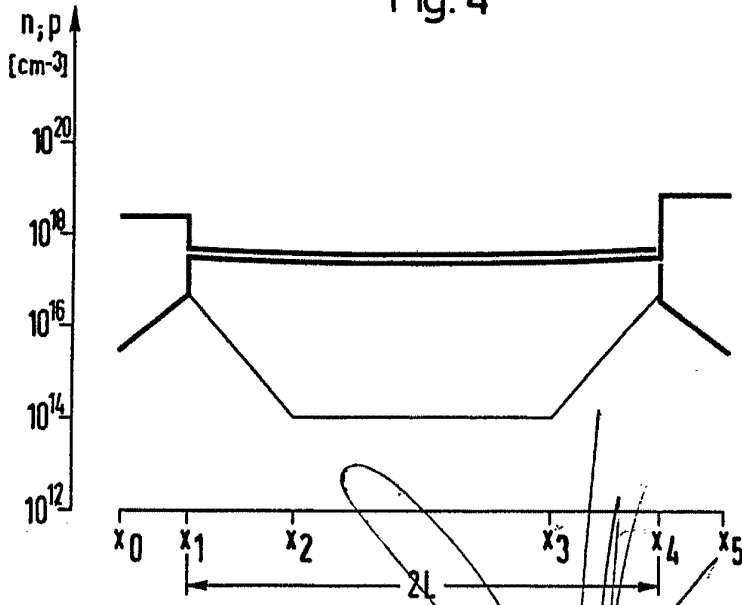


Fig. 5

28 JUL 1968

Maddi
I. GARCIA ACERO Y MORA

329586

ESCALA
VARIABLE 28 JUL 1931

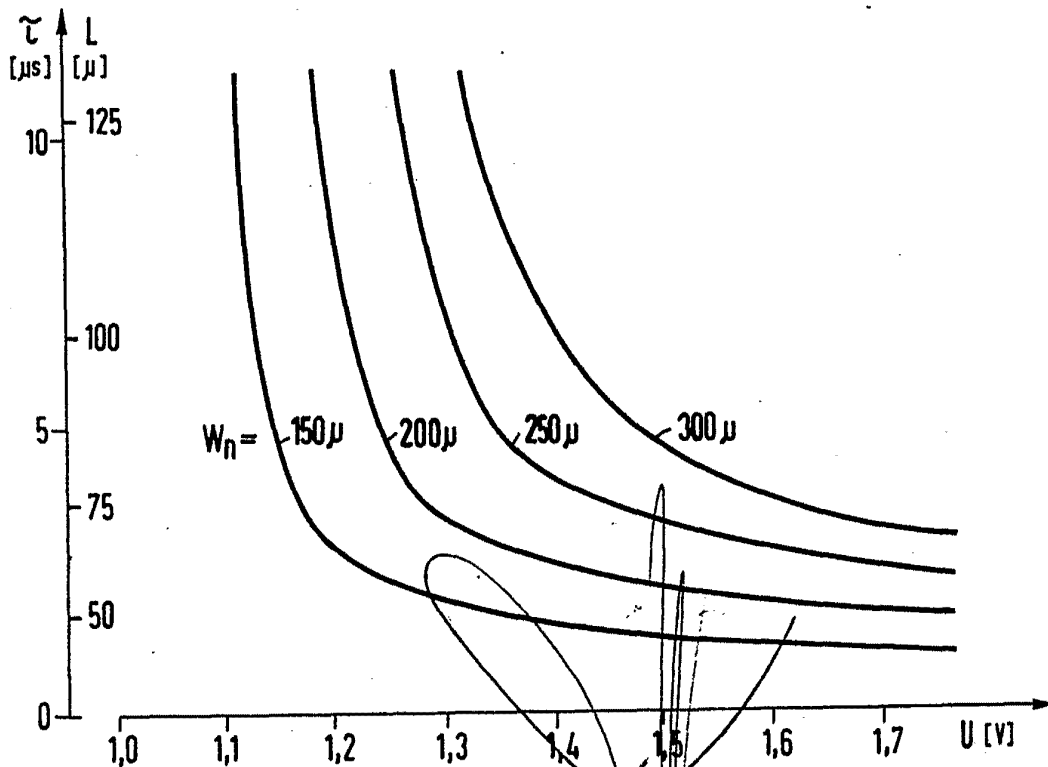
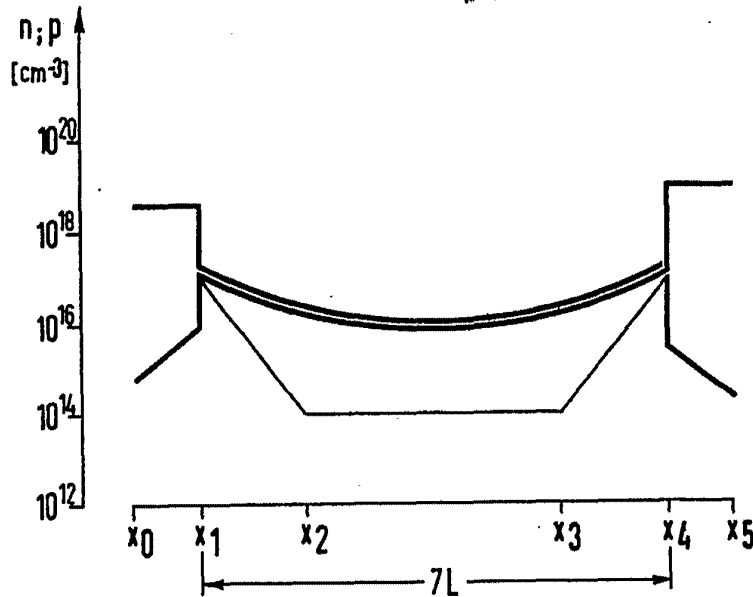


Fig. 7

Madrid 8 JUL 1931
J. GOMEZ ACEBO Y MODESTO
p. p. Filsofo E. Hernandez Rula