

402165

P. 50.625

FI 9-71-001

(device)



MEMORIA DESCRIPTIVA

SECCION TECNICA

CLASIFICACION I. P. C.

CLASE _____

SUBCLASE _____

para solicitar PATENTE DE INVENCION por 20 años

a nombre de INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPO-
RACION

entidad norteamericana

Int. Cl.²: H01L

con domicilio en Armonk, N.Y. 10504, Estados Unidos
de América.

por: "UN DISPOSITIVO SEMICONDUCTOR MONOLITICO"

(Clase Internacional H01L)

9.5.72

- 1 -

402165

16 MA



5 Conocida es ya la conveniencia de formar transistores bipolares y de efecto de campo en un mismo substrato semiconductor monolítico. En la técnica ya conocida se han efectuado muchas propuestas encaminadas a conseguir ese objeto. En general, los métodos anteriormente propuestos implican, sea un compromiso entre procedimientos optimizados (para hacer por separado los transistores bipolares y los de efecto de campo), en un esfuerzo para mantener las características convenientes del funcionamiento del dispositivo, sea un compromiso entre las características de funcionamiento deseables (de uno u otro o de ambos tipos de transistores), en un esfuerzo para mantener un procedimiento simplificado. Uno de los principales obstáculos que se alzan en el camino del éxito de la técnica ya conocida es el hecho de que los niveles de concentración de impureza asociados a los substratos de los transistores bipolares son de un orden de magnitud diferente de los asociados a los transistores de efecto de campo. Por consiguiente, se hace sentir la necesidad de un método para la fabricación de transistores bipolares y de efecto de campo en un mismo substrato monolítico, que permita un control de la concentración de impureza esencialmente independiente, al mismo tiempo que se usen unas etapas de procedimiento previa

10

15

20

25

402165

16



mente optimizadas para la fabricación de transistores bipolares y de efecto de campo, hechos por separado.

El control de la concentración de impu-
reza esencialmente independiente se logra, en una for-
ma preferida de realización de capa epitáxica, fijan-
do el valor de la resistividad de fondo de la capa epi-
táxica a los fines del transistor de efecto de campo
(FET) de canal N optimizado, y utilizando un método
de doble difusión saliente de impureza hasta obtener
los valores de resistividad introducidos a los fines
del transistor bipolar NPN y del canal P optimizados.
Dicha técnica de difusión saliente o hacia fuera crea
en la capa epitáxica unas regiones aisladas por sí mis-
mas (autoaisladas) caracterizadas por un gradiente de
impureza que varía desde un valor relativamente bajo,
en la superficie de la capa epitáxica, a un valor re-
lativamente alto debajo de la superficie de la región
aislada. El perfil vertical de resistividad de la ca-
pa epitáxica dentro de una región aislada puede hacer-
se a medida a los fines del transistor bipolar y del
FET (canal P) optimizados, respectivamente, mediante
la elección apropiada de las concentraciones iniciales
de dos impurezas que conjuntamente producen las regio-
nes autoaisladas de difusión saliente, en las cuales
se forman los transistores bipolares y FET de canal P.

9.5.72

- 3 -

402165

16 MAY 1972



En una forma de realización preferida, se colocan dos impurificantes, de uno de los tipos de conductividad, en unas regiones seleccionadas de un substrato del tipo de conductividad opuesto. Los dos
5 agentes impurificantes se caracterizan por unas velocidades de difusión sensiblemente diferentes y por unas concentraciones iniciales distintas, teniendo la más alta concentración aquél de los impurificantes que tiene menor velocidad de difusión. En el substrato se
10 deposita una capa epitáxica de dicho tipo de conductividad opuesto, y los dos impurificantes se difunden hacia fuera a través de la capa epitáxica hasta que el impurificante de más rápida difusión alcanza la superficie superior de la capa epitáxica. De esta manera
15 se forma una bolsa autoaislada de un tipo de conductividad en cada uno de los lugares deseados de la capa epitáxica. La resistividad de la capa epitáxica en la superficie de dentro de cada región aislada y en la superficie comprendida entre regiones aisladas contiguas
20 es del orden de 10^{16} átomos por centímetro cúbico, lo que representa un valor óptimo para la formación de transistores de efecto de campo (FET) de canal P y de canal N. En virtud del gradiente de impureza resultante del método de doble difusión saliente mediante el
25 cual se forma cada región aislada, la concentración de

402165



impureza dentro de cada bolsa aislada, a la profundidad a la cual se forma el colector de un transistor bipolar, es del orden de 10^{17} átomos por centímetro cúbico a los fines del transistor bipolar optimizado.

5

Se efectúan difusiones simultáneas en cada región aislada en la cual se desean tener las regiones P de base y P de entrada y salida de un transistor NPN y de un FET de canal P. A continuación se efectúan unas difusiones simultáneas para formar el emisor N de cada transistor NPN deseado y las regiones N de entrada y salida de cada FET de canal N deseado, haciéndose dichas difusiones N de entrada y salida en la capa epitáxica comprendida entre regiones autoaisladas adyacentes. Unas etapas de tratamiento adicionales y usuales completan los dispositivos bipolares y FET.

10

15

En los dibujos adjuntos:

- las figuras 1 a 6 inclusive representan unas vistas simplificadas en sección recta de la estructura de transistores bipolares y de efecto de campo del método de la presente invención, en etapas respectivas de su fabricación;

20

- la figura 7 es una representación gráfica del perfil de impurezas N^+ en el substrato representado por la fig. 1; y

25

- la figura 8 es una representación gra

402165

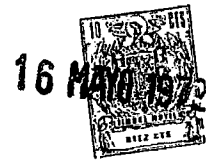
16 MAR 1972



fica del perfil de impurezas de un transistor NPN formado en una bolsa autoaislada conforme al presente invento.

5 Con referencia a la fig. 1, un substrato 1 de silicio P⁻ \sphericalangle 100 \sphericalangle (de concentración de impureza no mayor de unos 10¹⁵ átomos por centímetro cúbico), con una resistividad de superficie de alrededor de 10 a 20 ohm.cm, se oxida inicialmente con una capa de dióxido de silicio 2. En el óxido 2 se practica o
10 graba una ventanilla 3, por métodos usuales de fotorreserva (no ilustrados), A través de la ventanilla 3 se difunde en el substrato 1 un área 4 a modo de subcolector, en cada lugar de substrato en el que más tarde se vaya a establecer una bolsa autoaislada. A título de
15 ejemplo se representan dos de dichas áreas a modo de subcolector, 4 y 5. Cada una de las áreas 4 y 5 comprende dos impurificantes (por ejemplo, arsénico y fósforo) de distintas velocidades de difusión y concentraciones diferentes, y ambos de un tipo de conductividad contrario al del substrato 1 de tipo P⁻. En la
20 figura 7 se ilustran unos perfiles de impureza representativos para el arsénico y el fósforo en el substrato 1, a este punto del procedimiento. En la forma ilustrativa de realización del presente invento, las áreas
25 4 y 5 se forman por difusión en cápsula a 1100°C durante

402165



60 minutos. La difusión da una resistividad en lámina de 7,0 ohmios/□ y una profundidad de unión de 1,14 micras, usando como fuente en polvo que es una mezcla de 1,5 gramos de silicio impurificado con arsénico al 2% y 1,5 gramos de silicio impurificado con 10^{19} átomos de fósforo por centímetro cúbico. El polvo-fuente o generador se prepara inmediatamente antes del cierre o hermetización de la cápsula respecto de las áreas de silicio impurificadas con arsénico e impurificadas con fósforo, almacenadas por separado.

A continuación, se separa del substrato el recubrimiento de óxido 2, y se desarrolla una capa epitáxica 6 de tipo P, de 3 micras de espesor y 2,0 ohm.cm de resistividad, como se ilustra, en la fig. 2. Como se observará, tanto el arsénico como el fósforo han pasado algo, por difusión saliente, a la capa epitáxica 6 al terminarse la etapa de formación de depósito epitáxico ilustrada en la fig. 2. El arsénico, de difusión más lenta, está representado por la línea delimitadora 13 de trazo interrumpido, mientras el fósforo, de difusión más rápida, se halla representado por la línea delimitadora llena 14. A continuación, en la superficie superior de la capa epitáxica 6, se forma la capa de óxido 15 de la fig. 3, y las impurezas de arsénico y fósforo se difunden hacia fuera hasta que el fósforo llega,

402165



5 atravesando por completo la capa epitaxial 6, a la superficie superior de ésta. A este punto, en la capa epitaxial 6 de tipo P del substrato 1 de tipo P⁻ se han formado unas bolsas aisladas 16 y 19 de material de conductividad tipo N. La bolsa aislada 16 ilustrativa se caracteriza por una región 17 de material de conductividad tipo N⁺ impurificado de modo relativamente fuerte (con una concentración de impureza de alrededor de 10²⁰ átomos por centímetro cúbico) que comprende arsénico y fósforo, y una región 18 que tiene una concentración de impureza de tipo N retrógrada relativamente inferior (de alrededor de 10¹⁸ átomos por centímetro cúbico junto a la región 17 a unos 10¹⁶ átomos en la superficie) que comprende fósforo, difundido hacia fuera. El procedimiento descrito hasta este punto corresponde al de la solicitud de patente afín de EE.UU. número de serie 875.012, presentada el 10 de noviembre de 1969 a nombre de Madhukar B. Vora y cedida al mismo cesionario de la presente. Como se enseña en dicha solicitud, es posible formar diversos elementos de circuito semiconductores dentro de unas bolsas respectivas aisladas tales como las bolsas 16 y 19. Por ejemplo, puede formarse un transistor bipolar efectuando difusiones sucesivas de base y emisor en una bolsa aislada.

25 La presente invención es una ampliación

402165



de las señales de la solicitud afín mencionada, específicamente dirigida a la formación de transistores integrados, bipolares y de efecto de campo, dentro de las bolsas aisladas y entre ellas. En la forma de realización ilustrativa expuesta, en la cual se forman unas bolsas aisladas de impureza tipo N en una capa epitáxica P sobre un substrato de tipo P⁻, se forman un transistor bipolar NPN y un transistor de efecto de campo de canal P dentro de las respectivas bolsas aisladas, y se forma un transistor de efecto de campo de canal N en la capa epitáxica entre las bolsas aisladas. La estructura integrada resultante aprovecha de modo singular el hecho de que cada bolsa aislada es producida por la difusión saliente de unos impurificantes hacia arriba, desde la zona interfacial o de transición entre la capa epitáxica y el substrato. Dicha difusión saliente produce una bolsa autoaislada caracterizada por un perfil de impureza retrógrado que varía yendo desde una región inferior (N⁺) impurificada de modo relativamente intenso hasta una región superior (N) impurificada de modo relativamente ligero. La concentración de impureza de la capa inferior da unas regiones de subcolector y de colector optimizadas para un transistor bipolar de tipo NPN, en tanto que la concentración de impureza de la región superior es inferior en cierto número de órdenes de magnitud, para

402165



16 MAY 1972

la fabricación de transistores de efecto de campo optimizados. En la fig. 8 se muestran unos perfiles tipo de impureza de arsénico y de fósforo, así como las concentraciones de impurificantes de fondo en cada bolsa autoaislada. Las curvas de trazo interrumpido 9 y 10 representan los perfiles del arsénico y del fósforo, respectivamente, cuando la difusión saliente todavía es incompleta, en tanto que las líneas 11 y 12 representan los perfiles finales. Las líneas 38 y 39 representan la impurificación de substrato tipo P⁺ y la impurificación de capa epitáxica tipo P, respectivamente.

En la región aislada 16 se forma un transistor bipolar NPN; en la región aislada 19 se forma un transistor de efecto de campo de canal P; y en la capa epitáxica 6, entre las bolsas 16 y 19, se forma un transistor de efecto de campo de canal N; todo ello como se ilustra en las figs. 4, 5 y 6. Uno de los rasgos característicos importantes del presente invento, que mantiene la sencillez de procedimiento sin comprometer las características de funcionamiento convenientes del dispositivo, es la manera en que se forman la base y el emisor del transistor bipolar, y las regiones electrónicas de entrada y de salida del transistor de efecto de campo. Utilizando métodos normales de di



fusión o implantación de iones (por ejemplo, un método de difusión en fase de vapor), la entrada y la salida de canal P se difunden simultáneamente con la difusión de la base del transistor NPN. La entrada y la salida de canal N se forman simultáneamente con la difusión del emisor del transistor NPN. Por consiguiente, en la capa de óxido 15 de la fig. 4 se abren unas ventanillas de difusión 20, 21, 22 y 23, permitiendo una difusión P⁺ simultánea para la formación de una región de base de transistor bipolar, para el contacto de substrato del FET de canal N, y para las regiones de entrada y de salida del FET de canal P, respectivamente. El boro es una impureza adecuada para efectuar estas difusiones simultáneas. En la forma de realización ilustrativa, una difusión en cápsula usando una fuente de boro con una concentración de impureza de $7,5 \times 10^{19}$ átomos por centímetro cúbico, una temperatura de 1000°C y un tiempo de difusión de 60 minutos, da una resistividad en lámina de 169 ohmios/□ y una profundidad de unión de 0,61 micras.

La difusión P⁺ va seguida de un ciclo de oxidación (no indicado en los dibujos) a 907°C usando oxígeno, vapor de agua y oxígeno durante 5, 45 y 5 minutos respectivamente, hasta obtener un grosor de óxido de 2800 Å. La resistividad en lámina de la difusión

402165

16



de boro precedente se aumenta a 449 ohmios/ \square , y la
profundidad de unión de la base se aumenta a 0,66 mi-
cras, a consecuencia del ciclo de oxidación. Acto se
guido se aplica la fotorreserva de manera usual, para
5 delinear la región de contacto de emisor y de colec-
tor del transistor bipolar, las regiones de entrada y
de salida del transistor de efecto de campo de canal
N y el contacto de substrato del transistor de efecto
de campo de canal P. Por consiguiente, las ventanillas
10 de difusión 24, 25, 26, 27 y 28 de la fig. 5 se abren
para una difusión de tipo N^+ que forma simultáneamen-
te el emisor 29 y el contacto de colector 30 del tran-
sistor bipolar NPN en la bolsa aislada 16, el contac-
to de substrato 31 para el transistor de efecto de cam-
15 po de canal P formado en la bolsa aislada 19, y la en-
trada y la salida 32 y 33 del transistor de efecto de
campo de canal N formado en la capa epitáxica 6 entre
las bolsas aisladas 16 y 19.

En la forma de realización ilustrativa,
20 las difusiones N^+ simultáneas se hacen, de preferencia,
usando una difusión en cápsula con silicio impurifica-
do con arsénico al 1,55% a una temperatura de 1000°C
durante 60 minutos. Esto produce una resistividad de
lámina de 20 ohmios por unidad de superficie y una pro-
25 fundidad de unión de 0,28 micras en las áreas de difu-

402165

16



5 sión N⁺. Un ciclo de introducción a 970°C usando oxígeno, vapor de agua y oxígeno durante 5, 20 y 5 minutos, respectivamente, da un grosor de óxido de 3000 Å y aumenta la resistividad de lámina a 30 ohmios/□ y la profundidad de unión a 0,36 micras en las áreas de difusión N⁺.

10 Las estructuras de transistor de efecto de campo de canal N y de canal P se completan o terminan de manera usual. Dicho en breves términos, se quita el óxido en las áreas activas de canal N y de canal P y se recrece a un grosor deseado. El óxido recrecido se estabiliza en cuanto a cargas, por ejemplo, mediante la aplicación de una capa de vidrio de fosfosilicato seguida de un ciclo de recocido. Finalmente, se forman
15 el electrodo de mando del transistor de efecto de campo y la necesaria metalurgia de contactos hasta obtener el dispositivo final representado en la fig. 6. Los números de referencia 34 y 35 designan el óxido recrecido del electrodo de mando para los transistores de efecto de campo de canal N y de canal P, respectivamente,
20 Los números de referencia 36 y 37 designan el electrodo de mando para los transistores de efecto de campo de canal N y de canal P, respectivamente.

25 Como se ha descrito en la precedente forma ilustrativa de realización del presente invento, se

9.5.72

402165



emplea una difusión de arsénico para formar el emisor del transistor bipolar y los electrodos de entrada y salida del transistor de efecto de campo de canal N. Se prefiere el arsénico a otros impurificantes de conductividad tipo N, tales como el fósforo, porque un emisor de arsénico aumenta o mejora el funcionamiento en alta frecuencia de un transistor bipolar NPN. Además, el arsénico se difunde a una distancia mucho más corta que el fósforo (para establecer una resistividad dada en el sustrato), permitiendo que las ventanillas de difusión de los electrodos de entrada y salida estén más juntas para una longitud efectiva de canal dada en el transistor de efecto de campo. Esta reducción de dimensión facilita un apreciable aumento en la densidad de componentes, al nivel de pastilla. Además, el uso del arsénico (en vez del fósforo, por ejemplo) como impurificante de tipo N⁺ para la difusión simultánea de los electrodos de entrada, salida y emisor, hace posible que las propiedades del transistor bipolar permanezcan sensiblemente inafectadas durante los tres ciclos sucesivos de alta temperatura necesarios para terminar la estructura del transistor de efecto de campo, a saber: el ciclo de recrecimiento de óxido para el electrodo de mando, a 970°C; la formación de depósito de vidrio de fosfosilicato a 900°C; y ciclo de recocido a

402165



1050°C. Sería extremadamente difícil controlar la an
chura de base de un transistor bipolar si hubiera de
usarse fósforo para hacer los electrodos de entrada,
salida y emisor. El arsénico, al ser un impurifican-
5 te de difusión más lenta, da mejor control de anchura
de la base.

Es de notar que los parámetros de fa-
bricación, incluidos los perfiles de impureza estudia-
dos en la descripción que antecede, son meramente ilus
10 trativos. En general, los niveles de impurificación
de fondo del sustrato y de la capa epitaxial y la con
centración inicial del impurificante (arsénico y fós-
foro, por ejemplo) en el sustrato, y la profundidad
de unión, etc., pueden hacerse variar con arreglo a
15 consideraciones de proyecto ya establecidas, determi-
nadas por la naturaleza de los dispositivos semiconduc-
tores que se vayan a formar en las respectivas bolsas
N aisladas. Respecto a la concentración inicial del
arsénico introducido en el sustrato, se ha observado
20 que una concentración elevada, superior a unos 10^{21}
átomos por centímetro cúbico, da lugar a una disemin
ción lateral del arsénico a lo largo de la zona inter-
facial o de transición entre la capa epitaxial y el
sustrato durante el tiempo en que se esté desarrollan-
do la capa epitaxial. Esta diseminación no es nada de
25

402165



seable, en cuanto tiende a aumentar la distancia de
proyecto prevista entre las bolsas N contiguas aisladas y, en el peor de los casos, podría llegar incluso
a meterse entre las bolsas N contiguas y, por tanto,
5 cortocircuitarlas entre sí. Este problema puede soslayarse de varias maneras, algunas de las cuales se
bosquejan en la obra "Silicon Semiconductor Technology"
("Tecnología de los semiconductores de silicio"), de
W.R. Runyan, McGraw-Hill, 1965, página 70. Quizá el
10 método más sencillo consiste en reducir el valor de
la concentración inicial de arsénico en superficie,
por debajo de los 10^{21} átomos por centímetro cúbico.
Es asimismo ventajoso introducir una irrupción inicial de impurificante P adicional cuando se inicie el
15 desarrollo de la capa epitáxica impurificada en P, para compensar toda autoimpurificación en N^+ que pudiera
provenir de las áreas a modo de subcolector previamente colocadas en el sustrato.

Si bien esta invención se ha descrito
20 de manera particular con referencia a las formas preferidas de ejecución de la misma, se sobrentiende para las personas versadas en la materia que pueden hacerse en ellas los indicados y otros cambios de forma y de detalle sin por ello salirse del ámbito ni apartarse del espíritu de la invención.
25

402165



5 La presente solicitud que corresponde a la presentada en Estados Unidos de América, con fecha 28 de Abril de 1.971 bajo el número 138.161, se acoge a los beneficios del Artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

10 REIVINDICACIONES

Los puntos de invención, propia y nueva que se presentan para que sean objeto de la presente solicitud de Patente de Invención en España por VEINTE años, son los siguientes:

15 1.- Un dispositivo semiconductor monolítico que comprende: un material semiconductor de un primer tipo de conductividad; por lo menos una bolsa que tiene una concentración retrógrada de impureza del otro tipo de conductividad, que se extiende entrando en dicho material desde una superficie del mismo, incluyen
20 do dicha bolsa una capa sepultada de impureza del mismo tipo pero en mayor concentración que la impureza de
25 dicha bolsa, rodeando por completo dicha bolsa a dicha

.9.5.72

- 17 -



402165

16



capa; un transistor bipolar formado en dicha bolsa; y un primer transistor de efecto de campo formado en dicho material semiconductor, fuera de dicha bolsa.

5 2.- El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho transistor bipolar es de tipo NPN y dicho primer transistor de efecto de campo es de canal N.

10 3.- El dispositivo de la reivindicación 1 que tiene una pluralidad de bolsas iguales a dicha bolsa, estando dicho primer transistor de efecto de campo formado en otra de dichas bolsas.

15 4.- El dispositivo de la reivindicación 3 y que incluye además un segundo transistor de efecto de campo formado en dicho material semiconductor, entre dichas bolsas.

5.- El dispositivo de la reivindicación 4, en el que dicho transistor bipolar es de tipo NPN y dichos primero y segundo transistores de efecto de campo son de canal P y de canal N, respectivamente.

20 6.- Un dispositivo semiconductor monolítico.

Tal y como se ha descrito en la Memoria

9.5.72

- 18 -

402165



que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

La presente Memoria consta de diecinueve hojas escritas a máquina por una sola de sus caras.

Madrid, 16 MAYO 1972

P.A.

Alberto de Lizasoain
Por Poderes

9.5.72
JGM.

- 19 -



16 MAR 1972

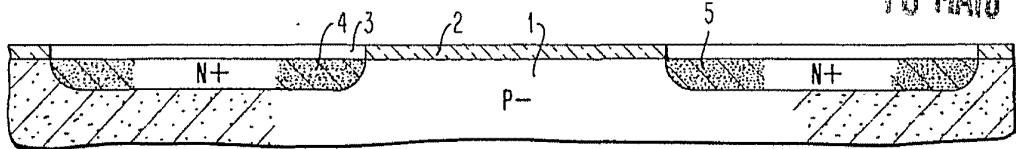


FIG. 1

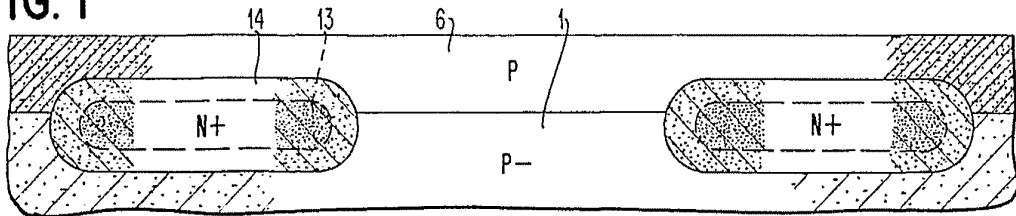


FIG. 2

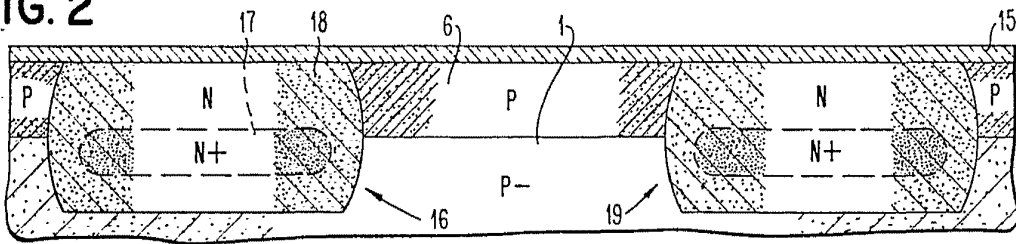


FIG. 3

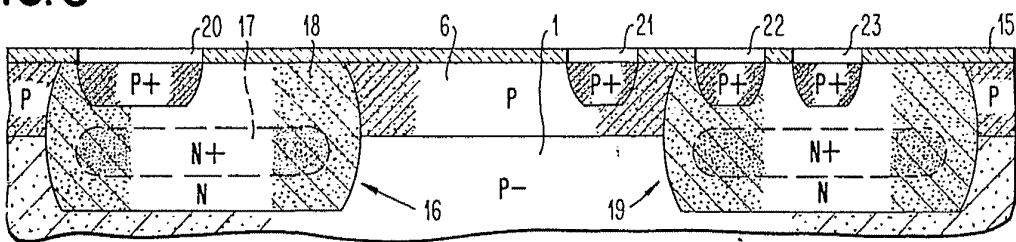


FIG. 4

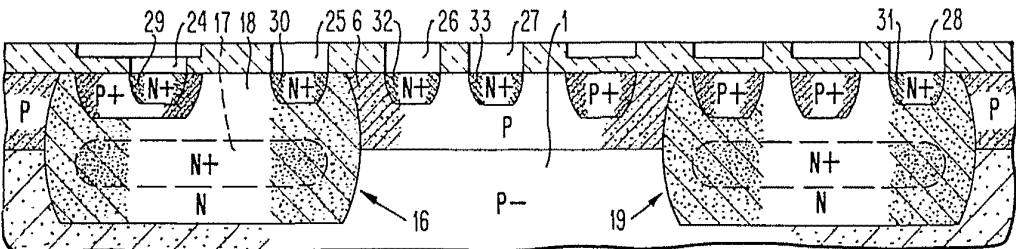


FIG. 5

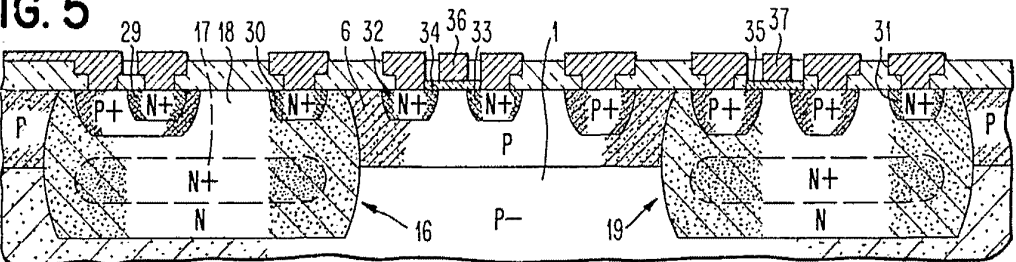


FIG. 6

Alberto de Eizaburu
Per Podda

Alberto de Eizaguirre
 Por Poderes

FIG. 8

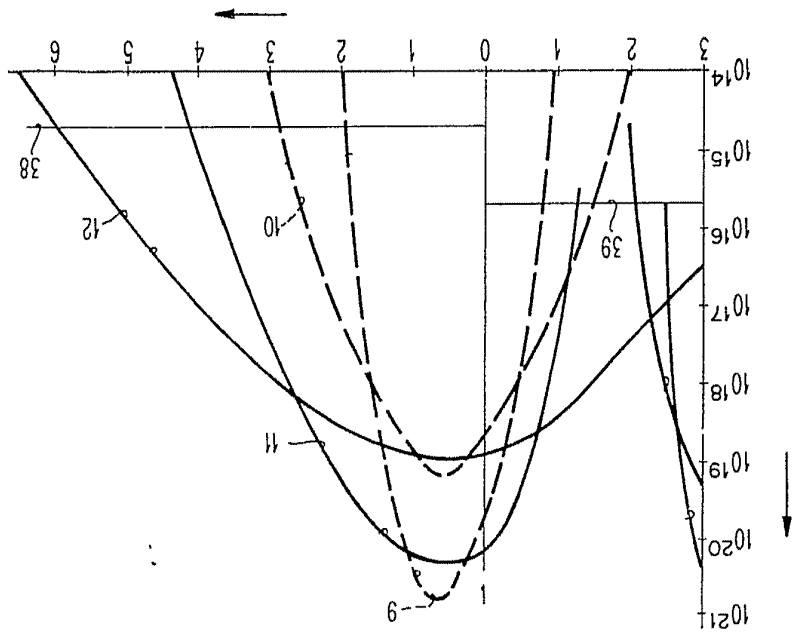
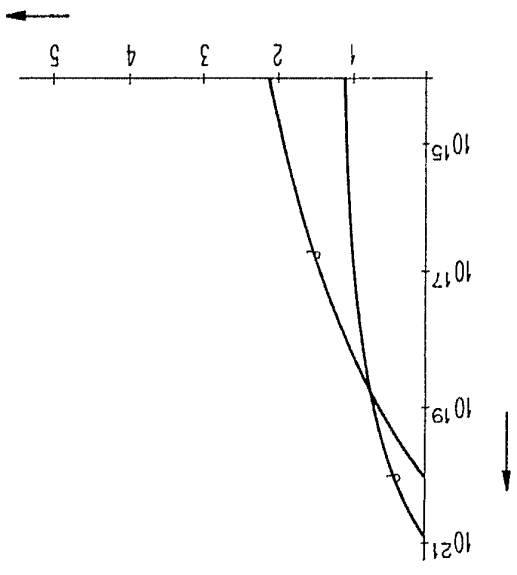


FIG. 7



402165 16 MAR 1977

15005

II/II

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION