

P.-39.845

360558

TY-3194

TECNICA
S. P. C.
H-01
L

Memoria descriptiva



para solicitar PATENTE DE INVENCION por 20 años

a nombre de TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED

entidad / de nacionalidad ~~xxxxxx~~ norteamericana

con domicilio en 13500 North Central Expressway, Dallas,
Tejas, Estados Unidos de América.

por: "UN SISTEMA DE CONEXIONES ELECTRICAS PARA UN CIRCUITO
INTEGRADO" (Clase Internacional H011 H05k)



El invento se refiere a dispositivos semiconductores, en particular del tipo de circuito integrado semiconductor, y a la provisión de capas alternas de películas metálicas y material aislante eléctrico, para formar diseños de interconexión y contacto de niveles múltiples para tales dispositivos.

La creciente demanda de microminiaturización se ha reflejado en el campo de la electrónica en el desarrollo de circuitos integrados semiconductores y de dispositivos de Integración en Gran Escala (IGE), mediante los cuales se forman una pluralidad de componentes de circuito activos y/o pasivos en o sobre uno o más sustratos de material semiconductor, siendo luego conectados entre sí todos esos componentes de circuito de una manera particular, para proporcionar una o más funciones de circuito deseadas. Por ejemplo, un dispositivo de circuito integrado del tipo monolítico puede tener una serie de componentes activos y pasivos, tales como transistores y resistencias, formados por difusión debajo de una superficie o cara principal de un sustrato de material semiconductor, una capa aislante sobre la cara de la oblea, y películas metálicas sobre la capa aislante que conectan entre sí las resistencias y las diversas regiones de los transistores, según un diseño deseado, a través de agujeros en la capa aislante. Al aumentar la complejidad de los circuitos, sin embargo, y al producirse un aumento correspondiente en la complejidad de los diseños de interconexión, especialmente en los dispositivos IGE, se ha hecho necesario formar más de un nivel de interconexiones de película metálica con aislamiento eléctrico adecuado



entre los diversos niveles en los puntos de cruce. ¹¹¹⁰
es así, en particular, cuando, sobre un sólo sustrato de material semiconductor, se forman una pluralidad de circuitos separados y se hace necesario conectar entre sí -
5 los circuitos para acción cooperante para producir una o más funciones de circuito.

En los circuitos integrados, y en particular -
en los dispositivos de IGE en los que se requieren 2, 3
6 ó más sistemas de interconexión de niveles, se usan los mejores conductores eléctricos tales como plata, cobre,
10 oro y aluminio, para los niveles inferiores (como parte del primer nivel en un sistema de dos niveles, y como --
parte de los niveles primero y segundo en un sistema de -
tres niveles, por ejemplo) debido a dos razones fundamen-
15 tales.

En primer lugar, el grueso de la interconexión
deberá ser mínimo, de modo que puedan aplicarse sobre la
misma capas aislantes continuas. En general, especialmen-
te cuando se emplean capas aislante inorgánicas, tales co
20 mo de óxido de silicio depositada por pulverización catódica de radiofrecuencia, cuanto más gruesa sea la interco-
nexión metálica tanto más difícil es la tarea de deposi-
tar una capa aislante de gran perfección sobre la misma.
Se ha comprobado que el grueso de la capa aislante deberá
25 ser igual o mayor que el grueso de la película metálica -
subyacente, a fin de obtener grandes producciones de cru-
ces aislados. Pero a medida que aumenta el grueso de la -
capa aislante, se agravan considerablemente problemas ta-
les como los de formación de grietas, de fisuras y de ---
grandes mordeduras o socavamientos, al hacer por ataque -
30 químico los agujeros pasantes de alimentación.



En segundo lugar, el grueso de la interconexión metálica deberá ser máximo para proporcionar baja resistividad de lámina. En algunos circuitos lógicos se necesitan valores de resistividad de lámina de tan sólo 0,01 ohmios/en cuadro. Generalmente se han abandonado los intentos de usar un solo metal diferente de los metales de gran conductividad, tal como el oro y el aluminio, por ejemplo, en los circuitos lógicos integrados y en los dispositivos de IGE, debido a que el grueso necesario para obtener una resistividad de lámina muy baja es tan grande que la gruesa interconexión es prohibitivamente difícil de hacer por ataque químico en un diseño de precisión, y es difícil de aislar de los niveles superiores y tiende a exfoliarse fácilmente. El problema de la resistividad de lámina no surge en los contactos de un sólo nivel no expandidos, tales como los contactos con diodos de mesa y con transistores de "anillo y punto", debido a que pasan corrientes a través de la película metálica en lugar de pasar a lo largo de la película metálica. La resistencia desarrollada perpendicularmente a través de una película metálica delgada, independientemente de su resistividad, es despreciable debido a su gran delgadez. Es de resaltar que los circuitos integrados de silicio bipolares y los dispositivos de IGE del tipo lógico de gran velocidad, son especialmente sensibles a la resistividad del metal de interconexión, dado que tales dispositivos operan con intensidades de corriente relativamente altas.

Evidentemente, esos dos requisitos fundamentales son incompatibles a menos que se usen interconexiones



de conductividad muy alta, y, por consiguiente, una solución al problema consiste en el uso de solamente metales de gran conductividad, tales como plata, cobre, oro y aluminio, por ejemplo, los cuales tienen las siguientes resistividades a 20°C:

5

Plata	$1,6 \times 10^{-6}$ ohmios-cm
Cobre	$1,67 \times 10^{-6}$ ohmios-cm
Oro	$2,3 \times 10^{-6}$ ohmios-cm
Aluminio	$2,69 \times 10^{-6}$ ohmios-cm

10

Puesto que la plata, el cobre y el oro presentan baja adherencia a las capas aislantes apropiadas, tales como las de óxido de silicio, que son las que se usan corrientemente en los circuitos integrados, solamente cabe considerar esos metales cuando se usan juntamente con otros metales en forma de películas bimetálicas o trimetálicas.

15

Para la capa de metal de gran conductividad es sumamente deseable el oro, debido a sus propiedades únicas de resistencia a la oxidación y a la decoloración, combinadas con una gran conductividad eléctrica. Los metales, cobre, plata y aluminio, aunque muy conductores, presentan problemas de oxidación, decoloración e incluso ataque químico, durante el ataque químico de los agujeros pasantes de alimentación en las capas aislantes. Así, es difícil proporcionar contactos pasantes de alimentación de baja resistencia con metales que no sean el oro. La plata se oxida y se decolora al aire a la temperatura ambiente y, por consiguiente, presenta un problema de contacto óhmico. El aluminio es particularmente delicado, por ser termodinámicamente inestable con el óxido de si-

20

25

30



5 licio, una característica que se traduce corrientemente en formas difíciles de quitar de vidrio y de óxidos que se forman en la cara de contacto del aluminio y del óxido de silicio, dando por resultado la formación de un óxido de aluminio insoluble.

Otra propiedad deseada de los metales de gran conductividad que acaban de mencionarse es la de una baja energía de activación de autodifusión, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$D = A e^{-Q/RT}$$

10 donde:

Q = energía de activación de autodifusión en kilocalorías/mol.

A =, coeficiente de frecuencia en cm^2/seg .

15 D = coeficiente de difusión para autodifusión cm^2/seg .

R = 1,987 cal/mol/ $^{\circ}\text{K}$

T = temperatura en $^{\circ}\text{K}$

lo que da por resultado la siguiente clasificación:

20 Cobre - 48 kilocalorías/mol.

Plata - 44 kilocalorías/mol.

Oro - 42 kilocalorías/mol.

Aluminio- 34 kilocalorías/mol.

25 La energía de activación adquiere importancia para altos niveles de corriente, debido a la característica de los metales de baja energía de activación de formar un circuito abierto al aplicar grandes corrientes. El cobre es por tanto el mejor metal para uso desde el punto de vista de altas corrientes, y el aluminio es el peor.

30 De hecho, el aluminio no se usa para los dispositivos --



modernos de muy alta densidad de corriente.

5 Puesto que el requisito de baja resistividad -
de lámina es tan exigente, solamente pueden usarse los -
pares de metales que sean metalúrgicamente estables. Un -
sistema de película bimetálica metalúrgicamente estable -
se define como uno en que no puedan formarse compuestos --
intermetálicos, en que existan solubilidades mutuas en es-
tado sólido muy bajas, y en que las temperaturas eutécti-
cas (si las hay) son considerablemente superiores a todas
10 las temperaturas de procedimientos para el dispositivo. -
Al calentar una capa bimetálica o trimetálica inestable -
se producen una diversidad de fenómenos. Al mezclarse en-
tre sí los metales por interdifusión, se produce un aumen-
to considerable en la resistividad pues el metal más con-
15 ductivo queda contaminado. Como otros efectos perjudiciales
pueden citarse los de esponjamiento, pelado, ampollamien-
to y otros fenómenos más sutiles, tales como el de por -
oxidación de Kirkendall.'

20 El segundo metal usado en un sistema de interco-
nexión bimetálica o trimetálica, además de ser metalúrgi-
camente estable con el metal de gran conductividad, debe
adherirse bien a los diferentes óxidos y aislamientos de
vidrio, y deberá proporcionar buen contacto óhmico con el
sustrato de silicio. El que se usa hoy día corrientemente
25 como tal segundo metal para interconexiones es el molib-
deno, como se describe más detalladamente en la Patente -
americana Número 3.290.570 cedida al cesionario de la pre-
sente solicitud. El molibdeno, con el oro, forman un buen
sistema de interconexión para uso con circuitos integra-
30 dos.



No obstante, hay un problema inherente a los sistemas de interconexión de molibdeno-oro-molibdeno -- cuando se usan con la capa aislante de óxido de silicio usual entre los niveles de interconexiones. Los agujeros formados en la capa de óxido de silicio para permitir la realización de conexiones óhmicas entre los niveles de interconexión tienden a ser de lados contorneados con "fondo acampanado", es decir, agujeros grandes en el fondo y pequeños en la parte superior. Debido a la inclinación de los lados del agujero, debido a su forma de "fondo acampanado", es difícil de conseguir una conexión continua desde la interconexión metálica en la superficie superior de la capa de óxido de silicio a la superficie de la interconexión metálica inferior expuesta por el agujero.

Además, el molibdeno forma una serie de óxidos -- fácilmente solubles. Durante el ataque químico del agujero en la capa de óxido de silicio para exponer la interconexión metálica inferior, el óxido de molibdeno en la cara de contacto de molibdeno y óxido de silicio es fácilmente atacado por la solución de ataque químico, dando por resultado graves mordeduras o socavamientos. El socavamiento puede ser tan profundo que el aflojamiento de la unión entre la capa de óxido de silicio y la superficie oxidada de la película de molibdeno de la interconexión inferior permite que la parte socavada de la capa de óxido de silicio se suelte y se desprenda del resto de la capa de óxido de silicio, dando por resultado una conexión abierta.

El material aislante entre los niveles de in--



5 terconexiones metálicas deberá proporcionar aislamiento
eléctrico adecuado y deberá estar sustancialmente exento
de picaduras o poros para evitar la posibilidad de corto-
circuito eléctrico entre los niveles. Además, todo el --
sistema deberá ser fabricado de metales y aisladores u -
óxidos que sean materiales estructuralmente confiables,
que no cedan ni se desprendan durante la manipulación del
sustrato. Todo el material deberá ser física y química--
mente estable al ser sometido a elevadas temperaturas, de
10 modo que ninguno de los materiales reaccione de modo no
deseable con otro o con el sustrato semiconductor. Los -
metales y el aislamiento o medio aislante deberán adhe--
rirse fuertemente entre sí, y deberá existir un buen con-
tacto óhmico (entre niveles) entre la película metálica -
15 última o expuesta de un nivel y la primera película metá-
lica del nivel siguiente, en los puntos de cruce conduc-
tores.

A la vista de lo que antecede, un objeto del -
presente invento es, por consiguiente, un sistema nuevo -
20 y mejorado de contactos y de interconexiones de niveles -
múltiples para circuitos integrados semiconductores y dis-
positivos de Integración en Gran Escala.

Otro objeto del invento es un sistema de con--
tactos y de interconexión de niveles múltiples que poseen
25 todas o sustancialmente todas las características desea--
das antes mencionadas.

Todavía otro objeto del invento son contactos
expandidos y/o un sistema de interconexión de niveles múl-
tiples con agujeros pasantes de alimentación en la capa -
30 aislante que no tengan formas de "fondo acampanado".



Todavía otro objeto del invento es un sistema de contactos de interconexión de niveles múltiples que - no experimente ataque sustancial en la cara de contacto entre el metal y la capa aislante, durante la formación de los agujeros pasantes de alimentación en la capa aislante que cubre un nivel de interconexiones metálicas.

Todavía otro objeto del invento es un contacto expandido mejorado para dispositivos semiconductores, y, en particular, para dispositivos incorporados en recintos no herméticos.

Las nuevas cualidades que se consideran características de este invento se exponen en las reivindicaciones de la Nota adjunta. El propio invento, sin embargo, así como otros objetos y ventajas del mismo, podrán comprenderse mejor con referencia a la descripción detallada que sigue, considerada juntamente con los dibujos que se acompañan, en los que:

La Fig. 1 es una vista en corte, muy ampliada, que ilustra un agujero pasante de alimentación de "fondo acampanado" en la capa aislante entre diferentes niveles de interconexiones con un sistema de interconexión de molibdeno-oro-molibdeno;

La fig. 2 es una vista en corte, muy ampliada, que ilustra un agujero pasante de alimentación que tiene lados suavemente inclinados en la capa aislante entre los diferentes niveles de interconexiones, con el sistema de interconexión metálica del invento;

La fig. 3 es una vista en planta, que ilustra la distribución de los componentes de circuito en uno de los elementos funcionales en el sustrato ilustrado en la



Fig. 4, habiéndose ilustrado esos mismos componentes en forma esquemática en la Fig. 5;

La Fig. 4 es una vista en planta, que ilustra - un sustrato semiconductor que contiene una pluralidad de elementos funcionales y adaptado para uso en la puesta en práctica de este invento;

La Fig. 5 es un diagrama esquemático del circuito electrónico en uno de los elementos funcionales ilustrados en la Fig. 3;

Las Figs. 6-9 son vistas en corte de una parte de la estructura de circuito integrado ilustrada en la Fig. 3, tomada a lo largo de la línea de corte 4-4, en que se ilustran operaciones siguientes en la fabricación del sistema de interconexión de niveles múltiples del presente invento; y

La Fig. 10 es una vista en planta, en que se -- ilustra un dispositivo semiconductor individual de acuerdo con el invento; y

La Fig. 11 es una vista en corte tomada a lo -- largo de la línea A-A de la Fig. 10.

Una realización del invento comprende un sistema de interconexión de niveles múltiples en que se usan interconexiones trimetálicas de tungsteno-metal de gran conductividad-tungsteno, estando cada nivel de metal separado - de los demás niveles de metal por capas aislantes. Los contactos óhmicos entre un nivel de las interconexiones y otro nivel, o entre un nivel de las interconexiones y partes de un sustrato semiconductor que tiene componentes electrónicos, se hacen a través de agujeros en las capas aislantes.

Un resultado totalmente inesperado obtenido usan-



do interconexiones de niveles múltiples de tungsteno-metal de alta conductividad-tungsteno, en lugar de interconexiones de niveles múltiples de molibdeno-oro-molibdeno, con aislamiento entre los niveles mediante capas aislantes tales como de óxido de silicio, es la mejora de la pendiente o contorno de los lados de los agujeros pasantes de alimentación formados en las capas de óxido de silicio. Si el contorno de los lados del agujero de una capa de óxido de silicio resulta demasiado corto, es decir, es aproximadamente perpendicular al plano de la superficie del dispositivo, se experimentan dificultades para metalizar continuamente desde la superficie superior de óxido de silicio, bajando por la pendiente del agujero y a la interconexión de metal de nivel inferior. Esta situación empeora cuando se tropieza con un contorno de agujero de pendiente inversa, que forma un agujero pasante de alimentación de forma de "fondo acampanado", como se ha ilustrado en la Fig. 1, siendo tal contorno el que se observa corrientemente.

La razón para el costado 100 de pendiente inversa del agujero 101 de "fondo acampanado", que se forma durante la operación de ataque químico del agujero en la capa 102 de óxido de silicio, no ha sido comprendida de un modo totalmente satisfactorio. No obstante, la forma del agujero 101 está probablemente relacionada con alguna característica de la película 103 de molibdeno, hasta ahora desconocida, que forma la película superior de la interconexión inferior juntamente con la película 104 de oro intermedia y la película 105 de molibdeno inferior formadas en el sustrato 106 de silicio.



5 Cuando se usa el tungsteno en lugar de molib-
deno, el agujero pasante de alimentación 110, como se ha
ilustrado en la Fig. 2, tiene, de modo totalmente inesp-
erado, el lado 111 suavemente inclinado, de aproximadamen-
te 20° a 40°, lo que es realmente mejor que incluso el
límite superior de la pendiente "deseada" de 45°. De la
Fig. 2 resulta evidente que puede formarse un segundo --
nivel de interconexión en la superficie superior de la -
capa 102 de óxido de silicio, y sobre el lado 111 suave-
mente inclinado del agujero 110 para hacer contacto eléc-
trico con la interconexión inferior, consistente en la -
película 112 de tungsteno superior, la película 113 de -
oro intermedia, y la película 114 de tungsteno inferior,
sin peligro alguno de rotura o apertura en el contacto.

10
15 Otra ventaja inesperada de usar tungsteno en -
lugar de molibdeno, consiste en la eliminación del soca-
vamiento 107 en la cara de contacto del molibdeno y el -
óxido de silicio como se ha ilustrado en la Fig. 1, cuan-
do se forma el agujero pasante de alimentación 101. El -
régimen de socavamiento con el óxido de molibdeno 115, -
Fig. 1, es más rápido de lo previsto atendiendo a la capa-
20 cidad de una solución de ataque químico para reaccionar y
eliminar productos de reacción a lo largo de un canal de
100 - 125 milimicras, que es el grueso aproximado del --
óxido de molibdeno en la cara de contacto del óxido de -
25 silicio y el molibdeno. A menos que se controle muy cui-
dadosamente, el socavamiento del molibdeno puede avanzar
varias décimas de milímetro y, en algunos casos, la capa
de óxido puede "levantarse" alrededor del área socavada,
30 dando por resultado el agravamiento del problema del agu-



jero "de fondo acampanado". También se sospecha que, --
ocasionalmente, durante la formación del agujero, la capa
102 de óxido de silicio puede romper su unión con la ca-
pa 103 de molibdeno en la periferia inferior del agujero,
5 dando por resultado el ataque químico del óxido de sili-
cio junto a la cara de contacto de molibdeno y óxido de
silicio, dando también por resultado un agujero mal con-
formado.

Independientemente de los mecanismos físicos o
10 químicos implicados, los efectos de socavamiento y de --
agujero de forma de "fondo acampanado" no se producen en
el sistema de tungsteno y óxido de silicio, como puede --
verse en la Fig. 2. No se produce socavamiento sustancial
del óxido de tungsteno 115, Fig. 2, en la cara de contac-
15 to del tungsteno y el óxido de silicio. No cabe explicar
la ausencia de la forma de "fondo acampanado" del agujero,
ni la ausencia de socavamiento perjudicial de la cara
de contacto del tungsteno y el óxido de silicio, por com-
paración con cualquiera de las propiedades conocidas del
20 molibdeno y del tungsteno. El uso del tungsteno permite --
la fabricación de dispositivos con circuitos extremada--
mente complejos que no pueden fabricarse hoy día de modo
debidamente satisfactorio usando molibdeno.

El tungsteno hace buen contacto óhmico con el
25 silicio, en particular si las regiones de contacto están
fuertemente impurificadas, y sin embargo no se alea de --
modo no deseable con la superficie de silicio, hasta el --
punto de degradar el dispositivo. Por otra parte, el tungsteno
se adhiere bien al óxido de silicio, puede ser ataca-
30 do químicamente de una manera controlada con un reactivo



de ataque químico, por ejemplo, una solución acuosa del
5% de ferricianuro potásico $K_3 Fe (CN)_6$ y el 1 % de bora-
to sódico $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$, compatible con otros materiales,
y cuando se usa en combinación con el oro es virtualmente
5 impermeable al oro. A este respecto, es de hacer notar -
que cuando se conforma el tungsteno poniendo en contacto
el semiconductor de silicio con una capa de oro sobre el
tungsteno se forma un sistema de contacto virtualmente -
"no aleado", no aleándose el tungsteno con el silicio ni
10 aleándose el oro con el tungsteno.

El oro, además de su excelente conductividad, -
es fácil de depositar por técnicas de evaporación usuales,
se presta de por sí admirablemente a los procedimientos -
de ataque químico de fotoreserva asociados con la defini-
15 ción del contacto y de los diseños de interconexiones, y
se une fácilmente a los hilos conductores de oro.

En las aplicaciones en que se usan intensidades
de corriente muy grandes, se consigue un dispositivo mejor
sustituyendo la película de oro por una película de cobre.
20 Aunque debe ponerse más cuidado en la fabricación de in-
terconexiones para reducir el peligro de la oxidación del
cobre o de que sea atacado por los reactivos de ataque --
químico usados en las diferentes fases de la fabricación
del dispositivo, viene exigido el uso del cobre en lugar
25 del oro en los dispositivos de grandes intensidades de -
corriente, que requieren la mejor conductividad y la menor
energía de activación de difusión del cobre para interco-
nexiones de resistividades más bajas.

Refiriéndonos ahora a las figuras, se ha ilus-
30 trado en la Fig. 4 una recanada o sustrato 10 de material



semiconductor, en este caso de material semiconductor
de silicio, que tiene en la misma una serie de elementos
funcionales. Aunque solamente se han representado 16 de
tales elementos funcionales, para ilustración, de ordina-
rio se utiliza un número mucho mayor. Cada uno de los --
5 elementos funcionales 11-26 contiene el número necesario
de transistores, resistencias, condensadores o similares,
conectados entre sí para producir una función de circuito
eléctrico deseada. Por ejemplo, el elemento funcional 13
10 puede comprender el circuito representado esquemáticamen-
te en la Fig. 5, y en vista en planta en la Fig. 3. El -
circuito de ese elemento funcional 13 incluye los tran--
sistores de tipo P-N-P 32, 33, 34 y 35 y los transistores
N-P-N 36, 37, 43, 45, 46, 47 y 50, los tres terminales -
15 de entrada A, B y X, y un terminal de salida G. Esos ter-
minales, juntamente con el terminal V de alimentación de
tensión, corresponden a los cinco terminales designados -
de modo idéntico en el elemento funcional 13 en la Fig. -
3.

20 Si se desea conectar debidamente entre sí los
cuatro elementos funcionales 13, 16, 21 y 26 de los 16 -
elementos funcionales 11-26 para su acción cooperante pa-
ra producir una función eléctrica unitaria, como se ha -
representado en la Fig. 4, se unen eléctricamente los ter-
minales B, D, J y O de los elementos funcionales 13, 16,
25 21 y 26, respectivamente, mediante el interconector 28.
De un modo similar, los terminales V, F, L y R están uni-
dos eléctricamente por el interconector 29, y los termi-
nales X, H, M y Q están unidos eléctricamente por el in-
terconector 30. Reconociendo que hay ya un gran número
30



de interconexiones eléctricas de primer nivel que unen los diversos transistores entre sí, así como con los demás componentes de circuito y terminales, como se ha --
ilustrado en la Fig. 5, se apreciará que los interconec-
tadores 28, 29 y 30 deben superponerse necesariamente a
parte del diseño de interconexiones metálicas de primer
nivel ilustrado en la Fig. 3, Por esta razón, y debido --
también a que las interconexiones entre elementos funcio-
nales se hacen de preferencia en una operación separada --
de aquella mediante la cual se forman las interconexiones
dentro de un elemento, el diseño de interconexiones de la
Fig. 4 se ha formado como un segundo nivel, separado del
diseño de interconexiones de primer nivel por un medio --
aislante.

Los transistores y los demás componentes de --
circuito pueden ser formados dentro del sustrato semicon-
ductor 10, o sobre éste, por cualquiera de las técnicas --
conocidas de la industria de los circuitos integrados, tal
como, por ejemplo, por crecimiento epitaxial, o por difu-
sión. Así, considerando la Fig. 6 se ha representado en --
ella, en corte, una parte de la estructura de circuito --
integrado de la Fig. 5 antes de la aplicación de cualquie-
ra de los interconectores metálicos. El transistor N-P-N
36 comprende un colector de tipo N formado por el sustra-
to 10, la región 51 de base de tipo P difundida, y una --
región 52 de emisor difundida de tipo N. La resistencia --
 R_1 está provista mediante la región 53 difundida de tipo
P, formada simultáneamente con la región de base 51 del --
transistor. Una capa aislante 54 en la superficie superior
del sustrato adquiere una configuración escalonada, como --



se ha ilustrado, debido a las sucesivas operaciones de difusión. Luego se cortan agujeros o aberturas en la capa aislante 54, por donde se han de hacer los contactos óhmicos de interconexión de primer nivel.

5 Como siguiente operación, se deposita una película de tungsteno delgada 55 de aproximadamente 250 micromicras sobre la superficie de la capa aislante 54 y -- en contacto óhmico con el material semiconductor, tal como el silicio, dentro de los agujeros en la capa de óxido de silicio. Para efectuar el depósito de la película de tungsteno 55 pueden utilizarse varias técnicas, por ejemplo, evaporación por haz electrónico y pulverización catódica de corriente continua y de radiofrecuencia. Si un dispositivo requiere solamente un nivel de interconexión, tal como un circuito integrado menos complejo o un dispositivo de un sólo componente, se forma una película de oro (no representada) sobre al menos una parte de la película de tungsteno, para fines de conexión de hilos conductores, para evitar la oxidación del tungsteno, si se requiere. Los contactos expandidos son luego definidos -- a partir de las películas de tungsteno y de oro, en lugar del tungsteno solamente, contactos 71, 72 y 73 de la Fig. 7, para permitir la unión de hilos conductores separados de cualesquiera uniones. Usando las técnicas usuales de enmascaramiento fotográfico y ataque químico, que no hay necesidad de describir aquí, se eliminan partes seleccionadas de la película de tungsteno 55 para proporcionar el diseño de primer nivel de contactos óhmicos y de interconexiones, conectando óhmicamente el interconector 71 -- la base del transistor 36 con un extremo de la resisten--

10

15

20

25

30



cia R_1 , haciendo contacto óhmico el interconector 72 - con el emisor del transistor 36; mientras que el interconector 73 conecta óhmicamente el colector del transistor 36 al terminal V de alimentación, como se ha ilustrado en la fig. 7.

5 Sobre la película de tungsteno 55 se deposita una capa aislante 56 por cualquier técnica adecuada por ejemplo, por evaporación o por pulverización catódica; luego se ataca químicamente con un criterio selectivo - para exponer la superficie de la película de tungsteno - únicamente en el punto terminal V, como se ha representado en la Fig. 8. La finalidad de la capa aislante 56 es -
10 la de aislar eléctricamente las interconexiones 55 metálicas de primer nivel de las interconexiones metálicas - de segundo nivel que han de ser formadas a continuación. En consecuencia, la capa 56 puede estar formada de mate-
15 riales inorgánicos, tales como nitruro de silicio, óxido de aluminio, óxido de silicio, o de diversos materiales aislantes orgánicos. En este ejemplo particular, la capa aislante 56 es de óxido de silicio, depositada por pulve-
20 rización catódica de radiofrecuencia hasta un grueso de - aproximadamente 10.000 U.A. La capa es luego eliminada se-
lectivamente por técnicas usuales bien conocidas en la -
industria de los semiconductores, para exponer la super-
ficie superior de la película de tungsteno 55 en la zona
de unión V.

25 Sobre la capa aislante 56 se deposita otra película de tungsteno 57 hasta un grueso de aproximadamente 1.200 U.A., seguido de depósito por evaporación, por ejem-
plo, de una película de oro 58, formada hasta un grueso
de aproximadamente 7.500 U.A., por ejemplo. Luego se ata-
can químicamente con criterio selectivo las películas me-
30



tálicas 57 y 58, para proporcionar el diseño para las -
interconexiones 29 de segundo nivel, proveyéndose contac-
to entre niveles en la zona de unión V entre las pelícu-
las de tungsteno 57 y 55. El oro se elimina fácilmente -
5 por ataque químico en una solución alcoholica de KI_3 , -
mientras que el tungsteno se elimina por ataque químico -
en una solución básica de ferricianuro potásico. Tipicá-
mente, se elimina un grueso de 125 milimicras de tungste-
no en uno o dos minutos, con socavamiento despreciable -
10 del metal. La película 58 superior de oro se adhiere bien
a la película de tungsteno 57. Luego puede unirse un --
alambre de unión exterior de oro, por ejemplo, por unión
mediante compresión térmica a la película de oro 58. En-
tre las ventajas de este sistema, como se ha ilustrado -
15 en la Fig. 5, figura la adherencia extremadamente buena
de las películas de tungsteno 55 y 57 a la capa aislante
56. Si se necesita un sistema de contactos e interconexio-
nes de 3, de 4 ó de más niveles (hasta el nivel n-ésimo),
cada uno de los niveles que no sea final podría ser de --
tungsteno puro, siendo el nivel final de una combinación
20 de tungsteno y oro, facilitando la capa de oro superpues-
ta la unión con un hilo exterior. Si se desea conectar --
un hilo conductor directamente a un interconector de -
tungsteno de nivel inferior, puede formarse una capa de -
oro solamente sobre una parte del tungsteno expuesto me--
25 diante un agujero en la capa aislante superpuesta, de mo-
do que pueda unirse un hilo de oro a la zona de oro limi-
tada.

La única capa de tungsteno del patrón de inter-
30 conexiones de primer nivel 71, 72 y 73 puede ser sustitui-



da por una estructura de emparedado de tres capas, como se ha ilustrado en las fig. 9A y 9B. Tal estructura comprende una película de tungsteno inferior 55a, formada - hasta un grueso de aproximadamente 250 milimicras, por -
5 ejemplo, que se aplica óhmicamente al material semicon-- ductor 10 y superpuesta y adherida a la capa aislante -- protectora 54; una película de oro intermedia 55b deposi- tada sobre la película de tungsteno inferior 55a hasta un grueso de aproximadamente 1250 milimicras, por ejemplo, -
10 y una película de tungsteno superior 55 c depositada so- bre la película de oro 55b hasta un grueso de aproximada- mente 125 milimicras, por ejemplo. La estructura de tungg teno y oro que acaba de describirse tiene una resistivi- dad de lámina de aproximadamente 0,03 ohmios en cuadro. -
15 El nivel final de metalización superpuesto al medio ais-- lante 56, comprende por tanto la película de tungsteno 57 y la película de oro 58, como anteriormente se ha descrito con respecto a la Fig. 8. La capa aislante 56 y la capa - de tungsteno 55c son atacadas químicamente con criterio -
20 selectivo en la zona de unión V, para permitir que la ca- pa de tungsteno 57 haga contacto óhmico directo con la -- película de oro 55b . Utilizando un compuesto para ataque químico que ataque con criterio selectivo al tungsteno -- pero no afecte sustancialmente al oro, por ejemplo, el --
25 compuesto de ataque químico anteriormente descrito, es po- sible controlar cuidadosamente la operación de eliminación selectiva en la zona de unión V, de modo que la capa de - oro 55 no sea atacada hasta perforarla. Además, un cambio de color acompaña a esta operación de ataque químico (de
30 un color plateado a un color dorado) y proporciona un con



trol visual conveniente del ataque químico. Las películas de tungsteno 55c y 57 se adhieren fuertemente a la capa aislante 56 y aumentan la adherencia interior de todo el sistema de interconexiones de niveles múltiples. La sustitución de la película de tungsteno única 55 por la estructura de emparedado trimetálica, de tungsteno-oro-tungsteno, aumenta la conductividad eléctrica a la interconexión de primer nivel, debido a la adición de la película de oro 55b muy conductora, y disminuye la resistencia de contacto eléctrico entre niveles, entre los niveles primero y segundo, debido al contacto óhmico directo entre la película de tungsteno 57 de la interconexión del segundo nivel con la parte de superficie expuesta de la película de oro 55b del primer nivel. Como se ha explicado anteriormente, el sistema de interconexiones de niveles múltiples de tungsteno-oro-tungsteno se usa para dispositivos que requieren la baja resistividad de interconexión que una sola película de tungsteno no puede proporcionar.

Es evidente que para dispositivos de Integración en Gran Escala que implican circuitos muy complejos, el sistema de interconexiones como el anteriormente explicado para un sistema de dos niveles puede ser ampliado a cualquier número de niveles de interconexiones con solo repetir la sucesión de capa aislante 54, película de tungsteno 55a, película de oro 55b y película de tungsteno 55c un número "n" de veces, para acomodar los circuitos más complejos. Las interconexiones metálicas finales o superiores serían normalmente la película de tungsteno 57, cubierta al menos parcialmente por la película de oro



58 como se ha ilustrado en la Fig. 9a. Como se ha explicado anteriormente, para los dispositivos que requieren grandes intensidades de corriente se obtiene un sistema de interconexiones más confiable sustituyendo la película de oro 55b por una película de cobre, como se ha ilustrado en las Figs. 9a y 9b. Debido a la propensión del cobre a oxidarse y a interferir con la unión de los hilos de oro a la película metálica superior 58, para la mayoría de los dispositivos, sigue siendo el oro el metal preferido para la película metálica superior o final 58 que queda expuesta al ambiente. Las demás películas metálicas quedan cubiertas, por supuesto, al menos sustancialmente, por materiales que tienen superpuestos.

Debe entenderse que el metal tungsteno, en la descripción y en las reivindicaciones de la Nota adjunta, incluye tungsteno que tiene otros constituyentes que pueden favorecer las características del tungsteno, sin afectar perjudicialmente a las propiedades ventajosas del tungsteno de acuerdo con el invento, como anteriormente se ha descrito. Por ejemplo, aunque la película de tungsteno forma un buen contacto óhmico con una superficie de silicio, especialmente si la parte de sustrato debajo del contacto óhmico ha sido muy adicionada con impurezas modificadoras, puede disminuirse todavía más la resistencia del contacto de silicio y tungsteno, si se desea, formando una capa delgada de siliciuro de platino, o usando una película muy delgada "o película de depósito por vaporización súbita" de aluminio o de titanio (de aproximadamente 200 U.A. de grueso) entre las superficies de tungsteno y de silicio. En este último caso



el aluminio reacciona con el tungsteno formando compues-
tos de tungsteno y aluminio, por lo cual el grueso del -
aluminio debe ser bastante limitado de modo que no pene-
tre en la capa de tungsteno y estropee sus cualidades de
5 barrera de oro. Se subraya que esta técnica para mejorar
la resistencia del contacto de silicio y metal no cambia
necesariamente las características metalúrgicas básicas
del sistema, aunque son corrientes los aumentos de adhe-
rencia de la película proporcionando la película delgada
10 o película de depósito por vaporización súbita de alumi-
nio o titanio, como recubrimiento previo. Puesto que los
metales aluminio, titanio y tungsteno se oxidan fácilmen-
te al aire, el sistema puede ser aplicado satisfactoria-
mente a partir de un equipo para depositar películas de
15 fuentes múltiples, bien conocido en la industria, el cual
permite efectuar sucesivamente los depósitos de las dis-
tintas capas metálicas sin romper el vacío del sistema.
La ruptura del vacío entre los depósitos de las diferen-
tes películas (en particular entre la película muy delga-
da de aluminio y la primera película de tungsteno) da -
20 por resultado contactos de baja adherencia y/o de más al-
ta resistencia.

Aunque las realizaciones y los procedimientos -
del presente invento se han orientado hacia circuitos in-
25 tegrados y hacia la aplicación de interconexiones de nive-
les múltiples a esos circuitos integrados, los procedi-
mientos y estructuras descritos en lo que antecede pueden
tener otras aplicaciones, tales como en los campos de com-
ponentes individuales, de circuitos integrados híbridos,
30 o en la fabricación de condensadores de película delgada,



siempre que se desee proporcionar películas o capas alternadas de metal y material aislante eléctrico.

Por ejemplo, en las Figs. 10 y 11 se ilustra un transistor de silicio N-P-N individual de acuerdo con el invento. La zona de base de tipo P y la zona de emisor de tipo N están difundidas en el sustrato 60 de colector de tipo N, terminando la unión de colector y base y la unión de base y emisor debajo de la capa aislante 61. Los contactos expandidos 62 y 63, constituidos por tungsteno 64 y oro 65, están provistos sobre el aislador 61 y adheridos a este y en contacto óhmico con las zonas de base y de emisor del transistor, como se ha descrito anteriormente. Debido a las ventajosas características de resistencia a la corrosión del contacto expandido de tungsteno, un dispositivo semiconductor tal como el ilustrado en las Figs. 10 y 11 es especialmente adecuado para ser incorporado en un recinto no hermético, tal como la encapsulación de plástico descrita en la solicitud de Patente para los EE.UU. en tramitación, Número de Serie 331.006, titulada "Process for Encapsulating Electronics Components in Plastic" ("Procedimiento para encapsular componentes electrónicos en plástico") presentada con fecha 16 de diciembre de 1.963 por Birchler y otros, y cedida al cesionario de la presente solicitud de patente.

Para los expertos en la técnica serán evidentes otras diversas modificaciones de los procedimientos y realizaciones descritos, sin desviarse del espíritu ni rebasar el alcance del invento, tal como queda definido en las reivindicaciones de la Nota adjunta.

La presente solicitud que corresponde a la pre-



sentada en Estados Unidos de América con fecha 4 de Marzo de 1.968, bajo el Número 715.462, se acoge a los beneficios del Artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

5

10

- N O T A -

15

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

20

1.- Un sistema de conexiones eléctricas para un circuito integrado que tiene una pluralidad de componentes de circuito formados adyacentes a una superficie de un sustrato, y una capa aislante sobre dicha primera superficie que tiene una pluralidad de agujeros que exponen partes de dichos componentes de circuito, comprendiendo dicho sistema: interconexiones de capas múltiples sobre dicha capa aislante que conectan eléctricamente ciertas partes de dichos componentes de circuito a través de dichos agujeros en dicha capa aislante, otra capa aislante sobre dichas interconexiones de capas múltiples que tiene

25

30



una pluralidad de agujeros que exponen partes de dichas -
interconexiones de capas múltiples, interconexiones eléc-
tricas sobre dicha otra capa aislante que conectan eléc-
tricamente ciertas partes de dichas interconexiones de -
5 capas múltiples, teniendo dichas interconexiones de capas
múltiples una película inferior compuesta de tungsteno,
una película intermedia metálica de gran conductividad y
una película superior compuesta de tungsteno.

2.- El sistema de conexiones eléctricas según
10 la reivindicación 1, en que dichas interconexiones eléc-
tricas incluyen una película inferior compuesta de tung-
steno y una película superior de metal de gran conductivi-
dad.

3.- El sistema de conexiones eléctricas según
15 la reivindicación 1, en que dicha película de metal de -
gran conductividad es de oro.

4.- El sistema de conexiones eléctricas según
la reivindicación 1, en que dicha película de metal de -
gran conductividad es de cobre.

20 5.- El sistema de conexiones eléctricas según
la reivindicación 2, en que dicha película de metal de -
gran conductividad de dichas interconexiones de capas --
múltiples es de cobre, y dicha película de metal de gran
conductividad de dichas interconexiones eléctricas es de
25 oro.

6.- Un sistema de conexiones eléctricas para -
un circuito integrado que tiene una pluralidad de compo-
nentes de circuito formados adyacentes a una superficie -
de un sustrato semiconductor y una primera capa aislante
30 sobre dicha primera superficie que tiene agujeros que ex-



ponen partes de dichos componentes de circuito, comprendiendo dicho sistema: primeras interconexiones de capas múltiples sobre dicha primera capa aislante y adheridas a ella que se aplican óhmicamente y conectan entre sí --
5 eléctricamente a ciertas partes de dichos componentes de circuito a través de dichos agujeros en dicha primera capa aislante, segunda capa aislante sobre dichas primeras interconexiones de capas múltiples y adherida a ellas que tiene agujeros que exponen partes de dichas primeras interconexiones de capas múltiples, segundas interconexiones
10 de capas múltiples sobre dicha segunda capa aislante y adheridas a ella que se aplican óhmicamente y conectan entre sí eléctricamente las partes expuestas de dichas primeras interconexiones de capas múltiples, incluyendo dichas
15 primeras interconexiones de capas múltiples una película inferior compuesta de tungsteno, una película metálica intermedia de gran conductividad y una película superior compuesta de tungsteno.

7.- Un sistema de conexiones eléctricas según
20 la reivindicación 6, en que dichas segundas interconexiones de capas múltiples incluyen una película inferior -- compuesta de tungsteno, y una película superior de metal de gran conductividad.

8.- Un sistema de conexiones eléctricas según
25 la reivindicación 6, en que dicha película de metal de gran conductividad es de oro.

9.- Un sistema de conexiones eléctricas según
la reivindicación 6, en que dicha película de gran conductividad es de cobre.

30 10.- Un sistema de conexiones según la reivin-



5 dicación 7, en que dicha película de metal de gran conduc-
tividad de dichas primeras interconexiones de capas múl-
tiples es de cobre, y dicha película de metal de gran -
conductividad de dichas segundas interconexiones de capas
múltiples es de oro.

11.- Un sistema de conexiones eléctricas para
un circuito integrado.

10 Tal y como se ha descrito en la Memoria que
antecede, representado en los dibujos que se acompañan y
para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de veintinueve hojas es-
critas a máquina por una sola de sus caras.

Madrid, 30 de Mayo de 1970

F.A.

Alberto Ruiz Galero
For Poder.

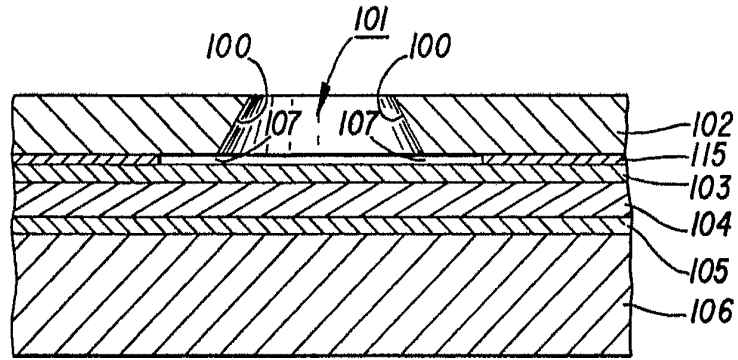


Fig. 1

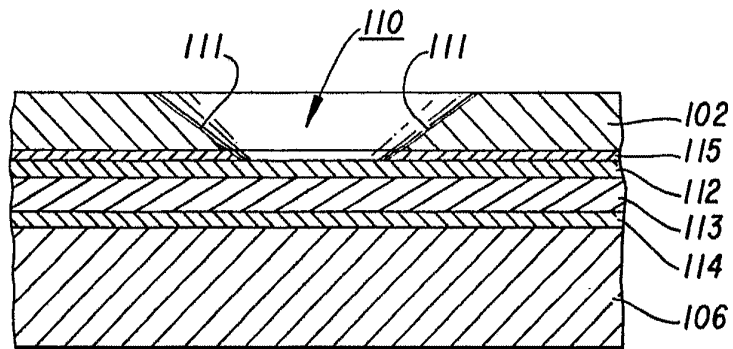


Fig. 2

Handwritten signature or initials, possibly "A. L. L."

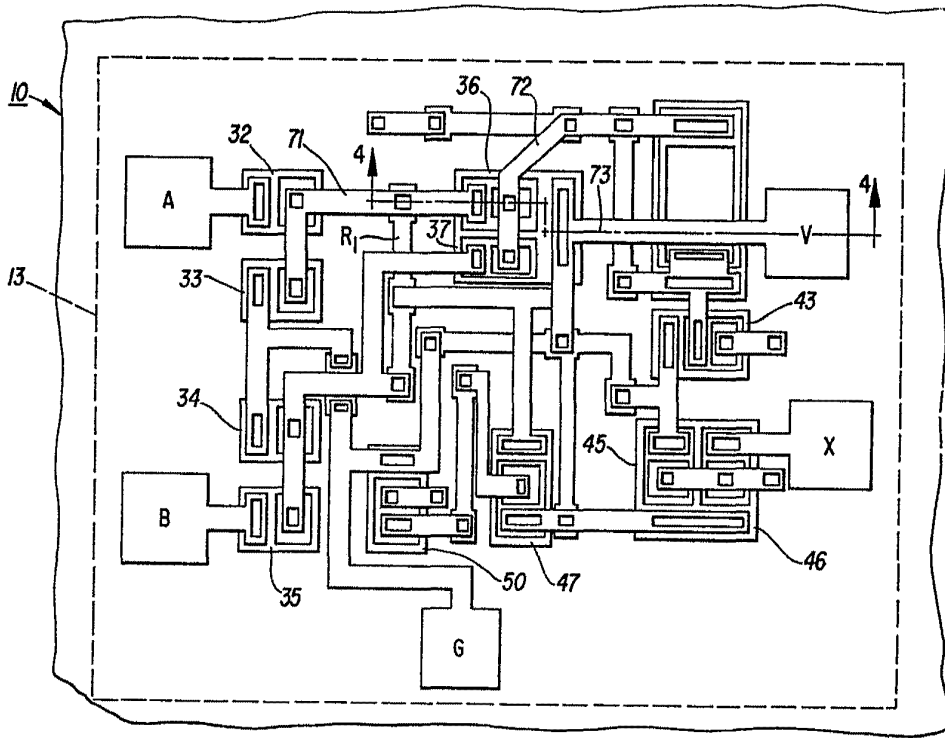


Fig. 3

9116

360,558

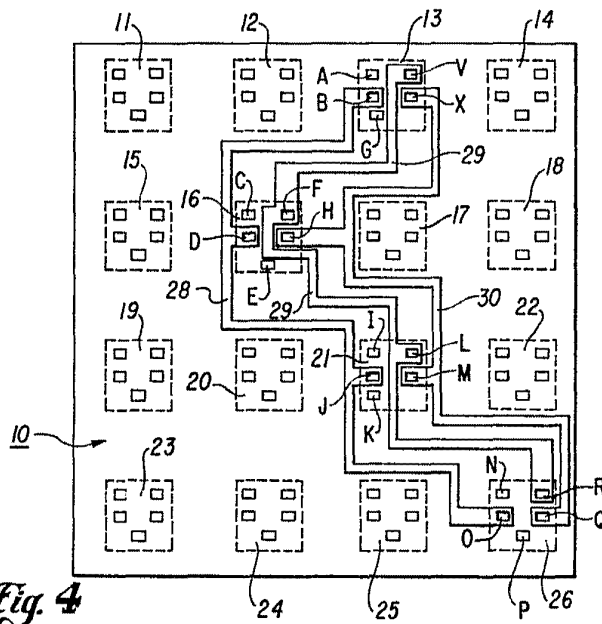


Fig. 4

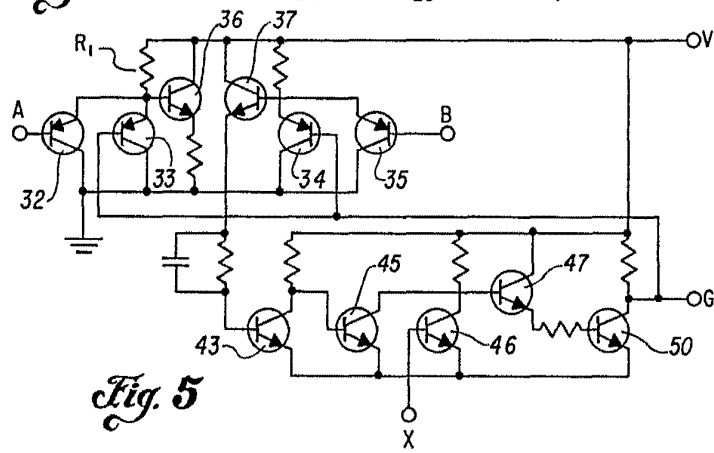


Fig. 5

Handwritten signature or initials.



360.558

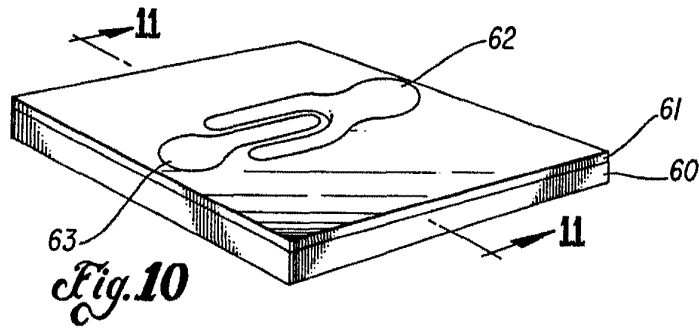


Fig. 10

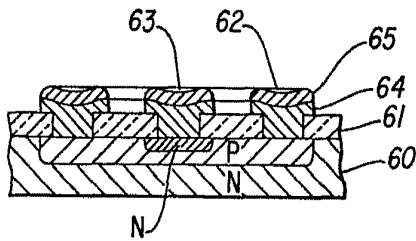


Fig. 11

Handwritten signature or initials.