

359914

Memoria descriptiva



1968

31 DIC. 1968

para solicitar PATENTE DE INVENCION

por 20 años

a nombre de TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED

entidad / de nacionalidad norteamericana

con domicilio en 13.500 North Central Expressway, Dallas, Te-
jas, Estados Unidos de América.

por: UN DISPOSITIVO SEMICONDUCTOR (clase Internacional
HO11)



Este invento se refiere, en general, a dispositivos semi-conductores y, más particularidad, pero no a modo de limitación, se refiere a circuitos integrados que usan dispositivos de capa de inversión, tales como transistores de efecto de campo de metal-aislante-semiconductor.

La movilidad de los portadores es uno de los parámetros más importantes a considerar en el diseño de circuitos integrados que usan dispositivos de capa de inversión, tales como los transistores de efecto de campo de semi-conductores, de óxido metálico (MOSFET). Aunque, en general, es deseable tener una gran movilidad de los portadores para la mayoría de las aplicaciones de los circuitos, es deseable, para ciertas de ellas, tener una baja movilidad de los portadores. Otros investigadores han estudiado las movilidades de los portadores en las capas de inversión sobre los diversos planos cristalográficos del cristal de silicio identificados por los bien conocidos índices de Miller. Como resultado de estas investigaciones, se creía hasta ahora que la máxima movilidad de los electrones ocurría en las capas de inversión dispuestas paralelas al plano cristalográfico (100) y que la máxima movilidad de los agujeros ocurre en las capas de inversión dispuestas paralelas al plano (111). Por esta y otras razones, ha sido la práctica aceptada fabricar la mayoría de los dispositivos de efecto de campo de MOS (semi-conductor de óxido metálico) sobre la superficie de un cristal de silicio orientado paralelo al plano cristalográfico (111).

Hemos descubierto que la máxima movilidad de los portadores en una capa de inversión de tipo p de un silicio de tipo n existe en realidad en el plano cristalográfico (110) y, más particularmente, existe en la dirección



perpendicular al plano cristalográfico (110). Además, hemos descubierto que la movilidad de los portadores en una capa de inversión paralela al plano (110) es azimutalmente dependiente y tiene un valor mínimo en una dirección perpendicular al plano cristalográfico (001), que está en ángulo recto con la dirección de máxima movilidad de los portadores. Aunque no se dispone en este momento de datos experimentales que confirmen de modo absoluto este hecho, el análisis teórico realizado a la luz de este descubrimiento predice que, en esencia, cualquier cristal semiconductor, tal como el germanio, los semiconductores de los grupos III-V, II-VI, y las combinaciones ternarias de estos elementos, tienen planos cristalográficos en los cuales la conducción bidimensional del tipo que existe en una capa de inversión tiene valores azimutalmente dependientes.

Nuestro descubrimiento tiene implicaciones y es particularmente útil en la fabricación de transistores de efecto de campo con capas de inversión cuando se desee una gran movilidad de los portadores, o cuando se desee en un solo circuito integrado la combinación de una gran movilidad de los portadores y una baja movilidad de ellos, tal como en un inversor común compuesto por un transistor preamplificador y un transistor de carga.

Los nuevos rasgos que se estiman característicos de este invento se exponen en las reivindicaciones finales. El invento en sí, no obstante, así como otros objetos y ventajas del mismo, podrán comprenderse mejor haciendo referencia a la siguiente descripción detallada de realizaciones ilustrativas, leída conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los cuales:



La figura 1 es una vista en planta de un dispositivo de barra de Hall usado para recoger datos acerca de la movilidad;

La figura 2 es una gráfica que ilustra la movilidad de los portadores con respecto al voltaje de puerta en capas de inversión del tipo p formadas paralelas a varios planos cristalográficos en silicio y en diversas direcciones azimutales dentro del plano;

La figura 3 es un diagrama de circuito de un inversor típico formado por transistores de efecto de campo MOS; y

La figura 4 es una vista en planta simplificada que ilustra cómo puede disponerse geométricamente el inversor de la figura 3 en un circuito integrado de acuerdo con un aspecto específico del presente invento.

La movilidad de los portadores en diversas direcciones azimutales en capas de inversión de tipo p formadas en diversas superficies de silicio de tipo n ha sido determinada fabricando transistores semiconductores de óxido metálico (MOS) en forma de barra de Hall sobre superficies seleccionadas de cristales de silicio. Las barras de Hall fueron fabricadas como se muestra en la figura 1 y comprendían regiones de boro difundido para formar la fuente 2, la salida 4 y las regiones 6 de contacto de Hall. El dieléctrico sobre la región de puerta era dióxido de silicio desarrollado térmicamente a 950° e impurificado con fósforo. Una puerta metálica 3 tenía la forma ilustrada y un contacto 8a de puerta. Los dispositivos tenían una anchura (W) de 0,254 mm y una longitud (L) de 2,29 mm. El grueso del óxido (t) en la zona 9 de espesor reducido era



nominalmente de 1.000 Å². Los dispositivos eran transistores de efecto de campo del modo de enriquecimiento con voltajes de umbral V_T que variaban de 3 a 6 voltios. Las mediciones de Hall se hicieron usando un campo magnético de 5000 gauss, aunque se determinó que las mediciones de movilidad eran independientes de la intensidad del campo magnético hasta 6.000 gauss. Aunque la precisión absoluta de las mediciones de movilidad de Hall se estimó como $\pm 8\%$, la reproducibilidad era mucho mejor. Los dispositivos se fabricaron sobre los planos (110), (100) y (111) del silicio y en diversas direcciones azimutales en cada plano y en cada una se hicieron mediciones de movilidad de Hall.

La movilidad de Hall medida (μ_H) fué convertida luego en movilidad de conductividad (μ_C) que se deduce de la conductancia (g_s) de los dispositivos de barra de Hall mostrados en la figura 1 por la expresión:

$$g_s = \frac{\mu_C \epsilon_{OX} \epsilon_0 W}{t L} (V_g - V_T - V_d) \quad (1)$$

donde

- V_g = voltaje de puerta
- V_T = voltaje de umbral
- V_d = voltaje de electrodo de salida
- $\epsilon_{OX} \epsilon_0$ = constante dieléctrica del óxido
- t = espesor del óxido

Se encontró que la movilidad de conductividad μ_C era de $1,25 \pm 0,05$ veces la movilidad de Hall μ_H para material de 1-10 ohm-cm de resistencia en la capa de inversión formada sobre los planos (110), (100) y (111). Este valor se compara favorablemente con el teórico de 1,13 de que ha informado J. N. Zemel en "Physics Review" 112 (1956) pág. 762



21 D

5 Se tuvo cuidado en asegurar que la diferencia de potencial entre los electrodos de fuente y salida fuera pequeña en comparación con el voltaje de puerta por encima del umbral, asegurando así que el campo eléctrico perpendicular en la capa de inversión fuera uniforme en toda la longitud del dispositivo.

10 La movilidad de los portadores de conductividad derivada por este procedimiento se indica en la figura 2. La movilidad de conductividad de la capa de inversión del dispositivo de Hall dispuesta paralela al plano cristalográfico (111) se indica por la curva 10, que es aplicable, cualquiera que sea la orientación azimutal del paso de la corriente. La movilidad de los portadores para capas de inversión paralelas al plano cristalográfico (100) viene representada por la curva 12, que es también independiente de la dirección azimutal del paso de la corriente. La movilidad de los portadores en capas de inversión dispuestas paralelas al plano cristalográfico (110) está representado por las curvas 14 y 16. La curva 14 representa la movilidad de los portadores en una dirección perpendicular al plano cristalográfico (110) y la curva 16 representa la movilidad de los portadores en una dirección perpendicular al plano cristalográfico (100). Se observará que la movilidad de la corriente en la dirección (110) es aproximadamente 40% mayor que la movilidad de los portadores perpendicularmente al plano cristalográfico (001).

30 La anisotropía de los datos experimentales mostrados en la figura 1 puede predecirse aceptando el principio de Neumann de que toda propiedad física de un material tendrá la misma simetría que la forma cristalográfica



de un material. Usando el clásico método de Neumann de estudiar el efecto de la simetría, Los operadores de simetría que constituyen el grupo de puntos del cristal son aplicados sucesivamente al tensor que representa la propiedad física. Después de cada operación de simetría sobre el tensor, se pide que el tensor permanezca invariable. Así, resaltan ciertas condiciones que gobiernan las relaciones entre los diversos componentes del tensor que describe las propiedades físicas y, por causa de estas condiciones, algunos de los componentes del tensor se desvanecen, dejando un cierto número de constantes que no se desvanecen y que son mutuamente independientes para una propiedad física dada de un cristal de cierta simetría.

La forma más general de un tensor de resistividad bidimensional según se aplica a una capa de inversión superficial es

$$\rho = \begin{matrix} \rho_{11} & \rho_{12} \\ \rho_{21} & \rho_{22} \end{matrix} \quad (2)$$

Si no hay esfuerzo anisotrópico en la capa de inversión, el tensor de resistividad debe contener la simetría del cristal en el plano de la capa. Por ejemplo, el silicio es un cristal cúbico y, así, una superficie (100) debe contener la simetría de una sección transversal a través del cubo en este plano, que es un cuadrado. El tensor de resistividad para una capa de inversión (100) debe, por tanto, ser invariante para ciertas reflexiones y operaciones de rotación en 90°. Aplicando estas restricciones al tensor, se deduce que la resistividad (y, por tanto, también la movilidad) debe ser isotrópica en este plano. Si se re-



5 pite este procedimiento para el plano (111), se encuentra que la resistividad isotrópica es de nuevo necesaria como resultado de la simetría del cristal. En el plano (110), eligiendo la dirección (001) como eje principal, se encuentra que el tensor se reduce a

$$\begin{pmatrix} \rho_{11} & 0 \\ 0 & \rho_{22} \end{pmatrix} \quad (3)$$

10 que no es isotrópico a menos que sea necesario esto por alguna consideración distinta de la simetría.

15 Por consiguiente, aunque hasta la fecha sólo se han recogido datos experimentales para el silicio, la resistividad anisotrópica puede predecirse, usando este procedimiento teórico, y puede medirse usando el enfoque de la barra de Hall antes descrito, en sustancialmente cualquier material semiconductor.

20 Para la mayoría de las aplicaciones de los MOSFET, se desea la movilidad máxima posible de los portadores en la capa de inversión. Para el silicio de tipo n, el paso de la corriente en el camino de corriente sustancialmente bidimensional representado por la capa de inversión de tipo p relativamente delgada, que puede tener un grueso de los 100 Å, debe ser en el plano cristalográfico (110) y en la dirección $\langle 110 \rangle$.

25 Las características azimutalmente dependientes de la movilidad de los portadores en semiconductores pueden usarse ventajosamente en los circuitos integrados en que diversos componentes de circuito requieren diferentes movilidades de los portadores para un funcionamiento óptimo. 30 Un ejemplo es el inversor fundamental ilustrado en la figu-



ra 2. El transistor MOS Q_1 es el dispositivo preamplifica-
dor activo y el transistor MOS Q_2 es el dispositivo de car-
ga pasiva. El análisis del circuito, cuando es hecho fun-
cionar a resistencia saturada de la carga da como resul-
tado las expresiones:

$$\frac{\mu_2 \epsilon \epsilon_0 W_2}{2 t_{ox} L_2} \left[(V_{GS} - V_O) - V_T \right]^2 = \frac{\mu_1 \epsilon \epsilon_0 W_1}{2 t_{ox} L_1} \left[2(V_{in} - V_T) V_O - V_O^2 \right] \quad (4)$$

para $|V_{in} - V_T| \geq |V_O|$

$$\frac{\mu_2 \epsilon \epsilon_0 W_2}{2 t_{ox} L_2} \left[(V_{GS} - V_O) - V_T \right]^2 = \frac{\mu_1 \epsilon \epsilon_0 W_1}{2 t_{ox} L_1} (V_{in} - V_T)^2 \quad (5)$$

para $|V_{in} - V_T| < |V_O|$

donde μ es la movilidad de los portadores de los respecti-
vos dispositivos, $\epsilon \epsilon_0$ es la constante dieléctrica del óxi-
do del electrodo de puerta, t_{ox} es el grueso del óxido del
electrodo de puerta, W es la anchura del canal del respec-
tivo dispositivo, L es la longitud del canal del respecti-
vo dispositivo y V_T es el voltaje de umbral.

Con frecuencia es deseable hacer que la impedan-
cia del transistor de carga Q_2 sea lo más alta posible y
que la del transistor preamplificador Q_1 sea lo más baja
posible. Como los valores de movilidad μ_1 y μ_2 se imagina-
ron iguales hasta ahora, las relaciones de impedancia se
han ajustado hasta ahora seleccionando la anchura W del
canal y la longitud L del canal de los dispositivos pream-
plificador y de carga. Por ejemplo, para conseguir alta



310

impedancia en el canal del transistor de carga Q_2 . la longitud L_2 del canal del dispositivo debe ser aumentada. A la inversa, para conseguir la baja impedancia deseada para el transistor preamplificador Q_1 , la longitud L_1 del canal se hace tan corta como sea posible.

De acuerdo con el presente invento, los componentes del inversor de la figura 2 se disponen como se muestra en la figura 3 sobre la superficie (110) de una oblea de silicio de tipo n 18, de modo que el transistor preamplificador Q_1 tenga una movilidad máxima y que el transistor de carga Q_2 tenga una movilidad mínima. El transistor Q_1 está formado por las regiones difundidas de fuente y de salida 20 y 22. Se forma una capa relativamente gruesa 24 de dióxido de silicio sobre la superficie de la oblea de silicio, pero que tiene una región delgada 26, típicamente de unos 1.000 Å de espesor, sobre el canal entre las regiones de fuente y de salida. Una película metálica 28 se extiende sobre la delgada capa de óxido en la región 28 para formar el electrodo metálico de puerta. Una película 30 está en contacto óhmico directo con la región de fuente difundida 20 a través de una abertura 30 de la capa de óxido 24. El transistor de carga Q_2 está formado del mismo modo por una región de fuente difundida 32, que es una continuación de la región de salida 22, de la región difundida de salida 34 y de la puerta metálica 36 que está dispuesta sobre una región 38 de óxido de poco espesor. La puerta 36 está en cortocircuito con la región de salida 34 por medio de una abertura 40 en el óxido, y V_{gg} y V_{dd} tienen el mismo valor. El voltaje de salida V_o es entonces a través de la película 42 que está en contacto óhmico con las

5

10

15

20

25

30

21.12.68



31 DIC. 1968

regiones difundidas 22-32 a través de una abertura 44 en la capa de óxido.

5 Las difusiones de fuente y salida 20 y 22 del transistor reamplificador Q_1 están dispuestas de tal modo que el paso de la corriente a través de la capa invertida que forma el canal sea en la dirección (110)_m es decir, en una dirección normal al plano cristalográfico (110). Esto da un valor máximo de movilidad para μ_2 , como puede verse por los datos presentados en la figura 1. Las difusiones de

10 fuente y de salida 24 y 26 del transistor de carga Q_2 están dispuestas de tal modo que el paso de la corriente a través de la capa de inversión que forma el canal sea en una dirección en ángulo recto con la dirección del paso de la corriente a través del canal del transistor Q_1 , que es en la dirección (001), es decir, normal al plano cristalográfico (001), de modo que el valor μ_2 de la movilidad de los portadores para el transistor de carga sea un valor mínimo. Como resultado de esta forma de proceder, la relación de la impedancia del transistor de carga a la del transistor preamplificador puede aumentarse para un tamaño geométrico dado, a fin de mejorar el rendimiento, o a la inversa, el tamaño geométrico del transistor de carga puede reducirse para una relación de impedancias dada, dando así como resultado un ahorro importante de espacio del circuito integrado.

25

Aun cuando se ha mostrado un ejemplo específico que utiliza la movilidad de los portadores azimutalmente dependiente de un plano perpendicular de un plano perpendicular en un semiconductor, se apreciará que es aplicable el mismo concepto a cualquier circuito o sub-circuito en el

30

31 Dic 1968

5 cual sea deseable usar una movilidad variable de los portadores. Esta capacidad de diseño se aumenta por el hecho de que la movilidad de los portadores para las direcciones azimutales entre los valores máximos normales al plano (10) y los valores mínimos normales al plano (001) posee valores intermedios que dependen de la dirección azimutal particular. Así, el proyectista puede seleccionar sustancialmente cualquier movilidad de los portadores entre la máxima y la mínima simplemente por la apropiada orientación geométrica de los difusiones de fuente y salida para el dispositivo. También, aunque la realización específica del concepto que hemos descrito en esta memoria es una capa de inversión del tipo P formada en un silicio del tipo n, el principio es aplicable a cualquier capa delgada que se comporte en esencia con una lámina conductora de dos dimensiones en cualquier plano de cualquier semiconductor que exhiba movilidad de portadores azimutalmente dependiente.

15 Aunque se han descrito en detalle realizaciones preferidas del invento, ha de entenderse que pueden hacerse en ellas, sin apartarse del espíritu y del alcance del invento, diversos cambios, sustituciones y alteraciones, quedando dicho alcance del invento definido por las reivindicaciones siguientes.

25

30



Esta solicitud que corresponde a la presentada en Los Estados Unidos de América el 8 de noviembre de 1.957, con el número 681.413, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

5

REIVINDICACIONES

10

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:

15

1.- Un dispositivo semiconductor que tiene una capa conductora esencialmente de dos dimensiones, dispuestas sustancialmente paralela a un plano cristalográfico del cristal semiconductor que presenta movilidad de los portadores azimutalmente dependiente.

20

2.- El dispositivo semiconductor según la reivindicación 1, en el que el semiconductor consiste en silicio y la capa conductora está dispuesta sustancialmente sobre el plano (110).

25

3.- El dispositivo semiconductor según la reivindicación 2, en el que el flujo de corriente a través de la capa conductora es sustancialmente perpendicular al plano cristalográfico (110) para obtener la máxima movilidad de los portadores.

30

4.- El dispositivo semiconductor según la reivin-



dicación 2, en el que el flujo de corriente a través de la capa conductora es sustancialmente perpendicular al plano cristalográfico (001) para obtener la mínima movilidad de los portadores.

5 5.-El dispositivo semiconductor según la reivindicación 1, en el que el mismo es un transistor semiconductor aislador de metal.

10 6.-Un dispositivo semiconductor que comprende - una rebanada de material semiconductor que tiene un par de transistores semiconductores aisladores de metal formados sobre una superficie de la rebanada dispuesta paralela a un plano cristalografico que presenta movilidad de los portadores azimultamente dependiente, estando los transistores orientados geométricamente de tal manera que la dirección del flujo de corriente en un transistor es en una dirección azimutal diferente al flujo de corriente en el otro transistor, con lo cual la movilidad de los portadores es diferente en cada transistor.

15 7.-El dispositivo semiconductor según la reivindicación 6, en el cual un transistor es un excitador preliminar al paso final y el otro transistor es una carga, y el transistor excitador está orientado de tal manera que el flujo de corriente a través del transistor sea en la dirección azimutal de la mayor movilidad de los portadores, y el transistor de carga está orientado de tal manera que el flujo de corriente a través del transistor sea en la dirección azimutal de la más baja movilidad de los portadores.

20 8.-El dispositivo semiconductor según la reivindicación 7, en el que el semiconductor es silicio y la superficie de la rebanada es paralela al plano cristalografi-

30



co (110).

5 9.-El dispositivo semiconductor según la reivindicación 8, en el que la corriente a través del transistor excitador tiene una dirección sustancialmente normal al plano cristalográfico (110) y la corriente a través del transistor de carga tiene una dirección sustancialmente normal al plano cristalográfico (001).

10 10.-El dispositivo semiconductor según la reivindicación 6, en el que el semiconductor es silicio y la superficie de la rebanada está dispuesta paralela al plano cristalográfico (110).

15 11.-Un dispositivo semiconductor que comprende uno o más transistores semiconductores aisladores de metal formados sobre la superficie de un mono-cristal semiconductor, estando dispuesta la superficie sustancialmente paralela a un plano cristalográfico que presenta movilidad de portadores azimutalmente dependiente en una delgada capa de inversión en la superficie.

20 12.-Un dispositivo semiconductor que tiene una capa de inversión delgada formada sobre el plano cristalográfico (110) de un cristal de silicio pasando la corriente a través de la capa de inversión de en una dirección normal al plano cristalográfico normal al plano cristalográfico (110).

25 13.-Un dispositivo semiconductor.

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.

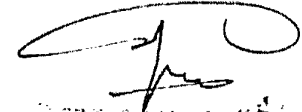
14 MAR 1970

Esta Memoria consta de diez y seis hojas escritas a máquina por una sola de sus caras.

Madrid, 14 MAR. 1970

P.A.

5


ALBERTO G. GONZALEZ
Por Poderes

10

lj m 11.3.70

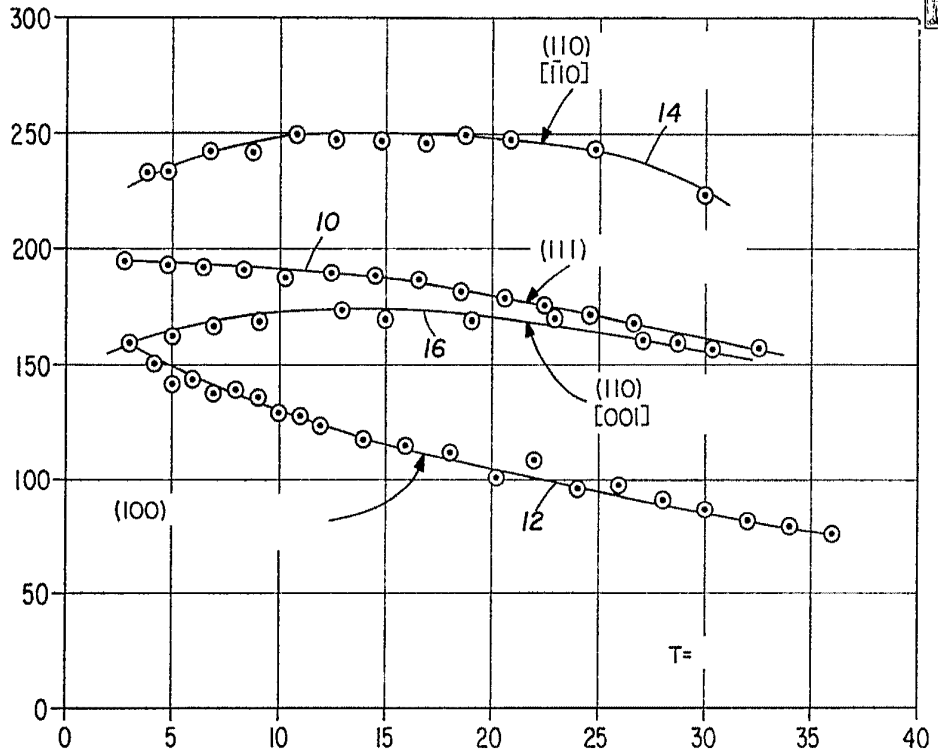


FIG. 2

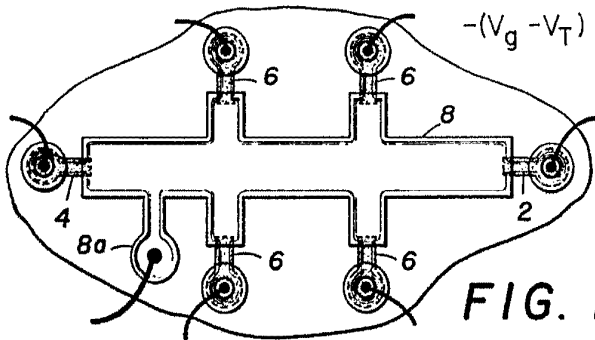


FIG. 1

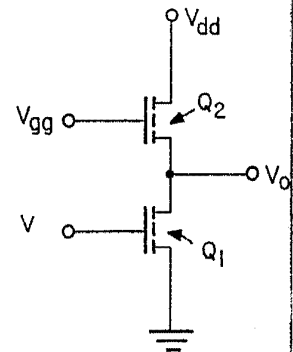


FIG. 3

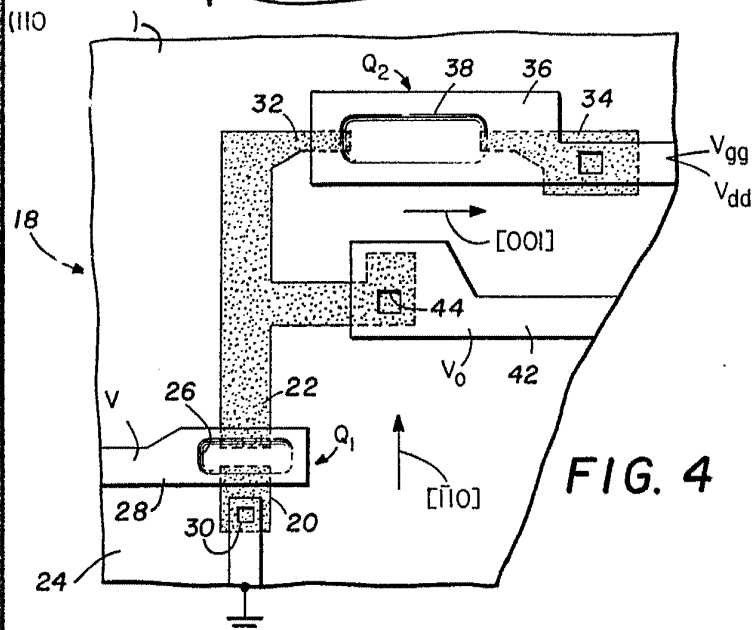


FIG. 4

Handwritten signature or initials.