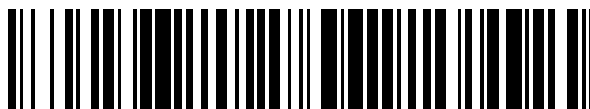


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 621 938**

51 Int. Cl.:

H01L 21/285 (2006.01)
H01L 29/423 (2006.01)
H01L 31/0224 (2006.01)
H01L 31/108 (2006.01)
H01L 23/528 (2006.01)
H01L 29/778 (2006.01)
H01L 29/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.03.2014** **PCT/DE2014/000149**
87 Fecha y número de publicación internacional: **23.10.2014** **WO14169887**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.03.2014** **E 14716747 (2)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.01.2017** **EP 2987179**

54 Título: **Conductor de alta frecuencia con una conductividad mejorada**

30 Prioridad:

18.04.2013 DE 102013006624

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.07.2017

73 Titular/es:

FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH (100.0%)
52425 Jülich, DE

72 Inventor/es:

MIKULICS, MARTIN;
HARDTDEGEN, HILDE y
GRÜTZMACHER, DETLEV

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 621 938 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Conductor de alta frecuencia con una conductividad mejorada

El invento se refiere a un conductor de alta frecuencia con una conductividad mejorada

Estado de la técnica

- 5 La corriente continua penetra por completo en un conductor eléctrico, a través del cual ella es guiada. La corriente alterna penetra solamente hasta una profundidad de efecto pelicular ("skin"), que es dependiente del material y de la frecuencia en el conductor, puesto que el campo magnético alterno generado por la corriente induce en el interior del conductor, en virtud de la regla de Lenz, una tensión antagonista, que empuja a la corriente hasta junto al borde del conductor. De esta manera, solamente la zona de borde de la sección transversal del conductor está a disposición
- 10 hasta la profundidad de efecto pelicular para el transporte de la corriente. El resto de la sección transversal del conductor no contribuye en nada al transporte de la corriente. Con el fin de disminuir la resistencia eléctrica del conductor, es conocido aumentar su tamaño, de manera tal que también se haga mayor la zona de borde portadora de la corriente. De manera desventajosa, una pequeña ganancia de conductividad se adquiere a costa de un gran volumen adicional de material conductor, que no participa en el transporte de la corriente a causa del efecto pelicular. Los metales mejor conductores son metales nobles y por lo tanto son muy costosos.

- El dispositivo de acuerdo con el documento de solicitud de patente de los EE.UU US 2003/234437 A1 comprende un conductor de alta frecuencia con por lo menos un material de base capaz de conducir la electricidad, en el que la relación de las superficies externa e interna del material de base, penetrables por una corriente, al volumen total del material de base, aumenta por subdivisión del material de base, perpendicularmente a la dirección de la corriente, en
- 20 por lo menos dos segmentos, que están distanciados por una pieza intermedia conductora de la electricidad así como conectados entre sí eléctrica y mecánicamente, en comparación con una conformación del material de base, en la que se había omitido esta subdivisión, componiéndose la pieza intermedia a base de un material, que es atacable por un agente corrosivo, frente al que es estable el material de base.

- De modo desventajoso, en ese documento no se da ninguna información acerca de las dimensiones de los
- 25 segmentos ni del consumo de material vinculado con ello, por una parte, ni de la eficiencia del conductor, por otra parte.

Misión y solución del problema planteado por ella

- Por lo tanto, la misión del invento es poner a disposición un conductor de alta frecuencia, en el que los segmentos tengan una dimensión, que dé lugar a la mejor conductividad posible al mismo tiempo que a unos costos del material lo más pequeños que sean posibles.
- 30

El problema planteado por esta misión se resuelve conforme al invento mediante un conductor de alta frecuencia de acuerdo con la reivindicación principal, así como mediante un procedimiento de producción de acuerdo con una reivindicación secundaria. Otras ventajosas formas de realización se establecen a partir de las reivindicaciones subordinadas que se refieren a ella.

Objeto del invento

En el marco del invento se desarrolló un conductor de alta frecuencia, que comprende por lo menos un material de base conductor de la electricidad.

- Conforme al invento, el dispositivo comprende por lo menos un material de base conductor de la electricidad. Éste está subdividido perpendicularmente a la dirección de la corriente en por lo menos dos segmentos, que están
- 40 distanciados por una pieza intermedia conductora de la electricidad. La pieza intermedia se compone a base de un material, que es atacable por un agente corrosivo, frente al que es estable el material de base. Mediante la pieza intermedia los segmentos están conectados entre sí eléctrica y mecánicamente. Mediante esta conformación se aumenta la relación de las superficies externa e interna del material de base, que son penetrables por una corriente, al volumen total del material de base, en comparación con una conformación del material de base, en la que se había omitido esta subdivisión.
- 45

- Mediante estas medidas técnicas que conciernen a la conformación, la misma cantidad de material de base se puede disponer espacialmente de manera tal que una mayor proporción del material de base se encuentre a una distancia de a lo sumo la profundidad del efecto pelicular desde una superficie externa o interna y por consiguiente participe en el transporte de corriente. Por consiguiente permanece sin aprovechar una menor proporción en virtud del efecto pelicular.
- 50

Conforme al invento, por lo menos un segmento del material de base tiene, en cada dirección situada perpendicularmente a la dirección de la corriente, una dimensión comprendida entre el doble de la profundidad del efecto pelicular del material de base en el caso de la máxima frecuencia de servicio y un múltiplo de 2,5 de la profundidad del efecto pelicular del material de base en el caso de la más baja frecuencia de servicio. Una menor dimensión merma la conductividad, una dimensión esencialmente más alta da lugar sólo a unos costos más altos del material, pero no establece ningún aumento de la conductividad.

Conforme al invento, la pieza intermedia se compone de un material, que puede ser atacado por un agente corrosivo, frente al que es estable el material de base. Entonces, el conductor de alta frecuencia puede ser producido de manera especialmente sencilla, creciendo sobre el sustrato unas capas alternantes hechas del material de base y del material de la pieza intermedia y usándose a continuación el agente corrosivo. Las capas hechas del material de la pieza intermedia son atacadas entonces simultáneamente por dos lados. En el centro entre ambos lugares de ataque queda un resto, cuya anchura depende de la duración de la corrosión y de la velocidad de corrosión. No es necesaria ninguna secuencia complicada de etapas de litografía.

De la pieza intermedia se ha de solicitar solamente que ella tenga una conductividad metálica y que sea estable mecánicamente. Cuando el conductor de alta frecuencia es aplicado sobre un semiconductor, entonces para cada semiconductor hay un grupo de materiales conductivos especialmente apropiados, que forman p.ej. un contacto de Schottky con el semiconductor.

Ventajosamente el material de la pieza intermedia es un metal del grupo principal 3° o 4° o un metal de transición, o contiene por lo menos uno de tales metales como elemento de aleación. De manera especialmente ventajosa, el material de la pieza intermedia pertenece al grupo de (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) o él contiene por lo menos un metal de este grupo como elemento de aleación. Estos materiales reúnen una conductividad tolerable con una buena corrosividad en particular mediante agentes corrosivos químicos en húmedo. Cuando se utiliza un procedimiento de producción, en el que no se trata de esto, el material de la pieza intermedia puede sin embargo ser también por ejemplo un metal noble y en particular ser idéntico al material de base.

Si el material de base está estructurado topográficamente, ventajosamente por lo menos un 30 %, preferiblemente por lo menos un 50 % y de manera muy especialmente preferida por lo menos un 80 % de las estructuras topográficas tienen en cada dirección situada perpendicularmente a la dirección de la corriente una dimensión comprendida entre el doble de la profundidad del efecto pelicular del material de base en el caso de la máxima frecuencia de servicio y el múltiplo de 2,5 de la profundidad del efecto pelicular del material de base en el caso de la más baja frecuencia de servicio. Entonces las estructuras son penetradas por la corriente esencialmente por completo.

Si el material de base es poroso, entonces ventajosamente la más pequeña distancia es de por lo menos un 30 %, preferiblemente por lo menos un 50 % y de manera muy especialmente preferida por lo menos un 80 % de los poros con respecto a sus vecinos más próximos es entre el doble de la profundidad del efecto pelicular del material de base en el caso de la máxima frecuencia de servicio y el múltiplo de 2,5 de la profundidad del efecto pelicular del material de base en el caso de la más baja frecuencia de servicio. Entonces las zonas situadas entre los poros son penetradas esencialmente por completo por la corriente y quedan sólo pequeñas cantidades del material de base, que no contribuyen en nada al transporte de la corriente.

Ventajosamente el material de base es carbono o un metal noble o seminoble o contiene por lo menos un material de este grupo como elemento de aleación. En una forma de realización especialmente ventajosa del invento, el material de base pertenece al grupo de (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) o contiene por lo menos un metal de este grupo como elemento de aleación. El carbono y estos metales nobles no solamente son óptimamente conductores de la electricidad sino que también son estables frente a influencias del medio ambiente así como frente a agentes corrosivos químicos en húmedo, que se utilizan eventualmente para la producción de piezas intermedias.

En una forma de realización especialmente ventajosa del invento, el conductor de alta frecuencia está desarrollado como electrodo de control de un transistor. Él puede estar desarrollado como electrodo de puerta de un transistor de efecto de campo. En el caso de un transistor de efecto de campo, en aras de obtener una frecuencia de conmutación y una pendiente del flanco de la conmutación lo más altas que sean posibles, es importante poder cubrir con carga al electrodo de puerta con la mayor rapidez que sea posible o, a la inversa, poder evacuar carga desde éste con la mayor rapidez que sea posible.

Ventajosamente, el conductor de alta frecuencia está acoplado como electrodo de puerta a través de una pieza intermedia conductora de la electricidad, que define la longitud de puerta, a una estructura semiconductor de transistor de efecto de campo. Cuanto más pequeña sea la longitud de puerta, tanto mayor es la frecuencia máxima de conmutación del transistor.

En otra forma de realización especialmente ventajosa del invento, el conductor de alta frecuencia está conformado como electrodo colector o de disipación de un fotodetector. Particularmente, en un fotodetector de acuerdo con el principio MSM (acrónimo de metal - semi-conductor - metal) el rendimiento cuántico es tanto mejor cuanto más pequeña sea la resistencia eléctrica de los electrodos colectores y de disipación.

- 5 Según lo que se ha dicho precedentemente, el invento se refiere también a un procedimiento para la producción de un conductor de alta frecuencia conforme al invento. En tal caso se hacen crecer sobre un sustrato unas capas alternantes hechas del material de la pieza intermedia y del material de base. El apilamiento de capas es sometido a continuación a la acción de un agente corrosivo, que corroe isotrópamente al material de la pieza intermedia y al mismo tiempo no ataca ni al sustrato ni al material de base. Mediante la interacción de la velocidad de corrosión con la duración de la corrosión se puede ajustar la anchura de la pieza intermedia que queda después del proceso de corrosión.

10 Ventajosamente, se escoge un agente corrosivo diluible. La velocidad de corrosión se puede ajustar entonces a través del grado de dilución. El agente corrosivo puede ser, por ejemplo, un ácido o una base. Sin embargo, la dilución puede, pero no debe, efectuarse con agua. Por ejemplo, se pueden utilizar para la dilución también otros disolventes.

Parte descriptiva especial

Seguidamente se explica el objeto del invento con ayuda de unas Figuras, sin que el objeto del invento sea restringido por ello. Se muestra:

En la Figura 1: Un ejemplo de realización del conductor de alta frecuencia conforme al invento.

- 20 En la Figura 2: La respuesta en frecuencia de la densidad de corriente conseguible y la comparación con el estado de la técnica.

En la Figura 3: Un ejemplo de realización del procedimiento de producción conforme al invento.

En la Figura 4: Una fotografía tomada con microscopio electrónico de barrido del conductor de alta frecuencia conforme al invento y su comparación con el estado de la técnica.

- 25 En la Figura 5: La respuesta en frecuencia de la amplificación de la corriente en cortocircuito de un transistor con un conductor de alta frecuencia conforme al invento como puerta y de un transistor con puerta de acuerdo con el estado de la técnica.

30 La Figura 1a muestra un Ejemplo de realización del conductor de alta frecuencia conforme al invento 1 como dibujo en sección. El conductor de alta frecuencia 1 está acoplado a través de una pieza intermedia 2 hecha de níquel, que define la longitud de puerta, a una heteroestructura AlGaIn/GaN 3 como una estructura semiconductora de transistor con efecto de campo. Esta heteroestructura se encuentra sobre un sustrato de zafiro. El sustrato así como las zonas de fuente y de sumidero del transistor, inclusive el contacto eléctrico, no se dibujan por motivos de claridad. El material de base oro del conductor de baja frecuencia 1 está subdividido en dos segmentos 1a y 1b, que están conectados entre sí eléctrica y mecánicamente por una pieza intermedia 1c hecha de níquel. La corriente, que aporta carga a la puerta o respectivamente la evacua desde ella, fluye perpendicularmente al plano del dibujo. A causa del efecto pelicular, solamente las partes rayadas próximas a las superficies de los dos segmentos 1a y 1b contribuyen al transporte de la corriente a través del conductor de alta frecuencia 1. El transporte de la corriente a través de las piezas intermedias 1c y 2, que conducen peor, se desprecia en la Figura 1 por motivos de claridad.

40 La Figura 1b muestra como comparación un conductor de alta frecuencia 1 de acuerdo con el estado actual de la técnica, que contiene la misma cantidad de material de base que el Ejemplo de realización según la Figura 1a, en dibujo en sección. En el presente caso se suprime la subdivisión en dos segmentos del material de base. Como consecuencia de ello se suprimen la arista inferior del segmento 1a y la arista superior del segmento 1b como zonas próximas a la superficie, que contribuyen al transporte de la corriente. De esta manera, se aprovecha para el transporte de la corriente sólo una parte manifiestamente más pequeña del costoso material de base.

45 En la Figura 2, para los conductores de alta frecuencia según la Figura 1a (línea continua) y según la Figura 1b (línea de trazos) se registra a escala doblemente logarítmica en función de la frecuencia f la respuesta en frecuencia de la densidad de corriente j que se puede conseguir en el conductor de alta frecuencia. Para unas frecuencias a partir de aproximadamente $2 \cdot 10^{10}$ Hz se muestra una manifiesta ganancia de densidad de corriente cuando se emplea la misma cantidad de material de base.

50 La Figura 3 muestra un ejemplo de realización del procedimiento de producción conforme al invento, con el que se había producido el conductor de alta frecuencia mostrado en la Figura 1a. Sobre una heteroestructura 3 de

AlGaIn/GaN, que había crecido sobre un sustrato de zafiro, disponible comercialmente, se hicieron crecer en primer lugar unas capas alternantes de níquel y oro con un espesor en cada caso de 200 nm (Figura 3a). La heteroestructura se compone de una capa amortiguadora de GaN no dopada con un espesor de 3 μm , sobre la que se encuentra una barrera de AlGaIn con un espesor de 30 nm. En la cantidad molar de material de esta barrera, el AlN tiene una proporción de 26 %. Después del crecimiento, el apilamiento de capas fue sometido a la acción de un ácido clorhídrico diluido con agua ($\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}$ 1:100), que atacaba a las capas de níquel en cada caso desde la derecha y desde la izquierda (Figura 3b). Después de la corrosión el apilamiento de capas fue enjuagado en agua desionizada durante 10 min, con el fin de detener la descomposición ulterior de las capas de níquel. Las mediciones por AFM mostraron que mediante la corrosión no se había aumentado la aspereza media (rms) causada por la corrosión.

Inmediatamente sobre la heteroestructura 3 quedó una pieza intermedia de níquel 2, que define la longitud de puerta del transistor con alta movilidad de electrones, en inglés "high electron mobility transistor" (con el acrónimo HEMT). La segunda pieza intermedia de níquel 1c une a los dos segmentos 1a y 1b del material de base oro.

La Figura 4a muestra una fotografía tomada en microscopio electrónico de barrido del conductor de alta frecuencia conforme al invento producido de esta manera, que corresponde al esquema de acuerdo con la Figura 1a, en sección transversal (puerta T de dos niveles). La Figura 4b muestra como comparación una fotografía tomada en microscopio electrónico de barrido de un Ejemplo para la habitual estructura de puerta T (puerta T de un solo nivel) de acuerdo con el estado de la técnica, que corresponde al esquema según la Figura 1b, en sección transversal.

La Figura 5 muestra la respuesta en frecuencia de la amplificación de corriente de cortocircuito g de un transistor con una puerta T habitual de acuerdo con el estado de la técnica (Figura 1b; delgada línea de puntos) y de un transistor con una puerta T de dos niveles conforme al invento (Figura 1a; gruesa línea continua g) registrada en cada caso en función de la frecuencia F . Ambos transistores están estructurados por lo demás idénticamente. La ventaja del transistor con el conductor de alta frecuencia conforme al invento como puerta se hace visible en el caso de altas frecuencias. De esta manera el conductor de alta frecuencia conforme al invento confiere al transistor una más alta frecuencia límite f_{max} (máxima frecuencia, que es transferida sin amortiguación).

REIVINDICACIONES

1. Un conductor de alta frecuencia (1), que comprende por lo menos un material de base conductor de la electricidad,
en el que la relación de las superficies externa e interna penetrables por una corriente del material de base al volumen total del material de base por subdivisión del material de base, perpendicularmente a la dirección de la corriente en dos segmentos (1a), (1b), que están distanciados por una pieza intermedia (1c) conductora de la electricidad así como conectados entre sí eléctrica y mecánicamente, que se compone de un material que es atacable por un agente corrosivo, frente al que es estable el material de base, ha aumentado en comparación con una conformación del material de base en la que se había suprimido esta subdivisión
caracterizado por que
por lo menos un segmento en cada dirección situada perpendicularmente a la dirección de la corriente tiene una dimensión comprendida entre el doble de la profundidad de efecto pelicular del material de base en el caso de la máxima frecuencia de servicio y el múltiplo de 2,5 de la profundidad de efecto pelicular del material de base en el caso de la más baja frecuencia de servicio.
2. Un conductor de alta frecuencia de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el material de la pieza intermedia es un metal del 3º o 4º grupo principal o un metal de transición o por que él contiene por lo menos uno de tales metales como elemento de aleación.
3. Un conductor de alta frecuencia de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por que el material de la pieza intermedia pertenece al grupo de (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) o contiene por lo menos un metal de este grupo como elemento de aleación.
4. Un conductor de alta frecuencia de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 3, caracterizado por que el material de base es carbono o un metal noble o seminoble o por que él contiene por lo menos un material de este grupo como elemento de aleación.
5. Un conductor de alta frecuencia de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 4, caracterizado por que el material de base pertenece al grupo de (Ru, Rh, Pd, Ag, Os, Ir, Pt, Au) o contiene por lo menos un metal de este grupo como elemento de aleación.
6. Un conductor de alta frecuencia de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 5, caracterizado por que él está desarrollado como electrodo de control de un transistor.
7. Un conductor de alta frecuencia de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado por que él está desarrollado como electrodo de puerta de un transistor de efecto de campo.
8. Un conductor de alta frecuencia de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado por que él está acoplado a través de una pieza intermedia conductora de la electricidad, que define la longitud de puerta, a una estructura semiconductor de transistor de efecto de campo.
9. Un conductor de alta frecuencia de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 8, caracterizado por que él está desarrollado como electrodo colector o de disipación de un fotodetector.
10. Un procedimiento para la producción de un conductor de alta frecuencia de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 hasta 9, caracterizado por que sobre un sustrato se hacen crecer capas alternantes a base del material de la pieza intermedia y del material de base y el apilamiento de capas se somete a continuación a la acción de un agente corrosivo, que corroe isotrópamente al material de la pieza intermedia y al mismo tiempo no ataca ni al sustrato ni al material de base.
11. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado por que se escoge un agente corrosivo diluible.

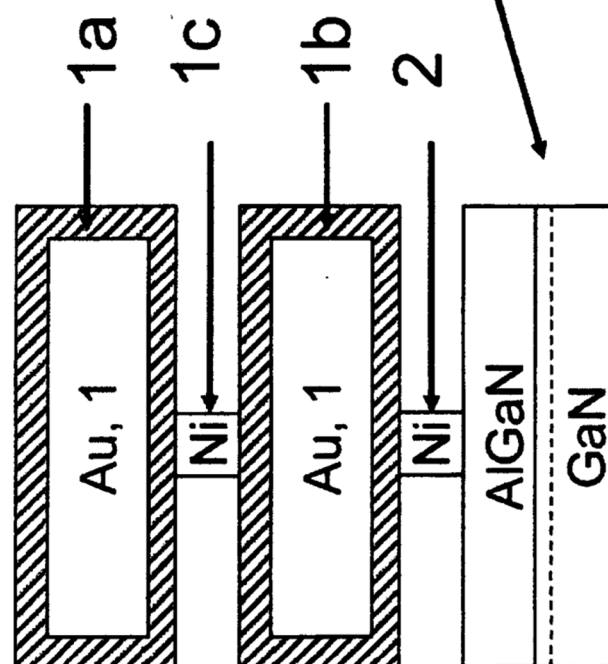


Figura 1a

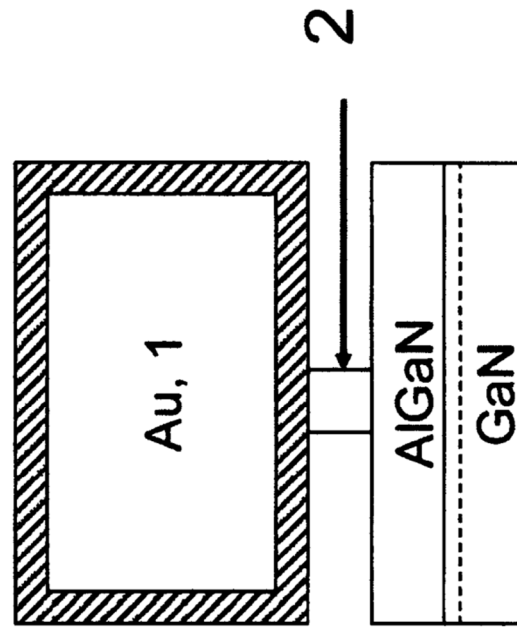


Figura 1b

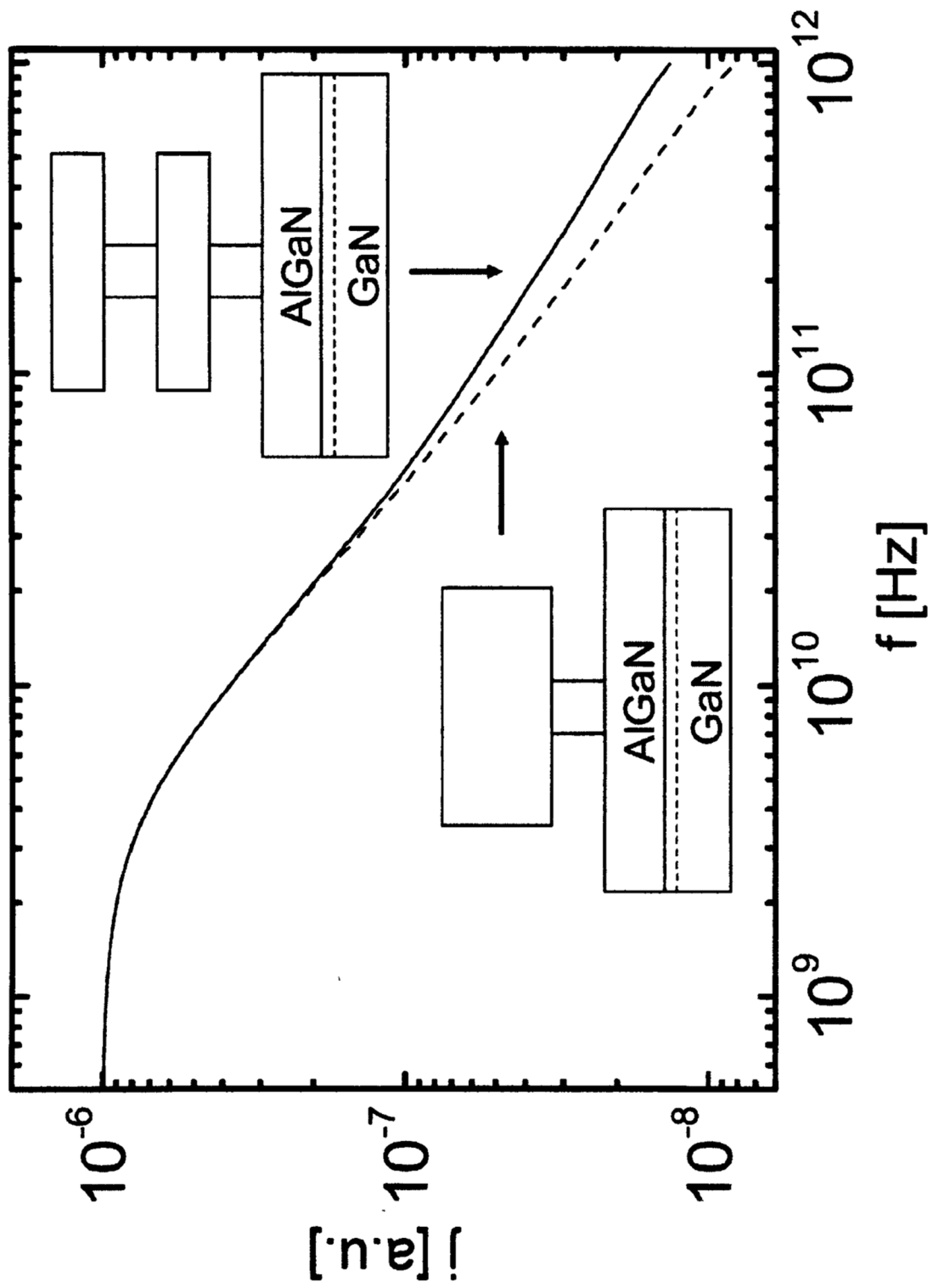


Figura 2

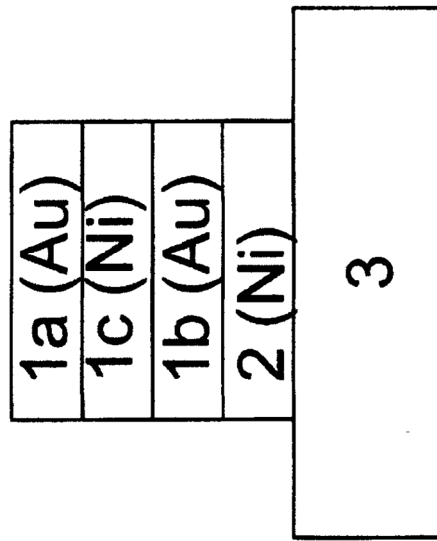


Figura 3a

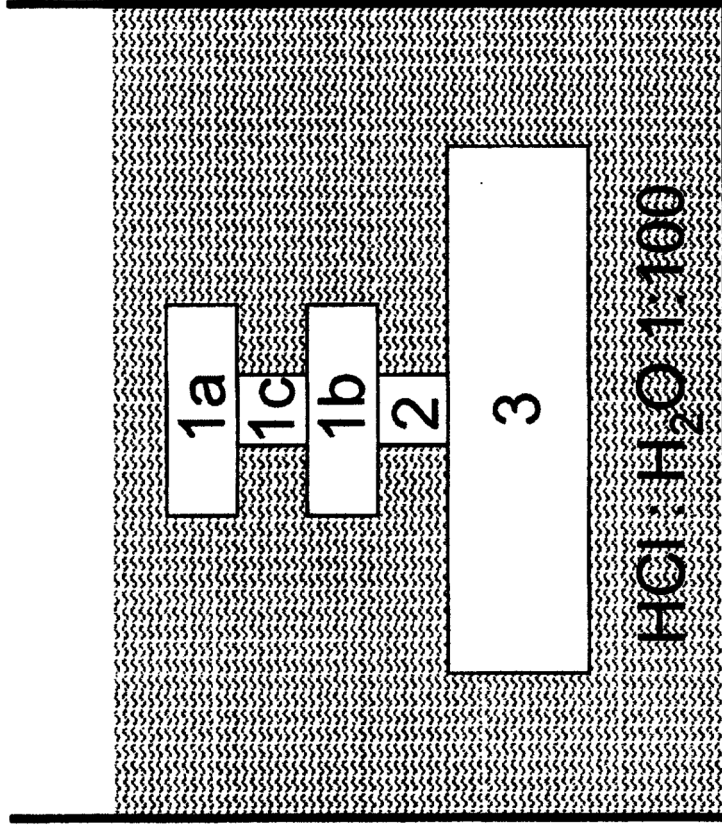


Figura 3b

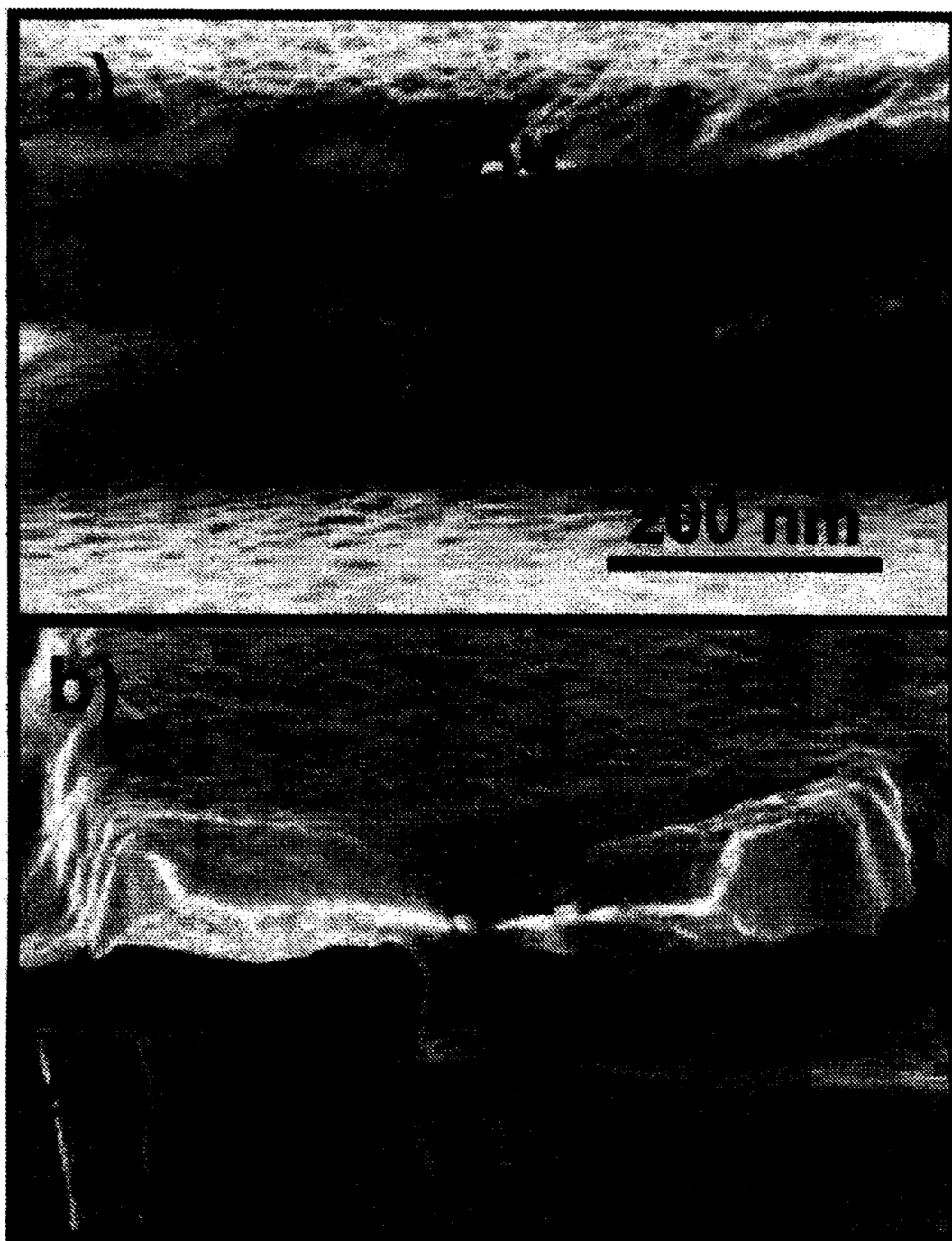


Figura 4

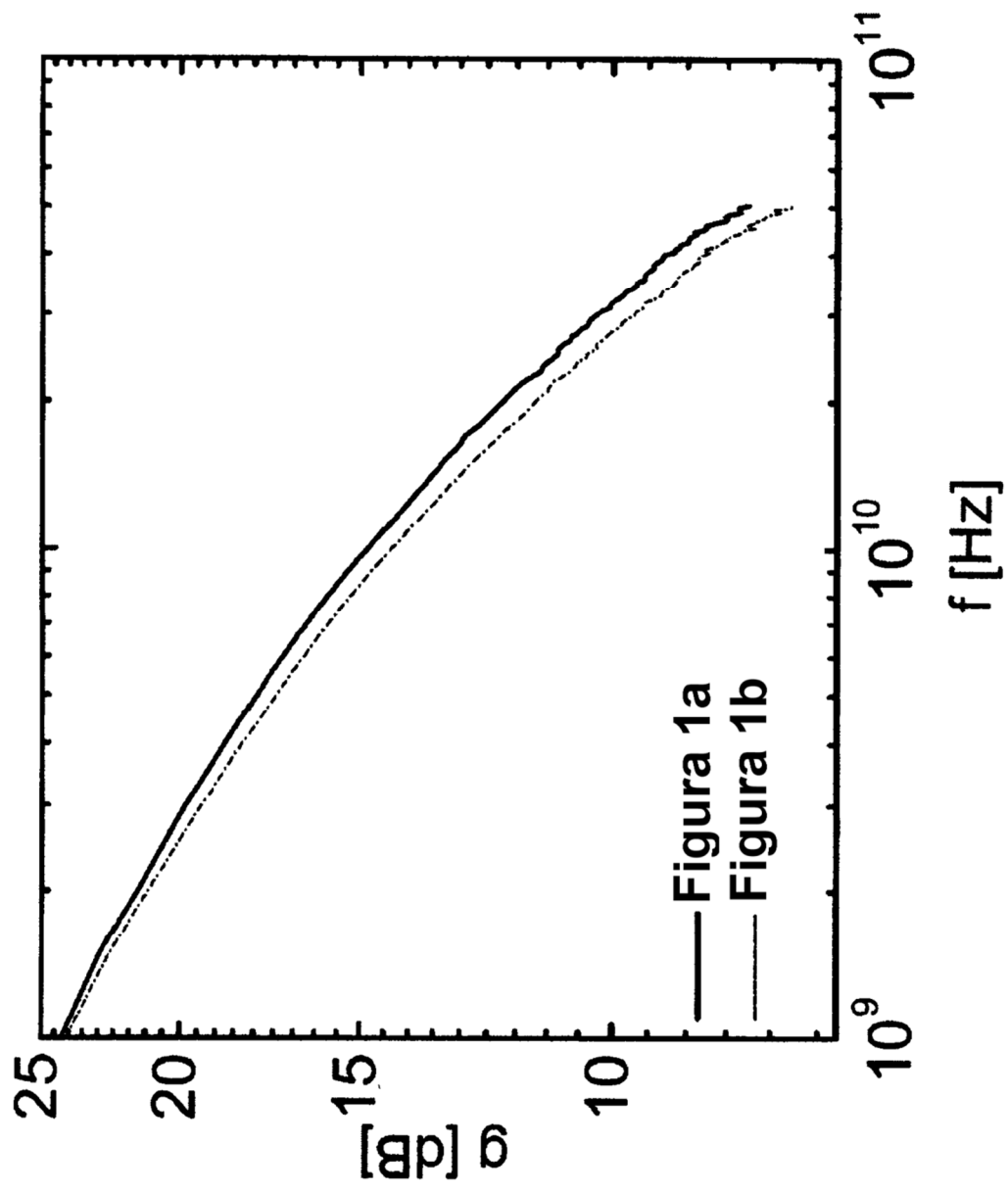


Figura 5