



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 381 506**

21 Número de solicitud: 200900370

51 Int. Cl.:
B82Y 35/00 (2011.01)
G01R 27/20 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación: **10.02.2009**

43 Fecha de publicación de la solicitud: **28.05.2012**

43 Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
28.05.2012

71 Solicitante/s: **Consejo Superior de Investigaciones Científicas (Csic)**
c/ Serrano, 117
28006 Madrid, ES

72 Inventor/es: **Santander Vallejo, Joaquín;**
Cané Ballart, Carles;
Fonseca Chácharo, Luis;
Figueras Costa, Eduard;
Gràcia Tortadés, Isabel;
Sabaté Vizcarra, Neus;
Torres Herrero, Nuria y
Ivanov, Peter

74 Agente/Representante:
Pons Ariño, Ángel

54 Título: **Dispositivo y método para la determinación de características eléctricas de nanocontactos entre una nanoestructura longitudinal y una pista de metal para su conexionado.**

57 Resumen:

Dispositivo y método para la determinación de características eléctricas de nanocontactos entre una nanoestructura longitudinal y una pista de metal para su conexionado. El dispositivo y método objeto de la invención permiten determinar la resistencia de contacto de un nanocontacto entre una nanoestructura longitudinal y una pista de metal para caracterizar dicho nanocontacto y poder estimar su conexionado sin dañar la nanoestructura y sin que la medición se vea afectada por la influencia de resistencias parásitas.

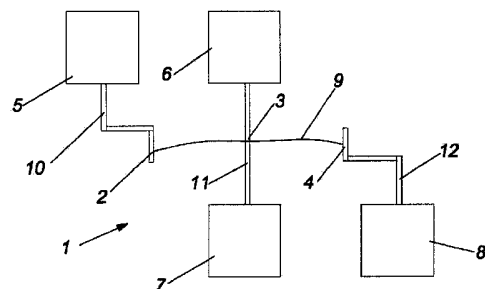


FIG. 1

DESCRIPCIÓN

Dispositivo y método para la determinación de características eléctricas de nanocontactos entre una nanoestructura longitudinal y una pista de metal para su conexionado.

Objeto de la invención

El objeto principal de la presente invención es un dispositivo y un método de utilización del mismo para la realización de medidas de resistencia de contacto en contactos entre nanoestructuras y pistas metálicas.

Antecedentes de la invención

Las técnicas para la medida de parámetros eléctricos en dispositivos microelectrónicos se han desarrollado hasta la fecha de forma exhaustiva en el ámbito de la investigación y la fabricación microelectrónicas. Sin embargo, estas técnicas no son siempre aplicables directamente en el campo de los nanodispositivos, como son por ejemplo los basados en nanoestructuras longitudinales tales como nanohilos, nanotubos, etc.

En la actualidad numerosos grupos de investigación están trabajando intensivamente en el desarrollo de nuevos dispositivos que basan su funcionamiento en las características eléctricas de nanotubos o nanohilos fabricados y funcionalizados de muy diversas formas. Sin embargo, en todos los casos es necesario contactar eléctricamente el nanotubo o nanohilo para poder poner de manifiesto la información que proporcionan a través de sus características eléctricas. Este contacto eléctrico se puede implementar con diversas tecnologías, pero siempre tendrá una determinada influencia sobre las medidas eléctricas. Así pues, es de gran importancia caracterizar adecuadamente el contacto eléctrico entre el sistema de metalización que permite el acceso externo y el propio nanotubo o nanohilo.

Los trabajos publicados hasta la fecha en los que se realizan medidas destinadas a la obtención de la resistencia de contacto entre un nanotubo o nanohilo y una pista metálica utilizan todos ellos una serie de medidas indirectas que permiten calcular finalmente la resistencia de contacto. Además, las diferentes medidas se realizan sobre diferentes contactos, que se suponen todos ellos con la misma resistencia, no permitiendo estos métodos la medida de un contacto único de forma individualizada y precisa.

Por el contrario, el método propuesto permite la medida de la resistencia que presenta un único contacto individualizado entre el nanotubo o el nanohilo y el metal con una gran precisión, ya que utiliza la técnica de medida de resistencia de cuatro hilos, por lo que las resistencias parásitas debidas a cables, contacto con los pads de medida, e incluso las resistencias de los otros contactos entre el nanohilo o nanotubo y el metal, no influyen en el resultado final obtenido.

Este método está inspirado en la "estructura Kelvin", una estructura de test utilizada en el campo de la microelectrónica para la determinación de la resistencia de contacto existente entre dos niveles conductores.

Descripción de la invención

Se presenta un dispositivo y un método para la medida de la resistencia de contacto entre una nanoestructura, siendo ésta una nanoestructura longitudinal como por ejemplo un nanotubo o un nanohilo, y una pista de metal.

La nanoestructura longitudinal, debe contactar en tres puntos, debiendo dar acceso el primer y tercer puntos a un pad cada uno (zona extensa de metal para poder contactar desde el exterior con una punta de medida), mientras que el segundo debe dar acceso a dos pads, situados cada uno a un lado del contacto. De esta forma es posible realizar una medida de resistencia con el método denominado Kelvin o de cuatro hilos, a partir del cual se obtiene el valor de la resistencia de contacto del segundo contacto sin que en esta medida tengan influencia las resistencias ni de las pistas de metal, ni de la nano estructura longitudinal (nanotubo o nanohilo o similar) ni de los otros dos contactos, lo cual no es posible con las técnicas publicadas hasta el momento para la medida de la resistencia de contacto a nanoestructuras longitudinales presentadas en el apartado anterior.

La invención consiste en un método para la caracterización de nanocontactos, entendiéndose como tal el contacto eléctrico entre una nanoestructura y una pista de metal. El hecho de disponer de una herramienta adecuada para esta tarea es fundamental para el desarrollo de nanodispositivos electrónicos, ya que estos contactos son absolutamente necesarios para la conexión del dispositivo. Por este motivo, conocer el valor de la resistencia de contacto también es vital para poder implementar un dispositivo electrónico fiable y repetitivo con una nanoestructura longitudinal.

La estructura del dispositivo consiste en tres nanocontactos fabricados sobre la misma nanoestructura longitudinal (p.e. un nanotubo o un nanohilo). El primero y el tercero llevan a un pad libre cada uno, entendiéndose como pad una zona amplia de metal donde es posible la conexión con una punta de medida o a través de soldadura, mientras que el segundo lleva a dos pads unidos entre sí por una pista de metal, ubicados en cada uno de los lados del segundo nanocontacto. La medida eléctrica a realizar para la obtención de la resistencia de contacto consiste en hacer pasar una corriente I , que deberá ser lo suficientemente pequeña como para no afectar (por calentamiento o electromigración, por ejemplo) ni a la nanoestructura longitudinal ni a las pistas de metal, entre un primer pad libre y un primer pad del par de pads ubicados a ambos lados de la nanoestructura longitudinal, encontrándose ambos pads conectados entre sí

a través de la nanoestructura longitudinal. Al mismo tiempo se deberá medir la diferencia de tensión que aparecerá entre el segundo pad libre restante y el segundo pad del par de pads ubicados a ambos lados de la nanoestructura longitudinal, que también se encuentran conectados entre sí a través de la nanoestructura; obteniéndose de esta forma la resistencia del nanocontacto central utilizando para ello la ley de Ohm; no viéndose afectada esta medida por el valor de las resistencias ni del nanotubo o nanohilo, ni de las pistas de metal ni de los otros dos nanocontactos.

En cuanto a la fabricación de la estructura, ésta se puede realizar con diferentes técnicas del campo de las micro y nanotecnologías. La nanoestructura longitudinal será la que deba formar parte del dispositivo que se esté desarrollando y cuyas características estarán por tanto en función del funcionamiento que deba presentar el dispositivo. Las mismas consideraciones aplican para la fabricación de las líneas de metal, que deberán fabricarse de la misma forma que la prevista para el dispositivo final. Esta estructura precisamente se puede utilizar para determinar, de entre diferentes alternativas de metalización, cuál de ellas permite conseguir unos nanocontactos que presenten unas mejores características.

A través de la medida de una curva característica I-V del nanocontacto, es posible determinar si éste presenta un comportamiento óhmico (relación I-V lineal) o rectificador. Esta curva característica se obtiene realizando las medidas descritas anteriormente para todos los valores de corriente I en un determinado rango, obteniéndose una gráfica que relaciona la corriente inyectada con la caída de tensión en el nanocontacto. Si ésta es lineal, el nanocontacto tiene un comportamiento óhmico y su resistencia es constante e igual a la pendiente de esta recta.

El método objeto de la invención permite la medida de la resistencia del contacto asociada al nanocontacto, estando dicha medida exenta de las resistencias parásitas provenientes de la resistencia de las pistas de metal, la propia nanoestructura longitudinal y los otros dos nanocontactos.

25 Descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra un esquema del dispositivo.

Figura 2.- Muestra una representación de la estructura del dispositivo.

Figura 3.-Muestra la gráfica resultado de la correlación de las mediciones I-V.

Realización preferente de la invención

Un ejemplo de realización del dispositivo (1) objeto de la invención y el método de utilización del mismo consistiría en, una vez obtenida la nanoestructura (9) longitudinal, como puede ser un nanotubo o nanohilo, a contactar, se fabrican las pistas de metal (10, 11, 12) y los pads (5, 6, 7, 8). Para ello existen varias alternativas. Una sería a través de la utilización de un FIB (Focused Ion Beam), herramienta de nanofabricación que permite el depósito de un metal con precisión nanométrica, a través del cual se depositarían unas pistas de metal sobre la nanoestructura (9) longitudinal, formando los contactos (2, 3, 4), que a su vez tendrían continuidad hacia unos pads (5, 6, 7, 8) del tamaño adecuado para ser contactados con la punta de prueba de que se disponga y así poder realizar la medida eléctrica y obtener el valor de resistencia del segundo contacto (3). De esta forma, variando las condiciones de fabricación, es posible determinar las condiciones que dan lugar a contactos óhmicos y de menor resistencia.

Otra alternativa sería el uso de fotolitografía por haz de electrones (e-beam). Para ello, tras localizar la nanoestructura (9) longitudinal, se puede usar un nanotubo o un nanohilo, se fabrican (con FIB o AFM) unas pequeñas marcas de alineamiento que permitirán después transferir, mediante fotolitografía por haz de electrones, a la fotorresina previamente depositada los motivos que contienen las pistas y los pads que forman la estructura del dispositivo de test. Tras el revelado de la fotorresina, se deposita el metal en toda la muestra, realizándose en este momento los contactos (2, 3, 4) en el lugar prefijado. Después se realiza la etapa de *lift-off* para eliminar la fotorresina restante y el metal sobre ella.

Es posible combinar las dos alternativas anteriores si se utilizan técnicas fotolitográficas para los pads y el FIB para las pistas de metal. Para ello se puede partir de una estructura de pads (5, 6, 7, 8) fabricados previamente utilizando técnicas fotolitográficas tradicionales de bajo coste o bien fotolitografía por haz de electrones. De esta forma con el FIB solamente será necesario fabricar las pistas de metal (10, 11, 12) hasta contactar con los pads (5, 6, 7, 8) más cercanos. De esta forma se minimiza el uso del FIB, de alto coste en cuanto a tiempo de uso del instrumento.

Hasta el momento se ha llevado a cabo la fabricación de la estructura del dispositivo de test utilizando la segunda de las alternativas descritas. La figura 2 muestra una representación de la fotografía a través de un microscopio óptico, donde se puede observar la geometría de pistas de metal (10, 11, 12) y los pads (5, 6, 7, 8). En la parte central se ha contactado una nanoestructura (9), en este caso un nanotubo de carbono.

ES 2 381 506 A1

Se hace pasar una corriente I , entre el primer pad (5) y el tercer pad (7) y al mismo tiempo se mide la diferencia de tensión que aparece entre el cuarto pad (8) y el segundo pad (6) obteniéndose de esta forma la resistencia del segundo nanocontacto (3), la obtención de dicho valor se calcula usando la fórmula

$$R = \frac{V_{pad8} - V_{pad6}}{I}.$$

En la figura 3 se muestran en una gráfica los resultados de la correlación I-V realizada a partir de los datos obtenidos. Se muestra el valor de la tensión V aplicada y de las tensiones medidas en los pads (6, 8) denominadas V_8 y V_6 para valores de corriente aplicada entre $-0,5 \mu\text{A}$ y $0,5 \mu\text{A}$. Las tres tensiones son prácticamente iguales, siendo la diferencia entre V_8 y V_6 menor que el nivel de ruido presente en la medida. Esto se debe a que la nanoestructura (9) longitudinal, en este caso un nanotubo, empleada presenta una resistencia muy elevada, del orden de $6 \text{ M}\Omega$, por lo que la parte de tensión que cae en la resistencia de contacto entre el nanotubo y el metal representa una fracción muy pequeña del total, comparable con el nivel de ruido de la medida. Por tanto, se concluye que la resistencia de contacto entre el metal y el nanotubo es despreciable comparada con la resistencia de este último.

ES 2 381 506 A1

REIVINDICACIONES

5 1. Dispositivo (1) para la determinación de características eléctricas de nanocontactos (2, 3, 4) entre una nanoestructura (9) longitudinal y al menos una pista de metal (10, 11, 12) para su conexionado **caracterizado** porque comprende:

- un primer pad (5) conectado a una primera pista de metal (10),
- 10 - un segundo pad (6) conectado a un tercer pad (7) mediante una segunda pista de metal (11) ubicados a ambos lados de la nanoestructura (9) longitudinal respectivamente,
- un cuarto pad (8) conectado a una tercera pista de metal (12),
- 15 - un primer nanocontacto (2) ubicado entre la nanoestructura (9) longitudinal y la pista de metal (10) del primer pad (5),
- un segundo nanocontacto (3) ubicado entre la nanoestructura (9) longitudinal y la segunda pista de metal (11) que conecta el segundo pad (6) con el tercer pad (7), y
- 20 - un tercer nanocontacto (4) ubicado entre la nanoestructura (9) longitudinal y la tercera pista de metal (12) del cuarto pad (8).

25 2. Método para la determinación de características eléctricas de nanocontactos (2, 3, 4) entre una nanoestructura (9) longitudinal y al menos una pista de metal (10, 11, 12) para su conexionado haciendo uso del dispositivo (1) **caracterizado** porque comprende los siguientes pasos:

- se hace pasar una corriente entre el primer pad (5) y el tercer pad (7),
- 30 - se mide la diferencia de tensión entre el cuarto pad (8) y el segundo pad (6),
- se realiza una gráfica con la correlación I-V para el segundo nanocontacto (3),
- se determina el comportamiento óhmico del segundo nanocontacto (3) en función de la gráfica del apartado anterior,
- 35 - se determina el valor de la resistencia de contacto, en el caso de que el comportamiento sea óhmico, siendo este valor igual a la pendiente de la gráfica, y
- 40 - se calcula la resistencia de contacto del segundo nanocontacto (3) a partir de los datos obtenidos en el paso anterior utilizando la fórmula

$$45 \quad R = \frac{V_{pad8} - V_{pad6}}{I}$$

50

55

60

65

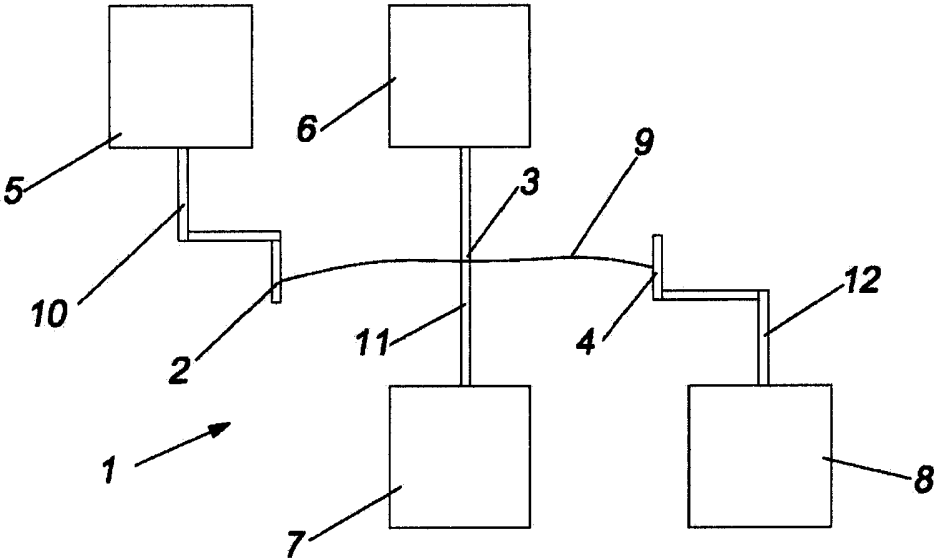


FIG. 1

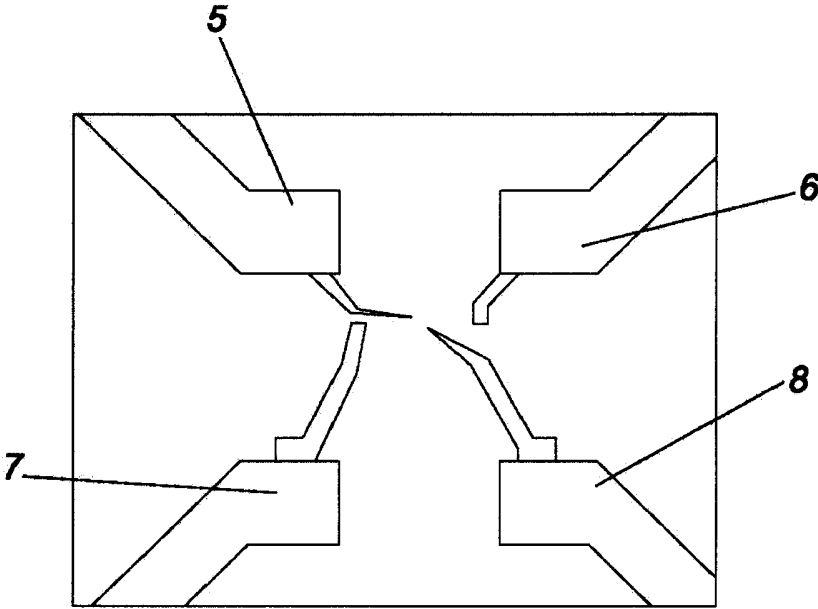


FIG. 2

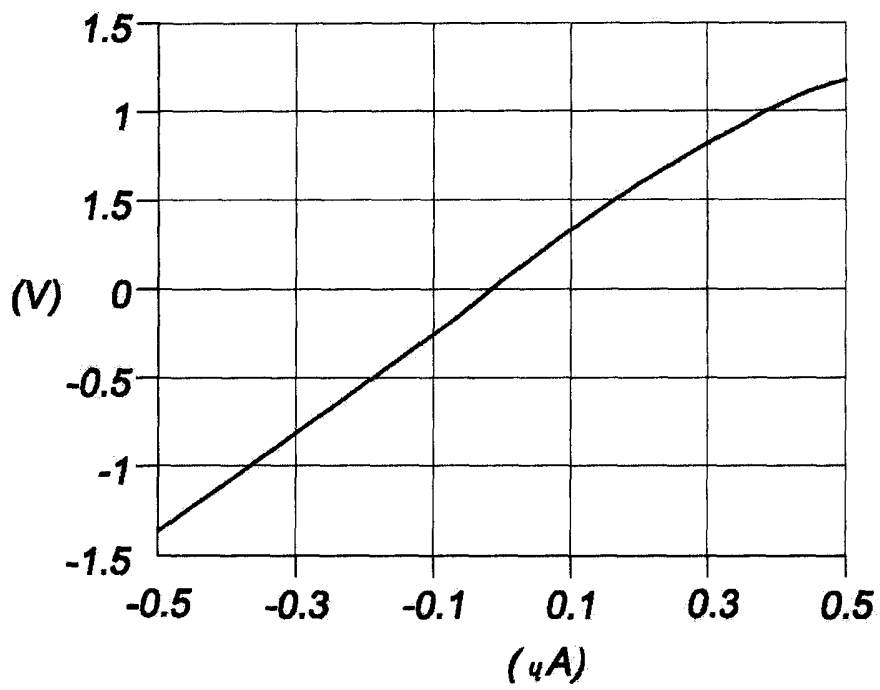
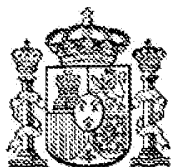


FIG. 3



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

21 N.º solicitud: 200900370

22 Fecha de presentación de la solicitud: 10.02.2009

32 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

5 Int. Cl. : **B82Y35/00** (2011.01)
G01R27/20 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	56 Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	LI, QILIANG ET AL. Precise Alignment of Single Nanowires and Fabrication of Nanoelectromechanical Switch and Other Test Structures. IEEE TRANSACTIONS ON NANOTECHNOLOGY, Vol. 6, No. 2, 1 de marzo de 2007, páginas: 256 - 262. <DOI:10.1109/TNANO.2007.891827>	1, 2
A	WENHUA, GU ET AL. Universal approach to accurate resistivity measurement for a single nanowire: Theory and application. APPLIED PHYSICS LETTERS, Vol.89, No. 25, 18 de diciembre de 2006, páginas: 253102 - 253102-3. <DOI:10.1063/1.2405400>	1, 2
A	STERN, E et al. Specific contact resistivity of nanowire devices. APPLIED PHYSICS LETTERS, Vol. 88, No. 5, 30 de enero de 2006, páginas: 53106 - 53106-3. <DOI: 10.1063/1.2163454>	1, 2

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
04.05.2012

Examinador
A. Figuera González

Página
1/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

B82Y, G01R

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, TXTEN, XPAIP, XPESP, XPESP2, XPIEE, XPI3E, INSPEC, COMPENDEX, Internet

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 04.05.2012

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1, 2	SI
	Reivindicaciones	NO

Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones	SI
	Reivindicaciones 1, 2	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	LI, Qiliang et al. Precise Alignment of Single Nanowires and Fabrication of Nanoelectromechanical Switch and Other Test Structures. IEEE TRANSACTIONS ON NANOTECHNOLOGY, Vol. 6, No. 2.	01/03/2007
D02	WENHUA, Gu et al. Universal approach to accurate resistivity measurement for a single nanowire: Theory and application. APPLIED PHYSICS LETTERS, Vol. 89, No. 25.	18/12/2006
D03	STERN, E et al. Specific contact resistivity of nanowire devices. APPLIED PHYSICS LETTERS, Vol.88, No. 5.	30/01/2006

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**REIVINDICACIÓN 1**

Se considera que el documento D01 es el documento del estado de la técnica más próximo al objeto de las reivindicaciones 1 y 2.

En el documento D01 se describe un sistema de manipulación de nanohilos para colocar de forma precisa nanohilos alineados y se utilizan procesos de fabricación de diversas estructuras de test entre las que se encuentran estructuras de Kelvin. Véase D01, resumen.

Una vez posicionados los nanohilos, se realiza un recubrimiento con SiO₂ y luego se definen por fotolitografía los contactos metálicos con los nanohilos. Se realiza entonces un ataque químico (*etching*) y por último se deposita el metal de contacto obteniéndose unas pistas de conexión, unos pads y unos puntos de contacto con el nanohilo. Véase D01, página 258, columna izquierda desde "After the nanowires are aligned..." hasta columna izquierda, donde dice "...by using methods I and II, respectively." y figura 3.

Para poder determinar las propiedades intrínsecas de conducción de nanohilos semiconductores, es necesario determinar de manera separada la resistencia del contacto. Véase D01, página 258, columna derecha, primera frase del apartado "III. TLM and Kelvin test Structures and SiNW FET".

La estructura de test de Kelvin es una técnica de caracterización ampliamente utilizada. En el documento D01 se fabrica la estructura de Kelvin de acuerdo con el método II de la figura 3. Por otra parte, tal y como se muestra en la figura 5 (a), la estructura tiene 3 electrodos.

Cuando la corriente eléctrica va del contacto 1 al contacto 2, la resistencia del contacto es: $R_C = V_{23}/I_{12}$

En la figura 5(b) se muestra V_{23} en función I_{12} . La resistencia del contacto es la pendiente de la recta obtenida por un ajuste por mínimos cuadrados (LLSF: linear least square fit).

Véase D01, página 250, columna izquierda, párrafo 2, desde "The Kelvin structure..." hasta "...by using LLSF." y figuras 3 y 5.

Así pues se puede establecer la siguiente correspondencia entre los elementos de la reivindicación 1 y la estructura de test de Kelvin del documento D01:

- Dispositivo para la determinación de características eléctricas de nanocontactos entre una estructura longitudinal y al menos una pista de metal
<-> estructura de Kelvin para la determinación de la resistencia de un contacto de un nanohilo
- Un primer nanocontacto (2) ubicado entre la nanoestructura (9) longitudinal y una primera pista de metal (10) conectada a un primer pad (5)
<-> contacto 1 de la figura 5 con una pista y un pad como los de la figura 3
- Un segundo nanocontacto (3)) ubicado entre la nanoestructura (9) longitudinal y una segunda pista de metal (11) conectada a un segundo pad (6)
<-> contacto 2 de la figura 5 con una pista y un pad como los de la figura 3
- Un tercer nanocontacto (4) entre la nanoestructura (9) longitudinal y una tercera pista de metal (12) conectada a un cuarto pad (8)
<-> contacto 2 de la figura 5 con una pista y un pad como los de la figura 3

Por lo tanto la diferencia existente entre el objeto de la reivindicación 1 y la estructura de test descrita en el documento D01 es que en el documento D01 solo hay tres pads no habiendo ningún elemento que se corresponda de forma exacta con el pad (7) de la reivindicación 1.

No obstante no parece que la disposición de un pad (7) del otro lado de la nanoestructura (9) se corresponda a la resolución de ningún problema técnico.

En efecto, al estar el segundo pad (6) y el tercer pad (7) conectados mediante una pista (11), desde el punto de vista de su funcionamiento eléctrico, se comportan en realidad como un único pad en el que la tensión es la misma que en el punto de contacto 3 que es el punto de interés para la realización de las medidas eléctricas.

Por lo tanto, desde el punto de vista del funcionamiento eléctrico del dispositivo, el que haya un único pad o dos pads uno de cada lado del nanohilo parece una mera opción de diseño que puede que obedezca a motivos prácticos de facilidad de conexión pero que en cualquier caso hubiera resultado obvia para el experto en la materia.

Por lo tanto, la reivindicación independiente 1 no tiene actividad inventiva de acuerdo con el artículo 8 de la Ley de Patentes 11/1986.

REIVINDICACIÓN 2

El método de medida objeto de la reivindicación 2 es idéntico al método empleado en el documento D01 tal y como se ha expuesto ya al analizar la reivindicación 1.

Por lo tanto la reivindicación 2, que incorpora por referencia un dispositivo según la reivindicación 1 que carece de actividad, al no tener ninguna característica técnica nueva, carece a su vez de actividad inventiva.