



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



① Número de publicación: **2 224 890**

② Número de solicitud: 200401422

⑤ Int. Cl.⁷: **G01N 13/16**
G01B 7/34

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **01.06.2004**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **01.03.2005**

⑬ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
01.03.2005

⑦ Solicitante/s: **Universitat Autònoma de Barcelona**
Àrea I+D-Edifici A-Campus Universitari s/n
08193 Bellaterra, Barcelona, ES

⑦ Inventor/es: **Blasco Jiménez, Francisco Javier;**
Nafria Maqueda, Montserrat y
Aymerich Humet, Francisco Javier

⑦ Agente: **No consta**

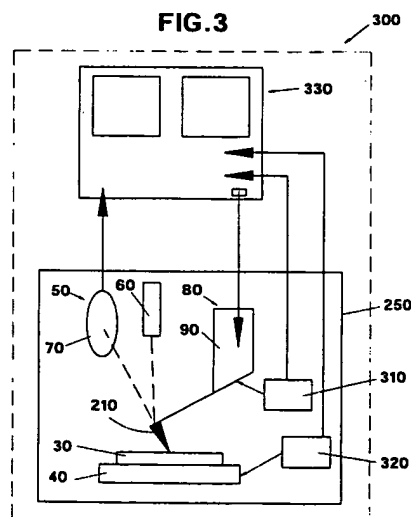
④ Título: **Instrumento de caracterización eléctrica a escala nanométrica.**

⑤ Resumen:

Instrumento de caracterización eléctrica a escala nanométrica.

Comprende un microscopio de fuerzas atómicas (AFM) que incluye un dispositivo de barrido, al menos una punta, un soporte para la muestra, y medios de generación de tensión y medición de corriente, y/o generación de corriente y medición de tensión con rango dinámico de medida variable y auto seleccionable, que se conectan a la punta del AFM y/o al soporte de la muestra, los cuales comprenden al menos una unidad de fuente-medida (SMU). Varias SMU pueden formar parte de un instrumento analizador de parámetros de semiconductores (SPA), y el AFM puede ser un microscopio de fuerzas atómicas con punta conductora (CAFM). Se disponen medios de medición simultánea y sincronizada de las propiedades topográficas y eléctricas de la muestra.

Se amplían los órdenes de magnitud de medida de la corriente y se obtiene una elevada flexibilidad en la definición de los ensayos eléctricos, manteniendo la resolución nanométrica en medidas topográficas y eléctricas.



ES 2 224 890 A1

DESCRIPCIÓN

Instrumento de caracterización eléctrica a escala nanométrica.

La presente invención se refiere a un instrumento de caracterización topográfica y eléctrica a escala nanométrica cuya particular configuración permite conseguir unas prestaciones notablemente superiores respecto a las de los instrumentos que se venían utilizando hasta ahora.

El instrumento de caracterización de la invención comprende esencialmente un microscopio de fuerzas atómicas (en lo sucesivo, AFM). Un AFM se basa en la medida de la fuerza entre una punta de tamaño nanométrico que actúa como sonda y la superficie de la muestra a analizar. La citada punta barre la superficie de la muestra y se detecta la variación de la fuerza entre la punta y la muestra. Los sucesivos cambios de la fuerza punta-muestra en la región barrida son utilizados por una unidad de control para generar una imagen topográfica de la muestra.

Posteriormente, han aparecido diversas técnicas basadas en el AFM que permiten la medida simultánea a la topografía de alguna otra magnitud, como, por ejemplo, el microscopio de fuerzas atómicas de punta conductora (CAFM) ("*Conductive AFM*") que permite obtener imágenes topográficas y eléctricas de la muestra simultáneamente. Un CAFM consiste básicamente en un AFM al cual se le han añadido los elementos necesarios para aplicar una tensión entre la punta (sonda), realizada con un material conductor eléctrico, y la muestra, y medir la corriente que circula por la punta.

Las principales características del microscopio de fuerzas atómicas son la medición de la topografía de la muestra con una resolución lateral de pocos nm y una resolución vertical por debajo del nanómetro, y la posibilidad de funcionamiento en condiciones ambiente. Estas características han permitido que el AFM y técnicas afines como el CAFM se conviertan en una herramienta muy útil en muchos campos de la ciencia y de la técnica, tales como la microelectrónica, ciencias de la salud, ciencias de los materiales, química, o biología, entre otras.

Sin embargo, uno de los inconvenientes que presenta el CAFM es que, para determinadas aplicaciones, sus prestaciones eléctricas no son suficientes. A modo de ejemplo, la medida de la corriente eléctrica que atraviesa localmente el óxido de puerta ultra delgado de estructuras metal-óxido-semiconductor (propias de tecnologías microelectrónica:) cuando se le aplica una tensión. La corriente que pasa a través del óxido de puerta cuando está polarizado produce una degradación de sus propiedades eléctricas, provocando grandes variaciones de corriente. Además, bajo ciertas condiciones la capa de óxido de puerta pierde sus propiedades aislantes. Tras producirse este fenómeno, conocido como ruptura dieléctrica, la corriente puede ser varios órdenes de magnitud mayor que antes. Por lo tanto, las configuraciones estándar del CAFM, con un rango dinámico de medida de corriente que típicamente es de tres órdenes de magnitud (de fA a pA, de pA a nA o de nA a μ A, dependiendo del equipo de medición) no puede adquirir toda la evolución de la corriente en una única medida.

Otra limitación del CAFM (y complementaria a la citada anteriormente) es la baja flexibilidad en la definición de los ensayos eléctricos. La mayoría de

los CAFM solamente permiten aplicar una rampa de tensión (para medir curvas corriente-tensión). Aunque pueden obtenerse importantes parámetros eléctricos de este tipo de mediciones, para otros parámetros relevantes son necesarios otro tipo de ensayos.

La presente invención propone un instrumento de caracterización eléctrica a escala nanométrica, en lo sucesivo, *ECAFM*, con el cual se consiguen superar las limitaciones citadas anteriormente con relación al estado de la técnica.

El instrumento de caracterización eléctrica de la invención incluye un microscopio de fuerzas atómicas (AFM) el cual incorpora un dispositivo de barrido, por lo menos una punta y un soporte para la muestra a analizar.

De acuerdo con la invención, se disponen también medios para la generación de tensión y medición de corriente, y/o para la generación de corriente y medición de tensión conectados a la citada punta del AFM (ahora conductora) y al soporte de dicha muestra.

En particular, los medios citados anteriormente comprenden una o varias unidades de fuente-medida (SMU, "*Source Monitor Unit*"). Una SMU es capaz de generar tensión y medir corriente, o generar corriente y medir tensión. El elemento de medida dispone de un rango dinámico variable y auto seleccionable. En la invención, por lo menos una las citadas SMU se conecta a la punta del AFM y la otra al soporte de la muestra.

En caso de utilizar únicamente una SMU, ésta puede conectarse a la punta, mientras que a la muestra (o al soporte de la muestra) se le aplica una tensión cualquiera. Alternativamente, la SMU puede conectarse a la muestra (o al soporte de la muestra), mientras que a la punta se le aplica una tensión cualquiera.

En caso de utilizar dos o más SMU, una de dichas unidades se conecta a la citada punta del AFM y la otra de dichas unidades se conecta a la muestra (o al soporte de la muestra).

Las principales ventajas de la invención son la obtención de un rango dinámico en la medida de la corriente que es de varios órdenes de magnitud superior; la posibilidad de nuevos ensayos eléctricos; y una mayor flexibilidad en la definición de los ensayos eléctricos. En otras palabras, con la configuración descrita es posible ampliar ventajosamente los intervalos u órdenes de magnitud de medida de corriente, a la vez que se obtiene una elevada flexibilidad en la definición de los ensayos eléctricos, manteniendo la resolución nanométrica tanto en las medidas topográficas como eléctricas. Por lo tanto, la invención proporciona una solución eficaz para las limitaciones descritas anteriormente con relación al estado de la técnica.

Las características y las ventajas del instrumento de caracterización eléctrica a escala nanométrica (*ECAFM*) objeto de la presente invención resultarán más claras a partir de la descripción detallada de una realización preferida. Dicha descripción se dará, de aquí en adelante, a modo de ejemplo no limitativo, con referencia a los dibujos.

En dichos dibujos:

La figura nº 1 es una vista esquemática que ilustra la configuración convencional de un AFM antes de las modificaciones para convertirlo en el instrumento de caracterización eléctrica objeto de la invención, *ECAFM*;

La figura nº 2 es una vista esquemática que ilustra

la configuración de un CAFM;

La figura nº 3 es una vista esquemática que ilustra la configuración de una realización de un instrumento de caracterización eléctrica de acuerdo con la invención, *ECAFM*;

La figura nº 4 es una vista esquemática que ilustra la configuración de una realización alternativa del instrumento de la invención en la cual se disponen varias Unidades de Fuente Medida SMU formando parte de un analizador de parámetros de semiconductores (SPA), ilustrándose el control de las SMU y de la gestión de los datos adquiridos por dichas SMU, de acuerdo con la invención; y

La figura nº 5 es un ejemplo de medida realizado con el instrumento de la invención (*ECAFM*).

De acuerdo con la figura nº 1 de los dibujos, se ha ilustrado un microscopio de fuerzas atómicas (AFM) designado en conjunto por (10), el cual comprende típicamente una sonda o punta (20) que barre la superficie de una muestra (30) dispuesta sobre un soporte (40). El AFM (10) incluye un medio de atenuación de las vibraciones a las que puede estar sometido el AFM (10), así como un medio de detección (50) de la fuerza entre la punta (20) y la muestra (30). Dicho medio de detección (50) comprende, en la ilustración mostrada, un láser (60) y un fotodiodo (70). Se dispone también un medio de movimiento relativo tridimensional (80) entre la punta (20) y la muestra (30). Dicho medio de movimiento relativo tridimensional (80) comprende, en la ilustración mostrada, un actuador piezoeléctrico (90) y una electrónica de control para la gestión del mismo. Se dispone también una unidad de control (100) que comprende una electrónica de control (110) y un ordenador (120), así como el software específico para el control del AFM (10).

La punta (20) del AFM (10) barre la superficie de la muestra (30). La variación de la fuerza entre la punta (20) y la muestra (30) se detecta mediante el láser (60) que se focaliza en la punta (20) y se refleja en el fotodiodo (70). Un cambio en la fuerza entre la punta (20) y la muestra (30) provoca una deflexión de la punta (20) que cambia el reflejo en el fotodiodo (70) y, por tanto, la potencia óptica que éste recibe. La tensión de salida del fotodiodo (70) depende de la potencia óptica y, por los tanto, de la fuerza entre la punta (20) y la muestra (30). Dicha tensión es utilizada por la unidad de control (100) para acercar o separar la punta (20) a la muestra (30) y generar un patrón de barrido mediante el actuador piezoeléctrico (90) del citado medio de movimiento relativo tridimensional (80). La unidad de control (100) permite al usuario configurar los parámetros de la medida a realizar, así como la representación y procesamiento de las medidas realizadas.

De acuerdo con la figura nº 2 de los dibujos, se muestra una vista esquemática de los elementos comprendidos en una configuración típica de un microscopio de fuerzas atómicas de punta conductora (CAFM), el cual ha sido designado en conjunto por (200). Partiendo de la configuración del AFM (10) mostrada en la figura nº 1, el equipo (CAFM) (200) está equipado, en este caso, con una punta conductora (210) y dispone medios para aplicar tensión entre la punta (210) y la muestra (30). Dichos medios para aplicar tensión entre la punta (210) y la muestra (30) comprenden típicamente una fuente de tensión variable (220), la cual pertenece a la electrónica de control, y medios (230) para medir la corriente que atraviesa

la muestra (30). Dichos medios (230) comprenden típicamente un convertor corriente-tensión conectado a una entrada analógica de la electrónica de control (240). El conjunto punta-muestra y los citados medios (230) de medida de la corriente se sitúan normalmente en el interior de una caja de Faraday (250) para minimizar la contribución del ruido eléctrico en las medidas de corriente. El CAFM (200) puede medir topografía y corriente simultáneamente.

En la figura nº 3 se muestra una vista esquemática que ilustra una realización de un instrumento de caracterización eléctrica (*ECAFM*) de acuerdo con la presente invención, el cual ha sido designado en conjunto por (300). Partiendo de la configuración del AFM (10) anterior descrita con referencia a la figura nº 1 de los dibujos, el *ECAFM* (300) que se ilustra va equipado con una punta conductora (210). La punta conductora (210) se conecta a una unidad fuente-medida (SMU), designada por (310). La muestra (30) se conecta a otra SMU, designada por (320). Las SMU (310, 320) son capaces de generar tensión y medir corriente, o bien de generar corriente y medir tensión. El rango dinámico del elemento de medida es variable y auto seleccionable. Como puede apreciarse, si se parte de la configuración de un CAFM (200) tal como se ha ilustrado en la figura nº 2, las dos SMU (310, 320) substituyen, en la citada configuración del CAFM (200), a los medios (220) necesarios para aplicar una tensión entre la punta (210) y la muestra (30) y a los medios (230) para medir la corriente que atraviesa la muestra (30).

En la realización ilustrada en dicha figura nº 3, las SMU (310, 320) se gestionan desde una aplicación informática de control desarrollada a tal fin. Los valores generados y medidos por las SMU (310, 320) pueden ser controlados y gestionados desde la aplicación informática de control. El *ECAFM* (300) incluye medios (330) para la medida simultánea y sincronizada de las propiedades topográficas y eléctricas de la muestra (30). A través de dichos medios (330) es posible obtener mapas eléctricos y topográficos simultáneamente y de la misma zona de dicha muestra (30). En la realización mostrada se utiliza como parámetro de sincronización la tensión que se aplica al actuador piezoeléctrico (90) para controlar el patrón de barrido.

Como en el caso del CAFM (200) ilustrado en la figura nº 2, el conjunto punta-muestra (210, 30) se sitúa en el interior de una caja de Faraday (250) para minimizar la contribución del ruido eléctrico en las medidas de corriente. En el caso de la realización de la invención ilustrada a modo de ejemplo en la figura nº 3, las SMU (310, 320) pueden situarse dentro o fuera de dicha caja de Faraday (250).

Utilizando una configuración restringida de las SMU (310, 320) se pueden realizar las medidas propias de un CAFM convencional (200). Pueden considerarse las prestaciones y tipos de medidas que permite un CAFM (200) como un caso muy particular dentro de las prestaciones y ensayos que permite el *ECAFM* (300) de la invención.

En la figura nº 4 se muestra otra posible realización del *ECAFM* (300) de la presente invención con una implementación concreta de las SMU y su medio de control y gestión. En esta realización, se disponen varias SMU (310, 320, 340, 350) que forman parte de un instrumento analizador de parámetros de semiconductores (SPA), el cual ha sido designado en conjunto por (400) en dicha figura nº 4. El analizador de pa-

rámetros de semiconductores (400), que comprende dichas SMU (310, 320, 340, 350), puede ser operado manualmente, o desde una aplicación informática en la unidad de control (410) mediante un bus de comunicaciones (420), que en la realización es un bus GPIB.

En la gráfica de la figura nº 5 se ha ilustrado un ejemplo de medida realizado con el instrumento de la invención (*ECAFM* (300)). En dicha gráfica se muestra la corriente que atraviesa una capa de óxido de silicio de 3,5 nm de grosor a través del área de contacto entre la punta (210) y la muestra (30), que es de unos 300 nm cuadrados. Esto se mide a través de una SMU (310) conectada a la punta (210) del *ECAFM* (300) cuando se aplica una tensión linealmente creciente entre la punta (210) del *ECAFM* (300) y la muestra (30). Esta medida se compara con el mismo ensayo realizado mediante *CAFM* (200). En dicha gráfica se puede observar el mayor rango dinámico de medida de corriente obtenido con el *ECAFM* (300) de la presente invención.

Conclusiones

La disposición de un *ECAFM* (300) resultado de la integración en el mismo de un *AFM* (10) y una o más SMU (310, 320, 340, 350) proporciona un instrumento de caracterización eléctrica a escala nanométrica

mejorado respecto a los instrumentos que hasta la fecha se venían utilizando para el mismo fin. Las mediciones realizadas en capas de SiO_2 ultra delgadas que se presentan en esta memoria ilustran algunas de las ventajas mencionadas del *ECAFM* (300) de la invención respecto a otros instrumentos como el *CAFM* (200). A modo de ejemplo, dichas mediciones muestran que el *ECAFM* (300) de la invención es capaz de reproducir los resultados del *CAFM* (200) pero con un margen dinámico para la medición de la corriente mucho mayor y una mayor flexibilidad en la definición de los ensayos eléctricos.

Las prestaciones eléctricas extendidas del *ECAFM* (300) hacen previsible que el citado instrumento pase a convertirse en herramienta muy útil para la comunidad de usuarios que actualmente utiliza el *CAFM* (200).

Descrito suficientemente en qué consiste el instrumento de caracterización eléctrica a escala nanométrica (*ECAFM*) de la presente invención en correspondencia con los dibujos adjuntos, se comprenderá que podrán introducirse en el mismo cualquier modificación de detalle que se estime conveniente, siempre y cuando las características esenciales de la invención resumidas en las siguientes reivindicaciones no sean alteradas.

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Instrumento de caracterización eléctrica a escala nanométrica (300) que comprende un microscopio de fuerzas atómicas (AFM) (10) el cual incluye un dispositivo de barrido (90), por lo menos una punta (210), y un soporte (40) para la muestra (30) a analizar, **caracterizado** en que dicho instrumento (300) incluye, además, medios (310, 320, 340, 350) para la generación de tensión y medición de corriente, y/o para la generación de corriente y medición de tensión, con rango dinámico de medida variable y auto seleccionable, estando conectados dichos medios (310, 320, 340, 350) a la citada punta (210) del AFM (10) y/o a dicho soporte (40) de la muestra (30).

2. Instrumento de caracterización eléctrica (300) según la reivindicación 1, **caracterizado** en que dichos medios para la generación de tensión y medición de corriente, y/o para la generación de corriente y medición de tensión, comprenden por lo menos una unidad de fuente-medida (SMU) (310, 320, 340, 350) conectada a una de las puntas (210) del AFM (10) y/o al soporte (40) de dicha muestra (30).

3. Instrumento de caracterización eléctrica (300)

según la reivindicación 1, **caracterizado** en que dichos medios para la generación de tensión y para la medición de la corriente, y/o para la generación de corriente y medición de la tensión, comprenden por lo menos dos unidades de fuente-medida (SMU) (310, 320, 340, 350), estando conectada como mínimo una de dichas unidades (310) a una de las puntas (310) del AFM (10) y estando conectada la otra de dichas unidades (320) al soporte (40) de dicha muestra (30).

4. Instrumento de caracterización eléctrica (300) según la reivindicación 1, **caracterizado** en que dicho microscopio de fuerzas atómicas es un microscopio de fuerzas atómicas con punta conductora (CAFM) (200).

5. Instrumento de caracterización eléctrica (300) según la reivindicación 2, **caracterizado** en que dichas unidades de fuente-medida (SMU) (310, 320, 340, 350) forman parte de un instrumento analizador de parámetros de semiconductores (SPA) (400).

6. Instrumento de caracterización eléctrica (300) según la reivindicación 1, **caracterizado** en que incluye medios (330) para la medida simultánea y sincronizada de las propiedades topográficas y eléctricas de la muestra (30).

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG.1

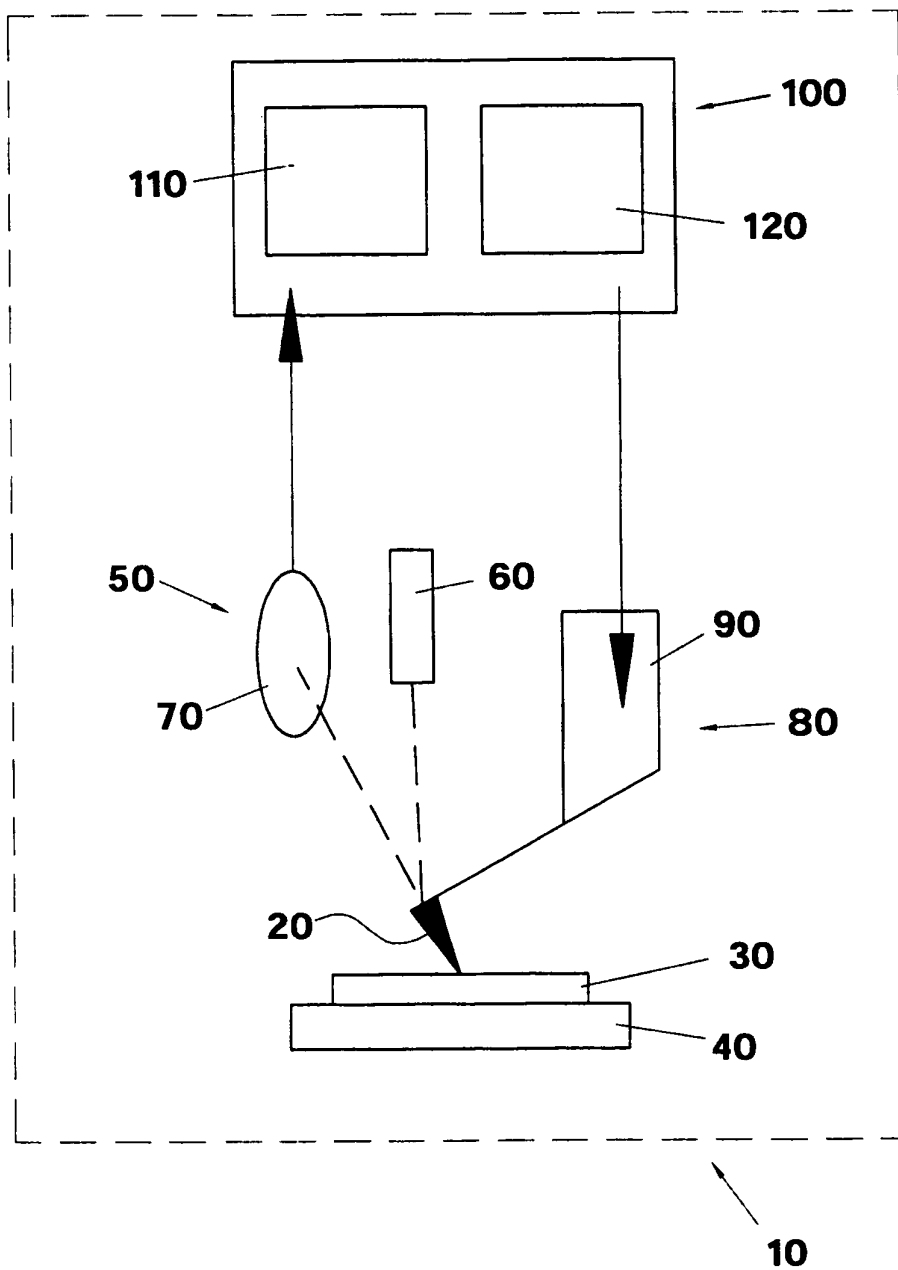


FIG. 2

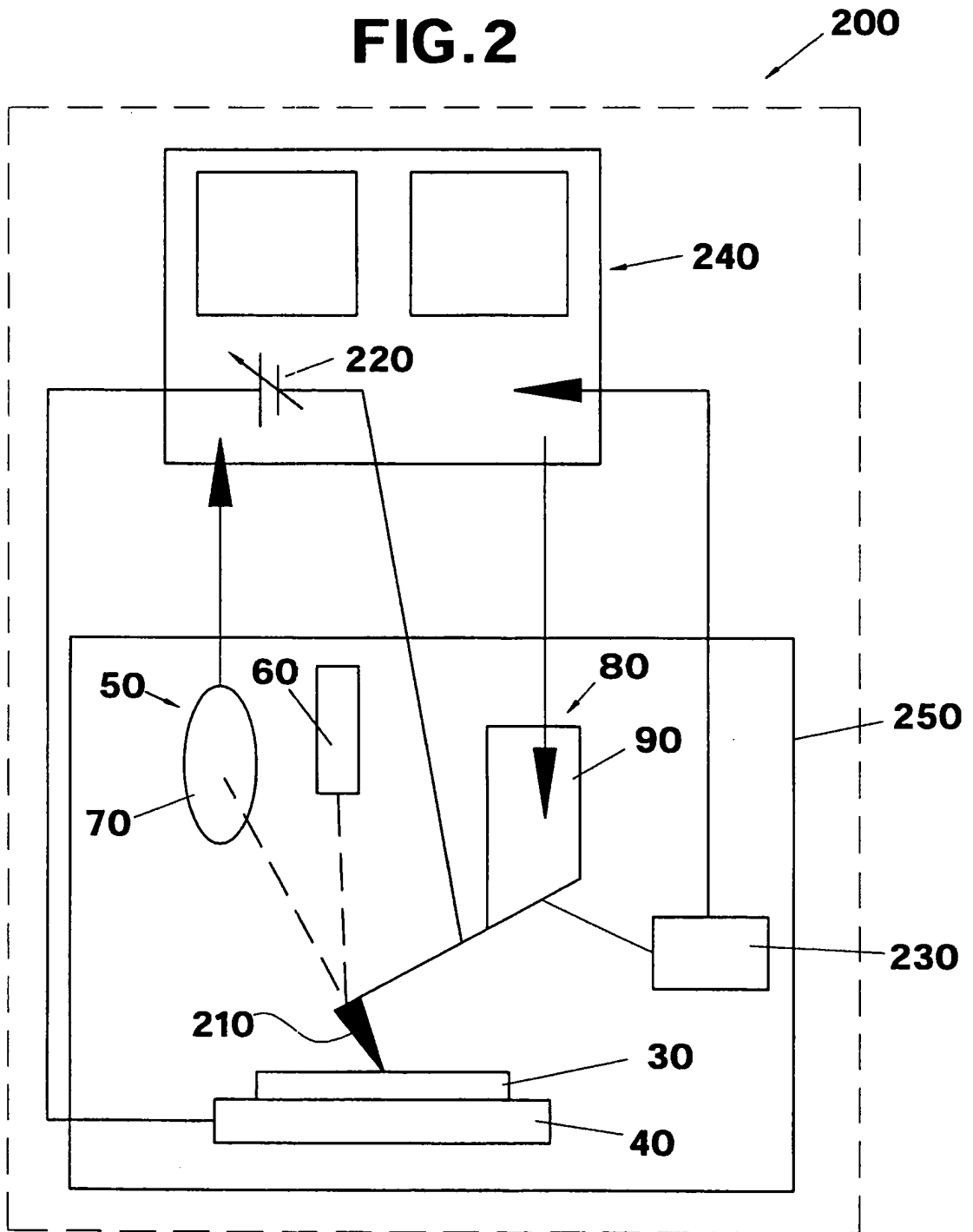


FIG. 3

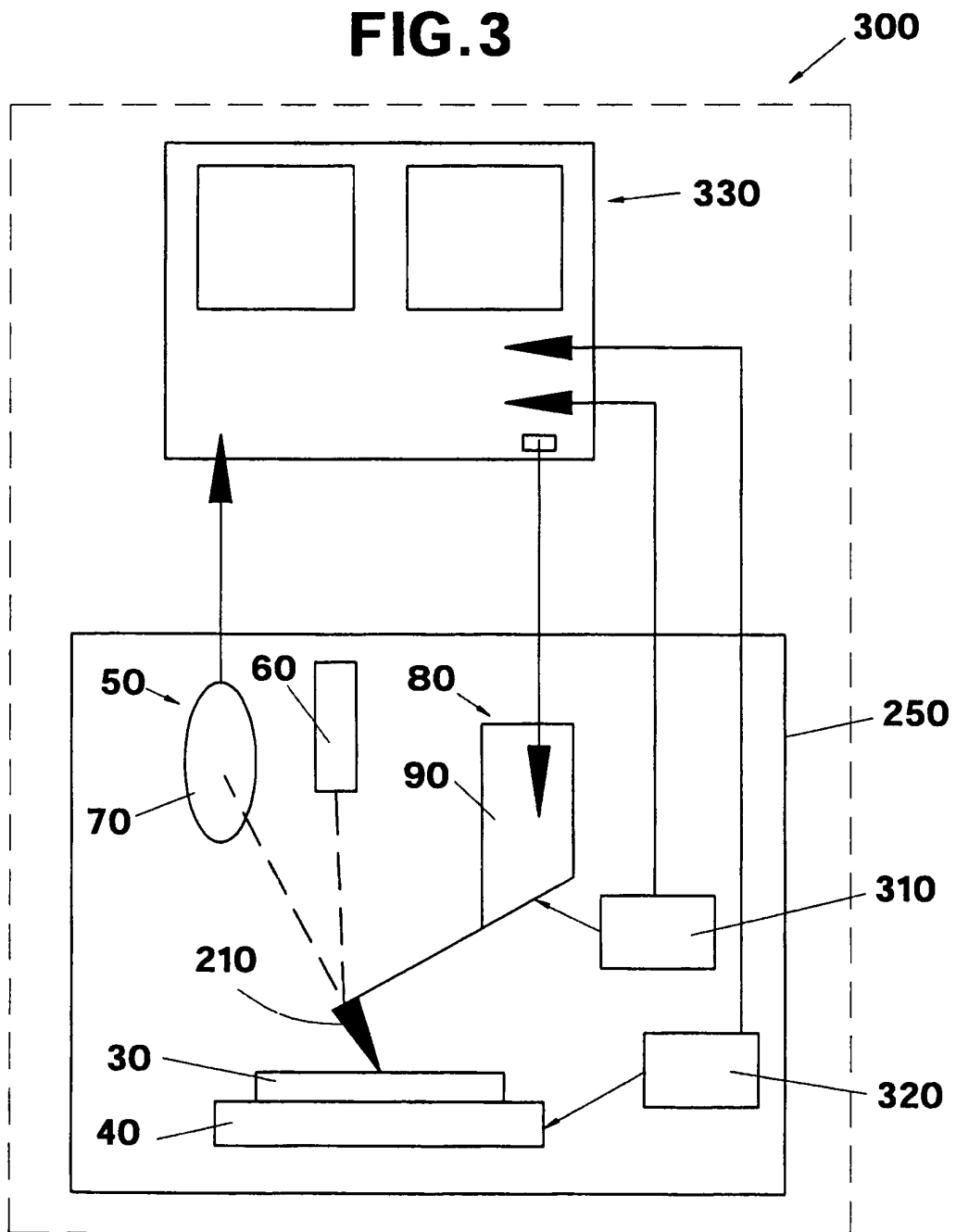


FIG.4

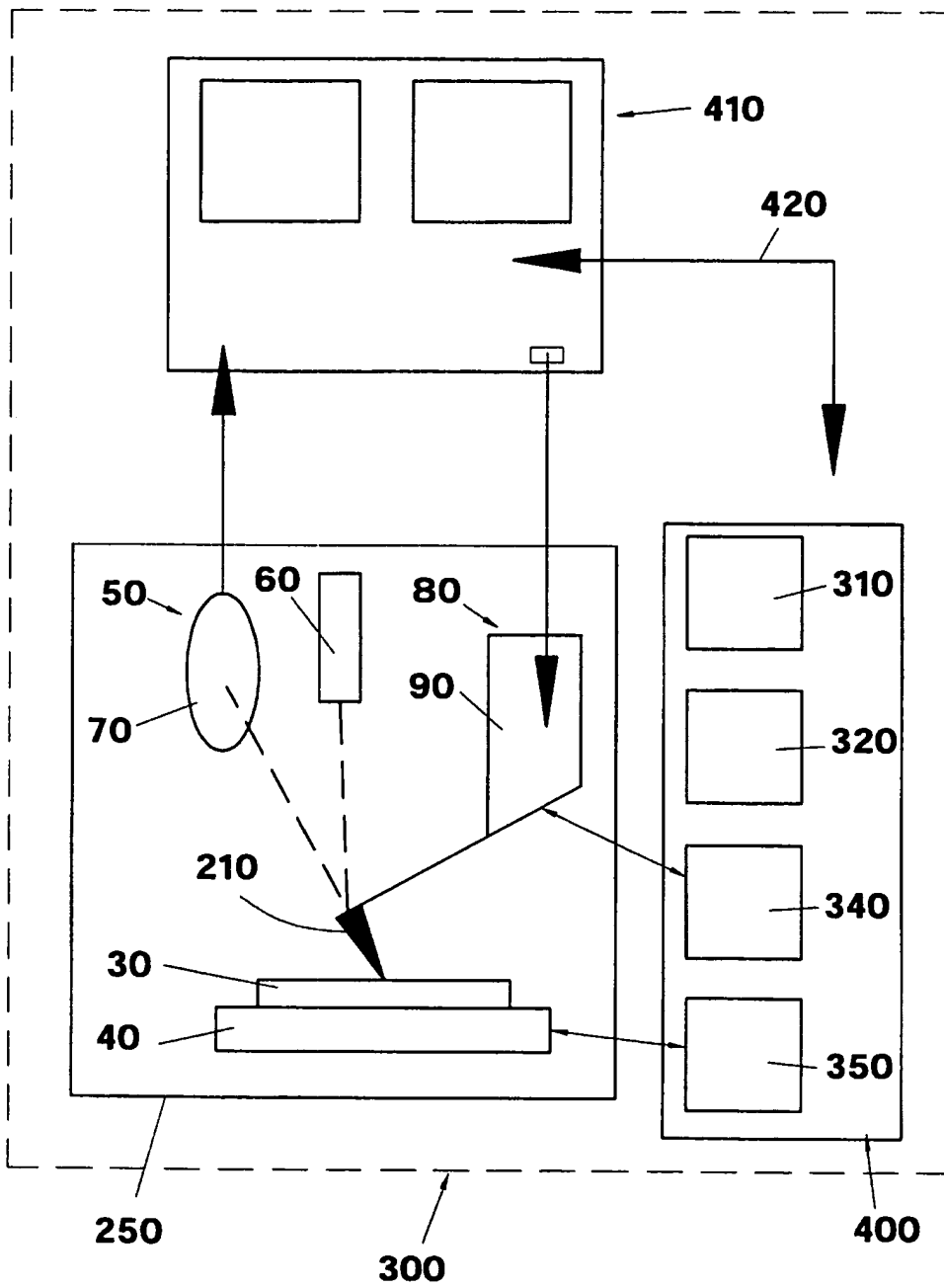
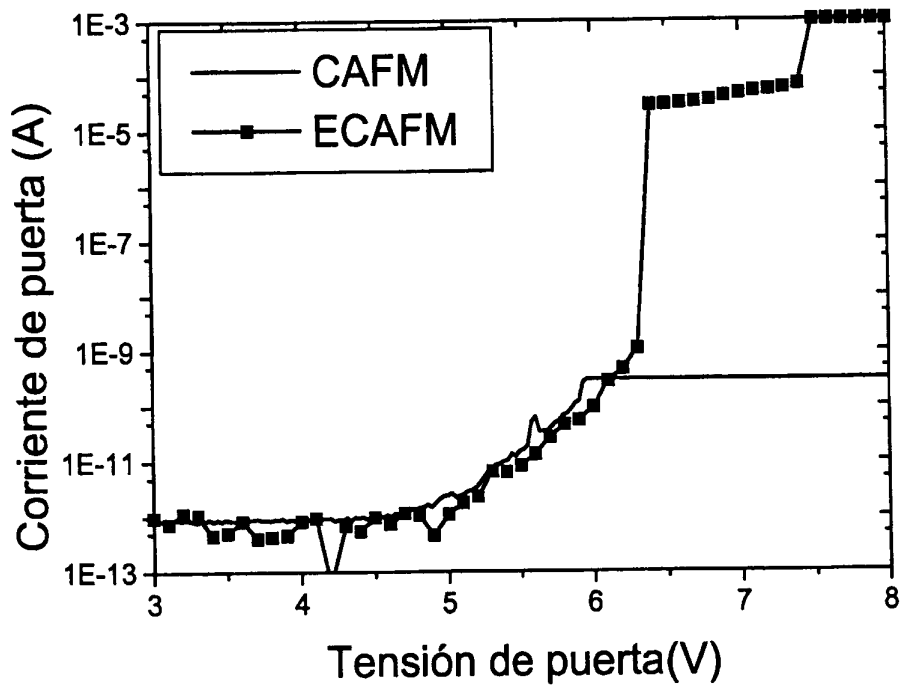


FIG. 5





OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 224 890

⑫ Nº de solicitud: 200401422

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 01.06.2004

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: G01N 13/16, G01B 7/34

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X A	JP 06-258072 A (CANON INC.) 16.09.1994, todo el documento.	1,4,6 2-3,5
A	US 5267471 A (ABRAHAM, D. et al.) 07.12.1993, resumen; columna 3, línea 52 - columna 5, línea 27; figuras 1,2.	1,4,6
A	US 6051825 A (LINDSAY, S. et al.) 18.04.2000, todo el documento.	1,4,6
A	US 5495109 A (LINDSAY, S. et al.) 27.02.1996, resumen; columna 5, líneas 23-41; columna 5, línea 63 - columna 6, línea 6; columna 6, línea 45 - columna 7, línea 24; figuras 5,7,8.	1,4,6

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 27.12.2004	Examinador O. González Peñalba	Página 1/1
--	-----------------------------------	---------------