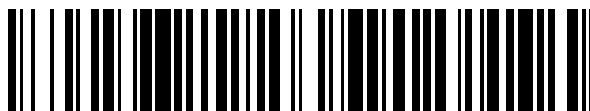


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 752 731**

51 Int. Cl.:

**G21H 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.11.2015 PCT/AU2015/050712**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.05.2016 WO16074044**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2015 E 15859904 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.07.2019 EP 3218906**

54 Título: **Sistema generador eléctrico**

30 Prioridad:

**14.11.2014 AU 2014904588**

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

**06.04.2020**

73 Titular/es:

**KINETIC ENERGY AUSTRALIA PTY LTD (100.0%)  
32 Needham Street  
Figtree Pocket, Queensland 4069, AU**

72 Inventor/es:

**WHITEHEAD, STEVEN**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

ES 2 752 731 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**

Sistema generador eléctrico

**5 CAMPO TÉCNICO**

La presente invención se refiere al campo de la generación eléctrica y, en particular, a la energía eléctrica convertida a partir de la energía de las emisiones radiactivas.

**10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Las células de energía proporcionan una fuente autónoma de energía eléctrica para impulsar una carga externa. Un ejemplo común de una célula de energía eléctrica es una batería electroquímica. Si bien las baterías electroquímicas son efectivas para satisfacer las necesidades de energía durante un período de tiempo a un costo relativamente bajo, el factor limitante es la energía disponible definida por el tipo de material y el peso. Debido al limitado almacenamiento de energía y la densidad energética de las baterías electroquímicas con respecto a su masa, se han realizado varios intentos de producir células de energía alternativas, como las baterías alimentadas por isótopos radiactivos debido a los límites teóricos más altos de la densidad de energía.

Existen varios tipos diferentes de baterías alimentadas por radioisótopos. Una vez que ese tipo es un generador de radio térmica (RTG) que utiliza el calor producido durante la descomposición del material radiactivo para producir energía eléctrica. Estos dispositivos tienen una baja eficiencia de conversión de la energía térmica en energía eléctrica. En consecuencia, los RTG generalmente se usan con radioisótopos de muy alta energía para producir una fuente de energía eléctrica y generalmente requieren un blindaje sustancial. Además, la salida de energía eléctrica es baja.

Otro tipo de batería alimentada por radioisótopos es un dispositivo de conversión indirecta que utiliza un radioisótopo, material luminiscente y una célula fotovoltaica. Las partículas de descomposición emitidas por el radioisótopo excitan el material luminiscente. La luz emitida por el material luminiscente es absorbida por las células fotovoltaicas para generar electricidad. Este tipo de batería generalmente tiene una baja eficiencia debido a la conversión de dos etapas y una vida útil relativamente corta porque el material luminiscente se daña por las emisiones.

Otro ejemplo de una batería alimentada por radioisótopos es un dispositivo de conversión directa que utiliza un radioisótopo y material semiconductor. Los semiconductores convencionales son de uso limitado en esta aplicación, ya que sufren daños por radiación colateral de los productos de desintegración de radioisótopos. En particular, las partículas beta incidentes de alta energía crean defectos en el semiconductor que dispersan y atrapan los portadores de carga generados. El daño se acumula y con el tiempo reduce el rendimiento de la batería.

El documento US 5.260.621 describe una batería nuclear de estado sólido que comprende una fuente de radiación de energía relativamente alta, con generación de calor concomitante, y un semiconductor cristalino a granel como AlGaAs, que se caracteriza por la generación de defectos en respuesta al radioisótopo. El material se elige de modo que el daño por radiación se repare recociendo a la temperatura de funcionamiento elevada de la batería. Este dispositivo tiene una baja eficiencia, lo que requiere el uso de una fuente de radiación de alta energía y también requiere temperaturas de funcionamiento elevadas para funcionar.

El documento US 5859484 enseña una batería de semiconductores alimentados por radioisótopos de estado sólido que comprende un sustrato de material semiconductor cristalino como GaInAsP. Esta batería utiliza preferentemente un radioisótopo que emite solo partículas de baja energía para minimizar la degradación del material semiconductor para maximizar la vida útil. El efecto de usar una fuente de radiación de energía más baja es una potencia de salida máxima más baja.

Otro dispositivo de este tipo se describe en el documento US 6479919, que describe una célula beta que incorpora compuestos de boruro icosaédrico, por ejemplo  $B_{12}P_2$  o  $B_{12}As_2$ , una fuente de radiación beta y un medio para transmitir energía eléctrica a una carga exterior. La fabricación de arseniuro de boro y fosfuro de boro es costosa, lo que aumenta el costo de producción de este tipo de dispositivos. Además, la producción de tales dispositivos ha aumentado los riesgos para la salud, la seguridad y el medio ambiente asociados con el manejo de los materiales de arseniuro y fosfuro.

Las células alimentadas por radiación también se pueden encontrar en los documentos US 2.847.585 y WO 2016/074044.

En resumen, los problemas con las células alimentadas por radioisótopos actualmente disponibles incluyen la ineficiencia de la conversión de la energía emitida en energía eléctrica, el daño por radiación que afecta los materiales

del dispositivo, los requisitos de blindaje para las fuentes nucleares de alta energía y el material semiconductor que está sujeto a degradación.

Es un objetivo de la presente invención proporcionar una célula de energía de radioisótopos que exhiba un equilibrio  
5 mejorado entre durabilidad y potencia de salida.

### RESUMEN DE LA INVENCION

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un sistema generador eléctrico que incluye: un material de  
10 radionucleido; electrodos de metal; y contactos eléctricos conectados a dichos electrodos, dichos contactos eléctricos  
están adaptados para facilitar el flujo de energía eléctrica cuando están conectados a una carga; caracterizado porque  
el sistema incluye además una capa delgada de óxido de zinc que tiene un espesor entre 150-1500 nm, estando dicha  
capa delgada de óxido de zinc en contacto directo con al menos uno de los electrodos y formando una unión de metal-  
15 semiconductor entre ellos; y porque las emisiones radiactivas recibidas de dicho material de radionucleidos se  
convierten en energía eléctrica en dicha unión de metal-semiconductor.

Los inventores descubrieron que el uso de óxido de zinc tenía resultados sorprendentes. Si bien el óxido de zinc es  
un semiconductor intrínseco de tipo n, tiene aplicaciones comerciales limitadas o nulas como material semiconductor  
debido a la falta de materiales ZnO de tipo p dopados estables. En consecuencia, se considera una mala elección de  
20 material semiconductor para formar uniones pn, que ha sido la dirección principal para estructurar células alimentadas  
por radioisótopos.

Se ha descubierto que las opciones tradicionalmente aceptadas de materiales semiconductores, como GaAs, GaInAs;  
o Si, Si-C; o CdTe; etc., se degradan estructuralmente cuando se exponen a altos niveles de radiación.

25 El inventor descubrió que el óxido de zinc, cuando se emplea con un espesor apropiado, podría soportar altos niveles  
de radiación y podría, cuando se utiliza como parte de una unión de metal-semiconductor (en oposición a una unión  
pn), proporcionar una salida de generación eléctrica favorable.

### 30 BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

Las realizaciones de la presente invención se describirán ahora con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es un gráfico que muestra la variación en la corriente generada con la variación en el espesor del óxido de  
35 zinc en pruebas con un voltaje aplicado de 3V;

La figura 2 es un gráfico que muestra la variación en la corriente generada con la variación en el espesor del óxido de  
zinc con diferentes materiales de electrodo y configuraciones en pruebas con un voltaje aplicado de 3V;

40 La figura 3 es un gráfico que muestra la variación de la corriente generada contra el voltaje aplicado con una distancia  
variable del radionucleido desde la capa de óxido de zinc;

La figura 4 es una vista esquemática de una primera realización de un dispositivo de fuente de alimentación;

45 La figura 5 es un esquema de una realización alternativa de un dispositivo de fuente de alimentación;

La figura 6 es un esquema de una realización alternativa de un dispositivo de fuente de alimentación;

### DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

50 La presente invención se describirá principalmente con referencia a ejemplos ilustrativos particulares. Se entenderá  
que los principios de la presente invención pueden implementarse usando variaciones de características en las  
implementaciones particulares ilustradas y descritas. Los ejemplos deben considerarse como ilustrativos y no  
limitativos de los amplios conceptos inventivos descritos en esta invención.

55 Una implementación de la presente invención es un sistema de generación eléctrica que emplea un material  
semiconductor de tipo n que tiene electrodos metálicos en contacto con el material semiconductor, y expone la  
disposición a la radiación de un material de radionucleido. Las emisiones radiactivas se convierten en energía eléctrica  
en la unión metal-semiconductor formada entre los electrodos y el material semiconductor. Para el flujo de energía  
60 eléctrica generada, es importante que haya una diferencia potencial entre los electrodos. Por lo tanto, debe haber una  
diferencia significativa en el área de contacto de metal a semiconductor entre los electrodos para que se cree una  
mayor generación de carga en un electrodo en comparación con el otro. El electrodo que tiene una mayor acumulación

de carga se convierte efectivamente en el terminal negativo y el otro electrodo se convierte en el terminal positivo.

Para maximizar la generación eléctrica en una célula de energía de radioisótopos, es deseable usar una fuente de radiación de nivel de energía relativamente alto y una alta densidad de actividad. Sin embargo, la mayoría de los materiales semiconductores no pueden soportar niveles de energía tan altos y se degradan estructuralmente con la exposición.

El óxido de zinc es un semiconductor de tipo n, pero se descarta en el campo como un material semiconductor muy pobre. Sin embargo, el presente inventor ha descubierto que el óxido de zinc demuestra una capacidad para soportar niveles de radiación de energía relativamente altos y una alta densidad de actividad.

Desafortunadamente, las pruebas iniciales que emplearon óxido de zinc en el sistema de generación eléctrica propuesto dieron los resultados decepcionantes predichos por la opinión aceptada en el campo, que era que el ZnO es un material semiconductor pobre. A pesar de la capacidad de soportar altos niveles de radiación, la salida eléctrica generada fue insignificante.

Sin embargo, cuando se realizaron pruebas para variar el espesor del óxido de zinc empleado en el sistema de generación eléctrica propuesto, se encontraron resultados sorprendentemente favorables cuando el óxido de zinc se proporcionó en forma de una capa o película suficientemente delgada. Para los objetivos de la presente descripción y reivindicaciones, "delgado" significa menos de aproximadamente 15  $\mu\text{m}$ , y preferentemente menos de 10  $\mu\text{m}$ .

La figura 1 es un gráfico que muestra la variación en la corriente generada con la variación en el espesor del óxido de zinc en pruebas con un voltaje aplicado de 3V. En esta prueba, la corriente óptima fue a 1000 nm.

En experimentos prácticos, se formó una película delgada de óxido de zinc sobre un sustrato, mediante pulverización catódica de magnetrón por rf o deposición electroquímica de vapor, que tenía una superficie de 5 cm x 5 cm. El sustrato consistía en una primera capa de vidrio. A este respecto, el zafiro y el cuarzo también se consideran adecuados para esta primera capa. El sustrato consistió además en una capa de un material de óxido de metal dopado, que formó la superficie sobre la cual se depositó el óxido de zinc.

Esta capa de un material de óxido de metal dopado permitió que se formara el electrodo positivo más pequeño, separando así el electrodo positivo del óxido de zinc pero proporcionando una ruta de corriente debido a las propiedades semiconductoras del óxido de metal dopado. Los materiales de óxido de metal dopado adecuados incluyen, pero no se limitan a, óxido de estaño dopado con flúor y óxido de indio dopado con estaño.

Se comprobó la idoneidad de varios materiales metálicos como electrodos, a saber, oro, cobre, aluminio y plata. Además, se examinaron diferentes configuraciones de electrodos, una primera mediante la cual el electrodo cubría una superficie completa de la capa de óxido de zinc y una segunda mediante la cual se utilizó una formación de rejilla en forma de peine o dedo en la superficie de óxido de zinc. El espesor general del material de electrodo metálico estaba en el intervalo de 100-1000 nm, y preferentemente 150 nm.

El oro y el cobre se depositaron utilizando técnicas de pulverización catódica, mientras que el aluminio y la plata se depositaron utilizando técnicas de evaporación térmica.

Las diferentes muestras fueron expuestas a Sr-90. Los resultados encontrados que el oro, el aluminio y la plata producían curvas de voltaje de corriente lineales y simétricas en la unión metal-semiconductor, lo que sugiere un grado deseable de contacto óhmico entre estos metales y el óxido de zinc.

El cobre produjo resultados no lineales y asimétricos, indicativos de una barrera de Schottky, lo que sugiere que no es adecuado para los fines actuales.

Con respecto a las diferentes configuraciones, se observó una diferencia insignificante en los resultados. Esto sugiere que la configuración de rejilla tipo peine, que usa menos metal, es una opción viable. Se apreciará que se contemplan otras geometrías y configuraciones dentro del alcance de la presente invención.

De forma similar, se entenderá que la presente invención podría implementarse con diferentes metales, incluidas aleaciones, en la unión metal-semiconductor.

Se realizaron pruebas con diferentes espesores de la capa de óxido de zinc entre 150 nm y 1500 nm.

Los resultados sorprendentes encontrados que a medida que el espesor aumentaba de 150 nm, la salida eléctrica generada también aumentaba hasta un espesor óptimo, después de lo cual, el aumento del espesor causaba una

reducción en la salida eléctrica generada. Más allá de aproximadamente 1500 nm, la salida se volvió demasiado baja para fines prácticos. En consecuencia, las pruebas sugirieron un intervalo de espesor ideal para el óxido de zinc entre 150 nm y 1500 nm. El espesor óptimo variaba dependiendo de la selección de materiales.

- 5 El espesor óptimo variaba dependiendo de la selección de materiales. La figura 2 ilustra la variación en la corriente con espesor a una fuente de voltaje y radiación constante, pero con diferentes materiales y espesores de material. El material incluía plata en una configuración de electrodo de dedo; plata en electrodo completo; aluminio en una configuración de electrodo de dedo; aluminio en cobertura total; y oro en cobertura total.
- 10 En ciertas pruebas, el espesor óptimo era de 1000 nm, mientras que en otras pruebas el espesor óptimo era de 1250 nm, véanse las figuras 1 y 2. Sin embargo, el intervalo útil general de espesores se mantuvo razonablemente constante. Se espera que el espesor óptimo también pueda variar, dentro del intervalo, dependiendo de la elección del material de radionucleido.
- 15 Los materiales emisores beta alternativos que podrían usarse en implementaciones de la presente invención incluyen Pm-147, Ni-63 y Tritio, o cualquier otro material emisor beta adecuado. La presente invención es, en principio, capaz de usar otros tipos de material radiactivo, por ejemplo, fuentes de rayos X, fuentes gamma o cualquier otro material adecuado. Los radionucleidos pueden estar en cualquier forma química adecuada, y el material podría ser, en principio, una mezcla de diferentes radionucleidos o con otros materiales.
- 20 También se realizaron pruebas para variar la distancia y el ángulo de incidencia del material Sr-90 a la capa de óxido de zinc, que varía entre 2 mm y 350 mm, como se muestra en la figura 3. La figura 3 es un gráfico que muestra la variación de la corriente generada contra el voltaje aplicado, con distancias variables del radionucleido desde la capa de óxido de zinc.
- 25 Como era de esperar, la mejor salida se produjo a la distancia más pequeña y la producción disminuyó a medida que aumentaba la distancia. Sin embargo, todavía hubo una salida apreciable en todo el intervalo probado, particularmente hasta aproximadamente 300 mm y un ángulo de  $<45^\circ$ . Dadas las dimensiones de espesor del generador, este es un gran espacio y sugirió que una serie de disposiciones del generador podrían organizarse en una estructura en capas con el mismo material de radionucleidos, aumentando así la capacidad de salida eléctrica de una sola fuente de radionucleidos.
- 30

Ahora se describirán ejemplos de dispositivos de fuente de alimentación que emplean el sistema generador eléctrico.

- 35 En la figura 4 se muestra un dispositivo básico de "capa única" 10. Como se muestra, el dispositivo 10 incluye un alojamiento 12, dentro del cual en su centro hay una capa de un radionucleido sellado 14, por ejemplo, Sr-90, Pm-147, Ni-63 o H-3. El alojamiento 12 puede estar formado por diversos materiales adecuados, como aluminio, acero, etc., y encierra una atmósfera de aire 28. El sello 16 puede ser aluminio, plástico, Mylar, otra aleación de metal adecuada o material similar con bajo Z (Z es el peso atómico). A cada lado del radionucleido 14 hay sustratos 18 (por ejemplo, sustratos de vidrio) que tienen una capa de óxido de indio dopado con estaño 20 y una fina capa de óxido de zinc 22 formada a continuación. Una alternativa al óxido de indio dopado con estaño puede ser el fluoruro de indio y estaño. El electrodo negativo principal 24 se forma en la otra superficie del óxido de zinc 22 y el electrodo positivo más pequeño 26 se forma en una superficie del óxido de indio 20 dopado con estaño. Los cables conductores 30 están conectados a ambos electrodos 24, 26 y conducen al exterior del alojamiento 12 para la conexión a una carga.
- 40
- 45 En la figura 5 se muestra un dispositivo 110 de "doble capa". Cada lado del radionucleido central 114 tiene una disposición de dos capas de óxido de zinc 122, cada una con los electrodos correspondientes 124, 126, capas de óxido de metal dopado 120 y separadas por un sustrato aislante 132.
- 50 En la figura 6 se muestra un dispositivo 210 de "triple capa", en el que las capas de sustrato y ZnO están dispuestas en una disposición de sándwich. De manera similar a los otros ejemplos, un radionucleido 214 sellado central tiene una disposición de 3 capas de sustrato 232 a cada lado, con capas de ZnO 222, capas de óxido de metal dopado 220 y electrodos 224, 226.
- 55 Como se apreciará, es posible seguir aumentando el número de capas y, como consecuencia, aumentar la producción eléctrica generada. El límite de cuántas capas se pueden emplear está dictado por qué tan lejos del material de radionucleidos se encuentra la capa más alejada.
- 60 Se apreciará que se pueden usar estructuras con más de una capa de radionucleido, con múltiples estructuras de sándwich agregadas para proporcionar un nivel de potencia deseado. También se entenderá que aunque la estructura descrita es generalmente de forma cuadrada, la estructura podría ser de cualquier forma deseada, y podría curvarse en una implementación adecuada, suponiendo que se puedan mantener los espacios apropiados.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema generador eléctrico (10, 110, 210) que incluye:
- 5 un material de radionucleido (14,114,214);
- electrodos metálicos (24, 26,124,126, 224, 226); y
- 10 contactos eléctricos conectados a dichos electrodos (24, 26,124,126, 224, 226), dichos contactos eléctricos están adaptados para facilitar el flujo de energía eléctrica cuando están conectados a una carga;
- caracterizado porque** el sistema incluye además una capa delgada de óxido de zinc (22,122, 222) que tiene un espesor entre 150-1500 nm, estando dicha capa delgada de óxido de zinc en contacto directo con al menos uno de
- 15 los electrodos (24, 26,124,126, 224, 226) y formando una unión de metal-semiconductor entre ellos y **porque** las emisiones radiactivas recibidas de dicho material de radionucleidos se convierten en energía eléctrica en dicha unión de metal-semiconductor.
2. El sistema generador eléctrico (10,110, 210) de la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicha capa de óxido de zinc (22,122, 222) se forma sobre un material de sustrato (18,132, 232).
3. El sistema generador eléctrico (10,110, 210) de la reivindicación 2, **caracterizado porque** dicho material de sustrato (18,132, 232) se selecciona de entre vidrio, zafiro o cuarzo.
- 25 4. El sistema generador eléctrico (10,110, 210) según la reivindicación 2 o la reivindicación 3, **caracterizado porque** una capa de un material de óxido de metal dopado (20,120, 220) está dispuesta entre la capa de óxido de zinc (22,122, 222) y el sustrato (18,132, 232).
5. El sistema generador eléctrico (10,110, 210) según la reivindicación 4, **caracterizado porque** uno de
- 30 dichos electrodos metálicos (24, 26,124,126, 224, 226) está dispuesto en contacto directo con dicho material de óxido de metal dopado (20,120, 220).
6. El sistema generador eléctrico (10,110, 210) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** dicha delgada capa de óxido de zinc (22,122, 222) está formada por un procedimiento de
- 35 pulverización catódica de magnetrón por RF.
7. El sistema generador eléctrico (10,110,210) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** dichos electrodos metálicos (24, 26,124,126, 224, 226) están formados de oro, plata o aluminio.
- 40 8. El sistema generador eléctrico (10,110, 210) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** dichos electrodos metálicos (24, 26,124,126, 224, 226) se depositan sobre dicho óxido de zinc (22,122, 222) mediante un procedimiento de pulverización catódica o deposición electroquímica de vapor.
9. El sistema generador eléctrico (10,110,210) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
- 45 **caracterizado porque** dicho material de radionucleido (14,114, 214) está encerrado en un material de sellado (16).
10. El sistema generador eléctrico (10,110, 210) según la reivindicación 9, **caracterizado porque** dicho material de sellado (16) se selecciona de entre aluminio, una aleación de metal, plástico o Mylar.
- 50 11. El sistema generador eléctrico (10,110, 210) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** dicho material de radionucleido (14,114, 214) se selecciona de entre Sr-90, Pm-147, Ni-63 o H-3.
12. El sistema generador eléctrico (10,110, 210) según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el espesor
- 55 de la capa de óxido de zinc (22,122, 222) es igual o inferior a 1250 nm.
13. Un dispositivo de suministro de energía eléctrica (10,110, 210) que incluye un alojamiento que encierra un sistema generador eléctrico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 60 14. El dispositivo (10,110, 210) de la reivindicación 13, **caracterizado porque** hay múltiples capas de óxido de zinc (22,122, 222), teniendo cada capa electrodos metálicos correspondientes (24, 26,124,126, 224, 226) y contactos eléctricos, donde las capas adyacentes están separadas por un material de sustrato aislante (18,132, 232).

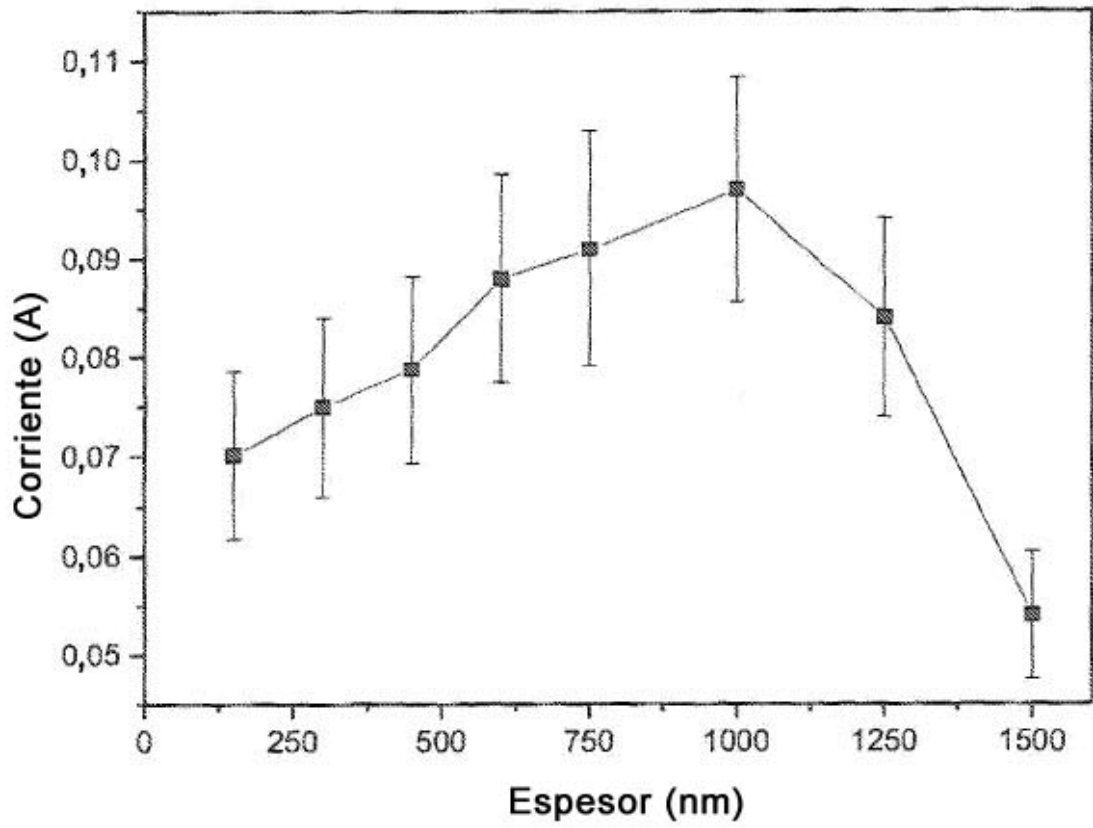


Figura 1

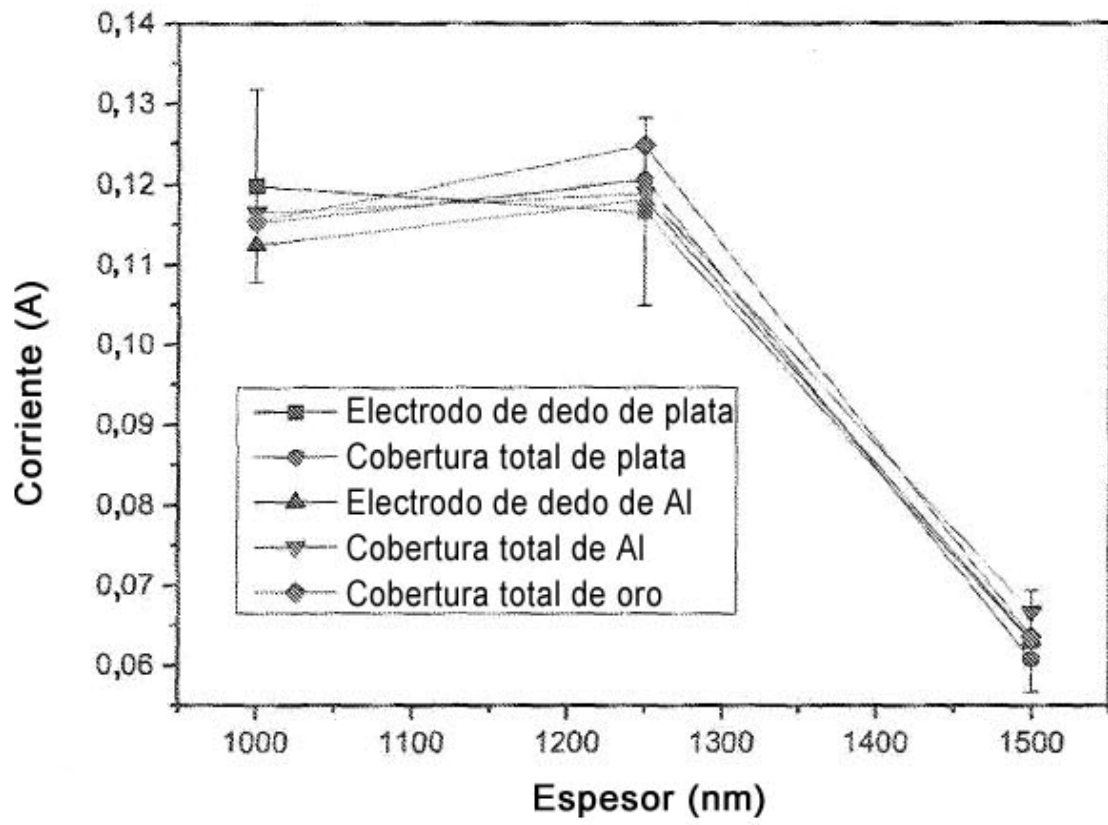


Figura 2



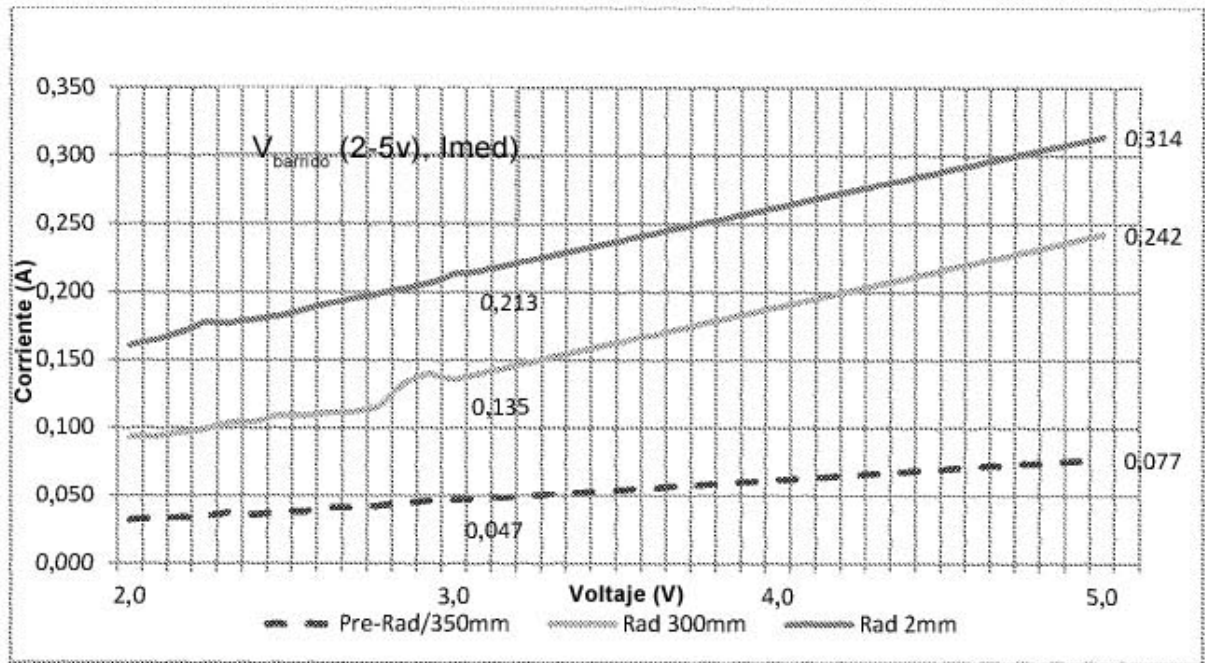
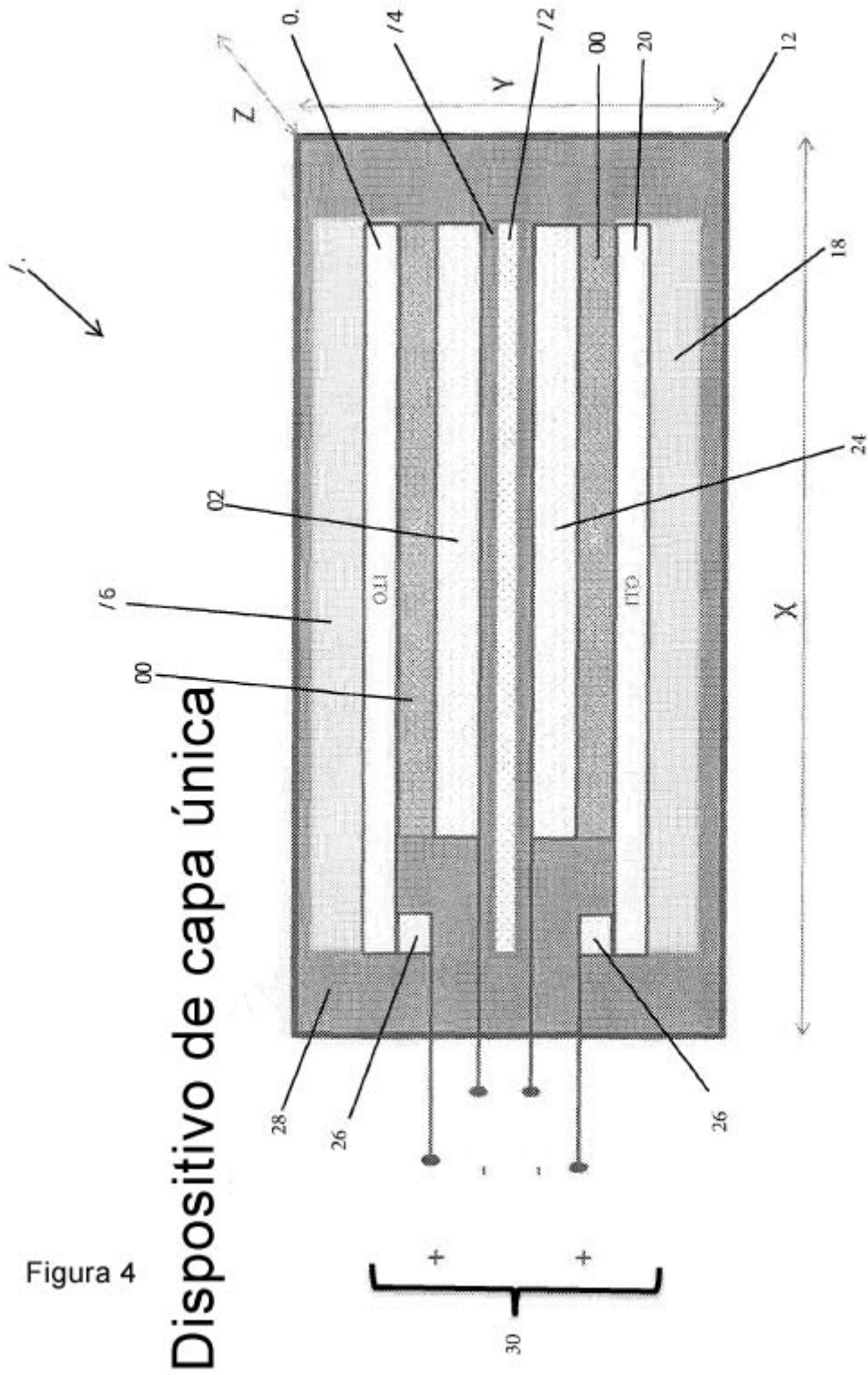
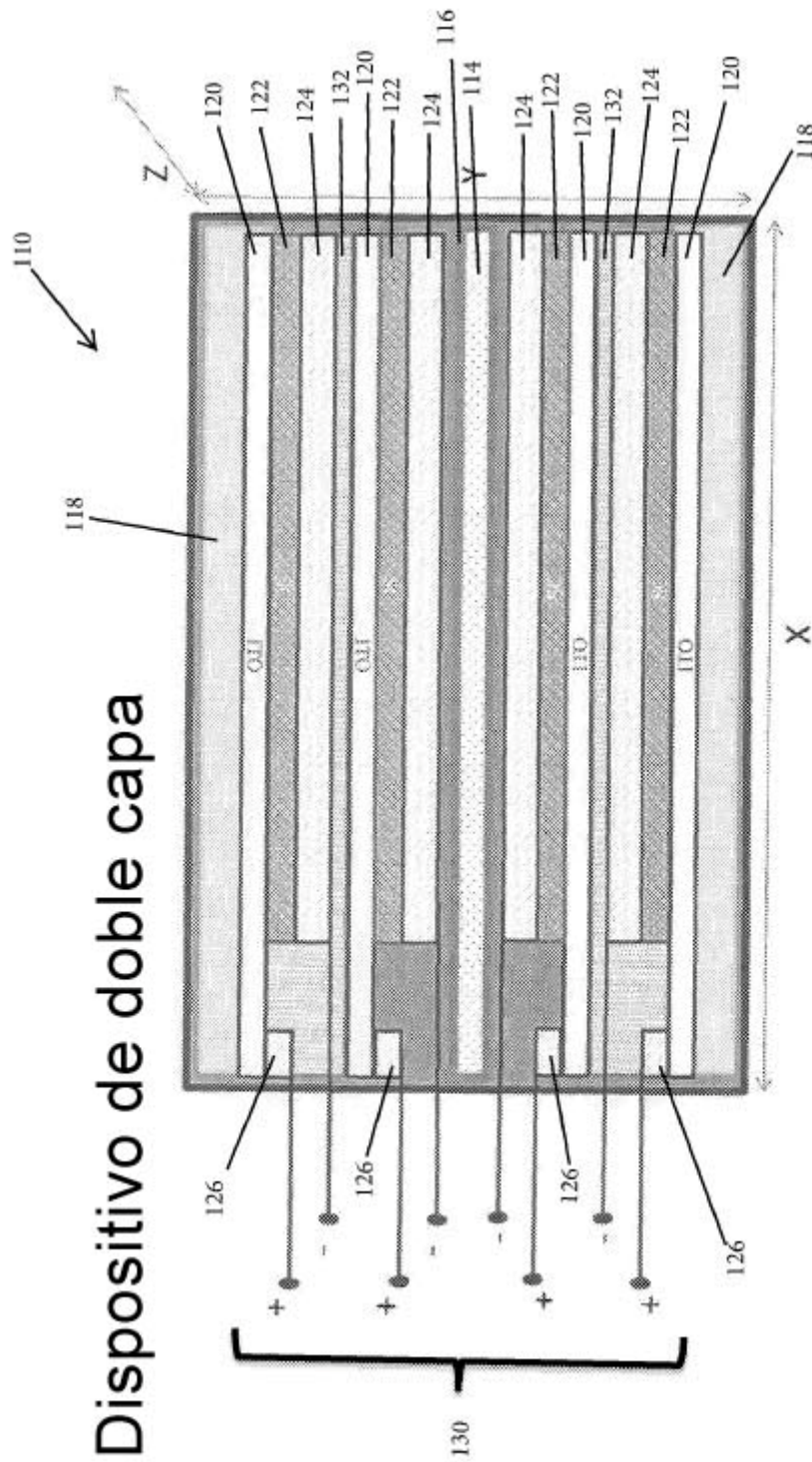


Figura 3





# Dispositivo de doble capa

Figura 5

