

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 684 669**

51 Int. Cl.:

H01L 49/00 (2006.01)

H01L 29/872 (2006.01)

H01L 29/12 (2006.01)

H01L 29/16 (2006.01)

H01L 33/00 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.01.2015 PCT/US2015/013915**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.08.2015 WO15117003**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2015 E 15743731 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018 EP 3100308**

54 Título: **Elemento de control de campo eléctrico para fonones**

30 Prioridad:

31.01.2014 US 201461934532 P

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

04.10.2018

73 Titular/es:

**THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA (100.0%)
1111 Franklin Street, 12th Floor
Oakland, CA 94607, US**

72 Inventor/es:

SCHEIBNER, MICHAEL

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 684 669 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

Elemento de control de campo eléctrico para fonones

Antecedentes

5 Los fonones, vibraciones cuantizadas de una estructura elástica, se infiltran en los componentes cristalinos de la moderna tecnología y son fundamentales para el área de investigación emergente denominada «fonónica» Asociados con la energía y el ruido perdidos por el calor, los fonones se encuentran como tales en muchos dispositivos electrónicos, en la vida diaria. Se cree que los fonones controlan los fenómenos fundamentales en el nivel cuántico, como por ejemplo la dinámica de relajación en las nanoestructuras para la superconductividad. En el desarrollo de las tecnologías cuánticas de estado sólido los fonones se toman en cuenta, principalmente, por las limitaciones que imponen.

10 Los dispositivos conocidos se describen en los documentos US 2009 / 0007950 A1; US 2011 / 0067752 A1; US 5 289 013; Nianbei Li et al., *Colloquium*; Phononics: Manipulating heat flow with electronic analogs and beyond", arXiv:1108.6120v3 [cond-mat.mes-hall], DOI: 10.1103/REVMODPHYS.84.1045, (2011); C.S. Kim et al., "Control of coherent acoustic phonon generation with external bias in InGaN/GaN multiple quantum wells", Applied Physics Letters, vol. 100, 101105, p. 1-3, (2012); R. Oulton et al., »"Continuum transitions and phonon coupling in single self-assembled Stranski-Krastanow quantum dots", Physical Review B, vol. 68, 235301, p. 1-5, (2003); Olli-Pentti Saira et al., "Heat Transistor: Demonstration of Gate-Controlled Electron Refrigeration", arXiv:cond-mat/0702361v1 [cond-mat.mes-hall], DOI: 10.1103/PHYSREVLETT.99.027203, (2007).

Breve descripción de los dibujos

20 Varios de los dibujos que se adjuntan ilustran las realizaciones del tema que se presenta en la presente. Los dibujos adjuntos se proporcionan para permitir que un experto en la técnica entienda los conceptos que se divulgan en la presente.

La figura 1 muestra un ejemplo de un diagrama del estado de transición para un par de estructuras de dimensión cero.

25 La figura 2 muestra un diagrama de bloque de un ejemplo de un dispositivo que está configurado para controlar la generación o destrucción de un fonón.

La figura 3 muestra un diagrama de bloque de un ejemplo de un diodo Schottky que está configurado para controlar la generación o destrucción de un fonón.

30 Las figuras 4A, 4B y 4C muestran ejemplos de un diagrama en banda de un nivel de energía de un medio y un par de estructuras de dimensión cero.

La figura 5 muestra un ejemplo de un gráfico de línea del campo energético vs. el campo eléctrico para un excitón neutro.

La figura 6 muestra un ejemplo de un diagrama del estado de un medio y un par de puntos cuánticos.

La figura 7 muestra un ejemplo de un transistor fonónico que incluye un par de estructuras de dimensión cero.

35 La figura 8 muestra un ejemplo de un diagrama de dispersión y un gráfico de línea de la intensidad del fonón en el drenaje del transistor de la figura 7 vs. la tensión en la puerta del transistor.

Las figuras 9A y 9B muestran un ejemplo de los diagramas de dispersión de la intensidad del fonón en el drenaje del transistor de la figura 7 vs. la tensión en la puerta del transistor.

40 La figura 10 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de una técnica para realizar un mecanismo de control del fonón.

La figura 11 muestra un diagrama de bloque de un ejemplo de un sensor de tensión o movimiento.

Descripción detallada

45 La descripción que sigue a continuación incluye aparatos sistemas, métodos y técnicas ilustrativas que abarcan varios aspectos del tema que se describe en la presente. En la siguiente descripción, a los fines de la explicación, se establecen numerosos detalles específicos para proporcionar un entendimiento de las diversas realizaciones del tema. Será evidente, sin embargo, para los expertos en la técnica que las realizaciones del tema se pueden poner en práctica, al menos, sin algunos de estos detalles específicos.

Los ejemplos que comprenden las características de las reivindicaciones independientes 1 o 7 son realizaciones de la presente invención.

Esta divulgación se refiere, en general, al campo del control del fonón y más específicamente a los sistemas, aparatos y métodos relacionados con un mecanismo de control para fonones.

Las interacciones omnipresentes de electrón-fonón y la naturaleza predominantemente disipativa de los fonones son una fuente principal de la decoherencia del estado cuántico, similar al átomo hospedado por las estructuras de estado sólido de baja dimensión, como por ej., estructuras de dimensión cero similares a los puntos cuánticos (QD). Por el contrario, en la presente se discuten las condiciones en las cuales los fonones se pueden hacer no disipativos o coherentes. Un resultado es una variedad de mecanismos de control (por ej., transistores de efecto de campo) que pueden controlar fonones («FET fonón»). Los FET fonones se pueden implementar en un dispositivo de circuito integrado convencional, de forma individual o en combinación.

En la presente se analiza una herramienta que puede controlar la generación o el flujo de un fonón. Al igual que el transistor de efecto de campo (FET) controla el flujo de electrones o electricidad («FET eléctrico»), los aparatos y sistemas que se analizan en la presente pueden controlar el flujo de calor conductivo (un fonón) mediante un campo eléctrico que se produce mediante el uso de un posible desvío eléctrico o un desvío eléctrico (por ej., una tensión). La estructura física del FET fonón puede incluir un par de puntos cuánticos incrustados en un material o dispositivo semiconductor convencional (por ej., un diodo Schottky, un capacitor, un diodo PIN y otra tecnología semiconductor). En la presente, se describe un diodo Schottky y una estructura similar al capacitor simple (véase la figura 2), no obstante, la divulgación se puede utilizar en una variedad de dispositivos semiconductores y otros dispositivos eléctricos o electrónicos. Un desvío eléctrico se puede aplicar para crear un campo eléctrico a lo largo o sustancialmente paralelo a un eje a través o mediante la conexión del par de puntos. Los fonones pueden pasar a través del par de puntos cuánticos sobre dos trayectos, como para causar interferencia entre los fonones en cada trayecto. Según el desvío eléctrico aplicado, esta interferencia puede ser constructiva (el flujo del fonón está activado o mejorado) o destructiva (el flujo del fonón está inhibido o bloqueado). Esta estructura puede realizar la función de un conmutador de fonón que se basa en el desvío eléctrico aplicado (es decir, el campo eléctrico que se produce mediante la aplicación del desvío eléctrico). Un principio fundamental que rige la interacción del fonón es una interferencia cuántica similar a Fano que crea un polaron resonante, el cual, en este caso, es un polaron molecular.

Una ventaja del FET fonón puede incluir un incremento en la eficiencia de la energía. Otra ventaja del FET fonón puede incluir la capacidad de hacer uso de un fonón en vez de dejarlo ir para desperdiciarse como calor, como por ej., en un circuito integrado convencional o en otra tecnología semiconductor. Por ejemplo, el fonón controlado puede ser representativo de datos donde la presencia o ausencia del fonón indica un bit de «1» o «0» para realizar una función similar a la de un electrón en un sistema electrónico de corriente, suplantando, de este modo, el electrón o complementando la información proporcionada por el electrón.

El mecanismo de control del fonón (por ej., FET fonón) se puede utilizar para controlar el flujo de calor del fonón a fin de incrementar una eficiencia en la cual el calor se disipa o se incrementa o para dirigir con mayor precisión un flujo de calor. El mecanismo de control del fonón se puede utilizar como una interfaz entre la lógica fotónica (basada en la luz, por ej., fibra óptica), lógica electrónica (lógica basada en electrones), lógico fonónica (lógica basada en fonones) o espintrónica (lógica basada en espines). El mecanismo de control del fonón se puede utilizar en tecnologías de información cuántica (por ej., para revelar el acoplamiento coherente entre las estructuras cuánticas). El mecanismo de control del fonón se puede utilizar como un elemento lógico en un sistema de información (por ej., un sistema de información basado en el estado sólido) o en tecnología de procesamiento, como por ej., mediante el uso del mecanismo de control del fonón como un conmutador de lógica. El mecanismo de control del fonón puede reducir el ruido originado por un fonón y se puede utilizar en una aplicación para explotar su capacidad para reducir el ruido, como por ej., en una tecnología de sensor o detector (por ej., detector de luz o de radiación TeraHertz). Incluso otra aplicación del mecanismo de control del fonón se encuentra en el campo de la tecnología solar donde una alta absorción de luz y una emisión térmica reducida pueden ser ventajosas, como tal puede ser proporcionada por el mecanismo de control del fonón. El mecanismo de control del fonón se puede utilizar en un sensor de tensión o movimiento, como el que se analiza en más detalle en la presente.

A continuación se hará referencia a las figuras para describir más detalles de los aparatos y sistemas y de las técnicas (por ej., métodos) que pueden incluir un mecanismo de control del fonón.

La figura 1 muestra un diagrama de bloque de un diagrama de estado 100 de un fonón. Los fonones pueden comenzar en un medio (por ej., un medio sólido, líquido o gaseoso) que es un estado inicial 102. Desde el estado inicial 102 el medio puede convertirse a través de un estado discreto 104 o un estado continuo 106 en un estado final 108.

Algunos mecanismos (el mecanismo no se muestra en la figura 1) pueden generar una energía que origina un fonón que se va a producir en un material semiconductor o dieléctrico de un dispositivo que está en el estado inicial 102. Después de que el fonón haya pasado a través de, al menos, una porción del material semiconductor o dieléctrico, el material semiconductor o dieléctrico puede estar en el estado final 108.

Si el medio ofrece dos trayectos indistinguibles (por ej., un trayecto a través del estado discreto 104 y otro trayecto a través del estado continuo 106) puede ocurrir una interferencia. Esta interferencia puede ser constructiva, lo que significa que se puede generar un fonón (por ej., y emitirse) y se alcanza el estado final 108, o puede ser destructiva,

lo que significa que no se genera ni se libera un fonón nuevamente y no se alcanza el estado final 108. El estado discreto 104 y el estado continuo 106 se pueden acoplar (por ej., en resonancia uno con otro), como por ej., a través del acoplamiento 110. Un medio que ofrece dichos trayectos indistinguibles puede crear un problema de «cual trayecto», similar a un experimento de doble hendidura y puede causar una interferencia cuántica del tipo Fano (es decir, un efecto Fano). Al controlar la interferencia del fonón con un mecanismo de activación de puerta (por ej., un campo eléctrico), se puede crear un transistor de fonón.

La figura 2 muestra un ejemplo de un dispositivo 200 que está configurado para incluir un mecanismo de control del fonón. El dispositivo 200 puede incluir dos o más estructuras de dimensión cero 210A y 210B incrustadas en un material semiconductor 212 (por ej., material de estado sólido) u otro material eléctricamente conductor o eléctricamente aislante. El dispositivo 200 puede incluir un elemento conductor fuente 224 y un elemento conductor drenador 226. El dispositivo 200 puede ser, básicamente, un capacitor con algún material dieléctrico o semiconductor 212 acoplado entre las placas del capacitor (en este caso los contactos 216A y 216B proporcionan las placas del capacitor). El material semiconductor 212 además puede ser un material dieléctrico que permite que se genere un campo eléctrico en su interior o un material que incluye una banda prohibida en presencia de un campo eléctrico, donde se pueden alcanzar diferentes estados de la banda prohibida.

El dispositivo 200 puede incluir un mecanismo de activación de puerta a través del cual se puede aplicar un desvío eléctrico al material semiconductor 212. El mecanismo de activación de puerta que se muestra en la figura 2 incluye dos contactos eléctricamente conductores 216A y 216B acoplados a una o más zonas terminales de entrada/salida (I/O) 214A y 214B, respectivamente. La figura 2 muestra los contactos 216A-216B acoplados a las zonas terminales 214A-B a través de la interconexión eléctricamente conductora 218A - 218B, respectivamente. En una o más realizaciones, se puede aplicar un posible desvío eléctrico directamente al contacto 216A-B en vez de aplicar el desvío a la zona terminal I/O 214A-B o a la interconexión 218A-B.

Las estructuras de dimensión cero 210A-B pueden incluir un punto cuántico o un centro de desocupación de nitrógeno (NV). El punto cuántico puede incluir materiales similares o iguales al material semiconductor 212. En una realización donde la estructura de dimensión cero 210A-B incluye un centro NV, el material semiconductor 212 puede ser diamante. Un punto cuántico puede estar en el orden de décimas de nanómetros o menos. Un punto cuántico es un semiconductor que tiene cero o más cargas limitadas en las tres dimensiones espaciales (es decir, longitud, ancho y altura), comparable a la extensión de la función de onda/longitud de onda de Broglie de la carga, de este modo, el punto cuántico es una estructura de dimensión cero. Un punto cuántico es un nanocristal, que incluye, normalmente, un material semiconductor. Un punto cuántico está configurado para exhibir propiedades mecánicas cuánticas.

Las estructuras de dimensión cero 210A-B pueden ser estructuras similares al átomo. Las estructuras de dimensión cero 210A-B pueden estar incrustadas, al menos, de forma parcial, en el material semiconductor 212 para proporcionar la posibilidad de crear un problema de «cual trayecto» para fonones, como el que se describe con respecto a la figura 1. Las estructuras de dimensión cero 210A-B pueden representar posibles trayectos a través de los cuales se puede producir la generación, emisión o destrucción. El material semiconductor 212 junto con la estructura de dimensión cero 210A pueden proporcionar el estado continuo 106 y la otra estructura de dimensión cero 210B puede proporcionar el estado discreto 104. En una o más realizaciones, la estructura de dimensión cero 210A sola puede proporcionar el estado continuo 106 y la otra estructura de dimensión cero 210B puede proporcionar el estado discreto 104.

Las estructuras de dimensión cero 210A-B se pueden separar entre aproximadamente uno y cien nanómetros. En una o más realizaciones, la separación entre las estructuras de dimensión cero 210A-B puede ser de aproximadamente uno y cien nanómetros. La separación entre las estructuras de dimensión cero 210A-B puede depender del material con el que están fabricadas las estructura de dimensión cero 210A-B y de si las estructuras de dimensión cero 210A-B están una al lado de la otra (por ej., adyacentes de forma horizontal una con la otra) o sobre la parte superior de una con la otra (por ej., adyacentes de forma vertical una con la otra). Las estructuras de dimensión cero 210A-B se pueden separar mediante una distancia más grande si están una al lado de la otra. Esto se debe, al menos en parte, a los procesos que se pueden utilizar para colocar las estructuras de dimensión cero 210A-B en el material semiconductor 212. En la configuración alineada, las estructuras de dimensión cero 210A-B se pueden colocar con una alta precisión mediante el uso de una técnica de crecimiento controlado en el sitio.

El material semiconductor 212 puede ser un semiconductor que incluye silicio positiva o negativamente impurificado, sin impurificar o intrínseco, germanio, carbono o una combinación de estos. El material semiconductor 212 puede incluir un compuesto que incluye un compuesto que es un semiconductor, como por ej., arseniuro de indio (un compuesto que incluye indio y arsénico), arseniuro de galio (un compuesto que incluye galio y arsénico), seleniuro de cadmio, seleniuro de zinc u otro material semiconductor compuesto. El material semiconductor 212 puede incluir cadmio, indio, galio, nitrógeno, fósforo, antimonio, selenio, telurio, oxígeno, azufre, grafeno, diamante, vidrio, óxido, cloro, titanio, plomo, manganeso, níquel, hierro, cromo, silicio, plata, platino, yodo, talio, bromo o una combinación de estos. El material semiconductor 212 puede incluir otros materiales semiconductores, como por ej., un compuesto metálico que incluye múltiple de los aditivos mencionados. Observar que un aislante (por ej., dieléctrico) como por ej., vidrio, óxido o diamante, se puede utilizar en lugar de o en conjunción con el material semiconductor 212.

El contacto 216A-B, la interconexión 218A-B o la zona terminal I/O 214A-B pueden incluir un material como por ej., un metal, semiconductor y otro material eléctricamente conductor.

Diferentes potenciales se pueden proporcionar a los contactos 216A-B (por ej., directamente a los contactos 216A-B o indirectamente a los contactos 216A-B, como por ej., a través de la zona terminal I/O 214A-B o la interconexión 218A-B), como para proporcionar un potencial eléctrico a través de las estructuras de dimensión cero 210A-B. Una línea de campo eléctrico 222 de un campo eléctrico producido a través de los diferentes potenciales suministrados pueden estar sustancialmente paralelos a un eje 220 a través de las estructuras de dimensión cero 210A-B. La línea de campo eléctrico 222 puede ser coaxial con el eje 220. Observar que la figura 2 describe la línea de campo eléctrico 222 paralela a, y no coaxial con el eje 220. El desvío eléctrico que se aplica al contacto 216 puede proporcionar un mecanismo de activación de la puerta que puede prohibir, fomentar o inhibir la generación, disipación o transporte del fonón. Al variar el desvío eléctrico aplicado a los contactos 216A-B, se puede realizar la interferencia constructiva o destructiva. Por ejemplo, cuando se aplica una primera tensión a los contactos 216A-B, se puede crear la interferencia constructiva entre los estados cuánticos de las estructuras de dimensión cero 210A-B (y el material semiconductor 212) y se puede producir un fonón. Cuando se aplica una segunda y diferente tensión a los contactos 216A-B, se puede crear la interferencia constructiva entre los estados cuánticos de las estructuras de dimensión cero 210A-B y se puede evitar que se produzca, disipe o transmita un fonón.

El elemento conductor 224 puede incluir un elemento de transporte de fonón (por ej., calor), un elemento de transporte fotónico (por ej., óptico), un elemento de transporte de carga electrónica o un elemento de transporte espintrónico. Se puede configurar el elemento conductor 224 para transportar una energía de excitación hacia el material semiconductor 212. El elemento conductor 226 puede incluir un elemento de transporte de fonón, un elemento de transporte fotónico, un elemento de transporte de carga electrónica o un elemento de transporte espintrónico. El elemento conductor 226 se puede configurar para transportar energía lejos del material semiconductor 212.

La figura 3 muestra un ejemplo de un diodo Schottky 300 con un par de puntos cuánticos que incluye el material de punto cuántico 302A y 302B (por ej. estructuras de dimensión cero) incrustadas en su interior. Observar que la figura 3 es una implementación específica del dispositivo 200 de la figura 2 que apunta a ilustrar que el dispositivo similar al capacitor puede ser implementado en una variedad de dispositivos o estructuras que sean similares al capacitor, como se describió anteriormente. El diodo Schottky 300 puede ser una heteroestructura de diferentes capas semiconductoras y uno o más contactos 216A-B. Un primer contacto 216A (por ej., el aluminio 314 o el titanio 312) del diodo Schottky 300 se puede fabricar con una o más aperturas 316 (por ej., aperturas transparentes o semitransparentes) a través del mismo. La apertura 316 puede proporcionar un acceso óptico a los puntos cuánticos (por ej., pares de puntos cuánticos) o a otras partes del diodo Schottky 300, como para proporcionar energía de excitación al diodo Schottky 300. Mientras que la figura 3 muestra solo una apertura 316, se pueden formar otras aperturas a través de las capas de aluminio 314 o titanio 312. En una o más realizaciones que incluyen una técnica de fabricación de alta resolución, como una realización que incluye microscopía óptica de barrido de campo cercano (SNOM) o estructuras de dimensión cero desarrolladas con control de visor en una longitud de onda o cavidad fotónica, la apertura 316 puede ser innecesaria para proporcionar energía de excitación o remover fonones (véase el debate de la figura 7 y de qué manera la apertura 316 puede actuar como un elemento conductor 224 o 226).

El diodo Schottky 300 puede incluir un sustrato 306. Las capas de arseniuro de galio intrínseco 304A, 304B, 304C y 304D pueden estar ubicadas sobre el sustrato 306. Las capas de arseniuro de galio intrínseco 304A-D pueden estar separadas por el material de punto cuántico 302A-B o una capa de arseniuro de galio de aluminio 307. El diodo Schottky 300 puede incluir una capa de titanio 312 o una o más capas de aluminio 314 situadas sobre las capas de arseniuro de galio intrínseco 304A-D. El aluminio 314 o el titanio 312 pueden formar un contacto 216A-B a través del cual se puede aplicar un desvío eléctrico al diodo Schottky 300. El sustrato 306 se puede acoplar a un potencial eléctrico, como por ej., puesta a tierra, para proporcionar una diferencia potencial eléctrica entre el aluminio 314 y el sustrato 306. El sustrato 306 puede actuar como un contacto eléctrico 216A-B. La diferencia potencial eléctrica puede originar estados cuánticos de las partes de los materiales de punto cuántico 302A-B para acoplar o resonar.

El material de punto cuántico 302A-B puede estar en el orden de menos de diez nanómetros de espesor. En una o más realizaciones, los materiales de punto cuántico 302A-B pueden estar entre aproximadamente dos (2) y tres (3) nanómetros de espesor. En una o más realizaciones, los materiales de punto cuántico 302A y 302B pueden estar separados en aproximadamente cuatro nanómetros. El espesor de los materiales de punto cuántico 302A-B puede ser mayor que tres nanómetros en la medida que permanezcan de dimensión cero, como se mencionó en la presente. La separación entre los materiales de punto cuántico 302A-B puede ser mayor o menor que cuatro nanómetros, como se mencionó previamente, con respecto a la distancia de separación entre las estructuras de dimensión cero 210A-B.

Si se aplica un desvío inverso (es decir, una tensión que se configura para aumentar la región de depleción de la banda de energía del material semiconductor) al diodo Schottky 300, el aluminio 314 y el titanio 312 pueden funcionar como un primera placa de un capacitor, y el arseniuro de galio impurificado 308 puede funcionar como una segunda placa de un capacitor, y puede generar un campo eléctrico a lo largo de la región entre ellos. El campo eléctrico puede acoplar un estado cuántico del punto cuántico que incluye el material de punto cuántico 302A con un estado cuántico de una combinación del punto cuántico que incluye el material cuántico 302B y otras capas de

material semiconductor (por ej., arseniuro de galio intrínseco 304A-D, arseniuro de galio de aluminio 307 o arseniuro de galio impurificado 308).

5 Las figuras 4A, 4B y 4C muestran ejemplos de los diagramas de banda del nivel de energía 400A, 400B y 400C, respectivamente, de un medio y un par de puntos cuánticos, como por ej., el material semiconductor 212 y las estructuras de dimensión cero 210A-B. Los diagramas de banda del nivel de energía 400A, 400B y 400C incluyen un borde de banda de conducción 404 y un borde de banda de valencia 406. El diagrama de banda de nivel de energía 400A incluye los estados electrónicos 408A, 408B, 408C y 408D y un estado 410 que incluye fonones y está trazado (por ej., un estado en el cual un fonón está unido a una o más cargas, como por ej., un electrón o un hueco). Un campo eléctrico originado por un desvío que se aplica a la estructura 200 puede levantar o bajar el potencial sobre el contacto 216B y puede mantener el potencial sobre el contacto 216A fijo (por ej., puesta a tierra o en algún otro potencial). La diferencia potencial puede causar que el borde de banda de valencia 406 y el borde de banda de conducción 404 se inclinen, como se muestra en las figuras 4A-C. La inclinación puede permitir que los niveles de energía discretos de la estructura de dimensión cero 210A se desplacen con respecto al nivel de energía de la estructura de dimensión cero 210B. Las dos áreas donde el borde de banda de conducción 404 está más cerca del borde de banda de valencia 406 es donde el campo eléctrico está interactuando con una estructura de dimensión cero 210A-B, respectivamente.

10 Puede ocurrir una transición 412A, 412B o 412C entre los estados de las estructuras de dimensión cero 210A-B cuando se proporciona energía a las estructuras de dimensión cero 210A-B. La transición 412A indica un cambio de un estado en el nivel de energía de la banda de valencia de la estructura de dimensión cero 210B a un estado en un nivel de energía de banda de conducción de la estructura de dimensión cero 210A. La transición 412B indica la penetración por efecto túnel del electrón o el hueco entre las estructuras de dimensión cero 210A-B. Se puede generar un fonón en esta transición 412B. La transición 412C indica un cambio desde un nivel de energía de banda de valencia de la estructura de dimensión cero 210A al nivel de energía de banda de conducción en el estado 410 que puede incluir un fonón. En el estado 410, puede ocurrir la penetración por efecto túnel entre las estructuras de dimensión cero 210A-B.

15 En una o más realizaciones, el estado inicial 102 puede corresponder a un estado donde todos los electrones están en la banda de valencia 406 y ningún electrón está en la banda de conducción 404. Al estado continuo 106 se puede acceder cuando un electrón se convierte del estado 408D al estado 410. Al estado discreto 104 se puede acceder cuando un electrón se convierte del estado 408A al estado 408E, como se muestra mediante la transición 412A. Al estado final 108 se puede acceder cuando un electrón se convierte del estado 408D al 408E o cuando un electrón se convierte del estado 410 al estado 408E, mediante la emisión o liberación de un fonón. Los estados 408B-C pueden ser estados alternativos para el estado 408A que están en una energía diferente. A estos estados 408B-C se puede acceder mediante la aplicación de un potencial eléctrico diferente a los contactos 216A-B del respectivo dispositivo.

20 En una o más realizaciones, el estado inicial 102 puede incluir estructuras de dimensión cero vacías 212A-B (ni un hueco ni un electrón en la estructura de dimensión cero 212A-B), el estado continuo 106 puede incluir una estructura de dimensión cero 212A-B en un estado de polaron ($|X_0, \Omega\rangle$), el estado discreto 104 puede incluir una estructura de inter dimensión cero 212A-B, el estado de excitón (un hueco en una estructura de dimensión cero 210B y un electrón en la otra estructura de dimensión cero 210A) y el estado final 108 puede incluir el estado de excitón de una estructura de dimensión cero 212A-B y un fonón liberado o suelto a la estructura de dimensión cero 212A-B.

25 En una o más realizaciones, el estado inicial 102 puede corresponder a un estado donde uno o más electrones están en la banda de conducción 404 y no hay huecos en la banda de valencia 406. Al estado continuo 106 se puede acceder cuando un electrón se convierte del estado 408D al estado 410. Al estado discreto 104 se puede acceder cuando un electrón se convierte del estado 408A al estado 408E, como se muestra mediante la transición 412A. Al estado final 108 se puede acceder cuando un electrón se convierte del estado 408D al 408E o cuando un electrón se convierte del estado 410 al estado 408E, mediante la emisión de un fonón.

30 En una o más realizaciones, el estado inicial 102 puede corresponder a un estado donde uno o más huecos están en la banda de valencia 406 y ningún electrón está en la banda de conducción 404. Al estado continuo 106 se puede acceder cuando un electrón se convierte del estado 408D al estado 410. Al estado discreto 104 se puede acceder cuando un electrón se convierte del estado 408A al estado 408E, como se muestra mediante la transición 412A. Al estado final 108 se puede acceder cuando un electrón se convierte del estado 408D al 408E o cuando un electrón se convierte del estado 410 al estado 408E, mediante la emisión de un fonón.

35 En una o más realizaciones, el estado inicial 102 puede incluir una estructura de dimensión cero cargada 212A-B (por ej., una estructura de dimensión cero 212A-B con uno o más huecos o electrones en su interior). El estado continuo 106 puede incluir una estructura de dimensión cero 212A-B en un estado polaron ($|Ch, \Omega\rangle$). El estado discreto 104 puede incluir el estado de carga de una estructura de inter dimensión cero 212-A-B (por ej., uno de los huecos o electrones en una estructura de dimensión cero 210B y los huecos o electrones restantes (si hubiera) en la otra estructura de dimensión cero 210A). El estado final 108 puede incluir el estado de carga de una estructura de dimensión cero 212A-B y un fonón liberado o suelto a la estructura de dimensión cero 212A-B.

40 En una o más realizaciones, el estado inicial 102 puede corresponder a un estado donde cero o más huecos están

en la banda de conducción 406 y cero o más huecos están en la banda de valencia 404. Al estado continuo 106 se puede acceder cuando un electrón se convierte del estado 408E al estado 420, mediante la unión de un fonón o la interacción con un campo eléctrico. Al estado discreto 104 se puede acceder cuando un electrón se convierte del estado 408E al estado 408H, como se muestra mediante la transición 422A, o se suministra un electrón mediante un conductor eléctrico directamente al estado 408H. Al estado final 108 se puede acceder cuando un electrón se convierte del estado 408H al 408E o cuando un electrón se convierte del estado 420 al estado 408E, mediante la emisión de un fonón. Los estados 408F-G pueden ser estados alternativos para el estado 408H que están en una energía diferente. A estos estados 408F-G se puede acceder mediante la aplicación de un potencial eléctrico diferente a los contratos 216A-B del respectivo dispositivo.

En una o más realizaciones, el estado inicial 102 puede corresponder a un estado donde uno o más huecos están en la banda de valencia 406 y cero o más electrones están en la banda de conducción 404. Al estado continuo 106 se puede acceder cuando un hueco se convierte del estado 408D al estado 430 mediante la unión de un fonón o cuando se suministra un hueco mediante un conductor. Al estado discreto 104 se puede acceder cuando un hueco se convierte del estado 408D al estado 408A, como se muestra mediante la transición 432A, o un hueco se suministra directamente mediante un conductor eléctrico al estado 408A. Al estado final 108 se puede acceder cuando un electrón se convierte del estado 408A al 408D o cuando un hueco se convierte del estado 420 al estado 408D, mediante la emisión de un fonón.

En una o más realizaciones, el estado inicial 102 puede incluir espines en las estructuras de dimensión cero 212A-B (por ej., uno o más huecos o electrones espín polarizados en la estructura de dimensión cero 212A-B). El estado continuo 106 puede incluir una estructura de dimensión cero 212A-B en un estado polaron espín polarizado ($|S, \Omega\rangle$). El estado discreto 104 puede incluir el estado de carga de una estructura de inter dimensión cero 212A-B (por ej., uno de los huecos o electrones espín polarizados en una estructura de dimensión cero 210B y los huecos o electrones restantes (si hubiera) en la otra estructura de dimensión cero 210A). El estado final 108 puede incluir el estado de espín de una estructura de dimensión cero 212A-B y un fonón liberado o suelto a la estructura de dimensión cero 212A-B.

En una o más realizaciones, el estado inicial 102 puede corresponder a un estado donde cero o más electrones espín polarizados están en la banda de conducción 406 y cero y cero o más huecos están en la banda de valencia 404. Al estado continuo 106 se puede acceder cuando un electrón espín polarizado se convierte del estado 408E al estado 420 mediante la unión de un fonón o cuando se suministra una energía mediante un conductor espintrónico (por ej., el elemento conductor 224). Al estado discreto 104 se puede acceder cuando un electrón espín polarizado se convierte del estado 408E al estado 408H, como se muestra mediante la transición 422A, o un electrón espín polarizado se suministra mediante un elemento conductor espintrónico (por ej., un inyector de giro). Al estado final 108 se puede acceder cuando un electrón espín polarizado se convierte del estado 408H al 408E o cuando un electrón se convierte del estado 420 al estado 408E, mediante la emisión de un fonón. Los estados 408F-G pueden ser estados alternativos para el estado 408H que están en energía diferente. A estos estados 408F-G se puede acceder mediante la aplicación de un potencial eléctrico diferente a los contratos 216A-B del respectivo dispositivo.

En una o más realizaciones, el estado inicial 102 puede corresponder a un estado donde cero o más electrones espín polarizados están en la banda de valencia 406 y cero o más electrones están en la banda de conducción 404. Al estado continuo 106 se puede acceder cuando un hueco espín polarizado se convierte del estado 408D al estado 430 mediante la unión de un fonón, o un hueco espín polarizado se suministra mediante un conductor espintrónico directamente al estado 430. Al estado discreto 104 se puede acceder cuando un hueco espín polarizado se convierte del estado 408D al estado 408A, como se muestra mediante la transición 432A o un hueco espín polarizado se suministra mediante un conductor espintrónico directamente al estado 408A. Al estado final 108 se puede acceder cuando un espín hueco se convierte del estado 408A al 408D o cuando un hueco espín polarizado se convierte del estado 420 al estado 408D, mediante la emisión de un fonón.

Como se mencionó previamente, el estado inicial 102 puede ser derivado, mediante la inyección de un electrón o hueco (por ej., un electrón o hueco polarizado) a través del elemento conductor 224.

La figura 5 muestra un ejemplo de un gráfico de línea 500 de un campo de energía vs. un campo eléctrico para un excitón neutro (un electrón en la banda de conducción y un hueco en la banda de valencia). $|X_0\rangle$ representa un excitón de estado de tierra donde ambas cargas están en la estructura de dimensión cero 210A. $|X_0\rangle$ y $|X_1\rangle$ representan los estados de excitón respectivos donde el hueco está en la tierra o en el primer nivel de excitación de la banda de valencia de la estructura de dimensión cero 210A. $|X_0, \Omega\rangle$ representa un estado en el estado continuo polaron (por ej., unido débilmente) que se forma mediante un fonón Ω y el excitón del estado de tierra de la estructura de dimensión cero 210B. Mientras que este debate considera los fonones ópticos, también se podrían utilizar fonones acústicos. Mediante el uso de un campo eléctrico los estados $|X_0\rangle$ y $|X_1\rangle$ podrían convertirse en resonancia (por ej. acoplarse) con el estado $|X_0, \Omega\rangle$. Si cualquiera de $|X_0\rangle$ y $|X_1\rangle$ está sustancialmente acoplado a $|X_0, \Omega\rangle$, se puede crear un problema de «cual trayecto». El acoplamiento puede originar que se forme un polaron resonante o molecular. El acoplamiento se puede originar mediante una penetración por efecto túnel mecánica cuántica de cargas entre las estructuras de dimensión cero 210A-B. Los estados $|X_0, \Omega\rangle$, $|iX_0\rangle$ y $|iX_1\rangle$ se pueden inducir mediante una energía de excitación, como por ej., energía de excitación electrónica, óptica, acústica o fonónica. El $|GGS\rangle$ indica un estado de masa cristalina o un estado de dispositivo impávido 200.

La figura 6 muestra un ejemplo de un diagrama de transición 600 entre los estados de un medio y los puntos cuánticos, como el material semiconductor 212 y las estructuras de dimensión cero 210A-B. La estructura de dimensión cero 210A está representada por el cuadro izquierdo de cada par de cuadros y la estructura de dimensión cero 210B está representada por el cuadro derecho de cada par de cuadros. Un punto oscuro en el cuadro indica que un electrón está presente en la estructura de dimensión cero asociada 210A-B y un punto claro indica que un hueco está presente en la estructura de dimensión cero asociada 210A-B. De este modo, un punto oscuro en el cuadro izquierdo indica que el electrón está presente en la estructura de dimensión cero 210A.

En $|i\rangle$, el cual es representativo de un estado de masa cristalino ($|cgs\rangle$) o el estado inicial 102, ninguna estructura de dimensión cero 210A-B puede incluir el electrón o el hueco. En 602A, el estado puede convertirse de un cgs a un estado $|d\rangle=|iX_n\rangle$ (por ej., el estado discreto 104), donde n indica el nivel de banda de energía de la estructura de dimensión 210A-B, que incluye un excitón indirecto (electrón y hueco en estructuras de dimensión cero 210A-B separadas). La transición en 602A puede ser la misma que la transición 412A. En 602B, el estado puede convertirse de un estado cgs a un estado $|c\rangle=|X_0, \Omega\rangle$ (por ej., el estado continuo 106), que incluye un polaron (un fonón y electrón y hueco en las mismas estructuras de dimensión cero 210A-B). La transición en 602B puede corresponder a una carga (por ej., electrón o hueco) que se convierte en la estructura de dimensión cero 210A mientras se crea un fonón, o el fonón se une a la carga. La transición en 602C puede corresponder a un hueco que se convierte en la estructura de dimensión cero 210A cuando un fonón ha sido liberado o está suelto. En 602C, puede ocurrir la penetración por efecto túnel del electrón o el hueco. Esta penetración por efecto túnel indica que el fonón puede ser preservado en la estructura (por ej., no disiparse ni localizarse) a través del estado $|iX_n\rangle$. El fonón se puede liberar o soltar en $|X_0\rangle$. La transición en 602C puede corresponder a la transición 412B. En 602D, el estado puede convertirse del estado $|d\rangle=|iX_n\rangle$ al estado $|f\rangle=|X_0\rangle$ (por ej., el estado final 108). La transición en 602D puede corresponder a un hueco que se convierte del estado 408A al estado 408D mientras un fonón es liberado o está suelto. En 602E, el estado puede convertirse del estado $|c\rangle=|X_0, \Omega\rangle$ estado discreto 104 al estado $|f\rangle=|X_0\rangle$. La transición en 602E puede corresponder a un fonón que se libera o está suelto del estado 410 tomando la estructura de dimensión cero 210A-B al estado 408E. En 602F, estado puede convertirse de $|f\rangle=|X_0\rangle$ al $|i\rangle=|cgs\rangle$. La transición en 602F puede corresponder a una transición del estado 408E al estado 408D. Como se utiliza en la presente «estado» se refiere al estado de las estructuras de dimensión cero 210A-B con o sin el material semiconductor 212.

En 602F, se puede emitir un fonón y las estructuras de dimensión cero 210A-B pueden volver al CGS del estado $|f\rangle$. La detección de la emisión del fonón puede proporcionar un medio por el cual se puede verificar la generación del fonón o

su falta. El estado $|f\rangle$ puede ser el estado final 108, el estado $|i\rangle$ puede ser el estado inicial 102, el estado $|c\rangle$ puede ser el estado continuo 106 y el estado $|d\rangle$ puede ser el estado discreto 104 (véase la figura 1). El acoplamiento 110 entre el estado discreto 104 y el estado continuo 106 (por ej., un fonón coherente) se puede proporcionar mediante la penetración por efecto túnel en 602C.

La figura 7 muestra un ejemplo de un transistor fonónico 700. El transistor fonónico 700 puede incluir una puerta 702, una fuente 704 y un drenaje 706. La puerta 702 puede incluir un acoplamiento entre los estados continuo y discreto ($|c\rangle$ y $|d\rangle$).

La puerta 702 puede incluir los contactos 216A-B para proporcionar una estructura a través de la cual se puede proporcionar un campo eléctrico a las estructuras de dimensión cero 210A-B.

La fuente 704 puede incluir un estado discreto o continuo desacoplado. La fuente 704 puede incluir un elemento conductor 224 acoplado al material semiconductor 212. El elemento conductor 224 puede ser configurado para proporcionar energía de excitación, como por ej., desde un medio para proporcionar energía de excitación 712 al material semiconductor 212. El elemento conductor 224 puede ser un elemento conductor óptico, acústico, eléctrico, espintrónico o fonónico. El elemento conductor 224 puede ser una fibra óptica, una guía de onda fotónica, la apertura 316, un cable eléctricamente conductor u otra guía de onda fonónica. El elemento conductor 224 puede incluir un mecanismo de transferencia de calor que está configurado para proporcionar energía calorífica al material semiconductor 212. El elemento conductor 224 puede ser acoplado al medio para proporcionar energía de excitación 712 al semiconductor 212. El medio para proporcionar energía de excitación 712 puede incluir un láser o un suministro de energía eléctrica. El medio para proporcionar energía de excitación 712 puede proporcionar energía para convertir el estado desde el estado inicial ($|i\rangle$) al estado discreto o al estado continuo, los cuales están o bien, acoplados o, desacoplados, según el desvío que se aplica a la puerta 702 y el campo eléctrico resultante generado entre los contactos 216A y 216B.

El drenaje 706 puede incluir el estado final ($|f\rangle$) de las estructuras de dimensión cero 210A-B. El drenaje 706 puede incluir un elemento conductor 226 que está configurado para

transportar un fonón a través del mismo. El elemento conductor 226 puede ser una guía de onda fonónica o una combinación con una o más guías de onda fotónicas, la apertura 316, un cable eléctricamente conductor o un elemento conductor espintrónico. Un fonón que se emite a través del elemento conductor 226 puede ser determinado, al menos en parte, mediante el desvío eléctrico que se aplica a los contactos 216A-B o la energía de excitación que se proporciona a través del elemento conductor 224.

La figura 8 muestra un ejemplo de un diagrama de dispersión y un gráfico de línea 800 de la intensidad del fonón en el drenaje 706 versus la tensión que se aplica en la puerta 702. El diagrama de dispersión 800 muestra una región que se indica mediante el espacio por encima de la línea punteada 806 y por debajo de la línea punteada 802 donde la generación del fonón puede ser mejorada (por ej., aumentada). El espacio por encima de la línea punteada 806 puede ser el lugar donde se puede producir la interferencia constructiva entre los estados cuánticos de las estructuras de dimensión cero 210A-B. El diagrama de dispersión 800 muestra una región que se indica mediante el espacio por debajo de la línea punteada 806 y por encima de la línea punteada 804 donde la generación del fonón puede ser reprimida (por ej., disminuida). El espacio por debajo de la línea punteada 806 puede ser el lugar donde se puede producir la interferencia destructiva entre los estados cuánticos de las estructuras de dimensión cero 210A-B. Un mecanismo de puerta de un mecanismo de control del fonón (por ej., un transistor fonónico o un FET fonón) puede ayudar a mejorar o reprimir la generación de fonones, al cambiar o controlar la tensión de la puerta o el desvío eléctrico que se aplica a los contactos 216A-B. El diagrama de dispersión 800 muestra una región que se indica mediante el espacio por encima de la línea punteada 806 donde la fuente 704 está produciendo o generando un fonón, un número mejorado o un número más grande de fonones.

Las figuras 9A y 9B muestran los diagramas de dispersión 900A y 900B de intensidad versus la tensión de la puerta. Como puede verse, se puede obtener una variedad de características de conmutación similar al transistor al variar la energía de excitación, como se muestra en la figura 9A, o la densidad de la potencia de excitación, como se muestra en la figura 9B, en la fuente 704 o la tensión de la puerta en la puerta 702. Como se utiliza en la presente, «intensidad» puede ser el número de fonones que pasan a través del drenaje del respectivo dispositivo o mecanismo de control del fonón. A este respecto, un alta intensidad puede significar que un alto número de fonones se disipa o pasa a través del drenaje 706 (por ej., el elemento conductor 226).

La figura 10 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de una técnica 1000 para realizar un mecanismo de control del fonón. En 1002, un par de puntos cuánticos se puede disponer dentro de un semiconductor. Los puntos cuánticos se pueden disponer de modo que los estados cuánticos del par de puntos cuánticos resuenen en presencia de un campo eléctrico. La disposición de los dos puntos cuánticos puede incluir situar un primer material de punto cuántico sobre un sustrato del semiconductor para formar un primer punto cuántico del par de puntos cuánticos y situar un segundo material de punto cuántico sobre el primer material de punto cuántico para formar un segundo punto cuántico del par de puntos cuánticos. El primero o segundo material de punto cuántico o el material intrínseco pueden incluir los mismos materiales que el material semiconductor 212 o el aditivo. En 1004, una guía de onda fonónica se puede acoplar al semiconductor.

La técnica 1000 puede incluir el acoplamiento de un conductor óptico, eléctrico o fonónico al semiconductor. La técnica puede incluir situar una capa de material intrínseco sobre el sustrato, en donde el primero y el segundo material de punto cuántico están separados por la capa de material semiconductor intrínseco. El material semiconductor intrínseco puede separar el primero y el segundo material de punto cuántico en menos de cien nanómetros.

La figura 11 muestra un diagrama de bloque de un ejemplo de un sensor de tensión o movimiento 1100 que utiliza propiedades fonónicas para determinar la tensión o el movimiento dentro de un sustrato. Las vibraciones reticulares (representadas por los anillos concéntricos 1102) pueden estar enlazadas, de forma coherente, a las estructuras de dimensión cero 210A-B (lazo representado por la flecha 1104) debido a una resonancia con un estado $|i\rangle$. Se debe considerar el mecanismo de control 200 que incluye un elemento conductor fuente 224 que puede proporcionar energía de excitación a las estructuras de dimensión cero 210A-B desde una fuente de luz. En un sustrato sin tensión (por ej., impávido), el polaron molecular existe impávido durante una cierta cantidad de tiempo, también denominado el «tiempo de coherencia». Cuánto más largo es el tiempo de coherencia, mayor es el volumen del sustrato con el que interactúa o detecta el polaron molecular. La tensión en el sustrato cambia el espectro de frecuencia de los fonones que soporta el material, cambiando, de este modo, el polaron molecular y originando decoherencia o un tiempo de coherencia acortado. El tiempo de coherencia de un fonón puede ser incrementado al aumentar la potencia óptica de la fuente de luz.

Este efecto puede verse al analizar una señal de transparencia inducida por el fonón (por ej., profundidad o ancho espectral de los fonones, como se muestra en la figura 8). El movimiento o la tensión en el sustrato pueden derivar de la señal de transparencia. La tensión en el sustrato puede ser el resultado de un defecto en el sustrato, una deformación (por ej., una inclinación) del sustrato. La deformación puede ser originada por un empuje gravitacional de aceleración o por un movimiento general del sustrato. De este modo, el mecanismo de control del fonón, que se mencionó anteriormente, se podría utilizar en un acelerómetro, un gradiómetro, un sensor de tensión, un medidor de tensión u otro dispositivo de tensión o movimiento.

Notas y ejemplos adicionales

Uno o más aspectos de la divulgación se pueden entender a través de una o más realizaciones de ejemplo.

El ejemplo 1 puede incluir o utilizar un tema (como por ej., un aparato que incluye un procesador que está configurado para realizar acciones, un método, un medio para realizar acciones, o una memoria de lectura del dispositivo que incluye instrucciones que, cuando el dispositivo las realiza, puede originar que el dispositivo ejecute

- 5 las acciones), como por ej., puede incluir o utilizar contactos eléctricos, dos puntos cuánticos incrustados en un semiconductor de modo que cuando se aplica un desvío eléctrico a los contactos eléctricos, un campo eléctrico que se produce por el desvío eléctrico es sustancialmente paralelo a un eje a través de los dos puntos cuánticos y una guía de onda fonónica acoplada al semiconductor, la guía de onda fonónica está configurada para transportar un fonón a través de la misma.
- El ejemplo 2 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema del ejemplo 1 para incluir o utilizar un conductor que está configurado para proporcionar energía de excitación al semiconductor, en donde el conductor es un conductor óptico, un conductor eléctrico o un conductor fonónico.
- 10 El ejemplo 3 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 1-2 para incluir o utilizar en donde una línea de campo eléctrico del campo eléctrico es coaxial con el eje a través de los puntos cuánticos.
- El ejemplo 4 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 1-3 para incluir o utilizar en donde el fonón es coherente y no disipativo en presencia del campo eléctrico.
- 15 El ejemplo 5 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 1-4 en donde el fonón es coherente y no disipativo según la presencia o ausencia del campo eléctrico.
- El ejemplo 6 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 1-5 en donde el fonón está localizado en un punto cuántico de los dos puntos cuánticos según el campo eléctrico aplicado.
- 20 El ejemplo 7 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 1-6 para incluir o utilizar en donde los dos puntos cuánticos están espaciados para crear un polaron y un excitón indirecto en presencia del campo eléctrico.
- El ejemplo 8 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 1-7 para incluir o utilizar en donde los dos puntos cuánticos incluyen un primero y un segundo punto cuántico, en donde el primer punto cuántico y el semiconductor proporcionar un estado continuo, en donde el segundo punto cuántico proporcionar un estado discreto, en donde el estado continuo y el estado discreto se acoplan cuando el desvío eléctrico se aplica a los contactos eléctricos, y en donde el desvío eléctrico proporciona un mecanismo de puerta para el acoplamiento de modo que cuando el desvío eléctrico incluye un primer potencial electro, el campo eléctrico inhibe la generación o transmisión de fonones, y cuando el desvío eléctrico incluye un segundo potencial electro diferente del primer potencial electro, el campo eléctrico fomenta la generación o transmisión de fonones.
- 25 30 El ejemplo 9 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 1-8 para incluir o utilizar en donde un fonón que se emite a través de la guía de onda fonónica está determinado por el campo eléctrico.
- El ejemplo 10 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 2-9 en donde un número de fonones que se transportaron o se generaron se puede ajustar mediante el ajuste de la energía de excitación, el ancho espectral, la densidad de la potencia, la coherencia de la energía de excitación o la duración de la energía de excitación.
- 35 El ejemplo 11 puede incluir o utilizar el tema (como por ej., un aparato que incluye un procesador que está configurado para realizar acciones, un método, un medio para realizar acciones, o una memoria de lectura del dispositivo que incluye instrucciones que, cuando el dispositivo las realiza, puede hacer que el dispositivo realice las acciones), como por ej., puede incluir o utilizar la disposición de un par de puntos cuánticos dentro de un semiconductor de modo que los estados cuánticos del par de puntos cuánticos resuenen en presencia de un campo eléctrico y acople una guía de onda fonónica al semiconductor.
- 40 El ejemplo 12 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema del ejemplo 11 para incluir o utilizar el acoplamiento de un conductor óptico, eléctrico o fonónico al semiconductor.
- 45 El ejemplo 13 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos uno de los ejemplos 11-12 para incluir o utilizar, en donde la disposición de los dos puntos cuánticos incluye situar un primer material de punto cuántico horizontalmente adyacente a un segundo material de punto cuántico mediante el uso de una técnica de crecimiento controlado del sitio.
- 50 El ejemplo 14 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 11-12 para incluir o utilizar, en donde la disposición de los dos puntos cuánticos incluye situar un primer material de punto cuántico sobre un sustrato del semiconductor para formar un primer punto cuántico del par de puntos cuánticos y situar un segundo material de punto cuántico sobre el primer material de punto cuántico para formar un segundo punto cuántico del par de puntos cuánticos.

El ejemplo 15 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema del ejemplo 14 para incluir o utilizar, situar una capa de material intrínseco sobre el sustrato semiconductor, en donde el primero y el segundo material de punto cuántico están separados mediante la capa de material semiconductor intrínseco.

5 El ejemplo 16 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 11-15 para incluir o utilizar en donde el primer material de punto cuántico incluye arseniuro de indio.

El ejemplo 17 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 15-16 para incluir o utilizar en donde el material semiconductor intrínseco incluye arseniuro de galio u otro semiconductor intrínseco.

10 El ejemplo 18 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 15-17 para incluir o utilizar en donde el material semiconductor intrínseco separa al primero y al segundo material de punto cuántico en menos de cien nanómetros.

15 El ejemplo 19 puede incluir o utilizar un tema (como por ej., un aparato que incluye un procesador que está configurado para realizar acciones, un método, un medio para realizar acciones, o una memoria de lectura del dispositivo que incluye instrucciones que, cuando el dispositivo las realiza, puede originar que el dispositivo ejecute las acciones), como por ej., puede incluir o utilizar un medio para proporcionar energía de excitación, un transistor fonónico que se acopla al medio para proporcionar energía de excitación. El transistor fonónico puede incluir (1) un medio eléctricamente conductor, (2) primeros y segundos elementos eléctricamente conductores que se acoplan al medio eléctricamente conductor, los primeros y los segundos elementos eléctricamente conductores están configurados para proporcionar un potencial eléctrico al medio eléctricamente conductor cuando el potencial eléctrico se aplica a los primeros y a los segundos elementos conductores, (3) los primeros y segundos puntos cuánticos incrustados en el medio eléctricamente conductor de modo que en presencia de un campo eléctrico que se proporciona mediante el potencial eléctrico, un estado del primer punto cuántico se acopla con un estado de una combinación del segundo punto cuántico y el medio eléctricamente conductor, (4) un elemento conductor que se acopla al medio para proporcionar energía de excitación, el elemento conductor está configurado para proporcionar la energía de excitación al medio eléctricamente conductor o (5) una primera guía de onda fonónica que se acopla al medio eléctricamente conductor, la guía de onda fonónica está configurada para transportar fonones generados dentro del medio eléctricamente conductor.

20 El ejemplo 20 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema del ejemplo 19 para incluir o utilizar en donde el medio para proporcionar energía de excitación incluye un láser y en donde el elemento conductor incluye una fibra óptica.

El ejemplo 21 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 19-20 para incluir o utilizar en donde el medio para proporcionar energía de excitación incluye un suministro de energía eléctrica y el elemento conductor incluye un cable.

35 El ejemplo 22 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 19-21 para incluir o utilizar en donde el elemento conductor incluye una segunda guía de onda fonónica.

El ejemplo 23 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 19-22 para incluir o utilizar en donde el campo eléctrico está sustancialmente paralelo a un eje a través del primero y el segundo punto cuántico.

40 El ejemplo 24 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 19-23 en donde el medio eléctricamente conductor incluye un diodo semiconductor.

El ejemplo 25 puede incluir o utilizar o puede, opcionalmente, combinarse con el tema de, al menos, uno de los ejemplos 19-24 en donde el primero y el segundo punto cuántico están encapsulados en un material eléctricamente aislante que está configurado para proteger el primero y el segundo punto cuántico del contacto directo con el medio eléctricamente conductor.

45 Las realizaciones que se ilustran en la presente se describen con suficiente detalle para permitir que los expertos en la técnica pongan en práctica las enseñanzas que se divulgaron.

Por lo tanto, la descripción detallada no debe tomarse en un sentido limitante y la invención queda definida solo por las reivindicaciones.

50 En este documento, los términos «un» o «una» se utilizan, como es común en los documentos de patentes, para incluir uno o más de uno, independientemente de cualquier otra instancia o uso de «al menos uno» o «uno o más». En este documento, el término «o» se utiliza para referirse a un no exclusivo o, de modo que «A o B» incluye «A pero no B», «B pero no A» y «A y B», a menos que se indique lo contrario. En este documento, los términos «que incluye» y «en el cual» se utilizan como los equivalentes en español simple de los respectivos términos «que comprende» y «en donde». Además, en las siguientes reivindicaciones, los términos «que incluye» y «que comprende» son no concluyentes, es decir, un sistema, un dispositivo, un artículo, una composición, una

55

formulación o un proceso que incluye elementos además de los mencionados para ese término en una reivindicación, y se los considera dentro del alcance de esa reivindicación. Además, los términos «primero», «segundo» y «tercero», etc., se utilizan únicamente como etiquetas y no están destinados a imponer requisitos numéricos sobre sus objetos.

- 5 Como se utiliza en la presente, un «-» (guión) que se utiliza cuando se refiere a un número de referencia significa «o» en el sentido no exclusivo que se menciona en el párrafo anterior, de todos los elementos dentro del rango indicado por el guión. Por ejemplo, 103A-B significa un «o» no exclusivo de los elementos en el rango (103A, 103B), de modo que 103A-103B incluye «103A pero no 103B», «103B pero no 103A» y «103A y 103B».

La invención se define mediante las reivindicaciones.

- 10 La memoria descriptiva y los dibujos son, en consecuencia, considerados de un modo ilustrativo y no restrictivo.

REIVINDICACIONES

1. Un transistor fonónico (200, 300) que comprende:
 - contactos eléctricos (216A, 216B ; 312, 314; 308);
 - dos puntos cuánticos (210A, 210B; 302A, 302B) incrustados en un semiconductor (212)
- 5 de modo que cuando se aplica un desvío eléctrico a los contactos eléctricos, un campo eléctrico que se produce por el desvío eléctrico es sustancialmente paralelo a un eje a través de los dos puntos cuánticos, en donde los dos puntos cuánticos incluyen un primero y un segundo punto cuántico,
 - en donde el primer punto cuántico y el semiconductor proporcionan un estado continuo, en donde el segundo punto cuántico proporciona un estado discreto,
 - 10 en donde el estado continuo y el estado discreto se acoplan cuando el desvío eléctrico se aplica a los contactos eléctricos,
 - y en donde el desvío eléctrico proporciona un mecanismo de activación de puerta para el acoplamiento de modo que cuando el desvío eléctrico incluye un primer potencial electro, el campo eléctrico inhibe la generación o transmisión de fonones, y cuando el desvío eléctrico incluye un segundo potencial electro diferente del primer
 - 15 potencial electro, el campo eléctrico fomenta la generación o transmisión de fonones; y
 - una guía de onda fonónica (226)
 - que se acopla al semiconductor, la guía de onda fonónica está configurada para transportar fonones a través de la misma.
2. El transistor fonónico de la reivindicación 1, que además comprende:
 - 20 un conductor (224) que está configurado para proporcionar energía de excitación al semiconductor, en donde el conductor es un conductor óptico, un conductor eléctrico o un conductor fonónico.
3. El transistor fonónico de una de las reivindicaciones 1-2, en donde una línea de campo eléctrico del campo eléctrico es coaxial con el eje a través de los dos puntos cuánticos.
4. El transistor fonónico de una de las reivindicaciones 1-3, en donde un fonón está localizado en los puntos
- 25 cuánticos como una función del campo eléctrico.
5. El transistor fonónico de la reivindicación 4, en donde los dos puntos cuánticos están espaciados para crear un polaron y un excitón indirecto en presencia del campo eléctrico.
6. El transistor fonónico de una de las reivindicaciones 1-5, en donde un fonón que se emite a través de la guía de onda fonónica está determinado por el campo eléctrico.
- 30 7. Un sistema de control del fonón (700) que comprende:
 - un medio para proporcionar energía de excitación (704, 712);
 - un transistor fonónico que se acopla al medio para proporcionar energía de excitación, el transistor fonónico comprende:
 - un medio eléctricamente conductor (212);
 - 35 primeros y segundos elementos eléctricamente conductores (216A, 216B ; 312, 314; 308)
 - eléctricamente acoplados al medio eléctricamente conductor, los primeros y los segundos elementos eléctricamente conductores están configurados para proporcionar un potencial eléctrico al medio eléctricamente conductor cuando el potencial eléctrico se aplica a los primeros y a los segundos elementos conductores;
 - primeros y segundos puntos cuánticos (210A, 210B; 302A, 302B) incrustados en el medio eléctricamente
 - 40 conductor
 - de modo que en presencia de un campo eléctrico que se proporciona mediante el potencial eléctrico, un estado del primer punto cuántico se acopla con un estado de una combinación del segundo punto cuántico y el medio eléctricamente conductor;
 - un elemento conductor (224)
 - 45 que se acopla al medio para proporcionar energía de excitación, el elemento conductor está configurado

para proporcionar la energía de excitación al medio eléctricamente conductor; y

una primera guía de onda fonónica (226)

que se acopla al medio eléctricamente conductor, la primera guía de onda fonónica está configurada para transportar fonones que se generan dentro del medio eléctricamente conductor.

5 8. El sistema de la reivindicación 7, en donde el medio para proporcionar energía de excitación incluye un láser y en donde el elemento conductor incluye una fibra óptica.

9. El sistema de una de las reivindicaciones 7-8, en donde el medio para proporcionar energía de excitación incluye un suministro de energía eléctrica y el elemento conductor incluye un cable.

10 10. El sistema de una de las reivindicaciones 7-9, en donde el elemento conductor incluye una segunda guía de onda fonónica.

11. El sistema de una de las reivindicaciones 7-10, en donde el campo eléctrico es sustancialmente paralelo a un eje a través de los primeros y los segundos puntos cuánticos.

12. El sistema de una de las reivindicaciones 7-11, en donde el medio eléctricamente conductor incluye un diodo semiconductor.

15

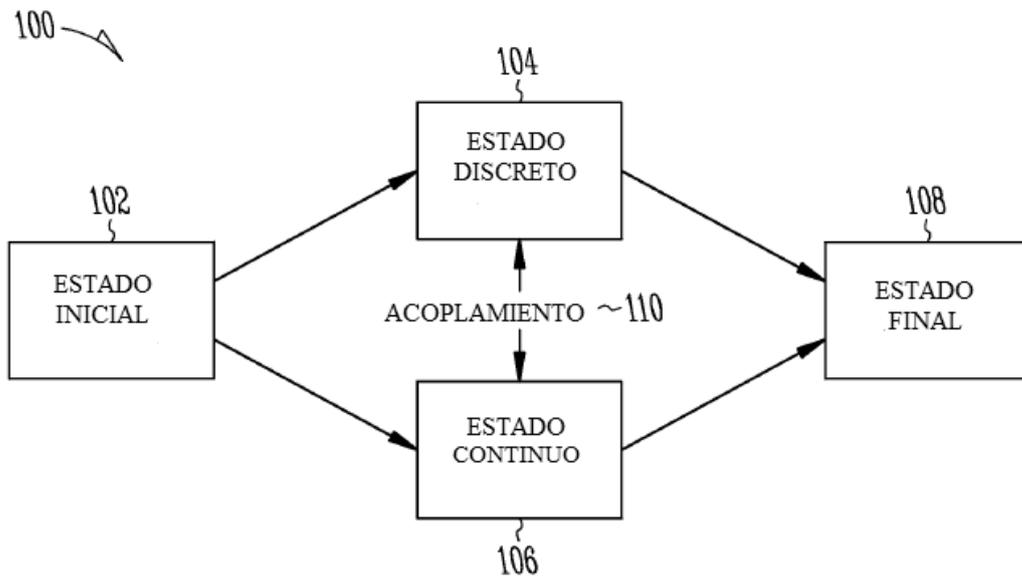


Fig. 1

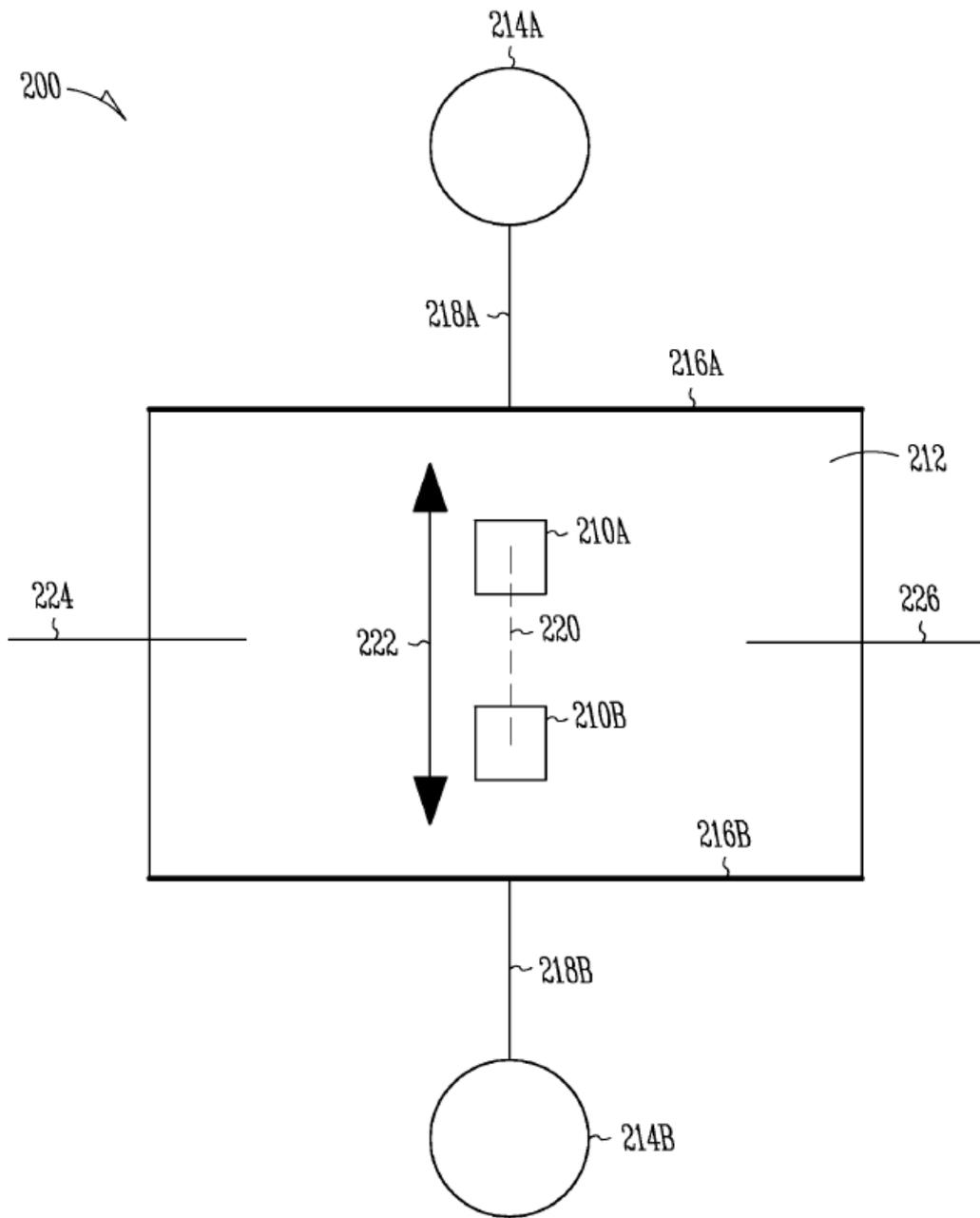
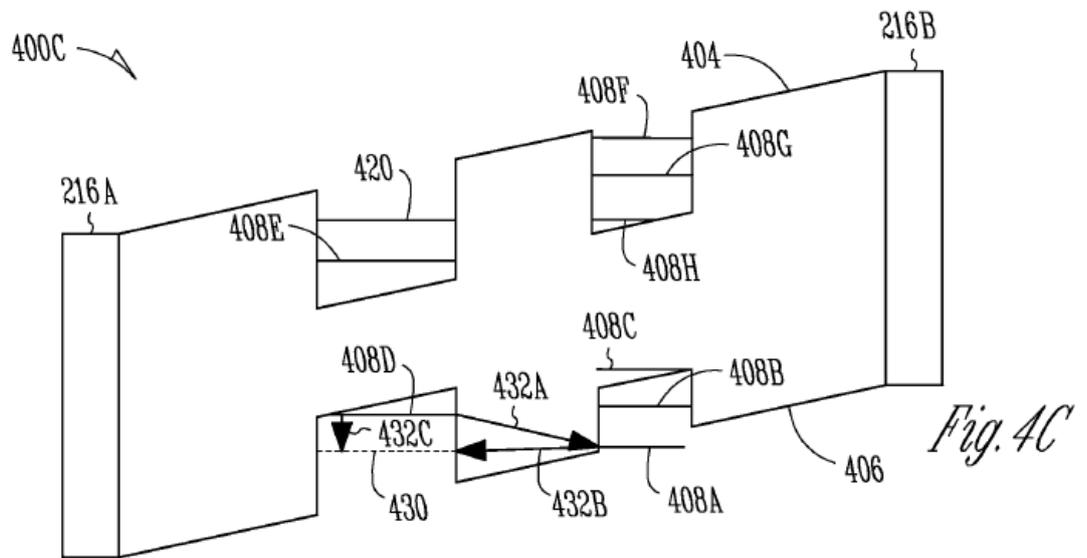
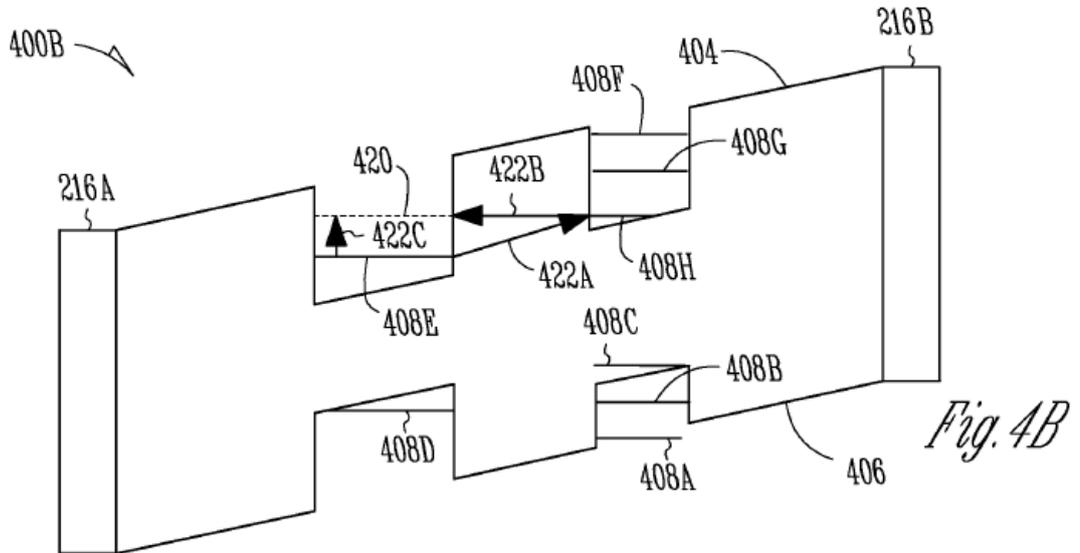
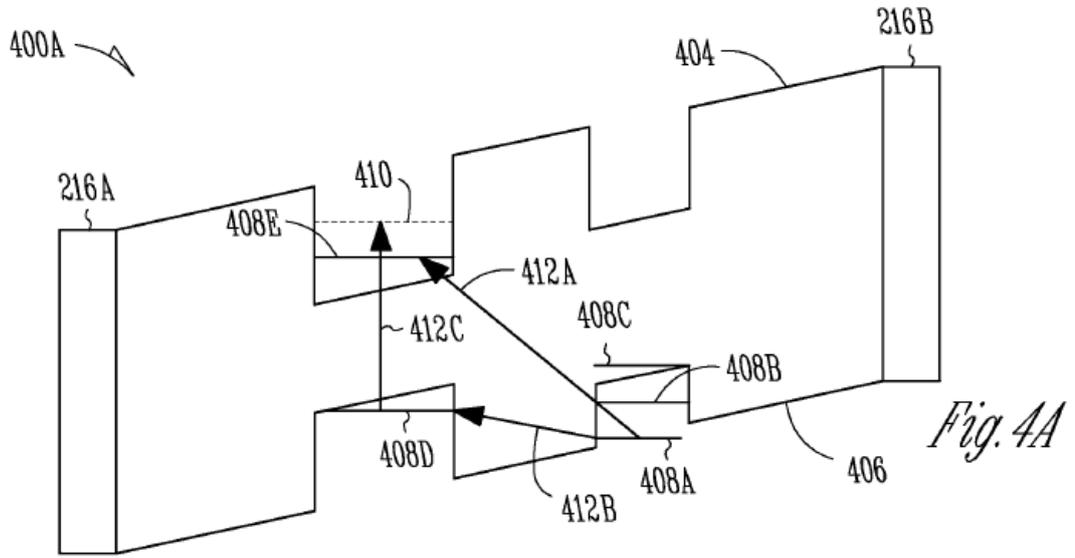


Fig. 2



Fig. 3



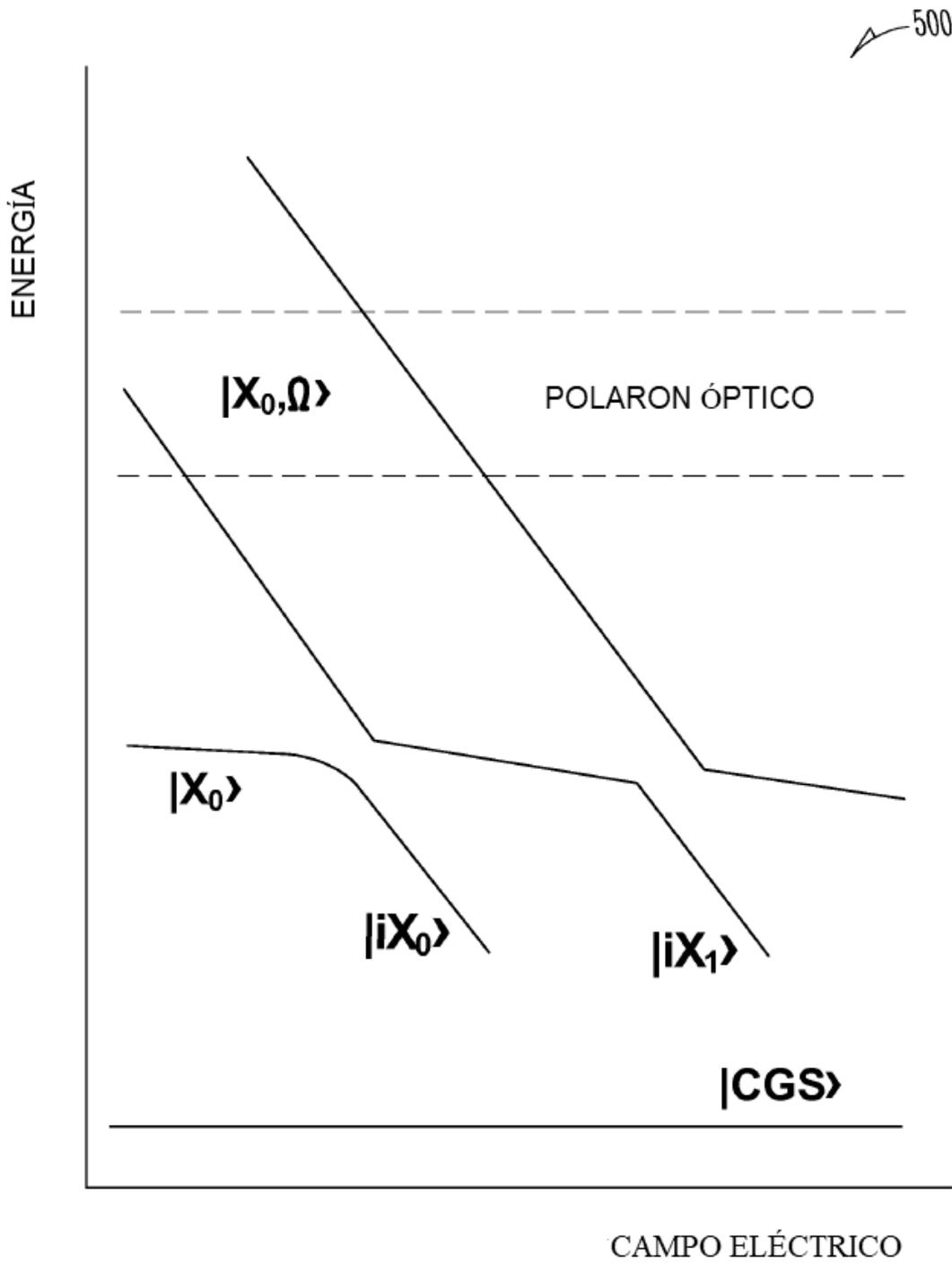


Fig. 5

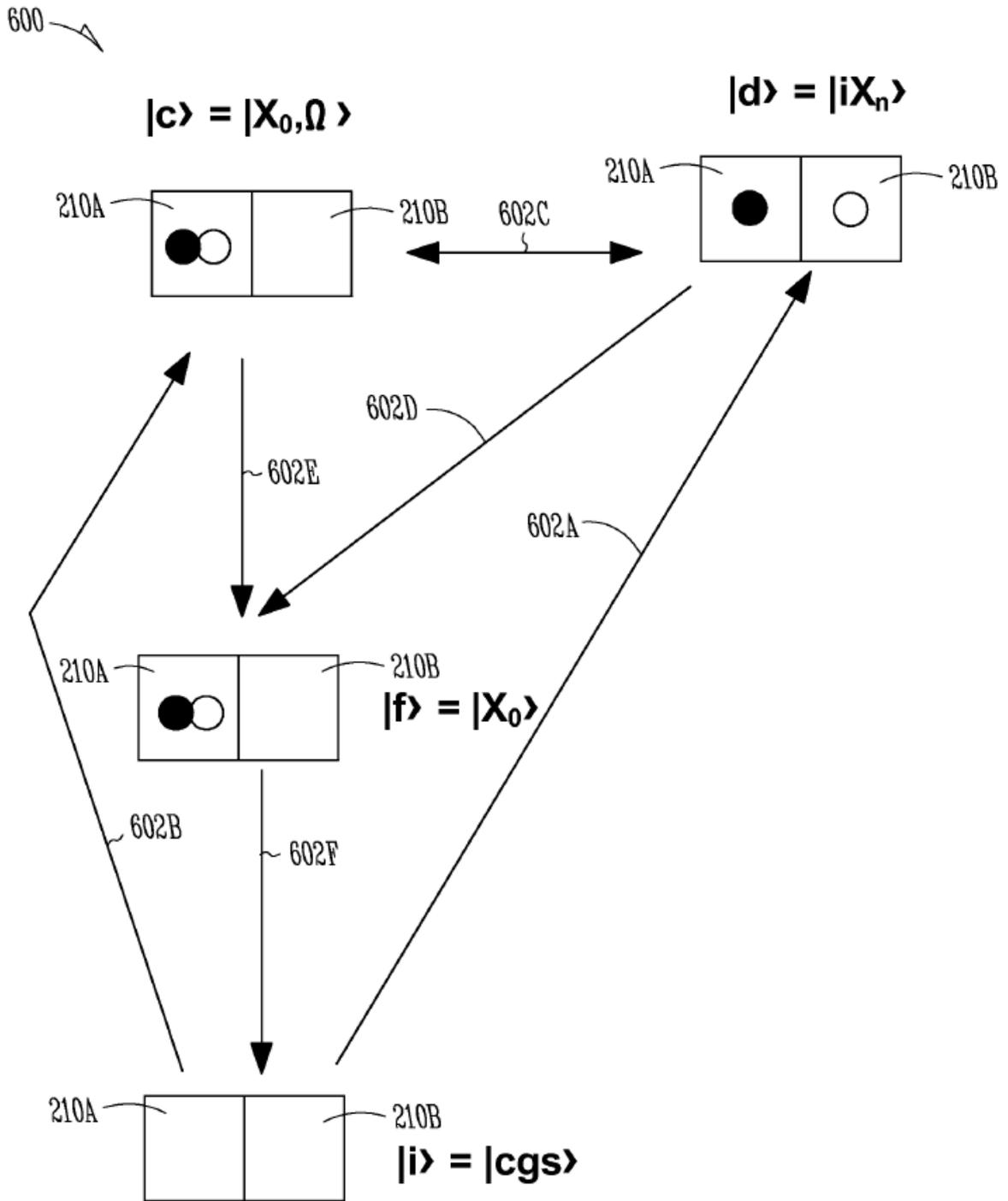


Fig. 6

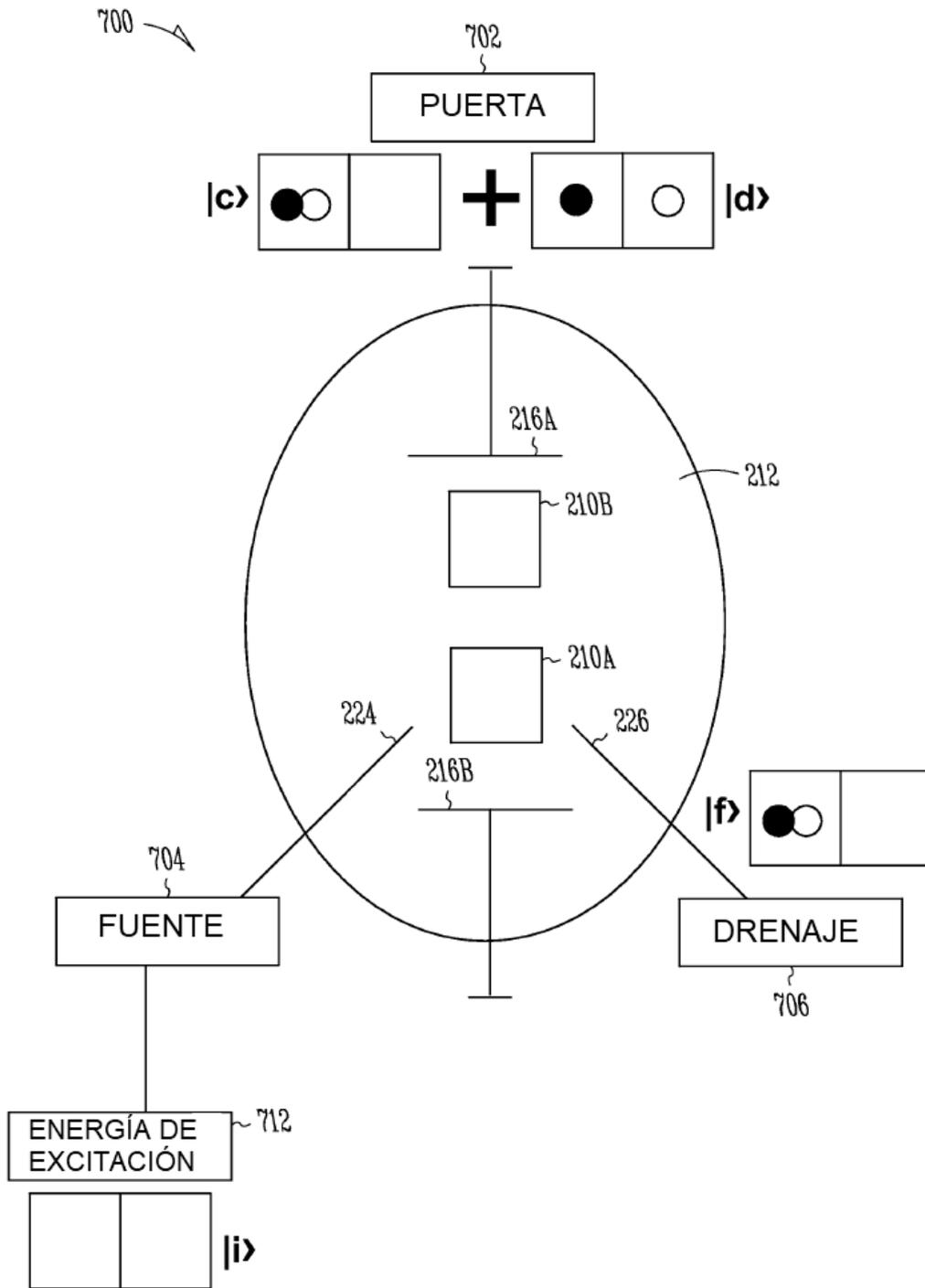


Fig. 7

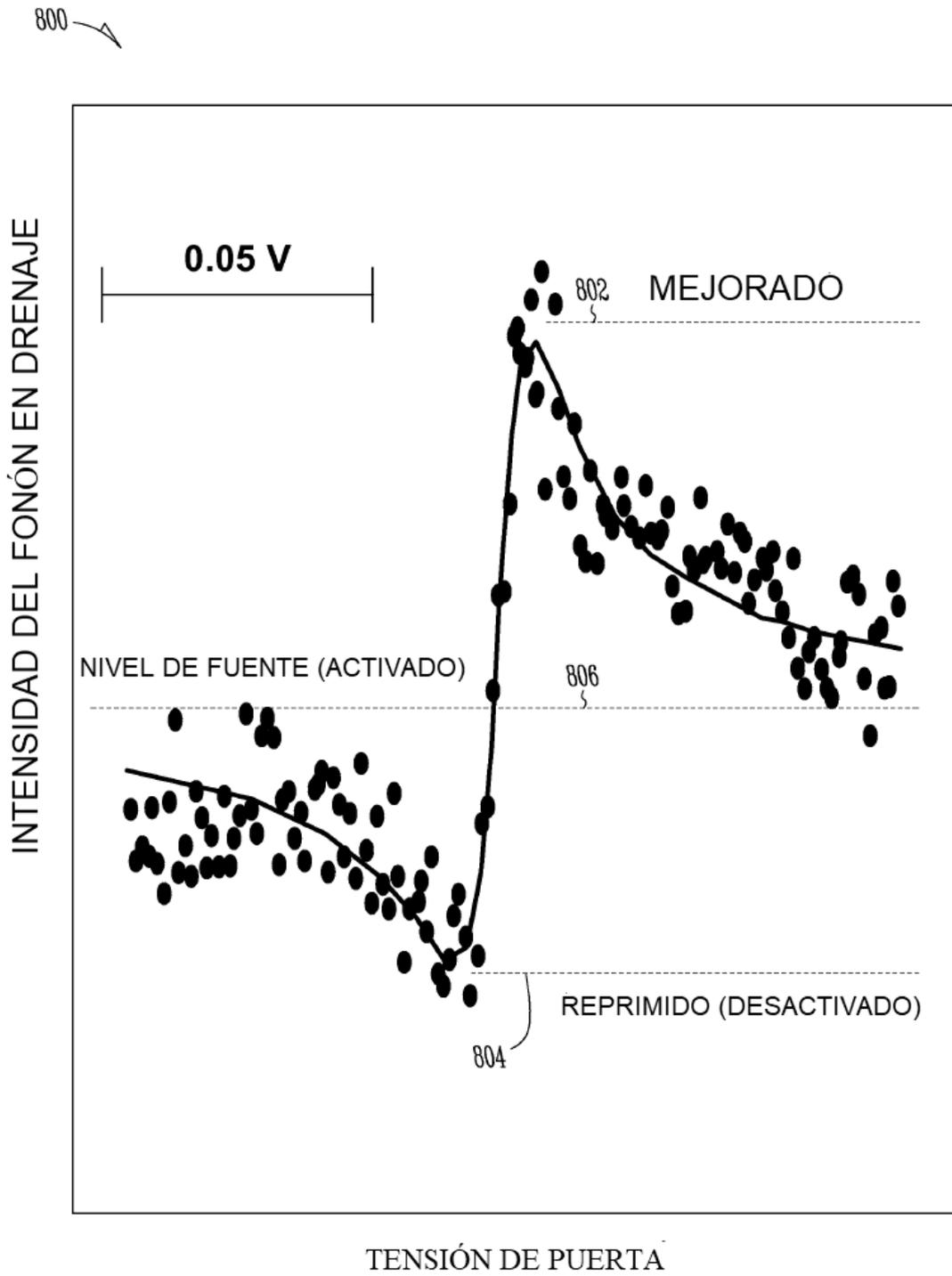


Fig. 8

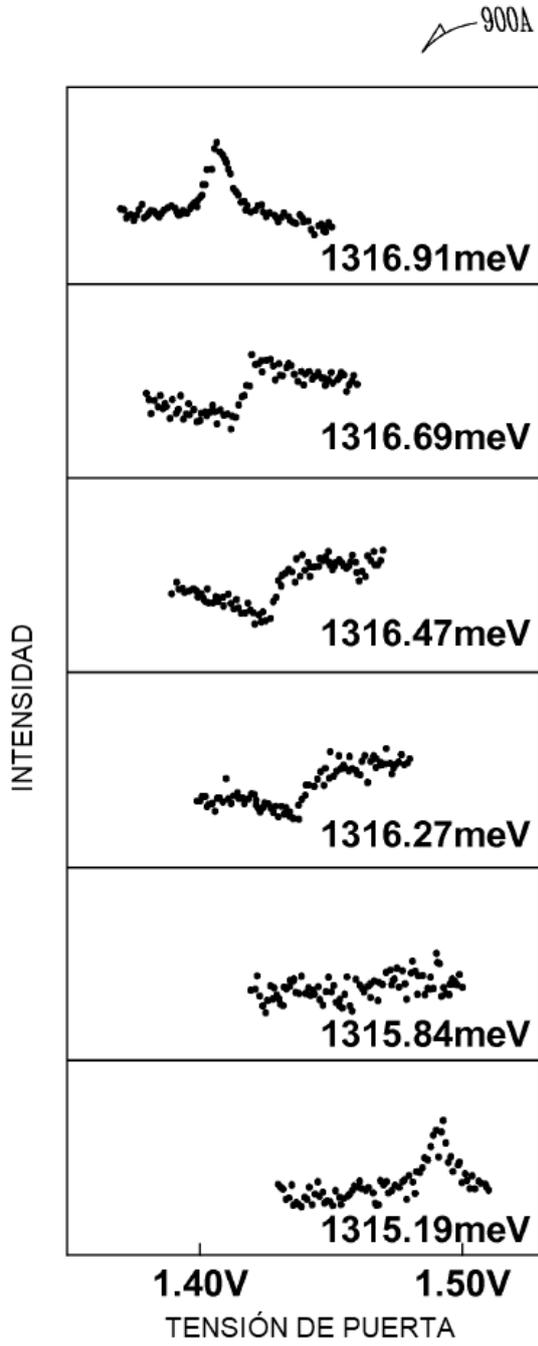


Fig. 9A

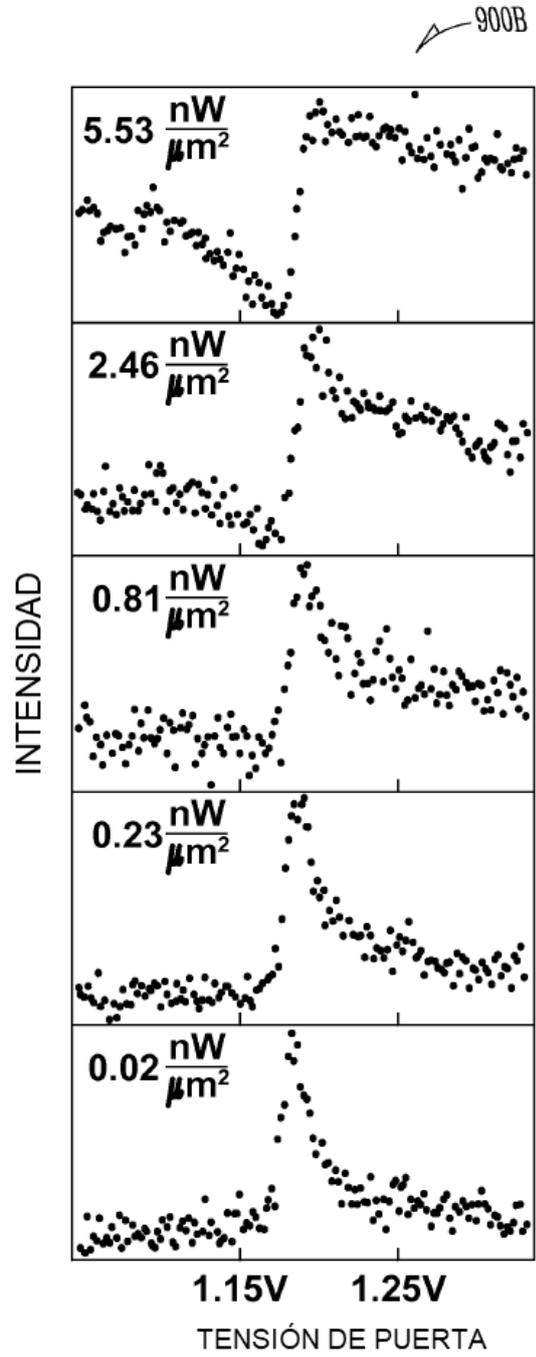


Fig. 9B

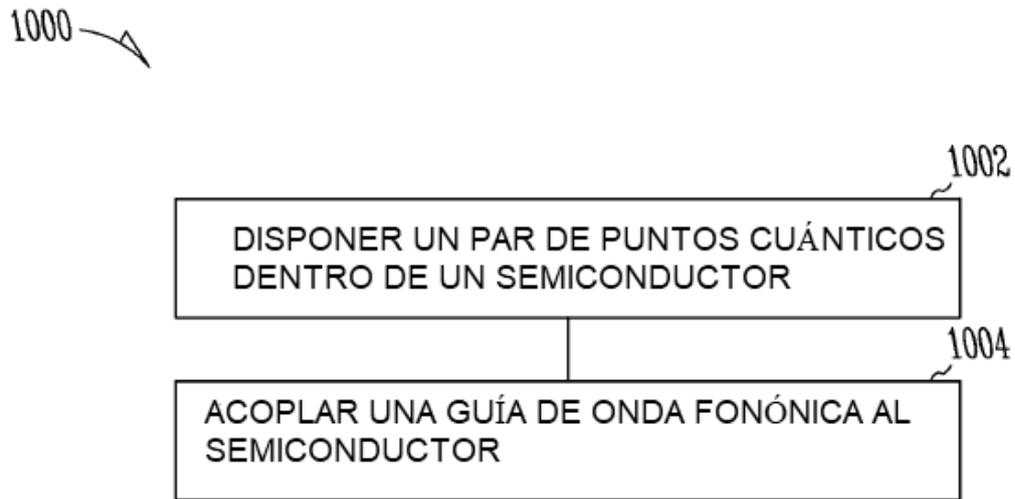


Fig. 10

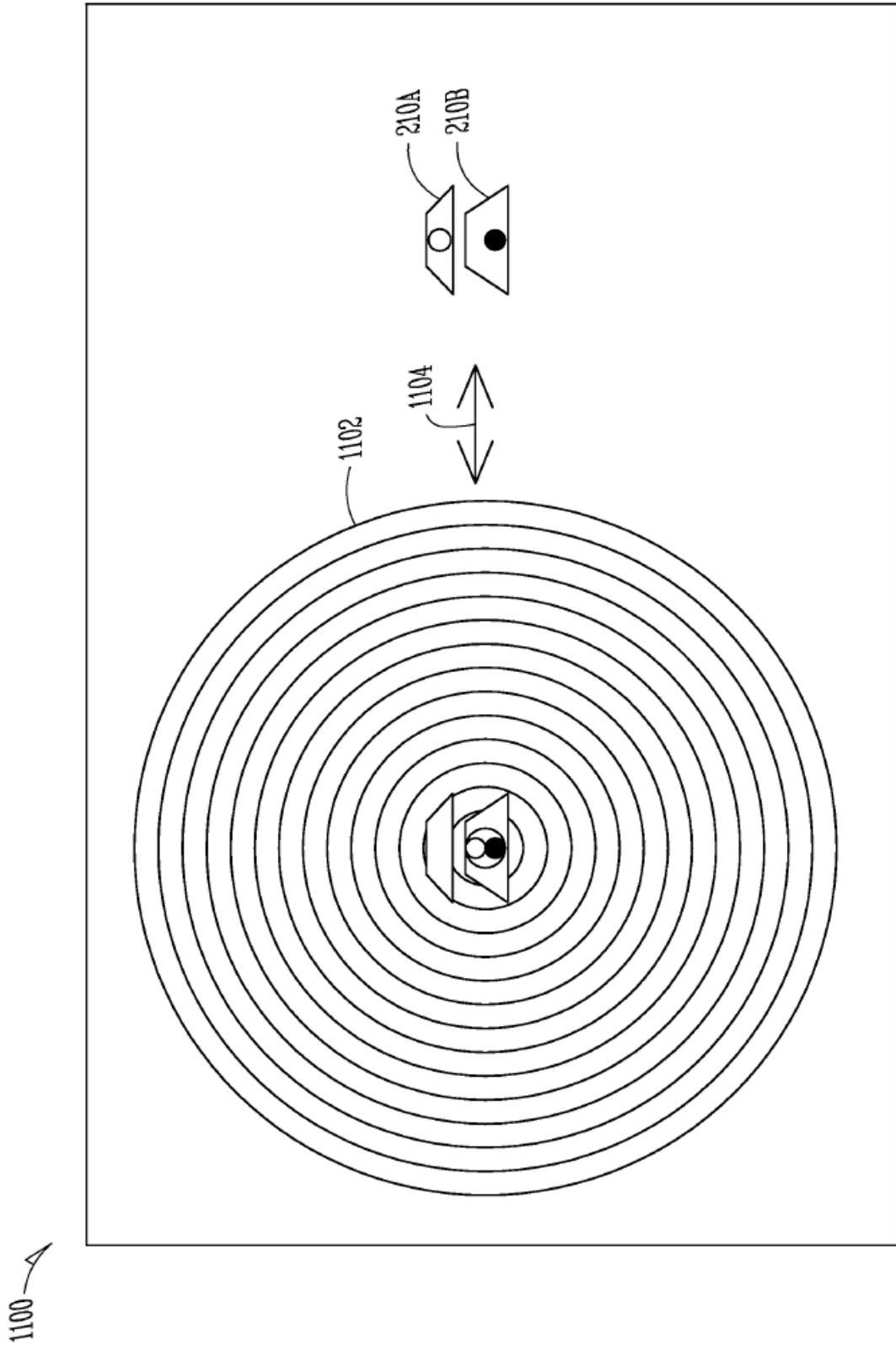


Fig. 11