

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 622**

51 Int. Cl.:

**H02S 10/10** (2014.01)

**H01L 31/0352** (2006.01)

**H01L 31/07** (2012.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.08.2013 PCT/US2013/053919**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.02.2014 WO14025865**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.08.2013 E 13827970 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2017 EP 2828898**

54 Título: **Aparato que incluye células solares que tienen núcleos de nano-hilos de óxido de titanio o carburo de silicio y envolturas de grafeno y uso del mismo**

30 Prioridad:

**10.08.2012 US 201261681873 P**

**20.11.2012 US 201213682229**

**03.06.2013 US 201313908215**

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

**14.02.2018**

73 Titular/es:

**DIMEROND TECHNOLOGIES, LLC (50.0%)**

**1324 59th Street**

**Downers Grove IL 60515, US y**

**GRUEN, DIETER M. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**GRUEN, DIETER M.**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 654 622 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

Aparato que incluye células solares que tienen núcleos de nano-hilos de óxido de titanio o carburo de silicio y envolturas de grafeno y uso del mismo

### Campo técnico

5 La presente invención se refiere en general a la generación de electricidad usando energía solar.

### Antecedentes

En la técnica, se conocen diversas modalidades de conversión de energía solar. Por ejemplo, se conoce el empleo de uniones fotovoltaicas con el fin de convertir la luz solar directamente en electricidad. Se conoce también la conversión de luz solar en calor y, a continuación, la utilización de ese calor para generar electricidad.

10 Sin embargo, el conocimiento de dichos enfoques no es en sí mismo una panacea. Surgen diversos problemas de implementación y de funcionamiento con cada una de dichas modalidades de conversión de energía solar. La eficiencia de conversión, por ejemplo, varía entre las diferentes modalidades, con muchas modalidades postuladas con un rendimiento bastante bajo y con ninguna de ellas consiguiendo una alta eficiencia de conversión. A su vez, esas eficiencias de conversión relativas tienen un impacto bastante directo sobre el rendimiento de la inversión que una empresa puede esperar recibir por adoptar un determinado sistema de conversión de energía solar.

15 La capacidad de distribución es otro ejemplo. La capacidad de distribución se refiere a una capacidad de contribuir con electricidad a una red de distribución en momentos de necesidad. Debido a que la conversión de energía solar requiere la presencia del sol, la conversión de energía solar en electricidad no puede ocurrir durante la noche en ausencia de un mecanismo de almacenamiento de energía. Sin embargo, el almacenamiento de energía puede ocasionar nuevas preocupaciones. El uso de baterías a gran escala para el almacenamiento de energía, por ejemplo, es relativamente costoso en una diversidad de maneras.

20 El documento US 4.320.246 A describe una tubería térmica adecuada para su uso como un colector solar que tiene células fotovoltaicas montadas sobre la misma.

### Sumario

25 Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato según la reivindicación 1 adjunta.

Según un segundo aspecto la presente invención, se proporciona un procedimiento según la reivindicación 8 adjunta.

Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones o implementaciones particulares.

### Breve descripción de los dibujos

30 Para permitir una mejor comprensión de la presente invención, y para mostrar la manera en la que puede llevarse a cabo la misma, a continuación, se hará referencia, solo a modo de ejemplo, a los dibujos adjuntos, en los que:

La Fig. 1 comprende una vista esquemática en sección, en alzado lateral, de una estructura de núcleo/envoltura esférica;

La Fig. 2 comprende una vista esquemática en alzado lateral de una estructura de núcleo/envoltura en la que el núcleo comprende una pluralidad de nano-partículas hibridadas entre sí;

La Fig. 3 comprende una vista en planta superior de nano-hilos;

35 La Fig. 4 comprende una vista esquemática en perspectiva de una estructura de núcleo/envoltura en la que el núcleo es un nano-hilo como en la presente invención;

La Fig. 5 comprende una vista en perspectiva de un núcleo que comprende un nano-tubo;

La Fig. 6 comprende una vista en planta superior de un núcleo que comprende nano-fibrillas;

La Fig. 7 comprende una vista en planta superior de un núcleo que comprende un nano-tejido;

40 La Fig. 8 comprende una vista esquemática en alzado lateral configurada según diversas realizaciones de la invención;

La Fig. 9 comprende una vista esquemática en alzado lateral de células solares dispuestas sobre una lente de Fresnel;

La Fig. 10 comprende una vista esquemática en perspectiva configurada según diversas realizaciones de la invención;

La Fig. 11 comprende una vista esquemática en alzado lateral configurada según diversas realizaciones de la invención; y

La Fig. 12 comprende una vista de diagrama de bloques configurada según diversas realizaciones de la invención.

### Descripción detallada

5 La presente descripción proporciona un aparato relacionado con células solares que tienen núcleos de nano-hilos de carburo de silicio y/o de nano-hilos de óxido de titanio y exteriores de grafeno y con la conversión por co-generación de la luz en electricidad descrita más detalladamente a continuación, particularmente cuando se estudia junto con los dibujos adjuntos.

10 Los elementos en las figuras se ilustran en aras de la simplicidad y la claridad y no han sido dibujados necesariamente a escala. Por ejemplo, las dimensiones y/o el posicionamiento relativo de algunos de los elementos en las figuras pueden estar exagerados con relación a otros elementos para ayudar a mejorar la comprensión de diversas realizaciones de la presente invención. Además, frecuentemente, los elementos comunes, pero bien comprendidos, que son útiles o necesarios en una realización comercialmente factible no se representan con el fin de facilitar una visión menos obstruida de estas diversas realizaciones de la presente invención. Ciertas acciones y/o etapas pueden describirse o representarse en un orden de ocurrencia particular, mientras que las personas con conocimientos en la materia entenderán que dicha especificidad con respecto a la secuencia no es  
15 realmente necesaria. Los términos y las expresiones usados en la presente memoria tienen el significado técnico ordinario acordado para dichos términos y expresiones por las personas con conocimientos en el campo técnico establecido anteriormente, excepto cuando en la presente memoria se establecen significados específicos diferentes.

20 En general, en virtud de estas diversas realizaciones, una pluralidad de células solares pueden comprender, cada una, un núcleo de nano-hilo de óxido de titanio que tiene grafeno dispuesto sobre el mismo. Mediante un enfoque, esta pluralidad de células solares puede comprender, al menos en parte, una lámina de titanio que tiene la pluralidad de células solares dispuestas sobre la misma, en la que al menos la mayoría de las células solares están alineadas sustancialmente paralelas entre sí y sustancialmente perpendiculares a la lámina de titanio.

25 Un aparato correspondiente puede comprender una primera modalidad de conversión de energía solar que está dispuesta entre una fuente de luz y una segunda modalidad de conversión de energía solar. Configuradas de esta manera, tanto la primera modalidad de conversión de energía solar como la segunda modalidad de conversión de energía solar pueden generar electricidad de manera independiente usando una misma fuente de luz (tal como se usa en la presente memoria, se entenderá que esta referencia a una "segunda" modalidad no se refiere meramente a una modalidad numéricamente adicional o complementaria, sino que se entenderá que hace referencia a una  
30 modalidad distinta y de tipo diferente en comparación con la primera modalidad de conversión de energía solar).

35 Mediante un enfoque, la primera modalidad de conversión de energía solar comprende una modalidad de conversión de energía solar basada en grafeno, tal como las células solares indicadas anteriormente, que comprenden cada una un núcleo de nano-hilos de óxido de titanio que tiene grafeno dispuesto sobre el mismo. La modalidad de conversión de energía solar basada en grafeno puede comprender un transductor fotovoltaico que convierte directamente la luz en electricidad. Mediante un enfoque, la segunda modalidad de conversión de energía solar sirve para convertir el calor en electricidad. En tal caso, la modalidad de conversión de energía solar basada en grafeno puede disponerse directamente sobre una superficie de absorción de calor que comprende una parte de la segunda modalidad de conversión de energía solar. Esa superficie de absorción de calor, por ejemplo, puede comprender un conducto que transporta un fluido.

40 Los fluidos empleados en dicha segunda modalidad de conversión de energía solar pueden estar a una temperatura superior a 350 grados centígrados. Por supuesto, dichas temperaturas son bastante hostiles para el funcionamiento de muchos dispositivos fotovoltaicos ordinarios que emplean silicio o arseniuro de galio. Sin embargo, el grafeno es capaz de operar de una manera satisfactoria a dichas temperaturas. Por consiguiente, puede esperarse que una unión fotovoltaica basada en grafeno mantenga la funcionalidad fotovoltaica a un nivel  
45 de conversión de energía útil a pesar de las altas temperaturas de la segunda modalidad de conversión de energía solar adyacente.

50 Por consiguiente, configurado de esta manera, dicho sistema comprende un sistema de co-generación para convertir la luz en electricidad. Dependiendo del diseño empleado, la eficiencia de conversión relativa de cada modalidad puede ser relativamente similar. Mediante un enfoque, la electricidad generada por la modalidad de conversión de energía solar basada en grafeno puede ser proporcionada en tiempo real a una red de distribución. Sin embargo, el calor generado por la segunda modalidad de conversión de energía solar puede ser utilizado inmediatamente para generar electricidad o puede ser almacenado y utilizado posteriormente (por ejemplo, durante un período de carga máxima durante la tarde y/o durante las horas de la tarde) para generar electricidad para contribuir a la red de distribución.

55 Dicha instalación de co-generación ofrece otras ventajas además de la capacidad de distribución mejorada

indicada anteriormente. Por ejemplo, no es necesario que el coste relativo de dicha instalación de co-generación sea apreciablemente mayor que el coste de construir y operar la segunda modalidad de conversión de energía solar como un sistema aislado. Hasta cierto punto, muy real, el presente conocimiento permite potenciar la disponibilidad de dicho sistema aumentando enormemente la producción de energía del sistema global mientras se mejora enormemente la capacidad de desplazar temporalmente la distribución de la electricidad generada. Por consiguiente, las presentes enseñanzas ofrecen un enfoque altamente flexible para generar y distribuir electricidad.

El grafeno es una sustancia fabricada a partir de carbono puro, con átomos dispuestos en un patrón hexagonal regular similar al grafito, pero en una lámina con un espesor de un átomo (conduciendo, de esta manera, a la descripción "bidimensional" del grafeno, usada frecuentemente). El grafeno es el elemento estructural básico de muchos alótropos de carbono, incluyendo grafito, carbón de leña, nano-tubos de carbono y fullerenos. El grafeno tiene una serie de propiedades ópticas, eléctricas y térmicas interesantes y ha sido el objeto de muchas investigaciones recientes. Por ejemplo, el Premio Nobel de Física del año 2010 se concedió a investigadores que trabajan en experimentos "innovadores" relacionados con el grafeno.

Una única capa de grafeno es casi transparente. Dicho esto, sin embargo, una pila de cuarenta y tres capas de grafeno tiene una opacidad de aproximadamente el noventa y nueve por ciento y esencialmente absorbe completamente la luz en las regiones visible y de infrarrojo cercano del espectro solar, a pesar de tener un espesor de película de menos de quince nanómetros.

Con referencia ahora a los dibujos, la Fig. 1 representa un objeto 100 que tiene un núcleo 101 que consiste esencialmente en un material de banda prohibida ancha. Esta referencia a un material de banda prohibida ancha se entenderá que hace referencia a un material que tiene una banda de valencia y una banda de conducción que difieren en al menos dos electronvoltios. Mediante un enfoque, este núcleo 101 puede comprender óxido de titanio. La referencia al núcleo 101 que consiste esencialmente en este material se entenderá que se refiere a un núcleo 101 que es, en gran parte, puro en este sentido, pero que puede incluir trazas de impurezas (y que puede incluir también, por ejemplo, dopantes de tipo n o de tipo p introducidos intencionalmente diseñados para provocar un rendimiento eléctrico específico).

En la Fig. 1, el núcleo 101 comprende una esfera. Tal como se mostrará a continuación, de hecho, el núcleo 101 puede asumir cualquiera de entre una amplia diversidad de formas regulares e irregulares. Dicho esto, mediante un enfoque, el núcleo 101 tiene al menos una dimensión biseccional a escala nanométrica que no excede, por ejemplo, cien nanómetros. Sin embargo, este requisito no especifica que todas las dimensiones del núcleo 100 estén limitadas de esta manera. Cuando el núcleo 101 comprende, por ejemplo, un nano-hilo, el núcleo 101 podría tener una longitud longitudinal superior a muchos cientos de nanómetros (no es necesario que la bisectriz indicada divida el núcleo 101 en dos mitades iguales. Por el contrario, tal como se usa en la presente memoria, una dimensión de referencia es una "bisectriz" si la línea correspondiente pasa a través de puntos opuestos en la periferia e incluye un centro geométrico del núcleo 101 según un marco de referencia correspondiente. Por ejemplo, cuando el núcleo 101 comprende un cilindro, un diámetro de sección transversal lateral de ese cilindro puede servir como una bisectriz para estos propósitos).

Los objetos 100 representados tienen también una envoltura 102 que consiste esencialmente en grafeno dispuesto de manera conformada alrededor de al menos una parte sustancial del núcleo. Tal como se usa en la presente memoria, se entenderá que esta referencia a "sustancial" se refiere a una cantidad superior al cincuenta por ciento.

El espesor de esta envoltura 102 de grafeno puede variar con la configuración de la aplicación. Sin embargo, para muchos propósitos, el espesor puede variar de aproximadamente una capa a aproximadamente cuarenta y tres capas más o menos. Por consiguiente, para muchos propósitos, el espesor de la envoltura 102 es muy delgado. En general, cuando se emplea en un entorno fotovoltaico, no es necesario que el número de capas sea mayor de lo necesario para conseguir una cantidad de absorción de luz determinada (por ejemplo, cuarenta y tres capas absorberán casi toda la luz incidente). En la presente memoria, se presumirá que la envoltura 102 tiene un espesor esencialmente uniforme para un objeto 100 determinado, pero estas enseñanzas acomodarán variaciones en estos aspectos si se desea y/o según sea apropiado para las necesidades de una configuración de aplicación determinada. Por ejemplo, en algunas configuraciones de aplicación puede ser útil que la envoltura 102 no tenga más de aproximadamente diez capas de grafeno.

En general, las tasas de recombinación de electrón/hueco dependen de una diversidad de factores. Con el fin de conseguir una célula solar de alta eficacia, el material seleccionado para el núcleo 101 puede elegirse para optimizar la separación de carga con preferencia sobre la recombinación de electrón/hueco.

Mediante un enfoque, la envoltura 102 es aplicada de manera conformada al núcleo 101 poniendo en contacto un reactivo a temperaturas elevadas con nano-polvos de diferentes compuestos tales como boruros, carburos, nitruros, óxidos y sulfuros. Los ejemplos típicos de dichos compuestos son carburo de boro, carburo de silicio, nitruro de silicio, óxido de silicio, óxido de titanio, óxido de zinc, sulfuro de hierro, etc.

Más particularmente, mediante un enfoque, la síntesis correspondiente lleva a cabo reacción o las reacciones usando nano-polvos seleccionados por tamaño y forma del material seleccionado para el núcleo 101. Mediante la reacción, las

moléculas de hidrocarburo se descomponen en las superficies de los nano-polvos para formar la capa o las capas de grafeno que comprenden la envoltura 102. En particular, los nano-materiales indicados anteriormente actúan como catalizadores para que las reacciones formen grafeno y resultan en nanoestructuras núcleo/envoltura, altamente inusuales en las que la envoltura 102 es grafeno y los núcleos 101 están compuestos de nano-partículas del material de partida particular. Las adiciones de dopantes durante o después de la síntesis permiten su incorporación a la envoltura o la funcionalización de la envoltura para producir los niveles de dopante deseados.

Mediante un enfoque, las reacciones para formar el grafeno ocurren con una cinética de primer orden a temperaturas que son típicamente de aproximadamente 1.000 grados centígrados más bajas en presencia de los nano-polvos que en ausencia de los mismos. Se cree que al menos una razón de esta dramática disminución en la temperatura de reacción es la presencia omnipresente de defectos de diversos tipos sobre las superficies de los nano-materiales. Debido a la gran área superficial de los nano-materiales (en términos relativos) y a la reducción de las energías de activación de las reacciones debido a la presencia de defectos, la cinética de reacción es rápida a temperaturas de reacción moderadas.

Las tasas de reacción están determinadas, en gran medida, por la temperatura y, por supuesto, la temperatura puede ser controlada cuidadosamente. Sin embargo, el espesor de la envoltura 102 (es decir, el número de capas de grafeno) es controlado en gran medida por el periodo de tiempo durante el cual se permite que la reacción transcurra a una temperatura controlada. Por lo tanto, un mecanismo de crecimiento capa-por-capas es inherente al procedimiento de síntesis descrito en la presente memoria, convirtiéndolo en una manera muy poderosa de controlar con precisión un parámetro clave que puede servir como un determinante importante del rendimiento final del material en un dispositivo de célula solar.

Por lo tanto, este aspecto extremadamente versátil del procedimiento de síntesis de una etapa descrito permite ajustar, además del tamaño y de la composición del núcleo, el parámetro de espesor de la envoltura para poder optimizar la foto-física del grafeno. Tal como se ha indicado anteriormente, la foto-física del grafeno (que implica tiempos de vida de transición al estado excitado y cinéticas de transporte de carga) puede ser muy útil para conseguir una célula solar altamente eficiente y comercialmente viable. Por ejemplo, una película que consiste en 20 nano-partículas (cada una con un tamaño de aproximadamente diez a ochenta nanómetros) cada una de las cuales tiene una cubierta 102 de grafeno monocapa tendría un espesor de aproximadamente 200-1.600 nanómetros y absorbería aproximadamente el noventa y cinco por ciento de la luz incidente. Se esperaría que dicha una célula solar de película delgada operara a eficiencias considerablemente mayores, siendo al mismo tiempo considerablemente menos costosa que las células solares de la técnica anterior.

Los ejemplos anteriores suponían la encapsulación de partículas pequeñas individuales con una envoltura de grafeno. Sin embargo, estas enseñanzas se adaptarán a otros enfoques. Mediante un enfoque, por ejemplo, el núcleo 101 puede comprender una pluralidad de nano-partículas 201 hibridadas entre sí, tal como se ilustra en la Fig. 2. En este ejemplo simple, el nano-hilo resultante del material de banda prohibida ancha comprende tres nano-partículas 201 conectadas de manera secuencial. Por supuesto, se entenderá que dicho nano-hilo puede comprender un número considerablemente mayor de dichas nano-partículas 201. Por consiguiente, aunque la sección transversal lateral de dicho nano-hilo puede permanecer dentro de la limitación dimensional biseccional de cien nanómetros indicada anteriormente, la longitud del nano-hilo puede ser esencialmente de cualquier dimensión de elección. Mediante un enfoque, las envolturas se aplican posteriormente a la etapa de hibridación.

A modo de ejemplo más específico (pero sin pretender ninguna limitación específica por medio de estos detalles correspondientes), los nano-hilos de carburo de silicio pueden ser sintetizados en una diversidad de maneras. Por ejemplo, los procedimientos de deposición de vapor químico pueden servir en estos aspectos. Como otro ejemplo, las nano-partículas de carburo de silicio pueden ser calentadas a 2.000K en presencia de un catalizador, tal como polvo de hierro.

A su vez, las envolturas 102 de grafeno que rodean los nano-hilos pueden ser sintetizadas a un espesor predeterminado mediante una reacción de los nano-hilos con sustancias carbonosas a temperaturas elevadas, tal como ya se ha indicado, o calentando los nano-hilos en vacío a 1.500K o en una barra de argón a 2.000K. Un procedimiento de síntesis sencillo y económicamente atractivo para objetos 100 que tienen un núcleo 101 de nano-hilo de carburo de silicio y una envoltura 102 de grafeno comprendería calentar polvos comerciales de carburo de silicio a 2000K en argón para hacer crecer los nano-hilos, después de lo cual el catalizador se eliminaría y, a continuación, el material resultante se recalentaría a 2000K en argón para formar capas de grafeno epitaxiales a un espesor y un nivel de dopaje predeterminados.

Cabe señalar y destacar que estas enseñanzas se acomodarán usando núcleos 101 que tienen cualquiera de entre una amplia diversidad de formas, mientras que en la presente invención los núcleos corresponden a nano-hilos. Con referencia a la Fig. 3, por ejemplo, los núcleos 101 pueden comprender nano-hilos 300. Tal como se ilustra en la Fig. 4, una envoltura 102 de grafeno de un espesor deseado puede entonces aplicarse de manera conformada a dicho núcleo 101. A modo de ejemplos ilustrativos adicionales que no forman parte de la presente invención, la Fig. 5 ilustra un núcleo 101 que comprende un nano-tubo 500, la Fig. 6 ilustra los núcleos 101 que comprenden nano-fibrillas 600, y la Fig. 7

ilustra un núcleo 101 que comprende un nano-tejido 700. Una vez más, estos ejemplos pretenden representar una lista no exhaustiva de posibilidades en este sentido.

5 En general, una célula solar viable comprenderá una pluralidad de dichos objetos 100 y, por lo tanto, comprenderá una pluralidad de núcleos 101, cada uno con una envoltura 102 dispuesta alrededor del mismo. Mediante un enfoque útil, cuando los núcleos 101 comprenden miembros generalmente longitudinales (tales como nano-hilos, nano-barras y/o nano-tubos), la pluralidad de núcleos 101 pueden disponerse con sus ejes longitudinales orientados al menos sustancialmente paralelos entre sí. En particular, mediante un enfoque, estos ejes longitudinales están orientados también de manera sustancialmente coaxial y paralela a los haces de luz previstos.

10 La Fig. 8 presenta un ejemplo ilustrativo en estos sentidos. En este ejemplo ilustrativo, una célula 800 solar tiene una primera trayectoria 801 eléctrica y una segunda trayectoria 802 eléctrica opuesta (siendo esta última transparente o al menos translúcida para permitir que la luz 804 pase a través de la misma). A su vez, estas dos trayectorias 801 y 802 eléctricas se acoplan a una carga 803 eléctrica de elección tal como, pero sin limitarse a, una red de distribución de electricidad (a través, por ejemplo, de uno o más transformadores, reguladores, etc., según se desee).

15 En este ejemplo, cada uno de los núcleos 101 se conecta física y eléctricamente a la primera trayectoria 801 eléctrica, pero no a la segunda trayectoria 802 eléctrica. Mediante un enfoque, los ejes longitudinales de estos núcleos 101 pueden variar desde aproximadamente doscientos nanómetros hasta no más de aproximadamente cinco mil nanómetros.

20 Mediante un enfoque, los nano-hilos que comprenden los núcleos 101 en este ejemplo consisten esencialmente en carburo de silicio y tiene una longitud de aproximadamente trescientos a aproximadamente cinco mil nanómetros y diámetros de sección transversal de aproximadamente diez a aproximadamente ochenta nanómetros coaxialmente. Estos núcleos 101 están rodeados por cuarenta y tres o más capas de grafeno monocapa que constituyen esencialmente las envolturas 102 de grafeno.

25 Estos núcleos 101 de carburo de silicio alineados pueden dejarse crecer antes de hacer crecer las envolturas 102 mediante la reacción de una mezcla diluida de metano en hidrógeno con un sustrato de silicio que transporta un catalizador para permitir un mecanismo de crecimiento vapor-líquido-sólido. Mediante un enfoque, el catalizador facilita el crecimiento de los nano-hilos de carburo de silicio alineados. Un catalizador que forma una aleación de galio/hierro/silicio, por ejemplo, permite que la reacción con el carbono en el metano ocurra de manera que conduzca al crecimiento de los nano-hilos de carburo de silicio alineados.

30 Los nano-hilos de carburo de silicio alineados pueden hacerse crecer a la longitud deseada permitiendo que la reacción ocurra durante un período de tiempo correspondiente a una temperatura de aproximadamente 1.300 a aproximadamente 1.600 K. Cuando se ha alcanzado la longitud de nano-hilo deseada, la mezcla de gases que fluye sobre los nano-hilos es cambiada a metano puro para crear de esta manera las condiciones para el crecimiento de las envolturas 102 de grafeno. Una vez más, el número de capas en las envolturas 102 es controlado por el periodo de tiempo durante el cual se permite el crecimiento a una temperatura determinada.

35 Las partes inferiores de las nanoestructuras de nano-hilos resultantes están fijadas a la primera trayectoria 801 eléctrica que comprende, por ejemplo, silicio o alguna otra base conductora, conectando eléctricamente de esta manera todos los núcleos 101. Las partes superiores de los nano-hilos exhiben capas de grafeno que están en contacto eléctrico con todas las envolturas 102 de grafeno coaxiales que rodean los núcleos 101 de nano-hilos. De esta manera, el procedimiento de crecimiento crea automáticamente una nanoestructura de células solares que proporciona conexiones eléctricas separadas a los núcleos 101 y las envolturas 102.

40 Mediante un enfoque, la corriente oscura (corriente que circula en condiciones de oscuridad) y el transporte de portadores mayoritarios pueden minimizarse previniendo el contacto de las envolturas 102 de grafeno coaxiales con la base de silicio y con los núcleos de nano-hilos de carburo de silicio. Esto puede conseguirse, por ejemplo, mediante deposición de vapor químico de una monocapa o multicapas de un aislante, tal como dióxido de silicio, antes de depositar las envolturas 102 de grafeno.

45 La eficacia de conversión de energía solar asociada con dicha configuración es potenciada fuertemente en la configuración de envoltura /núcleo nano-hilo coaxial radial nanoestructurado sobre configuraciones de células solares planas convencionales, en parte debido a que las longitudes de difusión de electrones son mucho más cortas. Este es particularmente el caso con respecto a las envolturas 102 de grafeno finas.

50 Además, puede observarse que dicha célula solar funciona en virtud de la foto-emisión interna de electrones energéticos que emanan desde las capas de grafeno y que son inyectados en la banda de conducción de los núcleos 101 de carburo de silicio tras irradiación con luz. Se espera que las decenas de miliamperios por centímetro cuadrado de fotocorriente producidas de esta manera tengan energías de aproximadamente un electronvoltio bajo intensidades de luz solar estándar. El rendimiento declarado de la célula es debido, en parte, a la barrera de potencial creada cuando el grafeno forma una unión con el carburo de silicio. Se estima que la magnitud de esta barrera de potencial es algo menor que un

electronvoltio en base a cálculos que usan la aproximación de Anderson que emplea valores conocidos de cantidades tales como las funciones de trabajo, las afinidades electrónicas y las conductividades eléctricas de grafeno y carburo de silicio.

5 La unión de grafeno/carburo de silicio descrita también es digna de mención en el sentido de que la unión de grafeno (un material sin banda prohibida en el que los electrones se comportan como si fueran fermiones sin masa que obedecen funciones de onda de Dirac según la teoría de la electrodinámica cuántica) a un semiconductor de banda prohibida ancha, carburo de silicio, en el que los electrones obedecen los dictados de la mecánica cuántica. Una de las funciones de esta unión, cuya anchura es de menos de un nanómetro, es transformar de manera efectiva los electrones "Dirac" en electrones "Schroedinger" durante el proceso de foto-emisión, mientras se minimiza al mismo tiempo la recombinación de electrones con huecos.

15 En general, se ha demostrado que la reestructuración de los átomos que constituyen dicha unión ocurre durante la síntesis de la unión. Esta reestructuración mejora todavía más el área interfacial, facilitando de esta manera las funciones complejas de la unión. Se conoce, por ejemplo, que la posición del nivel de Fermi del grafeno cambia en la hetero-unión con un semiconductor de banda prohibida ancha. Esta circunstancia excepcional no ocurre con otras hetero-uniones de metal/semiconductor, al menos en parte debido a que, a diferencia del gran número de estados cuánticos en los metales comunes, el grafeno solo tiene un pequeño número de estados cerca del nivel de Fermi. Se espera que la física cuántica única de la hetero-unión grafeno/semiconductor beneficie a las características de las células solares estructuradas cuánticas, tal como su comportamiento de corriente oscura.

20 Un atributo útil de una célula solar de grafeno/carburo de silicio es su estabilidad a la temperatura. Tanto el grafeno como el carburo de silicio son materiales de alta temperatura en el sentido de que tienen puntos de fusión muy altos y son termodinámicamente estables. Los procesos difusivos de dopantes en estos materiales son muy lentos a temperaturas de hasta aproximadamente 1.000 K, ayudando de esta manera a conservar las propiedades rectificadoras de la barrera Schottky correspondiente hasta temperaturas de al menos 600K.

25 Todos los materiales de grafeno/semiconductor de banda prohibida ancha comparten estos atributos, siendo el grafeno/carburo de silicio un ejemplo. Por lo tanto, el grafeno/ materiales de banda prohibida ancha tienen una capacidad única de funcionar como células solares de alta temperatura en una configuración de aplicación de co-generación.

30 Como otro ejemplo en estos aspectos (y todavía haciendo referencia a la Fig. 8), estas enseñanzas permitirán proporcionar una lámina de titanio y usar un proceso de síntesis hidrotérmica para formar una pluralidad de nano-hilos de óxido de titanio sustancialmente alineados para servir como núcleos 101 de nano-hilos. Una vez más, esta pluralidad de núcleos 101 de nano-hilos están dispuestos sustancialmente perpendiculares a la lámina de titanio (tal como se usa en estos aspectos, se entenderá que la palabra "sustancialmente" significa comprendida en veinticinco grados). (Tal como se conoce en la técnica para formar nano-hilos de óxido de titanio sobre una lámina de titanio usando un proceso de síntesis hidrotérmica que expone láminas de titanio a soluciones acuosas que consisten en mezclas de hidróxidos alcalinos en recipientes a presión a temperaturas elevadas, en aras de la brevedad, no se proporciona aquí más elaboración en estos aspectos particulares, aparte de señalar que, tras el crecimiento de los nano-hilos deseados alineados, estas enseñanzas permitirán la activación de los correspondientes valores de alivio de presión para permitir de esta manera eliminar las secciones de lámina que tienen los nano-hilos alineados deseados y sustituir dichas secciones de lámina por secciones de lámina frescas para permitir que el proceso sea repetido tras cerrar las válvulas de presión pertinentes).

40 Mediante un enfoque, dichos nano-hilos 101 de óxido de titanio pueden ser dopados (tipo n o tipo p, según se desee) usando un proceso de tratamiento térmico posterior al crecimiento junto con uno o más dopantes de elección predeterminados (es decir, dirigidos en lugar de accidentales o incidentales). Como un ejemplo ilustrativo en este sentido, pero sin pretender sugerir ninguna limitación particular en este sentido, el dopaje de tipo p puede conseguirse calentando los nano-hilos 101 de óxido de titanio indicados anteriormente en vacío o mediante un tratamiento con gas hidrógeno (u otro reactivo de elección) a temperaturas de 600 a 900 grados centígrados durante los periodos de tiempo apropiados correspondientes y a presiones particulares (para conseguir un nivel de dopaje particular).

50 Dicho un enfoque puede servir para introducir vacantes de oxígeno en la red de óxido de titanio para, de esta manera, crear de manera efectiva titanio en un estado trivalente. Dicho dopaje puede servir para reducir la valencia media de los nano-hilos 101 de óxido de titanio para aumentar de esta manera su conductividad eléctrica de una manera controlada. Dicho un enfoque para el dopaje de tipo p puede ayudar a optimizar las características de la unión grafeno-óxido de titanio con el fin de producir una célula solar que muestre la máxima eficiencia con respecto a la conversión de luz en electricidad.

55 Después de dicho dopaje, los nano-hilos 101 de óxido de titanio alineados pueden ser expuestos a un gas hidrocarbonado, tal como metano, a temperaturas de 900 a 1.000 grados centígrados durante periodos de tiempo apropiados para conseguir la deposición de vapor químico deseada de grafeno en los espacios entre los hilos, así como sobre las superficies superiores de los propios nano-hilos 101. Mediante un enfoque, esta envoltura 102 de grafeno es aplicada solo ligeramente y comprende, por ejemplo, no más de aproximadamente diez capas de espesor.

Mediante un enfoque ilustrativo, que no forma parte de la presente invención, y con referencia a la Fig. 9, dichas células 800 solares pueden ser empleadas junto con una o más lentes 901 de Fresnel, incluyendo instalaciones de lentes de Fresnel lineales. Mediante un enfoque, y tal como se ilustra, incluso sería posible disponer las células 800 solares directamente sobre la propia lente 901.

5 A modo de realización de la presente invención y con referencia ahora a las Figs. 10 y 11, las células solares que emplean las presentes enseñanzas pueden ser aplicadas en combinación con una segunda modalidad de conversión de energía solar, tal como un sistema 1000 basado en calor solar que tiene tubos 1002 que transportan fluidos que absorben el calor de la luz 804 solar reflejada desde un colector 1001 solar cilindro-parabólico correspondiente. En particular, y tal como se ilustra en particular en la Fig. 11, las células 800 solares tal como se describe en la presente memoria pueden estar  
10 dispuestas externamente sobre al menos una parte del propio conducto 1002 de transporte de líquido (tal como en una parte del conducto 1002 que recibe la luz reflejada desde el colector 1001 solar cilindro-parabólico). Cuando las células solares incluyen una lámina de titanio tal como se ha descrito anteriormente, las células 800 solares pueden ser dispuestas sobre el conducto 1002 portador de líquido mediante la fijación física de la propia lámina de titanio a la superficie del colector solar 1001 portador de fluido.

15 La Fig. 12 proporciona otra realización de la presente invención en este sentido. En este ejemplo, una instalación 1200 de co-generación emplea una torre 1201 que tiene una sección 1202 de colector solar. La luz 804 (desde una estrella, tal como el sol 1203 de la Tierra) puede ser recibida en la sección 1202 de colector solar directamente desde la fuente de luz, pero es recibida también, en una cantidad relativamente mayor, como luz reflejada desde (típicamente) una pluralidad de reflectores 1204 solares.

20 En este ejemplo, la sección 1202 de colector solar incluye uno o más conductos portadores de fluido (por ejemplo, tal como se muestra en las Figs. 10 y 11) que transportan un fluido, tal como una sal fundida, que es calentada por la luz recibida. Tal como se ha descrito anteriormente, los transductores fotovoltaicos basados en grafeno son expuestos una vez más directamente sobre estos conductos y sirven para convertir directamente la luz solar recibida en electricidad. Una vez más, cuando los transductores fotovoltaicos basados en grafeno incluyen una lámina de titanio tal como se ha  
25 descrito anteriormente, los transductores fotovoltaicos basados en grafeno pueden ser dispuestos sobre estos conductos fijando físicamente la propia lámina de titanio a la superficie de estos conductos.

Esta electricidad puede ser dirigida a través de uno o más conductores 1205 a una red 1210 de distribución o, si se desea, a una instalación de almacenamiento de electricidad, tal como un banco de baterías.

30 El fluido caliente indicado anteriormente (que puede exceder los cuatrocientos grados centígrados a las temperaturas de funcionamiento) fluye en este sistema a un tanque 1206 de almacenamiento donde el calor puede ser acumulado hasta que sea necesario. Cuando sea necesario, ese calor impulsa un generador 1207 de vapor que proporciona vapor a un generador 1208 de turbina que genera electricidad a ser proporcionada a la red 1210 de distribución. La sal enfriada/de enfriamiento en dicho sistema puede ser pasada a y almacenada en un tanque de almacenamiento de sal fría hasta que sea necesaria.

35 Configurada de esta manera, la conversión directa de fotones a electricidad es proporcionada por las células 800 solares mientras que el calor asociado es convertido en electricidad, por ejemplo, mediante tecnología de inducción electromagnética convencional. Potencialmente, dicho sistema de co-generación basado en energía solar puede convertir aproximadamente un cincuenta por ciento del contenido de energía en el flujo solar a temperaturas moderadas en electricidad con contribuciones aproximadamente iguales de la parte fotovoltaica y de la parte de inducción  
40 electromagnética.

La eficacia de dichas células solares con núcleo de nano-hilos depende no solo de la naturaleza de la unión entre las mismas, tal como se ha explicado anteriormente, sino también de la capacidad de la luz para ser absorbida por las envolturas de grafeno nanoestructuradas, en primera instancia. En particular, en dos de tres dimensiones, dichos nano-hilos son pequeños en comparación con la longitud de onda de la radiación solar. De hecho, la absorción de la luz parece ser mejorada aproximadamente en un factor de dos para dichos nano-hilos en comparación con el material a granel. Al menos parte de la razón de esto parece ser que la radiación electromagnética entra o es transmitida por los nano-hilos alineados a lo largo de toda su longitud. De esta manera, la gran relación superficie-volumen (en comparación con los materiales a granel) contribuye significativamente a la cantidad de luz absorbida.

45 Como resultado, la radiación es absorbida de manera muy eficiente por dicha envoltura de grafeno/nano-hilos de carburo de silicio u óxido de titanio. Además, la luz es distribuida sobre una gran área superficial de grafeno debido a que las envolturas 102 de grafeno rodean cada nano-hilo en dicha realización. Por lo tanto, es probable que dichas células nanoestructuradas toleren intensidades de radiación mucho más altas.

50 Cada uno de los grandes números de dichos nano-hilos presentes en dicho dispositivo fotovoltaico comprende una estructura única que actúa individualmente como una nano-antena efectiva y un rectificador óptico. Los cálculos para nano-hilos cilíndricos con un radio de veinte nanómetros muestran que la absorción de luz total ocurre para longitudes de  
55



nano-hilos de unos cuatrocientos nanómetros (que, a su vez, está comprendida en el intervalo de las longitudes de onda de la luz visible). Por lo tanto, puede considerarse que cada nano-hilo posee simultáneamente tanto la potencia de recolección de luz (onda electromagnética) de una antena como las propiedades rectificadoras de un dispositivo fotovoltaico.

- 5 La opacidad del grafeno (que generalmente es independiente de la longitud de onda de la luz), combinada con su uso como una envoltura de nano-antena que rodea los nano-hilos, ayuda a asegurar la máxima recolección de la luz solar incidente. Por consiguiente, la alta eficiencia de recolección solar de estas nano-antenas basadas en grafeno, junto con las propiedades de rectificación altamente eficientes de las uniones grafeno/carburo de silicio u titanio-óxido se combinan para crear una clase nueva y altamente eficiente de células solares.
- 10 Se apreciará que, aunque la primera modalidad de conversión de energía solar indicada anteriormente genera electricidad de manera fotovoltaica mientras que la segunda modalidad de conversión de energía solar genera electricidad de manera térmica, típicamente, la primera modalidad producirá también calor como un subproducto de la conversión fotovoltaica. De hecho, este calor puede aumentar la electricidad total generada térmicamente mediante la segunda modalidad de conversión de energía solar.
- 15 Las personas con conocimientos en la materia reconocerán que pueden realizarse una gran diversidad de modificaciones, alteraciones y combinaciones con respecto a las realizaciones descritas anteriormente sin apartarse del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas, y que dichas modificaciones, alteraciones y combinaciones deben considerarse que están incluidas en el ámbito del concepto inventivo.

**REIVINDICACIONES**

1. Aparato (1000, 1200), que comprende:

una primera modalidad (800) de conversión de energía solar que está dispuesta entre una fuente (1203) de luz (804) y;

5 una segunda modalidad (1002) de conversión de energía solar que comprende una modalidad de conversión de energía solar basada en fluido que tiene un conducto de transporte de fluido,

en el que la primera modalidad de conversión de energía solar está dispuesta directamente sobre una superficie de absorción de calor que comprende una parte del conducto de transporte de fluido de la segunda modalidad de conversión de energía solar,

10 caracterizado por que

tanto la primera modalidad de conversión de energía solar como la segunda modalidad de conversión de energía solar están dispuestas para generar electricidad usando una misma fuente de luz,

y por que

la primera modalidad de conversión de energía solar comprende:

15 una pluralidad de núcleos (101) de nano-hilos, cada uno de los cuales consiste esencialmente en un material con banda prohibida ancha que es SiC o TiO<sub>2</sub>, en el que el núcleo tiene al menos una dimensión biseccional que no supera los 100 nanómetros;

una pluralidad de envolturas (102) de grafeno, cada una de las cuales consiste esencialmente en grafeno, y cada una dispuesta de manera conformada alrededor de al menos una parte sustancial de un núcleo respectivo para formar una estructura de núcleo/envoltura;

20

una primera trayectoria (801) eléctrica que comprende una base conductora conectada eléctrica y físicamente a los núcleos de nano-hilos, pero no a las cubiertas en un primer extremo de la estructura de núcleo/envoltura;

una segunda trayectoria (802) eléctrica conectada eléctrica y físicamente a las envolturas de grafeno, pero no a los núcleos a través de capas de grafeno en un segundo extremo de la estructura de núcleo/envoltura; y

25

una monocapa o multicapas de un aislante dispuestas para prevenir el contacto entre la base conductora y las envolturas de grafeno,

en el que las trayectorias eléctricas primera y segunda están dispuestas para acoplarse a una carga eléctrica.

2. Aparato según la reivindicación 1, que comprende además un tanque de almacenamiento configurado para almacenar el calor desde el fluido para su uso para generar electricidad en un momento posterior.

30 3. Aparato según la reivindicación 2, en el que el conducto de transporte de fluido forma parte de al menos un colector solar de transporte de fluido,

en el que la segunda modalidad de conversión de energía solar incluye además al menos una unidad (1206) de almacenamiento térmico configurada para recibir calor desde el al menos un colector solar de transporte de fluido de manera que el calor almacenado en la unidad de almacenamiento térmico pueda ser usado para generar electricidad en ausencia de luz desde la fuente de luz, y

35

en el que un fluido contenido en el colector solar de transporte de fluido tiene un intervalo de temperaturas de funcionamiento superior a 350 grados centígrados.

4. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la envoltura comprende, al menos en una parte sustancial, no más de aproximadamente cuarenta capas de grafeno.

40 5. Aparato según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la primera modalidad de conversión de energía solar a electricidad comprende una unión fotovoltaica que mantiene la funcionalidad fotovoltaica por encima de los 350 grados centígrados.

6. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que al menos uno de entre el núcleo y la envoltura incluye un dopante.

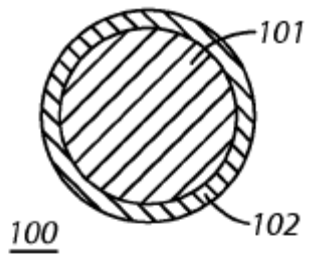
45 7. Aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la segunda modalidad de conversión de

energía solar incluye al menos uno de entre:

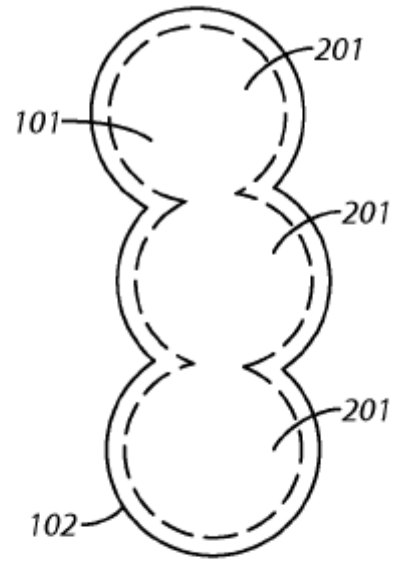
un colector (1001) solar parabólico y

una torre (1201) que tiene una pluralidad de colectores solares;

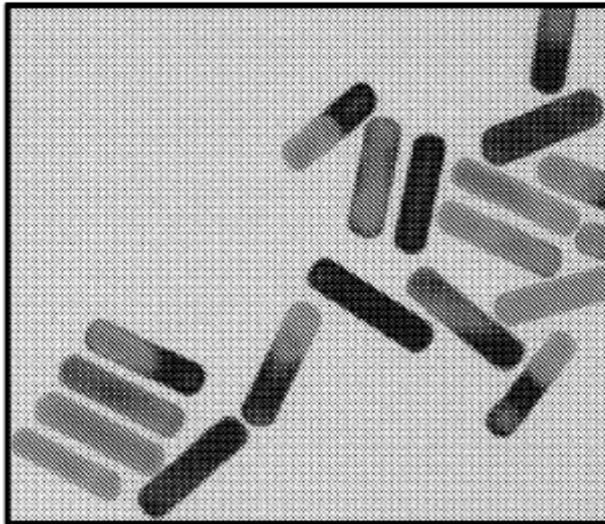
- 5 8. Procedimiento que comprende el uso del aparato según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 para generar electricidad a partir de energía solar usando tanto la primera modalidad de conversión de energía solar como la segunda modalidad de conversión de energía solar.



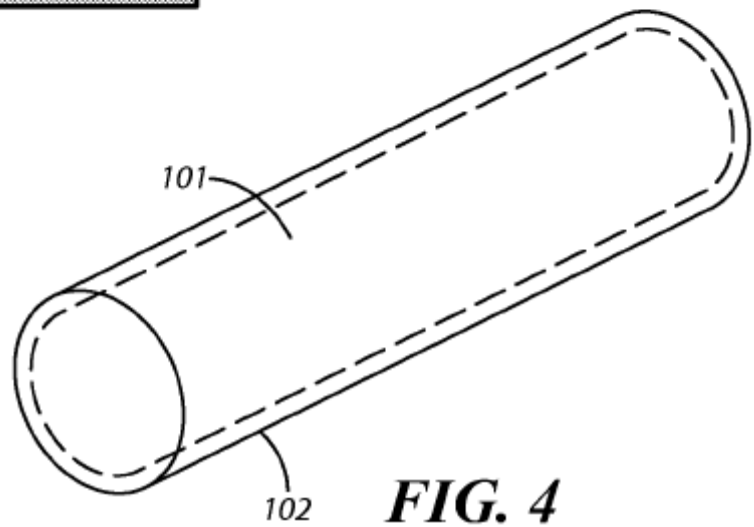
**FIG. 1**



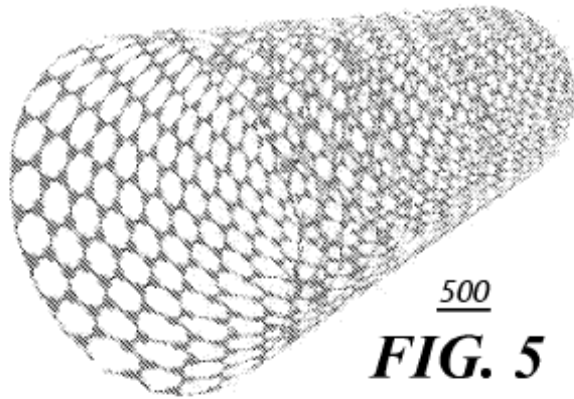
**FIG. 2**



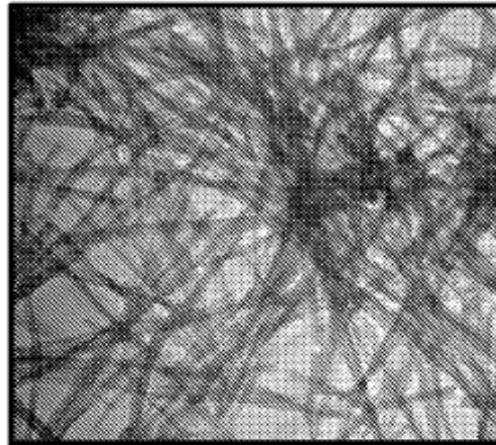
300  
**FIG. 3**



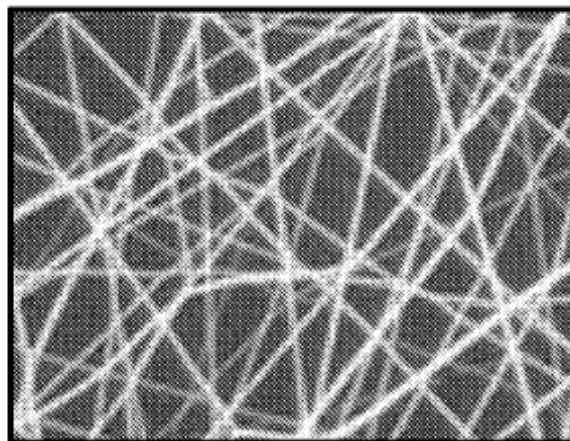
**FIG. 4**



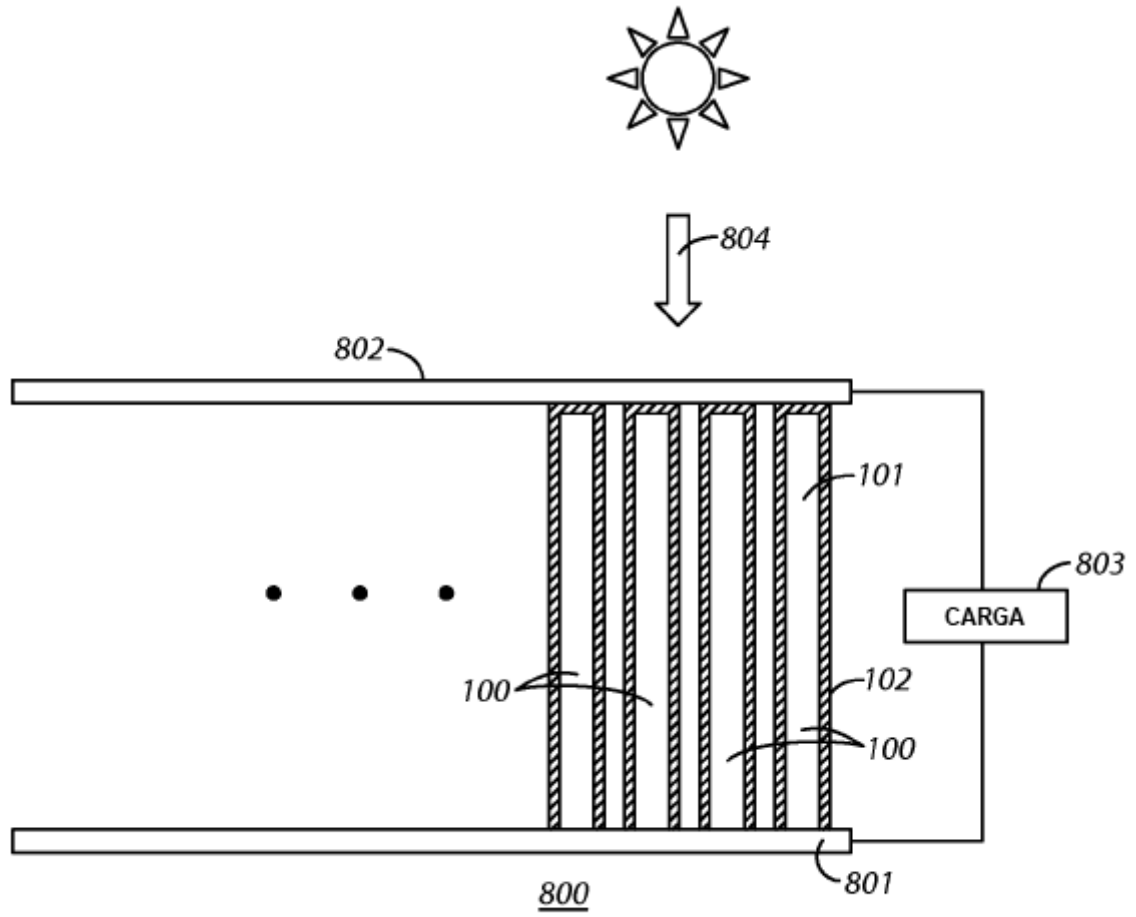
500  
**FIG. 5**



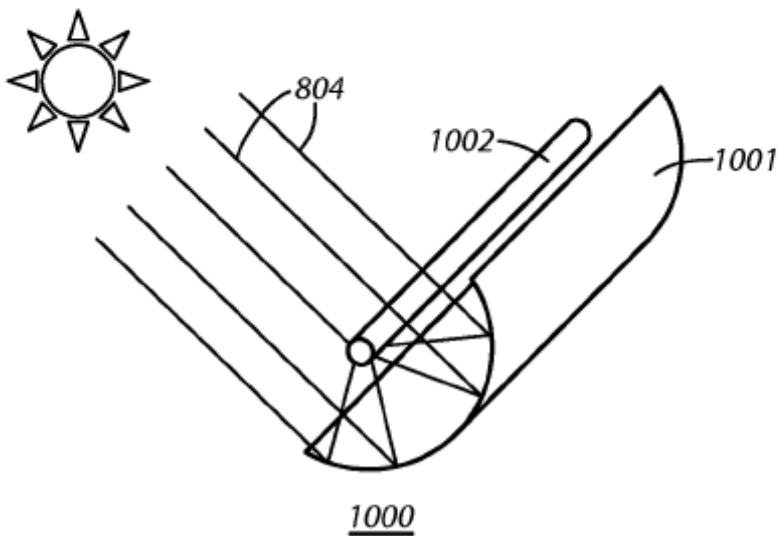
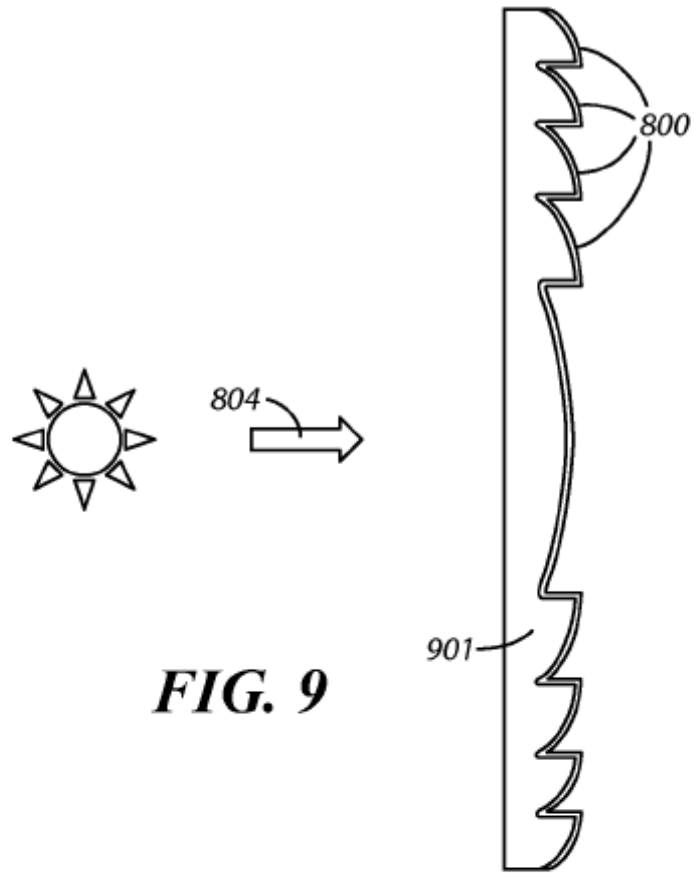
600  
**FIG. 6**



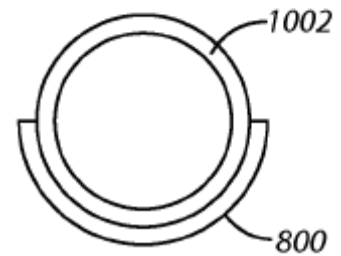
700  
**FIG. 7**



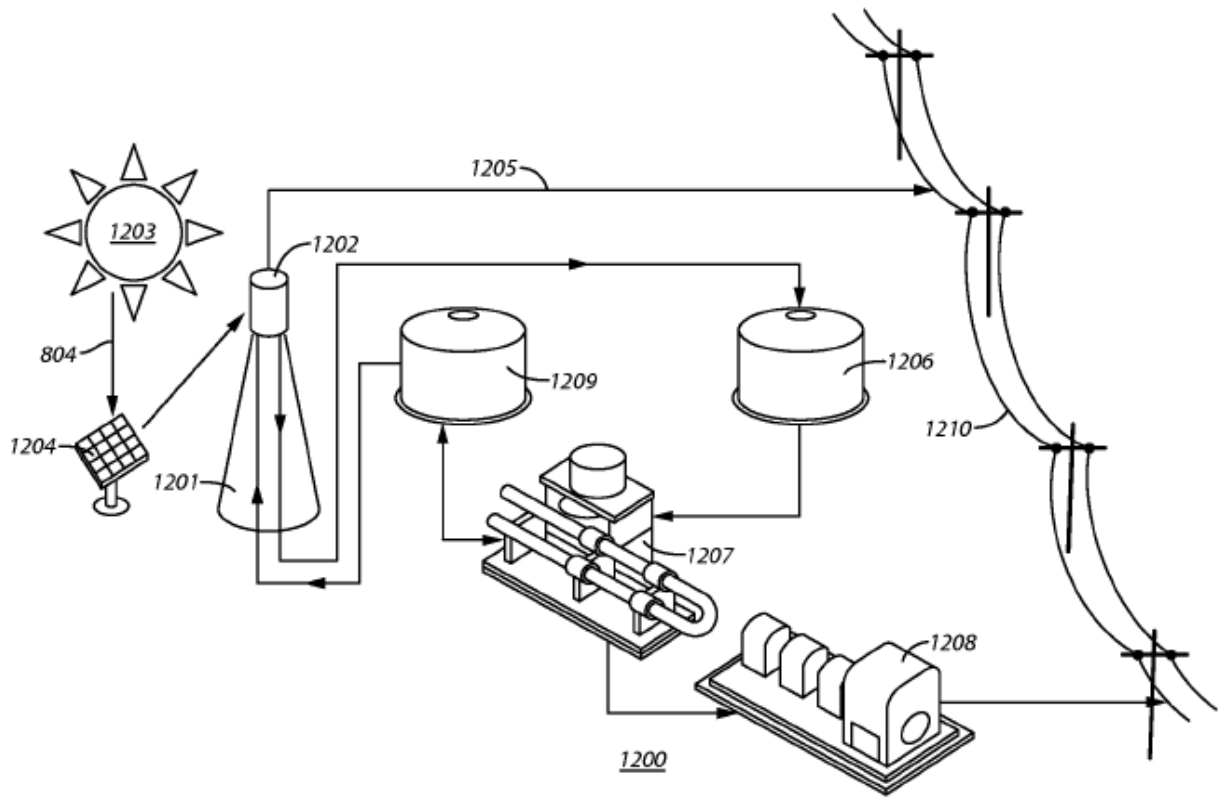
**FIG. 8**



**FIG. 10**



**FIG. 11**



**FIG. 12**