(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 616 308**

(51) Int. Cl.:

H01L 33/06 (2010.01)
A01G 7/04 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.03.2011** **E 11158698 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2016** **EP 2500952**

(54) Título: **Método para cámaras de crecimiento oscuras**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.06.2017

(73) Titular/es:

VALOYA OY (100.0%)
Melkonkatu 26
00210 Helsinki, FI

(72) Inventor/es:

AIKALA, LARS y
KIVIMÄKI, ILKKA

(74) Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

Observaciones:

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 616 308 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

Método para cámaras de crecimiento oscuras

Campo técnico de la invención

La invención se refiere a un método mejorado para producir luz artificial para el cultivo de plantas. Más concretamente, la invención se refiere al uso de un artefacto de iluminación hortícola en el suministro de luz para al menos una planta en una cavidad oscura con luz solar nula.

Antecedentes

Sólo aproximadamente 50% de la radiación que llega a la superficie es radiación fotosintéticamente activa (PAR). Se considera que la PAR comprende la región de longitud de onda entre 300 nm y 800 nm del espectro electromagnético. La fotosíntesis junto con el fotoperíodo, el fototropismo y la fotomorfogénesis son los cuatro procesos representativos relacionados con la interacción entre la radiación y las plantas. La siguiente expresión muestra la ecuación química simplificada de la fotosíntesis:

$$6\ H_2O + 6\ CO_2\ \text{(+ energía de fotones)} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

Los espectros de absorción típicos de los fotorreceptores fotosintéticos y fotomorfogenéticos más comunes, tales como la clorofila a, la clorofila b y el betacaroteno, y las dos formas interconvertibles de fitocromos (Pfr y Pr) se presentan en la Figura 1A.

Las respuestas fotomorfogenéticas, al contrario que la fotosíntesis, se pueden lograr con cantidades extremadamente bajas de luz. Los diferentes tipos de fotorreceptores fotosintéticos y fotomorfogenéticos se pueden agrupar en al menos tres fotosistemas conocidos: fotosintético, fitocromo y criptocromo o azul/UV-A (ultravioleta-A).

En el fotosistema fotosintético, los pigmentos existentes son clorofilas y carotenoides. Las clorofilas se encuentran en los tilacoides de los cloroplastos situados en las células del mesófilo de las hojas de las plantas. La cantidad o la energía de la radiación es el aspecto más significativo, ya que la actividad de esos pigmentos está estrechamente relacionada con la captura de la luz. Los dos picos de absorción más importantes de la clorofila se encuentran en las regiones rojas y azules de 625 a 675 nm y de 425 a 475 nm, respectivamente. Además, también hay otros picos localizados en el UV cercano (300-400 nm) y en la región del rojo lejano (700-800 nm). Los carotenoides tales como las xantofilas y los carotenos se encuentran en los orgánulos plastidiales de los cromoplastos en las células vegetales y absorben principalmente en la región azul.

El fotosistema del fitocromo incluye las dos formas interconvertibles de fitocromos, Pr y Pfr, que tienen sus picos de sensibilidad en el rojo a 660 nm y en el rojo lejano a 730 nm, respectivamente. Las respuestas fotomorfogenéticas mediadas por fitocromos suelen estar relacionadas con la detección de la calidad de la luz a través de la razón de rojo (R) con respecto a rojo lejano (FR) (R/FR). La importancia de los fitocromos se puede evaluar por las diferentes respuestas fisiológicas en las que están involucrados, tales como la expansión de la hoja, la percepción del vecino, la evitación de sombra, la elongación del tallo, la germinación de semillas y la inducción de la floración. Aunque la respuesta de evitación de la sombra es controlada normalmente por fitocromos a través de la detección de la razón R/FR, la luz azul y el nivel de PAR también están involucrados en las respuestas morfológicas adaptativas relacionadas.

Los fotorreceptores sensibles al azul y al UV-A (ultravioleta A) se encuentran en el fotosistema del criptocromo. Los pigmentos que absorben luz azul incluyen tanto criptocromo como fototropinas. Éstos están involucrados en varias tareas diferentes, tales como el control de la calidad, la cantidad, la dirección y la periodicidad de la luz. Los diferentes grupos de fotorreceptores sensibles al azul y al UV-A median respuestas morfológicas importantes tales como los ritmos endógenos, la orientación de los órganos, el alargamiento del tallo y la apertura de los estomas, la germinación, la expansión de las hojas, el crecimiento de la raíz y el fototropismo. Las fototropinas regulan el contenido de pigmento y el posicionamiento de los órganos y los orgánulos fotosintéticos con el fin de optimizar la captación de la luz y la fotoinhibición. Al igual que con la exposición a la radiación roja lejana continua, la luz azul también promueve la floración a través de la mediación de los fotorreceptores de criptocromos. Además, los fotorreceptores sensibles a la luz azul (p. ej. flavinas y carotenoides) también son sensibles a la radiación ultravioleta cercana, donde se puede encontrar un pico de sensibilidad localizado en torno a 370 nm.

Los criptocromos no sólo son comunes a todas las especies de plantas. Los criptocromos median una variedad de respuestas a la luz, incluyendo la inducción de los ritmos circadianos en la floración de plantas tales como Arabidopsis. Aunque la radiación de longitudes de onda por debajo de 300 nm puede ser altamente perjudicial para los enlaces químicos de las moléculas y para la estructura del ADN, las plantas también absorben la radiación en esta región. La calidad de la radiación dentro de la región PAR puede ser importante para reducir los efectos destructivos de la radiación UV. Estos fotorreceptores son los más investigados y, por tanto, su papel en el control de la fotosíntesis y el crecimiento se conoce razonablemente bien. Sin embargo, hay pruebas de la existencia de otros fotorreceptores, cuya actividad puede tener un papel importante en la mediación de las respuestas fisiológicas importantes en las plantas. Además, la interacción y la naturaleza de la interdependencia entre ciertos grupos de

receptores no se conocen bien.

Muchas plantas pueden ser cultivadas en un lugar geográfico diferente de su hábitat natural mediante el cultivo en invernadero utilizando luz artificial. Se conoce documento WO 2010/053341 A1 de Zukauskas et al. que se pueden utilizar diodos emisores de luz (LED) con conversión de fósforo para satisfacer algunas de las necesidades fotomorfogenéticas de las plantas. La conversión de fósforo opera de modo que hay una luz tal como un LED que emite a una longitud de onda corta adyacente a un componente de fósforo que absorbe y re-emite la radiación a una longitud de onda mayor. De esta manera se puede ajustar el espectro de emisión total del dispositivo de iluminación, de modo que los fotones proporcionados a la planta permitan que la planta crezca de una manera determinada, p. ej., para cumplir con algunos objetivos morfológicos tales como la altura del tallo. Este documento se cita aquí como referencia.

La popularidad de los diodos emisores de luz (LED) está aumentando cada día. Una nueva estructura peculiar utilizada para los LED es el *punto cuántico* que es un semiconductor cuyos excitones están confinados en las tres dimensiones espaciales. Se ha sugerido el uso de puntos cuánticos para deshacerse del fósforo en el documento WO 2009/048425 que describe una estructura de múltiples pozos cuánticos (MQW) que comprende los puntos cuánticos. De acuerdo con esta publicación, la estructura MQW se puede utilizar para producir un LED basado en nitruro rojo y blanco libre de fósforo. Este documento también se cita aquí como referencia.

La técnica anterior tiene desventajas considerables. Los tubos fluorescentes, los LED y las configuraciones de fósforo de la técnica anterior no permiten un ajuste de la resolución de los espectros de emisión suficientemente elevado. Además los tubos fluorescentes, los LED y las configuraciones de fósforo de la técnica anterior son muy pobres como fuente de luz principal para las plantas, produciendo cosechas de mala calidad en las cavidades de crecimiento oscuras, tales como sótanos de edificios, etc.

Los dispositivos de iluminación MQW y de puntos cuánticos de la técnica anterior se centran principalmente en la sustitución de las características arquitectónicas desventajosas (tales como el fósforo), que es de poca ayuda para un horticultor.

El documento US 2010/259190 muestra una publicación anterior del autor de la presente invención, que examina invernaderos Nordic.

Es evidente que se necesitan tecnologías de cultivo de plantas más sofisticadas para combatir el hambre en el mundo en los países en desarrollo, así como para reducir el impacto ambiental de la producción de alimentos y plantas en el mundo desarrollado.

Compendio

La invención en estudio se dirige a un sistema y un método para realizar de manera eficaz un dispositivo de iluminación de semiconductores cuánticos confinados que aborda las necesidades fotomorfogenéticas de las plantas con mejor precisión que nunca.

En un aspecto de la invención, el confinamiento cuántico se realiza como un punto cuántico, es decir, un confinamiento en las 3 dimensiones espaciales, o incluso como una pluralidad de puntos cuánticos. Además de utilizar puntos cuánticos, se pueden utilizar hilos cuánticos (confinamiento espacial 2-D) y pozos cuánticos (confinamiento espacial 1-D) para poner en práctica la invención en algunas realizaciones.

De acuerdo con un aspecto de la invención, un diodo emisor de luz con puntos cuánticos proporciona puntos cuánticos de diferentes tamaños. En los puntos cuánticos el tamaño se correlaciona inversamente con la energía de emisión, es decir, los puntos cuánticos más pequeños emiten energías más altas. En un aspecto de la invención se selecciona la distribución del tamaño de los puntos cuánticos de manera que produzca un espectro de emisión total con efectos fotomorfogenéticos favorables para las plantas que se están cultivando con la luz artificial emitida por dicho diodo emisor de luz de puntos cuánticos de la invención.

Un objetivo de la presente invención tiene el propósito de eliminar al menos una parte de los problemas relacionados con la técnica y proporcionar una nueva manera de facilitar el crecimiento de plantas utilizando LED y/o puntos cuánticos.

Un primer objetivo de la invención es proporcionar una única fuente de emisión de luz basada en dispositivos LED y/o de puntos cuánticos a la que el proceso de fotosíntesis responda bien.

Un segundo objetivo de la invención es proporcionar un artefacto de iluminación para el cultivo en invernadero y/o el cultivo en una cámara de crecimiento oscura basado en un dispositivo LED y/o de puntos cuánticos con un flujo de fotones de la fotosíntesis (PPF) optimizado.

Un tercer objetivo de la invención es lograr un dispositivo LED y/o de puntos cuánticos que proporciona al menos dos picos de emisión en el intervalo de longitud de onda 300 a 800 nm y al menos uno de los picos de emisión tiene una Anchura Total a la Mitad del Máximo ("FWHM por sus siglas en inglés") de al menos 50 nm o más.

Un cuarto objetivo de la invención es proporcionar un artefacto de iluminación para el cultivo en invernadero y/o en cámara de cultivo oscura basado en LED y/o puntos cuánticos en donde la razón de la intensidad de emisión de dos frecuencias de emisión, 300-500 nm y 600-800 nm, se reduce menos de 20% durante los 10.000 horas de funcionamiento.

Un quinto objetivo de la invención es proporcionar una solución técnica que proporcione un mejor valor de PPF por vatio (es decir, PPF contra la potencia en vatios utilizada) que la lograda mediante una lámpara de sodio de alta presión convencional o una lámpara LED normalmente utilizadas en el cultivo en invernadero o el cultivo en cámara de crecimiento oscura y proporcionando de ese modo una fuente de luz de energía eficiente para el proceso de cultivo en invernadero y/o de cultivo en cámara de crecimiento y una iluminación artificial utilizada en el mismo.

Un sexto objetivo de la invención es proporcionar una sola fuente de emisión de luz en donde la emisión a una frecuencia de 300-500 nm es generada por el chip de LED semiconductor o de puntos cuánticos y la emisión a una frecuencia de 600-800 nm se genera utilizando otro chip de LED o puntos cuánticos. El autor de la presente invención ha descubierto que, por ejemplo, las plantas de pepino y lechuga alcanzan una mayor longitud y/o masa cuando se iluminan con la luz de horticultura de la invención que incluye luz del rojo lejano (700-800 nm).

Un séptimo objetivo de la invención es proporcionar una sola fuente de emisión de luz, en la que la emisión a la frecuencia de 300-500 nm es generada por el chip de LED semiconductor o de puntos cuánticos y la emisión a la frecuencia de 600-800 nm es generada utilizando un segundo chip de LED o de puntos cuánticos, que o bien está impulsado por la corriente eléctrica para la emisión de luz, o bien funciona como un conversor ascendente de la longitud de onda del primer LED o punto cuántico. La conversión ascendente de la longitud de onda para producir radiación de 600-800 nm se consigue mediante el uso de uno o más puntos cuánticos de conversión ascendente de la longitud de onda en la proximidad de la primera fuente de emisión de puntos cuánticos o de LED.

En esta solicitud se considera la "conversión ascendente" como el cambio de la longitud de onda de la luz absorbida entrante a la luz emitida de longitudes de onda más largas.

Un octavo objetivo de la invención es proporcionar una conversión ascendente parcial o completa de intervalos de frecuencia de 400-500 nm, 600-800 nm o ambos de radiación de chips de LED semiconductores y/o puntos cuánticos, teniendo el chip una emisión en el intervalo de emisión que comprende el intervalo de 300-500 nm. La conversión ascendente de longitud de onda se realiza mediante el uso de materiales orgánicos, inorgánicos o una combinación de ambos tipos de materiales.

Un noveno objetivo de la invención es proporcionar la conversión ascendente de longitud de onda utilizando el material de partículas de tamaño nanométrico para la conversión ascendente.

Un décimo objeto de la invención es proporcionar la conversión ascendente de longitud de onda utilizando material de tipo molecular para la conversión ascendente.

Un undécimo objetivo de la invención es proporcionar la conversión ascendente de la longitud de onda utilizando un material polimérico en donde el material de conversión ascendente está unido covalentemente a la matriz de polímero que proporciona la conversión ascendente de la longitud de onda.

Un duodécimo objetivo de la invención es presentar un artefacto de iluminación a base de puntos cuánticos en el que se suprime la banda espectral de 500-600 nm. En esta banda suprimida no hay casi ninguna o ninguna emisión en absoluto, o en todo caso menos emisión que en cualquiera de las bandas adyacentes de 400-500 nm, 600-700 nm. La supresión se puede lograr de acuerdo con la invención, al no tener ninguna o sólo una pequeña cantidad de la emisión primaria en la banda de 400-500 nm, y asegurándose de que cualquier conversión ascendente provoca un desplazamiento de la longitud de onda que desplaza la longitud de onda más allá de 600 nm. En general, se sabe que las plantas verdes no pueden utilizar la radiación de la luz verde (500-600 nm), así como la radiación en las bandas adyacentes, ya que esta radiación se refleja meramente desde la planta en vez de ser absorbida por la conversión fotosintética.

Un decimotercer objetivo de la invención es presentar un artefacto de iluminación basado en LED y/o puntos cuánticos que aumenta al máximo el crecimiento anabólico de las plantas, proporcionando la luz roja lejana deseada, mientras que reduce al mínimo la luz verde, que desde la perspectiva del cultivo de plantas es la radiación que desaprovecha energía en una cámara de crecimiento que puede ser oscura, es decir, la mencionada fuente de luz artificial puede ser la única fuente de luz. Este objetivo se lleva a cabo en un aspecto de la invención mediante un emisor de luz azul de LED o de puntos cuánticos con un dispositivo de conversión ascendente de longitud de onda que convierte de manera ascendente parte de la luz azul emitida (300-500) nm en un componente de amplio espectro rojo (600-800 nm) que tiene un componente rojo lejano, pero omite y/o minimiza el componente verde (500-600 nm).

La presente invención se refiere al uso de un artefacto de iluminación hortícola que comprende al menos un LED y/o punto cuántico, siendo el artefacto de iluminación adecuado para el cultivo en invernadero y cámara de crecimiento. De acuerdo con la invención, el LED y/o punto cuántico tienen un patrón de frecuencia de emisión específico, a saber, tienen al menos dos características espectrales; un pico de emisión con una anchura total a la mitad del

máximo de al menos 50 nm o más y que tiene una longitud de onda pico en el intervalo de 600 a 700 nm, y una segunda característica espectral que tiene una longitud de onda pico por debajo del intervalo de 500 nm. Los picos de emisión de al menos un LED y/o punto cuántico coinciden muy bien con un espectro de respuesta de la fotosíntesis de la planta y por lo tanto, el espectro es particularmente adecuado para una iluminación artificial de alta eficiencia.

Algunas o todas las ventajas antes mencionadas de la invención se generan con una distribución del tamaño de punto cuántico que optimiza el espectro de emisión para la variable fotomorfogenética mencionada afectada, que puede ser cualquiera de los siguientes parámetros biológicos: peso, número de hojas, masa de raíces, altura del tallo, composición química (tal como concentración y/o el contenido de vitaminas, minerales, y/o nutrientes) que tiene la planta en diferentes puntos temporales o en la madurez de la cosecha.

Un dispositivo de iluminación para el cultivo de plantas está en consonancia con la invención y se caracteriza porque dicho dispositivo de iluminación comprende una pluralidad de puntos cuánticos de diferente tamaño.

Un método de iluminación para el cultivo de plantas está en consonancia con la invención y se caracteriza porque la luz es producida por una pluralidad de puntos cuánticos de diferente tamaño y dicha luz ilumina al menos una planta.

Un dispositivo de iluminación de un invernadero y/o cámara de crecimiento está de acuerdo con la invención y se caracteriza porque dicho dispositivo de iluminación comprende al menos un punto cuántico.

Un artefacto de iluminación hortícola de acuerdo con la invención comprende al menos un punto cuántico que tiene

a) unas primeras características espectrales incluyendo un pico en el intervalo de longitud de onda de 600 a 700 nm y dispuesto para mostrar una anchura total a la mitad del máximo de al menos 50 nm o más;

b) unas segundas características espectrales con un máximo de anchura total a la mitad del máximo de 50 nm y dispuesto para mostrar una longitud de onda pico en el intervalo de 440 a 500 nm, y opcionalmente

c) la totalidad o parte de la emisión a una frecuencia de 600-800 nm se genera utilizando una conversión ascendente de longitud de onda total o parcial de potencia de radiación del chip de puntos cuánticos y/o mediante otro punto cuántico eléctrico.

Un artefacto de iluminación hortícola de acuerdo con la invención comprende al menos un punto cuántico que tiene

a) unas primeras características espectrales incluyendo un pico en el intervalo de longitud de onda de 600 a 700 nm y dispuesto para mostrar una anchura total a la mitad del máximo de al menos 50 nm o más;

b) unas segundas características espectrales con una anchura total a la mitad del máximo de 50 nm y dispuesto para mostrar una longitud de onda pico en el intervalo de 440 a 500 nm, y

c) al menos una parte o la totalidad de la emisión a longitudes de onda de 500-600 nm está dispuesta para ser reducida al mínimo y/u omitida y/o para ser reducida por debajo de la intensidad de la banda de 400-500 nm y por debajo de la intensidad de la banda de 600-700 nm.

El uso del dispositivo o artefacto de iluminación de cualquiera de los cinco párrafos anteriores está en consonancia con la invención al suministrar luz para la al menos una planta con dicha al menos una planta en una cavidad oscura con dicho dispositivo o artefacto de iluminación como única fuente de luz. Del mismo modo un método para mejorar el crecimiento de plantas de los cinco párrafos anteriores está en consonancia con la invención en donde al menos un dispositivo o artefacto de iluminación emiten luz para al menos una planta con dicha al menos una planta en una cavidad oscura con dicho dispositivo o artefacto de iluminación como única fuente de luz.

Un componente emisor de luz de una luz hortícola está en consonancia con la invención y comprende;

- un chip semiconductor de puntos cuánticos emisor de luz; y
- un punto cuántico de conversión ascendente de longitud de onda de la luz que se deposita en las inmediaciones del chip de puntos cuánticos;

siendo dicho componente capaz de emitir dos picos de emisión de luz característicos, y al menos una parte o la totalidad de la emisión a longitudes de onda de 500-600 nm está dispuesta para ser reducida al mínimo y/o para ser omitida y/o para ser reducida por debajo de la intensidad en la banda de 400-500 nm y por debajo de la intensidad en la banda de 600-700 nm.

El uso del componente emisor de luz del párrafo anterior, está en consonancia con la invención, al suministrar luz para al menos una planta con dicha al menos una planta en una cavidad oscura con dicho dispositivo o artefacto de iluminación como única fuente de luz. Del mismo modo, un método para mejorar el crecimiento de plantas, está en consonancia con la invención, en donde al menos un componente emisor de luz del párrafo anterior emite luz a al menos una planta con dicha al menos una planta en una cavidad oscura con dicho dispositivo o artefacto de

iluminación como única fuente de luz.

Un artefacto de iluminación hortícola en una cavidad oscura o sombreada está en consonancia con la invención y comprende al menos un LED que tiene

a) unas primeras características espectrales incluyendo un pico en el intervalo de longitud de onda de 600 a 700 nm y dispuesto para mostrar una anchura total a la mitad del máximo de al menos 50 nm o más;

b) unas segundas características espectrales con un máximo de anchura total de la mitad del máximo de 50 nm y dispuesto para mostrar una longitud de onda pico en el intervalo de 440 a 500 nm, y opcionalmente

c) la totalidad o parte de la emisión a una frecuencia de 600-800 nm se genera utilizando una conversión ascendente de longitud de onda total o parcial de la potencia de radiación del chip LED.

Un artefacto de iluminación hortícola en una cavidad oscura está en consonancia con la invención y comprende al menos un LED que tiene

a) unas primeras características espectrales incluyendo un pico en el intervalo de longitud de onda de 600 a 700 nm y dispuesto para mostrar una anchura total a la mitad del máximo de al menos 50 nm o más;

b) unas segundas características espectrales con un máximo de anchura total a la mitad del máximo de 50 nm y dispuesto para mostrar una longitud de onda pico en el intervalo de 440 a 500 nm, y

c) al menos una parte o la totalidad de la emisión a longitudes de onda de 500-600 nm está dispuesta para ser reducida al mínimo y/u omitida y/o reducida por debajo de la intensidad en la banda de 400-500 nm y por debajo de la intensidad en la banda de 600-700 nm.

Las implementaciones basadas en puntos cuánticos y/o LED de la invención permiten un ajuste espectral muy fino del espectro de emisión, y por lo tanto muy buena eficiencia energética y un mejor control morfogenético en el cultivo de plantas que depende de la luz artificial. Esta ventaja es aún más pronunciada cuando se utilizan puntos cuánticos solamente, ya que el ajuste espectral proporcionado por ellos es superior al de los LED convencionales. Además, la calidad de las cosechas se mejora considerablemente con los dispositivos de luz de la invención y esto trae una multitud de ventajas relacionadas con el cultivo en cámaras de crecimiento oscuras o cámaras con luz ambiente muy limitada: En primer lugar las plantas se pueden hacer crecer más cerca del lugar de consumo, p. ej. en los sótanos de viviendas en las grandes ciudades, eliminando de esta manera los costes de transporte. En segundo lugar, las plantas pueden ser cultivadas en zonas geográficas donde la agricultura no es tradicionalmente posible, p. ej., las condiciones cálidas del desierto en el verano. En tercer lugar, a medida que la calidad de las plantas mejora también mejora la uniformidad entre las plantas individuales lo que hace que la cosecha sea más fácil. Esto es debido a que hay menos individuos rechazados y el equipo de cosechado basado en la visión artificial puede reconocer mejor las plantas cuando tienen una calidad, tamaño y color uniformes. En cuarto lugar, las propiedades de las plantas se pueden variar de una manera controlada, porque casi todos los parámetros de crecimiento están bajo control, lo que es especialmente ventajoso cuando se cultivan flores y plantas ornamentales. En quinto lugar, de acuerdo con la presente invención, una dosis diaria constante de fotones para las plantas ayuda en la administración de nutrientes, ya que la dosis de nutrientes se puede mantener igual durante todo el año. En sexto lugar, en zonas geográficas muy calientes y soleadas las plantas pueden ser cultivadas en cámaras de crecimiento opacas oscuras que reflejan la luz solar. La energía gastada en la iluminación artificial de la invención es considerablemente menor que la que se habría gastado en el aire acondicionado o la refrigeración de la planta bajo la luz del sol.

Cabe señalar que una cavidad oscura se interpreta como un espacio con luz limitada que tiene cero luz solar y luz ambiente sin la fuente de luz artificial de la invención que emite fotones, pero dicha cavidad puede ser de cualquier tamaño, de tamaño microscópico, del tamaño de una maceta de flores, de un sótano de una vivienda/negocio de 10 m^2, de un contenedor de carga de envío, del tamaño de un campo de fútbol, p. ej., un sótano de un estadio de fútbol, y/o un rascacielos de 20 plantas donde se cultivan verduras suficientes para una ciudad entera en uno o más pisos.

Además y con referencia a las realizaciones generadas de las ventajas anteriormente mencionadas, el mejor modo de la invención se refiere al uso de un dispositivo de iluminación con LED que produce un espectro de emisión de otro modo similar al espectro de radiación fotosintéticamente activa (PAR), excepto que el espectro de emisión omite u ofrece una intensidad muy baja en el amarillo verde (500-600) nm y comprende un rasgo espectral de alta intensidad en la banda del rojo lejano de 700-800 nm que incide sobre las plantas en una cámara de crecimiento oscura.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirá la invención con mayor detalle con referencia a realizaciones ilustrativas de acuerdo con los dibujos adjuntos, en los cuales

La Figura 1A muestra los espectros de absorción relativa de los fotorreceptores fotosintéticos y fotomorfogenéticos más comunes en las plantas verdes.

La Figura 1B muestra una realización del dispositivo de iluminación de la invención 10 como un diagrama de bloques.

La Figura 2 muestra una realización 20 del método de iluminación de acuerdo con la invención como un diagrama de flujo.

La Figura 3 muestra una realización 30 de la utilización del dispositivo de iluminación de la invención como un diagrama de bloques.

La Figura 4 muestra la realización 40 con picos de emisión de una primera única fuente de emisión LED y/o un dispositivo de puntos cuánticos de acuerdo con la invención.

La Figura 5 muestra la realización 50 con los picos de emisión de una segunda única fuente de emisión de luz LED y/o un dispositivo de puntos cuánticos de acuerdo con la invención.

La Figura 6 muestra la realización 60 con los picos de emisión de una tercera única fuente de emisión de luz LED y/o un dispositivo de puntos cuánticos de acuerdo con la invención.

La Figura 7 muestra la realización 70 con los picos de emisión de una cuarta única fuente de emisión de luz LED y/o un dispositivo de puntos cuánticos de acuerdo con la invención.

La Figura 8 muestra la realización 80 con el espectro que se ha descubierto que maximiza la biomasa de las plantas de acuerdo con la invención.

Algunas de las realizaciones se describen en las reivindicaciones dependientes.

Descripción detallada de realizaciones

La Figura 1B muestra un dispositivo de iluminación 100 que comprende una pluralidad de puntos cuánticos 110, 120, 130, 140, 150 y 160 de diferentes tamaños. La distribución del tamaño de los puntos cuánticos comprende puntos cuánticos de diferentes tamaños dentro del intervalo de 2 nm - 200 nm, es decir, el punto cuántico 110 típicamente tiene un diámetro de 200 nm y el punto cuántico 160 tiene un diámetro de aproximadamente 2 nm.

El dispositivo de iluminación comprende típicamente también un LED 101, que es preferiblemente de color azul o tiene alguna otra longitud de onda más corta.

A medida que el LED 101 emite luz, algunos de los fotones emitidos son absorbidos por los puntos cuánticos 110, 120, 130, 140, 150 y 160. A medida que se absorben los fotones, los electrones en los puntos cuánticos 110, 120, 130, 140, 150 y 160 son excitados a estados de energía más altos. Estos electrones posteriormente se relajan desde los estados de energía más altos a estados de energía más bajos mediante la emisión de uno o más fotones de energía igual a la diferencia entre dichos estados de energía más altos y más bajos.

En algunas realizaciones se utilizan energía eléctrica y electrodos (no mostrados) para producir un campo eléctrico para excitar un electrón en un punto cuántico de la forma habitual en algunas realizaciones. A medida que el electrón se relaja a un estado de energía menor, emite un fotón con una longitud de onda dictada por la diferencia de energía entre el estado excitado y el relajado. Estos fotones emitidos producen el espectro de emisión del dispositivo de iluminación 100.

En algunas realizaciones, los puntos cuánticos 150, 160 están dispuestos para transmitir luz UV/azul en el intervalo de 250-400 nm, los puntos cuánticos 140 y 130 están dispuestos para transmitir luz verde y/o amarilla de 400-600 nm y los puntos cuánticos 120 están dispuestos para transmitir luz roja de 600-700 nm, y el punto cuántico 110 está dispuesto para transmitir luz roja lejana en la banda de 700-800 nm.

La intensidad de emisión relativa y el número de puntos cuánticos 110, 120, 130, 140, 150 y 160 de cierto tamaño se varía para producir un espectro de emisión total similar y/o idéntico al espectro de radiación fotosintéticamente activa (PAR) en algunas realizaciones. Aún más preferiblemente, el espectro de emisión omite o proporciona una intensidad muy baja en el amarillo verde (500-600) nm y comprende un rasgo espectral de alta intensidad en la banda del rojo lejano de 700-800 nm que incide sobre las plantas en una cámara de crecimiento oscura.

Todos o algunos de los puntos cuánticos 110, 120, 130, 140, 150 y 160 se fabrican típicamente a partir de cualquiera de las siguientes aleaciones: seleniuro de cadmio, sulfuro de cadmio, arseniuro de indio, fosfuro de indio y/o sulfuro + seleniuro de cadmio en algunas realizaciones.

Cabe señalar que en realizaciones más elaboradas el LED y/o el tamaño de al menos uno de dichos puntos cuánticos 110, 120, 130, 140, 150 y/o 160 se eligen de manera que dicho punto cuántico produzca una emisión de fotones en una banda en el espectro de fotones con un cierto efecto fotomorfogenético en las plantas. Dicho efecto fotomorfogenético variable podría ser cualquiera de los siguientes parámetros biológicos: peso, número de hojas, masa de raíces, altura del tallo, composición química (tal como contenido y/o concentración de vitaminas, minerales, y/o nutrientes) que tiene la planta en diferentes puntos temporales o en la madurez de cosecha en algunas

realizaciones de la invención.

En algunas realizaciones, al menos uno de dichos puntos cuánticos 110, 120, 130, 140, 150 y/o 160 se produce por síntesis coloidal. En la síntesis coloidal los nanocristales semiconductores coloidales se sintetizan a partir de compuestos precursores disueltos en soluciones, al igual que en los procesos químicos tradicionales. Típicamente, la síntesis de los puntos cuánticos coloidales se basa en un sistema de tres componentes compuesto de: precursores, tensioactivos orgánicos, y disolventes. El medio de reacción se calienta a una temperatura suficientemente alta, y los precursores se transforman químicamente en monómeros. Una vez que los monómeros alcanzan un nivel de sobresaturación suficientemente alto, comienza el crecimiento del nanocristal con un proceso de nucleación. La temperatura durante el proceso de crecimiento es uno de los factores críticos en la determinación de las condiciones óptimas para el crecimiento de nanocristales en algunas realizaciones. La temperatura es típicamente lo suficientemente alta como para permitir la reordenación y la re-asociación de los átomos durante el proceso de síntesis mientras que sea lo suficientemente baja como para promover el crecimiento de cristales. Otro factor crítico que se controla durante el crecimiento de los nanocristales es la concentración de monómero en algunas realizaciones.

El proceso de crecimiento de nanocristales puede ocurrir en dos regímenes diferentes, por lo general descritos como "enfoque" y "desenfoque". A altas concentraciones de monómero, el tamaño crítico (el tamaño al que los nanocristales ni crecen ni se encogen) es relativamente pequeño, lo que da como resultado el crecimiento de casi todas las partículas. En este régimen, las partículas más pequeñas crecen más rápido que las grandes, ya que los cristales más grandes necesitan más átomos para crecer que los cristales pequeños, y esto se traduce en el "enfoque" de la distribución de tamaños para producir casi partículas monodispersas. El tamaño de enfoque es normalmente óptimo cuando la concentración de monómero se mantiene de tal manera que el tamaño promedio del nanocristal presente es siempre ligeramente mayor que el tamaño crítico. Cuando la concentración de monómero se empobrece durante el crecimiento, el tamaño crítico se hace mayor que el tamaño medio presente, y la distribución se "desenfoca" como resultado de la maduración de Ostwald.

Hay métodos coloidales para producir muchos semiconductores diferentes. Los puntos típicos de la invención están elaborados de aleaciones binarias, tales como seleniuro de cadmio, sulfuro de cadmio, arseniuro de indio y fosfuro de indio. Aunque los puntos también pueden estar elaborados de aleaciones ternarias tales como sulfuro + seleniuro de cadmio en algunas realizaciones. Estos puntos cuánticos pueden contener tan pocos como 100 a 100.000 átomos dentro del volumen del punto cuántico, con un diámetro de 10 a 50 átomos. Esto corresponde a aproximadamente 2 a 10 nanómetros.

Está en consonancia con la invención la producción de diferentes poblaciones de puntos cuánticos por diferentes métodos de síntesis coloidal, u otros métodos, y a continuación la combinación de dichas poblaciones para producir una distribución de tamaño que proporciona el espectro de emisión deseado para el cultivo de las plantas.

Cabe señalar que se puede utilizar la realización 10 junto con los LED convencionales de acuerdo con la invención. La realización 10 también es adecuada para ser utilizada como fuente de iluminación para al menos una planta en una cavidad de crecimiento oscura, o una cavidad con bajos niveles de luz ambiental.

También se debe señalar adicionalmente que la realización 10 puede ser fácilmente permutada y/o combinada con cualquiera de las realizaciones 20, 30, 31, 40, 50, 60, 70 y/u 80.

La Figura 2 muestra el funcionamiento del dispositivo de iluminación que utiliza puntos cuánticos de la invención, por ejemplo en un invernadero o un entorno de cámara de crecimiento. En la fase 200 la emisión de luz se dirige desde el dispositivo de iluminación hacia al menos una planta.

En la fase 210 se proporciona energía eléctrica al dispositivo de iluminación y al menos un punto cuántico en dicho dispositivo de iluminación, que produce un campo eléctrico. El campo eléctrico excita un electrón en un punto cuántico a un estado de energía más alto en la fase 220.

A medida que el electrón se relaja a un estado de energía inferior, éste emite un fotón con una longitud de onda dictada por la diferencia de energía entre el estado excitado y el relajado en las fases 230 y 240. Estos fotones emitidos producen el espectro de emisión que se transmite desde el dispositivo de iluminación. Los LED de la invención se utilizan de la forma habitual.

En algunas realizaciones se emiten luz UV/azul en el intervalo de 250-400 nm, luz verde y/o amarilla en el intervalo de 400-600 nm, luz roja de 600-700 nm, y/o la luz roja lejana en la banda de 700-800 nm por los LED y/o puntos cuánticos de diferentes tamaños del método de la invención. Normalmente, los puntos cuánticos más grandes emiten luz roja de longitud de onda más larga y los puntos cuánticos más pequeños y/o LED luz azul de longitudes de onda más cortas en algunas realizaciones de la invención.

Cabe señalar que la realización 20 se puede utilizar junto con los LED convencionales de acuerdo con la invención. La realización 20 también es adecuada para ser utilizada como método de iluminación para al menos una planta en una cavidad de crecimiento oscura, o una cavidad con bajos niveles de luz ambiental.

También se debe señalar adicionalmente que la realización 20 puede ser fácilmente permutada y/o combinada con cualquiera de las realizaciones 10, 30, 31, 40, 50, 60, 70 y/u 80.

La Figura 3 muestra diferentes realizaciones de configuraciones de uso 30, 31 del dispositivo de iluminación de invernadero artificial y del método de la invención. En una realización 30 de las plantas 311 se cultivan en el suelo de un invernadero con paredes transparentes 301. Un dispositivo de iluminación 322 con al menos un LED y/o punto cuántico se localiza en una posición desde la cual los fotones emitidos pueden alcanzar tantas plantas 311 como sea posible con el flujo máximo de emisión. En algunas realizaciones, el espectro de emisión 350 del dispositivo de iluminación se ajusta para complementar el espectro de luz natural que es la luz solar que se transmite a través de la pared 301. En algunas realizaciones, el dispositivo de iluminación 322 puede comprender puntos cuánticos dispuestos para transmitir aquellas longitudes de onda que son filtradas y/o atenuadas por las paredes del invernadero de acuerdo con la invención.

En una realización 31 las plantas que se van a cultivar se apilan en cámaras de crecimiento 360 en el invernadero 300. En algunas realizaciones, cada cámara de crecimiento tiene un dispositivo de iluminación 321. Incluso si las plantas se apilan en cámaras de crecimiento transparentes, hay una mayor reducción y/o atenuación de la luz solar que en la realización 30 ya que algunos de los fotones necesitan transmitir a través de más de una pared transparente. Por lo tanto, el dispositivo de iluminación 321 con puntos cuánticos típicamente complementa el espectro de la luz natural de múltiples transmisiones como antes, o en el caso de una cámara opaca ofrece toda la radiación de luz a las plantas 310. En algunas realizaciones hay tanto dispositivos de iluminación específicos para cámaras de crecimiento como al menos un dispositivo de iluminación 320 compartido por más de una planta 310 en una o más cámaras de crecimiento 360.

En algunas realizaciones el al menos un LED y/o punto cuántico está/están dispuestos para producir un espectro de emisión que cuando se combina con el espectro transmitido 340 es similar al espectro de radiación fotosintéticamente activa (PAR). Incluso más preferiblemente dicho espectro de emisión omite o proporciona una intensidad muy baja en el amarillo verde (500-600) nm y comprende un rasgo espectral de alta intensidad en la banda del rojo lejano de 700-800 nm que incide sobre las plantas en una cámara de crecimiento oscura. Este espectro es especialmente útil como la única fuente de luz para plantas cultivadas en cámaras de crecimiento oscuras de acuerdo con la invención.

En realizaciones se elige al menos un LED y/o punto cuántico en el artefacto de iluminación para que emita en una banda en el espectro de fotones, cuya banda tiene un cierto efecto fotomorfogenético en las plantas. La mencionada variable fotomorfogenética efectuada podría ser cualquiera de los siguientes parámetros biológicos: peso, número de hojas, masa de raíces, altura del tallo, composición química (tal como contenido/concentración de vitaminas, minerales, y/o nutrientes) de la planta 310, 311 en diferentes puntos temporales o en la madurez de la cosecha.

Cabe señalar que la realización 30 se puede utilizar junto con los LED convencionales de acuerdo con la invención. Las realizaciones 30, 31 también son adecuadas para ser implementadas con cámaras de crecimiento 360 de cualquier nivel de opacidad o transparencia.

También se debe señalar que las realizaciones 30 y 31 pueden ser fácilmente permutadas y/o combinadas entre sí y/o con cualquiera de las realizaciones 10, 20, 40, 50, 60, 70 y/u 80.

En la Figura 4, la frecuencia de emisión del LED semiconductor y/o el chip de puntos cuánticos tiene un pico a una longitud de onda de 457 nm con una Anchura Total a la Mitad del Máximo (FWHM) del pico de emisión de 25 nm. En este caso la conversión ascendente de la longitud de onda se realiza mediante el uso de dos materiales de conversión ascendente. Estos dos materiales de conversión ascendente de la longitud de onda tienen picos de emisión individuales a 660 nm y 604 nm. Estos materiales pueden ser puntos cuánticos u otros materiales en algunas realizaciones. La Figura 4 muestra el pico de emisión combinado de estos dos materiales de conversión ascendente de las longitudes de onda alcanzando un pico de 651 nm de longitud de onda con una FWHM del pico de emisión de 101 nm. En este caso aproximadamente 40% (calculado a partir de las intensidades de los picos) de la emisión del LED semiconductor y/o chip de puntos cuánticos, es sometido a conversión ascendente a una emisión de 651 nm por dos materiales de conversión ascendente individuales.

En algunas realizaciones no se utiliza la conversión ascendente, y el rasgo espectral de longitud de onda más larga es emitido por al menos un LED y/o punto cuántico que es impulsado por energía eléctrica.

Se debe tener en cuenta que el espectro 40 se puede utilizar e implementar con LED convencionales. El espectro 40 puede ser implementado por al menos un punto cuántico y al menos un LED combinados o al menos un punto cuántico sólo de acuerdo con la invención. El espectro 40 es especialmente adecuado para ser utilizado para la iluminación de al menos una planta en una cavidad de crecimiento oscura, o una cavidad con bajos niveles de luz ambiental.

También se debe señalar adicionalmente que la realización 40 puede ser fácilmente permutada y/o combinada con cualquiera de las realizaciones 10, 20, 30, 31, 50, 60, 70 y/u 80.

En la Figura 5, la frecuencia de emisión del LED semiconductor y/o el chip de puntos cuánticos tiene un pico a una

longitud de onda de 470 nm con una Anchura Total a la Mitad del Máximo (FWHM) del pico de emisión de 30 nm. En este caso la conversión ascendente de la longitud de onda se realiza mediante el uso de dos materiales de conversión ascendente. Estos dos materiales de conversión ascendente de la longitud de onda tienen picos de emisión individuales a 660 nm y 604 nm. Estos materiales pueden ser puntos cuánticos u otros materiales en algunas realizaciones. La Figura 5 muestra el pico de emisión combinado de estos dos materiales de conversión al alza de las longitudes de onda con picos a una longitud de onda de 660 nm con un pico de emisión FWHM de 105 nm. En este caso aproximadamente 60% (calculado a partir de las intensidades de los picos) de la emisión del chip LED semiconductor, es sometido a conversión ascendente a una emisión de 660 nm por dos materiales "de conversión ascendente" individuales.

En algunas realizaciones no se utiliza la conversión ascendente, y el rasgo espectral de longitud de onda más larga es emitido por al menos un LED y/o punto cuántico que es impulsado por energía eléctrica.

Se debe tener en cuenta que el espectro 50 se puede utilizar e implementar con LED convencionales. El espectro 50 también puede ser implementado por al menos un punto cuántico y al menos un LED combinados o al menos un punto cuántico sólo de acuerdo con la invención. El espectro 50 es especialmente adecuado para ser utilizado para la iluminación de al menos una planta en una cavidad de crecimiento oscura, o una cavidad con bajos niveles de luz ambiental.

También se debe señalar adicionalmente que la realización 50 puede ser fácilmente permutada y/o combinada con cualquiera de las realizaciones 10, 20, 30, 31, 40, 60, 70 y/u 80.

En la Figura 6, la frecuencia de emisión del LED semiconductor y/o el chip de puntos cuánticos tiene un pico a una longitud de onda de 452 nm con una Anchura Total a la Mitad del Máximo (FWHM) del pico de emisión de 25 nm (no mostrado en la Figura 6). En este caso la conversión ascendente de la longitud de onda se realiza mediante el uso de un material de conversión ascendente. Este material puede ser un punto cuántico u otro material en algunas realizaciones. La Figura 6 muestra el pico de emisión de este material de conversión ascendente que alcanza un pico a una longitud de onda de 658 nm con una FHWM del pico de emisión de 80 nm. En este caso aproximadamente 100% (calculado a partir de las intensidades de los picos) de la emisión del LED semiconductor y/o el chip de puntos cuánticos, es sometido a conversión ascendente a una emisión de 658 nm por el material de conversión ascendente. Esto puede ser observado a partir de la Figura 6, ya que no hay emisión de 452 nm que salga del dispositivo LED y/o de puntos cuánticos.

En algunas realizaciones no se utiliza la conversión ascendente, y el rasgo espectral de longitud de onda más largo es emitido por al menos un LED y/o punto cuántico que es impulsado por energía eléctrica.

Se debe tener en cuenta que el espectro 60 se puede utilizar e implementar con LED convencionales. El espectro 60 se puede implementar también por medio de al menos un punto cuántico y al menos un LED combinados o al menos un punto cuántico sólo de acuerdo con la invención. El espectro 60 es especialmente adecuado para ser utilizado para la iluminación de al menos una planta en una cavidad de crecimiento oscura, o una cavidad con bajos niveles de luz ambiental.

También se debe señalar adicionalmente que la realización 60 puede ser fácilmente permutada y/o combinada con cualquiera de las realizaciones 10, 20, 30, 31, 50, 70 y/o 80.

En la Figura 7, la frecuencia de emisión del chip de LED semiconductor y/o de puntos cuánticos tiene un pico a una longitud de onda de 452 nm con una Anchura Total a la Mitad del Máximo (FWHM) del pico de emisión de 25 nm. En este caso la conversión ascendente de la longitud de onda se realiza mediante el uso de un material de conversión ascendente. Este material puede ser un punto cuántico u otro material en algunas realizaciones. La Figura 7 muestra el pico de emisión de este material de conversión ascendente que alcanza un pico a una longitud de onda de 602 nm con una FWHM del pico de emisión de 78 nm. En este caso aproximadamente 95% (calculado a partir de las intensidades de los picos) de la emisión del LED semiconductor y/o el chip de puntos/cuánticos, es sometido a conversión ascendente a una emisión de 602 nm mediante el material de conversión ascendente de la longitud de onda.

En algunas realizaciones no se utiliza la conversión ascendente, y el rasgo espectral de longitud de onda más largo es emitido por al menos un LED y/o punto cuántico que es impulsado por energía eléctrica.

Se debe tener en cuenta que el espectro 70 se puede utilizar e implementar con LED convencionales. El espectro 70 se puede implementar también por medio de al menos un punto cuántico y al menos un LED combinados o al menos un punto cuántico sólo de acuerdo con la invención. El espectro 70 es especialmente adecuado para ser utilizado para la iluminación de al menos una planta en una cavidad de crecimiento oscura, o una cavidad con bajos niveles de luz ambiental.

También se debe señalar además que la realización 70 puede ser fácilmente permutada y/o combinada con cualquiera de las realizaciones 10, 20, 30, 31, 40, 50, 60 y/u 80.

La Figura 8 muestra un espectro optimizado 80 que maximiza la producción de biomasa en las plantas. El espectro

optimizado se produce preferiblemente con los dispositivos de iluminación de la invención descritos en esta solicitud. El espectro 80 tiene ventajas especiales en el cultivo en cámara de crecimiento, donde la cámara de crecimiento es una cámara oscura, es decir, tiene niveles de luz solar y/o luz ambiental nulos o bajos. El dispositivo de iluminación de la invención que produce el espectro 80 se puede colocar en dicha cámara y maximizar la producción de biomasa de acuerdo con la invención. El autor de la presente invención ha descubierto experimentalmente el rasgo de maximización de biomasa del espectro 80.

También se debe señalar adicionalmente que la realización 80 puede ser fácilmente permutada y/o combinada con cualquiera de las realizaciones 10, 20, 30, 31, 40, 50, 60 y/o 70. Los materiales LED y/o de puntos cuánticos utilizados y los tamaños deben ser seleccionados de manera que se consiga un espectro de emisión deseado desde el dispositivo LED y/o de puntos cuánticos.

Para resumir, mediante el ajuste del LED, las especies de puntos cuánticos y/o distribución de tamaños es posible ajustar los espectros de emisión deseada del dispositivo LED y/o de puntos cuánticos y mediante el ajuste del número de puntos cuánticos y/o LED es posible ajustar la cantidad/cuantía de emisión del chip deseada para el dispositivo de emisión de luz.

La presente invención también se refiere a un artefacto de iluminación para facilitar el crecimiento de plantas que comprende al menos un LED y/o punto cuántico que tiene características espectrales que incluyen un pico en el intervalo de longitud de onda de 600 a 700 nm.

Mediante el uso de este enfoque, se pueden diseñar fuentes de luz para que alcancen un PPF superior y un PPF por eficiencia vatio y rendimiento y un consumo de energía muy bajo y una vida útil de funcionamiento muy prolongada en comparación con las tecnologías existentes que las hacen muy útiles en cámaras de crecimiento oscuras.

En algunas realizaciones la emisión a una frecuencia de 300-500 nm es generado por el chip LED semiconductor y la emisión a una frecuencia de 400-800 nm es generada utilizando una conversión ascendente de longitud de onda completa o parcial de la potencia de radiación del chip LED. La conversión ascendente de longitud de onda parcial puede ser seleccionada para que se encuentre en el intervalo de 5-95%, preferiblemente 35-65%, de la radiación del chip LED semiconductor. La conversión ascendente de la longitud de onda para producir la radiación de 400-800 nm se logra mediante el uso de uno o más materiales de conversión ascendente en la proximidad con la fuente de emisión de LED en algunas realizaciones.

En esta solicitud la longitud de onda pico "ajustable", con las características anteriores se interpreta como una longitud de onda pico que se puede ajustar durante el montaje del artefacto de iluminación en la fábrica, y/o también "ajustable", como en un dial ajustable en el artefacto de iluminación para un ajuste de la longitud de onda pico en el sitio. Además el ajuste de las longitudes de onda pico de los LED y/o puntos cuánticos durante el proceso de fabricación del dispositivo también está en consonancia con la invención, y se debe interpretar que "ajustable" también incluye los ajustes realizados durante el proceso de fabricación del LED y/o punto cuántico. Todas las realizaciones mencionadas anteriormente de una longitud de onda pico ajustable, o cualquier otra fuente de luz, LED y/o punto cuántico ajustable variable están dentro del alcance de esta solicitud de patente.

En una realización ilustrativa especial de la invención se mezclaron nanopartículas de puntos cuánticos de CdSe-ZnS (núcleo-cubierta) con tamaño de partícula promedio de 6,6 nm, con una distribución de tamaño de partícula de aproximadamente +/- 0,5 nm, con una resina encapsulante de silicona de dos componentes. La razón de mezcla fue de 0,2% en peso de nanopartículas en la resina de silicona. La resina que contenía las nanopartículas se dispensó como encapsulante en un chip encapsulado de plástico con terminales (PLCC) que consiste en un diodo emisor de luz InGaN en la cavidad PLCC. Se determinaron los diodos emisores de luz para que tuvieran una emisión electroluminiscente en el intervalo de longitud de onda de 450 nm.

El InGaN que contenía el paquete PLCC con nanopartículas que contenían material encapsulante estaba conectado a una fuente de alimentación de voltaje de corriente continua con tensión directa de 3,2 V y una corriente de 350 mA. El espectro de emisión óptica del dispositivo se caracterizó para dar lugar a dos picos de emisión, uno en un intervalo de longitud de onda de 450 nm y el segundo en un intervalo de longitud de onda de 660 nm. Se observó que la anchura total a la mitad del máximo del pico de emisión en el intervalo de 660 nm estaba por encima de aproximadamente 60 nm. Las razones de intensidad de los picos de 450 nm y 660 nm fueron de 0,5:1. El experimento antes mencionado ha sido llevado a cabo por el solicitante.

Está en consonancia con la invención la inclusión de al menos un LED y/o punto cuántico con diferentes emisiones pico en una luminaria y el control de estos con el fin de proporcionar una emisión espectral deseable para lograr un resultado de crecimiento o una respuesta fisiológica determinados. De esta manera, el sistema de iluminación permitiría un control versátil de la intensidad de la iluminación y el espectro. En última instancia, el control de otros parámetros abióticos tales como la concentración de CO_2, la temperatura, la disponibilidad de luz del día y humedad podría integrarse dentro del mismo sistema de control junto con la iluminación, la optimización de la productividad de los cultivos y la gestión global del invernadero.

La invención se ha explicado anteriormente con referencia a las realizaciones mencionadas anteriormente y se han demostrado varias ventajas comerciales e industriales. Los métodos y disposiciones de la invención permiten un

ajuste espectral más preciso de la emisión del espectro para las luces utilizadas en el cultivo de plantas. Por lo tanto, la invención logra mejoras inesperadas en el control fotomorfogenético del crecimiento de las plantas, y otras mejoras en la producción de plantas, especialmente en cámaras de crecimiento oscuras, tales como sótanos. La invención también mejora considerablemente la eficiencia energética del cultivo de plantas dependiente de la luz artificial. Además, la calidad de las cosechas se mejora considerablemente con los dispositivos de luz de la invención y esto conlleva una multitud de ventajas relacionadas con el cultivo en cámaras de crecimiento oscuras o cámaras con la luz ambiental muy limitada: En primer lugar las plantas se pueden hacer crecer más cerca del lugar de consumo, p. ej. en los sótanos de viviendas en las grandes ciudades, eliminando de esta manera los costes de transporte. En segundo lugar, las plantas pueden ser cultivadas en zonas geográficas donde la agricultura no es tradicionalmente posible, p. ej., las condiciones cálidas del desierto en el verano. En tercer lugar, a medida que la calidad de las plantas mejora también mejora la consistencia entre las plantas individuales lo que hace que la cosecha sea más fácil. Esto es debido a que hay menos individuos rechazados y los equipos de recolección basados en la visión artificial pueden reconocer mejor las plantas cuando tienen una calidad, tamaño y color uniformes. En cuarto lugar, las propiedades de las plantas se pueden variar de una manera controlada, porque casi todos los parámetros de crecimiento están bajo control, lo que es especialmente ventajoso cuando se cultivan flores y plantas ornamentales. En quinto lugar, una dosis de fotones constante todos los días en las plantas ayuda a la administración de los nutrientes, la dosis de nutrientes se puede mantener igual durante todo el año. En sexto lugar, en zonas geográficas muy calientes y soleadas las plantas pueden ser cultivadas en cámaras de crecimiento opacas y oscuras que reflejan la luz solar. La energía gastada en la iluminación artificial de la invención es considerablemente menor que la que se habría gastado en el aire acondicionado o refrigeración de la planta bajo la luz del sol.

La invención se ha explicado anteriormente con referencia a las realizaciones mencionadas anteriormente. Sin embargo, es evidente que la invención no sólo se limita a estas realizaciones, sino que comprende todas las realizaciones posibles dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones de patente.

Referencias

WO 2010/053341 A1,"Phosphor conversion light-emitting diode for meeting photomorphogenetic needs of plants", Zukauskas et al. 2010.
WO 2009/048425 A1, "Fabrication of Phosphor free red and white nitride-based LEDs", Soh et al. 2009.
US 2010/259190 A1, "Lighting Assembly", Lars Aikala.

REIVINDICACIONES

1. El uso de un artefacto de iluminación hortícola en el suministro de luz para al menos una planta con dicha al menos una planta en una cavidad oscura con luz del sol nula, en donde el artefacto de iluminación hortícola comprende al menos un LED y/o punto cuántico que tiene

a) unas primeras características espectrales incluyendo un pico en el intervalo de longitud de onda de 600 a 700 nm y dispuesto para mostrar una anchura total de la mitad del máximo de al menos 50 nm o más;

b) unas segundas características espectrales con un máximo de una anchura total de la mitad del máximo de 50 nm y dispuesto para mostrar una longitud de onda pico en el intervalo de 400 a 500 nm, en donde en el uso se proporciona una dosis de fotones constante cada día a la al menos una planta.

2. El uso de un artefacto de iluminación hortícola de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicha cavidad oscura es un piso o un sótano de un edificio.

3. El uso de un artefacto de iluminación hortícola de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicha cavidad oscura es al menos un área de 10 m^2 de un piso o un sótano de un edificio.

4. El uso de un artefacto de iluminación hortícola de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el artefacto de iluminación hortícola es la única fuente de luz en la cavidad oscura.

5. El uso de un artefacto de iluminación hortícola de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el artefacto de iluminación hortícola tiene dichas segundas características espectrales con un máximo de anchura total de la mitad del máximo de 50 nm y dispuesto para mostrar una longitud de onda pico en el intervalo de 440 a 500 nm.

6. El uso de un artefacto de iluminación hortícola de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el artefacto de iluminación hortícola tiene al menos una parte o la totalidad de la emisión a longitudes de onda de 500-600 nm y está dispuesto para ser reducido por debajo de la intensidad en la banda de 400-500 nm y por debajo de la intensidad en banda de 600-700 nm.

7. El uso de un artefacto de iluminación hortícola de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el artefacto de iluminación hortícola tiene toda o parte de la emisión a una frecuencia de 600-800 nm y generada utilizando la totalidad o una parte de la conversión ascendente de longitud de onda de la potencia de radiación del chip de LED y/o de puntos cuánticos y/o por otro punto cuántico eléctrico.

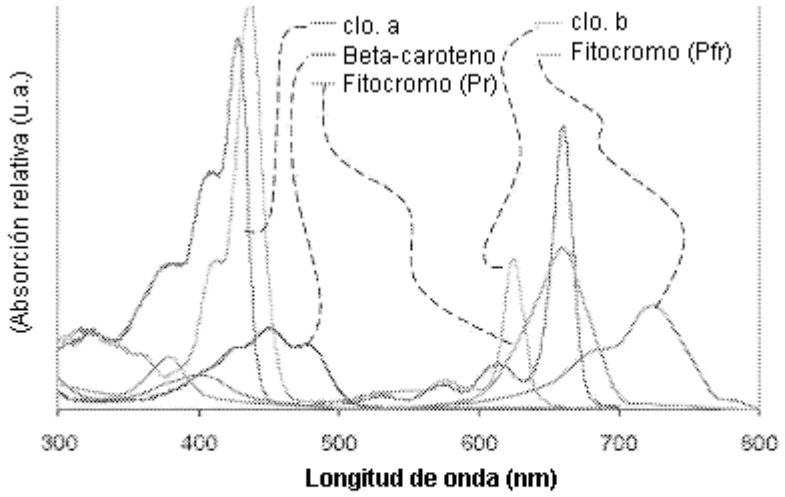
clo. a
Beta-caroteno
Fitocromo (Pr)
clo. b
Fitocromo (Pfr)
(Absorción relativa (u.a.)
300
400
500
600
700
800
Longitud de onda (nm)

FIG 1A.

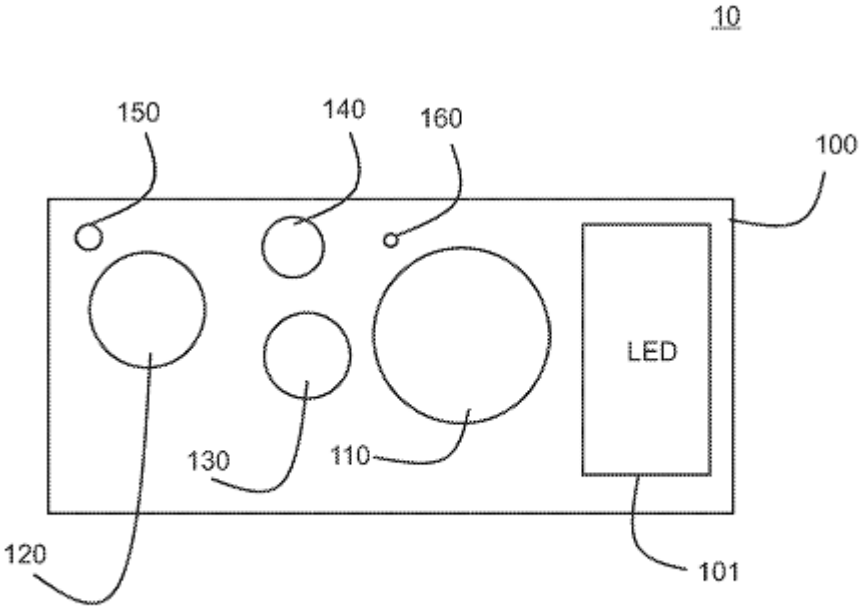
10
150
140
160
100
LED
130
110
120
101

FIG 1B.

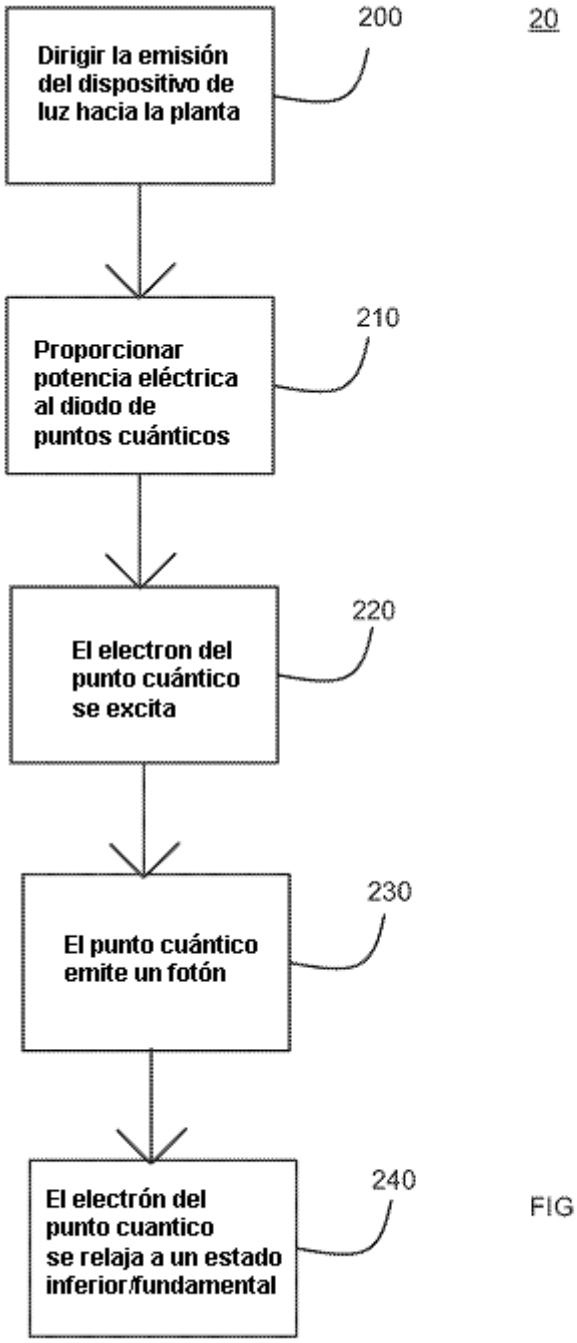
20
200
Dirigir la emisión del dispositivo de luz hacia la planta
210
Proporcionar potencia eléctrica al diodo de puntos cuánticos
220
El electron del punto cuántico se excita
230
El punto cuántico emite un fotón
240
El electrón del punto cuantico se relaja a un estado inferior/fundamental

FIG 2.

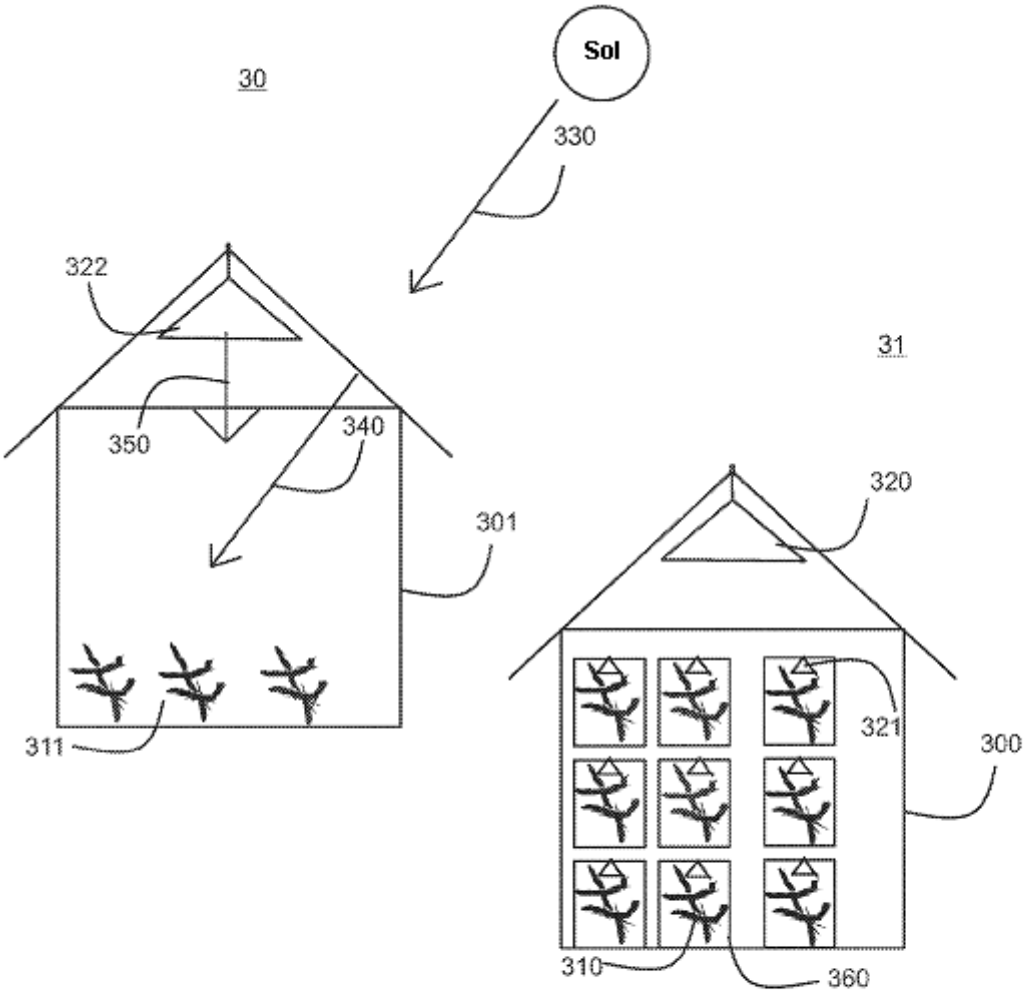

FIG 3.

40

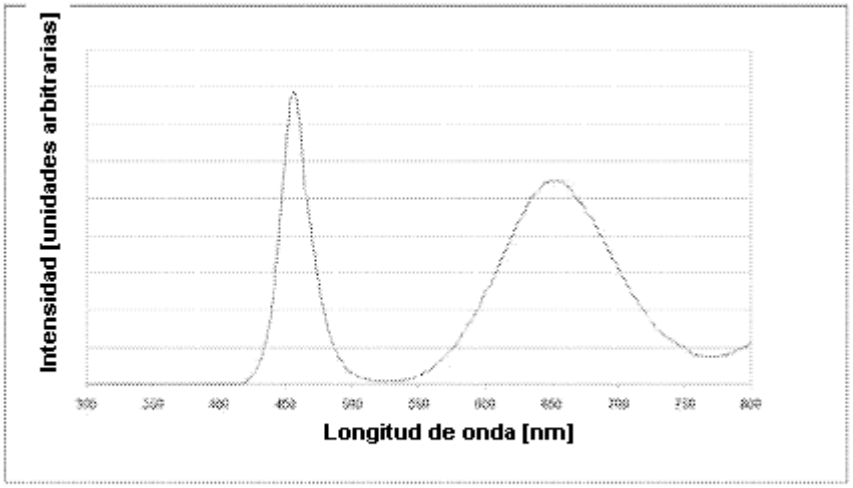

FIG 4.

50

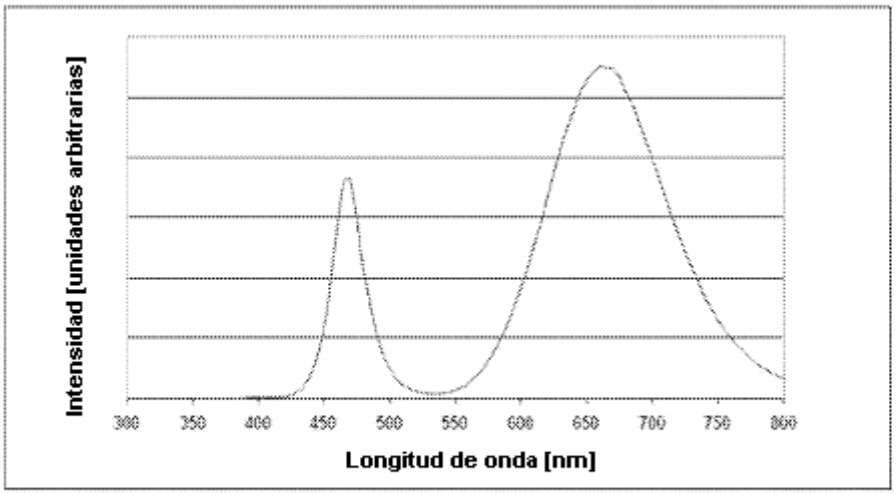

FIG 5.

60

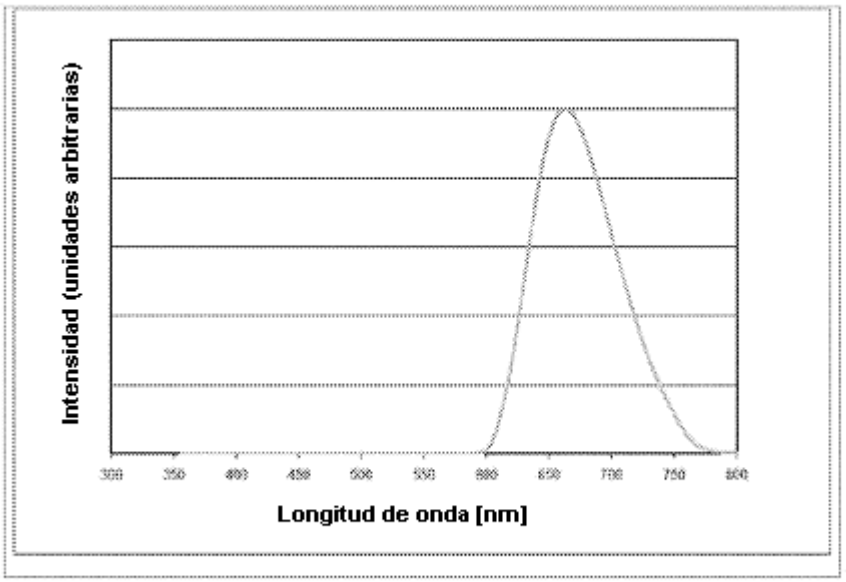

FIG 6.

70

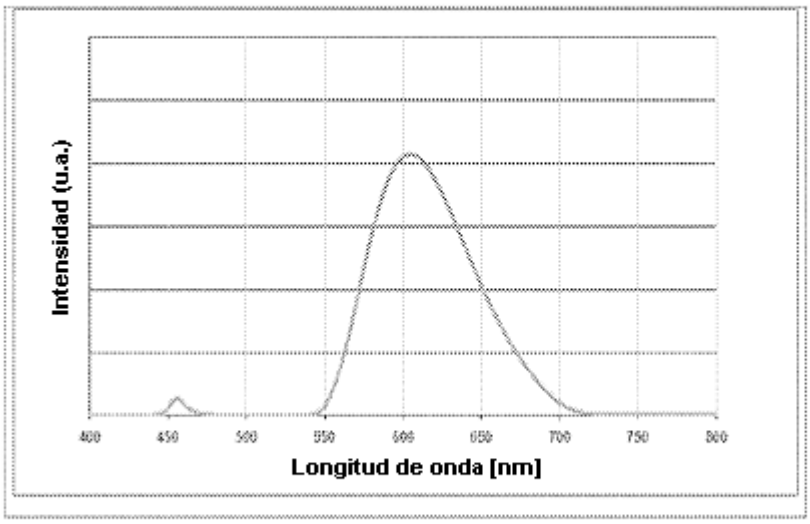

FIG 7.

80

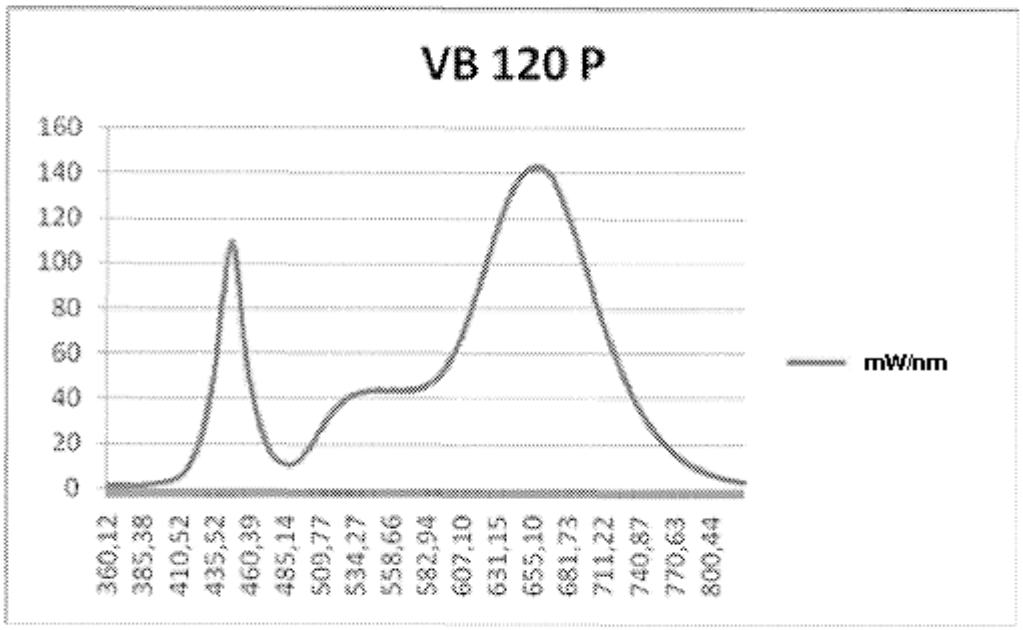
VB 120 P
160
140
120
100
80
60
40
20
0
360,12
385,38
410,52
435,52
460,39
485,14
509,77
534,27
558,66
582,94
607,10
631,15
655,10
681,73
711,22
740,87
770,63
800,44
mW/nm

FIG 8.