

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 536 064**

51 Int. Cl.:

G01N 21/25 (2006.01)
G01J 3/06 (2006.01)
G01J 3/42 (2006.01)
G01J 3/02 (2006.01)
G01J 3/28 (2006.01)
G01S 17/89 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.05.2009 E 09750100 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2015 EP 2286194**

54 Título: **Generación de imágenes hiperspectrales subacuáticas**

30 Prioridad:

21.05.2008 GB 0809252

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

20.05.2015

73 Titular/es:

**ECOTONE AS (100.0%)
P.O. Box 1255 Sluppen
7462 Trondheim, NO**

72 Inventor/es:

JOHNSEN, GEIR

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 536 064 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

Generación de imágenes hiperespectrales subacuáticas

Esta invención se refiere a la generación de imágenes hiperespectrales de muestras y escenas acuáticas.

5 Cuando se ve una escena usando un sensor de generación de imágenes digitales tradicional o con el ojo, la intensidad de luz de cada punto o píxel de la escena observada se puede determinar para cada una de tres bandas de longitud de onda (centradas alrededor del rojo, verde y azul para una cámara digital, y verde amarillento, verde y violeta azulado para el ojo humano).

10 La información acerca de las emisiones espectrales completas (es decir, un gráfico continuo de la intensidad en todas las longitudes de onda) de la escena puede, en el mejor de los casos, estar representada en solo un espacio de color de tres dimensiones, necesitando una pérdida de información.

15 Se han usado sensores multiespectrales en investigación en medios acuáticos (agua dulce, agua salobre y agua salada) durante alrededor de 30 años. Los sensores multiespectrales se dividen en más de tres bandas de color discretas y de este modo dan información espectral más detallada. Típicamente tienen una resolución de longitud de onda mínima de 10 nm. Típicamente se han colocado en satélites, aviones, boyas y barcos para analizar la radiancia de corrientes ascendentes remotamente, y en vehículos subacuáticos para medir la radiancia de corrientes tanto ascendentes como descendentes in situ. En ambos casos la luz medida por el sensor viene de iluminación natural que incide en el agua.

20 El documento US 2005/0007448 describe una plataforma subacuática que comprende una fuente de iluminación, un divisor de haz y varios detectores cada uno sintonizado a diferentes frecuencias o longitudes de onda para la generación de imágenes multiespectrales simultáneas.

25 También se conocen sensores hiperespectrales. Estos tienen una mucho mejor resolución de longitud de onda que los sensores multiespectrales – por lo menos 10 nm o mejor y pueden funcionar en un amplio intervalo de longitudes de onda que incluyen luz visible y típicamente también en frecuencias de ultravioleta e infrarrojo. También se conoce el uso de sensores hiperespectrales para propósitos de generación de imágenes en sensores remotos pasivos. Un generador de imágenes hiperespectrales (conocido también como espectrómetro de generación de imágenes, espectroscopio de generación de imágenes, espectroradiómetro de generación de imágenes, generador de imágenes superespectrales o ultraespectrales), es capaz de determinar la intensidad de luz de cada punto o píxel de una escena para cada una de un gran número de longitudes de onda (típicamente cientos), cada una no más de 10 nm de ancha. Esto da como resultado mucho más información espectral acerca de la escena que se está preservando que en el caso en el que solo están disponibles tres bandas, como para la generación de imágenes convencional.

30 Debido a que los generadores de imágenes hiperespectrales dan tal información espectral detallada para cada píxel en la imagen, independientemente entre sí, es posible identificar regiones que contienen tipos particulares de materia, tales como sustancias químicas y organismos, usando sus espectros únicos conocidos.

35 Las aplicaciones de los generadores de imágenes hiperespectrales incluyen exploración mineral, agricultura, astronomía y monitorización medioambiental. Se usan típicamente en aviones (denominada visión “remota”).

40 Una revisión del uso de sensores hiperespectrales en oceanografía se da en "The New Age of Hyperspectral Oceanography" by Chang et al. en Oceanography, June 2004, pp.23-29. El documento WO 2005/054799 describe el uso de un generador de imágenes hiperespectrales de plataformas aéreas para observar medios marinos costeros remotamente. El uso de un generador de imágenes hiperespectrales para mapear la distribución del bosque de algas marinas cerca de la costa se describe en "Kelp forest mapping by use of airborne hyperspectral imager" by Volent et al. en Journal of Applied Remote Sensing, Vol. 1, 011503 (2007).

45 Sin embargo, el solicitante se ha dado cuenta de que tomar imágenes hiperespectrales remotamente desde el aire o desde el espacio tiene varias limitaciones. Por ejemplo, incluso para agua ópticamente muy transparente, tal como la que se puede encontrar en el Ártico, no es posible distinguir características del fondo marino o de materia suspendida más allá de una profundidad de unos pocos metros. En aguas marinas más típicas, incluso esta visibilidad limitada se reduce drásticamente y es normalmente menor de un metro más o menos – en aguas más turbias puede que solo unos pocos centímetros sean penetrables por la luz. Esto limita la utilidad de esta técnica. Aparecen problemas adicionales debido a interferencias del aire entre la superficie del agua y el generador de imágenes remoto, por ejemplo, debido a nubes y a la dispersión Rayleigh. También es necesario tener en cuenta el ángulo del sol en el cielo.

50 Además, la resolución espacial de los sistemas de sensores remotos convencionales, tales como un generador de imágenes hiperespectrales montado en un avión, típicamente es relativamente baja.

Cuando se ve desde un primer aspecto la invención proporciona un aparato según la reivindicación 1.

- Según la invención, se proporciona un nuevo método y aparato para la generación de imágenes hiperespectrales acuáticas (medidas ópticas usando fuentes de luz artificial) que abren la posibilidad de usos más amplios y precisos de generadores de imágenes hiperespectrales en medios subacuáticos. Se pueden obtener imágenes hiperespectrales bidimensionales de material sumergido desde un aparato in situ; es decir, un aparato que está por lo menos parcialmente sumergido. Al tener el control de la fuente de luz, se pueden realizar mediciones más precisas de las características de reflectancia y transmisión, dado que no hay necesidad de calibrar para el ángulo solar sobre el horizonte, y no hay distorsiones atmosféricas de las que preocuparse. Además la generación de imágenes hiperespectrales se puede llevar a cabo a cualquier profundidad, en lugar de sólo en la superficie como con los enfoques de teledetección.
- Además llevando su propia fuente de luz artificial, el aparato se puede usar para generar imágenes de material a profundidades mucho mayores; ya sea porque se puede hacer lo suficientemente brillante para penetrar más allá, o porque el propio aparato se puede sumergir a la profundidad requerida. Una ventaja adicional dada por la fuente de luz a bordo es que el espectro de emisión de la fuente de luz se puede escoger o adaptar al espectro de reflectancia del material que se busca o espera y a las propiedades ópticas del agua. Estas propiedades ópticas se ven afectadas por la materia orgánica disuelta coloreada, materia en suspensión, fitoplancton, etc. De este modo, si se está buscando un material particular, la fuente de luz se puede elegir para asegurarse de que está iluminado por todas las longitudes de onda deseadas que corresponden a picos en su espectro de reflexión. Igualmente la fuente de luz apropiada se puede escoger por las propiedades de absorción dispersión de agua en la que está funcionando la unidad.
- Por ejemplo, un aparato según la invención, tal como un vehículo subacuático autónomo (AUV), vehículo manejado remotamente (ROV), podría estar provisto de una pluralidad de fuentes de luz. Cada fuente de luz se podría usar en diferentes condiciones o cuando se busquen diferentes materiales; o de hecho se podrían mezclar conjuntamente en proporciones variables para dar opciones de iluminación adicionales.
- De hecho, el aparato comprende medios para ajustar el espectro de la luz emitida por la fuente de luz o por una pluralidad de fuentes de luz. Esto permite la posibilidad de "sintonizar" la salida espectral global de la(s) fuente(s) de luz, según sea necesario. Este podría ser un ajuste realizado para cada misión o se podría ajustar dinámicamente - ya sea manualmente o bajo control programado o de retroalimentación. Por ejemplo una superficie de calibración que tiene características de reflectancia conocidas se podría implementar y usar un control de retroalimentación para alterar el espectro de salida dependiendo del espectro de la luz reflejada desde la superficie de calibración hasta que se consigue un espectro deseado. Un ejemplo no limitante de tal superficie de calibración es un disco de teflón blanco implementado en frente del generador de imágenes hiperespectrales a una distancia dada.
- El generador de imágenes hiperespectrales se podría calibrar usando otros instrumentos, tales como un espectroradiómetro (no generador de imágenes), espectrofotómetro o un espectrofluorímetro. El aparato puede comprender instrumentos adicionales tales como un espectrofotómetro, un espectrofluorímetro, un perfilador acústico de corrientes Doppler (ADCP), un sensor de fluorescencia de la clorofila (fluorímetro de Chl a pasiva (sin fuente de luz de excitación artificial), fluorímetro de Chl a estimulado por luz de excitación azul o fluorímetro de Chl a de láser de LED), un sensor de materia orgánica disuelta coloreada (CDOM), un medidor de retrodispersión, un medidor de turbidez, un sensor de temperatura o un medidor de salinidad. Las determinaciones de estos otros instrumentos se pueden usar para ajustar la salida del generador de imágenes hiperespectrales y/o la fuente de luz.
- En un ejemplo los medios de ajuste del espectro podrían comprender uno o más filtros ópticos selectivamente colocables en el camino de la luz emitida. Preferentemente está disponible más de un filtro, teniendo cada filtro una característica única de filtrado espectral. Alternativa o adicionalmente, la fuente de luz puede comprender una pluralidad de elementos emisores de luz, cada uno con diferentes espectros de emisión, comprendiendo los medios de ajuste del espectro medios para alterar la energía suministrada a los respectivos elementos para dar un requerido espectro de salida total. Los elementos emisores de luz podrían comprender diodos emisores de luz (LEDs). Los LED podrían emitir luz sustancialmente a una sola frecuencia - por ejemplo, luz roja, verde o azul - o podrían contener fósforos que emiten luz en todo un intervalo de frecuencias - por ejemplo, luz blanca. Se podría emplear una mezcla de LEDs de colores y blancos.
- Es importante advertir que la presente invención no se refiere a hiperespectrómetros simples (por ejemplo, espectroradiómetros) que proporcionan un análisis espectral de efectivamente un solo haz de luz que viaja a lo largo de un solo camino. Un generador de imágenes hiperespectrales por otra parte puede producir una representación bidimensional de una escena que contiene información hiperespectral para cada uno de muchos puntos por toda la escena.
- La adición de información de dimensión espacial sobre los datos simples de salida del sensor hiperespectral, permite que los generadores de imágenes hiperespectrales se usen en una amplia variedad de aplicaciones. En general permite la identificación de material sumergido de interés in situ en un medio acuático (biogeoquímica). Esto puede tener muchas aplicaciones útiles tales como la monitorización medioambiental mejorada; el desarrollo de mapas temáticos de materiales de interés que están geolocalizados y tienen una etiqueta temporal; la creación de una serie temporal de imágenes hiperespectrales de una región incluyendo un material de interés dado; la monitorización y vigilancia de materiales de interés en una región dada; la identificación de actividades inusuales (por ejemplo, la

aparición masiva de un organismo dado, planctónico o bentónico; la fuga de petróleo, la fuga de otros minerales/productos químicos; la desintegración de metales).

5 El generador de imágenes hiperespectrales, por ejemplo, podría usar espectrografía dispersiva (DS), espectrografía por transformada de Fourier (FTS) o espectrografía por transformada de Hadamard (HTS). La espectrografía dispersiva genera un espectro dispersando ópticamente la radiación entrante según sus componentes espectrales mientras que la FTS y la HTS usan el principio del interferómetro de Michelson para generar un espectro modulando la radiación entrante en el dominio de tiempo por interferencia por el uso de espejos móviles o una matriz de Hadamard respectivamente; a la radiación modulada en el dominio de tiempo se le realiza la transformada de Fourier a componentes espectrales. Preferentemente el generador de imágenes usa espectrografía dispersiva; esto reduce la necesidad de partes móviles y permite una construcción compacta, robusta y de bajo coste con relativamente bajo consumo de energía, y buena resistencia a las bajas temperaturas que se pueden experimentar bajo el agua. Preferentemente el generador de imágenes funciona usando la técnica de barrido. Preferentemente el movimiento de todo el aparato (por ejemplo, el movimiento hacia delante de un vehículo subacuático) permite generar imágenes continuamente de un área de interés; esto contrasta con los enfoques de FTS y HTS en los que se tendrían que formar imágenes discretas separadas y a continuación ensamblarlas para generar imágenes de un gran área. Preferentemente no tiene partes independientemente móviles; esto contrasta con FTS que requiere espejos móviles y HTS que requiere una rejilla o máscara móvil.

20 El aparato podría estar atado a un barco u otra embarcación. Tal atadura podría comprender un suministro de energía umbilical. Alternativa y preferentemente el aparato se podría mover independientemente; por ejemplo, podría comprender un suministro de energía portátil tal como baterías o medios para generar su propia energía. Tanto si está atado como sin atar, el control del aparato se podría ejercer desde una embarcación de soporte, o incluso desde tierra, o el aparato podría ser completamente autónomo. En algunas realizaciones preferentes el aparato no está físicamente conectado a ningún aparato por encima de la superficie, y comprende un suministro de energía de batería, que puede ser de plomo-ácido o basada en níquel, pero está preferentemente basada en litio para que sea relativamente compacta y ligera de peso. Alternativa o adicionalmente, el aparato puede comprender cualquier otro suministro de energía apropiado tal como un motor de combustión, un reactor nuclear, o un condensador (por ejemplo, un supercondensador).

30 El aparato preferentemente comprende medios para captar imágenes, tal como una videocámara digital, para captar fotogramas desde el generador de imágenes hiperespectrales para análisis subsecuentes; puede comprender adicional o alternativamente medios de procesado de imágenes dispuestos para procesar imágenes captadas desde el generador de imágenes hiperespectrales; puede por ejemplo estar dispuesto para compilar fotogramas secuenciales en el tiempo en forma de una representación de una escena.

35 El aparato podría ser una embarcación flotante. En un conjunto de realizaciones preferidas sin embargo está adaptado para ser totalmente sumergible. Las realizaciones de la invención comprenden un alojamiento hecho substancialmente de metal, por ejemplo, aluminio o acero marino. En un conjunto de realizaciones preferidas parte el alojamiento o casco es transparente para permitir la salida y entrada de luz desde/hacia la fuente de luz del generador de imágenes. Por ejemplo podría comprender uno o más paneles transparentes, por ejemplo, hechos de vidrio de sosa, cuarzo, vidrio acrílico u otro material apropiado. En algunas realizaciones, todo el alojamiento podría estar construido de material transparente.

40 Alternativamente la fuente de luz y/o el generador de imágenes hiperespectrales (o por lo menos una de sus partes ópticas) se podría proporcionar en un receptáculo separado unido al resto de la embarcación.

45 El alojamiento está ventajosamente diseñado para soportar presiones externas de por lo menos 2 bares; preferentemente por lo menos 10 bares; y posiblemente por lo menos 100 bares. En algunas realizaciones en las que se requiere usar una embarcación según la invención en las partes más profundas del océano puede ser necesario que el alojamiento soporte presiones del orden de 1.000 bares.

La invención se extiende también a un método para generar imágenes hiperespectrales. Cuando se ve desde un aspecto adicional, la invención proporciona un método según la reivindicación 8.

50 Preferentemente el aparato es como se describe según el primer aspecto de la invención. Preferentemente la fuente de luz artificial se proporciona en la misma unidad, tal como una embarcación o plataforma subacuática, como el generador de imágenes. Se contempla sin embargo que se podría proporcionar sobre una unidad unida, o incluso una unidad separada, sin conectar.

55 El método comprende la etapa de ajustar el espectro de salida de la fuente de luz artificial. En algunas realizaciones el generador de imágenes hiperespectrales se usa para determinar si se consigue un espectro deseado para la luz artificial. El método puede comprender la etapa adicional de colocar un filtro espectral en el camino de la luz artificial; puede también o en su lugar comprender la etapa de iluminar selectivamente elementos entre un conjunto de elementos emisores de luz espectralmente distintos.

En un conjunto de realizaciones preferidas el aparato se usa para localizar o mapear la extensión de uno o más

organismos u otro material por su huella digital espectral característica. Sin embargo esto se basa en que estas huellas digitales sean conocidas. Las huellas digitales espectrales pueden ser obtenibles de una librería, base de datos u otra fuente existente. Sin embargo en un conjunto preferido de realizaciones se construye o amplía una librería usando un generador de imágenes hiperespectrales para obtener un perfil espectral de una muestra (objeto de interés). Esa muestra se puede identificar por otros medios – por ejemplo, visualmente por un experto o por análisis independiente – y asociar el perfil a la identidad del material. En algunas realizaciones, se usa una combinación de métodos de análisis para construir la base de datos; especialmente preferido es usar un generador de imágenes hiperespectrales en combinación con cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) y/o cromatografía de líquidos-espectrometría de masas (LC-MS). Estas últimas técnicas se usan preferentemente para aislar y caracterizar una sustancia (por ejemplo, moléculas) que contribuye a una signatura óptica para una muestra. Por ejemplo, se puede usar HPLC para caracterizar tipos ópticamente diferentes de clorofilas y/o carotenoides.

De este modo se verá por la persona experta en la técnica que un material sumergido se puede identificar basado en un análisis previo de una muestra de ese material. La muestra puede, por ejemplo, ser un mineral; una proteína; un pigmento; aceite; un metal (por ejemplo, cobre, hierro); metal desintegrándose (por ejemplo, herrumbre); una bacteria; un eucariota; un invertebrado marino; un vertebrado marino; microfitobentos; macrobentos; un animal filtrador bentónico; un fitoplancton; un zooplancton; una larva; un pez; kelp; un alga; sedimento; un manto biológico (bacterias y eucariotas microscópicos que cubren sedimentos); un hidrocarburo; vegetación; madera; un artefacto (por ejemplo, un naufragio o un objeto perdido); una fuente hidrotermal; una fuente fría; o una pluralidad, o cualquier combinación de lo anterior.

La generación de imágenes se puede realizar cerca de la superficie del agua, dentro de la columna de agua o sobre el fondo, tanto para agua dulce como marina.

Una vez que se obtienen la reflectancia $R(\lambda)$, y/o transmisión $T(\lambda)$ (en las que λ es la longitud de onda de la luz) características para un objeto de interés, preferentemente incrustado en agua para imitar las condiciones naturales, esta información se puede usar adicionalmente para calibrar y compensar los efectos de la longitud de camino óptico en masas de agua de diferentes tipos (por ejemplo, aguas del caso I y II en las que el contenido de fitoplancton, materia orgánica disuelta coloreada y materia suspendida necesita ser ajustado dado que alterará las características espectrales de la luz emitida al generador de imágenes hiperespectrales debido a los diferentes coeficientes de atenuación espectral, $K(\lambda)$, en el agua).

Las medidas de $R(\lambda)$ de un objeto dado de interés hechas en condiciones controladas se pueden usar para ajustar la longitud de camino óptico (distancia de la fuente de luz al objeto y de vuelta al generador de imágenes espectrales) y/o para determinar las características ópticas del agua intermedia.

El aparato comprende un sensor óptico y medios para estimar un coeficiente de atenuación espectral del agua ambiental usando una salida de dicho sensor óptico. Preferentemente tales estimaciones se efectúan repetidamente o continuamente. Estas estimaciones se usan para ajustar la salida de la fuente de luz artificial; por ejemplo, para ajustar la salida espectral de una o más lámparas (LED, halógeno, HID, etc.) de modo que se recibirá un espectro de luz predeterminado en un objeto objetivo y/o para compensar la atenuación de la luz reflejada o emitida que vuelve al aparato. El espectro de luz predeterminado puede ser una energía sustancialmente uniforme por todo el espectro visible, por ejemplo, 400-700 nm (es decir, luz blanca), o puede ser de cualquier otra forma apropiada.

Preferentemente el método comprende la etapa de almacenar dicho perfil hiperespectral en una base de datos de perfiles hiperespectrales. Preferentemente el método entonces también comprende la etapa de recuperar el perfil hiperespectral de la base de datos. Esto permite, por ejemplo, seleccionar completamente nuevas especies químicas y/o entidades biológicas, previamente desconocidas por el hombre, dado que no se encontrará que están en la base de datos de sustancias conocidas. Tales descubrimientos pueden tener aplicaciones para las industrias alimentaria, de la energía y farmacéuticas (por ejemplo, bio-prospección), entre otras.

Preferentemente se usa el mismo generador de imágenes hiperespectrales, o uno con las mismas características ópticas. De este modo, no se requiere corrección de los artefactos ópticos únicos de un generador de imágenes particular.

Preferentemente la etapa de tomar una imagen de una escena subacuática comprende el uso de aparatos según el primer aspecto de la invención.

Los datos se almacenan preferentemente en un disco duro. Se puede realizar el análisis de los datos; por ejemplo, análisis discriminante, análisis del principal componente, medidas del error estándar de medidas repetidas, o coeficiente medio de variación. La etapa de registrar una identificación positiva podría comprender mostrar en una pantalla o almacenar en una memoria volátil o no volátil u otro medio de almacenamiento de datos digitales.

Preferentemente la etapa de análisis comprende usar el generador de imágenes hiperespectrales en un aparato que comprende una lente de objetivo, por ejemplo acoplado al generador de imágenes hiperespectrales a un microscopio. Preferentemente la muestra se sumerge en un líquido, preferentemente agua, preferentemente agua

de mar. Muchos materiales y objetos, incluyendo muestras acuáticas, tales como algas, tienen diferentes características espectrales cuando están en agua comparado con en aire. Hay por lo tanto significativas ventajas en analizarlas en un líquido.

5 Se apreciará que, además de tener ventajosos efectos ópticos (por ejemplo, no luz reflejada de la fuente de luz, imitar las características espectrales del objeto de interés in situ en condiciones controladas en el laboratorio), el aparato de este aspecto de la invención permite medidas controladas en el laboratorio de organismos marinos de diferentes taxa tomadas in vivo (es decir, con la muestra viva y en buena forma). Sin embargo, puede ser deseable en ocasiones generar imágenes hiperespectrales de muestras que están muertas o en descomposición.

10 El aparato puede comprender medios adicionales para determinar la absorción espectral in vivo o espectros de excitación fluorescente; o para realizar cromatografía de líquidos de alto rendimiento (HPLC), cromatografía de líquidos-espectrometría de masas (LC-MS), o espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN). Estos medios adicionales pueden facilitar el aislamiento, identificación, caracterización y cuantificación de entidades tales como pigmentos u otras biomoléculas o moléculas bioactivas; esta información se puede usar subsecuentemente para bioprospección subacuática in situ de sustancias de interés (por ejemplo, sustancias bioactivas). Puede por
15 lo tanto ser posible identificar in situ un objeto de interés y también determinar su composición química ópticamente activa.

Por ejemplo, un manto de cianobacterias sobre un fondo marino puede dar una caída de la reflectancia de la imagen hiperespectral a 440, 490, 545 y 680 nm. De análisis de HPLC previos se sabe que los picos de 440 y 680 nm están relacionados con los picos de absorción de Chl a; el pico de 490 nm corresponde a zeaxantina; y el pico de 545
20 corresponde a ficoeritrina. Si algunos de los pigmentos fueran desconocidos, se podría efectuar un análisis subsecuente usando LC-MS para encontrar el peso molecular del compuesto dado; esto permitiría que fuese caracterizado y añadido a la base de datos.

El componente de generación de imágenes hiperespectrales se dispone preferentemente para distinguir entre longitudes de onda con una resolución más fina de 10 nm; más preferentemente entre 0,5 y 2 nm; y lo más preferentemente más fina de 1 nm; por ejemplo, 0,5 nm. Ventajosamente, la resolución espectral del componente de generación de imágenes es ajustable; preferentemente cuando se implementa el aparato. De este modo la resolución espectral se puede establecer para igualar las condiciones predominantes, advirtiendo de que la relación señal-ruido se puede mejorar si la resolución espectral se hace más gruesa. Por ejemplo, en aguas turbias o cuando se generan imágenes de objetos lejanos, la resolución espectral se puede hacer más gruesa hasta, digamos, entre 5 y 10 nm, para mejorar la relación señal-ruido (a expensas de la resolución espectral). El componente de generación de imágenes hiperespectrales se dispone preferentemente para generar imágenes en todo el espectro de luz visible; por ejemplo, 400-700 nm. Puede estar dispuesto alternativa o adicionalmente para generar imágenes fuera del espectro visible; por ejemplo, a longitudes de onda por debajo de 400 nm y/o por encima de 700 nm.

El componente de generación de imágenes hiperespectrales preferentemente tiene una dimensión máxima menor de 1 metro y más preferentemente menor de 50 cm; por ejemplo, entre 20 y 30 cm. Preferentemente tiene una segunda dimensión más grande menor de 50 cm; más preferentemente menor de 10 cm; por ejemplo, aproximadamente 5 cm. La persona experta en la técnica apreciará que este es considerablemente menor que muchos generadores de imágenes hiperespectrales previos; esto permite que el presente componente de generación de imágenes quepa en UUVs, AUVs, deslizadores subacuáticos y ROVs comercialmente disponibles.

40 El componente de generación de imágenes hiperespectrales de la presente invención es preferentemente también de menos de 5 kg de peso; más preferentemente menos de 1 kg; por ejemplo, entre 500 y 1.000 g. Preferentemente tiene un consumo de energía de menos de 10 W; más preferentemente menos de 5 W; lo más preferentemente menos de 2 W.

45 Varios aspectos y características de la invención se han expuesto anteriormente. Las características descritas con referencia a un aspecto no se debe entender que están limitadas a ese aspecto solo, sino en su lugar son también aplicables a cualquiera de los otros aspectos cuando sea apropiado.

Ciertas realizaciones preferidas de la invención se describirán ahora, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, junto con otras disposiciones descritas con propósito de referencia solo, en las que:

50 La Figura 1 es un dibujo esquemático en perspectiva de los componentes del procedimiento de un generador de imágenes hiperespectrales como se usa en realizaciones de la invención.

La Figura 2 es un diagrama figurativo que muestra un corte transversal vertical a través de un vehículo subacuático que incorpora la invención;

La Figura 3 es un dibujo en perspectiva del exterior de un generador de imágenes hiperespectrales subacuático que incorpora la invención;

55 La Figura 4 es un dibujo en perspectiva de una fuente de luz para uso con realizaciones de la invención.

La Figura 5 es una vista en perspectiva de un generador de imágenes microscópicas hiperespectrales descrito solo con propósito de referencia; y

La Figura 6 muestra el análisis de una muestra de un alga roja usando un generador de imágenes hiperespectrales de aumento descrito solo con propósito de referencia.

5 Primero se describirá un ejemplo del uso de un generador de imágenes hiperespectrales para formar una imagen que tiene dos dimensiones espaciales con referencia a la Figura 1. La Figura 1 muestra como la luz pasa de una escena 2 a través de la óptica de un generador de imágenes hiperespectrales de barrido durante la captación de un solo fotograma. Solo se generan imágenes de una delgada franja 4 de la escena durante cada periodo de tiempo ,
10 que se extiende en la dirección del eje Y y que tiene una anchura Δx . La luz de la escena primero pasa a través de una lente 8 del objetivo que la enfoca a través de una rendija 10 de entrada. La rendija excluye luz diferente de la que emana de la franja 4. Su anchura se establece para relacionar la anchura deseada Δx con la anchura de una sola fila de píxeles de un sensor 18 de generación de imágenes CCD. Una lente 12 colectora a continuación dirige luz a través de un prisma 14, que es una combinación de una rejilla y un prisma dispuesto para crear un espectro dispersado. La dispersión espectral ocurre sobre el eje X, ortogonal a la dimensión espacial Y de la franja 4. Una
15 lente 16 de cámara a continuación enfoca la luz espectralmente dispersa sobre un sensor 18 de generación de imágenes CCD.

Para construir una imagen de una escena bidimensional, la lente 8 del objetivo y otra óptica, con el tiempo, se mueven lateralmente con relación a la escena 2 en la dirección del eje X. La velocidad del movimiento se determina de tal modo que cada fotograma secuencial capta una franja 4 de la escena a lo largo del eje Y inmediatamente
20 adyacente a la franja precedente. Los fotogramas secuenciales se pueden procesar y componer para generar un hipercubo. Si se desea, este hipercubo se puede usar para generar imágenes en escala de grises planas bidimensionales que indican la intensidad luminosa en cada píxel para un solo intervalo dado de longitud de onda óptica. La resolución de longitud de onda del aparato se determina por el número de píxeles del sensor 18 CCD en la dirección del eje X.

25 La Figura 2 muestra un vehículo subacuático autónomo (AUV) 20 según una realización de la invención en una masa de agua 22 encima de un lecho marino 24. Un AUV apropiado es el REMUS desarrollado por la Woods Hole Oceanographic Institution. El AUV 20 comprende una sección de cola 26 que contiene el motor de propulsión y el circuito controlador para un propulsor 28. Una sección 30 media del cuerpo aloja varios componentes operacionales del vehículo. Entre la sección 30 media del cuerpo y una punta cónica 32 está una sección 34 óptica. La sección 34
30 óptica comprende una cámara hermética que lleva un generador de imágenes hiperespectrales y una fuente de luz (no mostrada). Una ventana 36 de salida transparente permite que la luz 40 de la fuente de luz emerja hacia una escena de interés, tal como el lecho marino 24. La luz 42 que vuelve de la escena entra a través de una ventana 38 de entrada transparente detrás de la que está localizada la lente 8 del objetivo de un generador de imágenes hiperespectrales.

35 La Figura 3 muestra otra realización de un aparato 44 subacuático que incorpora la invención. Este aparato 44 no es autopropulsado sino que se puede hacer descender dentro del agua unido a un flotador y así sumergirse en el agua para arrastrarlo por medio de una embarcación, por ejemplo, o ser transportado por un buceador humano. Comprende un alojamiento 46 hermético hecho de aluminio o acero marino que tiene una ventana 48 transparente de vidrio de sosa o cuarzo para permitir el paso de la luz dentro, y opcionalmente fuera del generador de imágenes
40 44. También tiene un panel 50 de pantalla para encender y apagar el sistema, ajustar el fotograma, controles de ganancia, iris y gamma. Dentro del alojamiento 46, hay un generador de imágenes hiperespectrales, baterías y grabador de video y puede haber una o más lámparas. El aparato 44 puede llevar también lámparas subacuáticas externas (no mostradas) tales como una Underwater Kinetics Light Cannon 100, que se puede usar para obtener una temperatura de color de 6000 grados Kelvin. El generador de imágenes se puede usar en cualquier orientación;
45 es decir, puede apuntar horizontalmente, hacia arriba o hacia abajo.

En ambos casos anteriores el aparato podría llevar varias lámparas que se pueden usar individualmente o en combinación para proporcionar una iluminación personalizada. Esto se puede usar para minimizar los efectos de absorción y dispersión en el agua entre la fuente de luz, material observado y el generador de imágenes, y puede también asegurar que se excitan las correctas longitudes de onda en el material observado.

50 La lámpara 52 mostrada en la Figura 4 es también apropiada para uso con generadores de imágenes que incorpora la invención, tales como aquellos de las Figuras 2 y 3 y lleva la idea de mezclar fuentes de luz un paso más. La lámpara 52 comprende una pluralidad de lámparas 54 de diodos emisores de luz (LED) que se pueden iluminar selectivamente. Algunos de los LEDs son blancos, que emiten luz en el intervalo 350-800 nm. Otros son azules (que emiten luz en el intervalo de 400-500 nm, verdes (500-600 nm), y rojos (600-700 nm).

55 El espectro de luz que emana de la lámpara 52 se puede ajustar seleccionando que LEDs activar, dependiendo de las propiedades ópticas del agua (que varían con la distancia al objetivo debido al coeficiente de atenuación espectral del agua, y que puede variar debido a componentes ópticamente activos tales como fitoplancton, materia orgánica disuelta coloreada y materia suspendida total).

Uno cualquiera de los dos aparatos subacuáticos descritos anteriormente se puede usar para captar y registrar imágenes hiperespectrales bidimensionales bajo el agua. Llevando su propia fuente de luz artificial, el aparato de generar imágenes puede medir información hiperespectral mucho más precisa de lo que es posible usando sensores remotos aéreos. Por ejemplo se eliminan los efectos de distorsión y dispersión solar horizontal y atmosférica. Además la longitud de camino de la luz emitida y reflejada a través del agua puede ser relativamente corta, independientemente de la profundidad a la que esté el material observado.

Una aplicación de los principios de la invención es mapear y explorar materiales usando una base de datos de perfiles espectrales que corresponden a materiales conocidos tales como compuestos, substancias u organismos particulares para compararlos con los perfiles espectrales medidos de las imágenes captadas. Los perfiles espectrales en la base de datos pueden estar disponibles pública o comercialmente. Sin embargo se describirá a continuación un método para construir o ampliar tal base de datos.

La Figura 5 muestra un generador 56 de imágenes microscópico hiperespectral. El generador 56 de imágenes comprende un componente 60 de microscopio, adaptado de un microscopio óptico convencional, tal como un microscopio Leitz Leca MS5 (1-80x), y un componente 58 de generación de imágenes hiperespectrales, tal como una videocámara Astrovid Stella II [AV-STCA2] con una matriz de píxeles de 640x480, que contiene óptica como se describe con referencia a la Figura 1. La lente del objetivo del componente 58 de generación de imágenes hiperespectrales puede tener, a modo de ejemplo, una longitud focal de 25 mm y f:1,6.

El componente 58 de generación de imágenes hiperespectrales tiene un medio de captar imágenes; por ejemplo, un registrador de video de bolsillo ARCOS AV400 que capta video AVI a 25 fotogramas/s. En un ejemplo, cada fotograma registrado (perfil espectral), consiste en el espectro de luz de 363 a 685 nm dispersado en 640 píxeles, dando una resolución de 0,5 nm/píxel. La resolución espacial perpendicular a la dirección de movimiento en este ejemplo es 193 píxeles.

El generador 56 de imágenes comprende una plataforma 62 móvil, que se puede mover en la dirección indicada por la flecha por medio de un motor de paso localizado bajo la plataforma. A modo de ejemplo, el motor de paso puede tener un engranaje de 1:500 que da una velocidad de 2,59 mm/s. La plataforma 62 lleva un recipiente 64 para muestras hermético, tal como una placa Petri, que puede contener una muestra en un volumen de líquido. El recipiente 64 está también dispuesto a la luz directa a través de una muestra desde abajo, por ejemplo, por medio de un espejo y un difusor, cuando se determinan características de transmisión óptica de una muestra; o una fuente de luz encima para determinar la reflectancia óptica. El generador 56 también comprende una o más fuentes de luz dirigibles sobre la superficie superior de una muestra, preferentemente desde un ángulo fuera del eje tal como a 45 grados de la vertical. La misma fuente de luz se puede usar para análisis de transmisión o de reflexión y puede consistir en una fuente de halógeno u otra fuente de luz dirigida apropiadamente a través de dos haces de fibra óptica. Esta fuente de luz se puede usar cuando se determinan las características de reflectancia de una muestra. La lente del objetivo del componente 60 de microscopio se pueden hacer descender dentro del fluido transportado en el recipiente 64 de muestra, para mitigar cualquier interferencia óptica que pueda ser causada debido a las fronteras fluido-aire y aire-lente cuando la lente del objetivo está localizada fuera del fluido.

En uso, se coloca una muestra en fluido, tal como agua de mar, en el recipiente 64 de muestra. El motor de paso mueve la plataforma 62 en la dirección de la flecha mientras que el componente 58 de generación de imágenes hiperespectrales capta franjas de imagen espectral secuencial por toda la muestra ortogonales a la dirección del movimiento. Estas franjas se pueden combinar como se explica anteriormente con referencia a la Figura 1. En particular, el procedimiento se puede efectuar usando software YaPlaySpecX (Fred Sigernes, UNIS, cf. Sigernes et al. 2000 Applied Optics) para componer imágenes monocromáticas de un video AVI, formando un cubo de imágenes espectrales. Dependiendo de la fuente de luz seleccionada, se pueden generar imágenes bidimensionales de transmitancia espectral o reflectancia espectral de la muestra en el líquido con alta magnificación por el uso del generador 56 de imágenes.

Si se desea, las características espectrales medias (con información estadística de, por ejemplo, errores estimados) para un área de interés captada con el generador 56 de imágenes microscópicas hiperespectrales se pueden encontrar promediando información de un hipercubo de imágenes en la dirección espectral. Las características espectrales medias medidas por reflexión, $E_r(\lambda)$ (mW/nm), o transmisión, $E_t(\lambda)$ (mW/nm) se pueden ajustar para el espectro de intensidad radiante de la lámpara de halógeno (u otra fuente de luz) para reflexión, $E_{hr}(\lambda)$ (mW/nm), y para transmisión, $E_{ht}(\lambda)$ (mW/nm), y para transmisión, $E_{ht}(\lambda)$ (mW/nm), para dar un espectro de transmitancia o reflectancia comparable con densidad óptica. El espectro de reflectancia adimensional es entonces $R(\lambda) = E_r(\lambda) / E_{hr}(\lambda)$ y el espectro de transmitancia adimensional es $T(\lambda) = E_t(\lambda) / E_{ht}(\lambda)$.

La Figura 6 muestra una imagen A de una muestra de un alga roja a analizar usando un generador de imágenes hiperespectrales de magnificación. También muestra una imagen monocromática magnificada B de la muestra en agua (a 600 nm de longitud de onda) captada usando el generador de imágenes hiperespectrales. Se indican tres regiones distintas 1, 2, 3, para las que se va a determinar la reflectancia media, $R(\lambda)$, en la región. La Fig. 6-C muestra los espectros de $R(\lambda)$ 1, 2, 3 obtenidos. También muestra el correspondiente espectro de absorbancia espectral OD, medido con un espectrofotómetro, que valida las medidas de reflectancia (deben estar inversamente

relacionadas). Las medidas de reflectancia se han ajustado para compensar el espectro de intensidad radiante de la lámpara de halógeno, $E_h(\lambda)$.

- 5 Una vez se ha obtenido un espectro medio para una región de interés, este se puede usar para identificar otros casos del mismo material en otras situaciones; en particular, se puede usar con el aparato descrito anteriormente para identificar el mismo material subacuático usando in situ un aparato de generación de imágenes hiperespectrales.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (20; 44) para la colocación sobre o en una masa de agua (22) para generar imágenes hiperespectrales del material (24) en el agua, que comprende una fuente (52) de luz artificial, medios para ajustar el espectro de luz emitida por la fuente (52) de luz artificial, y un generador de imágenes hiperespectrales que están dispuestos de modo que, en uso, la luz de dicha fuente (52) de luz artificial sale del aparato debajo de la superficie del agua y es reflejada por dicho material antes de volver a entrar en el aparato debajo de la superficie del agua y entrar en dicho generador de imágenes hiperespectrales, en el que dicho generador de imágenes hiperespectrales está adaptado para producir datos de imágenes hiperespectrales que tienen por lo menos dos dimensiones espaciales, en el que el aparato comprende un sensor óptico y medios para estimar un coeficiente de atenuación espectral del agua ambiental usando una salida del sensor óptico, y en el que el aparato está dispuesto para usar tales estimaciones de un coeficiente de atenuación espectral para ajustar la salida espectral de la fuente de luz artificial de modo que un predeterminado espectro de luz llega a dicho material o para compensar la atenuación de la luz reflejada o emitida que vuelve al aparato.
2. Un aparato (20; 44) según la reivindicación 1 que comprende una pluralidad de filtros ópticos, que tiene cada uno una característica única de filtrado espectral, para ajustar el espectro de luz emitida por la fuente (52) de luz.
3. Un aparato (20; 44) según la reivindicación 1 o 2, en el que la fuente (52) de luz comprende una pluralidad de elementos (54) emisores de luz cada uno con diferente espectro de emisión, y en el que el aparato comprende medios para alterar la energía suministrada a los respectivos elementos emisores de luz para dar un requerido espectro de salida total.
4. Un aparato (20, 44) según la reivindicación 3, en el que los elementos emisores de luz comprenden diodos emisores de luz (54).
5. Un aparato (20; 44) según cualquier reivindicación precedente, en el que el generador de imágenes hiperespectrales funciona usando espectrografía dispersiva.
6. Un aparato (20; 44) según cualquier reivindicación precedente dispuesto de modo que el movimiento del aparato por la masa de agua (22) permite observar continuamente un área de interés.
7. Un aparato (20; 44) según cualquier reivindicación precedente adaptado para ser totalmente sumergible.
8. Un método de observar material (24) debajo de la superficie de una masa de agua (22) que comprende:

Iluminar dicho material con una fuente (52) de luz artificial desde debajo de la superficie del agua;

recibir desde debajo de la superficie del agua luz reflejada de dicho material en un generador de imágenes hiperespectrales;

generando dicho generador de imágenes datos de imágenes hiperespectrales de dicho material, teniendo dichos datos de imágenes por lo menos dos dimensiones espaciales;

estimar un coeficiente de atenuación espectral del agua ambiental usando un sensor óptico y medios para estimar un coeficiente de atenuación espectral usando una salida del sensor óptico; y

usar tales estimaciones de un coeficiente de atenuación espectral para ajustar la salida espectral de la fuente de luz artificial de modo que un predeterminado espectro de luz llega a dicho material o para compensar la atenuación de la luz reflejada o emitida que vuelve al aparato.
9. Un método según la reivindicación 8 que comprende la etapa adicional de usar el generador de imágenes hiperespectrales para determinar si se consigue un predeterminado espectro para la luz artificial.
10. Un método según la reivindicación 8 o 9 que comprende la etapa adicional de usar un sensor óptico para determinar si se consigue un predeterminado espectro para la luz artificial.
11. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10 que comprende la etapa adicional de colocar un filtro espectral en el camino de la luz artificial.
12. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11 que comprende la etapa adicional de seleccionar elementos de iluminación de entre un conjunto de elementos (54) emisores de luz espectralmente distintos.
13. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en el que el predeterminado espectro de luz comprende energía sustancialmente uniforme por todo el espectro visible.

14. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13 que comprende adicionalmente:
implementar una superficie de calibración que tiene conocidas características de reflectancia; y
usar control de retroalimentación para alterar el espectro de luz emitida por la fuente (52) de luz dependiendo del espectro de la luz reflejada por la superficie de calibración hasta que se consigue un espectro predeterminado.
- 5 15. Un método según la reivindicación 14 en el que la superficie de calibración es un disco blanco de teflón y en el que el disco se implementa enfrente del generador de imágenes hiperespectrales a una distancia dada.

Fig. 1.

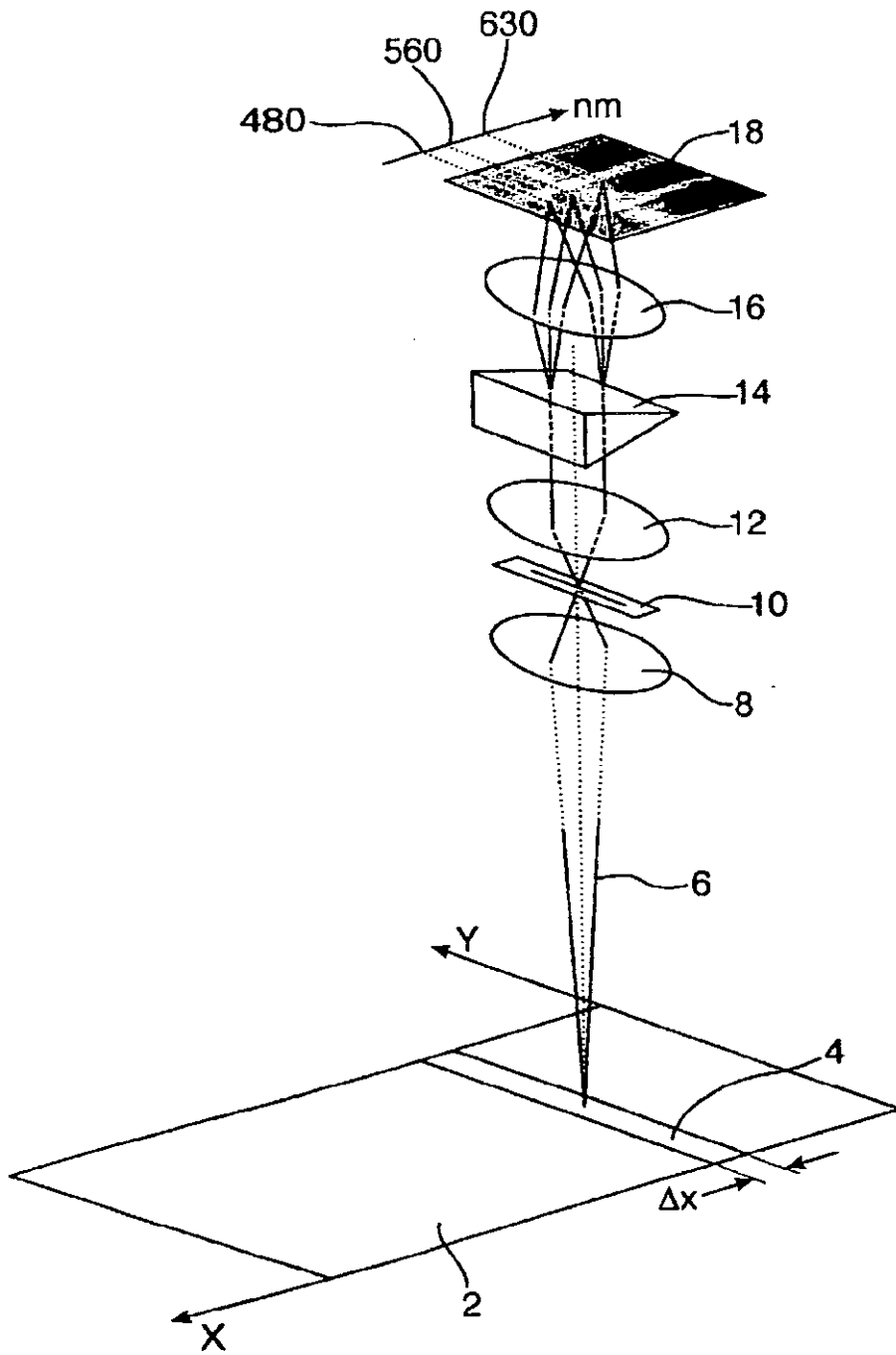


Fig.2.

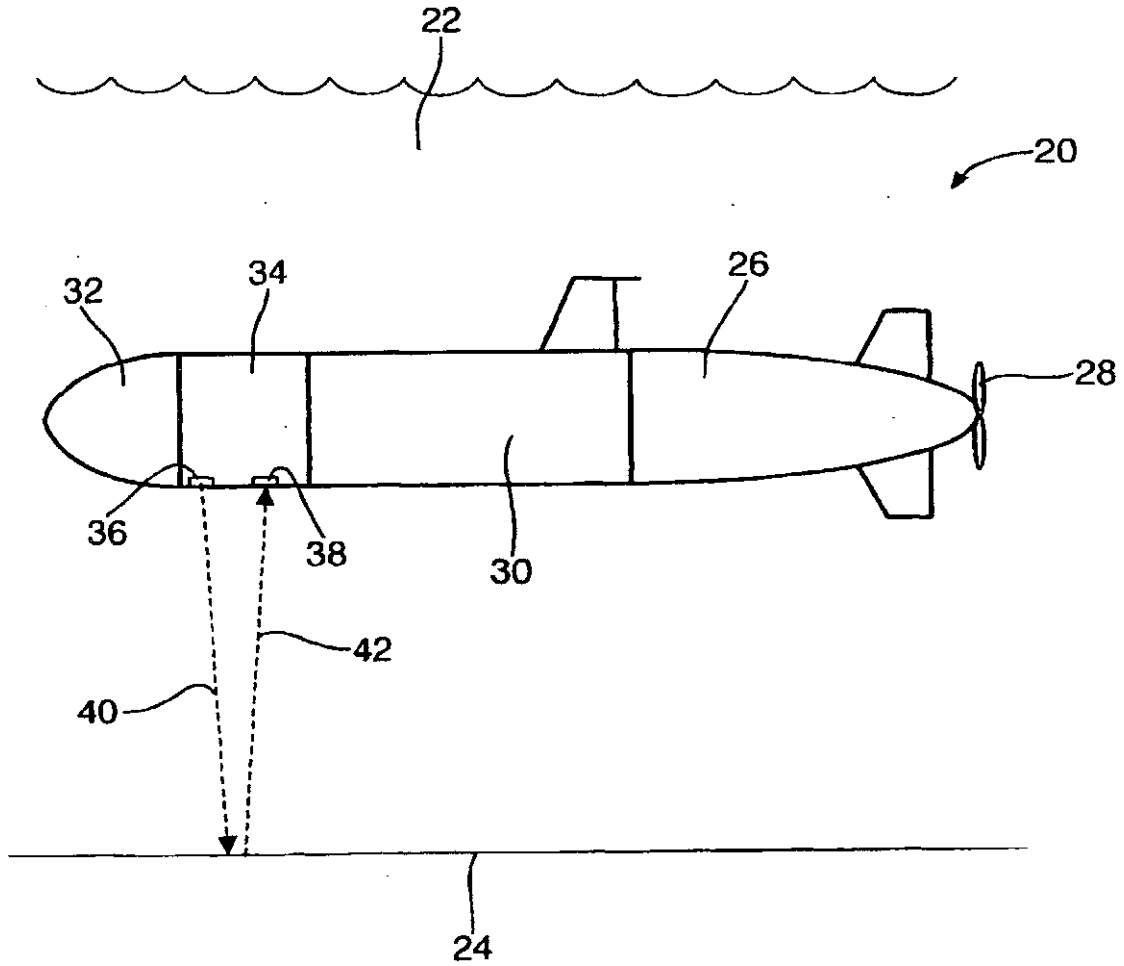


Fig.3.

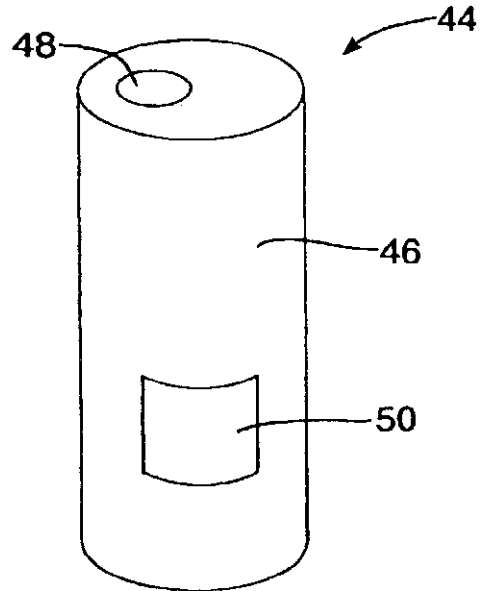


Fig.4.

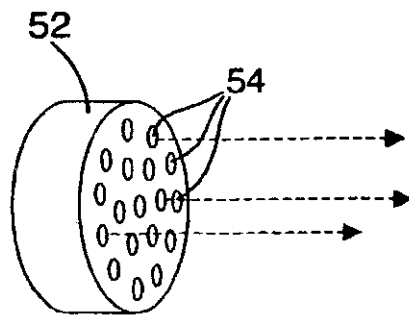


Fig.5.

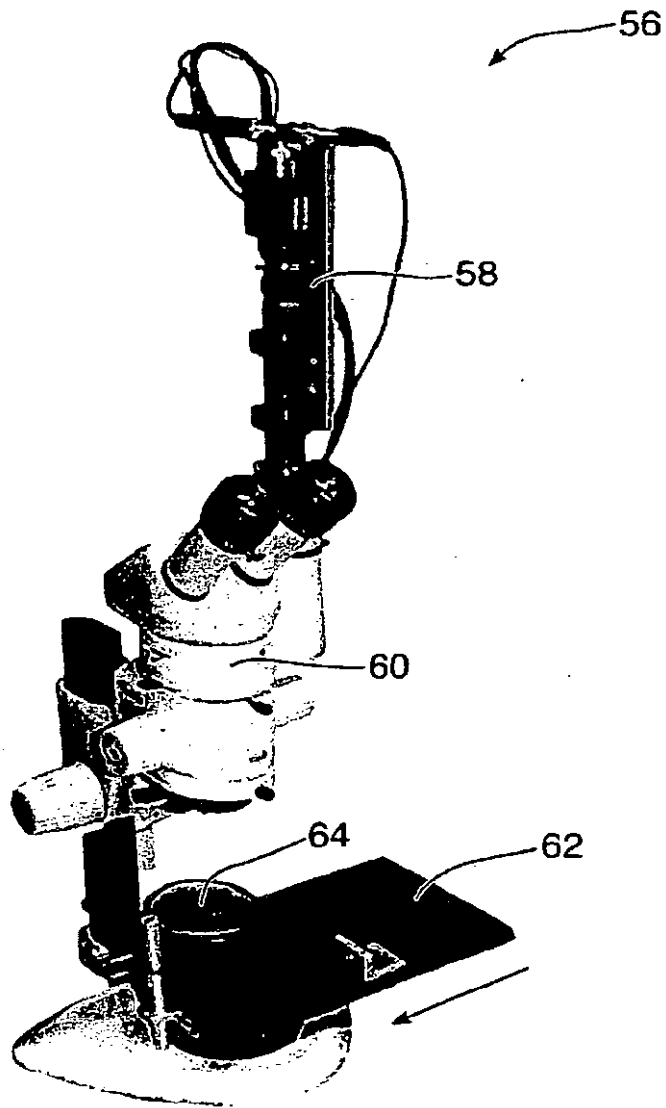


Fig.6A.



Fig.6B.

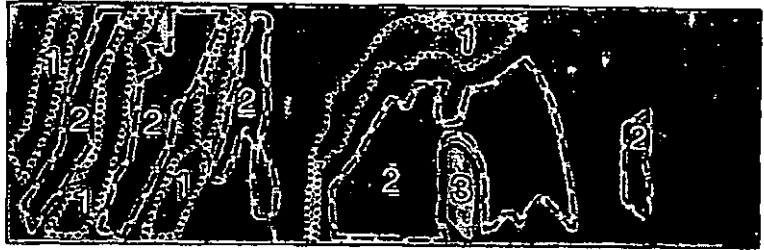


Fig.6C.

