

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 901**

51 Int. Cl.:

**B29C 70/38** (2006.01)

**G01N 21/84** (2006.01)

**G01N 21/88** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.10.2006 PCT/US2006/042717**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.07.2007 WO07078408**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2006 E 06849022 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2019 EP 1943502**

54 Título: **Aparato y métodos para inspeccionar una estructura compuesta para detectar defectos**

30 Prioridad:

**31.10.2005 US 264076**

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

**12.12.2019**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)  
100 North Riverside Plaza  
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**ENGELBART, ROGER, W.;  
HANNEBAUM, REED;  
POLLOCK, TIM;  
ORR, SAM;  
RECTOR, ERIC y  
PUTNAM, JEFF**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 734 901 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Aparato y métodos para inspeccionar una estructura compuesta para detectar defectos

Campo

5 La presente divulgación se refiere en general a máquinas de colocación de material automatizadas y a su uso. Más particularmente (pero no exclusivamente), la presente invención se refiere a sistemas y métodos para inspeccionar material tendido por una máquina de colocación de material automatizada.

Antecedentes

10 Los procesos y máquinas automatizados de colocación de materiales son ampliamente utilizados en la industria aeroespacial y otras industrias en la fabricación de grandes estructuras compuestas. Hay sistemas disponibles por los que se puede realizar una inspección visual automatizada mientras se está colocando el material. Se ha demostrado que estos sistemas son eficaces para reducir el tiempo de inactividad de la máquina con fines de inspección. Los sistemas de inspección actuales, sin embargo, tienen una eficacia limitada cuando se usan para inspeccionar materiales de más de aproximadamente seis pulgadas.

15 El documento US-A-2001/046044 divulga un aparato de inspección para defectos de materiales extraños y patrones. El documento US-A-2004/234421 divulga un método y un dispositivo para examinar un objeto sin contacto, especialmente para examinar la forma de la superficie del mismo. El documento US-A-2004/047500 divulga un método de inspección y un aparato para patrones de microminiatura repetidos. El documento US-A-2004/223146 divulga la inspección óptica de un espécimen usando respuestas multicanal del espécimen. El documento USA-2004/0252297  
20 divulga un sistema de inspección de discos de campo claro/campo oscuro de alto rendimiento que utiliza técnicas ópticas avanzadas.

El documento WO-A-2005/101144 divulga sistemas y métodos para usar luz para indicar ubicaciones de defectos en una estructura compuesta. El documento EP-A2-1089069 divulga una unidad de iluminación lineal.

Resumen

25 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método definido por la reivindicación 1.

Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato definido por la reivindicación 8.

30 Otras áreas de aplicabilidad de la presente invención se harán evidentes a partir de la descripción detallada que se proporciona a continuación. Debe entenderse que la descripción detallada y los ejemplos específicos, si bien indican varias realizaciones preferidas de la invención, tienen el propósito de ilustrar solamente y no pretenden limitar el alcance de la divulgación.

Breve descripción de los dibujos

La presente divulgación se comprenderá más completamente a partir de la descripción detallada y los dibujos adjuntos, en los que:

35 La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de colocación de material de acuerdo con una implementación de la divulgación;

La figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra un método para inspeccionar material tendido por un sistema de colocación de material de acuerdo con una implementación de la divulgación;

La figura 3 es una vista en perspectiva lateral de un sistema para inspeccionar material tendido por un sistema de colocación de material de acuerdo con una implementación de la divulgación;

40 La figura 4 es una vista en perspectiva superior/lateral de un sistema para inspeccionar material tendido por un sistema de colocación de material de acuerdo con una implementación de la divulgación;

La figura 5 es una vista en perspectiva desde abajo/lateral de un sistema para inspeccionar material tendido por un sistema de colocación de material de acuerdo con una implementación de la divulgación;

La figura 6 es una vista desde arriba de un sistema para inspeccionar material tendido por un sistema de colocación de material de acuerdo con una implementación de la divulgación;

La figura 7 es una vista desde abajo de un sistema para inspeccionar material tendido por un sistema de colocación de material de acuerdo con una implementación de la divulgación; y

- 5 La figura 8 es una ilustración de una sección de material iluminado y su imagen en un marco que se muestra en una pantalla de interfaz de usuario de acuerdo con una implementación de la divulgación.

Descripción detallada de las realizaciones

La siguiente descripción de varias realizaciones es meramente de naturaleza ejemplar y de ninguna manera pretende limitar la divulgación, su aplicación o usos.

- 10 En algunas implementaciones, la divulgación está dirigida a sistemas y métodos para inspeccionar el material tendido por una máquina de colocación de material. La máquina de colocación podría ser, por ejemplo, una máquina de laminación de cinta de cabezales múltiples (MHTLM), una máquina de colocación de fibra (FP) o una máquina de laminación de cinta de contorno (CTL). Cabe señalar que las implementaciones de la divulgación pueden ponerse en práctica en relación con una amplia variedad de máquinas y procesos de colocación de materiales.

- 15 Un diagrama de bloques de un sistema de colocación de material ejemplar se indica en general en la FIG. 1 por número de referencia 20. Se utiliza una máquina 24 de colocación de material para colocar el material 28 compuesto sobre un sustrato 32 para fabricar una estructura compuesta. La máquina 24 incluye un rodillo, zapata de compactación y/u otro componente, numerados como 36 y dependientes del tipo de máquina de colocación, para colocar el material 28 sobre el sustrato 32. El sistema 20 incluye un procesador 40 que tiene una memoria y/o dispositivo 44 de almacenamiento. El procesador 40 está en comunicación con la máquina 24. Una interfaz 50 de usuario puede ser, por ejemplo, un monitor de ordenador que incluye una pantalla 54 de visualización y un dispositivo de entrada tal como un teclado y un mouse (no mostrados). La interfaz 50 de usuario está en comunicación con el procesador 40.

- 25 Una implementación de un método para inspeccionar material tendido por una máquina de colocación de material, por ejemplo, la máquina 24, se indica en general en la figura 2 por número 100 de referencia. Una anchura del material 28 se coloca nuevamente sobre el sustrato 32 por la máquina 24. La luz se dirige al material 28 en una dirección 120 esencialmente normal al material para iluminar el material. Específicamente y, por ejemplo, la luz se proyecta desde una fuente 124 de luz sobre una superficie 128 reflectante y la superficie 128 la refleja sobre el material 28 para iluminar una sección 132 del material tendido. El método 100 también incluye proyectar energía láser en la sección 132 en un ángulo predeterminado para revelar imperfecciones en la sección 132. En la presente implementación, una fuente 140 de láser proyecta la energía del láser como una o más líneas 144 en la sección 132. Las líneas o rayas se proyectan, por ejemplo, a través de un eje 148 de colocación del material 28. Debe observarse que se contemplan otras implementaciones en las que se pueden usar diferentes patrones de láser y/o orientaciones de proyección de láser.

- 35 La fuente 124 de luz sobre el material 28 puede configurarse para iluminar un ancho completo del material 28. Las bandas 144 de láser pueden revelar huecos y/o superposiciones en el material 28. Además, el trazado de líneas puede mejorar la iluminación de la fuente 124 de luz y puede ayudar a revelar elementos como bolas de pelusa, bolas de resina y materiales de soporte.

- 40 El presente método se puede implementar de varias maneras en varias máquinas de colocación. Adicionalmente, y como se describe más adelante, las implementaciones del presente método pueden escalarse a varios anchos de material a inspeccionar. Por ejemplo, aunque en la implementación 100 se usan una única fuente 124 de luz y una única fuente de láser 140, en otras implementaciones se puede usar una pluralidad de fuentes de luz y/o una pluralidad de fuentes de láser.

- 45 Una realización ejemplar de un sistema para inspeccionar material tendido por una máquina de colocación de material se indica en general en las figuras 3-7 por número 200 de referencia. El sistema 200 incluye un marco 204 que tiene soportes 208 configurados para unirse a una máquina de colocación, por ejemplo, la máquina 24 (mostrada en la figura 1). Cabe señalar que otras formas de realización del sistema 200 podrían configurarse de varias maneras en relación con las máquinas de colocación de materiales, dependiendo de la anchura del material a inspeccionar y la configuración de la máquina de colocación. Para los fines de describir la presente realización, se debe suponer que el componente 36 de la máquina 24 es un rodillo de compactación. El marco 204 está configurado para su acoplamiento, por ejemplo, por encima y detrás del rodillo de compactación 36, de manera que el marco 204 sobresale del material 28 recién colocado. Un espejo 212 está montado en el marco 204, por ejemplo, en un ángulo de 45 grados. El espejo 212 está al menos parcialmente plateado para proporcionar una o más porciones reflectantes.

Una pluralidad de fuentes 216 de luz están montadas, por ejemplo, de manera que proyectan luz esencialmente paralela a un eje 220 de colocación del material 28. La luz de las fuentes 216 de luz puede proyectarse hacia el espejo 212 y reflejarse por la parte o las partes reflectantes del espejo sobre el material 28 en una dirección esencialmente normal al material.

5 Una pluralidad de fuentes 224 de láser montadas en el marco 204 están configuradas para proyectar la energía del láser directamente sobre el material 28 en un ángulo predeterminado para revelar imperfecciones en el material. Las fuentes 224 de láser pueden ser, por ejemplo, los láseres de línea SNF Lasaris™ de StockerYale, Inc. de Salem, New Hampshire.

10 Una pluralidad de cámaras 230 están montadas en el marco 204 sobre el espejo 212. Las cámaras 230 están configuradas para visualizar, a través de una o más partes transparentes 234 del espejo 212, una sección del material 28 iluminada por la luz y las fuentes 216 y 224 de láser. Las cámaras 230 pueden ser accionadas, por ejemplo, por el procesador 40, que recibe imágenes de las cámaras 230 y/o la memoria 44. El procesador 40 puede procesar las imágenes para facilitar la detección fiable de defectos.

15 Las cámaras 230 son, por ejemplo, cámaras Sony XC-HR50, aunque se podrían usar otras cámaras. Las cámaras 230 colectivamente tienen campos de visión lo suficientemente amplios como para visualizar un ancho completo del material recién colocado. Se puede utilizar una amplia gama de cámaras, incluidas las cámaras disponibles en el mercado capaces de adquirir imágenes en blanco y negro. En una realización, una cámara 230 es un televisor u otro tipo de cámara de video que tiene un sensor de imagen y una lente a través de la cual pasa la luz cuando la cámara está en funcionamiento. También se pueden usar otros tipos de cámaras o sensores de imagen, como una cámara sensible a infrarrojos, una cámara de luz visible con filtración de paso infrarrojo, una cámara de fibra óptica, una cámara coaxial, un dispositivo de carga acoplada (CCD) o sensor semiconductor de óxido metálico complementarios (CMOS).

20 Las fuentes 216 y 224 de luz y láser están configuradas para iluminar todo el ancho del nuevo material 28. La iluminación se refleja de manera diferente por defectos en el material que por partes del material que están libres de defectos. Dichas diferencias en la iluminación pueden capturarse en imágenes producidas por las cámaras 230. El marco 204 puede configurarse para proteger las fuentes de luz y las cámaras a fin de optimizar la calidad de imagen de las cámaras 230. Cabe señalar que varias configuraciones de iluminación y reflectantes son posibles. Por ejemplo, se podría usar un medio espejo de manera que la luz de las fuentes de luz sea reflejada por el espejo sobre el material, y las cámaras no estén dirigidas, sino que pasen por el espejo.

30 En la configuración actual, las fuentes 216 de luz incluyen LED rojos de alta intensidad que producen luz de área. Podrían utilizarse otros tipos de iluminación u otros tipos de iluminación adicionales, incluidos, entre otros, luces fluorescentes. La calidad y la magnitud de la iluminación de la superficie del material 28 pueden verse afectadas por la iluminación ambiental y por la reflectividad del material. De acuerdo con lo anterior, en una realización, se pueden usar una o más fuentes de luz infrarroja y/o fuentes de luz que tienen un componente infrarrojo para iluminar defectos oscuros sobre un fondo oscuro. En otras realizaciones, una fuente de luz estroboscópica o estroboscópica, una lámpara de arco de gas noble (por ejemplo, arco de xenón), una lámpara de arco de metal (por ejemplo, haluro de metal) y/o láser (por ejemplo, láser pulsado, matriz de diodos láser de estado sólido y/o matriz láser de diodo infrarrojo). Los niveles de potencia y las longitudes de onda para la(s) fuente(s) de luz 216 pueden depender, al menos en parte, de la velocidad y sensibilidad de las cámaras 230, la velocidad a la que se está colocando el material 28, las pérdidas de suministro y la reflectividad del material que se está inspeccionando. Por ejemplo, en otra realización, pueden emplearse longitudes de onda y niveles de potencia adecuados para inspeccionar materiales altamente reflectantes.

45 En la configuración mostrada en las figuras 3-7, se utilizan dos fuentes 216 de luz, tres fuentes 224 de láser y tres cámaras 230. Cada fuente 224 de láser y cámara 230 pueden cubrir, por ejemplo, anchos de material de entre aproximadamente tres y cuatro pulgadas. La cobertura podría ser mayor o menor que el rango anterior dependiendo, por ejemplo, del tipo de lente, la distancia entre el material y las cámaras y/o las fuentes de láser, y otros factores. Dependiendo, por ejemplo, del ancho del material a inspeccionar y la configuración del sistema de colocación, se podrían incluir diferentes números de fuentes de luz, fuentes de láser y/o cámaras para facilitar la inspección del material. El sistema 200 se puede ampliar o reducir para adaptarse a diferentes anchos de material.

50 Cuando la máquina 24 está en funcionamiento, el procesador 40 puede detectar el movimiento de la máquina, por ejemplo, a través de un anillo de código en el rodillo de compactación y el fotointerruptor. El procesador 40 determina de este modo que la máquina 24 está en funcionamiento. El procesador 40 acciona las cámaras 230 para obtener imágenes en momentos apropiados basándose en el movimiento de la máquina 24. Específicamente y, por ejemplo, al rastrear las distancias recorridas por la máquina 24, el procesador 40 puede activar las cámaras 230 para obtener imágenes del material recién colocado en el sustrato 32 y que está siendo iluminado actualmente por las fuentes 216 y 224 de luz y láser. El procesador 40 puede recibir cada imagen y puede asignar números únicos a los marcos de los datos de imagen de las cámaras 230. El procesador 40 puede almacenar marcos de imagen en la memoria 44 y puede utilizarlos para rastrear una posición lineal de la máquina 24 a medida que el material se coloca sobre el sustrato 32.

5 El procesador 40 procesa los datos de imagen en un marco para detectar defectos en la sección del material 28 con imágenes. El procesador 40 también analiza y muestra defectos seleccionados en la interfaz 50 de usuario. Una dimensión de defecto, por ejemplo, un ancho de defecto, se puede determinar de la siguiente manera. Una vez que se ha adquirido una imagen digital de un defecto, se selecciona un conjunto de píxeles de la imagen digital que representa el ancho del defecto. Los píxeles en el conjunto de píxeles se cuentan y la cuenta se correlaciona con la distancia para determinar el ancho del defecto.

10 El procesador 40 puede recibir imágenes de las cámaras 230 y/o la memoria 44 y puede procesar las imágenes para facilitar la detección confiable de defectos. El procesador 40 puede mostrar información en la pantalla 54 de la interfaz de usuario, por ejemplo, como se muestra en la FIG. 8. Una ventana 300 incluye un marco 304 que muestra al menos parte de una sección 308 del material 28 fotografiado por las cámaras 230. Por ejemplo, un área 312 iluminada de la sección 308 se muestra en la ventana 300. Las líneas de láser 320 producidas por las fuentes 224 de láser también son visibles sobre el área 312. Los defectos 324 pueden estar etiquetados y se muestran en la ventana 300. Un objeto extraño/escombros (FOD) 330 golpeado por las líneas láser 320 puede ser acentuado por el procesador 40 para su visualización en el marco 300. El rayo láser 320 puede proporcionar una mejora de "segunda mirada" de las áreas iluminadas por las fuentes 216 de luz y, por lo tanto, puede ayudar a revelar defectos como bolas de pelusa, bolas de resina y materiales de respaldo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que, aunque la formación de bandas 320 de láser golpea el material 28 por encima del área 312 iluminada en el marco 300, son posibles otras disposiciones de la fuente de luz y la iluminación de la fuente de láser. En algunas realizaciones, la iluminación de la luz y las fuentes 216 y 224 de láser podrían configurarse para superponerse en mayor grado, o alternativamente para separar el material, como se muestra en la figura 8.

Debe entenderse que, en varias implementaciones, las imágenes de las cámaras 230 podrían mostrarse de varias maneras en la interfaz 50 de usuario. Por ejemplo, las imágenes de dos o más cámaras 230 podrían mostrarse simultáneamente, por ejemplo, lado a lado en un marco en la pantalla 54, o secuencialmente en diferentes marcos.

25 El marco 300 puede incluir una imagen de cámara procesada o no procesada. Adicional o alternativamente, el marco puede incluir una imagen que ha sido binarizada. Durante la binarización, todos los tonos de gris por encima de un valor de umbral predeterminado pueden cambiarse a blanco, mientras que todos los tonos de gris por debajo del umbral se cambian a negro para aumentar el contraste de defectos y mejorar la precisión de la detección de defectos. En otras realizaciones, no es necesario realizar la operación de binarización, sino que la imagen sin procesar, las tasas de cambio de los niveles de luz en la imagen sin procesar y los cambios de color en las imágenes se pueden usar para identificar los defectos.

35 Los sistemas y métodos anteriores proporcionan una mejor iluminación e inspección a través de anchos de material variables. Varias implementaciones de la divulgación brindan la capacidad de inspeccionar bandas más anchas de material de manera más efectiva de lo posible con los sistemas de inspección actuales, que utilizan iluminación lateral de ángulo bajo para iluminar el material bajo inspección. La iluminación dual en el eje proporcionada por las implementaciones de la divulgación puede proporcionar una iluminación uniforme a través de anchos de material y es escalable a anchos variables.

40 Aunque se han descrito varias realizaciones preferidas, los expertos en la técnica reconocerán modificaciones o variaciones que podrían realizarse sin apartarse del concepto inventivo. Los ejemplos ilustran la divulgación y no pretenden limitarla. Por lo tanto, la descripción y las reivindicaciones deben interpretarse liberalmente con solo la limitación que sea necesaria en vista del estado de la técnica pertinente.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para inspeccionar el material (28) puesto por una máquina (24) de colocación de material sobre un sustrato (32) para fabricar una estructura compuesta que comprende:
- 5    dirigir la luz sobre el material (28) en una dirección esencialmente normal al material (28) para iluminar una sección del material (28); y
- proyectar energía láser en la sección en un ángulo predeterminado para revelar imperfecciones en la sección, caracterizado porque:
- proyectar energía láser comprende proyectar una o más líneas (144) láser sobre la sección,
- en el que la una o más líneas (144) láser se proyectan a través de un eje (148) de colocación del material (28).
- 10    2. El método de la reivindicación 1, usado para inspeccionar el material (28) puesto por una máquina (24) de colocación de material sobre un sustrato (32) para fabricar una gran estructura compuesta.
3. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que dirigir la luz comprende:
- proyectar la luz hacia una superficie reflectante (128); y
- usar la superficie reflectante (128) para dirigir la luz proyectada sobre el material (28).
- 15    4. El método de la reivindicación 3, en el que la luz proyectada hacia la superficie reflectante se proyecta esencialmente paralela a un eje a lo largo del cual se coloca el material (28).
5. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que comprende además usar una o más cámaras (230) para visualizar la sección iluminada.
- 20    6. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que proyectar energía láser comprende usar una o más fuentes (140) de láser.
7. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que comprende además seleccionar una serie de fuentes (124) de luz y varias fuentes (140) de láser para realizar los pasos de dirección y proyección, la selección se realiza en función del ancho de la sección.
8. Un aparato que comprende:
- 25    una máquina (24) de colocación de material configurada para poner un material (28) sobre un sustrato (32) para fabricar una estructura compuesta y que comprende un componente configurado para poner el material (28) sobre el sustrato (32) a lo largo de un eje (148) de colocación; y
- un sistema para inspeccionar el material (28) colocado por la máquina (24) de colocación de material sobre el sustrato (32) para fabricar la estructura compuesta, el sistema comprende:
- 30    un espejo (212);
- una o más fuentes (124) de luz configuradas para proyectar luz en el espejo (212), el espejo (212) configurado para reflejar la luz proyectada en una sección del material (28) en una dirección esencialmente normal a la sección; y
- una o más fuentes (140) de láser configuradas para proyectar energía láser en la sección en un ángulo predeterminado para revelar imperfecciones en la sección, caracterizado porque: una o más fuentes (140) de láser están configuradas para proyectar una o más líneas (144) de láser en la sección a través del eje (148) de colocación del material (28).
- 35    9. El aparato de la reivindicación 8, que comprende además una o más cámaras (230) configuradas para visualizar la sección mientras que la sección está iluminada por la luz y las fuentes (124, 140) de láser.
10. El aparato de la reivindicación 9, en el que el espejo (212) comprende una o más porciones transparentes a través de las cuales la una o más cámaras (230) están configuradas para grabar la sección.

## ES 2 734 901 T3

11. El aparato de la reivindicación 8, en el que la una o más fuentes (124) de luz están configuradas para proyectar luz sobre el espejo esencialmente paralelas a la sección y a lo largo del eje (28) de colocación del material.
12. El aparato de la reivindicación 8, que comprende una pluralidad de fuentes (124) de luz y una pluralidad de fuentes (140) de láser configuradas para iluminar un ancho completo del material (28) tendido.
- 5 13. El aparato de la reivindicación 8, en el que la una o más fuentes (124) de luz y láser (140) están configuradas para proyectar luz a lo largo del eje (28) de colocación del material.
14. El aparato de la reivindicación 8, en el que el espejo (212) está suspendido sobre una sección del material (28) que se ha tendido, teniendo el espejo (212) una o más porciones transparentes;
- 10 una o más fuentes (124) de luz están configuradas para proyectar luz sobre una o más partes reflectantes del espejo (212): y
- una o más cámaras (230) configuradas para grabar la sección a través de una o más partes transparentes del espejo (212).
15. El aparato de la reivindicación 14, en el que la una o más fuentes (124) de luz están configuradas para proyectar luz a lo largo del eje (28) de colocación del material.
- 15 16. El aparato de la reivindicación 14, en el que la una o más cámaras (230) visualizan la sección.

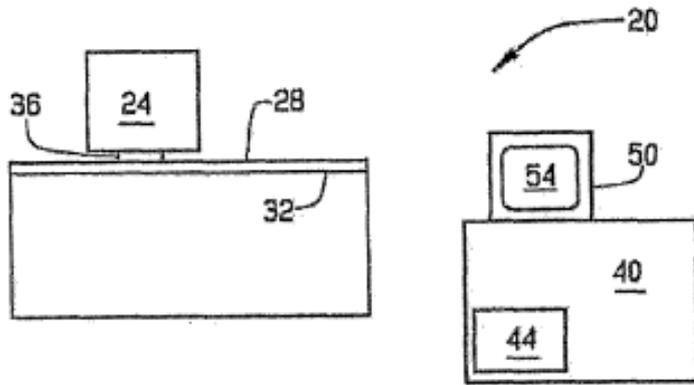


FIG. 1

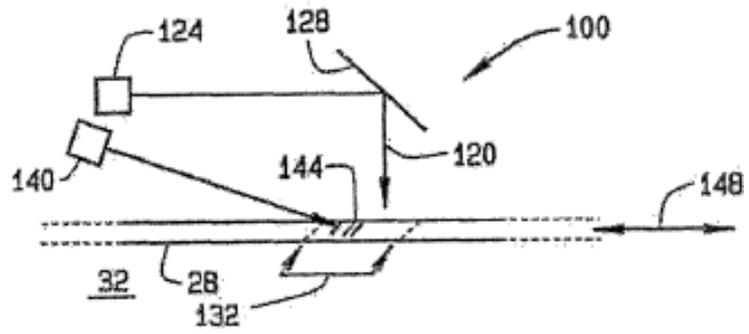


FIG. 2

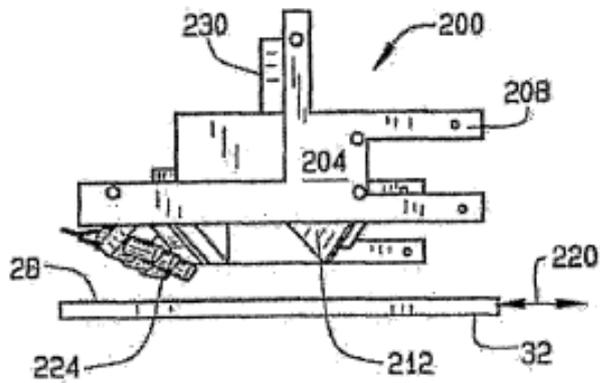


FIG. 3

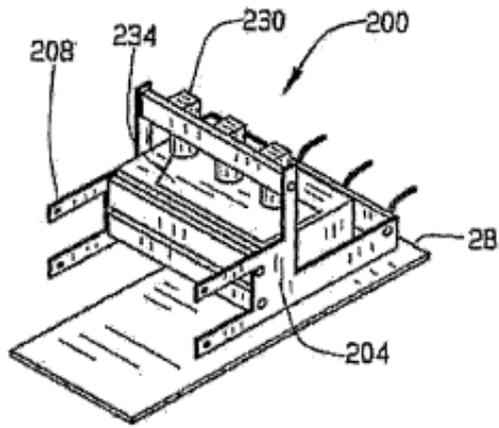


FIG. 4

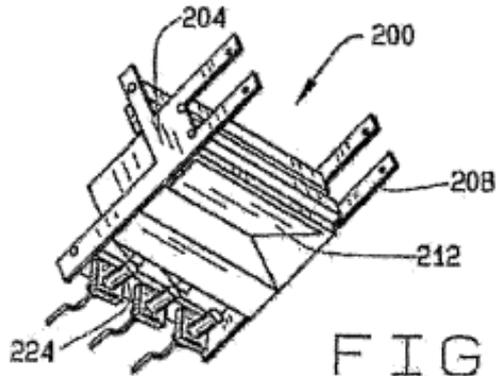


FIG. 5

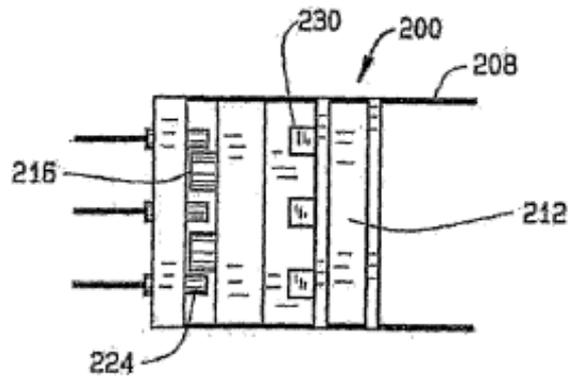


FIG. 6

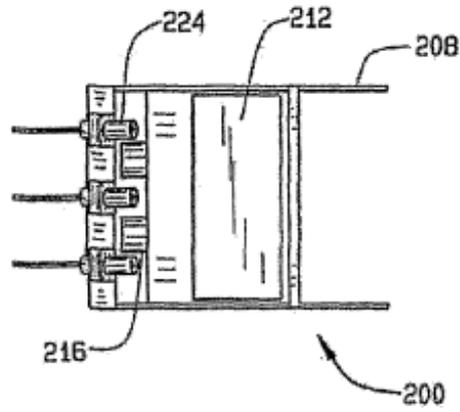


FIG. 7

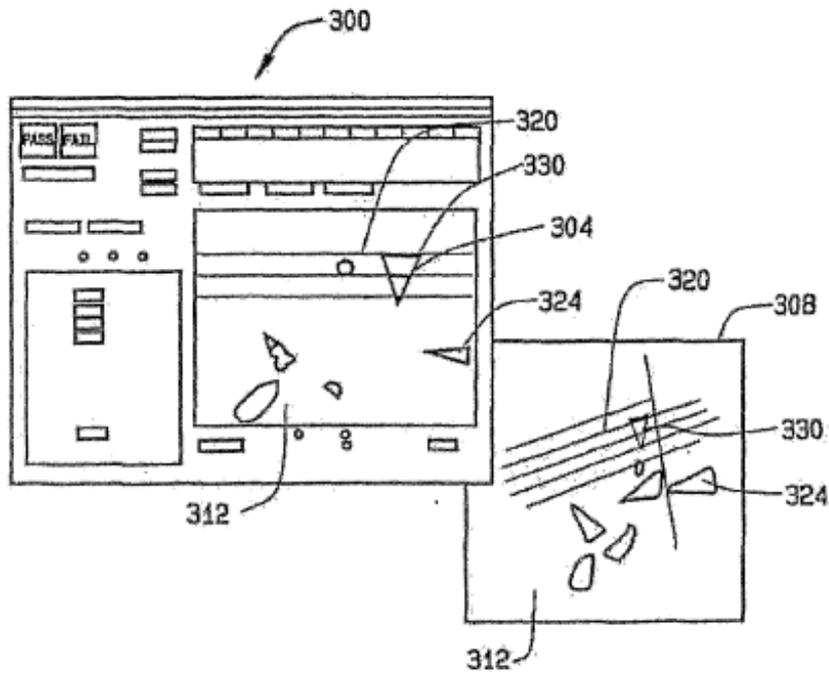


FIG. 8