

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 543 683**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

H01Q 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.11.2010** **E 13003020 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2015** **EP 2660463**

54 Título: **Pala de aerogenerador**

30 Prioridad:

02.11.2009 GB 0919198

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.08.2015

73 Titular/es:

QINETIQ LIMITED (100.0%)
Cody Technology Park Ively Road
Farnborough, Hampshire GU14 0LX, GB

72 Inventor/es:

FIXTER, GREG PETER WADE;
SPOONER, CHRISTOPHER DOUGLAS JAMES y
PERRY, CHRISTOPHER JAMES

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 543 683 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

Pala de aerogenerador

Esta invención se refiere a aerogeneradores y palas de aerogenerador y a la reducción en reflectividad de tales palas de aerogenerador a la radiación electromagnética. Se muestran ejemplos en las Publicaciones Internacionales WO 2009/140949 y WO 2011/024009.

Los objetivos de las energías renovables se basan en gran medida en la energía eólica, tanto en tierra como mar adentro. No obstante, un porcentaje significativo de todas las solicitudes de planificación de nuevos parques eólicos se rechazan con el argumento de que interferirán con los radares de aeropuertos civiles. El uso de materiales de absorción de radar (RAM) para aerogeneradores se ha propuesto previamente para reducir el efecto en el radar de ATC (Control de Tráfico Aéreo) y ADR (Radar de Defensa Aérea) reduciendo la RCS (Sección Transversal de Radar). Las palas de aerogenerador están altamente especificadas para cumplir criterios de rendimiento rigurosos no obstante y la introducción de RAM en las palas provoca idealmente poca o ninguna modificación de las propiedades estructurales y/o peso de la pala. Esto presente un reto de ingeniería significativo.

El presente solicitante ha realizado un informe titulado "Design and manufacture of radar absorbing wind turbine blades – final report" como parte de un estudio financiado por DTI. En este informe se señala la construcción de epoxi reforzado con vidrio (GRE) y en sándwich GRE/espuma de ciertas palas de aerogenerador y se sugiere que se podría usar un absorbente de tipo Jaumann incluyendo una capa resistiva a una separación específica de un conductor eléctrico perfecto (PEC). El forro de GRE más exterior se puede modificar usando una capa de impedancia con pérdidas y un reflector incluido en la superficie interior de la construcción en sándwich. Se expone que las capas de impedancia se pueden hacer de tejidos de fibra de vidrio impregnados con una pequeña cantidad de fibras de carbono troceadas. Una capa de tela de fibra de carbono puede actuar como el PEC, insertada en la parte trasera del forro de GRP.

Es un objeto de la presente invención proporcionar palas de aerogenerador mejoradas.

Según un primer aspecto de la presente invención entonces, se proporciona una pala de aerogenerador que comprende una estructura de material compuesto multicapa que incluye

una primera capa reflexiva;

una segunda capa separada de dicha primera capa, dicha segunda capa que comprende una tela depositada sobre la que están una pluralidad de elementos de circuito analógico (CA) resistivos;

en donde dichos elementos de CA se sintonizan para interactuar con dicha primera capa para proporcionar absorción de energía EM sobre una gama de frecuencia deseada;

y en donde dichos elementos de CA ocupan menos del 70% del área de superficie de dicha tela.

Las capas de circuito analógico (CA) se refieren a patrones geométricos que están compuestos de material de conducción o resistivo. Se definen a menudo por su conductancia y susceptancia eficaz, las cuales juntas se pueden usar para modelar la respuesta electromagnética de la capa. En esta especificación, por lo tanto, se usa el término elemento de circuito analógico para referirse a un patrón de conducción, la geometría precisa y la conductividad del material del cual se permite la absorción de una estructura de CA (que comprende el elemento de CA) a ser sintonizada a una frecuencia o gama de frecuencias designada. Tales elementos han sido propuestos previamente para aplicaciones tales como cámaras anecoicas y recubrimientos de invisibilidad y se diseñan típicamente para absorber radiación en una gama amplia de frecuencias. En las realizaciones preferidas de la presente invención, no obstante, dado que se desea absorción en una banda de frecuencia conocida que corresponde al radar de ATC, el panel de absorción se puede sintonizar ventajosamente para proporcionar un nivel deseado de atenuación a una frecuencia particular.

En una realización, la capa reflexiva puede simplemente comprender una capa de conducción, tal como una lámina de carbono sustancialmente continua. En otras realizaciones puede ser necesario solamente que la capa sea reflexiva a o alrededor de la frecuencia deseada, por ejemplo 3GHz. En este caso se podría emplear una superficie selectiva en frecuencia (FSS). Un patrón metálico periódico sería adecuado en ciertas realizaciones y se podría formar por deposición de plata, níquel o cobre en un sustrato de tela por ejemplo.

El uso de elementos de circuito analógico proporciona una capa de impedancia controlada y proporciona la ventaja de que los patrones producidos se pueden adaptar para proporcionar absorción con la misma respuesta de frecuencia deseada a pesar de las variaciones en la separación entre la primera y segunda capas. Esto es ventajoso al mantener una absorción eficaz en la banda de frecuencia deseada a través de áreas grandes de la pala la cual, por razones estructurales, puede tener estructuras y perfiles variables.

Además los elementos de CA ofrecen un número de parámetros que se pueden variar (por ejemplo, forma, dimensión externa, anchura de pista, separación de hueco) para proporcionar sintonización de frecuencia. Esto

proporciona una mejora de la flexibilidad de diseño y esta se puede explotar para mantener la absorción en una gama de frecuencias específica a pesar de la separación de capas variable, mientras que al mismo tiempo se asegura que las propiedades mecánicas de la capa de CA son compatibles con la integración en la pala de aerogenerador.

- 5 En una realización, por lo tanto, la pala de aerogenerador incluye una pluralidad de regiones de superficie, la separación entre la primera y segunda capas que es diferente en diferentes regiones y en donde dichos elementos de CA tienen diferentes geometrías en dichas regiones diferentes. Las diferentes geometrías pueden resultar de la variación en dimensiones o separación de los elementos, pero alternativa o adicionalmente pueden resultar de diferentes formas. En una realización preferida particularmente los elementos de CA comprenden cuadrados, que
10 pueden ser bucles cuadrados o parches cuadrados sólidos o una combinación de los dos. También se pueden emplear otras formas tales como círculos, franjas y cruces.

Por lo tanto, en al menos una primera y segunda regiones diferentes, existe una primera y segunda separaciones diferentes entre las capas y se pueden proporcionar respectivamente una primera y segunda geometrías de CA diferentes.

- 15 De este modo, a pesar de la variación compleja en la estructura y materiales de una pala de aerogenerador típica, se puede proporcionar la absorción deseada a través de la mayoría de, si no toda, la superficie de la pala usando solamente el planteamiento de dos capas (capa de CA resistiva/de impedancia controlada y capa reflexiva) señalado anteriormente y descrito en más detalle más adelante.

- 20 Además de acoger variaciones relativas en la separación de capas, también se proporciona una ventaja en términos de las separaciones de capas absolutas que se puede lograr. Las realizaciones de las disposiciones y métodos propuestos ahora permiten que las dos capas estén separadas en menos de un cuarto de una longitud de onda o incluso un décimo o un doceavo de una longitud de onda de la energía EM incidente que tiene una frecuencia a la que se desea la absorción.

- 25 Una pala se extenderá típicamente en una dirección longitudinalmente desde la base donde se hace la unión a un cubo, a la punta de la pala. Una dirección transversal se extiende desde el borde de ataque al borde de salida. Una combinación de factores influirá en el número y patrón de las diferentes regiones que componen la superficie de la pala de cualquier realización dada. La superficie de la pala se puede dividir en diferentes regiones tanto en la dirección longitudinal como transversal y puede resultar un patrón de rejilla o bloque. Las realizaciones pueden presentar cinco o más o diez o más regiones diferentes a lo largo del perfil longitudinalmente y tres o más regiones
30 diferentes en una dirección transversal. En disposiciones de aerogeneradores más grandes, por lo tanto, cada pala puede incluir 20 o más o 40 o más regiones diferentes.

- No es necesario para cada región diferente de la pala tener un patrón o geometría de CA único y puede ser que se requieran dos o más regiones diferentes o puede emplear aceptablemente el mismo diseño de capa de impedancia. Esto puede ayudar a limitar el número total de patrones o geometrías diferentes requeridas. Por lo tanto, mientras
35 que los límites entre regiones adyacentes típicamente definen un cambio en el diseño de CA, no necesitan la introducción de un nuevo diseño y el número total de diseños diferentes puede ser menor que el número total de regiones definidas. Ciertas realizaciones emplean diez o más diseños de CA diferentes. Puede ser posible mantener el mismo diseño básico de elementos de CA (por ejemplo, bucle cuadrado) a través de la pala entera y lograr la variación requerida ajustando la anchura de pista por ejemplo. Alternativamente, para lograr el número y rendimiento
40 requeridos de diseño diferente, puede ser necesario variar múltiples parámetros tales como la separación y dimensión externa o incluso variar la forma del elemento.

Las regiones pueden ser contiguas, no obstante, puede haber también discontinuidades entre las regiones, por ejemplo, si no se desea absorción o no se requiere para una cierta región de la pala.

- 45 El número y patrón de las diferentes regiones se puede dictar en una cierta medida por la construcción de la pala, por ejemplo, donde exista un cambio "radical" de una construcción monolítica a una de sándwich. Puede existir una cierta cantidad de libertad de diseño, no obstante, por ejemplo, cuando se trata con parámetros de construcción de pala que varían gradualmente. En algunas realizaciones se puede definir una única región y emplear un único diseño de CA a pesar de alguna variación en la separación de capas a través de la región. Esto puede provocar un rendimiento de absorción que es ligeramente subóptimo, pero aún aceptable. Los diseños de CA que ofrecen buena
50 absorción sobre un ancho de banda aumentado ofrecen una ventaja a este respecto. Se entenderá que mientras que se divide tal región en una o más regiones más pequeñas (es decir resolución regional más fina), cada una que tiene patrones de CA adaptados específicamente, podría resultar una mejora de absorción pero a costa de un aumento de la complejidad.

- 55 Preferiblemente los elementos de CA tienen una dimensión externa menor que 50 mm. La dimensión externa es típicamente la dimensión externa máxima, por ejemplo, la longitud del lado para un cuadrado. Manteniendo longitudes relativamente cortas de patrón de conducción, la capa es capaz de tolerar mejor un doblado sin dañar las propiedades eléctricas de los elementos en sí mismos. Si se usan elementos de conducción significativamente más largos, hay un aumento del riesgo de dañar los elementos cuando se forma la capa en un perfil de pala curvada.

En realizaciones preferidas los elementos de circuito analógico se forman de material resistivo, tal como una composición basada en carbono. La capa de CA se proporciona por una tela (por ejemplo, tejido de vidrio tejido) en una realización, con los elementos de CA depositados sobre la tela mediante serigrafía con tinta resistiva. La tinta resistiva es preferiblemente una tinta basada en carbono que tiene partículas de grafito suspendidas en un aglutinante o solvente. Tales tintas a menudo se han considerado como difíciles para trabajar con ellas y se han hecho esfuerzos significativos para facilitar impresión de chorro de tinta de tintas conductivas y resistivas o para encontrar técnicas de deposición alternativas adecuadas (por ejemplo, metalización electrolítica). Se ha encontrado, no obstante, que la serigrafía es particularmente adecuada para la formación de una capa de CA adecuada para uso en realizaciones de la presente invención. La serigrafía es capaz de depositar la tinta en espesor suficiente (por ejemplo, 10-15 μm sobre sustrato de polímero) para lograr las propiedades eléctricas requeridas. Además el espesor y resistividad volumétrica pueden ser controlados con precisión y lograda fiabilidad y coherencia a través de un área grande mediante la selección de los parámetros adecuados tales como tipo de malla de pantalla, presión de rasqueta, condiciones de curado, etc. Se ha encontrado deseable para que los elementos de CA sean proporcionados tener una resistencia de superficie de menos de $80\ \Omega/\text{cuadrado}$ más preferiblemente 10 y $40\ \Omega/\text{cuadrado}$.

Se ha encontrado por la presente invención que se debería controlar el porcentaje de cobertura de la tela por los elementos de CA a fin de asegurar la integridad estructural dentro de la estructura de pala de material compuesto. Las realizaciones preferidas por lo tanto presentan la propiedad de que los elementos de CA ocupan menos del 70% del área de superficie de dicha tela. De nuevo debido al uso de elementos de CA y la flexibilidad de diseño asociada con los mismos, esto se puede lograr incluso cuando se imponen otras múltiples restricciones tales como separación de capas y frecuencia de absorción.

Preferiblemente la absorción proporciona una atenuación mayor o igual a 20 dB en la frecuencia central (de la gama de frecuencia deseada). Dado que el absorbente está sintonizado a esta frecuencia central, la atenuación cae fuera lejos de esta frecuencia, no obstante, para permitir tolerancias de fabricación y otras consideraciones prácticas y una atenuación mayor o igual a 20 dB se proporciona típicamente en un ancho de banda de aproximadamente 300 MHz centrado alrededor del nominal. Típicamente más allá de 100 MHz cualquier lado de la atenuación de frecuencia central cae por debajo de 20 dB y puede ser de 10 dB o menos.

Un aspecto adicional de la invención proporciona un método de fabricación de una pala de aerogenerador que comprende el serigrafiado de un sustrato de tela con una pluralidad de elementos de circuito analógico (CA) resistivos; proporcionar una tela o capa de fibra reflexiva electromagnéticamente; e incluir dicha tela impresa y dicha capa reflexiva en el conjunto de la estructura de capas de material compuesto de una pala de aerogenerador, de manera que dicha tela y dicha capa resistiva están separadas por una separación definida.

La técnica de montaje básica de la estructura de capas de material compuesto puede ser por cualquier método convencional tal como acumulación de impregnado previo o infusión de resina. La tela impresa y la capa reflexiva (que pueden estar impregnadas previamente de resina) se insertan en los puntos deseados en la secuencia de capas de manera que, en la pala terminada, tienen la separación deseada.

Preferiblemente la serigrafía es serigrafía rotativa y preferiblemente los elementos de CA se forman de una tinta basada en carbono resistivo. En realizaciones donde se usan geometrías diferentes de elementos de CA para diferentes facetas de la pala, se pueden imprimir láminas separadas de tela con diferentes patrones e incluir en el proceso de montaje en diferentes ubicaciones correspondientes. Las telas que tienen diferentes patrones o geometrías impresas se pueden situar directamente adyacentes unas de otras si se desea. Alternativamente un sustrato de tela único puede ser el objeto de impresión gradual, con el patrón o geometría aplicada que varía a través de la tela.

La invención se extiende a métodos, aparato y/o uso sustancialmente como en la presente memoria descrita con referencia a los dibujos anexos.

Un rasgo en un aspecto de la invención se puede aplicar a otros aspectos de la invención, en cualquier combinación adecuada. En particular, se pueden aplicar aspectos del método a aspectos del aparato y viceversa.

Además, los rasgos implementados en hardware se pueden implementar generalmente en software y viceversa. Cualquier referencia a rasgos de software y hardware en la presente memoria se debería interpretar en consecuencia.

Los rasgos preferidos de la presente invención se describirán ahora, puramente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos anexos, en los que:

La Figura 1 muestra una sección transversal a través de una pala de aerogenerador.

Las Figuras 2 y 3 muestran construcciones de armazón de pala alternativas.

Las Figuras 4 y 5 ilustran ejemplos de patrones de circuito analógico.

La Figura 6 muestra múltiples facetas diferentes de una porción de la pala.

La pala de aerogenerador 100, mostrada en sección transversal en la Figura 1 generalmente está hueca en construcción, formada por un armazón exterior 102 y que incluye uno o más elementos o almas 104 para proporcionar integridad estructural adicional. El forro exterior está compuesto de múltiples secciones diferentes, que tienen diferentes construcciones. Por ejemplo la sección 106 está formada de epoxi reforzado con vidrio (GRE) monolítico mientras que la región 108 está formada de una construcción en sándwich de espuma GRE.

Estos dos tipos de estructura se ilustran en mayor detalle en las Figuras 2 y 3. En la Figura 2 se muestra una sección monolítica 202 de GRE, que tiene una construcción típica compuesta de múltiples capas o láminas de fibra de vidrio sujetas en una matriz de polímero, como es bien conocido. Cerca de la superficie exterior 204 se incluye una capa de impedancia controlada 220, mientras que más profundo en la estructura, más cerca de la superficie interior 206 está una capa reflexiva 230. Estas dos capas se incorporan en la estructura de material compuesto. Ambas capas 220 y 230 son capas flexibles basadas en tela en las realizaciones preferidas y así se pueden incluir en el proceso de fabricación de material compuesto con mínima ruptura o alteración de la técnica de fabricación existente. La colocación de las capas y de ahí su separación se determina por la secuencia en la que se incluyen durante la fabricación.

La Figura 3 ilustra una construcción en sándwich de espuma de material compuesto en la que un núcleo de espuma 312 se empareda entre los forros de GRE superior e inferior 314, 316. De nuevo se incluyen una capa de impedancia controlada 320 y una capa reflexiva 330, que se incorporan en los forros de GRE superior e inferior (o interior y exterior) respectivamente, de una manera equivalente como se describió anteriormente. Aquí la separación entre las capas 320 y 330 se determina por el espesor del núcleo de espuma además de la posición de las capas dentro de las porciones de GRP.

La Figura 4 muestra un primer ejemplo de un patrón de circuito analógico que se puede usar para proporcionar una capa de impedancia controlada. Aquí cada elemento de CA está en forma de un bucle cuadrado, los parámetros geométricos que son la dimensión lateral externa 402, la anchura de pista 404 y el hueco 406 entre cada elemento. Solamente se muestran cuatro elementos pero se entenderá que el patrón se extiende a través de la región de interés entera. La Figura 5 muestra un segundo ejemplo de patrón de CA, en el cual cada elemento es un parche cuadrado sólido. En este caso los parámetros geométricos son simplemente la dimensión lateral de parche 502 y el hueco entre los elementos 504.

La Figura 6 es una vista en perspectiva de una sección de una pala de aerogenerador alargada 600. La pala se extiende en una dirección longitudinalmente 602, con el borde 604 de la sección ilustrada que es más cercano a la base de la pala y con el perfil que se estrecha generalmente al borde 606 que es más cercano a la punta de la pala. Una dirección transversal se ilustra por la flecha 608 desde el borde de ataque 610 al borde de salida 612.

Como se trató anteriormente, la superficie o forro de la pala se puede dividir en regiones discretas como se indica esquemáticamente en 620, 622, 624, etc., por ejemplo, diferentes regiones que tienen diferentes geometrías de CA que componen una capa de impedancia controlada. Los bordes de las regiones pueden resultar de o corresponder a un cambio en la construcción subyacente, por ejemplo un cambio desde una región de forro sólido a un área de construcción en sándwich. Alternativamente los bordes pueden definir gamas discretas de valores en un parámetro que varía continuamente, por ejemplo el espesor de una capa de epoxi subyacente que varía a lo largo o a través del perfil de la pala.

Por lo tanto, en el ejemplo de la Figura 6, moviéndose en un perfil a lo largo de la dirección transversal, la transición desde la región 620 a la 624 es indicativa de un cambio en la sección transversal en el borde de un alma de refuerzo (por ejemplo, 104 en la Figura 1). En la transición, la geometría de CA de la capa de impedancia cambia desde un primer patrón a un segundo patrón para mantener una característica de absorción deseada. De manera similar la transición desde la región 624 a la 626 indica el otro borde del alma. De nuevo hay un cambio en la geometría de CA que puede volver de nuevo al primer patrón o a un tercer patrón, diferente de los otros dos.

En la dirección longitudinalmente, la transición desde la región 620 a la región 622 no indica un cambio radical en la construcción, sino que resulta de una variación continua en las propiedades del material subyacente en esa dirección. La posición del límite entre la región 620 y la 622 se determina como el resultado de un proceso de optimización definido por el usuario que aspira a equilibrar el rendimiento de absorción (por ejemplo, el valor de atenuación y ancho de banda) frente a la complejidad de diseño de CA.

Se entenderá que la presente invención se ha descrito anteriormente puramente a modo de ejemplo y se puede hacer una modificación de detalle dentro del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Una pala de aerogenerador que comprende una estructura de material compuesto multicapa que incluye una primera capa reflexiva;
- 5 una segunda capa separada de dicha primera capa, dicha segunda capa que comprende una tela depositada sobre la cual están una pluralidad de elementos de circuito analógico (CA) resistivos;
- en donde dichos elementos de CA se sintonizan para interactuar con dicha primera capa para proporcionar absorción de energía EM sobre una gama de frecuencia deseada;
- y en donde dichos elementos de CA ocupan menos del 70% del área de superficie de dicha tela.

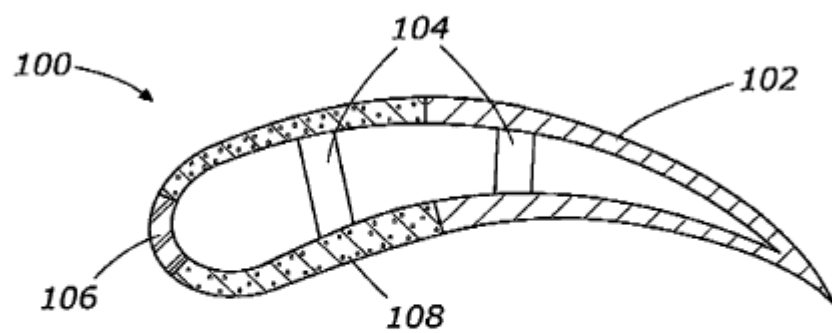


Fig. 1

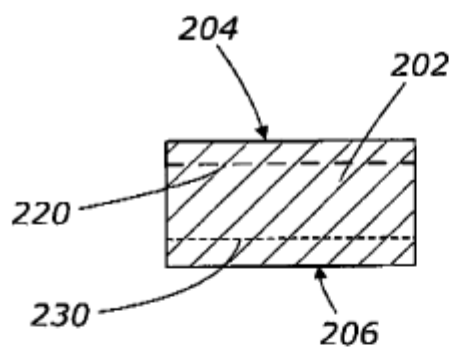


Fig. 2

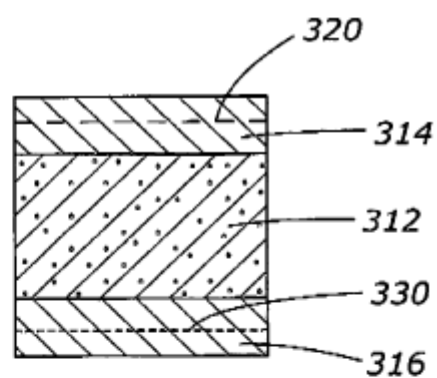


Fig. 3

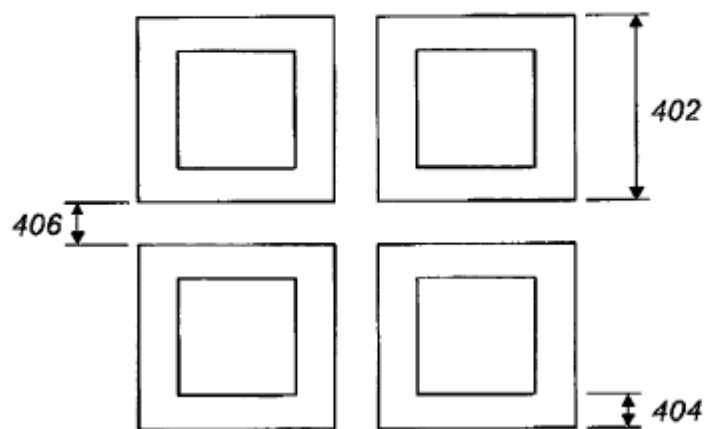


Fig. 4

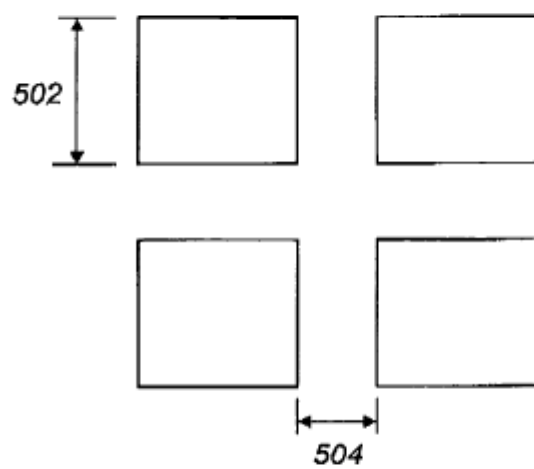


Fig. 5

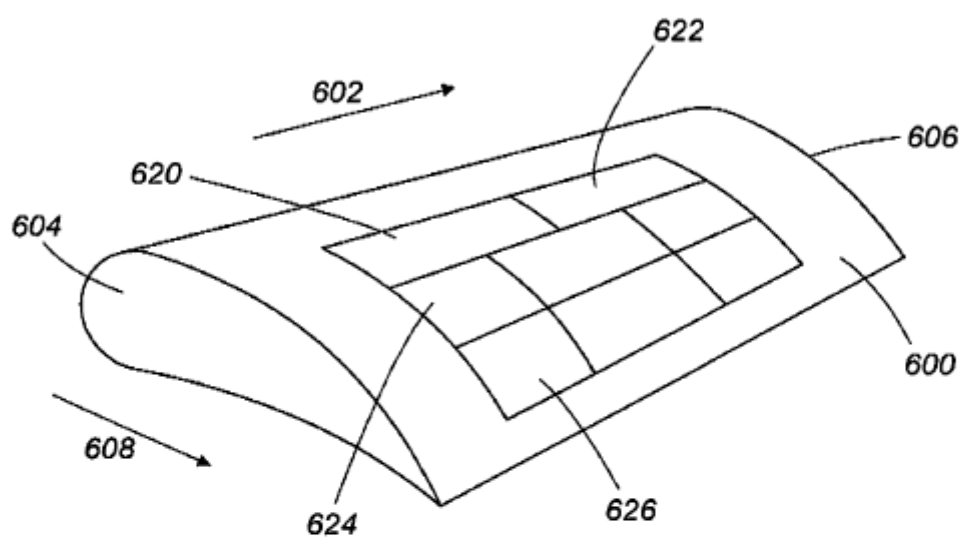


Fig. 6