

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 248**

51 Int. Cl.:

B32B 27/14 (2006.01)
F41H 1/04 (2006.01)
F41H 5/04 (2006.01)
B82B 1/00 (2006.01)
B32B 9/04 (2006.01)
F41H 1/02 (2006.01)
B32B 5/16 (2006.01)
B32B 5/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.10.2011** **PCT/US2011/056696**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.04.2012** **WO12054472**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.10.2011** **E 11834986 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2017** **EP 2629973**

54 Título: **Material compuesto de nanopartículas con gradiente-alótropos del carbono-polímero**

30 Prioridad:

21.04.2011 US 201161477674 P
09.11.2010 US 411494 P
18.10.2010 US 394066 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.12.2017

73 Titular/es:

GREENHILL ANTIBALLISTICS CORPORATION
(100.0%)
80 Theodore Fremd Avenue
Rye, NY 10580, US

72 Inventor/es:

GREENHILL, ZACHARY y
BELBRUNO, JOSEPH

74 Agente/Representante:

SALVA FERRER, Joan

ES 2 645 248 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

Material compuesto de nanopartículas con gradiente-alótropos del carbono-polímero

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. Campo de la invención

[0001] La presente invención se refiere a materiales de protección y, más específicamente, a un material que reduce el efecto de una onda de choque.

2. Descripción de la técnica relacionada

[0002] Los diseños de material para manejar el impacto de un estímulo externo, como una sacudida, como una onda de choque o proyectiles, incluyen, por ejemplo, telas tejidas, materiales cerámicos, y sistemas de compuestos. Kevlar®, Zylon®, Armos®, Spectra® son telas disponibles en el mercado hechas de fibras de alta resistencia. Otro material es el acero balístico, que está compuesto por acero de alta resistencia a la tensión endurecido, tejido en forma de fibra. Asimismo, se puede usar carburo de boro como un material, por ejemplo, en la producción de blindaje corporal.

[0003] Los materiales cerámicos, en particular los compuestos metalocerámicos han encontrado utilidad en el blindaje corporal de peso ligero.

[0004] Los sistemas existentes intentan atenuar las ondas de choque presentando un material de gran masa entre la fuente de la onda de choque y la cosa que se protege. El material de gran masa absorbe algo de la energía de la onda de choque, dando como resultado de ese modo una onda de choque de amplitud disminuida. Sin embargo, aunque la amplitud de la onda se puede disminuir, sólo se disminuye en una cierta cantidad y aún puede hacer un daño considerable.

[0005] Por lo tanto, hay una necesidad de un material que interrumpa una onda de choque, reduciendo de ese modo su efecto.

[0006] La técnica anterior se proporciona en los documentos WO-2010/019609-A1 y WO-03/025493-A1.

[0007] El documento WO-2010/019609-A1 describe materiales compuestos de ingeniería adecuados para aplicaciones que pueden beneficiarse de un material compuesto capaz de interactuar con o responder, de manera controlada o predeterminada, a cambios en su entorno circundante. El material compuesto generalmente incluye una estructura de capa con gradiente de una secuencia de, por ejemplo, en tres o más capas que contribuyen al gradiente de partículas a microescala, en el que un tamaño de partícula medio de las partículas de las capas que contribuyen al gradiente colindantes en la sección transversal de la estructura de capa con gradiente varía de capa a capa, formándose de ese modo un gradiente de tamaño de partícula, y en contacto con la estructura de capa con gradiente, una estructura de partículas densamente compactadas que incluye partículas a microescala densamente compactadas, en el que un tamaño de partícula medio de las partículas a microescala densamente compactadas no forma un gradiente de tamaño de partícula en la sección transversal de la estructura de partículas densamente compactadas.

[0008] El documento WO-03/025493-A1 describe la disposición de una estructura y un procedimiento para la protección de un sistema central frente a un elemento balístico que impacte. La disposición de la estructura incluye un compuesto. El compuesto incluye una matriz y una multiplicidad de nanotubos de carbono de pared simple. Los nanotubos de carbono de pared simple se disponen con respecto a la matriz de modo que se defina un array para el acoplamiento con un elemento balístico que impacte.

RESUMEN DE LA INVENCION

[0009] La presente invención es un material de atenuación de onda de choque como se define en la Reivindicación 1 de las reivindicaciones anexas. Algunas realizaciones de la invención se exponen en las reivindicaciones dependientes.

[0010] Las desventajas de la técnica anterior se superan mediante la presente invención que, en una

realización, proporciona un material de atenuación de onda de choque que incluye una capa de sustrato. Una pluralidad de capas de atenuación de choque se disponen en la capa de sustrato. Cada una de la pluralidad de capas de atenuación de choque incluye una capa de nanopartículas con gradiente que incluye una pluralidad de nanopartículas de diferentes diámetros que se disponen en un gradiente del diámetro más pequeño al diámetro más grande y una capa gráfica dispuesta adyacente a la capa de nanopartículas con gradiente. La capa gráfica incluye una pluralidad de miembros alótropos del carbono suspendidos en una matriz.

10 **[0011]** Otra realización de la invención proporciona un casco que incluye un miembro de casco configurado para que lo lleve puesto un usuario. Una pluralidad de capas de atenuación de choque se aplican al miembro de casco. Cada capa de atenuación de choque incluye una capa de nanopartículas con gradiente que incluye una pluralidad de nanopartículas de diferentes diámetros que se disponen en un gradiente del diámetro más pequeño al diámetro más grande; y una capa gráfica dispuesta adyacente a la capa de nanopartículas con gradiente, incluyendo la capa gráfica una pluralidad de miembros alótropos del carbono suspendidos en una matriz.

15 **[0012]** Otra realización de la invención proporciona una unidad de blindaje que incluye un elemento estructural, una chapa de blindaje y una pluralidad de capas de atenuación de choque. La pluralidad de capas de atenuación de choque se disponen en una relación predeterminada con al menos uno del elemento estructural y la chapa de blindaje. Cada capa de atenuación de choque incluye una capa de nanopartículas con gradiente que incluye una pluralidad de nanopartículas de diferentes diámetros que se disponen en un gradiente del diámetro más pequeño al diámetro más grande; y una capa gráfica dispuesta adyacente a la capa de nanopartículas con gradiente, incluyendo la capa gráfica una pluralidad de miembros alótropos del carbono suspendidos en una matriz.

25 **[0013]** Otra realización más de la invención proporciona una unidad de blindaje corporal personal que incluye una chapa de cerámica, un miembro de gran masa y una capa de material de atenuación de onda de choque de nanopartículas. El miembro de gran masa se dispone adyacente a la chapa de cerámica. La capa de material de atenuación de onda de choque de nanopartículas se dispone en el miembro de gran masa.

30 **[0014]** La capa de material de atenuación de onda de choque de nanopartículas se puede disponer entre el miembro de gran masa y la chapa de cerámica. De forma similar, la capa de material de atenuación de onda de choque de nanopartículas se puede disponer en el exterior del miembro de gran masa o la chapa de cerámica o ambos. Se entiende que cualquier combinación de estas configuraciones se incluye en el alcance de la invención.

35 **[0015]** Estos y otros aspectos de la invención serán evidentes por la siguiente descripción de las realizaciones preferidas tomadas en conjunción con los siguientes dibujos. Como sería obvio para alguien experto en la materia, muchas variaciones y modificaciones de la invención se pueden llevar a cabo sin desviarse del alcance de las reivindicaciones anexas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS DE LOS DIBUJOS

40 **[0016]**

La **FIG. 1** es un diagrama esquemático de una realización de un material de atenuación de onda de choque.

La **FIG. 2A** es un diagrama esquemático de una realización de una capa de nanopartículas con gradiente.

La **FIG. 2B** es un diagrama esquemático de una realización de una capa gráfica.

45 La **FIG. 3** es un diagrama esquemático de la realización mostrada en la FIG. 1, que demuestra la atenuación de la onda de choque.

La **FIG. 4** es un diagrama esquemático de una realización de un casco.

La **FIG. 5** es un diagrama esquemático de una realización de una unidad de blindaje.

La **FIG. 6** es un diagrama esquemático de una realización de una unidad de blindaje corporal.

50 La **FIG. 7** es un diagrama esquemático de una realización de una unidad de blindaje corporal.

La **FIG. 8** es un diagrama esquemático de una realización de una unidad de blindaje corporal.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

55 **[0017]** Una realización preferida de la invención se describe ahora en detalle. Con referencia a los dibujos, los números similares indican partes similares a lo largo de las vistas. A menos que se indique específicamente lo contrario en la descripción que se expone a continuación, los dibujos no están dibujados necesariamente a escala. Como se usa en la descripción en esta solicitud y a lo largo de las reivindicaciones, los siguientes términos toman los significados explícitamente asociados en esta solicitud, a menos que el contexto dicte claramente lo contrario: el

significado de "un", "uno", "una", y "el", "la" incluye la referencia plural, el significado de "en" incluye "dentro" y "en".

[0018] La solicitud de patente de los Estados Unidos núm. 12/672.865 (Publicación núm. US-2011/0212320-A1) describe un material compuesto de nanopartículas con gradiente y un procedimiento de hacer un material compuesto de nanopartículas con gradiente.

[0019] Como se muestra en la FIG. 1, una realización de un material de atenuación de onda de choque **100** incluye una capa de sustrato **104** y una pluralidad **110** de capas de atenuación de choque dispuestas en la capa de sustrato. Cada una de la pluralidad **110** de capas de atenuación de choque incluye una capa de nanopartículas con gradiente **114** y una capa gráfica **118** dispuesta adyacente a la capa de nanopartículas con gradiente **114**. En una realización típica, el material de atenuación de onda de choque **100** incluiría al menos 10 capas de nanopartículas con gradiente **114** alternantes con al menos 10 capas gráficas **118** (aunque sólo se muestran tres en la FIG. 1 en aras de la simplicidad).

[0020] Como se muestra en la FIG. 2A, cada capa de nanopartículas **114** incluye una pluralidad de nanopartículas **120** de diferentes diámetros (al menos dos diámetros diferentes) que se disponen en un gradiente del diámetro más pequeño al diámetro más grande. La orientación específica del gradiente (del más pequeño al más grande versus del más grande al más pequeño) depende de la aplicación específica para la que se esté usando el material.

[0021] Como se muestra en la FIG. 2B, la capa gráfica **118** incluye una pluralidad de miembros alótropos del carbono **128** suspendidos en una matriz **124**. Los miembros alótropos del carbono **128** pueden incluir láminas de grafeno, nanotubos de carbono, fullerenos, láminas de grafeno funcionalizadas, nanotubos de carbono funcionalizados, y fullerenos funcionalizados.

[0022] Dependiendo de cualquier requisito de transparencia, se puede variar la naturaleza del sustrato. Dos sustratos potenciales son compuestos/laminados de policarbonato y fibra de carbono. De hecho, una capa de compuesto de polímero-grafeno más gruesa (pero que sigue siendo transparente) se puede emplear directamente como el sustrato. La estructura con gradiente puede ser cualquiera de las mostradas, por ejemplo, en la Publicación de patente de los Estados Unidos núm. US-2011-0212320-A1, así como otras hechas a partir de los mismos principios. Una realización de una estructura con gradiente tiene un espesor total del orden de 5-10µm, que se puede repetir después tantas veces como se requiera.

[0023] Una capa de fullereno se puede depositar directamente mediante recubrimiento, a partir de una solución de tolueno, sobre la estructura con gradiente de espesor tan pequeño como una monocapa. De forma similar, nanotubos y láminas de grafeno o de óxido de grafeno se pueden recubrir a partir de suspensiones en disolventes orgánicos como cloroformo. Sin embargo, estos dos alótropos también se pueden depositar (preferentemente) como compuestos de polímero. El uso de un compuesto de polímero proporciona una integridad estructural adicional al recubrimiento global y, lo que es más importante, proporciona regiones de impacto adicionales para la generación de ondas de choque reflejadas parcialmente y reducirá aún más el paso global de la energía de choque desde el lugar del impacto hasta el lugar de la protección. Los miembros alótropos del carbono **128** se pueden funcionalizar como un óxido de grafeno. De forma similar, los nanotubos y los fullerenos se pueden funcionalizar con ácido carboxílico, aminas, se pueden hidroxilar o carboxilar.

[0024] Como se muestra en la FIG. 3, las capas gráficas **118** son de un espesor que es suficiente para reflejar al menos una porción de una onda de choque que incide en las mismas. El espesor de las capas gráficas **118** dependerá del tipo de onda de choque contra la que el diseñador desee proteger. Cuando una onda de choque **302** incide en el material **100**, la primera capa de nanopartículas con gradiente **114** empieza a atenuar la onda de choque **304** y la primera capa gráfica **118** refleja una porción de la onda de choque **306**, generándose de ese modo una interferencia destructiva con cualquier energía de la onda de choque residual. Las ondas sucesivas **308** y **312** reflejan de manera similar para generar ondas reflejadas **310** y **314**, las cuales interfieren aún más con la energía de choque residual.

[0025] Las capas de carbono o de compuestos de carbono marcan el final de una nanoestructura y el inicio de la siguiente. Una reducción significativa de la onda de choque incidente se produce después del paso a través de menos de 10µm de nanopartículas con gradiente. Pilas o capas de tales estructuras con el carbono y/o compuestos de carbono se intercalan y definen el límite de capas o pilas. El efecto, en cada interfaz de carbono, será crear una onda que se desplace hacia atrás que cause la atenuación de la onda de choque incidente, así como una onda de choque transmitida hacia delante muy reducida, que pase a la siguiente capa de la estructura. Una pila de 50

estructuras de nanopartículas con gradiente (cada una compuesta de 30 capas de nanopartículas) y capas de compuestos alternantes daría como resultado un recubrimiento de 1 mm de espesor y una atenuación significativa de la onda de choque incidente. Cada una de estas 50 capas con gradiente o de compuestos es una quinta parte del espesor del pelo humano normal.

5

[0026] Como se muestra en la FIG. 4, el material de atenuación de onda de choque **110** puede ser parte de un casco **400** o revestimiento de casco. En una realización, un casco **400** incluye un miembro de casco **402** configurado para que lo lleve puesto un usuario, como un Casco Mejorado de Combate [ECH] usado en aplicaciones militares. El miembro de casco **402** podría estar hecho a partir de un compuesto de fibra sintética de para-aramida, como Kevlar®. En otras realizaciones, el casco podría ser del tipo usado en el deporte. Por ejemplo, el material de atenuación de onda de choque **110** se podría usar en un casco de béisbol, un casco de fútbol americano, un casco de hockey, un casco de ciclismo, o similares. El casco **400** podría incluir una coraza externa (como, por ejemplo, acrilonitrilo butadieno estireno), una capa de material de atenuación de onda de choque **110** y una coraza interna. El casco **400** podría incluir incluso una coraza externa y diversas capas de material de atenuación de onda de choque **110** alternantes con capas de material de gran masa. El material de gran masa podría incluir, por ejemplo, un plástico de alta densidad, un compuesto, fibra de vidrio, un compuesto de fibra sintética de para-aramida, un vinilo, acrilonitrilo butadieno estireno, un acrílico, un metal, o cualquier otro material usado habitualmente en un casco. Un revestimiento de espuma amortiguadora también se puede añadir al casco.

10

15

20

25

[0027] Como se muestra en la FIG. 5, el material de atenuación de onda de choque **110** puede ser parte de una unidad de blindaje **500**, que puede incluir un elemento estructural **502**, como el panel de un vehículo. Una chapa de blindaje externa **510**, como una chapa de cerámica o de compuesto, proporciona una superficie de blindaje externa. El material de atenuación de onda de choque **110** se dispone entre el elemento estructural **502** y la chapa de blindaje **510**. El material de atenuación de onda de choque **110** también podría estar en el exterior del elemento estructural **502** o de la chapa de blindaje **510** o de ambos. Se apreciará que cualquier combinación de estas configuraciones se incluirá en el alcance de la invención.

30

35

40

[0028] Como se muestra en la FIG. 6, una realización es un ensamblaje de blindaje corporal **600**, como un ensamblaje de blindaje corporal interceptor (del tipo usado en el Chaleco Táctico Externo Mejorado, el Chaleco Táctico Modular Mejorado y los porta placas del Ejército de los Estados Unidos y del Cuerpo de Infantería de Marina de los Estados Unidos). Tal ensamblaje **600** incluiría una chapa de blindaje **602** (como una chapa de cerámica) con un miembro de gran masa. Ejemplos de materiales adecuados para el uso en el miembro de gran masa incluyen: un polímero de alta densidad **610** (como un polietileno de peso molecular ultraelevado), un compuesto de fibra sintética de para-aramida, un compuesto de fibra de carbono, un metal, una cerámica o combinaciones de los mismos. El material de atenuación de onda de choque **110** se puede aplicar al polímero de alta densidad **610** en el polímero de alta densidad **610** opuesto a la chapa de blindaje **602** en el lado adyacente al cuerpo del usuario. Esta última aplicación ayuda a solucionar el problema de deformación de la cara trasera. Como se muestra en la FIG. 7, en una realización de un ensamblaje de blindaje corporal personal **620**, el material de atenuación de onda de choque **110** se dispone entre el polímero de alta densidad **610** y la chapa de blindaje **602**. Como se muestra en la FIG. 8, múltiples capas de material de atenuación de onda de choque **110** se pueden aplicar al ensamblaje de blindaje **630**.

45

[0029] En una aplicación, el material de atenuación de onda de choque **110** se puede aplicar a tales dispositivos como espinilleras de fútbol, protectores para el pecho de un receptor de béisbol, hombreras de fútbol americano, guantes de béisbol y similares. También se puede aplicar a tales dispositivos como palos de golf y bates de béisbol para reducir los efectos del choque asociado con su uso.

50

[0030] En algunas realizaciones, el material compuesto de nanopartículas con gradiente es capaz de absorber un impacto de una onda de choque que, por ejemplo, se produzca por una explosión o sea causada durante la operación de un dispositivo. En algunas realizaciones, el material compuesto de nanopartículas con gradiente es capaz de mitigar y/o remediar uno o más efectos secundarios de la sacudida resultantes de la explosión.

55

[0031] En algunas realizaciones, el material compuesto de nanopartículas con gradiente es capaz de reaccionar a y/o interactuar con uno o más estímulos existentes en el entorno de una zona de sacudida. Por ejemplo, en algunas realizaciones el material puede absorber al menos una porción de un impacto de onda expansiva inicial y/o la onda de sobrepresión resultante de una explosión. Además, o de forma alternativa, el material compuesto de nanopartículas con gradiente puede estar diseñado para mitigar y/o remediar uno o más efectos relacionados de la sacudida resultantes del propio impacto de la onda expansiva. De ese modo, algunas realizaciones pueden proporcionar un material compuesto que a través de un diseño inteligente del sistema pueda

no sólo reducir el impacto de la onda expansiva con una mayor eficiencia y eficacia, sino que también pueda mitigar y/o remediar uno o más efectos secundarios de la sacudida.

- [0032]** En algunas realizaciones, el material compuesto de nanopartículas con gradiente puede proporcionar la mitigación y/o el remedio de la sacudida de una bomba reduciendo el valor de reflexión de la sacudida de la bomba mediante la absorción de la energía de la sacudida de la bomba. En algunas realizaciones, el proceso primario de mitigación y/o remedio puede ser mediante la absorción de la onda de choque de la sacudida de la bomba. En algunas realizaciones, el proceso de mitigación y/o remedio puede ser mediante la absorción de la onda de sobrepresión previa que precede a la onda de choque. La absorción de la onda de choque y/o la onda de sobrepresión previa se puede producir a través de uno o más mecanismos, incluyendo, por ejemplo, la transferencia de momento, la destrucción de la simetría espacial de, por ejemplo, la onda expansiva, la deformación plástica, la rotura de partículas, por ejemplo partículas núcleo-coraza llenas y vacías, la restitución, y el cizallamiento interpartícula/intercapa.
- [0033]** En algunas realizaciones, el material compuesto de nanopartículas con gradiente puede proporcionar una plataforma desde la cual se puede mitigar y/o remediar una amplia variedad de efectos de sacudida. Por ejemplo, en un material de coraza llena la energía absorbida se puede utilizar para romper, por ejemplo, microcápsulas para introducir una serie o selección de materiales o sistemas de materiales en el entorno de la sacudida y para de ese modo mitigar y/o remediar los efectos de la sacudida. En algunas realizaciones, el material compuesto de nanopartículas con gradiente puede proporcionar un material de peso relativamente ligero que se puede aplicar a estructuras o sistemas preexistentes sin efectos nocivos sobre los atributos de rendimiento de la estructura o sistema preexistente.
- [0034]** Algunas realizaciones proporcionan aplicaciones de material de impacto o inteligente a prueba de bombas. Ejemplos de aplicaciones a prueba de bombas incluyen receptáculos y revestimientos (como en receptáculos y bolsas de basura etc.), satélites, helicópteros, y dispositivos de alta tecnología (cubiertas de ordenador/hardware, protección de cables), construcción (edificios y sus fachadas), puentes y sus miembros estructurales, caños y cañerías (para combustibles fósiles, conductos, utilidades), automoción (paneles de puertas, paragolpes, salpicaderos, parabrisas y ventanas, chasis y techos), industria aeroespacial (interior/exterior de los aviones), etc. En algunas realizaciones, el material compuesto de nanopartículas con gradiente se puede usar en conexión con equipos militares, estructuras, vehículos, embarcaciones y naves para tierra, mar, y fuerzas aerotransportadas incluyendo vehículos blindados y no blindados, aeronaves, (lo cual incluye helicópteros y vehículos aéreos no tripulados), y embarcaciones náuticas como submarinos, barcos, botes y similares.
- [0035]** Para usos militares y civiles, el material compuesto de nanopartículas con gradiente se puede aplicar como un recubrimiento exterior, película, capa intermedia y/o como un panel para equipos preexistentes o, de forma alternativa, se puede utilizar para formar componentes estructurales del vehículo militar, aeronave, o embarcación náutica.
- [0036]** La aplicación de compuestos nanoestructurados con gradiente para la atenuación de ondas de choque se basa en los mismos principios que aplican esferas granulares macroscópicas para crear muros contra explosiones. Materiales granulares, especialmente dispuestos en un gradiente, crean la discrepancia de la onda solitaria en el punto de contacto de cada partícula y, por tanto, la atenuación de esa onda. El efecto es una combinación de procesos físicos pasivos y activos: absorción, distorsión, y redirección generada por ingeniería de la onda de choque sin un calentamiento apreciable. En efecto, el compuesto causa una interferencia destructiva de la onda de choque para atenuar la onda incidente. El compuesto, una estructura ordenada que incluye nanopartículas sólidas, huecas y llenas seleccionadas, puede recubrir una superficie (por ejemplo, un dispositivo de protección, como un casco) y también se puede producir como un revestimiento autoportante (usando un confinamiento de plástico). Adicionalmente, mientras que el array con gradiente proporciona la atenuación del choque, el material dentro de las nanopartículas llenas actúa para crear un indicador de que el usuario ha experimentado una onda de choque suficiente para causar una lesión cerebral traumática leve o severa mientras lleva puesto el dispositivo de protección, como un casco. El producto final es un recubrimiento de peso ligero que no cambia la flexibilidad del material tratado y que se puede hacer transparente por la cuidadosa selección de materiales de nanopartículas. Después de la activación, el dispositivo de protección se puede volver a recubrir, si se usó esa tecnología en la producción, o el revestimiento se puede reemplazar, si se empleó esa estrategia.
- [0037]** Modelos unidimensionales de una onda de choque que se propaga a través de una cadena granular homogénea o una gradual demuestran una atenuación de onda de choque. Aunque las estructuras tridimensionales son demasiado complejas para los sistemas de modelación existentes, las propiedades principales observadas para

los cálculos unidimensionales son válidas en el caso tridimensional. Suponiendo que no hay un efecto elástico ni una carga, las esferas están tocando simplemente en un único punto de contacto, la pérdida de energía cinética se calcula como una función del cambio del radio de las esferas, q , a medida que una onda se desplaza a través de las esferas, la energía perdida por colisión en las esferas, E_p , y el número de esferas, N , en la cadena:

5

$$\frac{EC_{FUERA}}{EC_{DENTRO}} = \left\{ \frac{\left[2(1-q)^3 - E_p \right]^2}{(1-q)^3 \left[1 + (1-q)^3 \right]^2} \right\}^{N-1} \quad (1)$$

Los valores de q y N son fijados por el experimento; el término de la pérdida se define por la relación de la fuerza de carga cuando dos partículas se juntan bajo la influencia de una onda y las fuerzas de descarga, cuando se separan. La disminución de energía cinética prevista por la Ecuación (1), EC_{FUERA}/EC_{DENTRO} , es independiente del tamaño de las esferas. La disminución de energía cinética se produce porque cada partícula absorbe algo de la energía incidente y esa energía permanece con la partícula. Obsérvese que para valores pequeños de N , una cadena de tamaño constante ($q = 0$) muestra una pequeña pérdida de energía cinética. Para valores de q del orden del 10% y pérdidas elásticas de aproximadamente el 5%, tanto como el 80% de la energía de entrada se puede absorber en una cadena de 20 esferas. Las pruebas experimentales confirman la predicción teórica. El gran número de nanopartículas en un recubrimiento típico proporciona un gran número de los puntos de contacto de partícula a partícula requeridos por la Ecuación (1) y también sirve para disipar la energía cinética rodeada por la onda de choque incidente sin un calentamiento apreciable del recubrimiento.

20

[0038] Las pruebas experimentales y la teoría indican que el concepto y su beneficio de atenuación de choque son independientes del tamaño de las partículas. Ese hecho abre la puerta para usar los principios para diseñar nanoestructuras con una estructura similar a una cadena gradual. Tal estructura es inherentemente tridimensional y se halla más allá de los modelos teóricos actuales. Sin embargo, una cuidadosa consideración indica que se describe mejor como un *array* con gradiente de nanopartículas; una estructura gradual en múltiples direcciones y que ofrece una atenuación aumentada de ondas de choque recibidas. La estructura se podría hacer a partir de monocapas de nanopartículas depositadas en un sustrato empezando con el radio más pequeño y creciendo con un q de aproximadamente el 10%, el gradiente de las monocapas se podría invertir, cualquiera de los dos gradientes se podría repetir en orden o se podrían construir gradientes alternantes que inviertan el orden de las capas de nanopartículas o se podrían usar múltiples capas de cada tamaño de partícula para construir el gradiente. Además, las nanopartículas modificadas químicamente presentan la oportunidad de añadir funcionalidad a la nanoestructura. Las nanoesferas pueden ser sólidas y estar hechas de cualquier número de polímeros, metales, cerámicas u otros materiales, de manera que se puedan variar las propiedades elásticas y las fuerzas interpartículas. Las nanopartículas huecas ofrecen una capacidad interesante de insertar vacíos, esferas fragmentadas bajo compresión por la onda de choque, que sólo actuarían cuando las partículas se comprimieran mediante una fuerza suficiente. Se pueden construir corazas de nanopartículas de polímero para portar otros materiales dentro de la nanopartícula, proporcionando los medios para incluir en la estructura indicadores del paso de una onda expansiva o la habilidad de liberar un agente beneficioso para los usuarios al activarse por la onda expansiva. El producto final es un recubrimiento de peso ligero que no cambia la flexibilidad del material tratado y se puede hacer transparente por la cuidadosa selección de materiales de nanopartículas. Tomadas en conjunto, estas características de arrays con gradiente nanoestructurados proporcionan un menú para el desarrollo de una protección contra ondas expansivas con aplicaciones específicas.

[0039] Una versión supone una estructura que incorpora capas de alótropos del carbono (fullereno, nanotubos o grafeno) y/o de compuestos de alótropos del carbono-polímero en la estructura global. Los alótropos del carbono proporcionan una resistencia aumentada a la nanoestructura ya que estos materiales figuran entre los más resistentes conocidos. Una realización emplea "pilas" o "capas" de tales estructuras con el carbono y/o compuestos de carbono intercaladas y definiendo el límite de capas o pilas. El efecto, en cada interfaz de carbono, es crear una onda que se desplace hacia atrás que cause la atenuación de la onda de choque incidente, así como una onda de choque transmitida hacia delante reducida en gran medida, que pase a la siguiente capa de la estructura. Una pila de 50 estructuras de nanopartículas con gradiente (cada una compuesta de 30 capas de nanopartículas) y capas de compuestos daría como resultado un recubrimiento de 1 mm de espesor y una atenuación significativa de la onda de choque incidente. Esta estructura tendría un espesor de aproximadamente 100 μm ó 10 pelos humanos.

[0040] En una realización experimental, se hicieron muestras usando una técnica de recubrimiento por centrifugación y que medían aproximadamente 6 cm². Se emplearon muestras que tenían una amplia variedad de gradientes y emplearon nanopartículas sólidas de polímero, sólidas de sílice, huecas de polímero y llenas (con hidrocarburos de cadena larga, como prototipos) de sílice. También se usaron recubrimientos monodispersos, gradientes graduales (de grande a pequeño y de pequeño a grande) y gradientes repetitivos usando sustratos de policarbonato tratados con luz ultravioleta para hacer la superficie polar. La mayoría de las muestras emplearon un empaquetamiento hexagonal compacto de las nanopartículas. Los recubrimientos habitualmente tenían un gradiente gradual de 320nm/ 260nm/ 220nm/ 160nm/ 130nm. Un probador de impacto hecho en laboratorio se usó para explorar los efectos de las nanoestructuras sobre la onda de choque causada por el impacto de una masa que caiga. Lo máximo en la onda de choque del impacto se redujo de magnitud y se demoró con relación a la iniciación del evento. La fuerza reducida también se esparció por una región temporal más grande para minimizar el efecto neto. Un listado de algunos de los resultados de los presentes inventores se contiene en la tabla que se muestra a continuación, junto con breves descripciones de los gradientes de las nanoesferas.

[0041] La siguiente tabla muestra resultados experimentales del choque del impacto para nanoesferas de poliestireno o de sílice entre dos chapas de policarbonato tratadas. Las nanopartículas eran esferas sólidas, excepto el tamaño de 400nm, que eran huecas:

Muestra	Fuerza máx., N	Anchura, ms	Demora, ms	Comentarios
Sensor desnudo	1334	0,16	--	Control-sin ninguna muestra
Policarbonato x2	1156	0,27	0,10	Control-dos sustratos de policarbonato
#1	872	0,31	0,18	130-160-220-260: 8 repeticiones/4 capas
#3	783	0,30	0,21	130-160-220-260-220-160: 5 repeticiones/6 capas
#5	623	0,34	0,22	130-160-220-260-320-400-320-260-220-160: 3 repeticiones/10 capas
#7	712	0,31	0,20	150-150-150 (sílice): 30 repeticiones/1 capa
#8	578	0,34	0,24	320-400:13 repeticiones/2 capas
#10	712	0,30	0,21	400-320-260-220-160-130:4 repeticiones/6 capas

[0042] Las realizaciones descritas anteriormente, aunque incluyen la realización preferida y el mejor modo de la invención conocido para el inventor en el momento de la presentación, sólo se dan como ejemplos ilustrativos. Se apreciará fácilmente que se pueden hacer muchas desviaciones con respecto a las realizaciones específicas descritas en esta memoria descriptiva sin desviarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones anexas. Según esto, el alcance de la invención se determinará por las siguientes reivindicaciones en lugar de estar limitado a las realizaciones descritas de manera específica anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Un material de atenuación de onda de choque (100), que comprende:
 - 5 una pluralidad de capas de atenuación de choque (110), incluyendo cada una:
 - (i) una capa de nanopartículas con gradiente (114) que incluye una pluralidad de nanopartículas (120) de diferentes diámetros que se disponen en un gradiente; y
 - (ii) una capa de alótropos del carbono (118) dispuesta adyacente a la capa de nanopartículas con gradiente (114),
 - 10 incluyendo la capa de alótropos del carbono (118) una pluralidad de miembros alótropos del carbono (128) suspendidos en una matriz (124).
2. El material de atenuación de onda de choque de la Reivindicación 1, en el que la capa de nanopartículas con gradiente (114) comprende nanopartículas (120) de al menos dos diámetros diferentes.
- 15 3. El material de atenuación de onda de choque de la Reivindicación 1, en el que los miembros alótropos del carbono (128) se seleccionan de un listado de alótropos del carbono que consiste en: láminas de grafeno, nanotubos de carbono, fullerenos, láminas de grafeno funcionalizadas, nanotubos de carbono funcionalizados, fullerenos funcionalizados y combinaciones de los mismos.
- 20 4. El material de atenuación de onda de choque de la Reivindicación 1, que comprende además una capa de sustrato (104), en el que la pluralidad de capas de atenuación de choque (110) se disponen en la capa de sustrato (104).
- 25 5. El material de atenuación de onda de choque de la Reivindicación 1, en el que el gradiente comprende la pluralidad de nanopartículas (120) de diferentes diámetros dispuestas en un array con gradiente del diámetro más pequeño al diámetro más grande.
6. Un casco (400) o revestimiento de casco que comprende el material de atenuación de onda de choque
- 30 de la Reivindicación 1.
7. El casco (400) de la Reivindicación 6, que comprende además un material seleccionado del grupo que consiste en: un plástico de alta densidad, un compuesto, fibra de vidrio, un compuesto de fibra sintética de para-aramida, un vinilo, acrilonitrilo butadieno estireno, un acrílico, un metal.
- 35 8. Una unidad de blindaje (500) que comprende el material de atenuación de onda de choque de la Reivindicación 1, en la que la unidad de blindaje (500) comprende además un elemento estructural (502) y una chapa de blindaje (510).
- 40 9. La unidad de blindaje (500) de la Reivindicación 8, en la que el elemento estructural (502) comprende al menos uno de un techo, un suelo o una pared de un vehículo.
10. La unidad de blindaje (500) de la Reivindicación 8, en la que el elemento estructural (502) comprende un ensamblaje de blindaje corporal.
- 45 11. Una unidad de blindaje corporal personal (600) que comprende una chapa de cerámica (602), un miembro de gran masa (610), y el material de atenuación de onda de choque de la Reivindicación 1 dispuesto en el miembro de gran masa.
- 50 12. La unidad de blindaje corporal personal (600) de la Reivindicación 11, en la que el miembro de gran masa (610) comprende un material seleccionado de un listado de materiales que consiste en: polietileno de peso molecular ultraelevado, un compuesto de fibra sintética de para-aramida, un compuesto de fibra de carbono, un metal, una cerámica o combinaciones de los mismos.
- 55 13. Una cubierta de ordenador o de hardware que comprende el material de atenuación de onda de choque de la Reivindicación 1.
14. Un recubrimiento exterior, película, capa intermedia y/o panel que comprende el material de atenuación de onda de choque de la Reivindicación 1, aplicado a equipos pre-existentes.

15. Una espinillera de fútbol, protector para el pecho de un receptor de béisbol, hombrera de fútbol americano, guante de béisbol, palo de golf o bate de béisbol que comprende el material de atenuación de onda de choque de la Reivindicación 1.

5

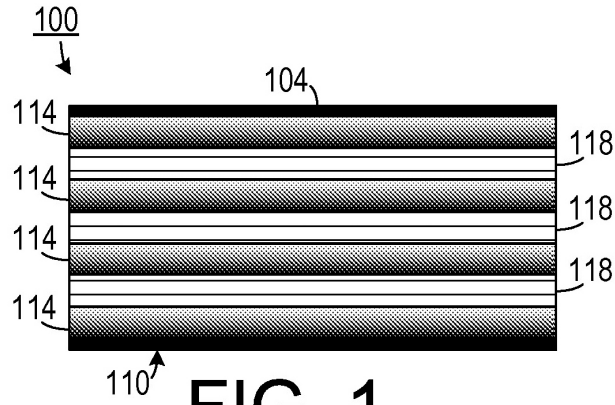


FIG. 1

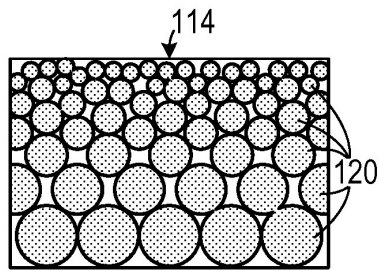


FIG. 2A

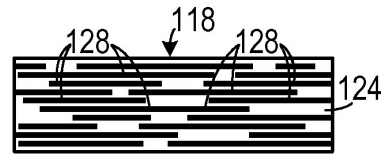


FIG. 2B

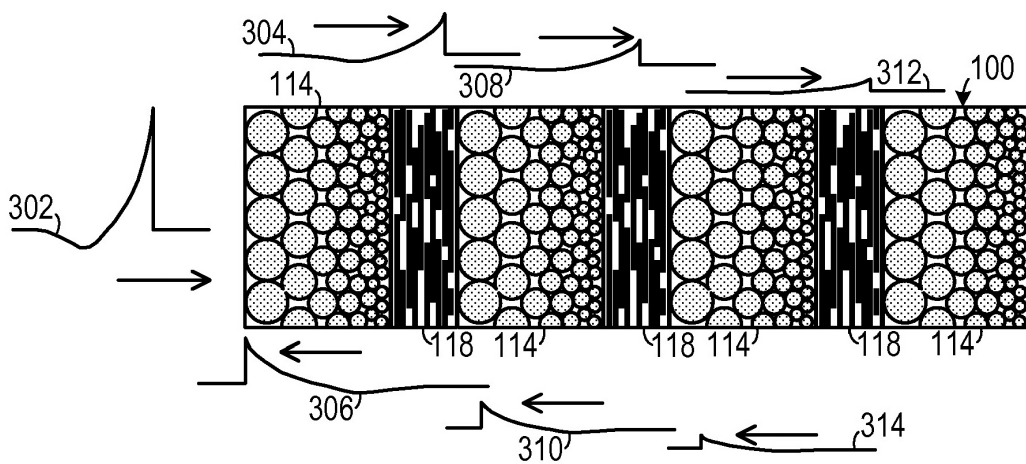


FIG. 3

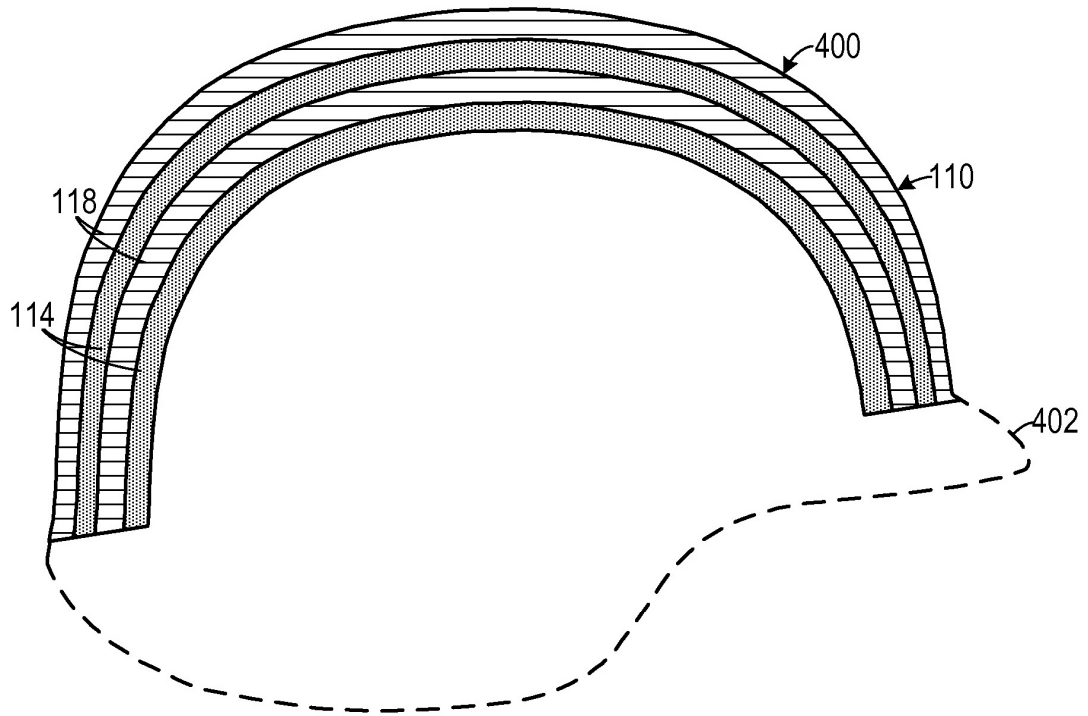


FIG. 4

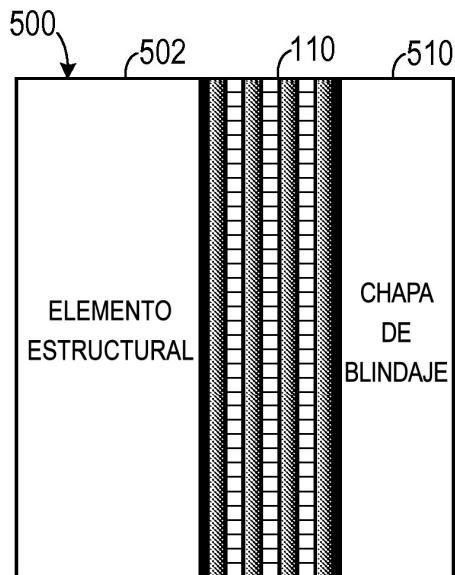


FIG. 5

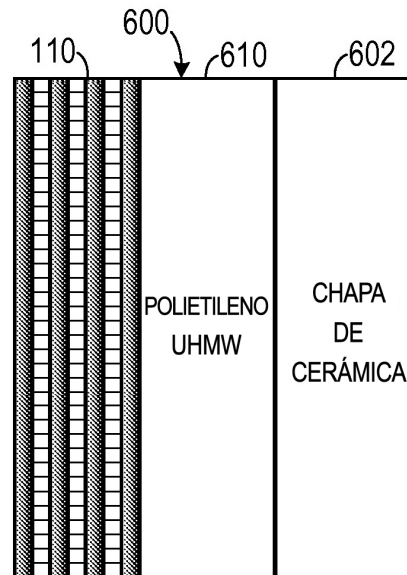


FIG. 6

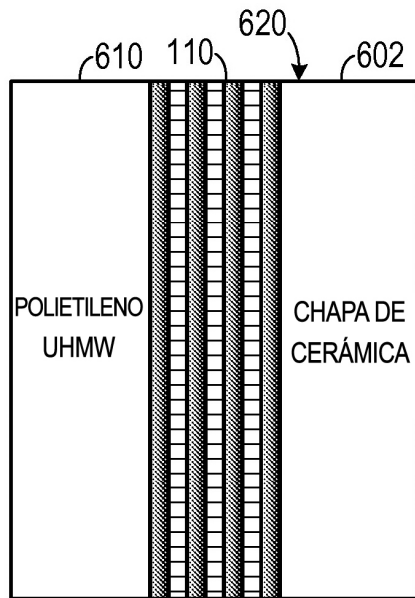


FIG. 7

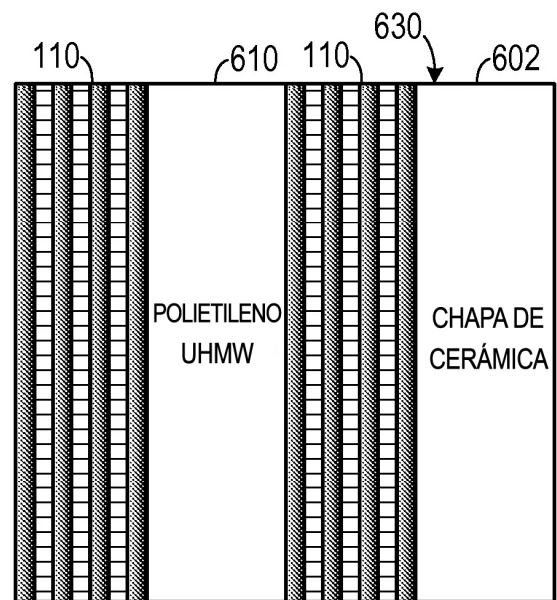


FIG. 8