

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 985 594**

51 Int. Cl.:

H01B 1/02 (2006.01)

H01B 1/16 (2006.01)

H01B 13/00 (2006.01)

H05K 1/09 (2006.01)

H05K 3/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2017** **E 21196700 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2024** **EP 3975204**

54 Título: **Alambre líquido**

30 Prioridad:

29.02.2016 US 201662301622 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
06.11.2024

73 Titular/es:

LIQUID WIRE INC. (100.0%)
8240 SW Nimbus Avenue
Beaverton, OR 97008, US

72 Inventor/es:

RONAY, MARK

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 985 594 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

Alambre líquido

Referencia cruzada a la solicitud relacionada

- 5 Esta solicitud reivindica el beneficio de prioridad de la fecha de presentación anterior de la Solicitud Provisional de los Estados Unidos n.º 62/301622, presentada el 29 de febrero de 2016.

Campo técnico

Las realizaciones en la presente memoria se refieren a un alambre líquido y, más específicamente, a alambre líquido compuesto de una aleación de galio-indio con microestructuras integradas.

Antecedentes

- 10 Existe un interés creciente en incorporar electrónica en objetos diarios, incluidos ropa y objetos textiles que se espera sean flexibles, estirables y blandos. La electrónica blanda sería capaz de interactuar sin interrupciones con el cuerpo humano, abriendo muchas aplicaciones nuevas para dispositivos ponibles, médicos y la perspectiva de robots conformes o "máquinas blandas" que podrían interactuar de manera más segura con seres humanos o artículos delicados (es preciso ver, por ejemplo, Dickey, *ACS Appl Mater Interfaces*. 12 de noviembre de 2014; 6(21): 18369-18379).

- 15 Se están considerando muchos métodos de fabricación no tradicionales para fabricar estos dispositivos electrónicos blandos, en particular impresión 3D. Sin embargo, un bloque de tope importante es la falta de un conductor estirable de alta conductividad y fácilmente procesado.

- 20 Se han probado muchos intentos de conductores estirables. Uno de los más exitosos ha sido los canales microfluídicos llenos de metal líquido a temperatura ambiente. Los dispositivos funcionales se crean grabando canales micrométricos en polidimetilsiloxano (PDMS), sellándolos y luego inyectando aleación metálica en los canales para crear trayectorias conductoras. Estas aleaciones pueden tener un punto de fusión tan bajo como de -19 °C y, por lo tanto, permanecen fluidas en condiciones normales. Debido a que los conductores metálicos son fluidos, pueden deformarse hasta un grado limitado solo por el material que crea los canales que los contienen y se recuperan completamente. Además, su cambio de resistencia es una función puramente mecánica de la longitud y la sección transversal del alambre y, por lo tanto, es
- 25 lineal. Esto provee una ventaja importante de permitir que las trayectorias conductoras también actúen como sensores.

- Sin embargo, la fabricación de dispositivos con estos canales microfluídicos es muy desafiante. El PDMS es el sustrato preferido, pero crear un sello apropiado alrededor de los canales es costoso, requiriendo la exposición de la capa que contiene el canal al plasma de oxígeno para adherir una capa de tapa para encerrar el canal. Una vez construidos, los canales deben llenarse a través de un sistema de dos jeringas, donde una jeringa inyecta la aleación líquida y otra
- 30 evacua el aire ya presente. Las tasas de fallos durante la construcción son muy altas. Anecdóticamente se ha informado que solo tienen éxito aproximadamente uno de cada veinte intentos de fabricación. Por lo tanto, existe la necesidad de otros metales "líquidos".

- La solicitud de patente de los Estados Unidos número 2015/270089 describe un método de fabricación de un artículo con componente electrónico activo integral que comprende: usar un proceso de fabricación aditiva para: a) formar un
- 35 sustrato no conductor de electricidad; b) formar una capa perforada no conductora de electricidad que tiene una abertura; c) formar elementos de ánodo y cátodo conductores de electricidad espaciados en la abertura; d) depositar una conexión eléctrica conductora en cada uno de los elementos adecuada para impartir una diferencia de potencial eléctrico entre los elementos; e) formar una capa de sellado no conductora de electricidad encima de la capa perforada para retener y sellar la abertura en la capa perforada.

40 Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones se entenderán fácilmente mediante la siguiente descripción detallada junto con los dibujos anexos y las reivindicaciones anexas. Las realizaciones se ilustran a modo de ejemplo y no a modo de limitación en las figuras de los dibujos anexos.

- 45 Las Figuras 1A-1E son imágenes digitales de imágenes de microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) que muestran diversas formulaciones que contienen galio, según diversas realizaciones.

Las Figuras 2A-2C son imágenes digitales de pruebas de compresión insatisfactorias (A, B) y satisfactorias (C), según diversas realizaciones.

La Figura 3 es una observación inicial de imagen digital de transferencia por contacto de alta fidelidad de patrones de gel metálico.

- 50 Las Figuras 4A-4D son imágenes digitales de patrones de transferencia por contacto de prueba con gel metálico cargado con partículas. Los patrones tienen anchos de traza tan finos como 0,5 mm y pasos tan finos como 0,25 mm, según diversas realizaciones.

La Figura 5 es una imagen digital de un sensor de presión con patrón, según diversas realizaciones.

La Figura 6 es un gráfico de una prueba de deformación de una traza de 8" de gel metálico encapsulado en silicona, que muestra la linealidad de la resistencia con respecto al grado de deformación.

La Figura 7 es una ilustración de resistencias variables orientadas para cambiar debido a la deformación a lo largo de las orientaciones de tejido o trama.

La Figura 8 es una simple red 1x3 con 10 resistencias variables y cuatro elementos de salida analógicos, A, B, C, D. Todos los emparejamientos únicos de elementos de salida crean un vector de 6 elementos. Al ponderar adecuadamente los intervalos de resistencia de cada resistencia variable, se puede garantizar que el vector de salida codifique de manera única cada combinación posible de resistencias con una fidelidad arbitraria.

La Figura 9 es una imagen digital de una antena de 990 MHz impresa a partir de gel metálico, según las realizaciones descritas en la presente memoria.

Las Figuras 10A-10D son varios ejemplos de patrones de trazado. La Figura 10A) es una línea simple que actuará como una resistencia variable que cambia con la deformación paralela a su trayectoria. La Figura 10B) tiene una trayectoria de retorno para permitir que una señal sea leída con puertos de entrada/salida locales entre sí. La barra de conexión vertical proveerá un cambio de resistencia despreciable para la deformación medida paralela a las trazas principales. En la Figura 10C), un patrón en zigzag multiplicará la realimentación de resistencia/deformación para deformación perpendicular a la dirección de la traza. 10D) una traza con una trayectoria de retorno y un multiplicador de retroalimentación de resistencia/deformación en la porción horizontal. Esta traza será sensible a la deformación paralela a su orientación, pero no perpendicular.

La Figura 11 es un gráfico de una pérdida de inserción medida a 6 GHz para una traza de referencia de Cu de 1,4 mil (35 μ m) de espesor y una línea de gel metálico de 75 μ m de espesor. La pérdida de inserción aumenta para ambos materiales por efecto de la piel.

Las Figuras 12A-12D son esquemas que muestran la encapsulación de la cuerda de paracaídas. 12A) Cuerda de paracaídas estándar con múltiples cuerdas rodeadas por una funda. 12B) El gel metálico (1) está envuelto con cordones de nylon en la funda creando un solo conductor. 12C) Para crear múltiples conductores en una única cuerda de paracaídas, cordones de nylon internos individuales pueden recubrirse con gel metálico y encapsularse en un aislante como, por ejemplo, un poliuretano termoestable. 12D) Alternativamente, múltiples conductores (3) de gel metálico pueden estar revestidos de poliuretano termoplástico y adheridos al exterior de la funda de la cuerda del paracaídas.

La Figura 13 es un diagrama de bloques del sensor de deformación básico que usa un par de alambres de gel metálico de longitud L_s . Los dos a tienen una resistencia combinada de $R_s = R_{s1} + R_{s2} = V_s/I_s$, donde V_s y I_s son la tensión y corriente de cc en el puerto de detección del puente de Wheatstone. El puente de Wheatstone tiene una salida V_o , que es proporcional a R_s , que se alimenta a un ADC para crear una salida de datos de deformación digital.

La Figura 14 es un diagrama de bloques que muestra cómo un diplexor permite que la corriente CC, I_s , fluya a través del bucle de sensor de deformación a través de L_d , mientras que la señal de RF se acopla por C_d en el bucle y se elimina por C_1 y C_2 . El inductor L_d también evita que la señal de RF se cortocircuite.

Las Figuras 15A-15C son tres métodos para crear líneas de transmisión de impedancia controlada usando gel metálico. 15A) Una interconexión coaxial con un conductor central (1) de gel metálico (que puede ser incluso un cordón de nylon recubierto) rodeado por una capa de encapsulación aislante y una capa (2) externa de gel metálico con una capa de encapsulación externa final para estabilizar la estructura. 15B) Dos líneas de gel metálico en una disposición de "doble conductor" (también denominada "bifilar"). 15C) Una capa de gel metálico exterior aplicada a la estructura en (15B) para permitir impedancias más bajas, lo cual también reduce la radiación y blindas las dos líneas de la interferencia electromagnética (EMI, por sus siglas en inglés). El primer diseño (15A) tiene un conductor exterior de gel (2) metálico aplicado alrededor del conductor (1) central aislado para crear una línea de transmisión coaxial que tiene una impedancia del intervalo de 30 a 100 ohmios.

Descripción detallada

En la siguiente descripción detallada, se hace referencia a los dibujos anexos que forman parte de la misma, y en los cuales se muestran a modo de ilustración realizaciones que pueden ponerse en práctica. Debe entenderse que pueden utilizarse otras realizaciones y pueden realizarse cambios estructurales o lógicos. Por lo tanto, la siguiente descripción detallada no debe tomarse en un sentido limitante, y el alcance de las realizaciones se define por las reivindicaciones anexas y sus equivalentes.

A menos que se explique lo contrario, todos los términos técnicos y científicos usados en la presente memoria tienen el mismo significado que entiende comúnmente una persona con experiencia ordinaria en la técnica a la que pertenece el objeto descrito. Las definiciones de términos comunes en términos químicos se pueden encontrar en The McGraw-Hill Dictionary of Chemical Terms, 1985 y en The Condensed Chemical Dictionary, 1981. Excepto que se indique lo

contrario, los métodos y las técnicas de la presente descripción se llevan a cabo generalmente según métodos convencionales conocidos en la técnica y como se describe en diversas referencias generales y más específicas que se citan y describen a lo largo de la presente memoria descriptiva. Es preciso ver, p. ej., Loudon, *Organic Chemistry*, cuarta edición, Nueva York: Oxford University Press, 2002, pp. 360-361, 1084-1085; Smith y March, *March's Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms, and Structure*, quinta edición, Wiley-Interscience, 2001; o Vogel, *A Textbook of Practical Organic Chemistry, Including Qualitative Organic Analysis*, cuarta edición, Nueva York: Longman, 1978.

Diversas operaciones pueden describirse como múltiples operaciones discretas a su vez, de una manera que puede ser útil para comprender realizaciones; sin embargo, el orden de descripción no debe interpretarse como uno que implica que estas operaciones dependen del orden.

La descripción puede usar descripciones basadas en perspectiva como, por ejemplo, arriba/abajo, posterior/frontal y superior/inferior. Tales descripciones se usan simplemente para facilitar la descripción y no pretenden restringir la aplicación de las realizaciones descritas.

Se pueden utilizar los términos "acoplado" y "conectado", junto con sus derivados. Debe entenderse que estos términos no pretenden ser sinónimos entre sí. Más bien, en realizaciones particulares, "conectado" puede usarse para indicar que dos o más elementos están en física directa entre sí. "Acoplado" puede significar que dos o más elementos están en contacto físico directo. Sin embargo, "acoplado" también puede significar que dos o más elementos no están en contacto directo entre sí, pero aún cooperan o interactúan entre sí.

Como se usa en la presente memoria, los términos singulares "un", "una" y "el/la" incluyen referentes plurales a menos que el contexto indique claramente lo contrario. De manera similar, la palabra "o" pretende incluir "y" a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Además, como se usa en la presente memoria, el término "comprende" significa "incluye". Por lo tanto, "que comprende A o B" significa que incluye A, B o A y B.

Excepto que se indique lo contrario, cualquier valor cuantitativo es aproximado si se indica o no la palabra "alrededor de" o "aproximadamente" o similares. Los materiales, métodos y ejemplos descritos en la presente memoria son solo ilustrativos y no pretenden ser limitantes. Cualquier peso molecular o valor de masa molecular es aproximado y se provee solo en aras de la descripción.

La descripción puede usar los términos "realización" o "realizaciones", que pueden referirse, cada uno, a una o más de las mismas o diferentes realizaciones. Además, los términos "que comprende", "que incluye", "que tiene" y similares, como se usan con respecto a las realizaciones, son sinónimos.

A. Introducción

Los conductores flexibles son necesarios para numerosas aplicaciones en electrónica. Los dispositivos ponibles, sensores de adaptación, pantallas flexibles, accionadores robóticos blandos e interconexiones estirables requieren todos un medio eléctricamente conductor capaz tanto de doblarse como de estirarse repetidamente. Idealmente, un conductor flexible no debe proveer resistencia material al movimiento de un sustrato al que está adherido mientras mantiene la conducción a través de muchos ciclos de estiramiento y flexión. Un conductor líquido es adecuado idealmente para esta tarea.

Como se ha descrito brevemente más arriba, los conductores metálicos "líquidos" usan aleaciones eutécticas de galio, normalmente mezcladas con indio y estaño, que están incorporadas dentro de canales microfluídicos. Típicamente, estas aleaciones incluyen: galio-indio (usualmente 75 % de galio, 25 % de indio) y galio-indio-estaño (lo más comúnmente 68,5 % de galio, 21,5 % de indio, 10 % de estaño). Los fluidos de aleación de galio tienen bajas viscosidades y altas tensiones superficiales. Aunque estas aleaciones pueden ser buenos conductores, tienen inconvenientes significativos que han obstaculizado su adopción generalizada. Por ejemplo, las propias aleaciones son difíciles de procesar. Además, los canales microfluídicos son propensos a fugarse o fallar irreversiblemente si el sustrato en el que la aleación está incorporada se fatiga. Por último, las aleaciones forman una capa de óxido al exponerse a la atmósfera, que no es conductora y puede conducir a fallas en las uniones entre los cables flexibles y los componentes duros. Por lo tanto, será un avance importante en la técnica proveer un fluido que sea fácil de procesar, protegido contra la oxidación, y tenga propiedades de autorregeneración para permitir el funcionamiento incluso cuando su sustrato comienza a desgastarse. La descripción actual satisface esas necesidades.

Según la invención, se provee una composición de gel de adelgazamiento por cizallamiento conductor, que comprende: una aleación eutéctica de galio; y una cantidad de óxido de galio distribuida como microestructuras dentro de la masa de la aleación de galio, en donde la mezcla en masa de la aleación eutéctica de galio y el óxido de galio tiene un porcentaje en peso (% en peso) de entre 59,9 % y 99,9 % de aleación eutéctica de galio. La composición de gel puede estabilizarse mediante partículas a escala submicrométrica, y puede exhibir un comportamiento no newtoniano. Las partículas a escala submicrométrica pueden recubrirse en la aleación eutéctica de galio envuelta en óxido de galio para formar las microestructuras de óxido de galio. Las microestructuras de óxido de galio pueden distribuirse dentro de la aleación de galio por sonicación. Las partículas a escala submicrométrica pueden comprender cobre oxidado, cobre recubierto de plata, cobre no oxidado, tungsteno, gránulos de estaño supersaturados, vidrio, grafito, cobre recubierto de plata o una combinación de los mismos. Las partículas a escala submicrométrica pueden tener la forma de esferoides, varillas, tubos, escamas, placas, cubos, prismáticos, piramidales, jaulas y dendrímeros.

Las partículas a escala submicrométrica pueden comprender esferas de cobre recubiertas de plata, escamas de cobre recubiertas de plata, escamas de cobre o esferas de cobre. Las partículas a escala submicrométrica pueden estar en el intervalo de tamaño de 0,5 micrómetros a 60 micrómetros. La invención también provee en otro aspecto un artículo de fabricación, que comprende la composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento de la invención.

En un aspecto adicional de la invención se provee un método para fabricar un artículo de fabricación que tiene una composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento, que comprende imprimir la composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento de la invención sobre al menos una superficie del artículo de fabricación. En la presente memoria se describe un material compuesto novedoso descubierto por el inventor que está compuesto de una composición de aleación de galio y óxido de galio que incluye microestructuras distribuidas formadas a partir del óxido de galio dentro de la aleación de galio en masa. En realizaciones descritas pero no reivindicadas, las microestructuras se forman a partir de láminas de óxido de galio que se forman sobre la superficie del galio en masa para inducir la microestructura distribuida cuando se mezcla en la aleación de galio. En realizaciones descritas pero no reivindicadas, la aleación se une a una nanoestructura reticulada de cintas de óxido, que sirven para un propósito similar a los agentes gelificantes poliméricos en geles a base de agua comunes. El gel se estabiliza usando partículas a escala submicrométrica para hacer un plástico Bingham de alta viscosidad, fácilmente humectable y resistente a fugas (un fluido que evidencia las propiedades de un sólido hasta que se aplica una fuerza de cizallamiento) que puede modelarse de manera consistente sobre la mayoría de las superficies a temperatura ambiente. Una vez modelado, el resultado es una interconexión de fluido de alta conductividad que no afecta a las propiedades del material de su sustrato. Este gel es fluido a temperatura ambiente y tiene un punto de congelación a -5 grados centígrados. El material final tiene conductividades en la escala de $2 \cdot 10^5$ S/m, dependiendo del grado de estabilización necesario, y dado que es relativamente fácil modelar conductores de hasta 100 μ m de espesor, la resistencia laminar resultante es bastante baja en comparación con otros conductores flexibles. La composición descrita forma generalmente un material tipo pasta. El óxido de galio, junto con un fluido de aleación de galio, forman microestructuras y nanoestructuras. Estas estructuras pueden soportar una pequeña cantidad de fuerza, dependiendo de su geometría. Al distribuir un gran número de microestructuras y nanoestructuras de forma irregular compuestas de óxido de galio a través de la masa de un fluido de aleación de galio, se puede crear un fluido compuesto nuevo y novedoso, con alta viscosidad y propiedades reológicas no newtonianas. El fluido se comporta de manera similar a una estructura de soporte de plástico de Bingham hasta que se aplica una tensión. Como se describe en la presente memoria, la creación y distribución de estas micro y nanoestructuras se puede lograr mediante múltiples métodos. En una realización, la creación y distribución de micro y nanoestructuras de óxido de galio se logra recubriendo nanopartículas y/o micropartículas de galio-indio-estaño envueltas en óxido de galio, y suspendiéndolas en un fluido de galio-indio-estaño mediante la aplicación de cizallamiento por medio de agitación o mezcla.

B. Visión general de varias realizaciones

Los aspectos de la presente descripción se refieren a composiciones eléctricamente conductoras, por ejemplo, con una consistencia similar a una pasta, creadas aprovechando la estructura provista por el óxido de galio mezclado en una aleación eutéctica de galio de tal manera que provee micro o nanoestructuras capaces de alterar las propiedades del material en masa de la aleación eutéctica de galio. En algunas realizaciones, las composiciones eléctricamente conductoras pueden caracterizarse como una composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento, o un material que tiene las propiedades de un plástico de Bingham. En realizaciones, una composición descrita tiene una viscosidad que varía de aproximadamente 10.000.000 centipoise a aproximadamente 40.000.000 centipoise bajo cizallamiento bajo y de aproximadamente 150 a 180 a cizallamiento alto. Por ejemplo, en condiciones de bajo cizallamiento, la composición tiene una viscosidad de aproximadamente 10.000.000 centipoise, aproximadamente 15.000.000 centipoise, aproximadamente 20.000.000 centipoise, aproximadamente 25.000.000 centipoise, aproximadamente 30.000.000 centipoise, aproximadamente 45.000.000 centipoise, o aproximadamente 40.000.000 centipoise en condiciones de bajo cizallamiento. En condiciones de alto cizallamiento, la composición tiene una viscosidad de aproximadamente 150 centipoise, aproximadamente 155 centipoise, aproximadamente 160 centipoise, 165 centipoise, aproximadamente 170 centipoise, aproximadamente 175 centipoise, o aproximadamente 180 centipoise.

En realizaciones, una composición descrita incluye una mezcla de una aleación eutéctica de galio y óxido de galio, en donde la mezcla de aleación eutéctica de galio y óxido de galio tiene un porcentaje en peso (% en peso) de entre aproximadamente 59,9 % y aproximadamente 99,9 % de aleación eutéctica de galio, como, por ejemplo, de entre aproximadamente 67 % y aproximadamente 90 %, y un % en peso de entre aproximadamente 0,1 % y aproximadamente 2,0 % de óxido de galio como, por ejemplo, de entre aproximadamente 0,2 y aproximadamente 1 %. Por ejemplo, una composición descrita puede tener aproximadamente 60 %, aproximadamente 61 %, aproximadamente 62 %, aproximadamente 63 %, aproximadamente 64 %, aproximadamente 65 %, aproximadamente 66 %, aproximadamente 67 %, aproximadamente 68 %, aproximadamente 69 %, aproximadamente 70 %, aproximadamente 71 %, aproximadamente 72 %, aproximadamente 73 %, aproximadamente 74 %, aproximadamente 75 %, aproximadamente 76 %, aproximadamente 77 %, aproximadamente 78 %, aproximadamente 79 %, aproximadamente 80 %, aproximadamente 81 %, aproximadamente 82 %, aproximadamente 83 %, aproximadamente 84 %, aproximadamente 85 %, aproximadamente 86 %, aproximadamente 87 %, aproximadamente 88 %, aproximadamente 89 %, aproximadamente 90 %, aproximadamente 91 %, aproximadamente 92 %, aproximadamente 93 %, aproximadamente 94 %, aproximadamente 95 %, aproximadamente 96 %, aproximadamente 97 %, aproximadamente 98 %, aproximadamente 99 %, o más, como, por ejemplo, aproximadamente 99,9 % de aleación eutéctica de galio, y aproximadamente 0,1 %, aproximadamente 0,2 %, aproximadamente 0,3 %, aproximadamente

0,4 %, aproximadamente 0,5 %, aproximadamente 0,6 %, aproximadamente 0,7 %, aproximadamente 0,8 %, aproximadamente 0,9 %, aproximadamente 1,0 %, aproximadamente 1,1 %, aproximadamente 1,2 %, aproximadamente 1,3 %, aproximadamente 1,4 %, aproximadamente 1,5 %, aproximadamente 1,6 %, aproximadamente 1,7 %, aproximadamente 1,8 %, aproximadamente 1,9 %, y aproximadamente 2,0 % de óxido de galio.

5 En realizaciones, la aleación eutéctica de galio puede incluir galio-indio o galio-indio-estaño en cualquier relación de elementos. En ciertas realizaciones, una aleación eutéctica de galio incluye galio e indio. En ciertas realizaciones, una composición descrita tiene un porcentaje de galio en peso en la aleación de galio-indio que está entre aproximadamente el 40 % y aproximadamente el 95 %, como, por ejemplo, aproximadamente el 40 %,
 10 aproximadamente el 41 %, aproximadamente el 42 %, aproximadamente el 43 %, aproximadamente el 44 %, aproximadamente el 45 %, aproximadamente el 46 %, aproximadamente el 47 %, aproximadamente el 48 %, aproximadamente el 49 %, aproximadamente el 50 %, aproximadamente el 51 %, aproximadamente el 52 %, aproximadamente el 53 %, aproximadamente el 54 %, aproximadamente el 55 %, aproximadamente el 56 %, aproximadamente el 57 %, aproximadamente el 58 %, aproximadamente el 59 %, aproximadamente el 60 %, aproximadamente el 61 %, aproximadamente el 62 %, aproximadamente el 63 %, aproximadamente el 64 %, aproximadamente el 65 %, aproximadamente el 66 %, aproximadamente el 67 %, aproximadamente el 68 %, aproximadamente el 69 %, aproximadamente el 70 %, aproximadamente el 71 %, aproximadamente el 72 %, aproximadamente el 73 %, aproximadamente el 74 %, aproximadamente el 75 %, aproximadamente el 76 %, aproximadamente el 77 %, aproximadamente el 78 %, aproximadamente el 79 %, aproximadamente el 80 %, aproximadamente el 81 %, aproximadamente el 82 %, aproximadamente el 83 %, aproximadamente el 84 %, aproximadamente el 85 %, aproximadamente el 86 %, aproximadamente el 87 %, aproximadamente el 88 %, aproximadamente el 89 %, aproximadamente el 90 %, aproximadamente el 91 %, aproximadamente el 92 %, aproximadamente el 93 %, aproximadamente el 94 % o aproximadamente el 95 %.

En ciertas realizaciones, una composición descrita tiene un porcentaje de indio en peso en la aleación de galio-indio que está entre aproximadamente el 5 % y aproximadamente el 60 %, como, por ejemplo, aproximadamente el 5 %,
 25 aproximadamente el 6 %, aproximadamente el 7 %, aproximadamente el 8 %, aproximadamente el 9 %, aproximadamente el 10 %, aproximadamente el 11 %, aproximadamente el 12 %, aproximadamente el 13 %, aproximadamente el 14 %, aproximadamente el 15 %, aproximadamente el 16 %, aproximadamente el 17 %, aproximadamente el 18 %, aproximadamente el 19 %, aproximadamente el 20 %, aproximadamente el 21 %, aproximadamente el 22 %, aproximadamente el 23 %, aproximadamente el 24 %, aproximadamente el 25 %, aproximadamente el 26 %, aproximadamente el 27 %, aproximadamente el 28 %, aproximadamente el 29 %, aproximadamente el 30 %, aproximadamente el 31 %, aproximadamente el 32 %, aproximadamente el 33 %, aproximadamente el 34 %, aproximadamente el 35 %, aproximadamente el 36 %, aproximadamente el 37 %, aproximadamente el 38 %, aproximadamente el 39 %, aproximadamente el 40 %, aproximadamente el 41 %, aproximadamente el 42 %, aproximadamente el 43 %, aproximadamente el 44 %, aproximadamente el 45 %, aproximadamente el 46 %, aproximadamente el 47 %, aproximadamente el 48 %, aproximadamente el 49 %, aproximadamente el 50 %, aproximadamente el 51 %, aproximadamente el 52 %, aproximadamente el 53 %, aproximadamente el 54 %, aproximadamente el 55 %, aproximadamente el 56 %, aproximadamente el 57 %, aproximadamente el 58 %, aproximadamente el 59 % o aproximadamente el 60 %.

En ciertas realizaciones, una aleación eutéctica de galio incluye galio y estaño. En ciertas realizaciones, una composición descrita tiene un porcentaje de estaño en peso en la aleación que está entre aproximadamente el 0,001 % y aproximadamente el 50 %, como, por ejemplo, aproximadamente el 0,001 %, aproximadamente el 0,005 %, aproximadamente el 0,01 %, aproximadamente el 0,05 %, aproximadamente el 0,1 %, aproximadamente el 0,2 %, aproximadamente el 0,3 %, aproximadamente el 0,4 %, aproximadamente el 0,5 %, aproximadamente el 0,6 %, aproximadamente el 0,7 %, aproximadamente el 0,8 %, aproximadamente el 0,9 %, aproximadamente el 1 %, aproximadamente el 1,5 %, aproximadamente el 2 %, aproximadamente el 3 %, aproximadamente el 4 %, aproximadamente el 5 %, aproximadamente el 6 %, aproximadamente el 7 %, aproximadamente el 8 %, aproximadamente el 9 %, aproximadamente el 10 %, aproximadamente el 11 %, aproximadamente el 12 %, aproximadamente el 13 %, aproximadamente el 14 %, aproximadamente el 15 %, aproximadamente el 16 %, aproximadamente el 17 %, aproximadamente el 18 %, aproximadamente el 19 %, aproximadamente el 20 %, aproximadamente el 21 %, aproximadamente el 22 %, aproximadamente el 23 %, aproximadamente el 24 %, aproximadamente el 25 %, aproximadamente el 26 %, aproximadamente el 27 %, aproximadamente el 28 %, aproximadamente el 29 %, aproximadamente el 30 %, aproximadamente el 31 %, aproximadamente el 32 %, aproximadamente el 33 %, aproximadamente el 34 %, aproximadamente el 35 %, aproximadamente el 36 %, aproximadamente el 37 %, aproximadamente el 45 %, aproximadamente el 46 %, aproximadamente el 47 %, aproximadamente el 48 %, aproximadamente el 49 % o aproximadamente el 50 %.

En realizaciones, una o más micropartículas o partículas a escala submicrométrica se mezclan con la aleación de galio y óxido de galio. En realizaciones, las partículas están suspendidas, ya sea recubiertas en aleación eutéctica de galio o galio y encapsuladas en óxido de galio o no recubiertas de la manera anterior, dentro del fluido de aleación eutéctica de galio. Estas partículas pueden variar en tamaño desde nanómetros hasta micrómetros y pueden suspenderse en galio, aleación de galio-indio o aleación de galio-indio-estaño. La relación de partícula a aleación puede variar, con el fin de cambiar las propiedades del fluido. En realizaciones, las microestructuras y nanoestructuras se mezclan dentro de la mezcla mediante sonicación u otros medios mecánicos. En realizaciones, una composición descrita incluye una suspensión coloidal de microestructuras y nanoestructuras dentro de la mezcla de aleación de galio/óxido de galio.

En realizaciones, como se describe, la composición incluye además una o más micropartículas o partículas a escala submicrométrica dispersadas dentro de la mezcla. Esto puede conseguirse suspendiendo partículas, revestidas en aleación eutéctica de galio o galio y encapsuladas en óxido de galio o no revestidas de la manera anterior, dentro del fluido de aleación eutéctica de galio. Estas partículas pueden variar en tamaño desde nanómetros hasta micrómetros y pueden suspenderse en galio, aleación de galio-indio o aleación de galio-indio-estaño. La relación de partícula a aleación puede variar, con el fin de cambiar las propiedades del fluido. Además, la adición de cualquier material auxiliar a una suspensión coloidal o pasta de aleación de galio con el fin de potenciar o modificar sus propiedades físicas, eléctricas o térmicas. La distribución de micro y nanoestructuras dentro de la aleación eutéctica de galio puede lograrse mediante sonicación u otros medios mecánicos sin la adición de partículas. En ciertas realizaciones, la una o más micropartículas o partículas submicrométricas se mezclan con la mezcla con % en peso de entre aproximadamente 0,001 % y aproximadamente 40,0 % de micropartículas, por ejemplo, aproximadamente 0,001 %, aproximadamente 0,005 %, aproximadamente 0,01 %, aproximadamente 0,05 %, aproximadamente 0,1 %, aproximadamente 0,2 %, aproximadamente 0,3 %, aproximadamente 0,4 %, aproximadamente 0,5 %, aproximadamente 0,6 %, aproximadamente 0,7 %, aproximadamente 0,8 %, aproximadamente 0,9 %, aproximadamente 1 %, aproximadamente 1,5 %, aproximadamente 2 %, aproximadamente 3 %, aproximadamente 4 %, aproximadamente 5 %, aproximadamente 6 %, aproximadamente 7 %, aproximadamente 8 %, aproximadamente 9 %, aproximadamente 10 %, aproximadamente 11 %, aproximadamente 12 %, aproximadamente 13 %, aproximadamente 14 %, aproximadamente 15 %, aproximadamente 16 %, aproximadamente 17 %, aproximadamente 18 %, aproximadamente 19 %, aproximadamente 20 %, aproximadamente 21 %, aproximadamente 22 %, aproximadamente 23 %, aproximadamente 24 %, aproximadamente 25 %, aproximadamente 26 %, aproximadamente 27 %, aproximadamente 28 %, aproximadamente 29 %, aproximadamente 30 %, aproximadamente 31 %, aproximadamente 32 %, aproximadamente 33 %, aproximadamente 34 %, aproximadamente 35 %, aproximadamente 36 %, aproximadamente 37 %, aproximadamente 38 %, aproximadamente 39 %, o aproximadamente 40 %.

En realizaciones, las partículas pueden ser vidrio de sosa, sílice, vidrio de borosilicato, cuarzo, cobre oxidado, cobre recubierto de plata, cobre no oxidado, tungsteno, gránulos de estaño supersaturado, vidrio, grafito, cobre recubierto de plata, como, por ejemplo, esferas de cobre recubiertas de plata, y escamas de cobre recubiertas de plata, escamas de cobre, o esferas de cobre, o una combinación de los mismos, o cualquier otro material que pueda humedecerse con galio. En algunas realizaciones, la una o más micropartículas o partículas a escala submicrométrica tienen la forma de esferoides, varillas, tubos, escamas, placas, cubos, prismáticos, piramidales, jaulas y dendrímeros. En ciertas realizaciones, la una o más micropartículas o partículas a escala submicrométrica están en el intervalo de tamaño de aproximadamente 0,5 micrómetros a aproximadamente 60 micrómetros, como aproximadamente 0,5 micrómetros, aproximadamente 0,6 micrómetros, aproximadamente 0,7 micrómetros, aproximadamente 0,8 micrómetros, aproximadamente 0,9 micrómetros, aproximadamente 1 micrómetro, aproximadamente 1,5 micrómetros, aproximadamente 2 micrómetros, aproximadamente 3 micrómetros, aproximadamente 4 micrómetros, aproximadamente 5 micrómetros, aproximadamente 6 micrómetros, aproximadamente 7 micrómetros, aproximadamente 8 micrómetros, aproximadamente 9 micrómetros, aproximadamente 10 micrómetros, aproximadamente 11 micrómetros, aproximadamente 12 micrómetros, aproximadamente 13 micrómetros, aproximadamente 14 micrómetros, aproximadamente 15 micrómetros, aproximadamente 16 micrómetros, aproximadamente 17 micrómetros, aproximadamente 18 micrómetros, aproximadamente 19 micrómetros, aproximadamente 20 micrómetros, aproximadamente 21 micrómetros, aproximadamente 22 micrómetros, aproximadamente 23 micrómetros, aproximadamente 24 micrómetros, aproximadamente 25 micrómetros, aproximadamente 26 micrómetros, aproximadamente 27 micrómetros, aproximadamente 28 micrómetros, aproximadamente 29 micrómetros, aproximadamente 30 micrómetros, aproximadamente 31 micrómetros, aproximadamente 32 micrómetros, aproximadamente 33 micrómetros, aproximadamente 34 micrómetros, aproximadamente 35 micrómetros, aproximadamente 36 micrómetros, aproximadamente 37 micrómetros, aproximadamente 38 micrómetros, aproximadamente 39 micrómetros, aproximadamente 40 micrómetros, aproximadamente 41 micrómetros, aproximadamente 42 micrómetros, aproximadamente 43 micrómetros, aproximadamente 44 micrómetros, aproximadamente 45 micrómetros, aproximadamente 46 micrómetros, aproximadamente 47 micrómetros, aproximadamente 48 micrómetros, aproximadamente 49 micrómetros, aproximadamente 50 micrómetros, aproximadamente 51 micrómetros, aproximadamente 52 micrómetros, aproximadamente 53 micrómetros, aproximadamente 54 micrómetros, aproximadamente 55 micrómetros, aproximadamente 56 micrómetros, aproximadamente 57 micrómetros, aproximadamente 58 micrómetros, aproximadamente 59 micrómetros o aproximadamente 60 micrómetros.

Los aspectos de esta descripción se refieren además a métodos para preparar una composición de gel de adelgazamiento por cizallamiento conductora. En realizaciones, los métodos incluyen mezclar óxidos superficiales formados sobre una superficie de un fluido de aleación de galio en la masa del fluido de aleación de galio mediante mezcla por cizallamiento de la interfase óxido/aleación superficial; e inducir una microestructura reticulada en los óxidos superficiales; formando de este modo una composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento. En realizaciones descritas pero no reivindicadas, se forma una suspensión coloidal de microestructuras dentro de la mezcla de aleación de galio/óxido de galio, por ejemplo, como partículas y/o láminas de óxido de galio.

En realizaciones, los óxidos superficiales se mezclan en una relación de entre aproximadamente 59,9 % (en peso) y aproximadamente 99,9 % de aleación eutéctica de galio, a aproximadamente 0,1 % (en peso) y aproximadamente 2,0 % de óxido de galio. Por ejemplo, el porcentaje en peso de aleación de galio combinada con óxido de galio es de

	aproximadamente el 60 %, aproximadamente el 61 %, aproximadamente el 62 %, aproximadamente el 63 %, aproximadamente el 64 %,
	aproximadamente el 65 %, aproximadamente el 66 %, aproximadamente el 67 %, aproximadamente el 68 %,
	aproximadamente el 69 %, aproximadamente el 70 %, aproximadamente el 71 %, aproximadamente el 72 %,
	aproximadamente el 73 %, aproximadamente el 74 %, aproximadamente el 75 %, aproximadamente el 76 %,
5	aproximadamente el 77 %, aproximadamente el 78 %, aproximadamente el 79 %, aproximadamente el 80 %,
	aproximadamente el 81 %, aproximadamente el 82 %, aproximadamente el 83 %, aproximadamente el 84 %,
	aproximadamente el 85 %, aproximadamente el 86 %, aproximadamente el 87 %, aproximadamente el 88 %,
	aproximadamente el 89 %, aproximadamente el 90 %, aproximadamente el 91 %, aproximadamente el 92 %,
10	aproximadamente el 93 %, aproximadamente el 94 %, aproximadamente el 95 %, aproximadamente el 96 %,
	aproximadamente el 97 %, aproximadamente el 98 %, aproximadamente el 99 %, o más, como, por ejemplo,
	aproximadamente el 99,9 % de aleación eutéctica de galio mientras que el porcentaje en peso de óxido de galio es de
	aproximadamente el 0,1 %, aproximadamente el 0,2 %, aproximadamente el 0,3 %, aproximadamente el 0,4 %,
	aproximadamente el 0,5 %, aproximadamente el 0,6 %, aproximadamente el 0,7 %, aproximadamente el 0,8 %,
	aproximadamente el 0,9 %, aproximadamente el 1,0 %, aproximadamente el 1,1 %, aproximadamente el 1,2 %,
15	aproximadamente el 1,3 %, aproximadamente el 1,4 %, aproximadamente el 1,5 %, aproximadamente el 1,6 %,
	aproximadamente el 1,7 %, aproximadamente el 1,8 %, aproximadamente el 1,9 %, y aproximadamente el 2,0 % de
	óxido de galio. En realizaciones, la aleación eutéctica de galio puede incluir galio-indio o galio-indio-estaño en cualquier
	relación de elementos. En ciertas realizaciones, una aleación eutéctica de galio incluye galio e indio. En ciertas
	realizaciones, el porcentaje en peso de galio en la aleación de galio-indio está entre aproximadamente el 40 % y
20	aproximadamente el 95 %, como, por ejemplo, aproximadamente el 40 %, aproximadamente el 41 %,
	aproximadamente el 42 %, aproximadamente el 43 %, aproximadamente el 44 %, aproximadamente el 45 %,
	aproximadamente el 46 %, aproximadamente el 47 %, aproximadamente el 48 %, aproximadamente el 49 %,
	aproximadamente el 50 %, aproximadamente el 51 %, aproximadamente el 52 %, aproximadamente el 53 %,
25	aproximadamente el 54 %, aproximadamente el 55 %, aproximadamente el 56 %, aproximadamente el 57 %,
	aproximadamente el 58 %, aproximadamente el 59 %, aproximadamente el 60 %, aproximadamente el 61 %,
	aproximadamente el 62 %, aproximadamente el 63 %, aproximadamente el 64 %, aproximadamente el 65 %,
	aproximadamente el 66 %, aproximadamente el 67 %, aproximadamente el 68 %, aproximadamente el 69 %,
	aproximadamente el 70 %, aproximadamente el 71 %, aproximadamente el 72 %, aproximadamente el 73 %,
	aproximadamente el 74 %, aproximadamente el 75 %, aproximadamente el 76 %, aproximadamente el 77 %,
30	aproximadamente el 78 %, aproximadamente el 79 %, aproximadamente el 80 %, aproximadamente el 81 %,
	aproximadamente el 82 %, aproximadamente el 83 %, aproximadamente el 84 %, aproximadamente el 85 %,
	aproximadamente el 86 %, aproximadamente el 87 %, aproximadamente el 88 %, aproximadamente el 89 %,
	aproximadamente el 90 %, aproximadamente el 91 %, aproximadamente el 92 %, aproximadamente el 93 %,
	aproximadamente el 94 %, o aproximadamente el 95 %. En ciertas realizaciones, el porcentaje en peso de indio en la
35	aleación de galio-indio está entre aproximadamente el 5 % y aproximadamente el 60 %, como, por ejemplo,
	aproximadamente el 5 %, aproximadamente el 6 %, aproximadamente el 7 %, aproximadamente el 8 %,
	aproximadamente el 9 %, aproximadamente el 10 %, aproximadamente el 11 %, aproximadamente el 12 %,
	aproximadamente el 13 %, aproximadamente el 14 %, aproximadamente el 15 %, aproximadamente el 16 %,
	aproximadamente el 17 %, aproximadamente el 18 %, aproximadamente el 19 %, aproximadamente el 20 %,
40	aproximadamente el 21 %, aproximadamente el 22 %, aproximadamente el 23 %, aproximadamente el 24 %,
	aproximadamente el 25 %, aproximadamente el 26 %, aproximadamente el 27 %, aproximadamente el 28 %,
	aproximadamente el 29 %, aproximadamente el 30 %, aproximadamente el 31 %, aproximadamente el 32 %,
	aproximadamente el 33 %, aproximadamente el 34 %, aproximadamente el 35 %, aproximadamente el 36 %,
	aproximadamente el 37 %, aproximadamente el 38 %, aproximadamente el 39 %, aproximadamente el 40 %,
45	aproximadamente el 41 %, aproximadamente el 42 %, aproximadamente el 43 %, aproximadamente el 44 %,
	aproximadamente el 45 %, aproximadamente el 46 %, aproximadamente el 47 %, aproximadamente el 48 %,
	aproximadamente el 49 %, aproximadamente el 50 %, aproximadamente el 51 %, aproximadamente el 52 %,
	aproximadamente el 53 %, aproximadamente el 54 %, aproximadamente el 55 %, aproximadamente el 56 %,
	aproximadamente el 57 %, aproximadamente el 58 %, aproximadamente el 59 %, o aproximadamente el 60 %. En
50	ciertas realizaciones, una aleación eutéctica de galio incluye galio, indio y estaño. En ciertas realizaciones, el
	porcentaje en peso de estaño en la aleación de galio-indio-estaño está entre aproximadamente el 0,001 % y
	aproximadamente el 50 %, como, por ejemplo, aproximadamente el 0,001 %, aproximadamente el 0,005 %,
	aproximadamente el 0,01 %, aproximadamente el 0,05 %, aproximadamente el 0,1 %, aproximadamente el 0,2 %,
	aproximadamente el 0,3 %, aproximadamente el 0,4 %, aproximadamente el 0,5 %, aproximadamente el 0,6 %,
55	aproximadamente el 0,7 %, aproximadamente el 0,8 %, aproximadamente el 0,9 %, aproximadamente el 1 %,
	aproximadamente el 1,5 %, aproximadamente el 2 %, aproximadamente el 3 %, aproximadamente el 4 %,
	aproximadamente el 5 %, aproximadamente el 6 %, aproximadamente el 7 %, aproximadamente el 8 %,
	aproximadamente el 9 %, aproximadamente el 10 %, aproximadamente el 11 %, aproximadamente el 12 %,
	aproximadamente el 13 %, aproximadamente el 14 %, aproximadamente el 15 %, aproximadamente el 16%,
60	aproximadamente el 17 %, aproximadamente el 18 %, aproximadamente el 19 %, aproximadamente el 20 %,
	aproximadamente el 21 %, aproximadamente el 22 %, aproximadamente el 23 %, aproximadamente el 24 %,
	aproximadamente el 25 %, aproximadamente el 26 %, aproximadamente el 27 %, aproximadamente el 28 %,
	aproximadamente el 29 %, aproximadamente el 30 %, aproximadamente el 31 %, aproximadamente el 32 %,
	aproximadamente el 33 %, aproximadamente el 34 %, aproximadamente el 35 %, aproximadamente el 36 %,
65	aproximadamente el 37 %, aproximadamente el 38 %, aproximadamente el 39 %, aproximadamente el 40 %,
	aproximadamente el 41 %, aproximadamente el 42 %, aproximadamente el 43 %, aproximadamente el 44 %,

aproximadamente el 45 %, aproximadamente el 46 %, aproximadamente el 47 %, aproximadamente el 48 %, aproximadamente el 49 % o aproximadamente el 50 %.

En realizaciones, una o más micropartículas o partículas a escala submicrométrica se mezclan con la aleación de galio y óxido de galio. En ciertas realizaciones, la una o más micropartículas o partículas submicrométricas se mezclan con la mezcla con % en peso de entre aproximadamente 0,001 % y aproximadamente 40,0 % de micropartículas en la composición, por ejemplo, aproximadamente 0,001 %, aproximadamente 0,005 %, aproximadamente 0,01 %, aproximadamente 0,05 %, aproximadamente 0,1 %, aproximadamente 0,2 %, aproximadamente 0,3 %, aproximadamente 0,4 %, aproximadamente 0,5 %, aproximadamente 0,6 %, aproximadamente 0,7 %, aproximadamente 0,8 %, aproximadamente 0,9 %, aproximadamente 1 %, aproximadamente 1,5 %, aproximadamente 2 %, aproximadamente 3 %, aproximadamente 4 %, aproximadamente 5 %, aproximadamente 6 %, aproximadamente 7 %, aproximadamente 8 %, aproximadamente 9 %, aproximadamente 10 %, aproximadamente 11 %, aproximadamente 12 %, aproximadamente 13 %, aproximadamente 14 %, aproximadamente 15 %, aproximadamente 16 %, aproximadamente 17 %, aproximadamente 18 %, aproximadamente 19 %, aproximadamente 20 %, aproximadamente 21 %, aproximadamente 22 %, aproximadamente 23 %, aproximadamente 24 %, aproximadamente 25 %, aproximadamente 26 %, aproximadamente 27 %, aproximadamente 28 %, aproximadamente 29 %, aproximadamente 30 %, aproximadamente 31 %, aproximadamente 32 %, aproximadamente 33 %, aproximadamente 34 %, aproximadamente 35 %, aproximadamente 36 %, aproximadamente 37 %, aproximadamente 38 %, aproximadamente 39 %, o aproximadamente 40 %. En realizaciones, las partículas pueden ser vidrio de sosa, sílice, vidrio de borosilicato, cuarzo, cobre oxidado, cobre recubierto de plata, cobre no oxidado, tungsteno, gránulos de estaño supersaturados, vidrio, grafito, cobre recubierto de plata, como, por ejemplo, esferas de cobre recubiertas de plata, y escamas de cobre recubiertas de plata, escamas de cobre o esferas de cobre o una combinación de los mismos, o cualquier otro material que pueda humedecerse con galio. En algunas realizaciones, la una o más micropartículas o partículas a escala submicrométrica tienen la forma de esferoides, varillas, tubos, escamas, placas, cubos, prismáticos, piramidales, jaulas y dendrímeros. En ciertas realizaciones, la una o más micropartículas o partículas a escala submicrométrica están en el intervalo de tamaño de aproximadamente 0,5 micrómetros a aproximadamente 60 micrómetros, como aproximadamente 0,5 micrómetros, aproximadamente 0,6 micrómetros, aproximadamente 0,7 micrómetros, aproximadamente 0,8 micrómetros, aproximadamente 0,9 micrómetros, aproximadamente 1 micrómetro, aproximadamente 1,5 micrómetros, aproximadamente 2 micrómetros, aproximadamente 3 micrómetros, aproximadamente 4 micrómetros, aproximadamente 5 micrómetros, aproximadamente 6 micrómetros, aproximadamente 7 micrómetros, aproximadamente 8 micrómetros, aproximadamente 9 micrómetros, aproximadamente 10 micrómetros, aproximadamente 11 micrómetros, aproximadamente 12 micrómetros, aproximadamente 13 micrómetros, aproximadamente 14 micrómetros, aproximadamente 15 micrómetros, aproximadamente 16 micrómetros, aproximadamente 17 micrómetros, aproximadamente 18 micrómetros, aproximadamente 19 micrómetros, aproximadamente 20 micrómetros, aproximadamente 21 micrómetros, aproximadamente 22 micrómetros, aproximadamente 23 micrómetros, aproximadamente 24 micrómetros, aproximadamente 25 micrómetros, aproximadamente 26 micrómetros, aproximadamente 27 micrómetros, aproximadamente 28 micrómetros, aproximadamente 29 micrómetros, aproximadamente 30 micrómetros, aproximadamente 31 micrómetros, aproximadamente 32 micrómetros, aproximadamente 33 micrómetros, aproximadamente 34 micrómetros, aproximadamente 35 micrómetros, aproximadamente 36 micrómetros, aproximadamente 37 micrómetros, aproximadamente 38 micrómetros, aproximadamente 39 micrómetros, aproximadamente 40 micrómetros, aproximadamente 41 micrómetros, aproximadamente 42 micrómetros, aproximadamente 43 micrómetros, aproximadamente 44 micrómetros, aproximadamente 45 micrómetros, aproximadamente 46 micrómetros, aproximadamente 47 micrómetros, aproximadamente 48 micrómetros, aproximadamente 49 micrómetros, aproximadamente 50 micrómetros, aproximadamente 51 micrómetros, aproximadamente 52 micrómetros, aproximadamente 53 micrómetros, aproximadamente 54 micrómetros, aproximadamente 55 micrómetros, aproximadamente 56 micrómetros, aproximadamente 57 micrómetros, aproximadamente 58 micrómetros, aproximadamente 59 micrómetros o aproximadamente 60 micrómetros.

El aspecto de la presente descripción se refiere a artículos de fabricación que incluyen una composición descrita, así como a métodos de preparación de tales composiciones. Existe un interés creciente en incorporar electrónica en objetos diarios, incluidos ropa y objetos textiles que se espera sean flexibles, estirables y blandos. La electrónica blanda será capaz de interactuar sin interrupciones con el cuerpo humano, abriendo muchas aplicaciones nuevas para dispositivos ponibles, médicos y la perspectiva de robots conformes o "máquinas blandas" que pueden interactuar de manera más segura con seres humanos o artículos delicados.

En ciertas realizaciones, el artículo de fabricación comprende un dispositivo electrónico. En ciertas realizaciones, el artículo de fabricación comprende un tejido, una película de plástico y/o una membrana. En ciertas realizaciones, las composiciones descritas se integran en sensores, por ejemplo, sensores para los inventores en la detección de la detección de deformación y/o cizallamiento. A modo de ejemplo, la deformación del alambre líquido compuesto de una composición descrita puede crear cambios medibles en resistencia, capacitancia, inductancia, impedancia o frecuencia característica dependiendo de la geometría del conductor. Por ejemplo, las composiciones pueden usarse como sensores para detectar la deformación y/o el cizallamiento en cualquier sustrato. Por ejemplo, una composición puede integrarse en un 'geotextil' para su uso en el refuerzo de una berma o dique. En uno de tales ejemplos, un alambre revestido de plástico largo hecho de una composición descrita puede detectar el asentamiento en la estructura

de movimiento de tierras, dando una advertencia temprana de colapso. En otro ejemplo, una composición descrita puede tener patrones en líneas de suspensión de paracaídas para dar retroalimentación de deformación en tiempo real que puede usarse para controlar un paracaídas dirigible automatizado.

En ciertas realizaciones, el artículo de fabricación comprende un artículo de prenda de vestir que comprende un tejido base; y uno o más elementos de la composición descrita dispuestos sobre el mismo. En diversas realizaciones, se describe un tejido base, por ejemplo, para engranajes corporales, que puede usar uno o más elementos de la composición descrita dispuestos sobre el mismo acoplados a la superficie del tejido base, como, por ejemplo, la superficie orientada hacia fuera o hacia dentro de un tejido. En una realización, la composición descrita conduce corriente eléctrica entre otros diversos elementos de la prenda, por ejemplo, una fuente de alimentación como, por ejemplo, una batería y otros dispositivos electrónicos integrados como, por ejemplo, sensores.

En algunas realizaciones, el artículo de prenda corporal puede incluir componentes para recopilar información y/o procesar la información recopilada, acoplados a una composición descrita. Por ejemplo, el artículo de prenda corporal puede incluir componentes que monitorizan una o más condiciones físicas del usuario como, por ejemplo, signos vitales del cuerpo, por ejemplo, frecuencia cardíaca o ECG, pulso y temperatura y movimiento. En ciertas realizaciones, una composición descrita se configura como un sensor de presión.

En general, un área superficial suficiente del tejido base debe exponerse para proveer la función de tejido base deseada (p. ej., estiramiento, caída, textura, transpirabilidad, transferencia de vapor de humedad, permeabilidad al aire y/o absorción por capilaridad). Por ejemplo, si hay muy poco tejido base expuesto, pueden sufrir propiedades como, por ejemplo, transferencia de vapor de humedad y/o permeabilidad al aire, e incluso desproporcionadamente al porcentaje de cobertura.

En realizaciones, las composiciones eléctricamente conductoras están en el intervalo de aproximadamente 0,1 mm de ancho a aproximadamente 10,0 mm de ancho, como, por ejemplo, aproximadamente 0,1, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0, 4,5, 5,0, 5,5, 6,0, 6,5, 7,0, 7,5, 8,0, 8,5, 9,0, 9,5 o 10,0 mm (algunas veces mayor) de ancho o cualquier valor o intervalo dentro del mismo.

En ciertas realizaciones, la cantidad de composición y/o colocación eléctricamente conductora se selecciona para contener costes y crear un material que es estéticamente agradable. En realizaciones, las composiciones eléctricamente conductoras tienen un espesor en el intervalo de aproximadamente 0,05 mm a aproximadamente 5 mm de espesor, como, por ejemplo, aproximadamente 0,05, aproximadamente 0,1, aproximadamente 0,5, aproximadamente 1,0, aproximadamente 1,5, aproximadamente 2,0, aproximadamente 2,5, aproximadamente 3,0, aproximadamente 3,5, aproximadamente 4,0, aproximadamente 4,5, aproximadamente 5,0 mm de espesor, o cualquier valor o intervalo dentro de estos, aunque también se contemplan espesores menores y mayores.

Según diversas realizaciones, la tela de base puede ser una parte de cualquier forma de equipo corporal, como, por ejemplo, ropa corporal, mantas, tiendas de campaña, fundas de lluvia, paraguas o sombra solar, o cualquier material o aparato. La ropa corporal, como se usa en la presente descripción, incluye cualquier cosa que se lleve puesta en el cuerpo, como, por ejemplo, pero sin limitarse a, ropa deportiva como, por ejemplo, prendas de compresión, camisetas, pantalones cortos, mallas, mangas, bandas para la cabeza y similares, ropa exterior, como, por ejemplo, chaquetas, pantalones, mallas, camisetas, sombreros y similares, y calzado.

En diversas realizaciones, la cantidad de composición y/o colocación eléctricamente conductora puede disponerse sobre un tejido base que tiene una o más propiedades o características deseadas. Por ejemplo, el tejido base puede tener propiedades como, por ejemplo, permeabilidad al aire, transferencia de vapor de humedad y/o capacidad de absorción, que son necesidades comunes de ropa corporal usada en aplicaciones tanto interiores como exteriores. En algunas realizaciones, el tejido base puede tener otros atributos deseables como, por ejemplo, resistencia a la abrasión, propiedades antiestáticas, actividad antimicrobiana, repelencia al agua, repelencia a la llama, hidrofobicidad, resistencia al viento, protección solar, protección SPF, resiliencia, resistencia a las manchas, resistencia a las arrugas y similares. En otras realizaciones, las separaciones entre la cantidad de composiciones eléctricamente conductoras pueden ayudar a permitir que el tejido base tenga un drapeado, aspecto y/o textura deseados. Los tejidos base adecuados pueden incluir nylon, poliéster, rayón, algodón, licra, lana, seda o una mezcla de los mismos, o cualquier otro material que tenga un aspecto, sensación, peso, espesor, tejido, textura u otra propiedad deseada.

En diversas realizaciones, se puede usar una sola capa de tela base que comprende la tela base, mientras que otras realizaciones pueden usar múltiples capas de tela, incluida una capa de la tela base, acoplada a una o más capas.

En diversas realizaciones, la colocación, el patrón de la cantidad de composición eléctricamente conductora pueden variar. En diversas realizaciones, el patrón de la cantidad de composición y/o colocación eléctricamente conductora puede ser simétrico, ordenado, aleatorio y/o asimétrico.

Los aspectos de esta descripción se refieren además a métodos de fabricación de un artículo de fabricación que tiene una composición de gel de adelgazamiento por cizallamiento como se ha descrito más arriba. En tales métodos, la composición de gel de adelgazamiento por cizallamiento se imprime sobre al menos una superficie del artículo de fabricación.

En ciertas realizaciones, una composición descrita se imprime o se transfiere de otro modo al sustrato. En algunas realizaciones, la impresión comprende serigrafía. En algunos ejemplos, la impresión se realiza mediante transferencia por contacto, por ejemplo, usando moldes de sello de impresión 3D fundidos en sellos de caucho de silicona y/o caucho de poliuretano. Un parámetro en los contactos de transferencia es la energía superficial del material que se va a transferir, la almohadilla de contacto y el sustrato. Un fluido se humedecerá generalmente sobre una superficie con mayor energía que su propia energía superficial y preferiblemente se humedecerá sobre un sustrato con una energía aún mayor. Los cauchos de silicona (PDMS) tienen energías superficiales inusualmente bajas y con frecuencia se usan como el agente de transferencia en la impresión por transferencia por contacto. En otras realizaciones, una composición descrita se transfiere a un sustrato usando una esponja saturada que se presiona a través de una máscara para transferir material. Se dispone de un número de espumas de poliuretano y PDMS que son para los métodos de esponja.

El objeto de la presente descripción se ilustra además mediante los siguientes ejemplos no limitantes.

Ejemplos

Ejemplo 1

Método de formación de material

Al trabajar inicialmente con una aleación de galio-indio-estaño (68,5, 21,5, 10) disponible comercialmente (Galinstano), se observó que las aleaciones a base de galio forman capas de óxido muy rápidamente en la atmósfera. Durante el proceso de inyección del metal líquido en canales microfluídicos de PDMS, se usó ácido clorhídrico (HCL) para reducir las capas de óxido en las muestras para reducir los residuos y permitir la construcción de dispositivos no oxidados "limpios". En el curso de este proceso se observó que la muestra presentaba un comportamiento físico extraño cuando se redujo por HCL. Por ejemplo, no formó Galinstano regular, sino que más bien un material viscoso. El material se recogió en pequeñas cantidades de la muestra de Galinstano obtenida comercialmente.

Se hizo un intento inicial de sintetizar un material similar a la espuma a partir de Galinstano mediante mezcla en perlas de vidrio de 30 micrómetros. En presencia de oxígeno, el Galinstano se humedeció fácilmente al vidrio a través de su capa de óxido. Inicialmente se esperaba que se "humedeciera" a las perlas de vidrio de esta manera y se formase una lodo de Galinstano y vidrio de esta manera, que podría ser de alta viscosidad y formarse fácilmente en formas arbitrarias.

Se había informado previamente que el único mecanismo por el que el galio-indio y las aleaciones relacionadas se humedecen a cualquier superficie no metálica es a través de la adhesión de su capa de óxido y la captura resultante del fluido debajo de esa capa. Fue la hipótesis que el galio-indio-estaño se humedecería de tal manera a las perlas, con una capa fina de metal fluido directamente en contacto con el vidrio, atrapada en su lugar por una capa de óxido. A través de la mezcla, las perlas de vidrio entrarían repetidamente en contacto con la atmósfera, formando capas sucesivas de óxido que atrapan capas sucesivas de galio-indio-estaño. Cuando estas estructuras se re-sumergieron, se esperaba que las fuerzas de cizallamiento de la mezcla provocaran que las capas de óxido se rompieran y formaran una estructura dispersa, permitiendo una suspensión coloidal de las perlas de vidrio y aumentando la viscosidad del fluido.

Este método funcionó bien con perlas de 30 micrómetros y una variedad de otros tamaños. Esto condujo al descubrimiento de que cualquier red fina de estructura de óxido de galio entrelazada absorbería aleación de galio-indio y proveería una estructura interna al fluido que aumentaría la viscosidad. Con una viscosidad más alta, el fluido sería más fácilmente extraíble y podría formarse de manera fiable en geometrías conductoras usando técnicas de impresión tradicionales como, por ejemplo, deposición de boquillas o impresión con plantilla. El fluido de alta viscosidad resultante se denomina de diversas maneras gel de galio-indio, gel de aleación de galio-indio, gel metálico o simplemente gel.

Ejemplo 2

Método de adición de formación de material

En primer lugar, se crearon microestructuras de óxido de galio sonicando galio-indio-estaño que se humedeció sobre un plano de vidrio. La sonicación provocó la formación de microestructuras sobre la superficie del óxido de galio. Las sesiones sucesivas de sonicación y mezcla mezclaron estas estructuras en la masa del fluido, dando como resultado finalmente un gel que consiste en galio-indio-estaño y aproximadamente el 84 % de óxido. Este gel era menos propenso a la separación que el hecho con perlas de vidrio y tiene una conductividad en masa naturalmente mucho mayor. Curiosamente, el ácido clorhídrico, con frecuencia usado para reducir el óxido en las aleaciones de galio, reduce solo el óxido superficial en el gel producido de esta manera, dejando intacta la estructura interna. Esto contrasta con el gel hecho con perlas de vidrio, que se reduce completamente por HCL, causando una separación completa de las perlas del gel y una disminución de la viscosidad.

Ejemplo 3

Método de adición de formación de material

Una tercera técnica exitosa implicaba usar una barra de mezcla parcialmente sumergida en un baño de galio-indio o galio-indio-estaño y que giraba a RPM muy altas para crear un vórtice. Un vórtice creado de tal manera provoca que se formen paredes inestables delgadas de galio-indio y su capa de óxido alrededor de la barra de mezcla, extendiéndose múltiples centímetros por encima del nivel del fluido. Debido a estas paredes, el vórtice tiene un área superficial alta y sublima una gran cantidad de óxido en el fluido. El fluido aumenta rápidamente en viscosidad, necesitando mezcla orbital. El fluido resultante no es homogéneo, el gel de galio-indio flota en la superficie, debido a la mezcla en burbujas de aire, mientras que la aleación de galio-indio de baja viscosidad forma un charco en el fondo. El gel puede drenarse colocándolo en una pendiente, después recogerse y ciclarse al vacío para extraer el aire. El gel resultante es comparable al producido mediante sonicación.

Ejemplo 4

Creación de composiciones transferibles por estampación

Tanto el galio como el indio son costosos. Su conductividad es adecuada, pero mucho menor que el cobre o la plata (3,46 x 10⁶ S/m en comparación con 58,5 x 10⁶ S/m para el cobre). Se pensó que era deseable crear una suspensión de aditivos en el gel tanto para disminuir el coste como para aumentar la conductividad. Se intentaron múltiples aditivos.

Tanto los geles de microesferas como los de escamas son resistentes al desplazamiento cuando se aplica presión durante la encapsulación mediante adhesivos o soldadura termoplástica.

Una innovación fue que tanto los geles cargados con escamas como los de cobre puro se vuelven transferibles por estampación. Un sello de presión de letras regulares puede recubrirse con el gel + material aditivo y luego presionarse contra un sustrato adecuado, y el patrón en el sello se transferirá con alta fidelidad. De esta manera se crearon características tan pequeñas como de 0,5 mm, con pasos tan pequeños como de 0,25 mm. Tales deposiciones eran extremadamente finas, aproximadamente de 25 micrómetros.

Ejemplo 5

Creación de composiciones transferibles por estampación

La impresión por macrocontacto ha sido probada, hasta ahora sin éxito para otros líquidos que contienen galio. Para la litografía por estampado, también se han probado sin éxito intentos de transferir una línea continua y un rectángulo relleno sobre un sustrato de elastómero usando tanto sellos planos como sellos texturizados. Aunque este método de transferencia es similar a los enfoques existentes en los otros grupos anteriores no tuvieron éxito al extender esta técnica a la aleación de Galn en fase líquida. Por ejemplo, el Galinstano no humedece el elastómero en algunas regiones y se fusiona en gotitas en otras. En el caso del sello texturizado, las gotitas depositadas por cada hoyuelo no se unen uniformemente. Esta humectación desigual puede ser el resultado de una humectación no uniforme durante el "entintado", cuando el sello está inicialmente recubierto con Galinstano, o de presiones de contacto no uniformes durante la transferencia.

Estos problemas se superaron con las composiciones descritas mezclando partículas de baja micra y nanoescala en el gel de aleación/óxido de galio. Aunque no se desean vinculaciones teóricas, se cree que las partículas añadidas se pegan a las estructuras de óxido y no flotan libremente en el galio metálico. El refuerzo del óxido asegura que se rompa en trozos más grandes y generalmente restringe el flujo en el sistema. Quizás más importante, cuando se produce una rotura, el flujo de metal probablemente recoge las partículas + óxido añadidos y lo arrastra, lo cual impide el flujo libre. También existe probablemente una interacción entre galio, indio o estaño y la plata o cobre en algunas de las partículas metálicas usadas que pueden formar intermetálicos inestables, que crean una estructura fina adicional en el fluido, impidiendo su flujo libre.

Se probaron varios esquemas de carga para cada aditivo. Todos se mezclaron mecánicamente a una velocidad de adición constante en un gel preparado previamente. Se intentó una carga tan alta como del 54 %, aunque cargas más altas de metal causaban el endurecimiento de la mezcla resultante a través de un procedimiento desconocido (probablemente formación de aleaciones o intermetálicos).

Se encontró que cargas de escamas de cobre revestidas de plata entre el 10-30 % en peso crearon un material compuesto con una consistencia similar a la arcilla que se extendió en láminas planas muy uniformes cuando se depositó con una espátula o cepillo. Las imágenes de microscopio electrónico de barrido (SEM) mostraron que las láminas de material depositado eran uniformes en altura hasta un grado notable, aunque todavía no medido con precisión (es preciso ver las Figuras 1A-1E). La Figura 1A muestra galio-indio-estaño normal no procesado (es preciso observar que es borroso porque tiene una viscosidad muy baja y, por lo tanto, está vibrando debido al impacto del haz de electrones). La Figura 1B muestra un gel estabilizado con escamas a escala micrométrica (imagen de 500 micrómetros de ancho), la Figura 1C muestra gel no estabilizado (90 micrómetros de ancho), la Figura 1D muestra gel

no estabilizado batido en una forma vertical, para mostrar sus propiedades semisólidas (75 micrómetros de ancho), la Figura 1E muestra gel no estabilizado (vista de 250 micrómetros).

Una vez encapsuladas, las láminas parecen fluidas y se estirarán y reformarán bajo las fuerzas de su canal de encapsulación. Las microesferas o escamas de cobre, cargadas con un peso del 10-30 %, crean un fluido más viscoso, volviéndose algo sólido y desmenuzable cerca del intervalo superior de carga.

Para ensayar la compresibilidad, se prensaron nuevas formulaciones entre capas de "cinta de rescate", un sustrato de PDMS autoadherible disponible comercialmente, y se comprobó la uniformidad del flujo debido a la compresión.

Las Figuras 2A y B muestran ensayos de compresión lado a lado sin éxito (A, B) y con éxito (C). Es preciso observar que los 'bebederos' eyectan el cuerpo principal de las compresiones insatisfactorias. Estas son causadas por un flujo no restringido de galio metálico que se mueve por separado del sistema compuesto. Por el contrario, la carga de aditivo de partículas en el ensayo satisfactorio es tal que el sistema debe fluir conjuntamente y extenderse uniformemente en la compresión. Esto es muy deseable para encapsular el gel conductor usando técnicas industriales establecidas como, por ejemplo, termosoldadura de películas de plástico alrededor de un patrón depositado. En el curso de la realización de estos ensayos de compresión, se ha observado que los patrones se han transferido entre los sustratos de muy alta fidelidad durante el pelado (es preciso ver la Figura 3).

Para probar adicionalmente las técnicas prometedoras de impresión por contacto, se usó un sello de técnica de patrón de "nudo celta" que tenía una variedad de anchos, pasos y patrones de traza. Las Figuras 4A-4D muestran los ensayos iniciales con ese sello que produjo resultados excelentes. Patrones con anchos de traza tan finos como de 0,5 mm y pasos tan finos como de 0,25 mm.

El proceso de transferencia dependía mucho de cuánto gel metálico se cargaba inicialmente sobre el sello, cuán uniformes son el sustrato y el sello y cuánta presión se aplica.

Con estas técnicas, se pueden fabricar dispositivos útiles con transferencia de sello. La Figura 5 muestra un sello encapsulado, con conductores unidos. Esta configuración actúa como un sensor de presión. Cuando se aplica presión, el patrón se desvía y comprime, cambiando su resistencia de manera medible. Con un proceso de impresión por transferencia de mayor fidelidad y patrones de traza personalizados, esto podría ser un sensor de presión muy económico y muy útil. El tiempo total de construcción fue aproximadamente de 1 minuto a mano, incluidos la unión del plomo y el encapsulado. Este proceso de fabricación es muy escalable y permite el rápido modelado de geometrías de traza arbitrarias en dos dimensiones.

Ejemplo 6

Detección de deformación con geles metálicos eutécticos

Las formulaciones descritas permiten la detección de deformación a gran escala a través del uso de materiales compuestos de gel metálico eutéctico que pueden imprimirse de una manera similar a una tinta o pintura sobre una variedad de sustratos para crear trazas conductoras. Debido a que el material descrito es un fluido amorfo a temperatura ambiente, se puede deformar y estirar sin fatiga. Una traza delgada depositada sobre un revestimiento de tela de plástico puede flexionarse y estirarse sin afectar la sensación de la tela. La encapsulación de dicha traza con una segunda capa de revestimiento de tela creará una vía conductora sellada. Estas aplicaciones ya han sido demostradas para su uso en sensores de deformación y para alambres extensibles y de bajo perfil y no sensores para ropa deportiva inteligente.

La estructura metálica amorfa de los materiales descritos provee que, cuando se estiran o se deforman de otro modo, hay un cambio de resistencia lineal que puede usarse para la detección (es preciso ver la Figura 6). Cuando se modela sobre una cubierta de paracaídas e integra con un puente de Wheatstone y un convertidor analógico a digital, pueden usarse cambios de resistencia para medir fuerzas dinámicas y deformaciones durante el despliegue del paracaídas.

Cualquier segmento de alambre de gel metálico servirá a un conductor variable cuya variación será una función de la deformación paralela al conductor. Esto permite construir un gran número de patrones de detección de deformación, con diversas resoluciones. En el caso más sencillo, pueden estamparse dos trazas sobre cada uno de los gajos en un paracaídas, una desplazándose en la dirección de la trama y otra desplazándose en la dirección del tejido (es preciso ver la Figura 7). Al medir los cambios de conducción en ambos, se puede dibujar un perfil de deformación para el gajo de paracaídas individual. Con el diseño de patrones correcto, ciertas porciones de trazas pueden tener un cambio lineal desproporcionadamente alto de la resistencia en respuesta a la deformación. Un patrón en zigzag mostrará, por ejemplo, un cambio de resistencia desproporcionadamente alto si se deforma en un eje perpendicular a la trayectoria de la traza. Mediante el uso de esta característica, pueden construirse múltiples trazas a lo largo de un gajo con un diseño de patrón apropiado sobre un área de interés para obtener información de deformación. Esto aumentará la resolución de la detección de deformación sobre el gajo y permitirá extrapolar un mapa de deformación completo.

Se puede conseguir una resolución muy alta construyendo una malla de trazas de gel metálico interconectadas. Cada segmento de la malla será una resistencia variable que depende de la deformación en la dirección de trama o de tejido dependiendo de su orientación. Todos los emparejamientos únicos de elementos de salida crean un vector de 6

elementos. Al ponderar adecuadamente los rangos de resistencia de cada resistencia variable se puede asegurar que el vector de salida codifique de forma única cada combinación posible de resistencias con una fidelidad arbitraria (es preciso ver, por ejemplo, la Figura 8).

5 La resolución de valores de resistencia en una malla conectada de resistencias variables basadas en un vector de e/s finito es un problema bien entendido que se encuentra con frecuencia en el campo del diseño y validación de VLSI. Al usar técnicas ya desarrolladas, puede desarrollarse un mapeo de valores de resistencia a valores de resistencia vectorial de e/s que permitirá una lectura rápida y eficaz de la deformación en cada segmento de la superficie de la cubierta del paracaídas que está atravesado por un segmento de gel conductor. Con este método se pudieron conseguir resoluciones mejores que 1 cm cuadrado.

10 Recuperación de datos

Debido a que el gel metálico actúa exactamente como un metal, las señales eléctricas pueden transmitirse a través de una conexión cableada hecha de una traza de gel metálico que se extiende por una línea de suspensión, o mediante radiodifusión. Cada gajo puede haberse cosido en un pequeño sistema integrado que lee los valores de resistencia y los alimenta a un formato de radiodifusión estándar. Estas señales pueden ser alimentadas a antenas de gel metálico 15 impresas en la superficie de la cubierta (es preciso ver la Figura 9). Las antenas pueden estirarse, cambiando su frecuencia de funcionamiento, sin embargo, tales cambios son lineales y pueden coincidir. Un patrón de antenas que difunden ID únicos también puede proveer mapas de deformación de baja resolución de la superficie de la cubierta. Aunque es posible, la transmisión de datos y la detección de deformación a través de señales de RF no se proponen en la propuesta de Fase I.

20 En cualquiera de los métodos anteriores, la deformación se medirá directamente en la superficie de la cubierta, sin la necesidad de fuentes externas de iluminación o detección remota. Esto permitirá no solo la medición de alta resolución del campo de deformación sin la sobrecarga computacional del procesamiento de imágenes, sino también sistemas desplegables de campo que no serían sensibles a niveles de luz variables, clima adverso o desalineación de carga útil/cubierta.

25 Validación de técnicas de modelado y encapsulación de gel metálico actual para tela de cubierta de paracaídas

El objetivo es adherirse al material de nailon de una cubierta de paracaídas. No se anticipa que una traza de TPU delgada o adhesivo de silicona afectará negativamente al material subyacente. Sin embargo, se llevan a cabo pruebas de resistencia a la tracción y fatiga para garantizar que no hay efecto negativo. La evaluación se lleva a cabo para la aplicación directa de adhesivos a base de silicona, como, por ejemplo, Dow Corning 7091, a un tejido de paracaídas 30 y el posterior modelado de gel metálico sobre el sellador curado y la adhesión de trazas de gel metálico encapsuladas en TPU a la tela de la cubierta.

Caracterización de trazas de gel metálico en tela de cubierta de paracaídas

Se lleva a cabo un ensayo de deformación sobre trazas de gel metálico encapsuladas para tejido de paracaídas para medir la relación de retroalimentación de resistencia a la deformación en las direcciones de trama y tejido. Se medirán 35 una variedad de patrones de traza estándar en orientaciones de trama y tejido a través de los intervalos de deformación deseados del 2-25 %. Se utilizarán valores caracterizados de resistencia variable de gel metálico eutéctico.

Uso de la salida de caracterización para modelar la detección de deformación de resistencia variable bidimensional

Mediante el uso herramientas de simulación comerciales como, por ejemplo, MatLab y LabView, se modelarán múltiples topologías de calibre de deformación bidimensionales. De particular interés son las redes de malla de 40 resistencias variables. Al simular estas redes con valores reales derivados como se describe más adelante se generará un mapeo de la red de superficie de alta dimensión de resistencias variables lineales acopladas a un vector de salida que puede tomar un rango continuo de valores. Tal mapeo se almacenará en una tabla de consulta que puede usarse para interpretar salidas de red de resistencias variables en experimentación a mayor escala.

Caracterización de paracaídas a pequeña escala con topología de resistencia variable en túnel de viento

45 Un paracaídas a pequeña escala, de un solo gajo y por debajo de 3 pies, estará modelado con dos sensores de deformación de gel metálico eutéctico, uno para la dirección de la trama y otro para el tejido. El sistema se desplegará en un túnel de viento y los resultados se caracterizarán.

Iteración de la prueba de túnel de viento con resolución de sensor creciente

50 Se construirán, ensayarán y validarán con ensayos anteriores redes de detección de resolución cada vez mayor en un paracaídas sencillo. Los datos de las cubiertas de sensores de deformación se usarán para validar los datos de salida de una prueba de cuatro sensores, que a su vez se usarán para validar los datos de patrones incrementalmente más complejos y de alta resolución.

Validación de las técnicas actuales de modelado en patrones y encapsulación de gel metálico para tela de cubierta de paracaídas

Se prepararán trazas de resistencia variable dentro de las películas de TPU. Se adherirán estas películas a muestras de material de cubierta de paracaídas que miden aproximadamente un pie por tres pulgadas. Además, el adhesivo de silicona, como, por ejemplo, el adhesivo/sellante Dow Corning 7091, se aplicará directamente a la cubierta del paracaídas, se estampará gel metálico sobre el adhesivo y se depositará una segunda capa de encapsulación. La salida de esta tarea será la mejor práctica para depositar gel metálico sobre material de cubierta de paracaídas.

Caracterización de trazas de gel metálico en tela de cubierta de paracaídas

Las muestras preparadas anteriormente se fatigarán durante 350 ciclos y se deformarán hasta su rotura en un Instron 3365. Los resultados se compararán con muestras de control de tela de cubierta sin trazas de gel metálico para asegurar que la tela de cubierta no se vea afectada de manera adversa. Al concluir estas pruebas, se realizará una caracterización más implicada de las relaciones de deformación/resistencia para diferentes geometrías de traza. Caracterizaremos el factor de calibración (GF, por sus siglas en inglés) para $L_s = 0,5$ metros de muestra de tela de cubierta con traza de gel metálico integrada tanto en la dirección de trama como de tejido midiendo el cambio normalizado en la resistencia $\Delta R_s/R_s$ frente a la deformación, $\varepsilon = \Delta L_s/L_s$ donde:

$$GF = \frac{\frac{\Delta R_s}{R_{s0}}}{\varepsilon}$$

Para obtener los datos para calcular GF, muestras de material de cubierta con trazas de detección de deformación integradas se montarán en una máquina de prueba Instron 3365 equipada con una celda de carga de 2 kN y LVDT para medir el desplazamiento ΔL_s . Los ensayos de deformación cuasi-estática tendrán lugar a deformaciones de 0-20 % en etapas de 0,25 %. Se tomarán pruebas de deformación dinámica en el intervalo de 0-20 % durante 350 ciclos en cada muestra. Los datos de desplazamiento se recogerán en Labview para todas las pruebas.

El cambio en la resistencia, ΔR_s , se mide con ayuda de un puente de Wheatstone, que genera una tensión de salida analógica, V_o , que es función de la variación de la resistencia a su entrada. En nuestra solicitud, la resistencia a la "deformación" de entrada viene dada por $R_s = V_s/I_s$, donde dos cables metálicos de gel de longitud L_s tienen las resistencias R_{s1} y R_{s2} . Estos dos cables representan los dos conductores en topologías de detección de deformación como, por ejemplo, se muestra en las Figuras 10A-10D. La tensión de salida analógica, V_o , se convierte en datos digitales utilizando un ADC (convertidor analógico a digital, ADC, por sus siglas en inglés) de National Instruments para análisis en Labview, donde se convertirá en R_s datos. El ADC tiene una resolución espacial objetivo suficiente para detectar un cambio de tensión del 0,25 % con una velocidad de muestreo de 1000 Hz. La relación del cambio en la resistencia ΔR_s a la resistencia a la deformación nominal nula R_{s0} dividida por la deformación, ε , da GF. En la práctica, la fijación de este sistema a un microcontrolador producirá una vista dinámica en tiempo real de la deformación durante el despliegue del paracaídas. Durante esta tarea, se ensayarán múltiples patrones conductores tanto en orientaciones de trama como de tejido. Estos patrones incluirán anchos de traza de 1-4 mm en incrementos de 5 mm en diversas geometrías.

Construcción del modelo de factor de calibración para simulación

Mediante el uso de los GF medidos, se creará un modelo de simulación en MatLab o LabView. Este modelo consistirá en un catálogo de resistencias variables con porcentajes de deformación como entrada y cambios de resistencia apropiados al patrón de gel metálico como salida. Este catálogo de trazas de gel metálico conocidas y caracterizadas se usará a continuación.

Detección de deformación de resistencia variable múltiple de 2 dimensiones modelo

Mediante el uso de MatLab o Labview, se construirán simulaciones de circuito para diversas topologías de resistencias variables. Al usar el catálogo de modelos de resistencia variable generados, pueden ejecutarse simulaciones precisas de deformación de tela de cubierta cambiando valores en una red de resistencia variable simulada. Mediante el uso de estas simulaciones, se pueden diseñar y ensayar nuevas topologías con el fin de lograr diseños de alta resolución. Serán de particular interés los patrones de red de resistencias variables, ya que estos son fáciles de construir con una alta densidad de sensores de deformación. Sin embargo, no se descartarán otras redes de resistencias variables conectadas poco o nada para la detección de alta resolución. La salida de esta tarea será un conjunto de patrones modelados que pueden colocarse en sistemas de cubierta prototipo.

Caracterización de paracaídas a pequeña escala con topología de resistencia variable en túnel de viento

Se adquirirá un pequeño paracaídas y se unirán dos trazas de gel metálico en un gajo. Una será en la dirección de la trama, una en la dirección del tejido. Estas trazas se cablearán directamente a un puente de Wheatstone al circuito ADC unido a un ordenador que ejecuta LabView para el registro en tiempo real de los resultados de la deformación. La configuración se desplegará entonces en un túnel. Se tomarán datos en tiempo real a medida que el paracaídas se despliega en el túnel de viento.

Iteración de la prueba de túnel de viento con resolución de sensor creciente

Mediante el uso de los datos recogidos anteriormente como validación, se ensayarán dos patrones de resolución más alta adicionales. Estos patrones se basarán en la simulación y servirán para validar el modelo. Se anticipa que un patrón será una rejilla de resistencias variables con un vector de salida como se describe en la Figura 8. El otro patrón será una red no conectada de geometrías de traza que abarcan la superficie del paracaídas que multiplican la salida y proveen una resolución más alta al tener una traza de trama y tejido independientes en múltiples porciones de la superficie de cubierta con líneas de e/s dedicadas de manera que descifrar la retroalimentación de deformación será trivial.

Ejemplo 7

Aplicación a un cordón de suspensión de paracaídas de fibra de nylon

La aplicación directa de gel de metal eutéctico a un cordón de suspensión de paracaídas de fibra de nylon puede hacerse a temperatura ambiente sin que sea necesario ningún procesamiento químico intermediario. Un agente aglutinante flexible y estirable como, por ejemplo, 2 partes de resina de poliuretano o elastómero de silicona, puede usarse para encapsular permanentemente el gel contra el cordón de nylon y evitar cualquier desplazamiento durante la manipulación y el empaquetado normales de los sistemas de suspensión y línea de control del paracaídas. Se espera que este proceso deje sin cambios la resistencia a la tracción y la flexibilidad finales de la cuerda del paracaídas.

Es importante destacar que la estructura metálica amorfa de las composiciones descritas asegura que cuando se estira o se deforma de otro modo, hay un cambio de resistencia lineal y repetible que se puede usar para la detección. Cuando se modela en un cordón de paracaídas estándar como, por ejemplo, PIA-C-5040, y se integra con un puente de Wheatstone, con un convertidor analógico a digital, estos cambios de resistencia lineales y repetibles pueden usarse para medir fuerzas dinámicas y deformaciones durante el despliegue del paracaídas.

Se han realizado pruebas para demostrar la viabilidad de revestir un cordón interno de una línea de paracaídas MIL-C-5040H. El gel metálico logró una buena humectación del nylon y creó una traza de baja resistencia mientras se añadía un peso despreciable.

La resistencia de los conductores de alambre líquido puede ser diseñada ajustando el espesor y el ancho para que sean del orden de 1 a 100 ohmios por metro, lo cual es ideal para aplicaciones que requieren que la resistencia sea medida frente al estiramiento, ya que el valor de la resistencia es lo suficientemente alto como para proveer una buena relación de señal a ruido en un puente de Wheatstone. Las resistencias más altas como, por ejemplo, para los revestimientos conductores basados en CNT, dan como resultado corrientes muy pequeñas que están fácilmente corrompidas por interferencia electromagnética (EMI). De manera similar, el cobre tiene un valor de resistencia tan bajo que la caída de tensión en unos pocos metros de línea es demasiado pequeña para ser práctica, y también sufre problemas de EMI. Los valores de resistencia típicos para una línea con dimensiones de una línea de control MIL-C-5040H que mide 6 pies de longitud recubierta con gel metálico están entre 2 y 20 ohmios dependiendo del espesor de deposición.

Cambios representativos en la conductividad pueden verse en la Figura 6 que muestra la respuesta a la deformación para un alambre de gel metálico encapsulado en un caucho de silicona. El ensayo se llevó a cabo usando una plantilla ajustable capaz de estirar la muestra en escalones de 1,5 mm y un medidor de ESR para medir con precisión la resistencia por debajo de 1 ohmio de la muestra durante el ensayo de deformación cuasi-estática.

Aunque no son tan conductores como el cobre, los conductores basados en gel metálico siguen siendo viables para enviar datos a alta velocidad. Las pruebas de trazas planas destinadas a ropa han mostrado que el material es adecuado para la transmisión de señales de hasta al menos 6 GHz, permitiendo que las interconexiones se incorporen directamente en sistemas de transmisión de radiofrecuencia o frecuencia de microondas disponibles en el mercado. La Figura 11 muestra la pérdida de inserción medida para una línea de microcinta de 50 ohmios hecha de cobre frente a gel metálico. Otras soluciones que utilizan conductores orgánicos pueden tener varios kilo ohmios de resistencia, lo cual las hace poco prácticas para transportar señales de RF más de unas pocas pulgadas.

Prueba del factor de calibre de gel metálico para la detección de deformación

El factor de calibre (GF) de un cordón de nylon de 0,5 metros con traza de gel metálico integrada se caracterizará por la detección de deformación axial. Esto se logra midiendo el cambio normalizado en la resistencia ($\Delta R/R$) frente a la deformación ($\Delta L/L$).

Capacidad de transporte de señal de RF

El objetivo de este objetivo es probar diferentes tipos de líneas de transmisión hechas de gel metálico para caracterizar su capacidad de transporte de señal de RF. Esto incluirá controlar la impedancia característica de la línea de transmisión. Las líneas de transmisión estarán diseñadas para ser compatibles con el factor de forma del cordón de línea de paracaídas estándar.

Protección de interferencias electromagnéticas (EMI)

Para evitar que las EMI sean irradiadas por las líneas de gel metálico (emisión irradiada), o recibidas por ellas

(susceptibilidad irradiada), es probable que se necesite usar algún tipo de blindaje conductor. Esta protección rodeará las líneas de gel metálico bien completamente o quizás solo parcialmente. El objetivo es probar la viabilidad de usar poliuretano o silicona cargado con negro de humo, o gel metálico como una capa de protección colocada sobre un aislante que recubre un conductor interno, o conductores, hechos de gel metálico.

5 Durabilidad de efecto del gel de metal eutéctico y encapsulación en la línea de suspensión

Las cuerdas de paracaídas deberían tener su flexibilidad y durabilidad sustancialmente inalteradas por la adición de un gel metálico eutéctico. La resistencia a la tracción final de las líneas revestidas se medirá y comparará con versiones no revestidas. Asimismo, el revestimiento de gel metálico conductor debe poder soportar los mismos requisitos de flexibilidad y durabilidad a los que se mantienen las líneas de suspensión. Por esta razón, la retroalimentación dinámica de la deformación se ensayará colocando una deformación repetida en la línea a lo largo de 350 ciclos. El objetivo es no ver falla alguna por parte del conductor o de la cuerda de suspensión del paracaídas.

Aplicación de geles metálicos a líneas de paracaídas PIA-C-5040

En esta tarea, las técnicas de deposición conocidas usadas para superficies planas como, por ejemplo, las encontradas en textiles de ropa, se aplicarán y modificarán según sea necesario a las superficies cilíndricas de cordones internos de nylon de líneas de suspensión de paracaídas estándar. La encapsulación posterior de los cordones revestidos se realizará utilizando tanto silicona como poliuretano de dos partes. Además, se utilizarán métodos conocidos para encapsular gel metálico en películas de TPU para crear sensores de deformación grandes, extremadamente flexibles, estirables y de bajo perfil que pueden adherirse al exterior de las líneas de control de nylon o entre cordones de núcleo y manguito en líneas de control y suspensión de paracaídas. Este enfoque tendrá la bonificación añadida de ser aplicable también al material de la cubierta del paracaídas, ya que las mismas interconexiones encapsuladas en TPU de bajo perfil pueden adherirse a las líneas de control y la cubierta. Algunos métodos posibles se muestran en las Figuras 12A-12D. Después de evaluar las técnicas se anticipa que se realizará un total de cuatro tipos de cordones de paracaídas de detección de deformación: uno con un recubrimiento no encapsulado en los ocho cordones interiores con la funda proporcionando encapsulación (Figura 12B), uno con dos cordones interiores de nylon recubiertos con gel metálico encapsulado con poliuretano proporcionando una línea de señal de salida y retorno (Figura 12C), uno con la misma disposición encapsulada en caucho de silicona, y uno con una cinta de detección de TPU separada que corre a lo largo del cordón de paracaídas (Figura 12D). Se pueden construir múltiples líneas de cada tipo para facilitar la prueba.

Ensayo de resistencia a la tracción y de intervalo de deformación

Se montarán paracaídas PIA-C-5040 con trazas detectoras de deformación integradas en una máquina de ensayo Instron 3364 equipada con una celda de carga de 5 kN y se deformará hasta su punto de fallo. Se compararán las pruebas con las cuerdas del paracaídas de reserva sin trazas de detección de deformación integradas. El intervalo lineal de la retroalimentación de deformación de las trazas conductoras se evaluará sobre el alargamiento total, del 0% a la falla (anticipado al 30 %). Se generarán datos sobre el impacto de técnicas sobre la resistencia a la tracción final de las cuerdas del paracaídas.

Factor de calibre de gel metálico para la detección de deformación

El objetivo de esta tarea es caracterizar el factor de calibración, GF, para un cordón de nylon $L_s = 0,5$ metros con traza de gel metálico integrada para la detección de deformación midiendo el cambio normalizado en la resistencia $\Delta R_s/R_s$ frente a la deformación, $\epsilon = \Delta L_s/L_s$, donde:

$$GF = \frac{\frac{\Delta R_s}{R_s}}{\epsilon}$$

Para obtener los datos para calcular los paracaídas GF con trazas de detección de deformación integradas se montarán en una máquina de prueba Instron 3365 equipada con una celda de carga de 2kN y LVDT para medir el desplazamiento ΔL_s . Los ensayos de deformación cuasi-estática tendrán lugar a deformaciones de 0-20 % en etapas de 0,25 %. Se tomarán pruebas de deformación dinámica en el intervalo de 0-20 % durante 350 ciclos en cada muestra. Los datos de desplazamiento se recogerán en Labview para todas las pruebas. El cambio en la resistencia, ΔR_s , se mide con ayuda de un puente de Wheatstone, que genera una tensión de salida analógica, V_o , que es una función de la variación de la resistencia a su entrada. En nuestra solicitud, la resistencia a la "deformación" de entrada viene dada por $R_s = V_s/I_s$ como se muestra en la Figura 13, donde dos alambres de gel metálico de longitud L_s tienen las resistencias R_{s1} y R_{s2} . Estos dos cables representan los dos conductores en topologías de detección de deformación como, por ejemplo, las mostradas en la Figura 12C y D. La tensión de salida analógica, V_o , se convierte en datos digitales utilizando un ADC (convertidor analógico a digital) de National Instruments para análisis en Labview, donde se convertirá en R_s datos. El ADC tiene una resolución espacial objetivo suficiente para detectar un cambio de tensión del 0,25 % con una velocidad de muestreo de 1000 Hz. La relación del cambio en la resistencia ΔR_s a la resistencia a la deformación cero nominal R dividida por la deformación, ϵ , da GF. En la práctica, la fijación de este sistema a un microcontrolador producirá una vista dinámica en tiempo real de la deformación durante el despliegue del paracaídas.

Capacidad de transporte de señal de RF

Esta tarea demostrará la transmisión de señales de RF a lo largo de las líneas de detección de deformación de gel metálico. En la Figura 11 los datos preliminares muestran que la pérdida de inserción de señales de RF en una línea de microcinta hecha de gel metálico no es significativamente peor que el cobre a través de al menos 6 GHz. Se expandirá este aprendizaje diseñando estructuras de línea de transmisión que sean compatibles con el factor de forma de línea de paracaídas estándar. Para permitir que las señales de RF se transmitan a lo largo de los cables sensores de deformación de gel metálico, se construirá un sistema como se muestra en la Figura 14. Esto es similar al diagrama de bloques de la Figura 3, excepto que se añade un diplexor para permitir que la corriente cc fluya a través de un inductor L_d para permitir R_{s1} y R_{s2} a medir, mientras que el condensador C_d actúa como un bloque de CC y permite que las señales de RF entren en el bucle desde una fuente de datos de RF como se muestra. El inductor evita que la señal de RF se cortocircuite, y en el extremo alejado del bucle la señal de RF sale del bucle a través de los condensadores C_1 y C_2 . Para la transmisión de señales de RF a lo largo de un sistema de interconexión se desea una impedancia característica controlada. Para controlar la impedancia se propone evaluar esquemas de interconexión como, por ejemplo, los mostrados en las Figuras 15A-C. El segundo diseño (B) usa un par de conductores (3) espaciados y próximos para crear una interconexión de "doble conductor" que tiene una impedancia del orden de 100 a 300 ohmios. La impedancia exacta es una función de las dimensiones del gel metálico, el espaciado de las líneas y la constante dieléctrica del material de encapsulación. El tercer diseño (C) es similar a (B), excepto que se añade el blindaje (4) exterior para permitir valores de impedancia más bajos y reducir la radiación y la EMI. Las estructuras de prueba se simularán y medirán para caracterizar su pérdida de inserción e impedancia característica frente a la frecuencia. Los resultados de la simulación y el diseño de la línea de transmisión acabada serán la salida de esta tarea.

Blindaje contra EMI

Se fabricará una línea o líneas de transmisión de prueba de concepto, en las que una línea de señal estará revestida en una envoltura de caucho impregnado con material conductor con el fin de proveer blindaje contra EMI como, por ejemplo, se muestra en las Figuras 15A y C. Se ensayará la viabilidad de usar poliuretano o silicona cargados con negro de humo, así como una capa de blindaje de gel metálico dispuesta sobre un recubrimiento de encapsulación aislante de una capa interna de gel de detección/transmisión. Las simulaciones se llevarán a cabo usando un simulador electromagnético 3D como, por ejemplo, ANSYS HFSS, para modelar el comportamiento. Los datos de las simulaciones y de las líneas prototipo serán la salida de esta tarea.

Diseño de sistema integrado

Un sistema integrado prototipo se diseñará y construirá para leer valores de resistencia variables y convertirlos en porcentajes de deformación que pueden enviarse a través de SPI o I2C para su procesamiento en otro lugar. Un puente de Wheatstone diseñado para producir una tensión variable que varía de 250 mV a 2500 mV se integrará en una placa con un ADC de 12 bits, un microcontrolador de baja potencia y una fuente de alimentación. El diseño y la construcción de una placa prototipo no implica ninguna ciencia desconocida o ingeniería novedosa y debe llevar aproximadamente dos meses, dependiendo de los plazos de entrega de un contratista de ensamblaje. Se espera que la programación del sistema integrado lleve otro mes. Los valores de tensión sin procesar del puente de Wheatstone leídos a través del ADC tendrán que convertirse en porcentajes de deformación basándose en experimentos realizados en la Tarea 3 que habrán proporcionado el GF apropiado. Un reto menos determinado será el diseño del envase para conectar robustamente conductores de gel metálico con contactos en la placa. La línea conductora que recorre la longitud del cordón de paracaídas necesitará estar en contacto con un metal sólido de tal manera que la traza de gel metálico permanece herméticamente sellada para evitar el desplazamiento o la contaminación del gel metálico. Se observa que el método de empaquetado que es más probable que tenga éxito será empalmar alambres de latón en las líneas de transmisión de resistencia variable en su terminal, sellar la unión con un agente de encapsulado y luego soldar los alambres en terminales en la PCB. Mediante el uso de alambres de suficiente longitud para tener algo de holgura, y cosiéndolos en un tejido antidesgarramiento en el extremo de la línea de suspensión del paracaídas creemos que puede limitarse la deformación desde la unión para permitir que opere a través de múltiples despliegues. El sistema terminado puede validarse montando la cuerda de paracaídas en Instron 3364 e imponiendo deformaciones precisas y conocidas sobre la cuerda mientras se leen datos del sistema integrado. El resultado de esta tarea será un prototipo acabado de una línea de suspensión de paracaídas con detección de deformación habilitada para gel metálico unida a un sistema integrado que puede generar datos en forma de porcentaje de deformación sobre líneas de datos SPI o I2C.

Prototipado y prueba de blindaje contra EMI

Las líneas prototipo que consisten en una capa de blindaje de gel metálico o elastómero impregnado con negro de humo y de gel de detección/transmisión para crear un cable coaxial o línea bifilar blindada, como se muestra en las Figuras 15A y C, respectivamente, se probarán físicamente. Ambos sistemas se probarán como líneas de transmisión y sus emisiones irradiadas se probarán usando la cámara anecoica.

REIVINDICACIONES

1. Una composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento, que comprende:
una aleación eutéctica de galio; y
una cantidad de óxido de galio distribuida como microestructuras dentro de la masa de la aleación de galio, en donde la mezcla en masa de la aleación eutéctica de galio y el óxido de galio tiene un porcentaje en peso (% en peso) de entre 59,9 % y 99,9 % de aleación eutéctica de galio.
2. La composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento de la reivindicación 1, en donde la composición de gel se estabiliza por partículas a escala submicrométrica, y muestra un comportamiento no newtoniano.
3. La composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento de la reivindicación 2, en donde las partículas a escala submicrométrica están recubiertas en la aleación eutéctica de galio envuelta en óxido de galio para formar las microestructuras de óxido de galio.
4. La composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde las microestructuras de óxido de galio se distribuyen dentro de la aleación de galio por sonicación.
5. La composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento de una de las reivindicaciones 1-4, en donde las partículas a escala submicrométrica comprenden al menos uno de cobre oxidado, cobre recubierto de plata, cobre no oxidado, tungsteno, gránulos de estaño supersaturado, vidrio, grafito, cobre recubierto de plata o una combinación de los mismos.
6. La composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento de una de las reivindicaciones 1-5, en donde las partículas a escala submicrométrica tienen la forma de al menos uno de esferoides, varillas, tubos, escamas, placas, cubos, prismáticos, pirámide, jaulas y dendrímeros.
7. La composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento de una de las reivindicaciones 5 o 6, en donde las partículas a escala submicrométrica comprenden al menos una de esferas de cobre recubiertas de plata, escamas de cobre recubiertas de plata, escamas de cobre o esferas de cobre.
8. La composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento de una de las reivindicaciones 1-7, en donde las partículas a escala submicrométrica están en el intervalo de tamaño de 0,5 micrómetros a 60 micrómetros.
9. Un artículo de fabricación, que comprende la composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento de una de las reivindicaciones 1-8.
10. Un método para fabricar un artículo de fabricación que tiene una composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento, que comprende:
imprimir la composición de gel conductor de adelgazamiento por cizallamiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-8 sobre al menos una superficie del artículo de fabricación.

FIG 1A

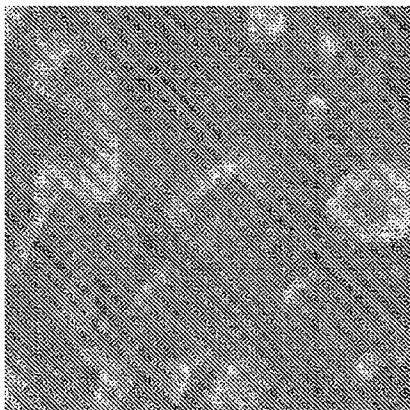


FIG 1B

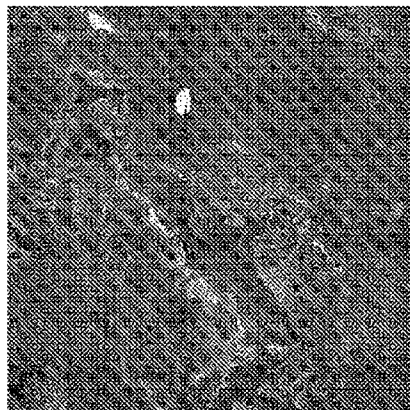


FIG 1C

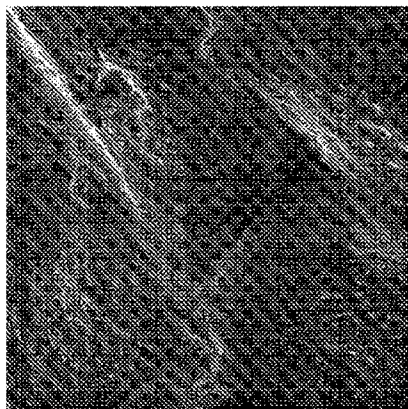


FIG 1D

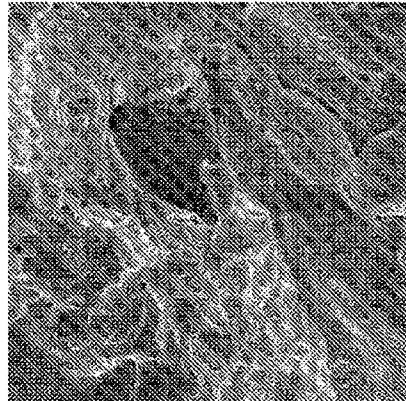


FIG 1E

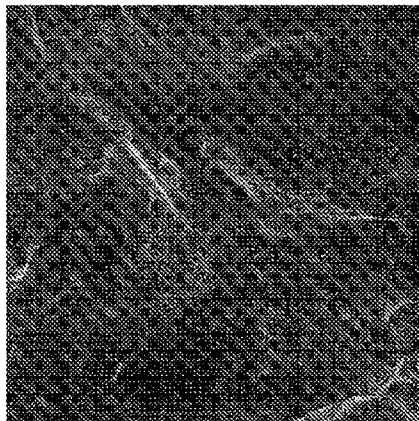


FIG. 2A

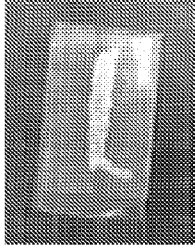


FIG. 2B

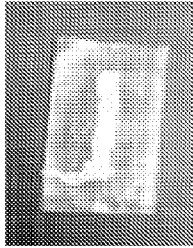


FIG. 2C

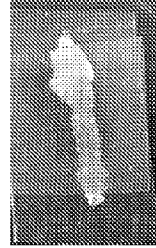


FIG. 3

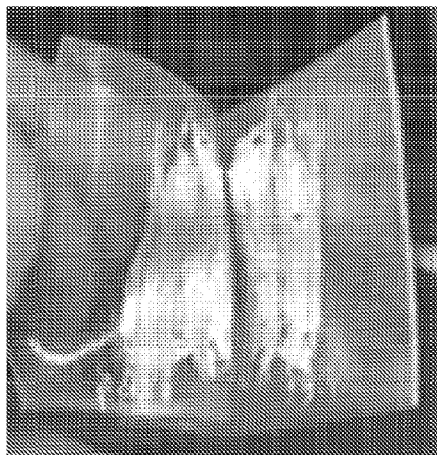


FIG. 4A

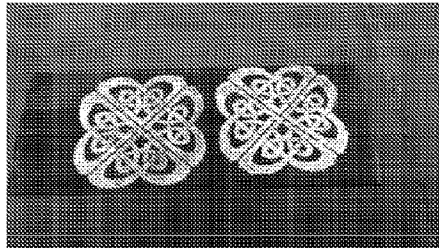


FIG. 4B

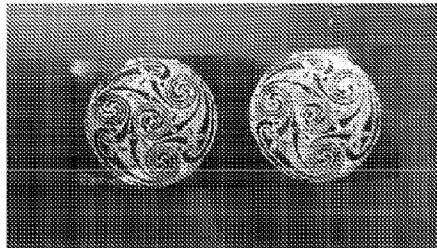


FIG. 4C

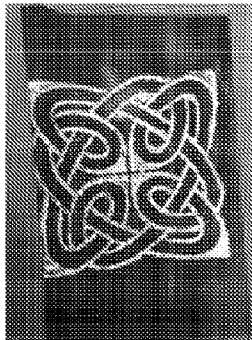


FIG. 4D

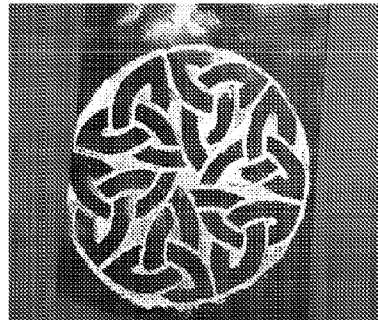


FIG. 5

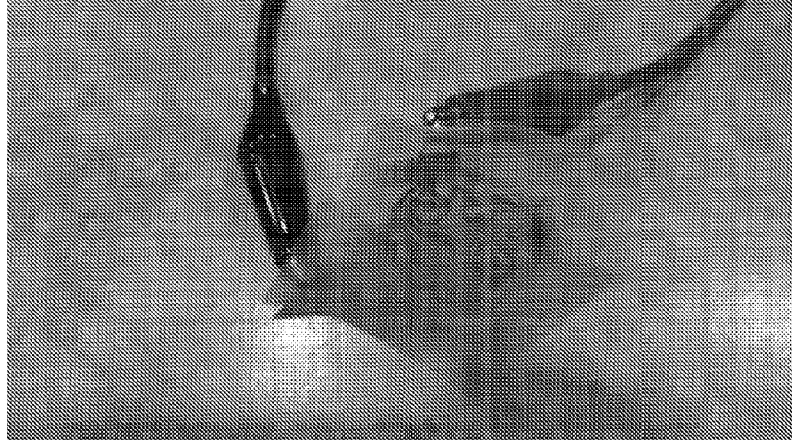


FIG. 6

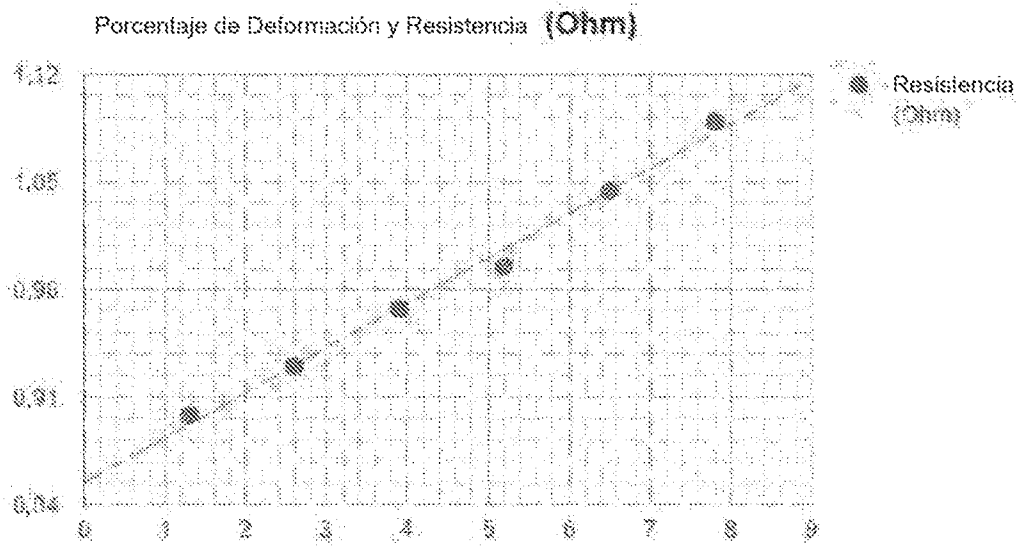


FIG. 7

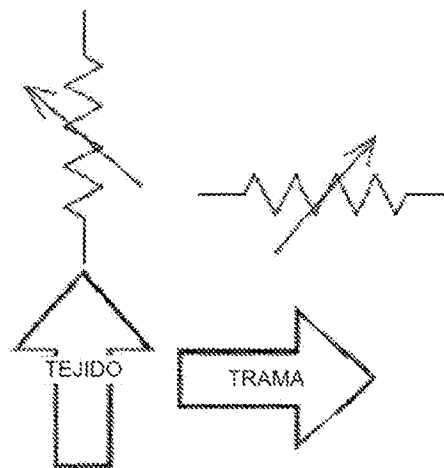


FIG. 8

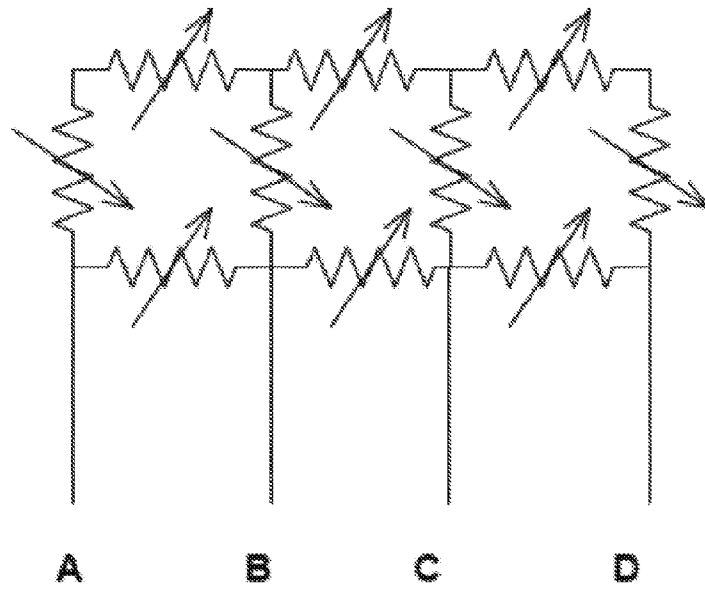


FIG. 9

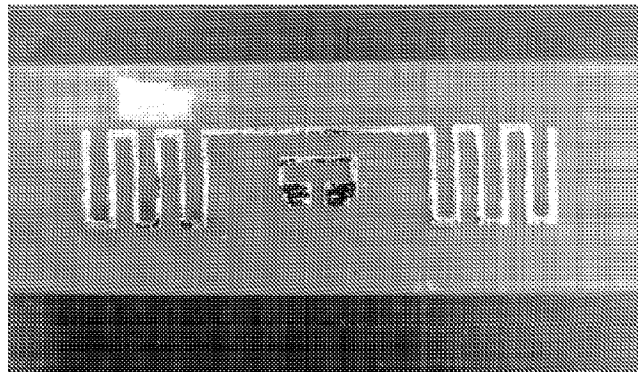


FIG. 10

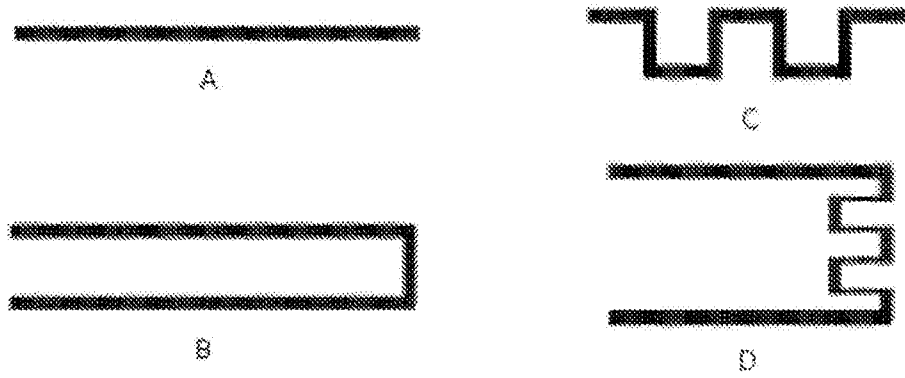


FIG. 11

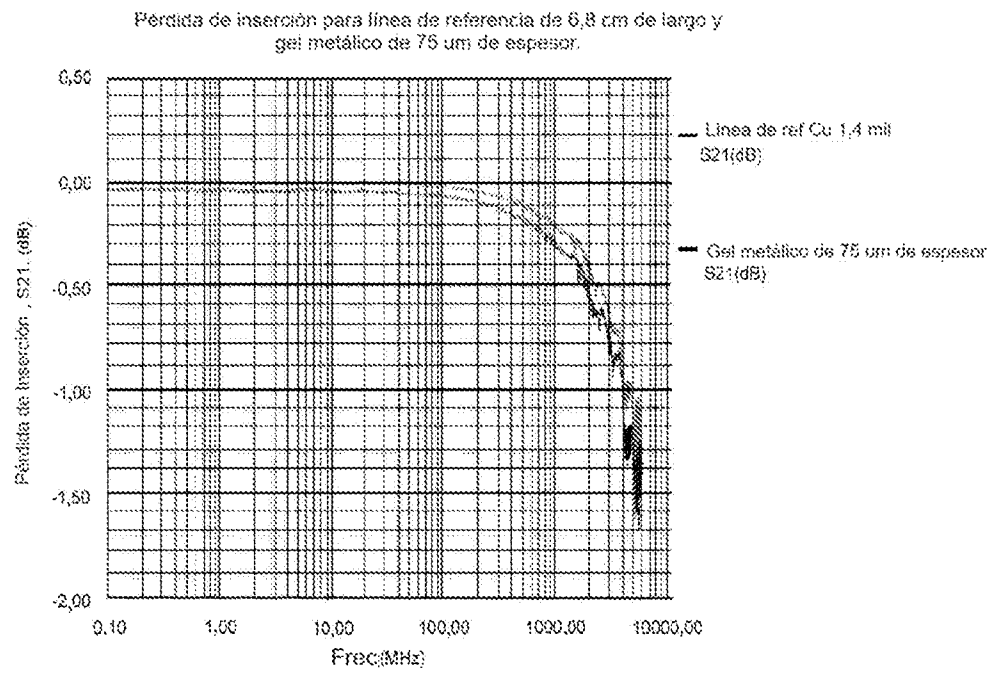


FIG. 12

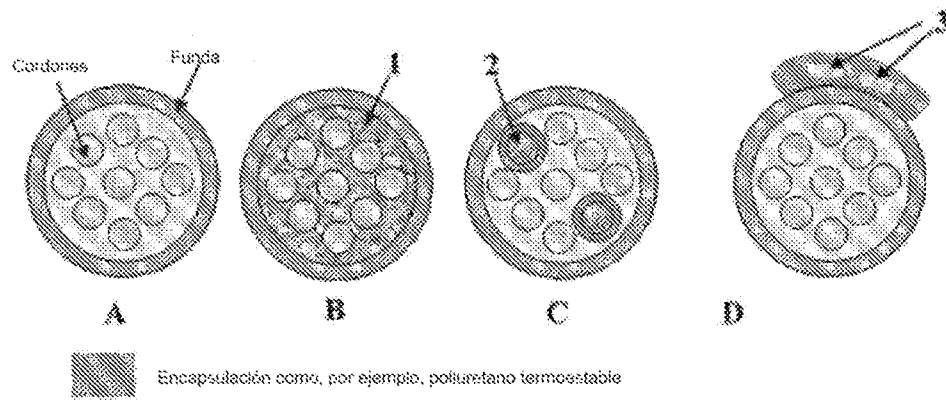


FIG. 13

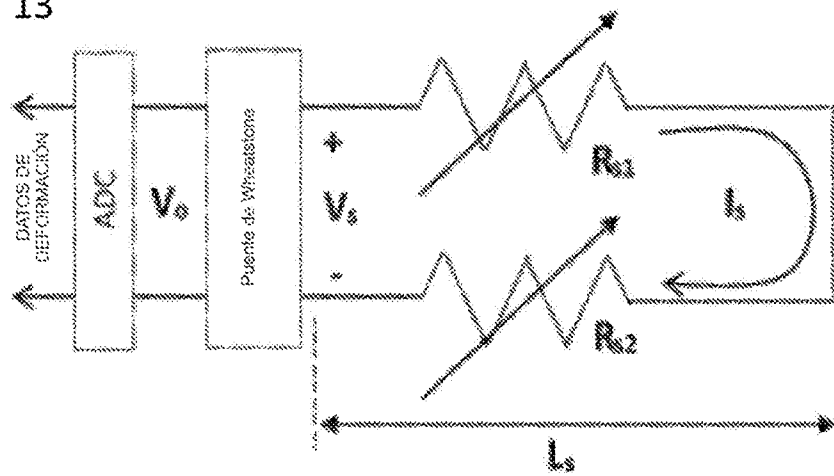


FIG. 14

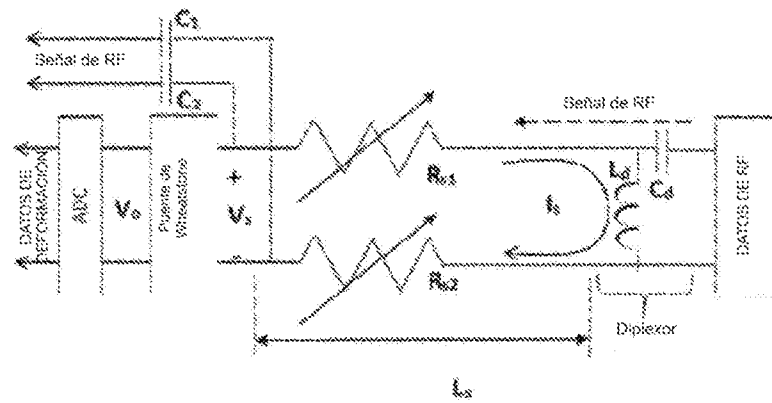


FIG. 15

