

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 669 747**

51 Int. Cl.:

|                   |           |                     |           |                     |           |
|-------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
| <b>H01M 10/04</b> | (2006.01) | <b>H01M 10/0568</b> | (2010.01) | <b>H01M 10/0525</b> | (2010.01) |
| <b>H01M 6/12</b>  | (2006.01) | <b>G02C 7/08</b>    | (2006.01) |                     |           |
| <b>H01M 6/40</b>  | (2006.01) | <b>G02C 7/04</b>    | (2006.01) |                     |           |
| <b>H01M 4/62</b>  | (2006.01) | <b>H01M 6/32</b>    | (2006.01) |                     |           |
| <b>H01M 4/583</b> | (2010.01) | <b>H01M 6/42</b>    | (2006.01) |                     |           |
| <b>H01M 4/50</b>  | (2010.01) | <b>H01M 4/24</b>    | (2006.01) |                     |           |
| <b>H01M 4/04</b>  | (2006.01) | <b>H01M 6/04</b>    | (2006.01) |                     |           |
| <b>H01M 4/42</b>  | (2006.01) | <b>H01M 4/02</b>    | (2006.01) |                     |           |
| <b>H01M 2/18</b>  | (2006.01) | <b>H01M 2/02</b>    | (2006.01) |                     |           |
| <b>H01M 2/16</b>  | (2006.01) | <b>H01M 10/052</b>  | (2010.01) |                     |           |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.08.2015 E 15181863 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.05.2018 EP 3024082**

54 Título: **Baterías primarias biocompatibles para dispositivos biomédicos**

30 Prioridad:

**21.08.2014 US 201462040178 P**  
**22.06.2015 US 201514746160**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**29.05.2018**

73 Titular/es:

**JOHNSON & JOHNSON VISION CARE INC.**  
**(100.0%)**  
**7500 Centurion Parkway**  
**Jacksonville, FL 32256, US**

72 Inventor/es:

**FLITSCH, FREDERICK A.;**  
**MAHADEVAN, SHIVKUMAR;**  
**OTTS, DANIEL B.;**  
**PUGH, RANDALL B.;**  
**RIALL, JAMES DANIEL y**  
**TONER, ADAM**

74 Agente/Representante:

**IZQUIERDO BLANCO, María Alicia**

ES 2 669 747 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).

**Baterías primarias biocompatibles para dispositivos biomédicos****Descripción****5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION****1. Campo de la invención**

10 En la presente se describen métodos y aparato para formar elementos de energización biocompatibles. En algunas realizaciones, los métodos y el aparato para formar los elementos de energización biocompatibles implican formar un elemento separador en el elemento de energización. Los elementos activos incluyendo ánodos, cátodos y electrolitos pueden estar conectados electroquímicamente y pueden interactuar con los elementos separadores formados. En algunas realizaciones, un campo de uso para los métodos y el aparato puede incluir cualquier dispositivo o producto biocompatible que requiera elementos de energización.

**2. Discusión de la técnica relacionada**

20 Recientemente, el número de dispositivos médicos y su funcionalidad han comenzado a desarrollarse rápidamente. Estos dispositivos médicos pueden incluir, por ejemplo, marcapasos implantables, píldoras electrónicas para monitorizar y/o probar una función biológica, dispositivos quirúrgicos con componentes activos, lentes de contacto, bombas de infusión y neuroestimuladores. Se ha teorizado y desarrollado la funcionalidad añadida y un aumento en el rendimiento de muchos de los dispositivos médicos anteriormente mencionados. Sin embargo, para lograr la funcionalidad añadida teorizada, muchos de estos dispositivos ahora requieren medios de energización autónomos que sean compatibles con los requisitos de tamaño y forma de estos dispositivos, así como los requisitos de energía de los nuevos componentes energizados.

30 Algunos dispositivos médicos pueden incluir componentes como dispositivos semiconductores que realizan una variedad de funciones y pueden incorporarse en muchos dispositivos biocompatibles y/o implantables. Sin embargo, dichos componentes semiconductores requieren energía y, por lo tanto, también deberían incluirse preferiblemente elementos de energización en dichos dispositivos biocompatibles. La topología y el tamaño relativamente pequeño de los dispositivos biocompatibles crean ambientes nuevos y exigentes para la definición de varias funcionalidades. En muchas realizaciones, es importante proporcionar medios seguros, fiables, compactos y rentables para energizar los componentes semiconductores dentro de los dispositivos biocompatibles. Por lo tanto, hay una necesidad para nuevas realizaciones de formar elementos de energización biocompatibles para el implante dentro o sobre dispositivos biocompatibles donde la estructura de los elementos de la batería proporciona contención mejorada para los componentes químicos de los elementos de energización así como control mejorado sobre la cantidad de componentes químicos contenidos en el elemento de energización.

40 La US 2013/0309547 A1 describe celdas electroquímicas y métodos de fabricación de celdas electroquímicas. Un aparato descrito en la US 2013/0309547 A1 incluye una lámina multi-capa para revestir un material de electrodo para una celda electroquímica. La lámina multi-capa incluyendo una capa exterior, una capa intermedia que incluye un sustrato conductor, y una capa interior dispuesta sobre una porción del sustrato conductor. La capa intermedia está dispuesta entre la capa exterior y la capa interior. La capa interior define una abertura a través de la cual una región conductora de la capa intermedia está expuesta de tal manera que el material de electrodo puede conectarse eléctricamente a la región conductora. Por tanto, la capa intermedia puede servir como un colector de corriente para la celda electroquímica.

**SUMARIO DE LA INVENCION**

50 En consecuencia, se divulgan métodos y aparatos para formar elementos de energización biocompatibles que proporcionan ventajas de fabricación a la vez que crean estructuras que pueden contener significativamente la química de la batería. Además, el diseño estructural también puede proporcionar un control inherente de las cantidades de los elementos de energización encontrados dentro de los elementos de la batería.

55 Un aspecto general incluye un elemento de energización biocompatible que incluye una capa espaciadora del hueco; un primer orificio localizado en la capa espaciadora del hueco; una capa espaciadora del cátodo, donde la capa espaciadora del cátodo está unida a la capa espaciadora del hueco; un segundo orificio localizado en la capa espaciadora del cátodo, donde el segundo orificio está alineado con el primer orificio, y donde el segundo orificio es más pequeño que el primer orificio de tal manera que cuando el primer orificio y el segundo orificio están alineados hay una cresta de la capa espaciadora del cátodo expuesta en el primer orificio. El elemento de energización biocompatible también incluye una capa separadora, donde la capa separadora se coloca dentro del primer orificio en la capa espaciadora del hueco y se adhiere a la cresta de la capa espaciadora del cátodo. El elemento de energización biocompatible también incluye una cavidad entre los lados del segundo orificio y una primera superficie de la capa separadora, donde la cavidad se llena con productos químicos catódicos. El elemento de energización biocompatible también incluye un primer colector de corriente recubierto con productos químicos anódicos. El

elemento de energización biocompatible también incluye un segundo colector de corriente, donde el segundo colector de corriente está en conexión eléctrica con los productos químicos catódicos. El elemento de energización biocompatible también incluye un electrolito que incluye productos químicos electrolíticos. El elemento de energización biocompatible también incluye los productos químicos catódicos, los productos químicos anódicos y los productos químicos electrolíticos formulados para un único ciclo de descarga del elemento de energización.

Las implementaciones pueden incluir una o más de las siguientes características: el elemento de energización biocompatible donde los productos químicos catódicos incluyen una sal de manganeso incluyendo dióxido de manganeso; el elemento de energización biocompatible donde los productos químicos anódicos incluyen zinc, incluyendo zinc galvanizado; el elemento de energización biocompatible donde los productos químicos catódicos incluyen grafito, poliisobutileno, tolueno, dióxido de manganeso electrolítico molido a chorro y grafito sintético primario KS6; el elemento de energización biocompatible donde los productos químicos catódicos incluyen una mezcla de aproximadamente 1,5 partes de 10 por ciento de PIB B50 en tolueno a 2,3 partes de tolueno adicional a 4,9 partes de una mezcla que incluye aproximadamente 80 por ciento de dióxido de manganeso electrolítico molido a chorro a 20 por ciento de grafito sintético primario KS6; el elemento de energización biocompatible donde el electrolito incluye cloruro de zinc y cloruro de amonio; y el elemento de energización biocompatible donde el separador incluye Celgard 412.

El elemento de energización biocompatible donde el elemento de energización biocompatible está conectado eléctricamente a un elemento electroactivo dentro de un dispositivo biomédico como un dispositivo oftálmico tal como una lente de contacto. El elemento de energización biocompatible donde el elemento de energización biocompatible está conectado eléctricamente a un elemento electroactivo dentro de un dispositivo biomédico. El elemento de energización biocompatible donde el separador incluye hidroxietilmetacrilato, dimetilacrilato de etilenglicol y polivinilpirrolidona.

El elemento de energización biocompatible donde los productos químicos catódicos incluyen una mezcla de 1.5 partes de 10 por ciento de PIB B50 en tolueno a 2.3 partes de tolueno adicional a 4.9 partes de una mezcla que incluye aproximadamente un 80 por ciento de dióxido de manganeso electrolítico molido a chorro a un 20 por ciento de grafito sintético primario KS6, donde los productos químicos anódicos incluyen zinc galvanizado, y donde el electrolito incluye cloruro de zinc y cloruro de amonio; el elemento de energización biocompatible donde el elemento de energización biocompatible está conectado eléctricamente a un elemento electroactivo dentro de un dispositivo biomédico; el elemento de energización biocompatible donde el dispositivo biomédico es un dispositivo oftálmico; el elemento de energización biocompatible donde el dispositivo oftálmico es una lente de contacto.

Un aspecto general incluye un elemento de energización biocompatible que incluye una capa espaciadora de cátodo. El elemento de energización biocompatible también incluye un primer orificio localizado en la capa espaciadora del cátodo. El elemento de energización biocompatible también incluye un primer colector de corriente revestido con productos químicos anódicos, donde el primer colector de corriente está unido a una primera superficie de la capa espaciadora del cátodo, y donde se crea una primera cavidad entre los lados del primer orificio y una primera superficie de el primer colector de corriente recubierto con productos químicos anódicos. El elemento de energización biocompatible también incluye una capa separadora, donde la capa separadora se forma dentro de la primera cavidad después de que se dispense en la cavidad una mezcla precursora separadora. El elemento de energización biocompatible también incluye una segunda cavidad entre los lados del primer orificio y una primera superficie de la capa separadora, donde la segunda cavidad se llena con productos químicos catódicos. El elemento de energización biocompatible también incluye un electrolito que incluye productos químicos electrolíticos. El elemento de energización biocompatible también incluye donde los productos químicos catódicos, productos químicos anódicos y productos químicos electrolíticos se formulan para un único ciclo de descarga del elemento de energización.

Las implementaciones pueden incluir una o más de las siguientes características. El elemento de energización biocompatible donde el separador incluye hidroxietilmetacrilato, dimetilacrilato de etilenglicol y polivinilpirrolidona. El elemento de energización biocompatible donde los productos químicos catódicos incluyen una mezcla de aproximadamente 1,5 partes de 10 por ciento de PIB B50 en tolueno a 2,3 partes de tolueno adicional a 4,9 partes de una mezcla que incluye 80 por ciento de dióxido de manganeso electrolítico molido a chorro a 20 por ciento de grafito sintético primario KS6, donde los productos químicos anódicos incluyen zinc galvanizado, y donde el electrolito incluye cloruro de zinc y cloruro de amonio.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Fig. 1A-1D ilustra aspectos ejemplares de elementos de energización biocompatibles en combinación con la aplicación ejemplar de lentes de contacto.

La Fig. 2 ilustra el tamaño y la forma ejemplar de celdas individuales de un diseño de batería ejemplar.

La Fig. 3A ilustra un primer elemento de energización biocompatible empaquetado, autónomo con conexiones

de ánodo y cátodo ejemplares.

La Fig. 3B ilustra un segundo elemento de energización biocompatible empaquetado, autónomo con conexiones de ánodo y cátodo ejemplares.

Las Figs. 4A-4N ilustran pasos del método ejemplares para la formación de elementos de energización biocompatibles para dispositivos biomédicos.

La Fig. 5 ilustra un elemento de energización biocompatible completamente formado ejemplar.

Las Figs. 6A-6F ilustran pasos del método ejemplares para la formación estructural de elementos de energización biocompatibles.

Las Figs. 7A-7F ilustran pasos del método ejemplares para la formación estructural de elementos de energización biocompatibles con un método de galvanizado alternativo.

Las Figs. 8A-8H ilustran pasos del método ejemplares para la formación de elementos de energización biocompatibles con separador de hidrogel para dispositivos biomédicos.

Las Figs. 9A-C ilustran pasos de métodos ejemplares para la formación estructural de elementos de energización biocompatibles que utilizan realizaciones de procesamiento de separador alternativas.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

En esta solicitud se divulgan métodos y aparato para formar elementos de energización biocompatibles tridimensionales. El elemento separador dentro de los elementos de energización puede formarse con nuevos métodos y puede comprender nuevos materiales. En las siguientes secciones, se describen descripciones detalladas de varias realizaciones. La descripción de las realizaciones tanto preferidas como alternativas son sólo realizaciones ejemplares, y para los expertos en la técnica pueden ser evidentes varias modificaciones y alteraciones. Por lo tanto, las realizaciones ejemplares no limitan el alcance de esta solicitud. Los elementos de energización biocompatibles tridimensionales están diseñados para su uso en o cerca del cuerpo de un organismo vivo.

### Glosario

En la descripción y las realizaciones siguientes, pueden usarse varios términos para los cuales se aplicarán las siguientes definiciones:

"Ánodo", como se usa en la presente, se refiere a un electrodo a través del cual fluye corriente eléctrica en un dispositivo eléctrico polarizado. La dirección de la corriente eléctrica es típicamente opuesta a la dirección del flujo de electrones. En otras palabras, los electrones fluyen desde el ánodo hacia, por ejemplo, un circuito eléctrico.

"Aglutinantes", como se usa en la presente, se refiere a un polímero que es capaz de mostrar respuestas elásticas a las deformaciones mecánicas y que es químicamente compatible con otros componentes del elemento de energización. Por ejemplo, los aglutinantes pueden incluir materiales electroactivos, electrolitos, polímeros, etc.

"Biocompatible" como se usa en la presente se refiere a un material o dispositivo que se desempeña con una respuesta de huésped apropiada en una aplicación específica. Por ejemplo, un dispositivo biocompatible no tiene efectos tóxicos o perjudiciales en sistemas biológicos.

"Cátodo", como se usa en la presente, se refiere a un electrodo a través del cual fluye corriente eléctrica fuera de un dispositivo eléctrico polarizado. La dirección de la corriente eléctrica es típicamente opuesta a la dirección del flujo de electrones. Por lo tanto, los electrones fluyen hacia el cátodo del dispositivo eléctrico polarizado y fuera de, por ejemplo, el circuito eléctrico conectado.

"Revestimiento" como se usa en la presente se refiere a un depósito de material en formas delgadas. En algunos usos, el término se referirá a un depósito delgado que cubre sustancialmente la superficie de un sustrato sobre el que está formado. En otros usos más especializados, el término puede usarse para describir pequeños depósitos delgados en regiones más pequeñas de la superficie.

"Electrodo" como se usa en la presente puede referirse a una masa activa en la fuente de energía. Por ejemplo, puede incluir uno o ambos del ánodo y el cátodo.

"Energizado" como se usa en la presente se refiere al estado de ser capaz de suministrar corriente eléctrica o tener energía eléctrica almacenada dentro.

"Energía" como se usa en la presente se refiere a la capacidad de un sistema físico para hacer el trabajo. Muchos usos de los elementos de energización pueden estar relacionados con la capacidad de poder realizar acciones eléctricas.

"Fuente de Energía" o "Elemento de Energización" o "Dispositivo de Energización" como se usa en la presente se refiere a cualquier dispositivo o capa que sea capaz de suministrar energía o colocar un dispositivo lógico o eléctrico en un estado energizado. Los elementos de energización pueden incluir baterías. Las baterías se pueden formar a partir de química de celdas de tipo alcalino y pueden ser baterías de estado sólido o baterías de celda húmeda.

"Rellenos", como se usan en la presente se refieren a uno o más separadores de elementos de energización que no reaccionan con electrolitos ácidos o alcalinos. Generalmente, los rellenos pueden incluir materiales sustancialmente insolubles en agua como negro de carbón; polvo de carbón; grafito; óxidos e hidróxidos metálicos como los de silicio, aluminio, calcio, magnesio, bario, titanio, hierro, zinc, y estaño; carbonatos metálicos como los de calcio y magnesio; minerales como mica, montmorillonita, caolinita, atapulgita, y talco; zeolitas sintéticas y naturales como cemento Portland; silicatos metálicos precipitados como silicato de calcio; microesferas huecas o sólidas de polímero o vidrio, escamas y fibras; etc.

"Película" como se usa en la presente se refiere a una capa delgada de un material que puede actuar como un recubrimiento o un revestimiento; en estructuras laminadas, la película típicamente se aproxima a una capa plana con una superficie superior y una superficie inferior y un cuerpo; en donde el cuerpo es típicamente mucho más delgado que la extensión de la capa.

"Funcionalizado" como se usa en la presente se refiere a hacer una capa o dispositivo que es capaz de realizar una función incluyendo, por ejemplo, energización, energización y/o control.

"Molde" como se usa en la presente se refiere a un objeto rígido o semirrígido que puede usarse para formar objetos tridimensionales a partir de formulaciones no curadas. Algunos moldes preferidos incluyen dos partes de molde que, cuando se oponen una a la otra, definen la estructura de un objeto tridimensional.

"Potencia" como se usa en la presente se refiere al trabajo realizado o la energía transferida por unidad de tiempo.

"Recargable" o "Re-energizable" como se usa en la presente se refiere a la capacidad de ser restaurado a un estado con mayor capacidad para hacer el trabajo. Muchos usos pueden relacionarse con la capacidad de ser restaurado con la capacidad de hacer fluir corriente eléctrica a una cierta velocidad durante ciertos períodos de tiempo restablecidos.

"Reenergizar" o "Recargar" como se usa en la presente se refiere a restaurar a un estado con mayor capacidad para hacer el trabajo. Muchos usos pueden relacionarse con restaurar un dispositivo a la capacidad de hacer fluir corriente eléctrica a una cierta velocidad durante un cierto período de tiempo restablecido.

"Liberado" como se usa en la presente y a veces denominado "liberado de un molde" significa que un objeto tridimensional está completamente separado del molde o solo está unido holgadamente al molde, por lo que puede retirarse con agitación leve.

"Apilado" como se usa en la presente significa colocar por lo menos dos capas de componentes próximas unas a las otras de manera que por lo menos una parte de una superficie de una de las capas contacta con una primera superficie de una segunda capa. En algunas realizaciones, un revestimiento, ya sea para adhesión u otras funciones, puede residir entre las dos capas que están en contacto entre sí a través de dicho revestimiento.

"Trazas" como se usan en la presente se refieren a componentes de elementos de energización capaces de conectar entre sí los componentes del circuito. Por ejemplo, las trazas de circuito pueden incluir cobre u oro cuando el sustrato es una placa de circuito impreso y típicamente puede ser cobre, oro o película impresa en un circuito flexible. Un tipo especial de "Traza" es el colector de corriente. Los colectores de corriente son trazas con compatibilidad electroquímica que hacen que el colector de corriente sea adecuado para su uso en la conducción de electrones hacia y desde un ánodo o cátodo en presencia de electrolito.

Los métodos y aparatos presentados en la presente se refieren a la formación de elementos de energización biocompatibles para su inclusión dentro o sobre dispositivos biocompatibles planos o tridimensionales. Una clase particular de elementos de energización puede ser las baterías que se fabrican en capas. Las capas también pueden clasificarse como capas de laminado. Una batería formada de esta manera puede clasificarse como una batería laminar.

Puede haber otros ejemplos de cómo ensamblar y configurar baterías de acuerdo con la presente

divulgación, y algunos se pueden describir en las secciones siguientes. Sin embargo, para muchos de estos ejemplos, hay parámetros y características seleccionadas de las baterías que se pueden describir por derecho propio. En las secciones siguientes, se centrarán algunas características y parámetros.

## 5 Construcción de Dispositivos Biomédico Ejemplar con Elementos de Energización biocompatibles

Un ejemplo de un dispositivo biomédico que puede incorporar Elementos de Energización, baterías, de la presente divulgación puede ser una lente de contacto de ajuste focal electroactiva. En referencia a la Fig. 1A, un ejemplo de dicho inserto de lente de contacto puede representarse como un inserto de lente de contacto 100. En el inserto de lente de contacto 100, puede haber un elemento electroactivo 120 que puede acomodar cambios de características focales en respuesta a voltajes de control. Un circuito 105 para proporcionar esas señales de voltaje de control así como para proporcionar otra función como controlar la detección del entorno para señales de control externas puede ser alimentado por un elemento de batería biocompatible 110. Como se representa en la Fig. 1A, el elemento de batería 110 puede encontrarse como múltiples piezas principales, en este caso tres piezas, y puede comprender las varias configuraciones de elementos de la química de la batería como se ha tratado. Los elementos de batería 110 pueden tener varias características de interconexión para unir piezas entre sí como puede estar representado subyacente a la región de interconexión 114. Los elementos de la batería 110 pueden estar conectados a un elemento de circuito que puede tener su propio sustrato 111 sobre el cual pueden localizarse las características de interconexión 125. El circuito 105, que puede estar en la forma de un circuito integrado, puede estar conectado eléctrica y físicamente al sustrato 111 y sus características de interconexión 125.

En referencia a la Fig. 1B, un relieve en sección transversal de una lente de contacto 150 puede comprender un inserto de lente de contacto 100 y sus componentes tratados. El inserto de lente de contacto 100 puede encapsularse en una falda de hidrogel de lente de contacto 155 que puede encapsular el inserto 100 y proporcionar una interfaz cómoda de la lente de contacto 150 para el ojo del usuario.

En referencia a los conceptos de la presente divulgación, los elementos de la batería pueden estar formados en una forma bidimensional como se representa en otro ejemplo de la Fig. 1C. En esta representación, puede haber dos regiones principales de celdas de batería en las regiones del componente de batería 165 y el segundo componente de batería en la región del elemento de química de la batería 160. El elemento plano puede conectarse a un elemento de circuito 163, que en el ejemplo de la Fig. 1C puede contener dos áreas de circuito principales 167. El elemento de circuito 163 puede conectarse al elemento de batería en un contacto eléctrico 161 y un contacto físico 162. La estructura plana puede doblarse en una estructura cónica tridimensional como se ha descrito en la presente divulgación. En ese proceso, se pueden usar un segundo contacto eléctrico 166 y un segundo contacto físico 164 para conectar y estabilizar físicamente la estructura tridimensional. En referencia a la Fig. 1D, se puede encontrar una representación de esta estructura cónica tridimensional 180. Los puntos de contacto físico y eléctrico 181 también pueden encontrarse y la ilustración se puede ver como una vista tridimensional de la estructura resultante. Esta estructura puede comprender el componente eléctrico modular y de batería que se incorporará con un inserto de lente en un dispositivo biocompatible.

### 40 Esquemas de Batería Segmentada

En referencia a la Fig. 2, se representa un ejemplo de diferentes tipos de esquemas de batería segmentada para un elemento de batería ejemplar para un ejemplo de tipo de lente de contacto. Los componentes segmentados pueden ser de forma relativamente circular 271, de forma cuadrada 272 o de forma rectangular. En ejemplos de forma rectangular, los rectángulos pueden ser formas rectangulares pequeñas 273, formas rectangulares más grandes 274, o formas rectangulares grandes 275.

### 50 Formas Personalizadas de Elementos de Batería Plana

En algunos ejemplos de baterías biocompatibles, las baterías pueden formarse como elementos planos. En referencia a la Fig. 3A un ejemplo de un contorno rectangular 310 del elemento de batería puede representarse con una conexión de ánodo 311 y una conexión de cátodo 312. En referencia a la Fig. 3B un ejemplo de un contorno circular 330 de un elemento de batería se puede representar con una conexión de ánodo 331 y una conexión de cátodo 332.

En algunos ejemplos de baterías formadas planas, los contornos de la forma de la batería pueden configurarse dimensional y geoméricamente para adaptarse a productos personalizados. Además de los ejemplos con contornos rectangulares o circulares, se pueden formar contornos de "silueta libre" o "forma libre" personalizados que pueden permitir que la configuración de la batería se optimice para adaptarse a un producto determinado.

En el caso de dispositivo biomédico ejemplar de una óptica variable, un ejemplo de "forma libre" de un contorno plano puede ser de forma arqueada. La forma libre puede ser de tal geometría que cuando se forma a una forma tridimensional, puede tomar la forma de una falda anular cónica que se adapta dentro de los límites restrictivos

de una lente de contacto. Puede estar claro que se pueden formar geometrías beneficiosas similares donde los dispositivos médicos tienen requisitos restrictivos de forma 2D o 3D.

#### Aspectos de Biocompatibilidad de las Baterías

Como un ejemplo, las baterías de acuerdo con la presente divulgación pueden tener aspectos importantes en relación con la seguridad y la biocompatibilidad. En algunos ejemplos, las baterías para dispositivos biomédicos deben cumplir los requisitos anteriores y más allá de aquellos para escenarios de uso típicos. En algunos ejemplos, los aspectos de diseño pueden considerarse relacionados con eventos estresantes. Por ejemplo, puede ser necesario considerar la seguridad de una lente de contacto electrónica en caso de que un usuario rompa la lente durante la inserción o la extracción. En otro ejemplo, los aspectos de diseño pueden considerar la posibilidad de que un usuario sea golpeado en el ojo por un objeto extraño. En más ejemplos adicionales de condiciones estresantes que pueden considerarse en el desarrollo de parámetros y restricciones de diseño pueden relacionarse con el potencial de que un usuario lleve la lente en entornos difíciles como el entorno debajo del agua o el entorno a alta altitud como ejemplos no limitativos.

La seguridad de dicho dispositivo puede estar influenciada por los materiales de los que está formado el dispositivo, por las cantidades de los materiales empleados en la fabricación del dispositivo y también por el embalaje aplicado para separar los dispositivos del entorno sobre o en el cuerpo colindante. En un ejemplo, los marcapasos pueden ser un tipo típico de dispositivo biomédico que pueden incluir una batería y que pueden implantarse en un usuario durante un período de tiempo prolongado. Por consiguiente, en algunos ejemplos, dichos marcapasos pueden envasarse típicamente con envolturas de titanio herméticas, soldadas, o en otros ejemplos, múltiples capas de encapsulación. Los dispositivos biomédicos de potencia emergente pueden presentar nuevos desafíos para el envasado, especialmente el envasado de baterías. Estos nuevos dispositivos pueden ser mucho más pequeños que los dispositivos biomédicos existentes, por ejemplo, una lente de contacto electrónica o una cámara de píldora puede ser significativamente más pequeña que un marcapasos. En tales ejemplos, el volumen y el área disponible para el envasado pueden reducirse enormemente.

#### Requisitos Eléctricos de Microbaterías

Otra área para consideraciones de diseño puede relacionarse con los requisitos eléctricos del dispositivo, que deben ser provistos por la batería. Para funcionar como una fuente de alimentación para un dispositivo médico, una batería apropiada puede necesitar cumplir con los requisitos eléctricos completos del sistema cuando funciona en un modo no conectado o no alimentado externamente. Un campo emergente de dispositivos biomédicos no conectados o no alimentados externamente puede incluir, por ejemplo, lentes de contacto correctoras de la visión, dispositivos de monitorización de la salud, cámaras de píldora y dispositivos nuevos. Los desarrollos recientes en la tecnología de circuitos integrados (IC) pueden permitir un funcionamiento eléctrico significativo a niveles de corriente muy bajos, por ejemplo, picoamperios de corriente en espera y microamperios de corriente de funcionamiento. La IC también puede permitir dispositivos muy pequeños.

Puede requerirse que las microbaterías para aplicaciones biomédicas cumplan con muchos requisitos simultáneos exigentes. Por ejemplo, puede requerirse que la microbatería tenga la capacidad de entregar un voltaje de funcionamiento adecuado a un circuito eléctrico incorporado. Este voltaje de funcionamiento puede estar influenciado por varios factores, incluyendo el "nodo" de proceso de IC, el voltaje de salida del circuito a otro dispositivo, y un objetivo de consumo de corriente particular que también puede relacionarse con la vida útil del dispositivo deseada.

Con respecto al proceso de IC, los nodos pueden diferenciarse típicamente por el tamaño de característica mínimo de un transistor, como su canal de transistor "denominado". Esta característica física, junto con otros parámetros de la fabricación del IC, como el grosor del óxido de la puerta, puede asociarse con un estándar de calificación resultante para voltajes de encendido, o umbral, de transistores de efecto de campo (FET) fabricados en el nodo del proceso dado. Por ejemplo, en un nodo con un tamaño de característica mínimo de 0,5 micras, puede ser común encontrar FET con voltajes de encendido de 5,0V. Sin embargo, con un tamaño de característica mínimo de 90 nm los FET pueden encenderse a 1,2, 1,8 y 2,5V. La fundición IC puede suministrar celdas estándar de bloques digitales, por ejemplo, inversores y biestables que se han caracterizado y están clasificados para su uso en ciertos intervalos de voltaje. Los diseñadores eligieron un nodo de proceso de IC basado en varios factores incluyendo la densidad de los dispositivos digitales, dispositivos de señal mixta analógica/digital, corriente de fuga, capas de cableado y disponibilidad de dispositivos especiales como FET de alto voltaje. Dados estos aspectos paramétricos de los componentes eléctricos que pueden extraer potencia de una microbatería, puede ser importante que la fuente de alimentación de microbatería se adapte a los requisitos del nodo de proceso elegido y el diseño de IC especialmente en términos de voltaje y corriente disponibles.

En algunos ejemplos, un circuito eléctrico alimentado por una microbatería, puede conectarse a otro dispositivo. En ejemplos no limitativos, el circuito eléctrico alimentado por microbatería puede conectarse a un accionador o un transductor. Dependiendo de la aplicación, estos pueden incluir un diodo emisor de luz (LED), un

sensor, una bomba del sistema microelectromecánico (MEMS) u otros muchos dispositivos similares. En algunos ejemplos, tales dispositivos conectados pueden requerir condiciones de voltaje de funcionamiento más altas que los nodos de proceso de IC comunes, por ejemplo, una lente de foco variable puede requerir 35V para activarse. El voltaje de funcionamiento proporcionado por la batería puede ser, por lo tanto, una consideración crítica cuando se diseña dicho sistema. En algunos ejemplos de este tipo de consideración, la eficiencia de un impulsor de lente para producir 35V de una batería de 1V puede ser significativamente menor de lo que podría ser cuando se maneja desde una batería de 2V. Requisitos adicionales como el tamaño de la matriz pueden ser radicalmente diferentes teniendo en cuenta también los parámetros de funcionamiento de la microbatería.

Las celdas de batería individuales se pueden clasificar normalmente con voltajes de circuito abierto, de carga y de corte. El voltaje de circuito abierto es el potencial producido por la celda de la batería con una resistencia de carga infinita. El voltaje de carga es el potencial producido por la celda con una impedancia de carga apropiada, y típicamente también especificada, colocada a través de los terminales de la celda. El voltaje de corte es típicamente un voltaje al cual la mayor parte de la batería se ha descargado. El voltaje de corte puede representar un voltaje, o grado de descarga, por debajo del cual la batería no debe descargarse para evitar efectos nocivos, como desprendimiento de gases excesivo. El voltaje de corte puede estar influenciado típicamente por el circuito al que está conectado la batería, no solo la batería misma, por ejemplo, el voltaje de funcionamiento mínimo del circuito electrónico. En un ejemplo, una celda alcalina puede tener un voltaje de circuito abierto de 1,6V, un voltaje de carga en el rango de 1,0 a 1.,V, y un voltaje de corte de 1,0V. El voltaje de un diseño de celda de microbatería dado puede depender de otros factores de la química celular empleada. Y, por lo tanto, químicas celulares diferentes pueden tener voltajes de celda diferentes.

Las celdas pueden conectarse en serie para aumentar el voltaje; sin embargo, esta combinación puede venir con contrapartidas de tamaño, resistencia interna y complejidad de la batería. Las celdas también pueden combinarse en configuraciones en paralelo para disminuir la resistencia y aumentar la capacidad, sin embargo, tal combinación puede tener contrapartidas de tamaño y vida útil.

La capacidad de la batería puede ser la capacidad de una batería para entregar corriente, o trabajar, por un período de tiempo. La capacidad de la batería generalmente puede especificarse en unidades tales como microamperios-horas. Una batería que puede entregar 1 microamperio de corriente durante 1 hora tiene 1 microamperio-hora de capacidad. La capacidad puede aumentarse típicamente aumentando la masa (y por tanto el volumen) de los reactivos dentro de un dispositivo de batería; sin embargo, se puede apreciar que los dispositivos biomédicos pueden estar significativamente restringidos en el volumen disponible. La capacidad de la batería también puede verse influenciada por el electrodo y el material electrolítico.

Dependiendo de los requisitos de los circuitos a los que está conectada la batería, puede que se requiera que una batería suministre la corriente en un intervalo de valores. Durante el almacenamiento antes del uso activo, una corriente de fuga del orden de picoamperios a nanoamperios puede fluir a través de circuitos, interconexiones y aislantes. Durante el funcionamiento activo, los circuitos pueden consumir corriente de reposo para muestrear sensores, ejecutar temporizadores y realizar tales funciones de bajo consumo de potencia. El consumo de corriente de reposo puede ser del orden de nanoamperios a miliamperios. Los circuitos también pueden tener demandas de corriente pico más altas, por ejemplo, cuando se escribe memoria flash o se comunica por radiofrecuencia (RF). Esta corriente pico puede extenderse a decenas de miliamperios o más. La resistencia y la impedancia de un dispositivo de microbatería también pueden ser importantes para las consideraciones de diseño.

La vida útil se refiere típicamente al período de tiempo que una batería puede sobrevivir durante el almacenamiento y aún mantiene parámetros de funcionamiento útiles. La vida útil puede ser particularmente importante para dispositivos biomédicos por varias razones. Los dispositivos electrónicos pueden desplazar a los dispositivos sin alimentación, como por ejemplo, puede ser el caso para la introducción de una lente de contacto electrónica. Los productos en estos espacios de mercado existentes pueden tener requisitos de vida útil establecidos, por ejemplo, tres años, debido al cliente, cadena de suministro y otros requisitos. Típicamente puede desearse que tales especificaciones no se modifiquen para nuevos productos. Los requisitos de vida útil también pueden establecerse mediante los métodos de distribución, inventario y uso de un dispositivo que comprende una microbatería. Por consiguiente, las microbaterías para dispositivos biomédicos pueden tener requisitos específicos de vida útil, que pueden medirse por ejemplo en el número de años.

En algunas realizaciones ejemplares, los elementos de energización biocompatibles tridimensionales pueden ser recargables. Por ejemplo, también se puede fabricar una bobina inductiva en la superficie tridimensional. La bobina inductiva podría energizarse luego con un mando de radiofrecuencia ("RF"). La bobina inductiva puede estar conectada al elemento de energización biocompatible tridimensional para recargar el elemento de energización cuando se aplica RF a la bobina inductiva. En otro ejemplo, también pueden fabricarse paneles fotovoltaicos en la superficie tridimensional y conectarse al elemento de energización biocompatible tridimensional. Cuando se exponen a la luz o a los fotones, los paneles fotovoltaicos producirán electrones para recargar el elemento de energización.

En algunos ejemplos, una batería puede funcionar para proporcionar la energía eléctrica para un sistema eléctrico. En estos ejemplos, la batería puede estar conectada eléctricamente al circuito del sistema eléctrico. Las conexiones entre un circuito y una batería pueden clasificarse como interconexiones. Estas interconexiones pueden ser cada vez más exigentes para las microbaterías biomédicas debido a varios factores. En algunos ejemplos, los dispositivos biomédicos alimentados pueden ser muy pequeños, lo que permite poca área y volumen para las interconexiones. Las restricciones de tamaño y área pueden afectar la resistencia eléctrica y la fiabilidad de las interconexiones.

En otros aspectos, una batería puede contener un electrolito líquido que podría hervir a alta temperatura. Esta restricción puede competir directamente con el deseo de usar una interconexión de soldadura que puede, por ejemplo, requerir temperaturas relativamente altas como 250 grados C para fundirse. Aunque en algunos ejemplos la química de la batería, incluyendo el electrolito y la fuente de calor usada para formar interconexiones basadas en soldadura pueden aislarse espacialmente entre sí, en los casos de dispositivos biomédicos emergentes, el pequeño tamaño puede imposibilitar la separación de electrolitos y uniones de soldadura por distancia suficiente para reducir la conducción de calor.

#### Interconexiones

Las interconexiones pueden permitir que la corriente fluya hacia y desde la batería en conexión con un circuito externo. Dichas interconexiones pueden interactuar con los entornos dentro y fuera de la batería, y pueden cruzar el límite o sello entre esos entornos. Estas interconexiones pueden considerarse trazas, realizar conexiones con un circuito externo, pasar a través del sello de la batería y luego conectarse a los colectores de corriente dentro de la batería. Como tal, estas interconexiones pueden tener varios requisitos. Fuera de la batería, las interconexiones pueden parecerse a las típicas trazas de circuitos impresos. Se pueden soldar a o conectarse con otras trazas. En un ejemplo en el que la batería es un elemento físico separado de una placa de circuito que contiene un circuito integrado, la interconexión de la batería puede permitir la conexión al circuito externo. Esta conexión puede formarse con soldadura, cinta conductora, tinta conductora o epoxi, u otros medios. Las trazas de interconexión pueden necesitar sobrevivir en el entorno externo de la batería, por ejemplo, sin corroerse en presencia de oxígeno.

A medida que la interconexión pasa a través del sello de la batería, puede ser de importancia crítica que la interconexión coexista con el sello y permita el sellado. Puede requerirse adherencia entre el sello y la interconexión además de la adhesión que puede requerirse entre el sello y el envase de la batería. La integridad del sello puede necesitar ser mantenida en presencia de electrolito y otros materiales dentro de la batería. Las interconexiones, que pueden ser típicamente metálicas, se pueden conocer como puntos de fallo en el envase de la batería. El potencial eléctrico y/o el flujo de corriente pueden aumentar la tendencia del electrolito a "deslizarse" a lo largo de la interconexión. En consecuencia, puede ser necesario diseñar una interconexión que mantenga la integridad del sello.

Dentro de la batería, las interconexiones pueden interactuar con los colectores de corriente o pueden formar realmente los colectores de corriente. A este respecto, la interconexión puede necesitar cumplir los requisitos de los colectores de corriente como se describe en la presente, o puede necesitar formar una conexión eléctrica con dichos colectores de corriente.

Una clase de interconexiones y colectores de corriente candidatos son las láminas metálicas. Estas láminas están disponibles con un espesor de 25 micras o menos, lo que las hace adecuadas para baterías muy delgadas. Dicha lámina también puede obtenerse con rugosidad superficial y contaminación bajas, dos factores que pueden ser críticos para el rendimiento de la batería. Las láminas pueden incluir zinc, níquel, latón, cobre, titanio, otros metales y varias aleaciones.

#### Electrolito

Un electrolito es un componente de una batería que facilita que tenga lugar una reacción química entre los materiales químicos de los electrodos. Los electrolitos típicos pueden ser electroquímicamente activos para los electrodos, por ejemplo, permitiendo que tengan lugar reacciones de oxidación y reducción. En algunos ejemplos, esta importante actividad electroquímica puede representar un desafío para la creación de dispositivos que sean biocompatibles. Por ejemplo, el hidróxido de potasio (KOH) puede ser un electrolito de uso común en celdas alcalinas. A alta concentración, el material tiene un pH alto y puede interactuar desfavorablemente con varios tejidos vivos. Por otro lado, en algunos ejemplos se pueden emplear electrolitos que pueden ser menos electroquímicamente activos; sin embargo, estos materiales pueden dar como resultado típicamente un rendimiento eléctrico reducido, como un voltaje de celda reducido y mayor resistencia de la celda. Por consiguiente, un aspecto clave del diseño y la ingeniería de una microbatería biomédica puede ser el electrolito. Puede ser deseable que el electrolito sea lo suficientemente activo para cumplir con los requisitos eléctricos a la vez que sea relativamente seguro para el uso en o sobre el cuerpo.

Se pueden usar varios escenarios de prueba para determinar la seguridad de los componentes de la batería, en particular los electrolitos, para las células vivas. Estos resultados, junto con las pruebas del envase de la batería, pueden permitir el diseño de ingeniería de un sistema de batería que pueda cumplir los requisitos. Por ejemplo, cuando se desarrolla una lente de contacto con alimentación, los electrolitos de la batería pueden probarse en un modelo de célula corneal humana. Estas pruebas pueden incluir experimentos sobre la concentración de electrolitos, tiempo de exposición y aditivos. Los resultados de tales pruebas pueden indicar el metabolismo celular y otros aspectos fisiológicos. Las pruebas también pueden incluir pruebas *in vivo* en animales y humanos.

Los electrolitos para su uso en la presente invención pueden incluir cloruro de cinc, acetato de zinc, acetato de amonio y cloruro de amonio en concentraciones de masa de aproximadamente el 0,1 por ciento al 25 por ciento. Las concentraciones específicas pueden depender de la actividad electroquímica, el rendimiento de la batería, la vida útil, la integridad del sello y la biocompatibilidad.

En algunos ejemplos, se pueden utilizar varias clases de aditivos en la composición de un sistema de batería. Los aditivos se pueden mezclar en la base del electrolito para alterar sus características. Por ejemplo, los agentes gelificantes como el agar pueden reducir la capacidad del electrolito para escaparse del embalaje, aumentando así la seguridad. Pueden añadirse inhibidores de corrosión al electrolito, por ejemplo, para mejorar la vida útil reduciendo la disolución indeseada del ánodo de zinc en el electrolito. Los inhibidores de la corrosión pueden incluir Triton® QS-44 y acetato de indio como ejemplos no limitativos. Estos inhibidores pueden afectar positiva o negativamente el perfil de seguridad de la batería. Pueden añadirse agentes humectantes o surfactantes, por ejemplo, para permitir que el electrolito humedezca el separador o que se llene en el envase de la batería. De nuevo, estos agentes humectantes pueden ser positivos o negativos para la seguridad. La adición de surfactante al electrolito puede aumentar la impedancia eléctrica de la celda, por consiguiente debería usarse la concentración más baja de surfactante para lograr la humectación deseada u otras propiedades. Ejemplos de surfactantes pueden incluir Triton® X-100, Triton® QS44, y Dowfax® 3B2 en concentraciones del 0,01 por ciento al 2 por ciento.

Un ejemplo de una formulación de electrolito puede ser: 20% de cloruro de zinc, 500 ppm de Triton® QS-44, 200 ppm de indio +3 ion suministrado como acetato de indio, y el agua equilibrada.

También están surgiendo nuevos electrolitos que pueden mejorar radicalmente el perfil de seguridad de las microbaterías biomédicas. Por ejemplo, una clase de electrolitos sólidos puede ser inherentemente resistente a las fugas al mismo tiempo que ofrece un rendimiento eléctrico adecuado.

Las baterías que usan electrolito de "agua salada" se usan comúnmente en celdas de reserva para uso marítimo. Los torpedos, boyas y luces de emergencia pueden usar tales baterías. Las celdas de reserva son baterías en las que los materiales activos, los electrodos y el electrolito, se separan hasta el momento del uso. Debido a esta separación, la auto-descarga de las celdas se reduce enormemente y se aumenta enormemente la vida útil. Las baterías de agua salada pueden diseñarse a partir de una variedad de materiales de electrodos, incluyendo zinc, magnesio, aluminio, cobre, estaño, dióxido de manganeso y óxido de plata. El electrolito puede ser agua de mar real, por ejemplo, agua del océano que inunde la batería tras el contacto, o puede ser una formulación salina especialmente diseñada. Este tipo de batería puede ser particularmente útil en lentes de contacto. Un electrolito salino puede tener una biocompatibilidad superior en comparación con los electrolitos clásicos como el hidróxido de potasio y el cloruro de zinc. Las lentes de contacto se almacenan en una "solución de embalaje" que generalmente es una mezcla de cloruro de sodio, quizás con otras sales y agentes de tamponamiento. Esta solución se ha demostrado como un electrolito de batería en combinación con un ánodo de zinc y un cátodo de dióxido de manganeso. Son posibles otras combinaciones de electrolitos y electrodos. Una lente de contacto que utiliza una batería de "agua salada" puede contener un electrolito a base de cloruro de sodio, solución de embalaje o incluso un electrolito especialmente diseñado similar al fluido lagrimal. Tal batería podría, por ejemplo, activarse con solución de embalaje, mantener una abertura en el ojo y continuar funcionando con exposición a lágrimas humanas.

Además o en lugar de los posibles beneficios de biocompatibilidad por el uso de un electrolito más similar a las lágrimas, o usando realmente lágrimas, se puede usar una celda de reserva para cumplir con los requisitos de vida útil de un producto de lentes de contacto. Las lentes de contacto típicas están especificadas para el almacenamiento de 3 años o más. Este es un requisito exigente para una batería con un envase pequeño y delgado. Una celda de reserva para su uso en lentes de contacto puede tener un diseño similar a los que se muestran en la Figura 3, pero el electrolito no se debería añadir en el momento de la fabricación. El electrolito puede almacenarse en una ampolla dentro de la lente de contacto y conectarse a la batería, o la solución salina que rodea la batería puede usarse como electrolito. Dentro de la lente de contacto y el envase de la batería, puede diseñarse una válvula o puerto para separar el electrolito de los electrodos hasta que el usuario active la lente. Tras la activación, tal vez simplemente pellizcando el borde de la lente de contacto de manera similar a la activación de una varilla luminosa, se permite que el electrolito fluya hacia la batería y forme una vía iónica entre los electrodos. Esto puede implicar una transferencia de electrolito de una sola vez o puede exponer la batería para una difusión continua.

Algunos sistemas de batería pueden usar o consumir electrolitos durante la reacción química. Por

consiguiente, puede ser necesario diseñar un cierto volumen de electrolito en el sistema envasado. Este electrolito puede estar "estacionado" en varias localizaciones, incluyendo el separador o un depósito.

En algunos ejemplos, un diseño de un sistema de batería puede incluir un componente o componentes que pueden funcionar para limitar la capacidad de descarga del sistema de batería. Por ejemplo, puede ser deseable diseñar los materiales y las cantidades de materiales del ánodo, del cátodo o del electrolito de tal manera que uno de ellos se agote primero durante el curso de las reacciones en el sistema de batería. En dicho ejemplo, el agotamiento de uno del ánodo, cátodo o electrolito puede reducir el potencial de descarga problemática y que no tengan lugar reacciones laterales a voltajes de descarga más bajos. Estas reacciones problemáticas pueden producir, por ejemplo, gas o subproductos excesivos que podrían ser perjudiciales para la seguridad y otros factores.

#### Componentes de Baterías Modulares

En algunos ejemplos, se puede formar un componente de batería modular de acuerdo con algunos aspectos y ejemplos de la presente divulgación. En estos ejemplos, el montaje de batería modular puede ser un componente separado de otras partes del dispositivo biomédico. En el ejemplo de un dispositivo de lente de contacto oftálmica, dicho diseño puede comprender una batería modular que está separada del resto de un inserto de medio. Puede haber numerosas ventajas de formar un componente de batería modular. Por ejemplo, en el ejemplo de la lente de contacto, puede formarse un componente de batería modular en un proceso separado, no integrado que puede aliviar la necesidad de manejar componentes plásticos ópticos formados tridimensionalmente, rígidos. Adicionalmente, las fuentes de fabricación pueden ser más flexibles y pueden funcionar en un modo más paralelo a la fabricación de los otros componentes en el dispositivo biomédico. Además, la fabricación de los componentes de baterías modulares puede estar desacoplada de las características de los dispositivos con forma tridimensional. Por ejemplo, en aplicaciones que requieren formas finales tridimensionales, puede fabricarse un sistema de batería modular en una perspectiva plana o aproximadamente bidimensional y luego conformarse a la forma tridimensional apropiada. Un componente de batería modular puede probarse independientemente del resto del dispositivo biomédico y la pérdida de rendimiento debida a los componentes de la batería se puede clasificar antes del ensamblaje. El componente de batería modular resultante puede utilizarse en varias construcciones de insertos de medios que no tienen una región rígida apropiada sobre la cual se pueden formar los componentes de la batería; y, en un ejemplo más, el uso de componentes de baterías modulares puede facilitar el uso de diferentes opciones para las tecnologías de fabricación que se utilizarían de otro modo, como tecnología basada en red (rollo a rollo), tecnología basada en láminas (lámina a lámina), impresión, litografía y procesamiento "por escobilla de goma". En algunos ejemplos de una batería modular, el aspecto de contención discreta de dicho dispositivo puede dar como resultado la adición de material adicional a la construcción del dispositivo biomédico general. Dichos efectos pueden establecer una restricción para el uso de soluciones de baterías modulares cuando los parámetros de espacio disponibles requieren un espesor o volumen de soluciones minimizados.

Los requisitos de forma de la batería pueden ser impulsados, por lo menos en parte, por la aplicación para la cual se va a usar la batería. Los factores de forma de la batería tradicionales pueden ser formas cilíndricas o prismas rectangulares, hechos de metal, y pueden estar orientados a productos que requieren grandes cantidades de potencia durante períodos largos. Estas aplicaciones pueden ser lo suficientemente grandes como para que puedan contener baterías de factor de forma grande. En otro ejemplo, las baterías en estado sólido planas pueden ser prismas rectangulares delgados, típicamente formados sobre silicio o vidrio inflexibles. Estas baterías en estado sólido planas pueden formarse en algunos ejemplos usando tecnologías de procesamiento de discos de silicio. En otro tipo de factor de forma de la batería, se pueden formar baterías flexibles de baja potencia, en una construcción de bolsa, utilizando láminas delgadas o plástico para contener la química de la batería. Estas baterías pueden hacerse planas, y pueden diseñarse para funcionar cuando se arquean a una curvatura fuera de plano modesta.

En algunos de los ejemplos de las aplicaciones de batería de acuerdo con la presente invención donde la batería puede emplearse en una lente óptica variable, el factor de forma puede requerir una curvatura tridimensional del componente de la batería donde un radio de esa curvatura puede ser del orden de aproximadamente 8,4 mm. La naturaleza de dicha curvatura puede considerarse relativamente pronunciada y como referencia puede aproximarse al tipo de curvatura que se encuentra en la yema de un dedo humano. La naturaleza de una curvatura pronunciada relativa crea aspectos exigentes para la fabricación. En algunos ejemplos de la presente divulgación, un componente de batería modular puede estar diseñado de tal manera que se pueda fabricar de una manera plana, bidimensional y luego se forme en una forma tridimensional de curvatura relativamente alta.

#### Espesor del Módulo de Batería

Al diseñar los componentes de la batería para aplicaciones biomédicas, las contrapartidas entre los diversos parámetros se pueden hacer equilibrando los requisitos técnicos, de seguridad y funcionales. El grosor del componente de la batería puede ser un parámetro importante y limitativo. Por ejemplo, en una aplicación de lente óptica la capacidad de un dispositivo para ser llevado cómodamente por un usuario puede tener una dependencia crítica del grosor a lo largo del dispositivo biomédico. Por lo tanto, puede haber aspectos de habilitación críticos en el diseño de la batería para obtener resultados más delgados. En algunos ejemplos, el grosor de la batería puede

determinarse por los espesores combinados de las láminas superior e inferior, láminas espaciadoras y los espesores de la capa adhesiva. Los aspectos prácticos de la fabricación pueden impulsar ciertos parámetros del espesor de la película a valores estándar en el stock de láminas disponible. Adicionalmente, las películas pueden tener valores de espesor de mínimo a los que puede haber que especificarse en base a consideraciones técnicas relativas a la compatibilidad química, impermeabilidad a la humedad/gas, acabado superficial, y compatibilidad con revestimientos que pueden depositarse sobre las capas de la películas.

En algunos ejemplos, un grosor deseado u objetivo de un componente de batería terminado puede ser un espesor de componente que sea menor de 220  $\mu\text{m}$ . En estos ejemplos, este espesor deseado puede ser impulsado por la geometría tridimensional de un dispositivo de lente oftálmica ejemplar donde el componente de batería puede necesitar ajustarse dentro del volumen disponible definido por una forma de lente de hidrogel con la comodidad del usuario final, biocompatibilidad y restricciones de aceptación dadas. Este volumen y su efecto sobre las necesidades del espesor del componente de batería pueden ser una función de la especificación del espesor del dispositivo total, así como de la especificación del dispositivo referentes a su anchura, ángulo del cono y diámetro interior. Otra consideración de diseño importante para el diseño de componentes de baterías resultante puede estar relacionado con el volumen disponible para los productos químicos y materiales de batería activos en un diseño de componente de batería dado con respecto a la energía química resultante que puede resultar de ese diseño. Esta energía química resultante puede entonces equilibrarse para los requisitos eléctricos de un dispositivo biomédico funcional para su tiempo de durabilidad y condiciones de funcionamiento.

#### Flexibilidad del Módulo de Batería

Otra dimensión de relevancia para el diseño de la batería y para el diseño de dispositivos relacionados que utilizan fuentes de energía basadas en baterías es la flexibilidad del componente de batería. Puede haber numerosas ventajas conferidas por formas de batería flexibles. Por ejemplo, un módulo de batería flexible puede facilitar la capacidad anteriormente mencionada para fabricar la forma de batería en una forma plana bidimensional. La flexibilidad de la forma puede permitir que la batería bidimensional se forme luego en una forma tridimensional apropiada para ajustar en un dispositivo biomédico tal como una lente de contacto.

En otro ejemplo de los beneficios que pueden conferirse por la flexibilidad en el módulo de batería, si la batería y el dispositivo posterior es flexible, entonces puede haber ventajas relacionadas con el uso del dispositivo. En un ejemplo, una forma de lente de contacto de un dispositivo biomédico puede tener ventajas relativas a la inserción/eliminación de la lente de contacto en base a inserciones de medios que puede estar más cerca de la inserción/extracción de una lente de contacto no rellena de hidrogel estándar.

EL número de flexiones puede ser importante para el diseño de la batería. Por ejemplo, una batería que solo puede flexionarse una vez desde una forma plana a una forma adecuada para una lente de contacto puede tener un diseño significativamente diferente de una batería capaz de múltiples flexiones. La flexión de la batería también puede extenderse más allá de la capacidad de sobrevivir mecánicamente al evento de flexión. Por ejemplo, un electrodo puede ser físicamente capaz de flexionarse sin romperse, pero las propiedades mecánicas y electroquímicas del electrodo pueden alterarse por flexión. Los cambios inducidos por la flexión pueden aparecer instantáneamente, por ejemplo, como cambios en la impedancia, o la flexión pueden introducir cambios que son solo aparentes en las pruebas de vida útil a largo plazo.

#### Anchura del Módulo de Batería

Puede haber numerosas aplicaciones en las que pueden utilizarse los elementos o baterías de energización biocompatibles de la presente divulgación. En general, el requisito de anchura de la batería puede ser en gran medida una función de la aplicación en la que se aplica. En un caso ejemplar, un sistema de batería de lente de contacto puede tener necesidades limitadas para la especificación sobre la anchura de un componente de batería modular. En algunos ejemplos de un dispositivo oftálmico donde el dispositivo tiene una función óptica variable alimentada por un componente de batería, la parte óptica variable del dispositivo puede ocupar una región esférica central de aproximadamente 7,0 mm de diámetro. Los elementos de batería ejemplares se pueden considerar como un objeto tridimensional, que se adapta como una faldilla anular, cónica alrededor de la óptica central y se forma en un anillo cónico truncado. Si el diámetro máximo requerido de la inserción rígida es un diámetro de 8,50 mm, y puede dirigirse la tangencia a una esfera de cierto diámetro (como por ejemplo en un diámetro aproximado de 8,40 mm), entonces la geometría puede determinar cuál puede ser la anchura de batería permitida. Puede haber modelos geométricos que pueden ser útiles para calcular las especificaciones deseables para la geometría resultante que en algunos ejemplos puede denominarse un tronco cónico aplanado en un sector de un anillo.

La anchura de la batería aplanada puede estar impulsada por dos características del elemento de batería, los componentes de la batería activos y la anchura del sello. En algunos ejemplos relacionados con dispositivos oftálmicos un espesor objetivo puede estar entre 0,100 mm y 0,500 mm por lado, y los componentes de la batería activos pueden tener un objetivo de aproximadamente 0,800 mm de anchura. Otros dispositivos biomédicos pueden tener diferentes limitaciones de diseño pero se pueden aplicar los principios para los elementos de batería planos

flexibles de manera similar.

#### Cavidades como Elementos de Diseño en el Diseño de Componentes de la Batería

En algunos ejemplos, los elementos de la batería pueden estar diseñados de maneras que segmenten las regiones de la química de la batería activa. Puede haber numerosas ventajas de la división de los componentes de la batería activa en segmentos discretos. En un ejemplo no limitativo, la fabricación de elementos discretos y más pequeños puede facilitar la producción de los elementos. Puede mejorarse la función de los elementos de la batería incluyendo numerosos elementos más pequeños. Los defectos de varios tipos pueden segmentarse y los elementos no funcionales pueden aislarse en algunos casos para dar como resultado una menor pérdida de función. Esto puede ser relevante en ejemplos donde puede tener lugar la pérdida de electrolito de la batería. El aislamiento de los componentes individualizados puede permitir que un defecto que dé como resultado fugas de electrolito fuera de las regiones críticas de la batería limite la pérdida de función a ese pequeño segmento del elemento de la batería total mientras que la pérdida de electrolito a través del defecto podría vaciar una región significativamente más grande para baterías configuradas como una única celda. Las celdas más pequeñas pueden dar como resultado un volumen reducido de productos químicos de la batería activos desde una perspectiva general, pero la malla del material que rodea cada una de las celdas más pequeñas puede dar como resultado un fortalecimiento de la estructura general.

#### Sellos Internos de los Elementos la Batería

En algunos ejemplos de elementos de batería para su uso en dispositivos biomédicos, la acción química de la batería implica la química acuosa, donde el agua o la humedad es un componente importante para controlar. Por lo tanto puede ser importante incorporar mecanismos de sellado que retarden o eviten el movimiento de la humedad ya sea fuera o dentro del cuerpo de la batería. Pueden diseñarse barreras de humedad para mantener el nivel de humedad interno en un nivel diseñado, dentro de cierta tolerancia. En algunos ejemplos, una barrera de humedad puede dividirse en dos secciones o componentes; concretamente, el envase y el sello.

El envase puede referirse al material principal del cierre. En algunos ejemplos, el envase puede estar compuesto por un material a granel. La Velocidad de Transmisión de Vapor de Agua (WVTR) puede ser un indicador del rendimiento, con normas ISO, ASTM que controlan el procedimiento de prueba, incluyendo las condiciones ambientales operantes durante la prueba. Idealmente, el WVTR para un buen envase de batería puede ser "cero". Los materiales ejemplares con un WVTR cercano a cero pueden ser hojas de vidrio y metal. Los plásticos, por otro lado, pueden ser intrínsecamente porosos a la humedad, y pueden variar significativamente para diferentes tipos de plástico. Los materiales diseñados, los laminados o los co-extruidos pueden habitualmente ser híbridos de los materiales de envase comunes.

El sello puede ser la interfaz entre dos de las superficies del envase. La conexión de las superficies del sello finaliza el cierre junto con el envase. En muchos ejemplos, la naturaleza de los diseños de sellos puede dificultar la caracterización del WVTR del sello debido a la dificultad de realizar mediciones usando una norma ISO o ASTM, ya que el tamaño de muestra o el área superficial pueden no ser compatibles con esos procedimientos. En algunos ejemplos, una forma práctica de probar la integridad del sello puede ser una prueba funcional del diseño del sello real, para algunas condiciones definidas. El rendimiento del sello puede ser una función del material del sello, el espesor del sello, la longitud del sello, la anchura del sello y la adhesión o profundidad del sello a los sustratos del envase.

En algunos ejemplos, los sellos se pueden formar mediante un proceso de soldadura que puede implicar un proceso térmico, láser, de solvente, de fricción, ultrasónico o de arco. En otros ejemplos, los sellos se pueden formar mediante el uso de sellantes adhesivos como pegamentos, resinas epoxi, acrílicos, goma natural y goma sintético. Otros ejemplos pueden derivarse de la utilización de material tipo de junta que puede estar formado de corcho, goma natural y sintética, politetrafluoroetileno (PTFE), polipropileno y siliconas por mencionar algunos ejemplos no limitativos.

En algunos ejemplos, las baterías de acuerdo con la presente divulgación pueden estar diseñadas para tener una vida operativa especificada. La vida operativa puede estimarse determinando una cantidad práctica de permeabilidad a la humedad que se puede obtener usando un sistema de batería particular y luego estimando cuándo dicha fuga de humedad puede dar como resultado una condición de fin de vida para la batería. Por ejemplo, si una batería se almacena en un entorno húmedo, entonces la diferencia de presión parcial entre el interior y el exterior de la batería será mínima, lo que dará como resultado una velocidad de pérdida de humedad reducida y, por lo tanto, puede extenderse la vida de la batería. La misma batería ejemplar almacenada en un entorno particularmente seco y caliente puede tener una esperanza de vida esperada significativamente reducida debido a la fuerte función de conducción para la pérdida de humedad.

#### Separadores de Elementos de la Batería

Las baterías del tipo descrito en la presente divulgación pueden utilizar un material separador que separa

física y eléctricamente las partes del colector de corriente de ánodo y del ánodo de las partes del colector de corriente de cátodo y del cátodo. El separador puede ser una membrana que es permeable al agua y componentes electrolíticos disueltos; sin embargo, típicamente puede ser eléctricamente no conductora. Aunque los expertos en la técnica pueden conocer una gran cantidad de materiales separadores comercialmente disponibles, el nuevo factor de forma de la presente divulgación puede presentar limitaciones únicas en la tarea de selección, procesamiento y manejo del separador.

Como los diseños de la presente divulgación pueden tener perfiles ultradelgados, la elección puede estar limitada a los materiales separadores más delgados típicamente disponibles. Por ejemplo, pueden ser deseables separadores de aproximadamente 25 micras de espesor. Algunos ejemplos que pueden ser ventajosos pueden ser de aproximadamente 12 micras de espesor. Puede haber numerosos separadores comerciales aceptables que incluyen membranas separadoras monocapa de polietileno y/o de tricapa de polipropileno-polietileno-polipropileno (PP/PE/PP) microporosas fibriladas como las producidas por Celgard (Charlotte, NC). Un ejemplo deseable de material separador puede ser la membrana tricapa Celgard M824 PP/PE/PP que tiene un espesor de 12 micras. Ejemplos alternativos de materiales separadores útiles para los ejemplos de la presente invención pueden incluir membranas separadoras que comprenden celulosa regenerada (por ejemplo, celofán).

Aunque las membranas separadoras tricapa de PP/PE/PP pueden tener un espesor y propiedades mecánicas ventajosos, debido a su carácter poliolefinico, también pueden tener una serie de inconvenientes que deben superarse para hacerlas útiles en ejemplos de la presente invención. El inventario en rollo o lámina de los materiales separadores tricapa de PP/PE/PP puede tener numerosas arrugas u otros errores de forma que pueden ser perjudiciales para las tolerancias de nivel de micras aplicables a las baterías descritas en la presente. Además, los separadores de poliolefina pueden necesitar ser cortados a tolerancias ultra-precisas para su inclusión en los presentes diseños, lo que puede implicar por lo tanto el corte por láser como un método preferido para formar colectores de corriente discretos en formas deseables con tolerancias estrechas. Debido al carácter poliolefinico de estos separadores, ciertos láseres de corte útiles para la micro fabricación pueden emplear longitudes de onda de láser, por ejemplo 355 nm, que no cortarán poliolefinas. Las poliolefinas no absorben apreciablemente la energía del láser y son por lo tanto no ablacionables. Finalmente, los separadores de poliolefina pueden no ser inherentemente humectables con los electrolitos acuosos usados en las baterías descritas en la presente.

No obstante, puede haber métodos para superar estas limitaciones inherentes para las membranas de tipo poliolefinico. Para presentar una membrana separadora microporosa a un láser de corte de alta precisión para cortar piezas en segmentos de arco u otros diseños de separador ventajosos, la membrana puede necesitar ser plana y no tener arrugas. Si no se cumplen estas dos condiciones, la membrana del separador puede no cortarse completamente ya que el rayo de corte puede inhibirse como resultado de desenfocar o dispersar de otro modo la energía del láser incidente. Adicionalmente, si la membrana del separador no es plana ni está libre de arrugas, la precisión de forma y las tolerancias geométricas de la membrana separadora pueden no alcanzarse lo suficiente. Las tolerancias permisibles para separadores de ejemplos actuales pueden ser preferiblemente de +0 micras y -20 micras con respecto a las longitudes y/o radios característicos. Puede haber ventajas para tolerancias más estrechas de +0 micras y -10 micras y más para tolerancias de +0 micras y -5 micras. El material de stock del separador puede hacerse plano y sin arrugas laminando temporalmente el material a un portador de vidrio flotado con un líquido de baja volatilidad apropiado. Pueden preferirse los líquidos de baja volatilidad a los adhesivos temporales debido a la fragilidad de la membrana separadora y debido a la cantidad de tiempo de procesamiento que puede requerirse para liberar la membrana separadora de una capa adhesiva. Además, en algunos ejemplos se ha observado que lograr una membrana separadora plana y libre de arrugas en vidrio flotado usando un líquido es mucho más fácil que usar un adhesivo. Antes de la laminación, la membrana separadora puede liberarse de particulados. Esto se puede lograr mediante la limpieza ultrasónica de la membrana separadora para desalojar cualquier particulado adherente a la superficie. En algunos ejemplos, la manipulación de una membrana separadora puede realizarse en un entorno con pocas partículas adecuado, como una campana de flujo laminar o una sala limpia de por lo menos clase 10.000. Además, el sustrato de vidrio flotado puede liberarse de partículas mediante enjuague con un solvente apropiado, limpieza ultrasónica y/o limpieza con toallitas para salas blancas.

Aunque se pueden usar una amplia variedad de líquidos de baja volatilidad para el propósito mecánico de laminar membranas separadoras de poliolefina microporosas a un portador de vidrio flotado, se pueden imponer requisitos específicos sobre el líquido para facilitar el corte por láser posterior de formas de separador discretas. Un requisito puede ser que el líquido tenga una tensión superficial lo suficientemente baja como para empapar en los poros del material separador, lo que puede verificarse fácilmente mediante inspección visual. En algunos ejemplos, el material separador cambia de un color blanco a un aspecto translúcido cuando el líquido llena los microporos del material. Puede ser deseable elegir un líquido que pueda ser benigno y "seguro" para los trabajadores que estarán expuestos a las operaciones de preparación y corte del separador. Puede ser deseable elegir un líquido cuya presión de vapor pueda ser lo suficientemente baja para que no tenga lugar una evaporación apreciable durante la escala temporal de procesamiento (del orden de 1 día). Finalmente, en algunos ejemplos, el líquido puede tener suficiente poder de solvatación para disolver absorbentes de UV ventajosos que pueden facilitar la operación de corte por láser. En un ejemplo, se ha observado que una solución al 12 por ciento (p/p) de absorbente de UV de avobenzona en solvente de bencil benzoato puede cumplir los requisitos anteriormente mencionados y puede

facilitar el corte por láser de separadores de poliolefina con alta precisión y tolerancia en poco tiempo sin un número excesivo de pases del haz del láser de corte. En algunos ejemplos, Los separadores pueden cortarse con un láser de estado sólido bombeado por diodos de nanosegundo de 8W 355 nm usando este enfoque donde el láser puede tener ajustes para baja atenuación de potencia (por ejemplo, 3 por ciento de potencia), una velocidad moderada de 1 a 10 mm/s, y solo 1 a 3 pases del rayo láser. Aunque se ha demostrado que esta composición oleosa absorbente de UV es una ayuda para el proceso de laminado y corte eficaz, los expertos en la técnica pueden considerar otras formulaciones oleosas y usarlas sin limitación.

En algunos ejemplos, un separador se puede cortar mientras está fijo en un vidrio flotado. Una ventaja de los separadores de corte por láser mientras están fijos a un portador de vidrio flotante puede ser que se puede cortar una densidad muy alta de separadores de una lámina de stock separadora; al igual que la matriz del semiconductor puede estar densamente dispuesta en un disco de silicio. Dicho enfoque puede proporcionar una economía de escala y ventajas de procesamiento paralelo inherentes a los procesos de semiconductores. Además, puede minimizarse la generación de sobras de la membrana separadora. Una vez que se han cortado los separadores, el proceso oleoso ayuda a que se pueda eliminar el fluido mediante una serie de pasos de extracción con solventes miscibles, la última extracción puede realizarse con un solvente de alta volatilidad como alcohol isopropílico en algunos ejemplos. Los separadores discretos, una vez extraídos, pueden almacenarse indefinidamente en cualquier entorno con pocas partículas adecuado.

Como se ha expuesto anteriormente, las membranas separadoras de poliolefina pueden ser intrínsecamente hidrófobas y puede ser necesario volverlas humectables con surfactantes acuosos usados en las baterías de la presente invención. Un enfoque para hacer que las membranas separadoras se vuelvan humectables puede ser el tratamiento con plasma de oxígeno. Por ejemplo, los separadores pueden tratarse de 1 a 5 minutos en un plasma de oxígeno al 100 por ciento con una amplia variedad de ajustes de potencia y caudales de oxígeno. Aunque este enfoque puede mejorar la humectabilidad durante un tiempo, puede ser bien sabido que las modificaciones de superficie de plasma proporcionan un efecto transitorio que puede no durar lo suficiente para una humectación robusta de las soluciones de electrolitos. Otro enfoque para mejorar la humectabilidad de las membranas separadoras puede ser tratar la superficie incorporando un surfactante adecuado sobre la membrana. En algunos casos, el surfactante puede usarse en conjunción con un revestimiento de polímero hidrófilo que permanece dentro de los poros de la membrana separadora.

Otro enfoque para proporcionar más permanencia a la hidrofiliidad impartida por un tratamiento de plasma oxidativo puede ser mediante tratamiento posterior con un organosilano hidrófilo adecuado. De esta manera, el plasma de oxígeno puede usarse para activar e impartir grupos funcionales a través del área superficial completa del separador microporoso. El organosilano puede unirse covalentemente y/o adherirse no covalentemente a la superficie tratada con plasma. En ejemplos que usan un organosilano, la porosidad inherente del separador microporoso puede no cambiar apreciablemente; la cobertura superficial monocapa también puede ser posible y deseada. Los métodos del estado de la técnica anterior que incorporan surfactantes en conjunción con revestimientos poliméricos pueden requerir controles rigurosos sobre la cantidad real de revestimiento aplicado a la membrana, y pueden estar sujetos a la variabilidad del proceso. En casos extremos, los poros del separador pueden bloquearse, afectando de este modo adversamente a la utilidad del separador durante el funcionamiento de la celda electroquímica. Un organosilano ejemplar útil en la presente divulgación puede ser (3-aminopropil)triétoxosilano. Otros organosilanos hidrófilos pueden ser conocidos por los expertos en la técnica y pueden usarse sin limitación.

Otro método más para fabricar membranas separadoras humectables mediante electrolito acuoso puede ser la incorporación de un surfactante adecuado en la formulación de electrolitos. Una consideración en la elección del surfactante para hacer las membranas separadoras humectables puede ser el efecto que el surfactante pueda tener sobre la actividad de uno o más electrodos dentro de la celda electroquímica, por ejemplo, aumentando la impedancia eléctrica de la celda. En algunos casos, los surfactantes pueden tener propiedades anticorrosivas ventajosas, específicamente en el caso de ánodos de cinc en electrolitos acuosos. El zinc puede ser un ejemplo conocido por experimentar una reacción lenta con agua para liberar gas de hidrógeno, lo que puede ser no deseable. Los expertos en la técnica pueden conocer numerosos surfactantes para limitar las velocidades de dicha reacción a niveles ventajosos. En otros casos, el surfactante puede interactuar tan fuertemente con la superficie del electrodo de zinc que el rendimiento de la batería puede verse impedido. Consecuentemente, puede ser necesario prestar mucha atención a la selección de los tipos de surfactantes y los niveles de carga apropiados para garantizar que se pueda obtener la humectabilidad del separador sin afectar perjudicialmente al rendimiento electroquímico de la celda. En algunos casos, se pueden usar una pluralidad de surfactantes, uno estando presente para impartir humectabilidad a la membrana separadora y el otro estando presente para facilitar las propiedades anticorrosión del ánodo de zinc. En un ejemplo, no se realiza tratamiento hidrófilo a la membrana separadora y se añade un surfactante o una pluralidad de surfactantes a la formulación de electrolito en una cantidad suficiente para efectuar la humectabilidad de la membrana separadora.

Pueden integrarse separadores discretos en la microbatería laminar mediante colocación directa en una cavidad, bolsillo o estructura diseñados dentro del montaje. Deseablemente, este bolsillo puede estar formado por un

espaciador que tiene un recorte que puede ser un desplazamiento geométrico de la forma del separador. Además, el bolsillo puede tener un saliente o escalón sobre el cual se apoya el separador durante el montaje. Dicho saliente o escalón puede incluir opcionalmente un adhesivo sensible a la presión que retiene el separador discreto. Ventajosamente, el adhesivo sensible a la presión puede ser el mismo que se usó en la construcción y apilamiento de otros elementos de una microbatería laminar ejemplar.

#### Adhesivo Sensible a la Presión

En algunos ejemplos, la pluralidad de componentes que comprenden las microbaterías laminares de la presente invención se pueden mantener junto con un adhesivo sensible a la presión (PSA) que también sirve como un sellador. Aunque puede existir una infinidad de formulaciones adhesivas sensibles a la presión comercialmente disponibles, tales formulaciones incluyen casi siempre componentes que pueden hacerlas inadecuadas para su uso dentro de una microbatería laminar biocompatible. Ejemplos de componentes no deseables en adhesivos sensibles a la presión pueden incluir: componentes lixiviables de baja masa molecular, antioxidantes, por ejemplo, BHT y/o MEHQ, aceites plastificantes, impurezas, restos oxidativamente inestables que contienen, por ejemplo, enlaces químicos insaturados, solventes y/o monómeros residuales, fragmentos iniciadores de la polimerización, agentes de pegajosidad polares, y similares.

Los PSA adecuados pueden, por otro lado, mostrar las siguientes propiedades. Pueden aplicarse a componentes laminares para lograr capas delgadas del orden de 2 a 20 micras. Además, pueden contener un mínimo de, preferiblemente cero, componentes no deseables o no biocompatibles. Adicionalmente, pueden tener propiedades adhesivas y cohesivas suficientes para unir los componentes de la batería laminar entre sí. Y, pueden ser capaces de fluir dentro de las características de escala micrométrica inherentes a los dispositivos de la presente construcción a la vez que proporcionan un sellado robusto de electrolito dentro de la batería. En algunos ejemplos de PSA adecuados, los PSA pueden tener una baja permeabilidad al vapor de agua para mantener una composición de electrolito acuoso deseable dentro de la batería incluso cuando la batería pueda estar sometida a condiciones de humedad extremas durante períodos de tiempo prolongados. Los PSA pueden tener una buena resistencia química a componentes de electrolitos como ácidos, surfactantes y sales. Pueden ser inertes a los efectos de la inmersión en agua. Los PSA adecuados pueden tener una baja permeabilidad al oxígeno para minimizar la velocidad de oxidación directa, que puede ser una forma de auto-descarga, de ánodos de zinc. Y, pueden facilitar una permeabilidad finita a gas de hidrógeno, que puede evolucionar lentamente a partir de ánodos de zinc en electrolitos acuosos. Esta propiedad de permeabilidad finita al gas de hidrógeno puede evitar una acumulación de presión interna.

En consideración de estos requisitos, el poliisobutileno (PIB) puede ser un material comercialmente disponible que se puede formular en composiciones de PSA que cumplen muchos, si no todos, los requisitos deseables. Además, el PIB puede ser un sellador de barrera excelente con muy baja absorción de agua y baja permeabilidad al oxígeno. Un ejemplo de PIB útil en los ejemplos de la presente invención puede ser el Oppanol® B15 de BASF Corporation. El Oppanol® B15 puede disolverse en solventes de hidrocarburos como tolueno, heptano, dodecano, alcoholes minerales, y similares. Una composición de PSA ejemplar puede incluir un 30 por ciento de Oppanol® B15 (p/p) en una mezcla de solventes que incluye un 70 por ciento (p/p) de tolueno y un 30 por ciento de dodecano. Las propiedades adhesivas y reológicas de los PSA basados en PIB pueden determinarse en algunos ejemplos mediante la mezcla de diferentes grados de masa molecular de PIB. Un enfoque común puede ser utilizar una mayoría de PIB de baja masa molar, por ejemplo Oppanol® B10 para afectar la humectación, pegajosidad y adhesión, y para usar una minoría de PIB de masa molar alta para afectar a la dureza y la resistencia al flujo. Consecuentemente, se pueden prever mezclas de cualquier número de grados de masa molar de PIB y se pueden poner en práctica dentro del alcance de la presente invención. Además, se pueden añadir agentes de pegajosidad a la formulación de PSA siempre que se cumplan los requisitos mencionados anteriormente. Por su propia naturaleza, los agentes de pegajosidad imparten propiedades polares a las formulaciones de PSA, por lo que puede ser necesario usarlos con precaución para no afectar adversamente las propiedades de barrera del PSA. Además, los agentes de pegajosidad pueden en algunos casos ser oxidativamente inestables y pueden incluir un antioxidante, que podría lixiviarse fuera del PSA. Por estos motivos, los agentes de pegajosidad ejemplares para su uso en PSA para microbaterías laminares biocompatibles pueden incluir agentes de pegajosidad de resinas de hidrocarburos completamente o mayoritariamente hidrogenados, como la serie de agentes de pegajosidad Regalrez de Eastman Chemical Corporation.

#### Consideraciones sobre Envases y Sustratos Adicionales en Módulos de Baterías Biocompatibles

Puede haber numerosas consideraciones de envasado y sustrato que pueden dictar las características deseables para los diseños de envase usados en microbaterías laminares biocompatibles. Por ejemplo, el envase puede deseablemente estar predominantemente en forma de lámina y/o película cuando estas capas de envasado pueden ser lo más delgadas posible, por ejemplo, de 10 a 50 micras. Además, el envase puede proporcionar una barrera de difusión suficiente para la ganancia o pérdida de humedad durante la vida útil. En muchos ejemplos deseables, el envase puede proporcionar una barrera de difusión suficiente para la entrada de oxígeno para limitar la degradación de los ánodos de zinc por oxidación directa.

En algunos ejemplos, el envase puede proporcionar una vía de permeación finita al gas de hidrógeno que puede evolucionar debido a la reducción directa de agua por zinc. Y, el envase puede contener deseablemente de manera suficiente y puede aislar el contenido de la batería de tal manera que la exposición potencial a un usuario pueda minimizarse.

En la presente divulgación, las construcciones de envase pueden comprender los siguientes tipos de componentes funcionales; concretamente, capas de envasado superior e inferior, capas de PSA, capas espaciadoras, zonas de interconexión, puertos de llenado y envase secundario.

En algunos ejemplos, las capas del envase superior e inferior pueden comprender láminas metálicas o películas de polímero. Las capas del envase superior e inferior pueden comprender construcciones de película multicapa que contienen una pluralidad de capas de polímero y/o barrera. Tales construcciones de película se pueden denominar películas laminadas de barrera co-extruidas. Un ejemplo de una película laminada de barrera coextruida comercial de utilidad particular en la presente invención puede ser la 3M Scotchpak 1109 con respaldo que consiste en una red portadora de PET, una capa de barrera de aluminio depositada en vapor y una capa de polietileno que comprende un espesor de película medio total de 33 micras. Pueden haber disponibles y pueden usarse en ejemplos alternativos de la presente invención numerosas otras películas de barrera multicapa similares.

En construcciones de diseño que comprenden un PSA, la rugosidad de la superficie de la capa del envase puede ser de particular importancia, ya que el PSA también puede necesitar sellar las caras de la capa del envase opuestas. La rugosidad superficial puede ser el resultado de procesos de fabricación usados en la producción de láminas y películas, por ejemplo, procesos que emplean laminación, extrusión, estampado y/o calandrado, entre otros. Si la superficie es demasiado rugosa, es posible que no se pueda aplicar el PSA con un espesor uniforme cuando el espesor de PSA deseado puede estar en el orden de la rugosidad superficial Ra (la media aritmética del perfil de rugosidad). Además, los PSA pueden no sellar adecuadamente contra una cara opuesta si la cara opuesta tiene una rugosidad que puede ser del orden del espesor de la capa de PSA. En la presente divulgación, los materiales del envase que tienen una rugosidad superficial, Ra, menor de 10 micras pueden ser ejemplos aceptables. En algunos ejemplos, los valores de rugosidad superficial pueden ser de 5 micras o menos. Y, en otros ejemplos adicionales, la rugosidad superficial puede ser de 1 micra o menos. Los valores de rugosidad superficial pueden medirse por una variedad de métodos que incluyen, pero no están limitados a, técnicas de medición como interferometría de luz blanca, perfilometría de lápiz y similares. Puede haber muchos ejemplos en la técnica de metrología de superficie de que la rugosidad superficial puede describirse por un número de parámetros alternativos y que los valores de rugosidad superficial media, Ra, tratados en la presente pueden ser representativos de los tipos de características inherentes a los procesos de fabricación mencionados anteriormente.

#### Colectores de Corriente y Electrodos

En algunos ejemplos de celdas de zinc-carbono y Leclanché, el colector de corriente del cátodo puede ser una varilla de carbón sinterizado. Este tipo de material puede enfrentar obstáculos técnicos para celdas electroquímicas delgadas de la presente divulgación. En algunos ejemplos, se pueden usar tintas de carbono impreso en celdas electroquímicas delgadas para reemplazar una varilla de carbón sinterizado para el colector de corriente del cátodo, y en estos ejemplos, el dispositivo resultante se puede formar sin deterioro significativo de la celda electroquímica resultante. Típicamente, dichas tintas de carbono pueden aplicarse directamente a materiales de envase que pueden comprender películas de polímeros, o en algunos casos láminas de metal. En los ejemplos en los que la película del envase puede ser una lámina de metal, la tinta de carbono puede necesitar proteger la lámina de metal subyacente de la degradación química y/o la corrosión por el electrolito. Además, en estos ejemplos, el colector de corriente de tinta de carbono puede necesitar proporcionar conductividad eléctrica desde el interior de la celda electroquímica hacia el exterior de la celda electroquímica, lo que implica el sellado alrededor o a través de la tinta de carbono. Debido a la naturaleza porosa de las tintas de carbono, esto no se puede lograr fácilmente sin desafíos significativos. Las tintas de carbono también pueden aplicarse en capas que tienen un espesor finito y relativamente pequeño, por ejemplo, de 10 a 20 micras. En un diseño de celda electroquímica delgada en el que el espesor del envase interno total puede ser solo de 100 a 150 micras, el espesor de una capa de tinta de carbón puede ocupar una fracción significativa del volumen interno total de la celda electroquímica, afectando negativamente el rendimiento eléctrico de la celda. Además, la naturaleza delgada de la batería total y el colector de corriente en particular pueden implicar un área en sección transversal pequeña para el colector de corriente. A medida que la resistencia de una traza aumenta con la longitud de la traza y disminuye con la sección transversal, puede haber una compensación directa entre el espesor del colector de corriente y la resistencia. La resistividad en masa de la tinta de carbono puede ser insuficiente para cumplir con los requisitos de resistencia de las baterías delgadas. También se puede considerar que las tintas rellenas de plata u otros metales conductores disminuyen la resistencia y/o el espesor, pero pueden presentar nuevos desafíos como la incompatibilidad con electrolitos nuevos. En consideración de estos factores, en algunos ejemplos puede ser deseable obtener celdas electroquímicas delgadas eficientes y de alto rendimiento de la presente divulgación utilizando una lámina delgada de metal como colector de corriente, o aplicar una película de metal delgada a una capa del envase de polímero subyacente para que actúe como el colector de corriente. Dichas láminas de metal pueden tener una resistividad significativamente menor, permitiéndoles de este modo cumplir con los requisitos de resistencia eléctrica con mucho

menos espesor que las tintas de carbono impreso.

En algunos ejemplos, una o más de las capas del envase superior y/o inferior pueden servir como un sustrato para una pila de metal o metal del colector de corriente erosionado. Por ejemplo, el respaldo 3M Scotchpak 1109 puede metalizarse usando la deposición de vapor física (PVD) de una o más capas metálicas útiles como colector de corriente para un cátodo. Ejemplos de pilas de metal útiles como colectores de corriente de cátodo pueden ser capas de adhesión de Ti-W (titanio-tungsteno) y capas conductoras de Ti (titanio). Las pilas de metal ejemplares útiles como colectores de corriente de ánodo pueden ser capas de adhesión de Ti-W, capas conductoras de Au (oro) y capas de depósito de In (indio). El espesor de las capas de PVD puede ser preferiblemente menor de 500 nm en total. Si se utilizan múltiples capas de metales, puede ser necesario que las propiedades electroquímicas y de barrera deban ser compatibles con la batería. Por ejemplo, el cobre puede ser galvanizado en la parte superior de una capa de semillas para que crezca una capa gruesa de conductor. Se pueden colocar capas adicionales sobre el cobre. Sin embargo, el cobre puede ser electroquímicamente incompatible con ciertos electrolitos especialmente en presencia de zinc. Por consiguiente, si se usa cobre como una capa en la batería, puede necesitar estar suficientemente aislado del electrolito de la batería. Alternativamente, puede excluirse el cobre u otro metal sustituido.

En algunos otros ejemplos, las láminas del envase superior y/o inferior también pueden funcionar como colectores de corriente. Por ejemplo, una lámina de latón de 25 micras puede ser útil como un colector de corriente de ánodo para un ánodo de zinc. La lámina de latón puede opcionalmente galvanizarse con indio antes del galvanizado con zinc. En una realización preferida, las láminas del envase del colector de corriente de cátodo pueden comprender lámina de titanio, lámina de Hastelloy C-276, lámina de cromo y/o lámina de tantalito. En ciertos diseños, una o más láminas del envase pueden estar borradas finamente, gofradas, grabadas, texturizadas, mecanizadas por láser, o procesadas de otra manera para proporcionar una forma, rugosidad de superficie, y/o geometría deseables al envase de la celda final.

#### Ánodo e Inhibidores de Corrosión del Ánodo

El ánodo para la batería laminar de la presente invención puede comprender preferentemente zinc. En las baterías de carbono de zinc tradicionales, un ánodo de zinc puede tomar la forma física de una lata en la que puede estar contenido el contenido de la celda electroquímica. Para la batería de la presente divulgación, una lata de zinc puede ser un ejemplo, pero puede haber otras formas físicas de zinc que pueden proporcionar para diseños de batería ultrapequeños. deseables de realizar.

El zinc galvanizado puede tener ejemplos de uso en varias industrias, por ejemplo, para el revestimiento protector o estético de partes metálicas. En algunos ejemplos, se puede usar zinc galvanizado para formar ánodos delgados y conformados útiles para las baterías de la presente invención. Además, el zinc galvanizado puede modelarse en configuraciones aparentemente interminables, dependiendo de la intención del diseño. Un medio fácil para modelar zinc galvanizado puede procesarse con el uso de una fotomáscara o una máscara física. Una máscara de chapado puede fabricarse mediante una variedad de enfoques. Un enfoque puede ser usando una fotomáscara. En estos ejemplos, se puede aplicar una capa fotorresistente a un sustrato conductor, el sustrato sobre el que puede chaparse posteriormente el zinc. El patrón de chapado deseado puede ser proyectado luego a la fotorresistencia por medio de una fotomáscara, provocando de este modo el curado de las áreas seleccionadas de la fotorresistencia. La fotorresistencia sin curar puede luego eliminarse con el solvente y las técnicas de limpieza apropiadas. El resultado puede ser un área modelada de material conductor que puede recibir un tratamiento de zinc galvanizado. Aunque este método puede proporcionar beneficios a la forma o al diseño del zinc que va a ser chapado, el enfoque puede requerir el uso de materiales foto-modelables disponibles, que pueden tener propiedades limitadas para la construcción del envase de celda general. Consecuentemente, pueden requerirse métodos nuevos y novedosos para modelar zinc para realizar algunos diseños de microbaterías delgadas de la presente divulgación.

Un medio alternativo para modelar ánodos de zinc puede ser por medio de una aplicación de máscara física. Una máscara física se puede elaborar cortando aperturas deseables en una película que tiene propiedades de barrera y/o envase deseables. Adicionalmente, la película puede tener adhesivo sensible a la presión aplicado a uno o ambos lados. Finalmente, la película puede tener revestimientos de liberación protectores aplicados a uno o ambos adhesivos. El revestimiento de liberación puede servir al doble propósito de proteger el adhesivo durante el corte de apertura y proteger el adhesivo durante los pasos de procesamiento específicos de ensamblaje de la celda electroquímica, específicamente el paso de llenado del cátodo, descrito en la siguiente descripción. En algunos ejemplos, una máscara de zinc puede comprender una película de PET de aproximadamente 100 micras de espesor a la que se puede aplicar un adhesivo sensible a la presión a ambos lados en un espesor de capa de aproximadamente 10-20 micras. Ambas capas de PSA pueden estar recubiertas por una película de liberación de PET que puede tener un tratamiento de superficie de energía superficial baja, y puede tener un espesor aproximado de 50 micras. En estos ejemplos, la máscara de zinc multicapa puede comprender una película de PSA y PET. Las películas de PET y las construcciones de máscaras de zinc de PET/PSA como se describen en la presente pueden procesarse deseablemente con equipo de micromecanizado láser de nanosegundos de precisión, como una estación de trabajo de micromecanizado láser Oxford Lasers E-Series, para crear aperturas ultra-precisas en la

máscara para facilitar el chapado. En esencia, una vez que se ha fabricado la máscara de zinc, se puede quitar un lado del revestimiento de liberación, y la máscara con aperturas puede laminarse al colector de corriente del ánodo y/o a la película/lámina del envase del lado del ánodo. De esta manera, el PSA crea un sello en los bordes interiores de las aperturas, facilitando el enmascaramiento limpio y preciso del zinc durante el galvanizado.

Puede colocarse la máscara de zinc y luego puede realizarse el galvanizado de uno o más materiales metálicos. En algunos ejemplos, el zinc puede galvanizarse directamente sobre una lámina colectora de corriente de ánodo electroquímicamente compatible como latón. En ejemplos de diseño alternativos donde el envase del lado del ánodo comprende una película de polímero o película de polímero multicapa sobre la que se ha aplicado la metalización de semillas, el zinc y/o las soluciones de chapado usadas para depositar zinc, pueden no ser químicamente compatibles con la metalización de semillas subyacente. Las manifestaciones de falta de compatibilidad pueden incluir el agrietamiento de la película, corrosión y/o evolución de  $H_2$  exacerbada al contacto con el electrolito de la celda. En tal caso, se pueden aplicar metales adicionales metal sembrado para afectar una mejor compatibilidad química general en el sistema. Un metal que puede encontrar una utilidad particular en las construcciones de celdas electroquímicas puede ser el indio. El indio puede ser ampliamente usado como un agente de aleación en zinc de grado de batería con su función principal siendo proporcionar una propiedad anti-corrosión al zinc en presencia de electrolito. En algunos ejemplos, el indio puede depositarse con éxito en varias metalizaciones de semillas como Ti-W y Au. Las películas resultantes de 1-3 micras de indio sobre dichas capas de metalización de semillas pueden ser poco tensas y adherentes. De esta manera, la película del envase del lado del ánodo y el colector de corriente unido que tiene una capa superior de indio pueden ser conformables y duraderos. En algunos ejemplos, puede ser posible depositar zinc en una superficie tratada con indio, el depósito resultante puede ser muy no uniforme y nodular. Este efecto puede tener lugar a ajustes de densidad de corriente más bajos, por ejemplo, 20 amperios por pie cuadrado (ASF) ( $215 A.m^{-2}$ ). Como se observa bajo un microscopio, se puede observar que se forman nódulos de zinc en el depósito de indio liso subyacente. En ciertos diseños de celdas electroquímicas, la tolerancia de espacio vertical para la capa del ánodo de zinc puede ser de hasta aproximadamente 5-10 micras como máximo, pero en algunos ejemplos, se pueden usar densidades de corriente más bajas para el galvanizado de zinc, y los crecimientos nodulares resultantes pueden crecer más altos que la tolerancia vertical del ánodo máxima. Es posible que el crecimiento nodular de zinc se deba a una combinación del alto sobrepotencial del indio y la presencia de una capa de óxido de indio.

En algunos ejemplos, un chapado con DC de densidad de corriente más alta puede superar los patrones de crecimiento nodular relativamente grandes del zinc en superficies de indio. Por ejemplo, condiciones de chapado de 100 ASF ( $1080 A.m^{-2}$ ) pueden dar como resultado zinc nodular, pero el tamaño de los nódulos de zinc puede reducirse drásticamente en comparación con condiciones de chapado de 20 ASF ( $215 A.m^{-2}$ ). Además, la cantidad de nódulos puede ser mucho mayor en condiciones de chapado de 100 ASF ( $1080 A.m^{-2}$ ). La película de zinc resultante puede incorporarse finalmente a una capa más o menos uniforme con solo alguna característica residual de crecimiento nodular a la vez que cumple con la tolerancia de espacio vertical de aproximadamente 5-10 micras.

Un beneficio adicional del indio en la celda electroquímica puede ser la reducción de gas de hidrógeno, que puede ser un proceso lento que tiene lugar en las celdas electroquímicas acuosas que contienen zinc. El indio puede aplicarse beneficiosamente a uno o más del colector de corriente del ánodo, el ánodo mismo como un componente de aleación co-chapado, o como un revestimiento de superficie sobre el zinc galvanizado. Para el último caso, los revestimientos superficiales de indio pueden aplicarse deseablemente *in situ* por medio de un aditivo electrolítico como tricloruro de indio o acetato de indio. Cuando dichos aditivos pueden añadirse al electrolito en concentraciones pequeñas, el indio puede chaparse espontáneamente en las superficies de zinc expuestas así como las partes del colector de corriente de ánodo expuestas.

El zinc y ánodos similares comúnmente usados en baterías primarias comerciales se encuentran típicamente en formas de lámina, varilla y pasta. El ánodo de una batería biocompatible, en miniatura puede ser de forma similar, por ejemplo, una lámina delgada, o puede ser chapada como se ha mencionado con anterioridad. Las propiedades de este ánodo pueden diferir significativamente de las de las baterías existentes, por ejemplo, debido a las diferencias en los contaminantes o el acabado superficial atribuidos a los procesos de mecanizado y chapado. En consecuencia, los electrodos y el electrolito pueden requerir un diseño especial para cumplir con los requisitos de capacidad, impedancia y vida útil. Por ejemplo, es posible que sean necesarios parámetros del proceso de chapado, composición del baño de chapado, tratamiento de superficie y composición electrolítica especiales para optimizar el rendimiento del electrodo.

#### Mezcla del Cátodo

Puede haber numerosas mezclas de química del cátodo que pueden ser consistentes con los conceptos de la presente divulgación. En algunos ejemplos, una mezcla del cátodo, que puede ser un término para una formulación química usada para formar el cátodo de una batería, puede aplicarse como una pasta o lechada y puede comprender dióxido de manganeso, alguna forma de carbono conductor como negro de carbono o grafito, y otros componentes opcionales. En algunos ejemplos, estos componentes opcionales pueden comprender uno o más de aglutinantes, sales electrolíticas, inhibidores de la corrosión, agua u otros solventes, surfactantes, modificadores de

reología y otros aditivos conductores como polímeros conductores. Una vez formulada y mezclada apropiadamente, la mezcla del cátodo puede tener una reología deseable que le permite ser dispensada en porciones deseadas del separador y/o del colector de corriente del cátodo, o escurrirse a través de una pantalla o plantilla de una manera similar. En algunos ejemplos, la mezcla del cátodo puede secarse antes de los pasos de ensamblaje de celdas posteriores, mientras que en otros ejemplos, el cátodo puede contener algunos o todos los componentes de electrolitos, y solo se puede secar parcialmente hasta un contenido de humedad seleccionado.

El dióxido de manganeso que puede usarse en la mezcla del cátodo puede ser preferiblemente dióxido de manganeso electrolítico (EMD) debido a la capacidad de energía adicional beneficiosa que proporciona este tipo de dióxido de manganeso en relación con otras formas, como, dióxido de manganeso natural o dióxido de manganeso químico. Además, el EMD útil en baterías de la presente invención puede necesitar tener un tamaño de partícula y una distribución del tamaño de partícula que pueda ser conductor para la formación de pastas/lechadas de mezcla del cátodo depositable o imprimible. Específicamente, el EMD puede procesarse para eliminar componentes particulados significativamente grandes que se considerarían grandes en relación con otras características como las dimensiones internas de la batería, los espesores del separador, los diámetros de la punta de dispensación, los tamaños de abertura de la plantilla, o los tamaños de malla de la pantalla. En algunos ejemplos, el EMD puede tener un tamaño de partícula medio de 7 micras con un contenido de partículas grandes que puede contener partículas de hasta aproximadamente 70 micras. En ejemplos alternativos, el EMD puede tamizarse, molerse adicionalmente, o separarse o procesarse de otra manera para limitar el contenido particulado grande por debajo de un cierto umbral, por ejemplo, 25 micras o menos. Un proceso útil para la reducción del tamaño de partículas de EMD puede ser el molido por chorro en el que se pueden obtener partículas submicrométricas. Otros procesos útiles para la reducción del tamaño de partículas grandes incluir la molienda de bolas o la molienda en 3 rodillos de la pasta de la mezcla del cátodo antes de su uso.

Un aspecto crítico de la pasta de la mezcla del cátodo puede ser el aglutinante polimérico. El aglutinante puede cumplir una serie de funciones en la pasta de la mezcla del cátodo. La función principal del aglutinante puede ser crear una red eléctrica entre partículas suficiente entre las partículas de EMD y las partículas de carbono. Una función secundaria del aglutinante puede ser facilitar el contacto eléctrico con el colector de corriente del cátodo. Una tercera función del aglutinante puede ser influir en las propiedades reológicas de la pasta de la mezcla de cátodo para una distribución y/o estarcido/proyección ventajosa. Todavía, una cuarta función del aglutinante puede ser mejorar la absorción y distribución de electrolitos dentro del cátodo. La elección del polímero aglutinante así como la cantidad específica a usar puede ser crítica para la función beneficiosa del cátodo en la celda electroquímica de la presente divulgación. Si el polímero aglutinante es demasiado soluble en el electrolito que se va a usar, entonces la función principal del aglutinante, la continuidad eléctrica, puede verse afectada drásticamente hasta el punto de la no funcionalidad de la celda. Por el contrario, si el polímero aglutinante es insoluble en el electrolito que se va a usar, las partes de EMD pueden aislarse iónicamente del electrolito, dando como resultado un rendimiento disminuido de la celda como capacidad reducida, voltaje de circuito abierto menor, y/o resistencia interna aumentada. Al final, la elección del polímero aglutinante y la cantidad que se usará puede ser un acto de equilibrio cuidadoso que puede necesitar ser determinado por una experimentación cuidadosa, en algunos ejemplos usando el enfoque de "diseño de experimentos". Los ejemplos de polímeros aglutinantes útiles para la presente divulgación comprenden polivinilpirrolidona, poliisobutileno, copolímeros de tribloque de goma que comprenden bloques finales de estireno como los fabricados por Kraton Polymers, copolímeros de bloque de látex de estireno-butadieno, ácido poliacrílico, hidroxietilcelulosa, carboximetilcelulosa, entre otros.

El cátodo también puede comprender dióxido de plata u oxihidróxido de níquel entre otros materiales candidatos. Dichos materiales pueden ofrecer una capacidad aumentada y una menor disminución del voltaje de carga durante la descarga en relación al dióxido de manganeso, ambas propiedades deseables en una batería. Las baterías basadas en estos cátodos pueden tener ejemplos actuales presentes en la industria y la bibliografía. Una microbatería nueva que utiliza un cátodo de dióxido de plata puede incluir un electrolito biocompatible, por ejemplo, uno que comprende cloruro de zinc y/o cloruro de amonio en lugar de hidróxido de potasio.

#### Arquitectura y Fabricación de Baterías

La arquitectura de la batería y la tecnología de fabricación pueden estar estrechamente entrelazadas. Como se ha tratado en las secciones anteriores de la especificación, una batería tiene los siguientes elementos: cátodo, ánodo, separador, electrolito, colector de corriente del cátodo, colector de corriente del ánodo y envase. El diseño inteligente puede intentar combinar estos elementos en subconjuntos fáciles de fabricar. En otros ejemplos, el diseño optimizado puede tener componentes de doble uso, como el uso de un envase de metal para duplicarlo como un colector de corriente. Desde un punto de vista de volumen y espesor relativo, estos elementos pueden tener casi el mismo volumen, excepto el cátodo. En algunos ejemplos, el sistema electroquímico puede requerir de aproximadamente dos (2) a diez (10) veces el volumen del cátodo como ánodo debido a las diferencias significativas en la densidad mecánica, la densidad de energía, la eficacia de descarga, la pureza del material, y la presencia de aglutinantes, rellenos y agentes conductores. En estos ejemplos, la escala relativa de los diversos componentes puede aproximarse en los siguientes espesores de los elementos: colector de corriente de ánodo = 1  $\mu\text{m}$ ; Colector de corriente de cátodo = 1  $\mu\text{m}$ ; Electrolito = líquido intersticial (efectivamente 0  $\mu\text{m}$ ); Separador = tan delgado o

grosso como se desee donde el espesor máximo planificado puede ser de aproximadamente 15  $\mu\text{m}$ ; Ánodo = 5  $\mu\text{m}$ ; y el cátodo = 50  $\mu\text{m}$ . Para estos ejemplos de elementos, el envase necesario para proporcionar protección suficiente para mantener la química de la batería en entornos de uso puede tener un espesor máximo planificado de aproximadamente 50  $\mu\text{m}$ .

En algunos ejemplos, que pueden ser fundamentalmente diferentes de las construcciones prismáticas grandes, como formas cilíndricas o rectangulares y que pueden ser diferentes a la construcción en estado sólido basada en discos, tales ejemplos pueden asumir una construcción tipo "bolsa", usando redes o láminas fabricadas en varias configuraciones, con elementos de la batería dispuestos en el interior. La contención puede tener dos películas o una película doblada en el otro lado la configuración de las cuales puede formar dos superficies aproximadamente planas, que luego pueden luego sellarse en el perímetro para formar un recipiente. Este factor de forma delgada pero amplia puede hacer que los mismos elementos de la batería sean delgados y amplios. Además, estos ejemplos pueden ser adecuados para su aplicación a través de revestimiento, impresión por huecogrado, serigrafía, pulverización catódica, u otra tecnología de fabricación similar.

Puede haber numerosas disposiciones de los componentes internos, como el ánodo, el separador y el cátodo, en estos ejemplos de baterías "tipo bolsa" con un factor de forma delgado pero amplio. Dentro de la región encerrada formada por las dos películas, estos elementos básicos pueden ser "coplanarios" que están uno al lado del otro en el mismo plano o "co-faciales" que pueden estar cara a cara en planos opuestos. En la disposición coplanar, el ánodo, el separador y el cátodo pueden estar depositados sobre la misma superficie. Para la disposición co-facial, el ánodo se puede depositar en la superficie-1, el cátodo se puede depositar en la superficie-2, y el separador puede colocarse entre los dos, ya sea depositado en uno de los lados, o insertarse como su propio elemento separado.

Otro tipo de ejemplo puede clasificarse como ensamblaje laminado, que puede implicar el uso de películas, ya sea en forma de red o de lámina, para construir una batería capa por capa. Las láminas se pueden unir entre sí utilizando adhesivos, como adhesivos sensibles a la presión, adhesivos activados térmicamente o adhesivos basados en reacciones químicas. En algunos ejemplos, las láminas se pueden unir mediante técnicas de soldadura como soldadura térmica, soldadura ultrasónica y similares. Las láminas pueden prestarse a las prácticas estándar de la industria como ensamblaje rollo a rollo (R2R), o lámina a lámina. Como se ha indicado anteriormente, un volumen interior para cátodo puede necesitar ser sustancialmente más grande que los otros elementos activos en la batería. Gran parte de una construcción de batería puede tener que crear el espacio de este material de cátodo y soportar su migración durante la flexión de la batería. Otra parte de la construcción de la batería que puede consumir porciones significativas del espesor disponible puede ser el material separador. En algunos ejemplos, una forma de lámina del separador puede crear una solución ventajosa para el procesamiento de laminados. En otros ejemplos, el separador puede formarse dispensando material de hidrogel en una capa para que actúe como el separador.

En estos ejemplos de conjuntos de batería laminada, el producto de formación puede tener una lámina de ánodo, que puede ser una combinación de una capa del envase y un colector de corriente del ánodo, así como un sustrato para la capa del ánodo. El producto de formación también puede tener una lámina espaciadora del separador opcional, una lámina espaciadora del cátodo y una lámina del cátodo. La lámina del cátodo puede ser una combinación de una capa del envase y una capa de colector de corriente del cátodo.

El contacto estrecho entre los electrodos y los colectores de corriente es de vital importancia para reducir la impedancia y aumentar la capacidad de descarga. Si partes del electrodo no están en contacto con el colector de corriente, puede aumentar la resistencia ya que la conductividad es entonces a través del electrodo (típicamente menos conductor que el colector de corriente) o una parte del electrodo puede desconectarse totalmente. En las baterías tipo botón y cilíndricas, la relación estrecha se alcanza con la fuerza mecánica para prensar la lata, empacar la pasta en una lata, o por medios similares. En las celdas comerciales se usan arandelas de onda o resortes similares para mantener la fuerza dentro de la batería; sin embargo, estos se añadirían al espesor total de una batería en miniatura. En las baterías de parches típicas, un separador puede saturarse en el electrolito, colocarse a través de los electrodos, y presionarse hacia abajo por el envase externo. En una batería laminar, cofacial existen varios métodos para aumentar la relación estrecha de los electrodos. El ánodo se puede chapar directamente sobre el colector de corriente en lugar de usar una pasta. Este proceso resulta inherentemente en un alto nivel de relación estrecha y conductividad. El cátodo; sin embargo, es típicamente una pasta. Aunque el material aglutinante presente en la pasta del cátodo puede proporcionar adhesión y cohesión, puede ser necesaria una presión mecánica para garantizar que la pasta del cátodo permanezca en contacto con el colector de corriente del cátodo. Esto puede ser especialmente importante ya que el paquete se flexiona y la batería envejece y se descarga, por ejemplo, a medida que la humedad sale del envase a través de sellos delgados y pequeños. La compresión del cátodo puede lograrse en la batería laminar, cofacial introduciendo un separador y/o electrolito compatible entre el ánodo y el cátodo. Un electrolito de gel o separador de hidrogel, por ejemplo, puede comprimir al ensamblarse y no simplemente quedarse fuera de la batería como lo haría un electrolito líquido. Una vez que la batería está sellada, el electrolito y/o el separador pueden empujar hacia atrás contra el cátodo. Se puede realizar un paso de gofrado después del ensamblaje de la pila laminar, introduciendo compresión en la pila.

Procesamiento Ilustrado Ejemplar de Elementos de Energización Biocompatibles - Separador Colocado

Un ejemplo de los pasos que pueden estar involucrados en el procesamiento de los elementos de energización biocompatibles pueden encontrarse en referencia a las Figs. 4A-4N. El procesamiento en algunos de los pasos ejemplares se puede encontrar en las figuras individuales. En la Fig. 4A, puede ilustrarse una combinación de un Espaciador del Cátodo de PET 401 y un Espaciador del Hueco de PET 404. El Espaciador del Cátodo de PET 401 puede formarse aplicando películas de PET 403 que, por ejemplo, pueden ser de aproximadamente 3 mils (76  $\mu$ m) de espesor. A cada lado de la capa de PET se pueden encontrar capas de PSA o éstas pueden cubrirse con una capa de liberación 402 de fluoruro de polivinilideno (PVDF) que puede tener aproximadamente 1 mil (25  $\mu$ m) de espesor. El Espaciador del hueco de PET 404 puede formarse a partir de una capa de PVDF 409 que puede ser de aproximadamente de 3 mils (76  $\mu$ m) de espesor. Puede haber una capa de PET 405 de recubrimiento, que puede tener aproximadamente 0,5 mils (13  $\mu$ m) de espesor. Entre la capa de PVDF 409 y la capa de PET 405 de recubrimiento, en algunos ejemplos, puede haber una capa de PSA.

Procediendo a la Fig. 4B, un orificio 406 en la capa espaciadora del hueco se puede cortar por tratamiento de corte por láser. Luego en la Fig. 4C, la capa espaciadora del hueco de PET puede laminarse 408 a la capa espaciadora del cátodo de PET. Procediendo a la Fig. 4D, un orificio del espaciador del cátodo 410 se puede cortar mediante tratamiento de corte por láser. La alineación de este paso de corte puede registrarse a las características previamente cortadas en la capa espaciadora del hueco de PET. En la Fig. 4E, una capa de Celgard 412, para una última capa separadora, se puede unir a un portador 411. Procediendo a la Fig. 4F, el material de Celgard se puede cortar en figuras que están entre el tamaño de los dos orificios cortados por láser anteriores, y aproximadamente el tamaño del orificio separador del hueco de PET, formando un separador precortado 420. Procediendo a la Fig. 4G, puede usarse una herramienta de recogida y colocación 421 para recoger y colocar piezas discretas de Celgard en sus localizaciones deseadas en el dispositivo en crecimiento. En la Fig. 4H, las piezas de Celgard 422 se sujetan en su sitio y luego puede retirarse la capa de liberación de PVDF 423. Procediendo a la Fig. 4I, la estructura del dispositivo en crecimiento se puede unir a una película del ánodo 425. El ánodo puede estar compuesto por una película colectora del ánodo sobre la cual se ha galvanizado una película del ánodo de zinc.

Procediendo a la Fig. 4J, se puede colocar una lechada de cátodo 430 en el hueco formado. En algunos ejemplos se puede usar una escobilla de goma 431 para esparcir la mezcla del cátodo a través de una pieza de trabajo y en el proceso llenar los huecos de los dispositivos de batería que se están formando. Después del llenado, la capa de liberación de PVDF restante 432 puede eliminarse lo que puede dar como resultado la estructura ilustrada en la Fig. 4K. En la Fig. 4L la estructura completa puede someterse a un proceso de secado que puede contraer la lechada de cátodo 440 para que también esté a la altura de la parte superior de la capa de PET. Procediendo a la Fig. 4M, una capa de película de cátodo 450, que puede tener ya la película del colector de cátodo sobre ella, puede estar unida a la estructura en crecimiento. En una ilustración final en la Fig. 4N puede realizarse un proceso de corte por láser para eliminar las regiones laterales 460 y producir un elemento de batería 470. Puede haber numerosas alteraciones, eliminaciones, cambios en los materiales y objetivos de espesor que pueden ser útiles dentro del propósito de la presente divulgación.

El resultado del procesamiento ejemplar se puede representar con cierto detalle en la Fig. 5. En un ejemplo, se pueden definir las siguientes características de referencia. La química del cátodo 510 puede estar localizada en contacto con el cátodo y el colector del cátodo 520. Una capa adhesiva sensible a la presión 530 puede contener y sellar el colector del cátodo 520 a una capa espaciadora de PET 540. En el otro lado de la capa espaciadora de PET 540, puede haber otra capa de PSA 550, que sella y adhiere la capa espaciadora de PET 540 a la capa del hueco de PET 560. Otra capa de PSA 565 puede sellar y adherir la capa del hueco de PET 560 al ánodo y las capas de colector de corriente del ánodo. Una capa chapada en zinc 570 puede chaparse en el colector de corriente del ánodo 580. La capa separadora 590 puede estar localizada dentro de la estructura para realizar las funciones asociadas tal como se han definido en la presente divulgación. En algunos ejemplos, se puede agregar un electrolito durante el procesamiento del dispositivo, en otros ejemplos, el separador puede comprender ya electrolito.

Ilustración de Procesamiento Ejemplar de Elementos de Energización Biocompatibles - Separador Depositado

Un ejemplo de los pasos que pueden estar involucrados en el procesamiento de elementos de energización biocompatibles puede encontrarse en las Figs. 6A - 6F. El procesamiento en algunos de los pasos ejemplares puede encontrarse en las figuras individuales. Puede haber numerosas alteraciones, eliminaciones, cambios en los materiales y objetivos de espesor que pueden ser útiles dentro del propósito de la presente divulgación.

En la Fig. 6A, se puede ilustrar una construcción laminar 600. La estructura laminar puede comprender dos capas de liberación de construcción laminar 602 y 602a, una capa en cada extremo; dos capas adhesivas de construcción laminar 604 y 604a, localizadas entre las capas de liberación de construcción laminar 602 y 602a; y un núcleo de construcción laminar 606, localizado entre las dos capas adhesivas de construcción laminar 604 y 604a. Las capas de liberación 602 y 602a y las capas adhesivas 604 y 604a de construcción laminar se pueden producir o adquirir, como una cinta de transferencia adhesiva sensible a la presión disponible comercialmente con capa de revestimiento primaria. Las capas adhesivas de construcción laminar 604 pueden ser una capa de PVDF

que puede ser de aproximadamente 1 a 3 milímetros de espesor y cubrir el núcleo de construcción laminar 606. El núcleo de construcción laminar 606 puede comprender una resina de polímero termoplástico como tereftalato de polietileno (PET), que, por ejemplo, puede ser de aproximadamente 3 milímetros de espesor. Procediendo a la Fig. 6B, se puede cortar un orificio para la bolsa del cátodo 608 en la construcción laminar mediante tratamiento de corte por láser. Esto puede formar una capa espaciadora del cátodo.

A continuación, en la Fig. 6C, la capa de liberación de construcción laminar inferior 602 puede retirarse de la construcción laminar, exponiendo la capa adhesiva de construcción laminar 604. La capa adhesiva de construcción laminar 604 puede usarse entonces para adherir una lámina de conexión del ánodo 610 para cubrir la abertura inferior del bolsillo del cátodo 608. Procediendo a la Fig. 6D, la lámina de conexión del ánodo 610 puede protegerse sobre la capa inferior expuesta adhiriendo una capa de enmascaramiento 612. La capa de enmascaramiento 612 puede ser una cinta de transferencia de PSA comercialmente disponible con un revestimiento primario. A continuación, en la Fig. 6E, la lámina de conexión del ánodo 610 puede galvanizarse con un metal coherente 614, por ejemplo zinc, que recubre la sección expuesta de la lámina de conexión del ánodo 610 dentro del bolsillo de cátodo. Pasando a la Fig. 6F, la capa de enmascaramiento de recogida eléctrica del ánodo 612 se retira de la parte inferior de la lámina de conexión del ánodo 610 después del galvanizado. En algunos ejemplos, que se van a tratar en una sección posterior, los materiales pueden revestirse en la cavidad además de los metales, como depósitos de grafito, grafito intercalado con metales o capas semiconductoras.

Las Figs. 7A-7F pueden ilustrar un modo alternativo de procesar los pasos del método ilustrados en las Figs. 6A-6F. Las Figs. 7A-7B pueden ilustrar procesos similares a los representados en las Figs. 6A-6B. La estructura laminar puede comprender dos capas de liberación de construcción laminar, 702 y 702a, una capa en cada extremo; dos capas adhesivas de construcción laminar, 704 y 704a, situadas entre las capas de liberación de construcción laminar 702 y 702a; y un núcleo de construcción laminar 706, localizado entre las dos capas adhesivas de construcción laminar 704 y 704a. Las capas de liberación y las capas adhesivas de construcción laminar se pueden producir o adquirir, como una cinta de transferencia adhesiva sensible a la presión disponible en el mercado con capa de revestimiento primaria. Las capas adhesivas de construcción laminar pueden ser una capa de fluoruro de polivinilideno (PVDF) que puede tener aproximadamente de 1 a 3 milímetros de espesor y tapar el núcleo de construcción laminar 706. El núcleo de construcción laminar 706 puede comprender una resina de polímero termoplástico como tereftalato de polietileno que, por ejemplo, puede tener aproximadamente 3 milímetros de espesor. Procediendo a la Fig. 7B, una cavidad para el bolsillo del cátodo 708 se puede cortar en la construcción laminar mediante tratamiento de corte por láser. En la Fig. 7C, se puede obtener una lámina de conexión del ánodo 710 y una capa protectora de enmascaramiento 712 aplicada a un lado. A continuación, en la Fig. 7D, la lámina de conexión del ánodo 710 puede galvanizarse con una capa 714 de un metal coherente, por ejemplo, zinc. Procediendo a la Fig. 7E, las construcciones laminares de las Figs. 7B y 7D se pueden combinar para formar una nueva construcción laminar como se muestra en la Fig. 7E adhiriendo la Fig. 7B a la capa galvanizada 714 de la Fig. 7D. La capa de liberación 702a de la Fig. 7B puede retirarse para exponer la capa adhesiva 704a de la Fig. 7B para la adherencia sobre la capa galvanizada 714 de la Fig. 7D. Procediendo a continuación a la Fig. 7F, la capa de enmascaramiento protectora del ánodo 712 puede ser retirada del fondo de la lámina de conexión del ánodo 710.

Las Figs. 8A-8H pueden ilustrar la implementación de elementos de energización en una estructura laminar biocompatible, que a veces se denomina montaje laminar o un montaje laminado en la presente, similar a, por ejemplo, los ilustrados en las Figs. 6A-6F y 7A-7F. Procediendo a la Fig. 8A, puede depositarse una mezcla precursora del separador de hidrogel 820 sobre la superficie del montaje laminado. En algunos ejemplos, como se representa, la mezcla precursora de hidrogel 820 se puede aplicar sobre una capa de liberación 802. A continuación, en la Fig. 8B, la mezcla precursora del separador de hidrogel 820 puede escurrirse 850 en el bolsillo del cátodo mientras se limpia de la capa de liberación 802. El término "escurrido" puede referirse en general al uso de una herramienta de aplanamiento o raspado para frotar la superficie y mover el material fluido sobre la superficie y en las cavidades tal como existen. El proceso de escurrido puede realizarse con un equipo similar al dispositivo tipo "escobilla de goma" vernáculo o alternativamente con un dispositivo de aplanado, como filos de cuchillos, filos de maquinillas de afeitar y similares, que pueden estar hechos de numerosos materiales que pueden ser químicamente consistentes con el material que se va a mover.

El procesamiento representado en la Fig. 8B puede realizarse varias veces para asegurar el revestimiento del bolsillo del cátodo e incrementar el espesor de las características resultantes. A continuación, en la Fig. 8C, la mezcla precursora del separador de hidrogel puede dejarse secar para evaporar materiales, que típicamente pueden ser solventes o diluyentes de varios tipos, de la mezcla precursora del separador de hidrogel; luego, los materiales dispensados y aplicados pueden curarse. Puede ser posible repetir ambos procesos representados en las Fig. 8B y Fig. 8C en combinación en algunos ejemplos. En algunos ejemplos, la mezcla precursora del separador de hidrogel se puede curar mediante exposición a calor, mientras que en otros ejemplos el curado se puede realizar por exposición a energía de fotones. En más ejemplos adicionales, el curado puede implicar tanto la exposición a la energía de fotones como calentamiento. Puede haber numerosas maneras de curar la mezcla precursora del separador de hidrogel.

El resultado del curado puede ser formar el material precursor del separador de hidrogel en la pared del bolsillo del cátodo así como la región superficial próxima a una característica del ánodo o el cátodo que en el presente ejemplo puede ser una característica del ánodo. La adherencia del material a las paredes laterales de la cavidad puede ser útil en la función de separación de un separador. El resultado del curado puede ser formar un concentrado de mezcla precursora polimerizada deshidratada 822 que puede considerarse simplemente el separador de la celda. Procediendo a la Fig. 8D, la lechada de cátodo 830 puede depositarse sobre la superficie de la capa de liberación de construcción laminar 802. A continuación, en la Fig. 8E la lechada de cátodo 830 puede ser escurrida en el bolsillo del cátodo y sobre el concentrado de mezcla precursora polimerizada deshidratada 822. La lechada de cátodo puede moverse a su localización deseada en la cavidad a la vez que simultáneamente se limpia en gran medida de la capa de liberación de construcción laminar 802. El proceso de la Fig. 8E puede realizarse varias veces para asegurar el revestimiento de la lechada de cátodo 830 sobre el concentrado de mezcla precursora polimerizada deshidratada 822. A continuación, en la Fig. 8F, puede permitirse que la lechada de cátodo se seque para formar un relleno de cátodo aislado 832 en la parte superior del concentrado de mezcla precursora polimerizada deshidratada 822, llenando el resto del bolsillo de cátodo.

Procediendo a la Fig. 8G, se puede añadir una formulación de electrolito 840 al relleno de cátodo aislado 832 y permitir que hidrate el relleno de cátodo aislado 832 y el concentrado de mezcla precursora polimerizada deshidratada 822. A continuación, en la Fig. 8H, una lámina de conexión del cátodo 816 puede adherirse a la capa adhesiva de construcción laminar restante 804 retirando la capa de liberación de construcción laminar restante 802 y presionando la lámina de conexión 816 en su sitio. La colocación resultante puede dar como resultado cubrir el relleno de cátodo hidratado 842 así como establecer contacto eléctrico con el relleno de cátodo 842 como un colector de corriente del cátodo y medio de conexión.

Las Figs. 9A a 9C pueden ilustrar un ejemplo alternativo del montaje laminado resultante ilustrado en la Fig. 7D. En la Fig. 9A, se puede obtener la lámina de conexión del ánodo 710 y una capa de enmascaramiento protectora 712 aplicada a un lado. La lámina de conexión del ánodo 710 puede chaparse con una capa 714 de metal coherente con, por ejemplo, zinc de una manera similar a la descrita en las figuras anteriores. Procediendo a la Fig. 9B, se puede aplicar un separador de hidrogel 910 sin el uso del método de escobilla de goma ilustrado en la Fig. 8E. La mezcla precursora del separador de hidrogel se puede aplicar de varias maneras, por ejemplo, puede adherirse una película preformada de la mezcla por adherencia física, y alternativamente puede dispensarse una mezcla diluida de la mezcla precursora del separador de hidrogel y luego ajustarla a un espesor deseado mediante el procesamiento de revestimiento por centrifugación. Alternativamente, el material se puede aplicar mediante recubrimiento por pulverización, o cualquier otro procesamiento equivalente.

A continuación, en la Fig. 9C, se representa el procesamiento para crear un segmento del separador de hidrogel que puede funcionar como una contención alrededor de una región separadora. El procesamiento puede crear una región que limita el flujo, o la difusión, de materiales como el electrolito fuera de la estructura interna de los elementos de la batería formados. Puede formarse por tanto dicha característica de bloqueo 920 de varios tipos. La característica de bloqueo, en algunos ejemplos, puede corresponder a una región altamente reticulada de la capa separadora que puede formarse en algunos ejemplos mediante una mayor exposición a energía de fotones en la región deseada de la característica de bloqueo 920. En otros ejemplos, pueden añadirse materiales al material separador de hidrogel antes de que se cure para crear partes regionalmente diferenciadas que tras curarse se convierten en la característica de bloqueo 920. En otros ejemplos más, las regiones del material separador de hidrogel pueden eliminarse ya sea antes o después del curado mediante diversas técnicas incluyendo, por ejemplo, grabado químico de la capa con enmascaramiento para definir la extensión regional. La región del material eliminado puede crear una característica de bloqueo en sí misma o alternativamente puede volver a añadirse materialmente al vacío para crear una característica de bloqueo. El procesamiento del segmento impermeable puede tener lugar a través de varios métodos que incluyen, pero no están limitados a: procesamiento de salida de imágenes, reticulación aumentada, fotodosificación intensa, relleno posterior u omisión de la adherencia del hidrogel para crear un vacío. En algunos ejemplos, puede formarse una construcción o montaje laminado del tipo representado como resultado del procesamiento del procesamiento en la Fig. 9C sin la característica de bloqueo 920.

#### Separadores de Elementos de Batería Polimerizados

En algunos diseños de baterías, el uso de un separador discreto (como se describe en una sección anterior) puede excluirse debido a una variedad de razones como el costo, la disponibilidad de materiales, la calidad de los materiales, o la complejidad del procesamiento para algunas opciones de materiales como ejemplos no limitativos. En tales casos, un molde o separador formado in situ que puede haberse representado en los procesos de las Figs. 8A-8H, por ejemplo, puede proporcionar beneficios deseables. Aunque los separadores de almidón o de pasta se han usado comercialmente con éxito en AA y en otras baterías de formato de Leclanché o de carbono de zinc, dichos separadores pueden ser inadecuados de alguna manera para su uso en ciertos ejemplos de microbaterías laminares. Puede ser necesario prestar particular atención a la uniformidad y consistencia de la geometría para cualquier separador usado en las baterías de la presente divulgación. Puede ser necesario un control preciso sobre el volumen del separador para facilitar la posterior incorporación precisa de los volúmenes de cátodo conocidos y la posterior realización de las capacidades de descarga y rendimiento de la celda consistentes.

Un método para lograr un separador uniforme, mecánicamente robusto formado en el sitio puede ser el uso de formulaciones de hidrogel curables por UV. Se pueden conocer numerosas formulaciones de hidrogeles permeables al agua en varias industrias, por ejemplo, la industria de lentes de contacto. Un ejemplo de un hidrogel común en la industria de lentes de contacto puede ser un gel reticulado de poli(hidroxietilmetacrilato), o simplemente pHEMA. Para numerosas aplicaciones de la presente divulgación, el pHEMA puede poseer muchas propiedades atractivas para uso en baterías de Leclanché y de zinc y carbono. El pHEMA típicamente puede mantener un contenido de agua de aproximadamente el 30-40 por ciento en el estado hidratado mientras se mantiene un módulo elástico de aproximadamente 100 psi (690 kN·m<sup>-2</sup>) o más. Además, las propiedades del módulo y de contenido de agua de los hidrogeles reticulados pueden ser ajustadas por un experto en la técnica incorporando componentes monoméricos (por ejemplo, ácido metacrílico) o poliméricos (por ejemplo, polivinilpirrolidona) hidrófilos adicionales. De esta manera, el contenido de agua, o más específicamente, la permeabilidad iónica del hidrogel puede ajustarse mediante formulación.

De particular ventaja en algunos ejemplos, una formulación de hidrogel moldeable y polimerizable puede contener uno o más diluyentes para facilitar el procesamiento. El diluyente puede elegirse para ser volátil de manera que la mezcla moldeable pueda escurrirse en una cavidad, y luego se permita un tiempo de secado suficiente para eliminar el componente disolvente volátil. Después del secado, se puede iniciar una fotopolimerización a granel mediante exposición a radiación actínica de longitud de onda apropiada, como luz UV azul a 420 nm, para el fotoiniciador elegido, como CG 819. El diluyente volátil puede ayudar a proporcionar una viscosidad de aplicación deseable para facilitar el moldeo de una capa uniforme de material polimerizable en la cavidad. El diluyente volátil también puede proporcionar efectos beneficiosos de reducción de la tensión superficial, particularmente en el caso donde se incorporan monómeros fuertemente polares en la formulación. Otro aspecto que puede ser importante para lograr el moldeo de una capa uniforme de material polimerizable en la cavidad puede ser la viscosidad de la aplicación. Los monómeros reactivos de masa molar pequeña típicamente no tienen viscosidades muy altas, que pueden ser típicamente de unos pocos centipoises (unos pocos mPa·s). En un esfuerzo por proporcionar un control de la viscosidad beneficioso del material separador moldeable y polimerizable, se puede seleccionar un componente polimérico de masa molar alta que se sepa que es compatible con el material polimerizable para su incorporación en la formulación. Los ejemplos de polímeros de masa molar alta que pueden ser adecuados para su incorporación en formulaciones ejemplares pueden incluir polivinilpirrolidona y óxido de polietileno.

En algunos ejemplos, el separador moldeable, polimerizable se puede aplicar ventajosamente en una cavidad diseñada, como se ha descrito con anterioridad. En ejemplos alternativos, puede no haber cavidad en el momento de la polimerización. En su lugar, la formulación de separador moldeable, polimerizable se puede revestir sobre un sustrato que contiene electrodo, por ejemplo, latón chapado en zinc estampado, y posteriormente exponerse a radiación actínica usando una fotomáscara para polimerizar selectivamente el material separador en áreas objetivo. El material del separador no reaccionado puede eliminarse luego por exposición a los solventes de enjuague apropiados. En estos ejemplos, el material separador puede designarse como un separador foto-estampable.

#### Ejemplo de Batería Primaria

En algunos ejemplos del procesamiento de elementos de energización biocompatibles con separadores depositados, se puede formar una batería primaria. Una batería primaria típica se puede caracterizar por su propiedad de único uso. En un ejemplo consistente con el procesamiento laminar, se puede formar una batería con las siguientes características y elementos como se exponen en la Tabla siguiente.

| Elemento                         | Material                                                          |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Colector de corriente del cátodo | Lamina de titanio                                                 |
| Electrodo del cátodo (lechada)   | Lechada que contiene dióxido de manganeso electrolítico y carbono |
| Separador                        | Hidrogel                                                          |
| Electrodo del ánodo              | Zinc galvanizado                                                  |
| Colector de corriente del ánodo  | Lámina de latón                                                   |
| Laminado                         | Núcleo de terfalo de polietileno con adhesivo                     |
| Electrólito                      | Base ZnCl <sub>2</sub> /NH <sub>4</sub> Cl                        |

Puede haber numerosas formulaciones de química del cátodo que pueden ser consistentes con esta invención. Como un ejemplo no limitativo, una formulación puede comprender dióxido de manganeso electrolítico en una mezcla de grafito. En un ejemplo, se puede formar una mezcla de polvo mezclando dióxido de manganeso electrolítico molido a chorro (JMEMD) y grafito KS6 como está disponible de Timcal (TIMCAL TIMREX® Grafito Sintético Primario KS6) en una proporción de 80% de JMEMD a 20% de KS6 en peso. La mezcla puede realizarse

mediante varios medios. Por ejemplo, el JMEMD y el KS6 pueden mezclarse moliendo los dos polvos durante un período prolongado del orden de minutos a horas. En algunos ejemplos, la mezcla de polvo resultante puede mezclarse con un 10% de poliisobutileno (PIB) en solución de tolueno. La solución 10 por ciento de PIB puede formarse a partir de poliisobutileno grado B50 mezclado con tolueno en aproximadamente 10 partes de PIB B50 a 90 partes en peso de formulación de tolueno en peso. El 10 por ciento de PIB puede mezclarse con una cantidad adicional de tolueno y con el polvo JMEMD/K6 para formular una lechada para el procesamiento del cátodo. Esta mezcla de estos materiales puede comenzar con aproximadamente 1,5 partes de solución de PIB B50/tolueno. A esto, se pueden añadir aproximadamente 2,3 partes de tolueno. La mezcla puede completarse con 4,9 partes de polvo de JMEMD/KS6. Esto puede dar como resultado una mezcla que es aproximadamente un 1,7 por ciento PIB, 45 por ciento JMEMD, 11 por ciento KS6, y el resto, tolueno. La mezcla puede proceder hasta que se forme una lechada uniforme con una consistencia pastosa. La cantidad de solvente (tolueno en un ejemplo) en el sistema puede variarse para afectar a las características de la lechada formada, y en otros ejemplos, la cantidad relativa de PIB B50 en la lechada puede variar de la del ejemplo.

Continuando con el ejemplo de la batería primaria, se puede formar un separador de hidrogel de las maneras tratadas en esta divulgación a partir de una mezcla precursora. En un ejemplo, se puede formar una mezcla precursora mezclando hidroxietilmetacrilato (HEMA) con dimetilacrilato de etilenglicol (EGDMA) y con polivinilpirrolidona (PVP). Puede haber otros constituyentes añadidos a la mezcla como fotoiniciadores. Un fotoiniciador ejemplar puede ser óxido de fenilbis (2,4,6-trimetilbenzoyl)-fosfina, que puede estar disponible en formulaciones comerciales incluyendo Irgacure® 819, que también se puede denominar "CGI 819" en la presente. También puede haber numerosos solventes que pueden usarse en cantidades variables para alcanzar una reología deseada de la mezcla. En un ejemplo no limitativo, se puede usar 2-propanol como un solvente apropiado.

Muchas de las discusiones generales sobre los elementos de dispositivos de energización biocompatibles, el cátodo y la lechada de cátodo, tienen ejemplos relacionados con elementos de baterías primarias, y se puede esperar que las variaciones y ejemplos de estos varios elementos comprendan otros ejemplos de elementos de baterías primarias para la presente especificación

En algunos ejemplos, el ánodo de zinc puede formarse galvanizando el zinc sobre el material del colector de corriente del ánodo. En otros ejemplos, como se ha tratado, el galvanizado puede tener lugar a través de la estructura laminada a solo partes expuestas del material del colector de corriente del ánodo. Puede haber numerosas maneras de depositar materiales del ánodo, por ejemplo, laminación o revestimiento metálico; y, otros sistemas de baterías pueden emplear otras especies químicas distintas del zinc, como plata como un ejemplo no limitativo.

La batería puede incluir varios tipos de formulaciones de electrolitos. Se pueden incluir soluciones básicas de hidróxido en el electrolito. Sin embargo, en algunos ejemplos de baterías biocompatibles, se pueden utilizar formulaciones de electrolitos menos básicas. Los electrolitos para su uso en la presente invención pueden incluir cloruro de zinc, acetato de zinc, acetato de amonio, cloruro de amonio y sales similares en concentraciones de masa de aproximadamente el 0,1 por ciento al 30 por ciento. Adicionalmente, pueden añadirse surfactantes a la formulación de electrolito, por ejemplo para mejorar la humectación o reducir la corrosión. Los surfactantes ejemplares pueden incluir Triton™ X-100, Triton™ QS44 y Dowfax™ 3B2 en concentraciones del 0,01 por ciento al 2 por ciento. Como ejemplo puede añadirse Triton™ X-100 a la solución de cloruro de zinc, cloruro de amonio. Un ejemplo de una formulación de electrolito puede ser: 20% de cloruro de zinc, 500 ppm de Triton® QS-44, 200 ppm de indio +3 ion suministrado como acetato de indio, y equilibrio con agua.

#### Ejemplos de Baterías Secundarias

La estructura y los procesos de fabricación que se han descrito en la presente divulgación pueden ser útiles en general para la producción de baterías secundarias, o recargables. Puede haber un número de consideraciones relacionadas con los elementos de baterías secundarias que pueden diferir de las consideraciones hechas para los elementos primarios. El proceso de recarga para un elemento de batería puede dar como resultado hinchamiento y contracción de los componentes de la batería y, por lo tanto las dimensiones de características y capas de contención así como la composición de la batería pueden ajustarse en algunas realizaciones. El uso de capas de polímero gelificado para los electrolitos puede permitir una capa que puede absorber algunos de los aspectos de hinchamiento y contracción a medida que los iones de los electrodos se mueven alrededor del dispositivo durante los ciclos de carga, y posteriormente, durante los ciclos de descarga.

En las baterías secundarias, las capas de ánodo y cátodo pueden cambiar de designación dependiendo de si el dispositivo se está cargando o descargando, y pueden considerarse electrodos primero y segundo. Por lo tanto, puede ser útil referirse al ánodo y al cátodo en referencia a si la celda de la batería se está cargando, de manera que se puede considerar una celda electrolítica, o si se está descargando, de modo que se pueda considerar una celda galvánica. Por lo tanto, cuando se hace referencia como el cátodo de la celda galvánica, la primera estructura del electrodo funcionaría para aceptar espontáneamente electrones de un circuito conectado externamente. Por el contrario, el cátodo de la celda electrolítica funcionaría para aceptar electrones de un elemento de carga externo.

Aunque en algunos ejemplos la clase de baterías de dióxido de zinc manganeso puede funcionar como una batería secundaria, hay muchos ejemplos más comunes de baterías secundarias. En una clase común de baterías secundarias, los iones de litio pueden comprender la especie de productos químicos que almacenan energía. Puede haber numerosas maneras para formar electrodos en baterías ion litio. En el tipo de dispositivos de acuerdo con la presente invención, puede haber numerosos compuestos de litio intercalados que podrían estar presentes en el ánodo de la celda galvánica. Por ejemplo, la lechada de cátodo puede incluir Óxido de Litio Níquel Manganeso Cobalto, Óxido de Litio Manganeso, y Litio Hierro Fosfato, entre otros.

El segundo electrodo puede ser el ánodo de la celda galvánica. En algunos ejemplos, el segundo electrodo puede estar formado de, o recubierto con, grafito u otras formas de carbono. En otros ejemplos, se pueden usar diversas formas de silicio depositado. De maneras similares al galvanizado de zinc tratada con respecto a las baterías primarias, el silicio puede ser galvanizado ya sea en regiones o en una capa plana a lo largo del sustrato. El silicio galvanizado puede formarse sobre la capa de contacto metálica del electrodo, que puede tener revestimientos de superficie de platino, titanio o una capa delgada de silicio en algunos ejemplos. El chapado del material del electrodo puede tener lugar en medios no acuosos que comprenden  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{SiHCl}_3$ ,  $\text{SiBr}_4$ ,  $\text{Si}(\text{CH}_2\text{CH}_3)_4$ , o  $\text{Si}(\text{OOCCH}_3)_4$  como ejemplos no limitativos. En otros ejemplos, las capas de grafito o silicio pueden depositarse por pulverización catódica en la superficie del colector de corriente para formar la segunda región del colector de corriente de una manera similar a la representada en la Figura 7D.

Los electrodos se pueden formar sobre láminas metálicas de manera consistente con las discusiones anteriores relacionadas con el procesamiento del laminado. Estos electrodos y láminas metálicas pueden formar la capa base: es decir, debajo de las capas del laminado que forman la cavidad. También, el otro colector de corriente puede usarse para tapar la estructura laminada después de que se haya formado el cátodo y la celda se haya llenado con el electrolito.

Para formar soluciones de electrolito, pueden disolverse sales de litio típicamente en sistemas de solventes no acuosos. Por lo tanto, estos sistemas de solventes no acuosos pueden interactuar con las varias capas adhesivas de diferentes maneras, y dado que la integridad de los sellos en los dispositivos de batería puede ser importante, pueden haber alteraciones en la elección de los sistemas adhesivos que pueden requerirse dependiendo del uso de los solventes no acuosos. Se conocen formas gelificadas de electrolitos poliméricos en dispositivos de polímero de litio que incorporan electrolitos poliméricos. Pueden realizarse métodos de formación de separadores que comienzan con el llenado del precursor líquido de una cavidad para estos tipos de baterías secundarias donde se puede formar un separador polimerizado a partir de polímeros como PVDF o poli(acrilonitrilo). En algunos ejemplos, puede ser posible utilizar precursores formadores de hidrogeles en los que el polímero se gelifica con sales convencionales consistentes con celdas de litio. Por ejemplo, en un ejemplo no limitativo, un precursor separador puede mezclarse con hexafluorofosfato de litio en solventes no acuosos como carbonato de etileno, carbonato de dimetilo y carbonato de dietilo como ejemplos no limitativos. La capa gelificada resultante puede estar formada con solvente en exceso para permitir la contracción como se ha descrito en relación con el procesamiento del precursor de hidrogel.

En un ejemplo específico no limitativo, se puede formar una estructura laminada basada en cavidad (como se ha descrito en la discusión anterior del procesamiento del laminado) donde la capa inferior puede ser el colector de corriente sobre el que se ha unido una capa de grafito o silicio. Las capas de laminado que se unen al colector de corriente pueden tener las cavidades formadas en ellas como se ha descrito. En un ejemplo no limitativo, se puede formar una solución de moldeo mezclando una proporción aproximada de dos a uno de poli(fluoruro de vinilideno) (PVDF) y poli(dimetilsiloxano) (PDMS), respectivamente, en una mezcla de solventes que comprende N-N Dimetil Acetamida (DMAc) y glicerol. La proporción de DMAc a glicerol puede variarse y puede afectar características tales como la porosidad de la capa separadora resultante. Se puede usar un exceso de la mezcla de solventes para permitir la contracción de la capa resultante en la cavidad para formar una capa separadora delgada. En algunos ejemplos, especialmente para altos niveles de solvente, el sistema adhesivo para la estructura laminada puede alterarse para optimizar la consistencia con el sistema de solvente de DMAc-glicerol. Después del procesamiento con escobilla de goma de la solución de moldeo en las cavidades definidas, la estructura resultante se puede secar a temperatura ambiente o temperatura elevada durante algún período de tiempo. Otras maneras de dispensar la solución de moldeo pueden ser consistentes con los procesos descritos en la presente. Posteriormente, la estructura puede sumergirse en un baño de agua a temperatura ambiente durante 20-40 horas para permitir que el glicerol se disuelva fuera de la capa separadora y dé como resultado una capa con una porosidad deseada. La estructura resultante puede luego secarse en un entorno al vacío durante un periodo de 20-40 horas.

En algunos ejemplos, la capa separadora resultante se puede tratar con exposición a una solución de electrolito. En un ejemplo no limitativo se puede formar una solución de Hexafluorofosfato de Litio 1 Molar en una mezcla aproximadamente 1/1/1 de Carbonato de Etileno (EC)/Carbonato de Dimetilo (DMC) y Etil Metil Carbonato (EMC) y dispensarse en la cavidad. En algunos otros ejemplos la exposición al electrolito puede tener lugar después de que se forme el cátodo dentro de la cavidad.

En un tipo diferente de ejemplo, la estructura laminada puede construirse de la manera esbozada en

referencia a las Figs. 4A-4N. Un separador, como una película de Celgard, puede cortarse a un tamaño de una característica en una capa espaciadora de hueco y luego colocarse en la estructura laminada en lugar de ser llenada en la cavidad. El separador colocado también puede tratarse con una exposición a electrolito antes del procesamiento adicional con una "lechada de cátodo".

La estructura resultante puede estar ahora lista para recibir un tratamiento con la lechada de cátodo. Se pueden usar varias lechadas de cátodo que comprenden diferentes tipos de compuestos de litio; aunque, pueden ser posibles otros tipos químicos distintos del litio. En un ejemplo no limitativo, se puede usar una lechada a base de fosfato de litio hierro ( $\text{LiFePO}_4$ ). En algunos ejemplos, la lechada de fosfato de litio hierro puede formarse mezclando primero carboximetilcelulosa sódica en agua desionizada. A la mezcla resultante, pueden añadirse luego y mezclarse extensivamente un polvo que comprende fosfato de litio hierro y agentes conductores como grafito sintético y negro de carbono. A continuación, se puede formar una lechada refinada adicional añadiendo goma de estireno butadieno y mezclando extensivamente. Luego puede procesarse la lechada en la estructura de la cavidad en medios como se ha descrito en la presente divulgación como mediante el uso de un proceso con escobilla de goma. Puede ajustarse la reología de la lechada para optimizar la integridad del proceso de llenado basado en escobilla de goma, por ejemplo, añadiendo o eliminando solvente o ajustando la cantidad relativa de goma de estireno butadieno añadida. La estructura rellena resultante puede luego secarse en un entorno al vacío durante 20-40 horas.

En algunos ejemplos, las capas de cátodo y separadora resultantes pueden tratarse con exposición a una solución de electrolito. En un ejemplo no limitativo, se puede formar una solución de Hexafluorofosfato de Litio 1 molar en una mezcla de aproximadamente 1/1/1 de Carbonato de Etileno (EC)/Carbonato de Dimetilo (DMC) y Etil Metil Carbonato (EMC) y dispensarse en la cavidad. En algunos ejemplos, el electrolito puede añadirse al cátodo con la ayuda de o un tratamiento a presión o de un tratamiento al vacío para mejorar la difusión de la mezcla de electrolito en las capas.

La segunda capa de colector de corriente puede unirse a la estructura laminada después de la eliminación de una capa de liberación de la estructura laminada. El electrodo adherido puede entrar en contacto con la lechada depositada y proporcionar contacto eléctrico entre el colector de corriente metálico y el cátodo infundido de electrolito dando como resultado una estructura de batería.

Los dispositivos biocompatibles pueden ser, por ejemplo, dispositivos electrónicos implantables, como marcapasos y recolectores de microenergía, píldoras electrónicas para monitorizar y/o probar una función biológica, dispositivos quirúrgicos con componentes activos, dispositivos oftálmicos, bombas micronizadas, desfibriladores, stents, y similares.

Se han descrito ejemplos específicos para ilustrar realizaciones para la formación, métodos de formación, y aparatos de formación de elementos de energización biocompatibles que comprenden separadores. Estos ejemplos son para dicha ilustración y no se pretende que limiten el alcance de las reivindicaciones de ninguna manera. Por consiguiente, se pretende que la descripción abarque todas las realizaciones que puedan ser evidentes para los expertos en la técnica, estando la invención reivindicada definida por las reivindicaciones añadidas.

## Reivindicaciones

1. Una batería biocompatible para su uso en o próxima al cuerpo de un organismo vivo que comprende

5 una capa espaciadora del hueco (560)  
 un primer orificio localizado en la capa espaciadora del hueco (560);  
 una capa espaciadora del cátodo (540), en donde la capa espaciadora del cátodo (540) está unida a la capa  
 espaciadora del hueco (404);  
 un segundo orificio localizado en la capa espaciadora del cátodo (540), en donde el segundo orificio está  
 10 alineado con el primer orificio, y en donde el segundo orificio es más pequeño que el primer orificio de  
 manera modo que cuando el primer orificio y el segundo orificio están alineados hay un saliente de la capa  
 espaciadora del cátodo (560) expuesto en el primer orificio;  
 una capa separadora discreta (590) dentro del primer orificio en la capa espaciadora del hueco y adherida al  
 saliente de la capa espaciadora del cátodo;  
 15 una cavidad entre los lados del segundo orificio y una primera superficie de la capa separadora (590), en  
 donde la cavidad está llena de productos químicos catódicos (510);  
 un primer colector de corriente (580) revestido con productos químicos anódicos;  
 un segundo colector de corriente (520), en donde el segundo colector de corriente está en conexión eléctrica  
 con los productos químicos catódicos (510); y  
 20 un electrolito que comprende productos químicos electrolíticos, en donde los productos químicos catódicos  
 (510), los productos químicos anódicos y los productos químicos electrolíticos se formulan para un único ciclo  
 de descarga de la batería.

25 2. La batería biocompatible de la reivindicación 1, en la que los productos químicos catódicos (510) comprenden una  
 sal de manganeso.

3. La batería biocompatible de la reivindicación 2, en la que los productos químicos catódicos (510) comprende  
 dióxido de manganeso.

30 4. La batería biocompatible de cualquier reivindicación anterior, en la que los productos químicos anódicos  
 comprenden zinc.

5. La batería biocompatible de la reivindicación 4, en la que los productos químicos anódicos comprenden zinc  
 galvanizado.

35 6. La batería biocompatible de cualquier reivindicación anterior, en la que los productos químicos catódicos (510)  
 comprenden grafito.

7. La batería biocompatible de cualquier reivindicación anterior, en la que los productos químicos catódicos (510)  
 40 comprenden polisobutileno.

8. La batería biocompatible de cualquier reivindicación anterior, en la que los productos químicos catódicos (510)  
 comprenden tolueno.

45 9. La batería biocompatible de cualquier reivindicación anterior, en la que los productos químicos catódicos (510)  
 comprenden dióxido de manganeso electrolítico molido a chorro.

50 10. La batería biocompatible de cualquier reivindicación anterior, en la que el electrolito comprende uno o más de  
 cloruro de zinc y cloruro de amonio.

11. La batería de cualquier reivindicación anterior, en la que la batería está conectada eléctricamente a un elemento  
 electroactivo dentro de un dispositivo biomédico.

55

60

65

FIG. 1A

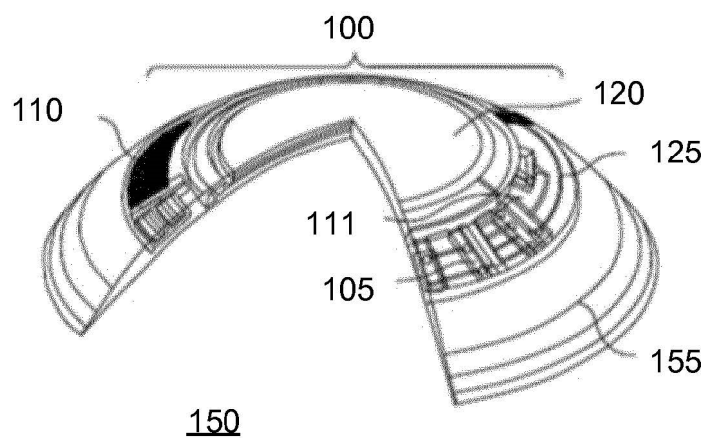
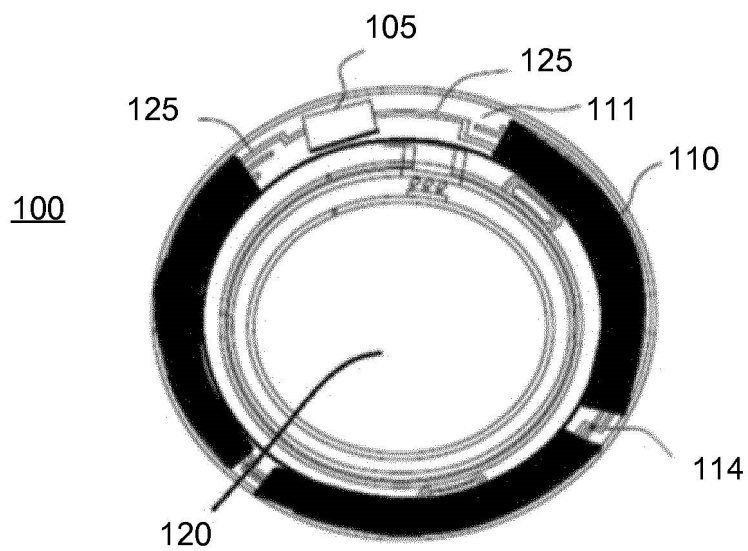


FIG. 1B

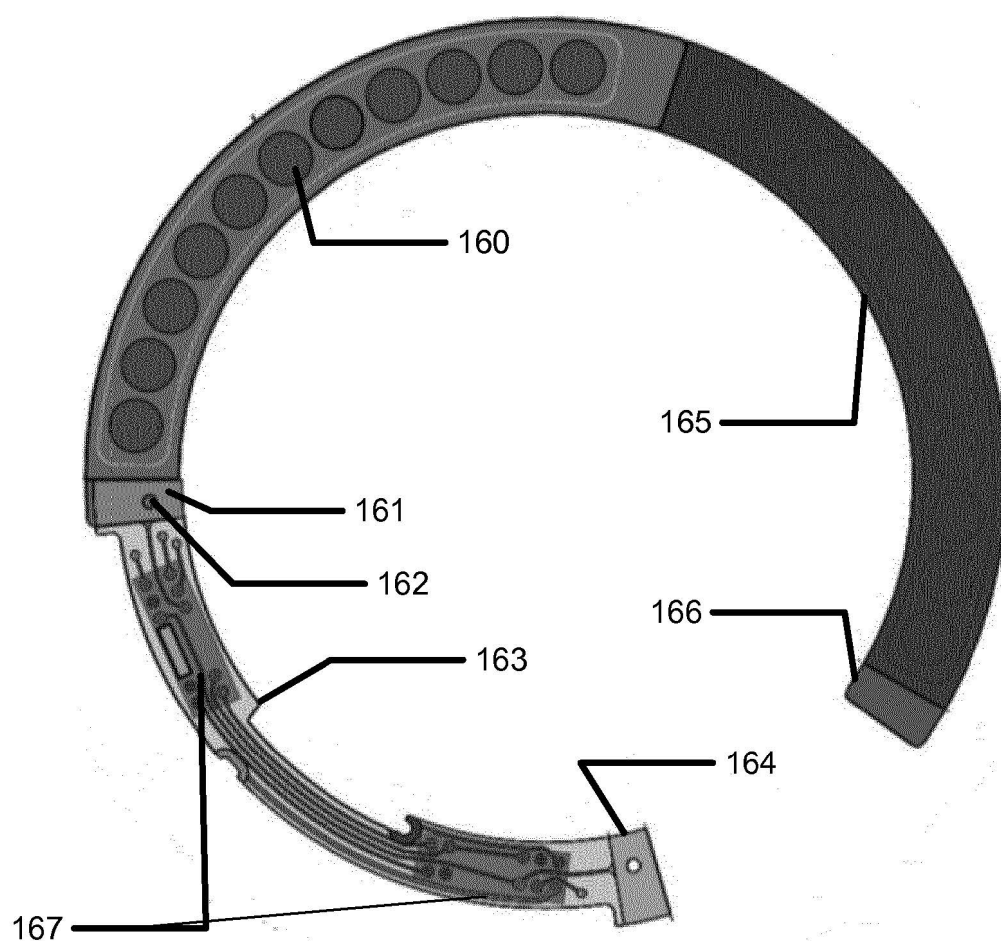


FIG. 1C

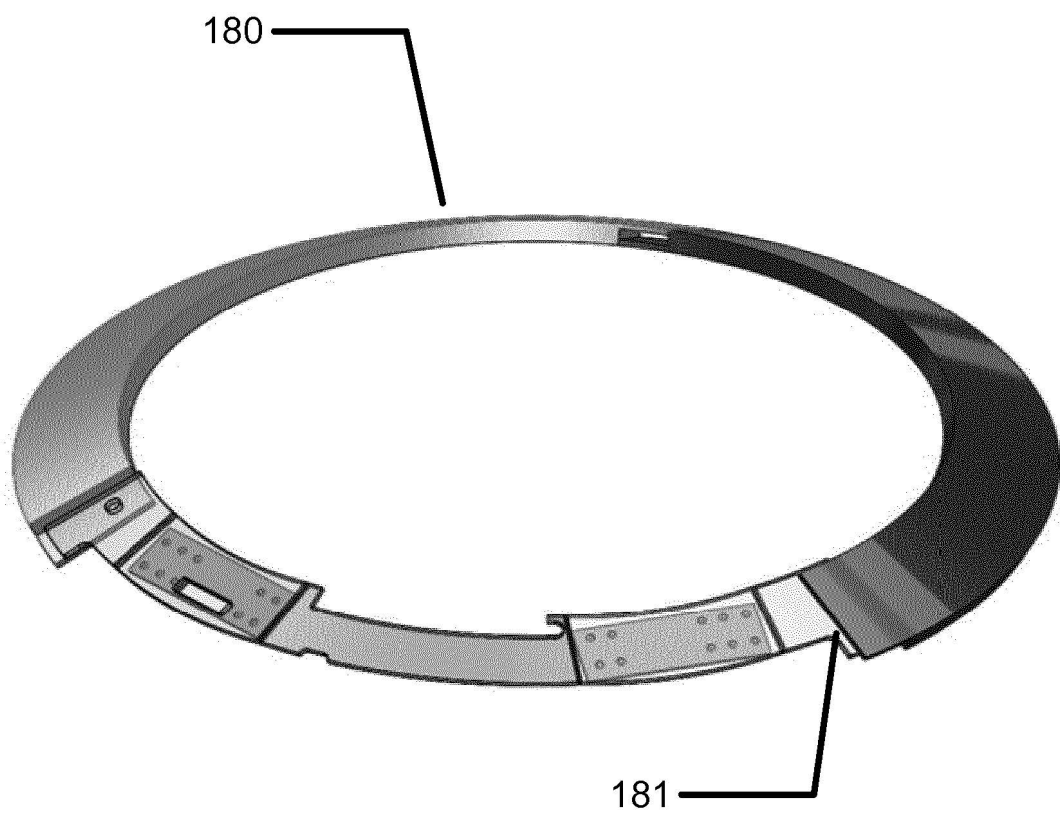


FIG. 1D

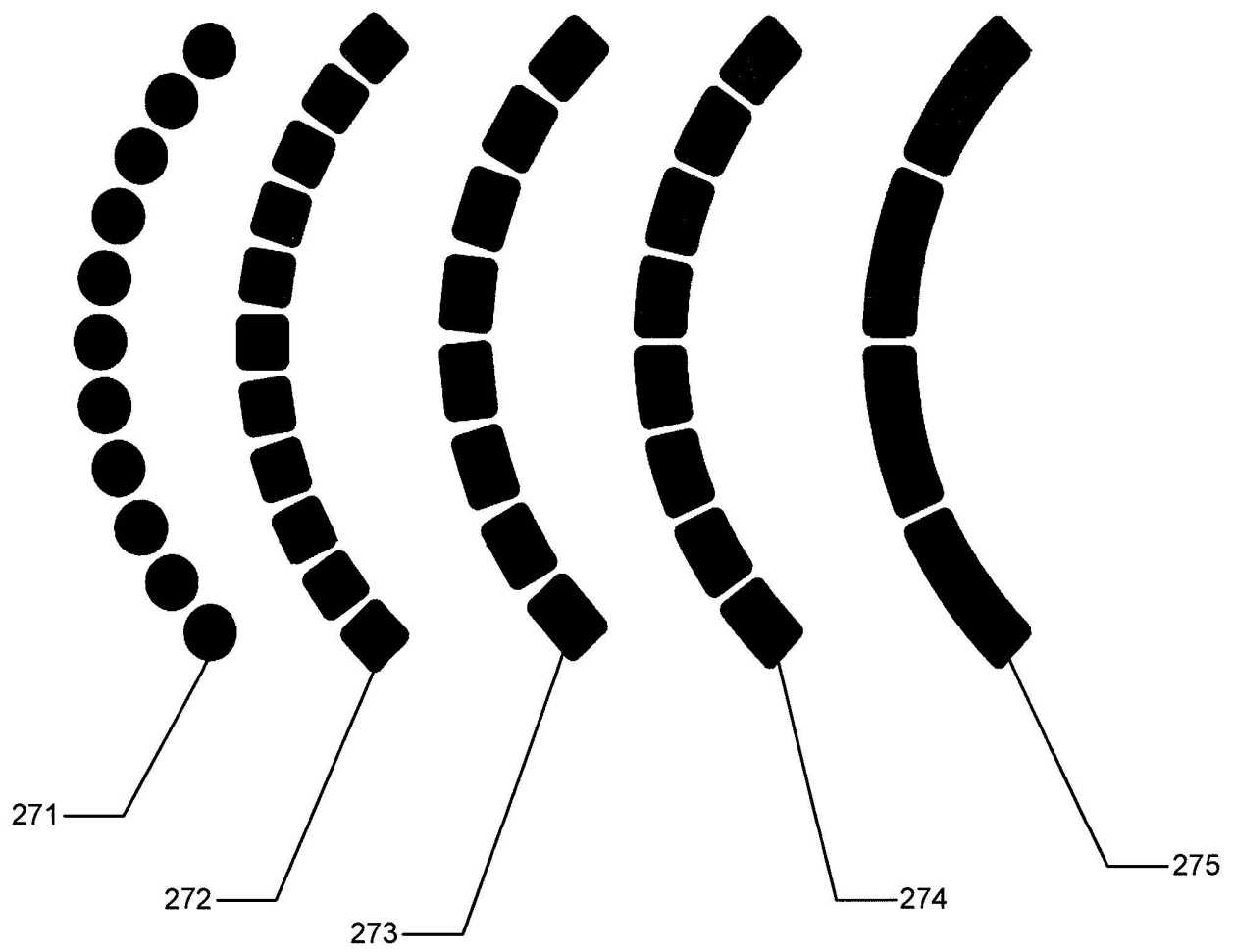
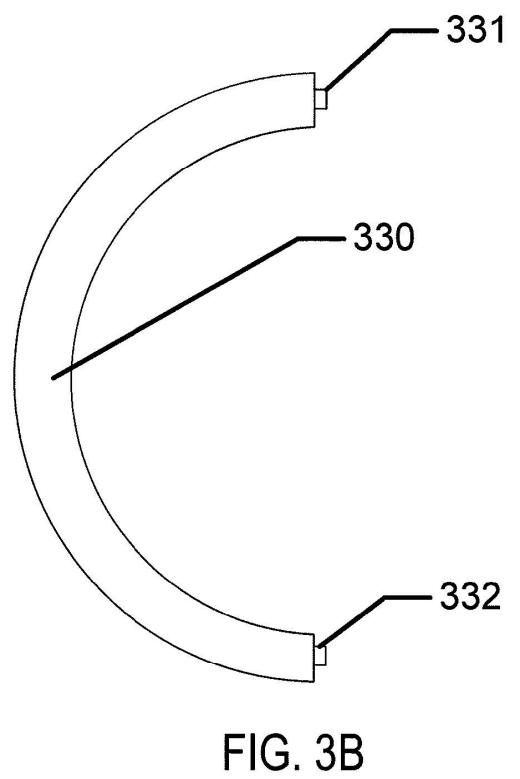
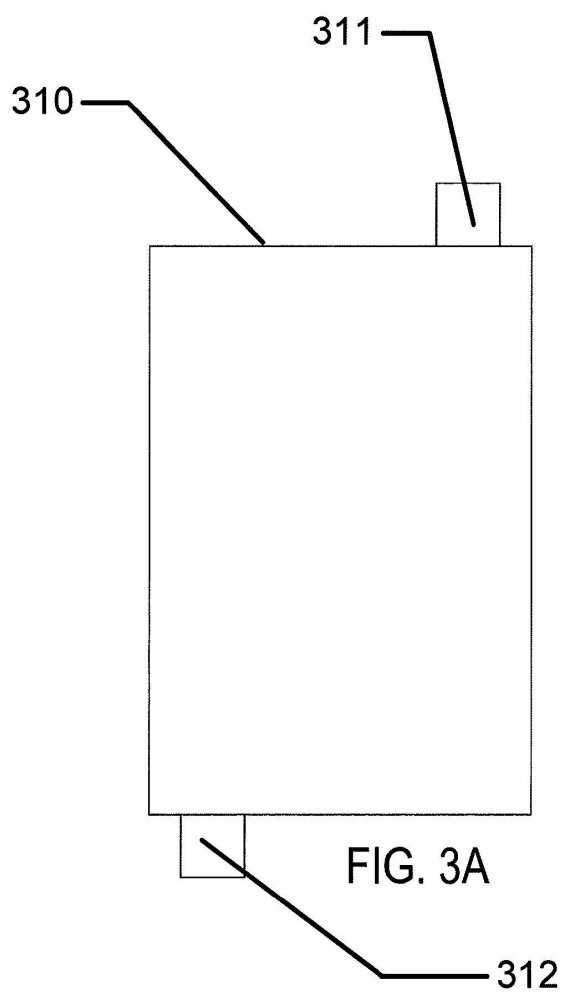
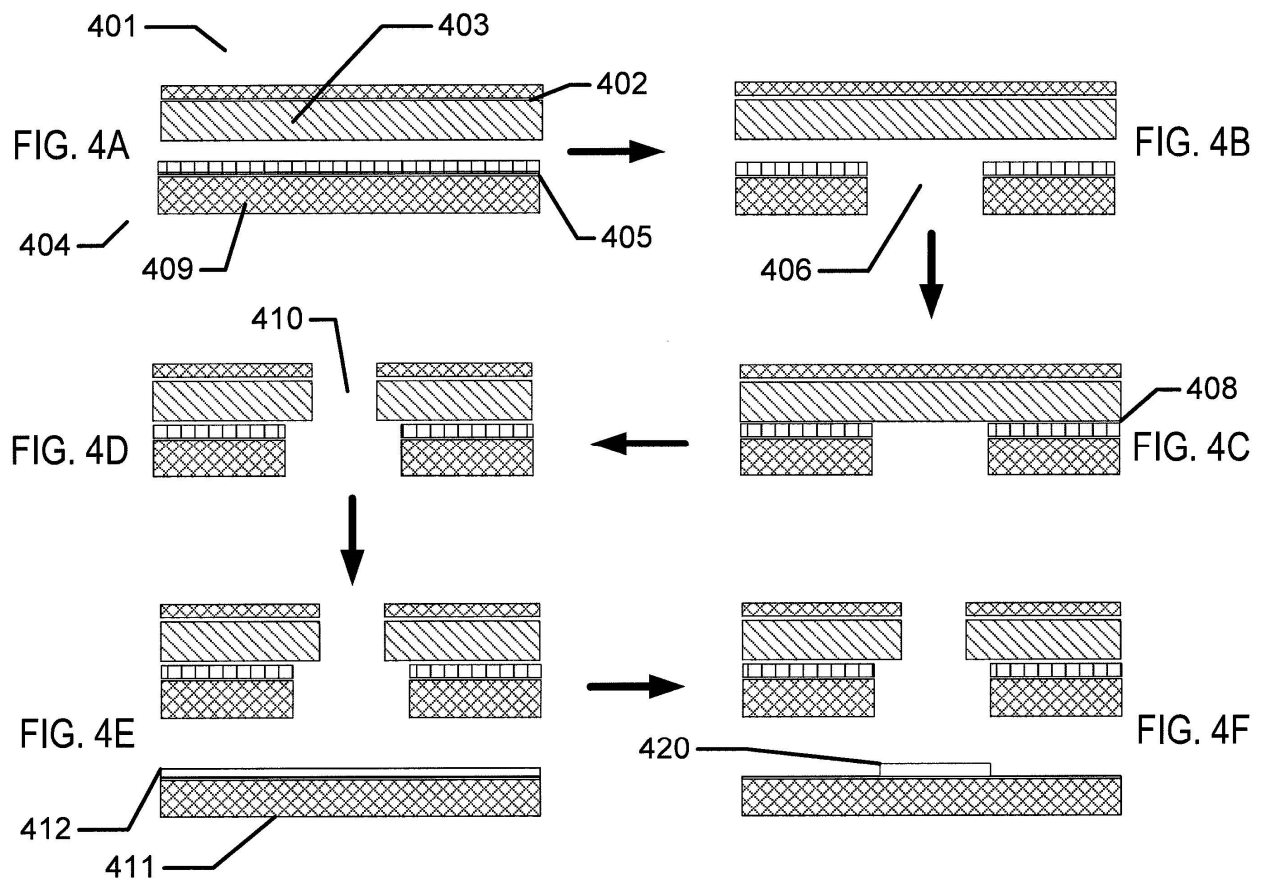
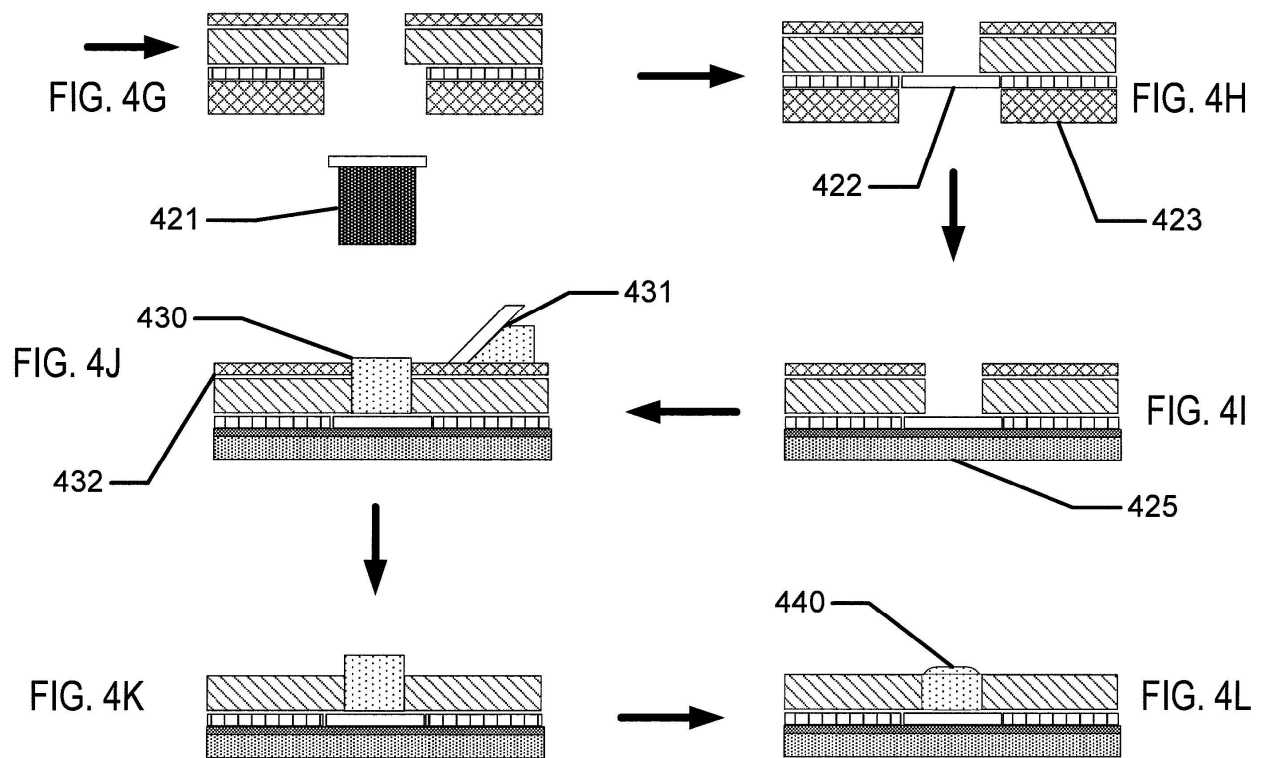


FIG. 2







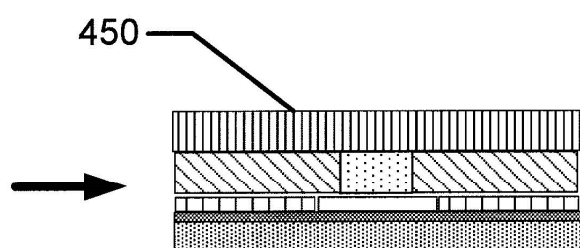


FIG. 4M

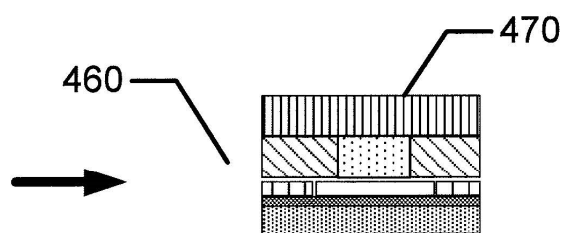


FIG. 4N

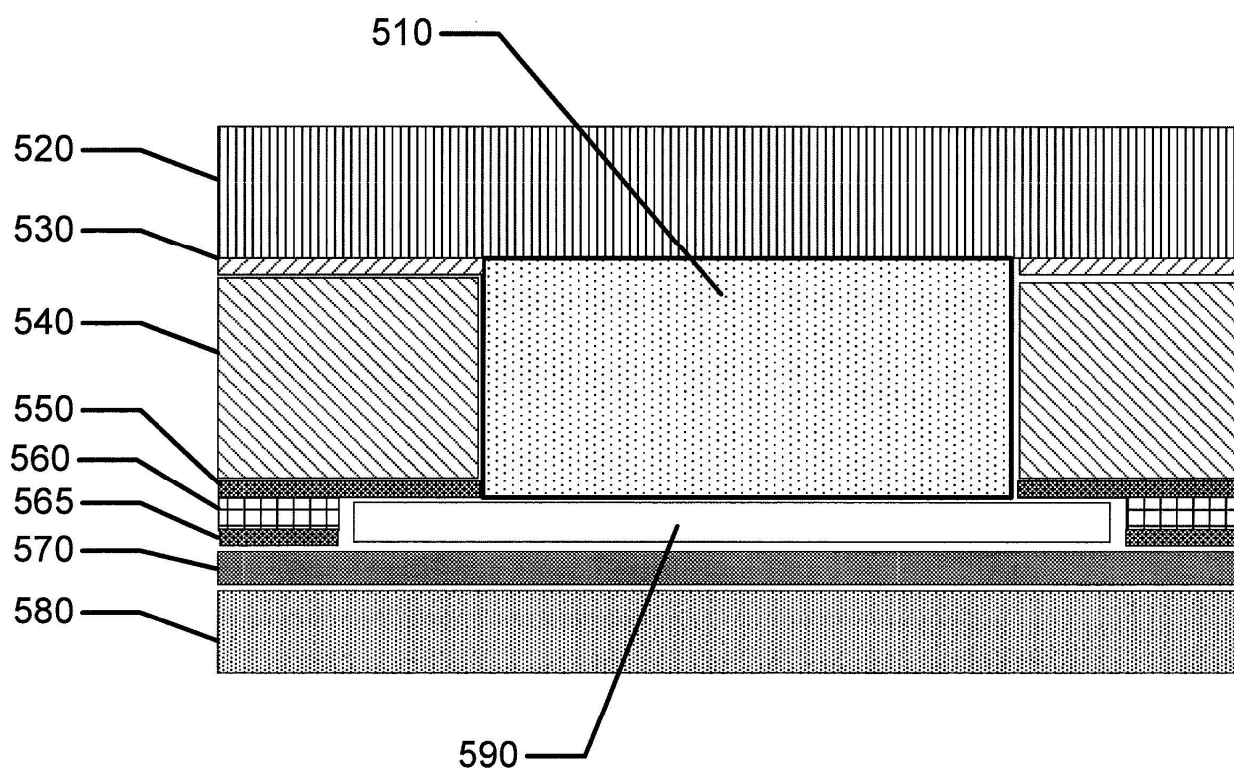
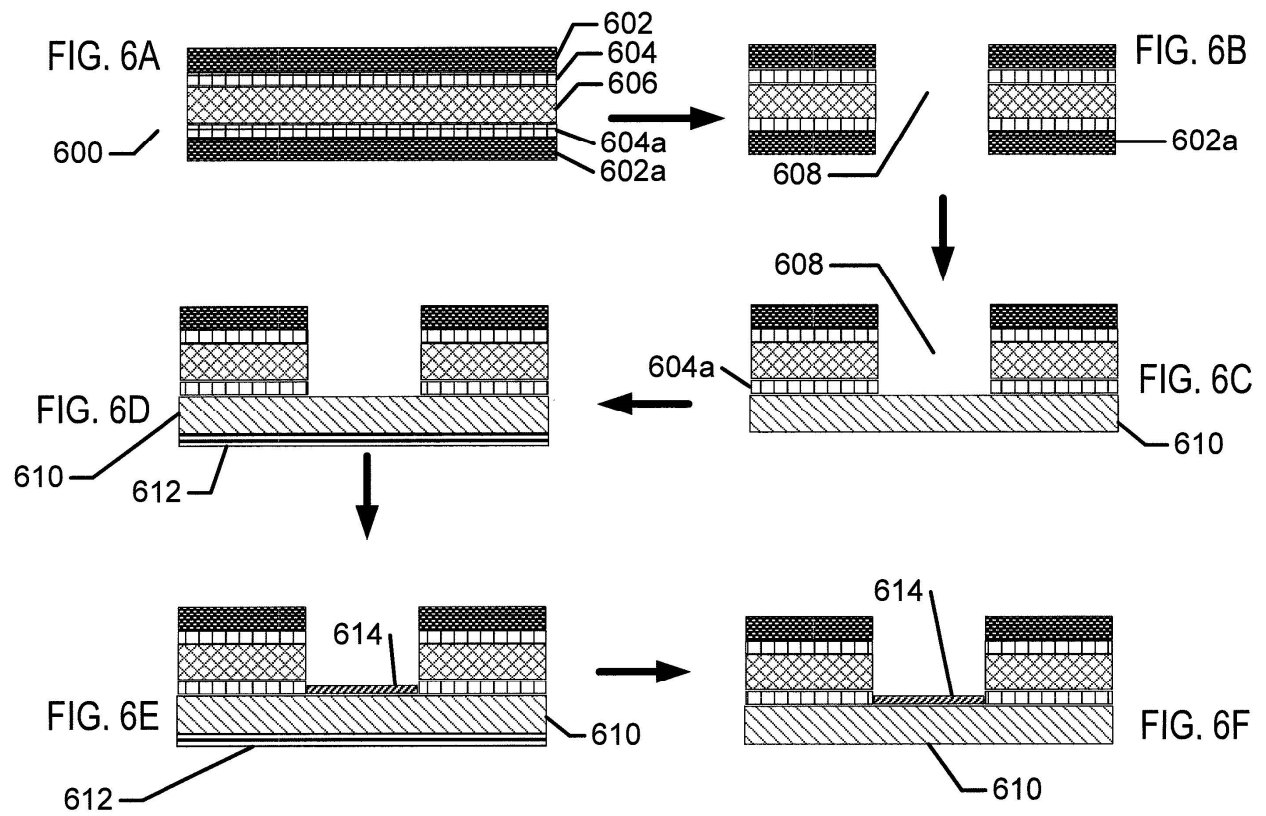
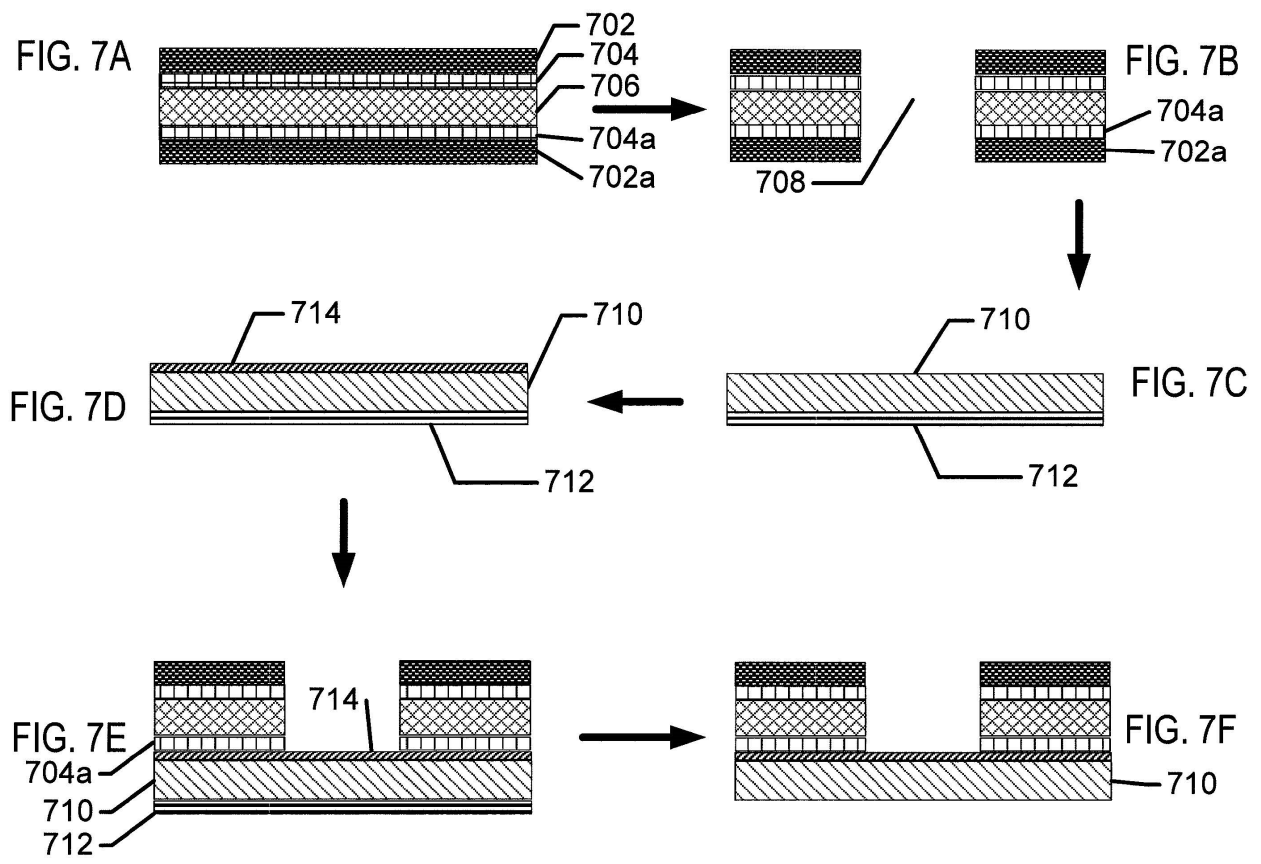
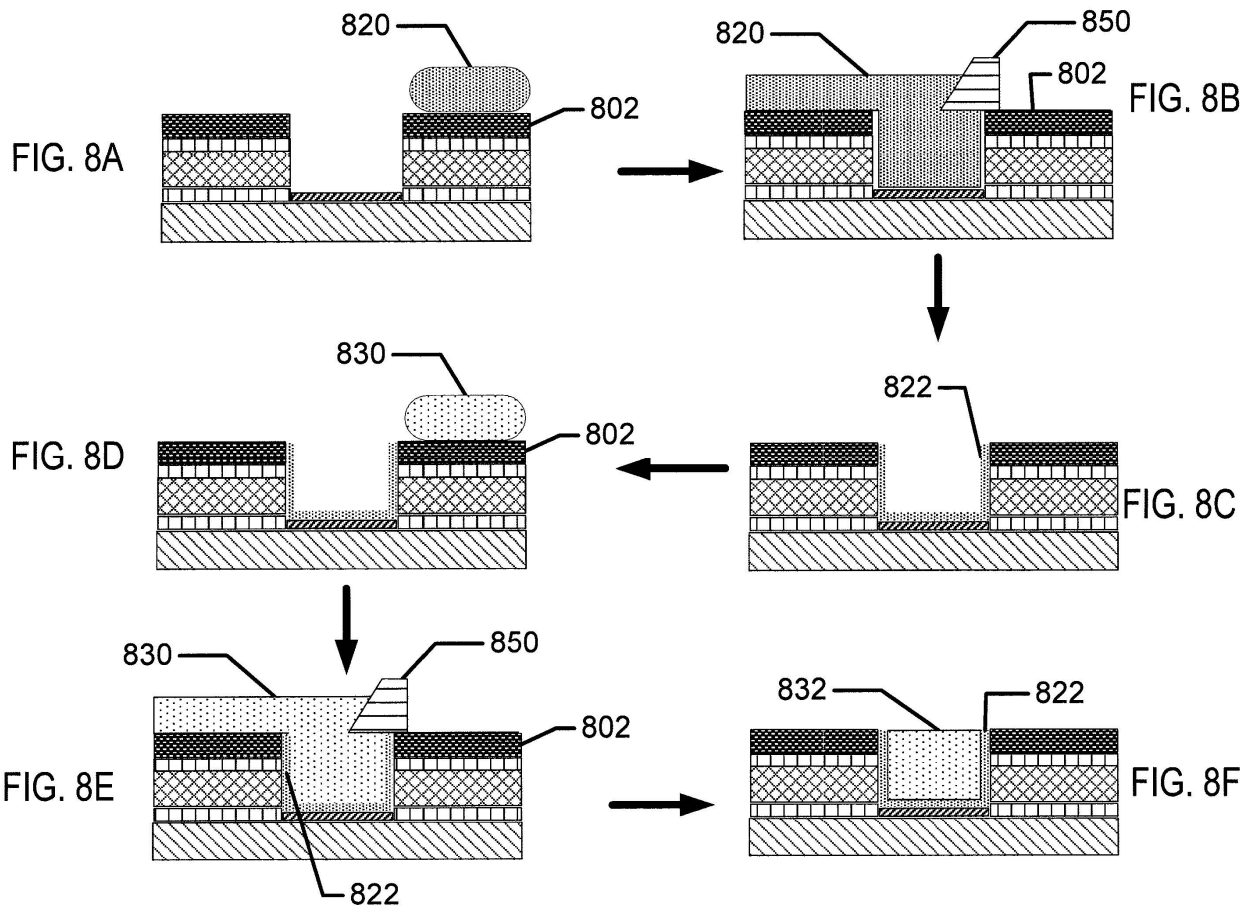


FIG. 5







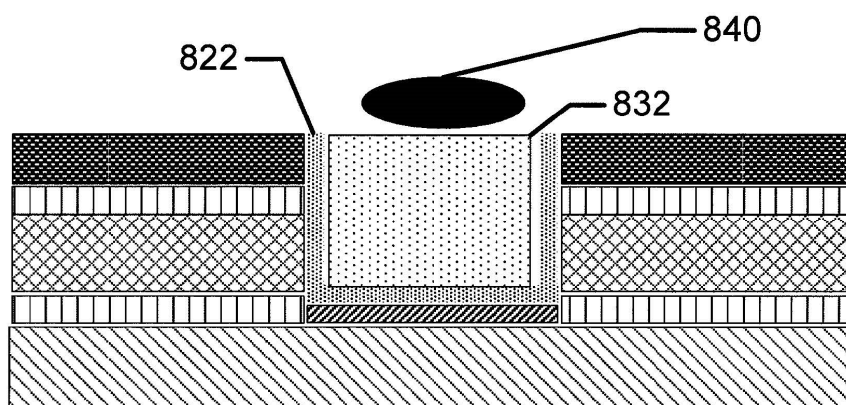


FIG. 8G

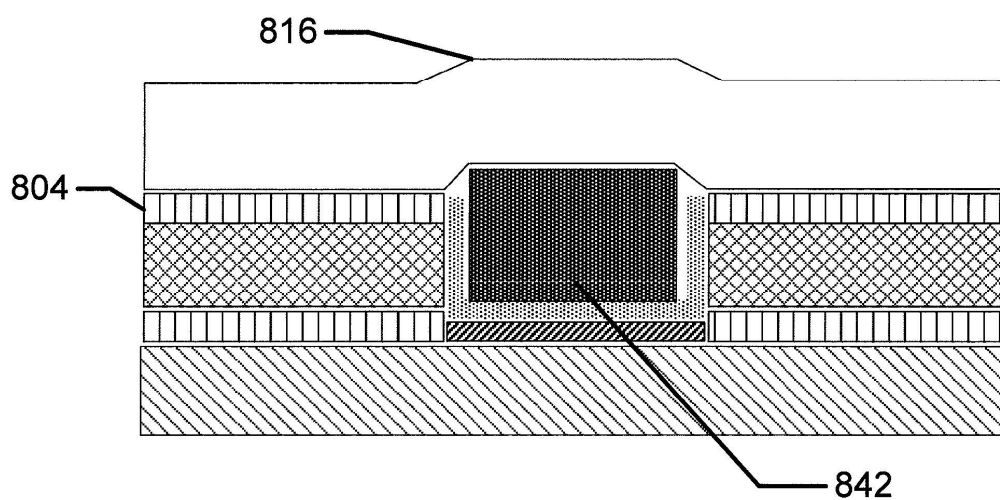


FIG. 8H

