

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 654 943**

51 Int. Cl.:

**C25D 19/00** (2006.01)

**C25D 5/02** (2006.01)

**H01L 21/67** (2006.01)

**C25D 7/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.03.2011 PCT/EP2011/055054**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.01.2012 WO12007191**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2011 E 11711567 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.10.2017 EP 2593590**

54 Título: **Sistema de manipulación automatizada de elementos maestros y sustrato**

30 Prioridad:

**16.07.2010 US 364989 P**  
**15.07.2010 SE 1050795**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.02.2018**

73 Titular/es:

**LUXEMBOURG INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (LIST) (100.0%)**  
**5, avenue des Hauts-Fourneaux**  
**4362 Esch-sur-Alzette , LU**

72 Inventor/es:

**MÖLLER, PATRIK y**  
**FREDENBERG, MIKAEL**

74 Agente/Representante:

**ÁLVAREZ LÓPEZ, Sonia**

ES 2 654 943 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Sistema de manipulación automatizada de elementos maestros y sustrato

### 5 CAMPO TÉCNICO

Esta invención está relacionada en general con el campo de las herramientas de fabricación de semiconductores y la automatización de procesos. Más particularmente, la invención se refiere a la automatización de la manipulación de elementos maestros y sustratos y más particularmente a la manipulación automatizada de elementos maestros y sustratos en un sistema integrado de replicación electroquímica de patrones (ECPR por sus siglas en inglés).

### ANTECEDENTES

Es conocido por automatizar las etapas de procesamiento en la industria de semiconductores. Debido a los altos requisitos sobre el entorno y la exactitud de las etapas de procesamiento, la automatización de semiconductores ha progresado rápidamente.

Las plataformas de herramientas se desarrollaron en respuesta a la demanda de mayores rendimientos y productividad, que han sido impulsados adicionalmente por geometrías de creciente reducción en la producción de circuitos integrados. Puesto que las características son cada vez más pequeñas, al introducirse en el campo de la nanotecnología, los niveles de contaminación que eran aceptables previamente se han vuelto ahora insostenibles.

Una plataforma de herramientas puede ser considerada el pilar de la automatización de semiconductores, ya que permite la manipulación de obleas de silicio o fotomáscaras de cuarzo entre portadores de almacenamiento ultra-limpio y una variedad de sistemas de procesamiento, medición y ensayo. Normalmente contiene los componentes clave necesarios para descargar la oblea de silicio, entregarla a las unidades del proceso para el procesamiento y regreso de la oblea de silicio a su portador tras la compleción.

En muchas industrias relacionadas con semiconductores, la competencia para lograr mediciones de mayor resolución y exactitud requiere una atención similar al problema de lograr una reducción de la contaminación. Uno de los métodos más importantes para lograr esto es automatizar el proceso y por ende eliminar la contaminación asociada con la manipulación de productos por un operador.

Se ha descrito un método de replicación electroquímica de patrones (ECPR) en la solicitud de patente internacional WO 02/103085 A1. Para dicho método ECPR existen requisitos pronunciados para la reducción de la contaminación y una alta precisión. Las etapas correspondientes del proceso de dicho método no pueden llevarse a cabo manualmente con una alta calidad, repetibilidad y rendimiento del proceso.

Un problema de las técnicas de la técnica anterior para realizar métodos ECPR es que la calidad de los patrones metálicos impresos, así como la fiabilidad del proceso de transferencia de metales, que afecta el rendimiento en línea, es una función del tiempo de espera y el entorno en el que se deja esperando un elemento maestro entre una etapa de llenado y una etapa de impresión. Un elemento maestro en ECPR es conocido como un electrodo que comprende una capa de aislamiento con patrones que forma cavidades y que tiene una capa de electrodos conductores en dichas cavidades.

La modificación espontánea y continua de granos tiene lugar en muchos tipos de metales pre-relleno, por ejemplo, el crecimiento espontáneo del grano de cobre electrodepositado a temperatura ambiente durante los tiempos relativamente largos de espera entre las etapas del procesamiento ECPR de la técnica anterior. Debido a un entorno menos controlado en diferentes portadores de oblea, las variaciones en el tamaño del grano y la estructura del metal pre-relleno en elementos maestros se ven agravadas. La calidad de estructuras metálicas impresas, por ejemplo, variaciones de uniformidad, defectibilidad y rugosidad, así como la fiabilidad del proceso de transferencia de metal, que dan lugar a variaciones en el espesor del metal objetivo, depende del tamaño del grano y la rugosidad de la superficie del material pre-relleno que afecta a la disolución durante el proceso de transferencia de metal en microceldas electroquímicas como se utiliza en la impresión ECPR.

Un problema adicional de las técnicas de la técnica anterior para realizar métodos ECPR es que la calidad de los patrones metálicos impresos en términos de tamaño y rugosidad de los granos, así como la adherencia y la densidad de defectos pueden ser una función del tiempo de espera y el entorno en el que un elemento maestro o sustrato se deja esperando entre una etapa de limpieza y/o de activación de la superficie y una etapa de impresión.

Los procesos de modificación espontánea y continua de la superficie tienen lugar en superficies limpias y activadas de capas de semilla de sustrato, así como sobre superficies metálicas pre-rellenadas en elementos maestros incluso en entornos gaseosos relativamente bien controlados, tales como la adsorción de especies inhibitoras electroquímicamente o formación de óxido. Los tiempos de espera entre cada etapa del proceso asociada con el proceso ECPR de la técnica anterior, en un entorno ambiental que tiene una composición gaseosa, una temperatura, y una densidad de partículas, dan lugar a variaciones en el tamaño del grano, rugosidad, adhesión a la capa de semilla, uniformidad de espesor local y densidad de defectos de los patrones metálicos impresos.

Otro problema de las técnicas de la técnica anterior para realizar métodos ECPR es que la rugosidad de las estructuras metálicas impresas después del grabado de semillas, así como la selectividad de grabado entre las estructuras metálicas impresas y la capa de semilla a grabar pueden ser una función del tiempo de espera y el entorno en el que se deja esperando un sustrato impreso entre una etapa de impresión ECPR y una etapa de grabado de semillas. Una vez más, ya que la modificación espontánea y continua de grano tiene lugar en muchos tipos de metales impresos, por ejemplo el crecimiento espontáneo del grano de estructuras de cobre impresas por ECPR a temperatura ambiente, los tiempos relativamente largos de espera entre cada etapa de proceso asociada con el proceso ECPR de la técnica anterior, agravados por entornos menos controlados en diferentes portadores de oblea, pueden dar lugar a un aumento del tamaño de grano y a variaciones en la estructura del grano de patrones metálicos impresos, ya que están sometidos al grabado de semillas tras la impresión. La rugosidad resultante de las estructuras metálicas impresas después del grabado de semillas, así como la selectividad de grabado entre el material de metal impreso y la capa de semilla a grabar depende del tamaño del grano y la estructura del grano del material impreso en el momento en el que se realiza un grabado de semillas.

Un problema adicional con los procesos ECPR de la técnica anterior es que los elementos maestros tendrían que ser cargados/descargados reiteradamente desde y hacia un portador entre las etapas de procesamiento. Esta manipulación y deslizamiento de elementos maestros dentro y fuera de los portadores provoca un desgaste mecánico en los elementos maestros y reduce la durabilidad de los elementos maestros.

Otro problema es mantener una unidad de impresión totalmente ocupada en la impresión en cualquier momento y maximizar de este modo la productividad. Esto se debe a que un segundo elemento maestro necesita ser llenado en paralelo con otro elemento maestro, un tercer elemento maestro que está siendo limpiado con el fin de tener un elemento maestro relleno y limpio listo para el siguiente ciclo del proceso de llenado, limpieza e impresión, en el momento en que se descarga un primer elemento maestro en un primer ciclo de proceso.

Para herramientas independientes de llenado, limpieza e impresión, el problema es que el transporte de obleas de una herramienta a otra se efectúa utilizando portadores de oblea estándar, que contienen normalmente 25 obleas en cada portador. Con el fin de tener un portador de forma simultánea en las tres herramientas, al menos tres portadores con elementos maestros serán necesarios con el fin de mantener la línea de proceso completamente cargada. Incluso si el número de elementos maestros por portador se reduce a un reducido número, por ejemplo 5, que aún puede ser posible en la práctica desde una perspectiva del ciclo de intercambio de portador, en un intento por reducir el número de elementos maestros requeridos, 15 elementos maestros se requerirán para mantener una línea de proceso cargada. Este número de elementos maestros requeridos puede tener un coste y una disponibilidad considerados demasiado altos de elementos maestros específicos.

Además, los mecanismos de nucleación y crecimiento del grano de electrodeposición en microceldas como se utiliza para la impresión ECPR, son en gran medida efectuados por pequeñas cantidades de contaminación y oxidación de la superficie. Un ejemplo es la oxidación y la adsorción de sustancias gaseosas no deseadas en la superficie de capas de semilla de cobre limpiadas y activadas que tienen lugar entre una etapa de limpieza y activación y una etapa del proceso ECPR.

De este modo, existe una necesidad de un sistema de ejecución de las etapas del proceso de un método ECPR que realiza la impresión electroquímica de nano o microestructuras con un elemento maestro sobre una superficie conductora de un sustrato con una alta repetibilidad del tiempo en un entorno de contaminación reducida.

#### RESUMEN DE LA INVENCION

Por consiguiente, la presente invención busca preferiblemente mitigar, aliviar o eliminar una o más de las deficiencias identificadas anteriormente en la técnica y desventajas individualmente o en cualquier combinación y solucionar al menos los problemas mencionados anteriormente proporcionando un sistema según las reivindicaciones de patente adjuntas.

La solución general según la invención es proporcionar un sistema para realizar una impresión electroquímica de nano o microestructuras, con una alta precisión en un entorno de contaminación reducida.

Más particularmente, la invención proporciona un sistema integrado de replicación electroquímica de patrones (ECPR) para realizar una impresión electroquímica de nano o microestructuras con un elemento maestro sobre una superficie conductora de un sustrato con una alta repetibilidad de tiempo en un entorno de contaminación reducida.

Según aspectos de la invención, se describe un sistema integrado de replicación electroquímica de patrones (ECPR) para realizar una impresión electroquímica de nano o microestructuras utilizando un elemento maestro sobre una superficie conductora de un sustrato. Dicho sistema comprende una unidad de llenado y una unidad de limpieza. El método comprende la impresión del sustrato electroquímicamente, utilizando el elemento maestro en un proceso de impresión ECPR, en el que dicho proceso de impresión ECPR comprende un material de transferencia por deposición en las cavidades del elemento maestro en una unidad de llenado, como nano o microestructuras a partir del elemento maestro a la superficie conductora del sustrato en las células rellenas con electrolitos, que se forman por las cavidades del elemento maestro y la superficie conductora del sustrato cuando se coloca el elemento maestro en estrecho contacto con el sustrato. El método comprende además el llenado del elemento maestro con metal en dicha unidad de llenado y el transporte del elemento maestro a partir de dicha unidad de llenado a dicha unidad de impresión anterior a la impresión o limpieza del elemento maestro en dicha unidad de limpieza antes y/o posterior a la etapa de impresión, y el transporte de dicho elemento maestro hacia y desde dicha unidad de impresión ECPR y unidad de llenado o unidad de limpieza utilizando una unidad de robot.

Dicho sistema ECPR integrado comprende la unidad de llenado y la unidad de limpieza.

La unidad de llenado de dicho sistema ECPR integrado puede comprender además una o más unidades de electrodeposición, una unidad de deposición no eléctrica, una unidad para el proceso ECPR configurada para realizar un proceso ECPR inverso, o una unidad de deposición selectiva química en fase de vapor, CVD por sus siglas en inglés.

La unidad de limpieza del sistema ECPR integrado puede comprender además una unidad del proceso de pulverización por vía húmeda, una unidad de distribución química por rotación y por vía húmeda, una unidad de proceso por inmersión por vía húmeda o una unidad de proceso por plasma seco, en el que la unidad de distribución química por rotación y por vía húmeda está configurada para realizar un proceso de rotación-pulverización química por vía húmeda o un proceso de pulverización química por vía húmeda.

El sistema ECPR integrado puede comprender además al menos una unidad de recocido integrada en al menos una unidad seleccionada entre la unidad de impresión ECPR, la unidad de llenado y la unidad de limpieza.

La unidad de control del robot del sistema ECPR integrado está configurada para controlar la unidad de robot para agarrar, sujetar, transportar y liberar el elemento maestro o el sustrato de uno en uno en el flujo de una única oblea.

La carcasa del sistema ECPR integrado puede estar configurada además con uno o más puertos de carga para la aceptación y la devolución de los portadores de elementos maestros y sustratos.

El sistema ECPR integrado puede comprender además una unidad de alineación configurada para alinear el sustrato y el elemento maestro en las primeras posiciones de los mismos.

El sistema ECPR integrado puede comprender además una unidad de almacenamiento temporal del elemento maestro configurada para alojar temporalmente al menos uno o dos elementos maestros para la provisión de un elemento maestro utilizado con un efector terminal para el transporte de dicho elemento maestro utilizado hasta la unidad de llenado.

El sistema ECPR integrado puede comprender además un contador configurado para incrementar un valor de recuento tras el paso de un elemento maestro, para el recuento del número de impresiones realizadas utilizando cada elemento maestro, y en el que el programador está configurado además para determinar si el elemento maestro ha de ser devuelto a un portador del elemento maestro que permite el reciclaje del elemento maestro o utilizado además en el sistema ECPR.

La unidad de alineación del sistema ECPR integrado puede comprender además una unidad de volteo configurada para cambiar la orientación del elemento maestro o sustrato, de manera que el elemento maestro o el sustrato tenga una primera orientación en el portador del elemento maestro y en el portador del sustrato, respectivamente, mientras

uno del elemento maestro y el sustrato tiene una segunda orientación en la unidad de impresión ECPR.

Un efector terminal del sistema ECPR integrado puede, por medio de una unidad de robot, ser controlado para transportar el elemento maestro a partir de al menos una unidad de limpieza a la unidad de alineación, y a partir de la unidad de alineación a la unidad de impresión ECPR, y para transportar el sustrato a partir de la unidad de alineación a la unidad de impresión ECPR.

La unidad de robot del sistema ECPR integrado puede comprender además un segundo efector terminal configurado para agarrar, sujetar y liberar el elemento maestro y el sustrato, y el segundo efector terminal por medio de una unidad de robot controlado, se controla para transportar el elemento maestro a partir de la unidad de impresión ECPR a al menos una unidad de limpieza, y para transportar el sustrato a partir de la unidad de impresión a al menos una unidad de limpieza.

La plataforma de herramientas del sistema ECPR integrado puede comprender además al menos una unidad seleccionada entre una unidad de control de la temperatura y una unidad de filtración de partículas, en la que la unidad de control de la temperatura está configurada para controlar la temperatura del interior del sistema ECPR integrado y la unidad de filtración de partículas está configurada para filtrar el aire de entrada para el sistema ECPR integrado.

La unidad de control de la temperatura del sistema ECPR integrado puede estar configurada además para controlar la temperatura de los fluidos del proceso para al menos una unidad seleccionada entre la unidad de llenado, la unidad de limpieza y la unidad de impresión ECPR.

El sistema ECPR integrado puede comprender además una segunda unidad de limpieza, en el que una unidad de limpieza comprende una unidad de grabado configurada para eliminar por grabado el metal residual a partir del elemento maestro después de la transferencia de metal del elemento maestro al sustrato en la unidad de impresión ECPR, y configurada para el grabado o la activación de la capa de semilla del sustrato, y en el que la segunda unidad de limpieza comprende una unidad de eliminación de partículas para el enjuague y secado del elemento maestro y del sustrato.

El sistema ECPR integrado puede comprender además una unidad de recocido configurada para recocer el sustrato que tiene metal transferido del elemento maestro.

El sistema ECPR integrado puede comprender además un simulador del flujo del sustrato y del elemento maestro y un optimizador del flujo.

El sistema ECPR integrado puede comprender además un software de control del nivel del sistema que comprende una aplicación de programación de oblea para la programación en el tiempo del transporte de sustratos y/o elementos maestros entre diversas unidades de procesamiento, así como el propio procesamiento en diversas unidades de procesamiento, que comprende al menos una unidad seleccionada entre la unidad de llenado, la unidad de limpieza y la unidad de impresión ECPR.

La aplicación de programación de oblea en el software de control del nivel del sistema del sistema ECPR integrado puede configurarse además para el control de establecimientos de conexiones entre las unidades, y para la selección de fórmulas de impresión para la impresión en los sustratos y la adquisición de datos de las etapas y los procesos que se realizan en el sistema ECPR integrado.

La aplicación de programación de oblea en el software de control del nivel del sistema del sistema ECPR integrado puede configurarse además para el control de alarmas y de señales de errores para las unidades. Se describe un método en un sistema integrado de replicación electroquímica de patrones, ECPR para realizar la impresión electroquímica de nano o microestructuras utilizando un elemento maestro sobre una superficie conductora de un sustrato, comprendiendo el sistema una unidad de impresión ECPR y al menos una unidad seleccionada del grupo de una unidad de llenado y una unidad de limpieza.

El método comprende realizar una impresión del sustrato electroquímicamente utilizando el elemento maestro en un proceso de impresión ECPR, en el que dicho proceso de impresión ECPR comprende transferir materiales, por deposición en las cavidades en una unidad de llenado, como nano o microestructuras a partir del elemento maestro hasta la superficie conductora del sustrato en celdas llenas de electrolitos que se forman por las cavidades del elemento maestro y la superficie conductora del sustrato cuando se coloca el elemento maestro en estrecho contacto con el sustrato. La transferencia de materiales puede realizarse alternativamente por disolución de material

- a partir del sustrato mientras se deposita dicho material en el elemento maestro mediante el uso de celdas llenas de electrolitos que se forman por las cavidades del elemento maestro y la superficie conductora del sustrato cuando se coloca el elemento maestro en estrecho contacto con el sustrato. El método comprende además el llenado del elemento maestro con metal en dicha unidad de llenado y el transporte del elemento maestro a partir de dicha
- 5 unidad de llenado a dicha unidad de impresión anterior a la impresión o limpieza del elemento maestro en dicha unidad de limpieza antes y/o posterior a la etapa de impresión. Además, el método comprende el transporte de dicho elemento maestro hacia y desde dicha unidad de impresión ECPR y unidad de llenado o unidad de limpieza utilizando una unidad de robot.
- 10 La unidad de robot en el método, cuya unidad de robot tiene al menos un efector terminal, está configurada para el transporte de dicho elemento maestro hacia y desde dicha unidad de impresión ECPR y unidad de llenado o unidad de limpieza.
- El método puede comprender además el recocido del sustrato impreso después de la etapa de impresión ECPR.
- 15 El método puede comprender además la realización de al menos uno entre limpieza y activación de un sustrato, antes de la impresión ECPR, mediante el uso de un proceso de pulverización química por vía húmeda, proceso de distribución química por rotación y por vía húmeda, proceso por inmersión por vía húmeda o proceso por plasma seco.
- 20 El método puede comprender además la realización del grabado de semillas de una oblea después de la impresión ECPR, utilizando al menos un proceso selecciona entre un proceso de grabado por rotación química por vía húmeda y un proceso de grabado de pulverización química por vía húmeda, un proceso de grabado por inmersión por vía húmeda o un proceso de grabado por plasma seco.
- 25 El método puede comprender además la realización de la limpieza y secado de una oblea de semilla de sustrato después de la impresión ECPR.
- El método puede comprender además el transporte de un sustrato a partir de un portador del sustrato, la realización
- 30 de la impresión del sustrato, seguido por el transporte de sustrato al portador del sustrato.
- El método puede comprender además la limpieza del sustrato después de la etapa de impresión del sustrato y antes de transportarlo al portador del sustrato.
- 35 El método puede comprender además realizar el grabado de semilla del sustrato después de la impresión, pero antes de la etapa de limpieza del sustrato.
- El método puede comprender además realizar el recocido del sustrato después de la impresión, pero antes de la
- 40 etapa del grabado de semilla del sustrato.
- El método puede comprender además la limpieza del sustrato antes de realizar la etapa de impresión.
- El método puede comprender, además la limpieza y la activación de un elemento maestro, antes de la impresión
- 45 ECPR o antes de la etapa de llenado del elemento maestro con metal, en la que en la etapa de limpieza y activación se realiza utilizando un proceso de pulverización química por vía húmeda, un proceso por inmersión por vía húmeda o un proceso por plasma seco.
- La etapa de llenado en el método para realizar la impresión electroquímica de nano o microestructuras, puede comprender además llenar un elemento maestro con material ánodo antes de realizar la impresión ECPR, mediante
- 50 la realización de electrodeposición, deposición no eléctrica, deposición por ECPR inverso o deposición selectiva química en fase de vapor, CVD por sus siglas en inglés en las cavidades de un elemento maestro.
- El método puede comprender además al menos uno entre grabado y la limpieza del elemento maestro, después de la etapa de llenado y antes o después de la etapa de impresión, utilizando un proceso de pulverización química por
- 55 vía húmeda, un proceso por inmersión por vía húmeda o un proceso por plasma seco.
- El método puede comprender además el transporte de un elemento maestro de un portador del elemento maestro, realizando la impresión mediante el uso del elemento maestro, seguido por el transporte del elemento maestro al portador del elemento maestro, que comprende además la realización de al menos uno entre limpieza y grabado del
- 60 elemento maestro, antes, después o antes y después de la etapa de impresión.

El método puede comprender además el transporte de un elemento maestro de un portador del elemento maestro, realizando el llenado en una unidad de llenado, realizando la impresión utilizando el elemento maestro, y transportando el elemento maestro al portador del elemento maestro, o transportando el elemento maestro a la unidad de llenado para realizar el pre-llenado del elemento maestro, conforme al cual un recuento del elemento maestro es incrementado para el elemento maestro cuando el elemento maestro se transporta a la unidad de llenado.

El método puede comprender al menos uno entre el llenado del elemento maestro y, al menos uno entre limpieza y grabado del elemento maestro, antes de la etapa de impresión mediante el uso del elemento maestro.

El método puede comprender además al menos uno de: al menos uno entre limpieza y grabado, y llenado del elemento maestro, antes de la etapa de impresión mediante el uso del elemento maestro.

La realización de al menos uno entre limpieza y grabado en el método para realizar la impresión electroquímica de nano o microestructuras se puede realizar después de la etapa de impresión mediante el uso del elemento maestro.

El método puede comprender el transporte de un elemento maestro a partir de un portador del elemento maestro, la realización de la limpieza del elemento maestro, el llenado del elemento maestro, la realización de la limpieza y, opcionalmente, el grabado del elemento maestro, la impresión mediante el uso del elemento maestro, la realización de grabado del elemento maestro, la realización de la limpieza, seguido por el transporte del elemento maestro al portador del elemento maestro, o el transporte del elemento maestro utilizado a la unidad de llenado para realizar el llenado del elemento maestro, con lo que un recuento del elemento maestro es incrementado para el elemento maestro cuando el elemento maestro se transporta a la unidad de llenado.

El método que implica la etapa de llenado de metal al elemento maestro puede comprender además la realización de recocido después de la etapa de pre-llenado de metal al elemento maestro. Se describe adicionalmente un medio legible por ordenador que comprende un código de programa legible por ordenador.

Al insertar dicho código de programa legible por ordenador en un ordenador al menos asociado con un sistema ECPR integrado, puede ejecutarse un método tal que la impresión electroquímica de nano o microestructuras se puede realizar con un elemento maestro sobre una superficie conductora de un sustrato con una alta precisión espacial en un entorno de contaminación reducida.

Elemento maestro se refiere en esta invención a un electrodo que comprende una capa de aislamiento con patrones que forma cavidades y que tiene una capa de electrodos conductores en dichas cavidades. El sistema ECPR integrado de la presente invención tiene un gran número de ventajas sobre la técnica anterior, de las que algunas son:

La provisión de un control del entorno en la forma de un control de la contaminación aporta la ventaja de una mayor calidad y repetibilidad de los patrones metálicos ECPR impresos y rendimientos del proceso superiores a los que eran posibles anteriormente.

El control de temperatura de un sistema ECPR contenido permite la replicación de patrones con una mayor precisión y una mayor reproducibilidad de lo que era factible previamente.

La provisión de una aplicación de programación permite el control del tiempo de los procesos dependientes del tiempo, aportando una mayor calidad, tal como variaciones menores en la rugosidad, menor defectibilidad, mejor uniformidad de espesor y una mayor reproducibilidad, de lo que eran factibles previamente.

El control del tiempo y del entorno entre las etapas de pre-llenado de un elemento maestro y la impresión del sustrato utilizando el elemento maestro, afecta a la calidad de impresión.

La calidad de estructuras metálicas impresas, por ejemplo, uniformidad y variaciones de rugosidad, así como la fiabilidad del proceso de transferencia de metal, por ejemplo, las variaciones de espesor del metal objetivo, depende del tamaño del grano y la rugosidad superficial del material pre-relleno que afecta a la disolución durante el proceso de transferencia de metal en microceldas electroquímicas como se utiliza en la impresión ECPR.

Los tiempos de espera minimizados y altamente repetibles para el elemento maestro y el sustrato entre las unidades de procesamiento en un entorno controlado son críticos para la calidad de los patrones metálicos impresos cuando se forman en la unidad de impresión.

El control del tiempo y entorno entre las etapas de limpieza/activación de la superficie e impresión del sustrato utilizando el elemento maestro, afecta a las condiciones de la superficie del elemento maestro y a la capa de semilla de los sustratos.

- 5 Mediante la integración de la unidad de llenado y la unidad de impresión en un solo sistema ECPR integrado, pueden minimizarse el tiempo transcurrido para el transporte de la oblea entre el tratamiento de la oblea en dicho tiempo de pre-llenado y la unidad de impresión posterior, así como variaciones en el tiempo. Al proporcionar un entorno local bien controlado en el interior del sistema ECPR integrado, pueden minimizarse la cantidad total de modificación espontánea de grano, así como la variación de oblea a oblea entre el relleno de metal y la impresión. El efecto es mejorar el control de la disolución del metal pre-relleno a partir del elemento maestro durante la impresión, permitiendo una mejora de la uniformidad y rugosidad del metal impreso, así como una mayor fiabilidad de impresión al reducir al mínimo el riesgo de formación de cortocircuitos eléctricos en microceldas.

- 15 Mediante la integración de las unidades del proceso para la limpieza e impresión en un solo sistema ECPR, según algunas formas de realización de la presente invención, el tiempo de espera y las variaciones en el tiempo de espera de oblea a oblea, se reducen al mínimo. La cantidad total de modificación de la superficie, así como las variaciones de la superficie de oblea a oblea entre la limpieza y la impresión pueden minimizarse proporcionando un mini-entorno bien controlado en el interior del sistema integrado. El efecto es mejorar el tamaño de los granos y el control de la rugosidad, mejorar la adherencia entre las estructuras impresas y las capas de semillas, así como reducir la defectibilidad tal como dislocaciones y vacíos, resultantes de las superficies de metal más limpias y más repetibles para capas de semillas y metal pre-relleno en la impresión en la unidad de impresión ECPR integrado.

- 25 El control del tiempo y del entorno entre las etapas de impresión y la etapa de grabado de semillas de los sustratos afecta al tamaño del grano de metal y de este modo a la rugosidad posterior al grabado de semillas, así como a la selectividad entre el metal chapado y el metal de la capa de semillas.

- 30 Mediante la integración de la unidad del proceso de impresión y la unidad de limpieza configurada para el grabado de semillas en un solo sistema ECPR integrado, el tiempo de espera y las variaciones en el tiempo de espera de oblea a oblea, se reducen al mínimo. Al proporcionar un entorno local bien controlado en el interior del sistema ECPR integrado, la cantidad total de modificación espontánea de grano, así como la variación de oblea a oblea entre la impresión y el grabado de semillas pueden ser minimizados. Efectos ventajosos mejoran el control de la rugosidad de la superficie y la selectividad de grabado de la capa de semillas durante el grabado de la capa de semillas en la unidad de limpieza configurada para el grabado.

- 35 La provisión de una aplicación de programación permite además la optimización de tal manera que el número de elementos maestros puede ser minimizado para una alta productividad de sustratos, o que la productividad de los sustratos se maximiza para un pequeño número de elementos maestros.

- 40 Mediante el uso de un flujo de una única oblea del elemento maestro y sustratos, el tiempo transcurrido hasta que el primer sustrato se haya completado y pueda dejar el sistema ECPR integrado, el llamado retraso de la primera oblea, se reduce esencialmente en comparación con la manipulación en forma discontinua de, al menos, sustratos. En el momento en que el primer sustrato impreso a partir de un sistema ECPR integrado se complete así, aún se está procesando una serie de sustratos, utilizando un procesamiento en forma discontinua, sin tener un único sustrato completado. Esto es un claro inconveniente especialmente en series de sustratos relativamente pequeñas.

45 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- 50 Estos y otros aspectos, características y ventajas cuya invención es capaz, resultarán evidentes y se aclararán a partir de la siguiente descripción de formas de realización de la presente invención, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales

- Fig. 1 es una ilustración esquemática de un flujo de oblea por lotes de un elemento maestro y sustrato según técnicas ECPR de la técnica anterior;  
Fig. 2 es una ilustración esquemática de un flujo de única oblea de un elemento maestro y un sustrato, según algunas formas de realización de la presente invención;  
Fig. 3 es una ilustración esquemática de una trayectoria de flujo simplificado de un elemento maestro y un sustrato en un sistema ECPR integrado, según algunas formas de realización de la presente invención;  
Fig. 4 es una presentación de un sistema de bloques de un sistema ECPR integrado, según algunas formas de realización de la presente invención;  
Fig. 5 es una ilustración esquemática de un sistema ECPR integrado según algunas formas de realización de la



presente invención;

Figs. 6 y 7 son trayectorias esquemáticas del flujo de un elemento maestro y un sustrato, respectivamente, entre las unidades de procesamiento de un sistema ECPR integrado, según algunas formas de realización de la presente invención;

5 Figs. 8A y 8B son ilustraciones esquemáticas de secciones transversales relativas al grabado ECPR, según algunas formas de realización de la presente invención; y

Figs. 9A y 9B son ilustraciones esquemáticas de secciones transversales relativas al chapado ECPR, según algunas formas de realización de la presente invención.

## 10 DESCRIPCIÓN DE LAS FORMAS DE REALIZACIÓN

Existe por lo tanto una necesidad de un sistema ECPR integrado capaz de realizar una impresión electroquímica de nano o microestructuras con un elemento maestro sobre una superficie conductora de un sustrato en un entorno local y con una alta precisión.

15

La figura 1 ilustra una línea de proceso de flujo por lotes esquemática según técnicas EPR de la técnica anterior, en las que un elemento maestro y/o sustrato son transportados en lotes entre unidades de procesamiento independiente, tales como entre una unidad de llenado 102, una unidad de limpieza 104, una unidad de impresión 106 y una unidad de limpieza/grabado 108. Representados en la figura 1 también se encuentran los portadores 110,

20

en los que cada uno comprende un lote de elemento maestro o un lote de sustratos.

Los portadores conocidos comprenden un casete abierto de obleas, un conjunto soporte universal con apertura frontal (FOUP, por sus siglas en inglés) o una interfaz mecánica estándar (SMIF, por sus siglas en inglés).

25 Cuando el elemento maestro ha sido procesado por una unidad de procesamiento, el portador que comprende el lote completo se transporta a la siguiente unidad de procesamiento. Por ejemplo, cuando todos los elementos maestros se han llenado con el metal en la unidad de llenado 102, el portador 110 es transportado a la unidad de limpieza 104, en la etapa S-112.

30 Después de haber limpiado todos los elementos maestros por la unidad de limpieza 104, el portador puede ser transportado a la unidad de impresión 106, en la etapa S-114. Cuando todos los elementos maestros se han utilizado en la impresión, el portador que comprende el elemento maestro es transportado, en la etapa S-116, a la unidad de limpieza/grabado 108, que puede realizarse como una unidad de limpieza que está configurada para limpiar y/o grabar.

35

Cuando todos los elementos maestros se limpian y/o graban en la unidad de limpieza/grabado 108, el portador puede ser transportado en la etapa S-118 a la unidad de llenado.

40 Al transportar el elemento maestro en los portadores que tienen lotes de elementos maestros, el tiempo transcurrido entre dos etapas de procesamiento para el mismo elemento maestro es, pues, no sólo el tiempo requerido para transportar el portador que tiene el lote entre las dos unidades de procesamiento, sino también un tiempo considerable de espera que es proporcional al número de elementos maestros comprendido en un lote y el tiempo del proceso de la unidad de la respectiva unidad de proceso.

45 Se ejemplifica que los portadores de esta manera pueden comprender un lote de elementos maestros o sustratos por lo que un flujo que utiliza portadores para el transporte del elemento maestro o sustratos entre las unidades de procesamiento puede indicar un flujo por lotes. Dado que lleva tiempo completar cada etapa de procesamiento y llenar el portador con elementos maestros o sustratos, el portador no puede transportar los elementos maestros o sustratos a una unidad de procesamiento posterior antes de que el portador esté lleno o al menos comprenda el

50 número pre-determinado de elementos maestros o sustratos en uso. El tiempo de espera puede pues ser relativamente largo entre las etapas de procesamiento.

Además, es bien sabido que los materiales metálicos como el cobre pueden experimentar un cambio estructural entre las unidades de procesamiento en flujos de procesamiento. Estos tiempos de espera pueden dar lugar a variaciones del tamaño del grano y en la estructura del material pre-relleno en el elemento maestro, así como modificación de la superficie, adsorción de especies químicas o deposición de partículas en superficies metálicas previamente limpiadas y activadas.

55 Esto supone una desventaja porque la calidad de las estructuras impresas en términos de variaciones de rugosidad, defectibilidad y uniformidad de espesor de metal, así como la repetibilidad del proceso de transferencia de metal

60

dependen del tamaño del grano del material pre-relleno y sus condiciones superficiales y el tamaño del grano del material pre-relleno cambian con el tiempo.

Estos inconvenientes se ven agravados por un entorno menos controlado en diferentes portadores, lo que puede dar lugar a variaciones adicionales en el tamaño del grano y estructuras de material pre-relleno.

Huelga decir que la productividad del elemento maestro y sustratos de alta calidad a través de una línea de producción ECPR se ve afectada por el tiempo de espera entre las etapas de procesamiento en las unidades de procesamiento vecinas.

10

En las formas de realización de la presente invención, el elemento maestro y los sustratos son transportados de uno en uno por un efector terminal de una unidad de robot entre las diferentes unidades de procesamiento en un entorno bien controlado, habilitado por el uso de una plataforma de herramientas, lo que minimiza el tiempo de espera en sí y variaciones de los mismos entre las etapas del proceso. Mediante el uso de una carcasa de un sistema ECPR integrado, se facilita aún más un entorno bien controlado para las unidades de procesamiento en dicho sistema ECPR.

15

La unidad de robot es normalmente una unidad de transporte del elemento maestro y del sustrato, y puede comprender una cinta transportadora, un carril de transferencia levitado con aire, un robot de múltiples ejes, un robot Scara u otro medio de transporte del elemento maestro y el sustrato aplicables.

20

La figura 2 ilustra esquemáticamente un flujo de una única oblea de al menos un elemento maestro en un sistema ECPR integrado. A partir de una unidad de llenado 202, en la que el elemento maestro está lleno de metal, el único elemento maestro 210 se transporta en la etapa S-212 a una unidad de limpieza 204, en la que el elemento maestro 210 se limpia mediante el uso de un proceso por pulverización química por vía húmeda, proceso de distribución química por rotación y por vía húmeda, un proceso por inmersión por vía húmeda o un proceso por plasma seco. A partir de la unidad de limpieza 204, el elemento maestro se transporta en la etapa S-214 a una unidad de impresión 206, en la que un patrón se replica sobre un sustrato mediante el uso de un elemento maestro llenado 210. Después de imprimir el patrón mediante el uso del elemento maestro en la unidad de impresión 206, el único elemento maestro 210 se transporta en la etapa S-216 en el flujo de una única oblea a la unidad de limpieza/grabado 208, que puede ser configurada para grabar y/o limpiar el elemento maestro por medio de un proceso de pulverización química por vía húmeda, un proceso de distribución química por rotación y por vía húmeda, un proceso por inmersión por vía húmeda o un proceso por plasma seco. Después de haber grabado o limpiado el elemento maestro en la unidad de grabado/limpieza 208, la única oblea se transporta entonces a la unidad de llenado 202 en la etapa S-218, en la que un contador del elemento maestro se incrementa para cada ciclo que utiliza un elemento maestro específico.

30

35

Mediante el uso de un flujo de única oblea, el tiempo de espera entre los procesos en las etapas de procesamiento consecutivas por elemento maestro o sustrato puede ser minimizado. Además, variaciones en el tiempo de espera se pueden mantener a un mínimo ya que todas las etapas pueden ser reproducidas en un entorno prácticamente idéntico, como experimentan los elementos maestros y sustratos.

40

A continuación, se describirá el sistema ECPR integrado, así como un método de impresión de sustratos en un sistema ECPR.

45

La figura 3 ilustra una trayectoria de flujo de una única oblea simplificada de un elemento maestro y un sustrato en el sistema ECPR integrado, según algunas formas de realización de la presente invención.

50

En general, un elemento maestro, que tiene cavidades, se llena con un material, antes de la impresión, por lo tanto pre-llenado, tal como metal, en dichas cavidades después de lo cual el elemento maestro y un sustrato son empujados juntos en una etapa de impresión con electrolitos intermedia, formando microceldas llenas de electrolitos definidos por el sustrato y cavidades del elemento maestro mediante el cual el patrón del elemento maestro se replica sobre el sustrato al aplicar un potencial entre el material pre-relleno y el sustrato de modo que el material pre-relleno se transfiere en el interior de dichas microceldas llenas con electrolitos y depositadas sobre el sustrato mediante una reacción electroquímica. Depositado, como se usa en esta invención, también se puede denominar galvanizado, electrodepositado o chapado.

55

Un sustrato puede ser, por ejemplo, una oblea que puede comprender al menos una capa conductora de semillas para recibir la impresión.

60

A partir de un portador del elemento maestro 302, un elemento maestro puede ser transportado en un flujo de única oblea a una unidad de llenado 304 para el llenado de metal sobre el elemento maestro. El elemento maestro lleno de metal se transporta así pues a una unidad de impresión 308 en la que el elemento maestro y un sustrato, que se transportan a partir de un portador del sustrato 306, se empujan entre sí. El metal que está pre-relleno en el elemento maestro ahora está chapado o impreso sobre el sustrato.

Se puede mencionar que cada portador puede estar equipado con un identificador de radiofrecuencia, RFID, por sus siglas en inglés. Cada elemento maestro y sustrato también pueden equiparse con una etiqueta RFID. El sistema ECPR integrado puede comprender un lector de ID del portador de RFID y/o un lector de ID de trazado por láser de la oblea, para identificar el ID de cada portador y cada elemento maestro y sustrato, respectivamente.

La figura 4 presenta una ilustración del sistema de bloques de un sistema integrado de replicación electroquímica de patrones (ECPR), según algunas formas de realización de la presente invención.

El sistema ECPR integrado según algunas formas de realización comprende una plataforma 402, una unidad de llenado 404, una unidad de limpieza 406 y una unidad de impresión 408, y un portador de oblea 410. Se puede observar ya en esta etapa que la unidad de limpieza 406 puede también o alternativamente estar configurada para realizar el grabado. La plataforma 402 está dispuesta para servir dichas unidades como se comprende en el sistema ECPR integrado con las obleas del portador de obleas 410 por medio de una unidad de robot, que no se muestra en esta figura.

Un tipo de una unidad de limpieza puede ser una unidad de limpieza ECPR, que es una unidad de herramientas de fabricación de semiconductores que puede realizar las etapas involucradas en el grabado de metal de los elementos maestros o sustratos, así como la limpieza de los elementos maestros o superficies de sustrato de la contaminación química y de partículas. Las unidades de limpieza ECPR pueden ser configuradas para tener una sola o múltiples cámaras de proceso para el grabado y la limpieza de elementos maestros y sustratos.

Una unidad de control por ordenador puede ser proporcionada en la unidad de limpieza ECPR y se puede utilizar para administrar varias formulaciones de limpieza, ejecutar dichas formulaciones, controlar el proceso de grabado, realizar la adquisición de datos y entregar informes sobre los parámetros medidos y el rendimiento de cada etapa del proceso. La unidad de control por ordenador puede ser configurada para comunicarse con el software de control del nivel del sistema del sistema ECPR integrado utilizando un protocolo de comunicación predefinido para la comunicación de datos, tales como los respectivos parámetros del proceso, las fórmulas de limpieza y/o grabado, los archivos de registro y o notificaciones de limpieza y/o grabado, limpieza de señales de estado, señales de establecimientos de conexiones y limpieza de las señales de errores.

La etapa de limpieza y grabado puede comprender un proceso de grabado por rotación química por vía húmeda, un proceso de grabado por pulverización química por vía húmeda, un proceso de grabado por inmersión por vía húmeda o un proceso de grabado por plasma seco.

En algunas formas de realización de la presente invención, la unidad de limpieza está diseñada y configurada para realizar un grabado químico por vía húmeda y la limpieza de elementos maestros o sustratos en una o más cámaras de procesamiento de rotación-pulverización de única oblea. En estas formas de realización, el elemento maestro o sustrato a procesar puede ser recibido por la unidad y se mantiene en un mandril giratorio mientras las boquillas fijas en la unidad o boquillas en los brazos de distribución móviles se utilizan para distribuir productos químicos húmedos sobre el elemento maestro o superficie del sustrato ECPR. La distribución de productos químicos puede ser realizada por una combinación de boquillas fijas y boquillas de barrido en los brazos de distribución de una manera que junto con la rotación del elemento maestro o el sustrato se optimiza la uniformidad del grabado, la limpieza o la operación de limpieza y grabado sobre la superficie del elemento maestro o sustrato. Diferentes boquillas de distribución, tales como pulverización por chorro en abanico, pulverización a alta presión, pulverización a alta velocidad o presión, punto de uso de boquillas de mezclado y/o transductores mega sónicos se pueden utilizar para lograr una mejor agitación y uniformidad de distribución, optimizando así las operaciones de grabado, y/o agitación mejorada y potenciado de interacciones físicas con la superficie de la oblea, optimizando así las operaciones de limpieza de la superficie y de las partículas. Las unidades de limpieza ECPR y las unidades de grabado pueden ser configuradas con múltiples tanques de mezcla y suministro para la preparación y distribución de grabado y limpieza de los productos químicos en múltiples líneas de suministro químico conectadas a las diferentes boquillas de distribución. Todas las líneas de suministro químico se pueden configurar con unidades de filtración de alta pureza y de control de la temperatura para garantizar niveles mínimos de contaminación y garantizar el control de la temperatura del proceso de los productos químicos, el agua de enjuague y los gases utilizados en las secuencias del proceso. Los tanques de circulación química con filtrado opcional y con funcionalidad de bombeo pueden utilizarse

con el fin de permitir la reutilización de sustancias químicas en múltiples elementos maestros o sustratos.

En algunas otras formas de realización de la presente invención, la unidad de limpieza puede ser diseñada y configurada para realizar un grabado químico por vía húmeda y la limpieza de los elementos maestros o sustratos por inmersión en un baño de procesamiento por vía húmeda con agitación y filtración. Las unidades de limpieza ECPR para el procesamiento de inmersión se pueden configurar con varios tanques de mezcla y suministro para la preparación y distribución de grabado y limpieza de productos químicos en múltiples líneas de suministro químico conectadas a los baños. Todas las líneas de suministro químico se pueden configurar con unidades de filtración de alta pureza y de control de la temperatura para garantizar niveles mínimos de contaminación y asegurar el control de la temperatura de los productos químicos del proceso, agua de enjuague y de los gases utilizados en las secuencias del proceso. Los tanques de circulación química con filtrado opcional y con funcionalidad de bombeo pueden utilizarse con el fin de permitir la reutilización de sustancias químicas en múltiples elementos maestros o sustratos.

En otras formas de realización de la presente invención, la unidad de limpieza ECPR puede ser diseñada y configurada para realizar el grabado en seco o la activación por plasma utilizando un grabado basado en plasma y/o procesos de activación del sistema ECPR integrado. Tal unidad de limpieza ECPR configurada para el grabado puede tener líneas de suministro de gas y una fuente de alimentación de generación de plasma conectada a una cámara del proceso de grabado en seco, en la que se puede realizar el grabado en seco de las capas de metal.

Además, el sistema ECPR integrado también puede comprender una interfaz de control del sistema 412 y una base de datos de herramientas 414, para controlar una unidad de control de robot y para controlar el funcionamiento de las unidades como se comprende en el sistema ECPR integrado. Además, la interfaz de control del sistema puede ser operada por un operador o de forma remota mediante el uso de una interfaz de automatización de fábricas. Por lo tanto, la interfaz de control del sistema se puede utilizar para la adaptación de etapas de procesamiento en el sistema ECPR por cada usuario o caso de uso, mediante el uso de la base de datos de herramientas 414.

El sistema integrado ECPR se presentará ahora con más detalle con referencia a la figura 5, que ilustra un sistema ECPR integrado 500 para la manipulación de las obleas tales como elementos maestros y sustratos en un proceso de flujo de una única oblea de fabricación ECPR de semiconductores, según algunas formas de realización de la presente invención. El sistema ECPR integrado 500 comprende una serie de unidades del proceso 508-524 para llevar a cabo varios procesos en un flujo de una única oblea tal como chapado electroquímico o procesos de deposición, proceso de impresión ECPR, procesos de grabado, procesos de limpieza, y similares.

El flujo de una única oblea representa que cada elemento maestro y sustrato se procesa en cada unidad de procesamiento de uno en uno y se transportan entre las unidades por un efector terminal de uno en uno. Sin embargo, esto no excluye que varios elementos maestros y/o sustratos se puedan procesar en diferentes unidades de procesamiento al mismo tiempo en paralelo. Mediante el procesamiento de elementos maestros y sustratos de uno en uno en las unidades de procesamiento se aporta una serie de ventajas que resultarán evidentes a continuación.

El sistema ECPR integrado puede pues realizar las etapas del proceso de impresión electroquímica de nano o microestructuras con un elemento maestro sobre una superficie conductora de un sustrato.

El elemento maestro es un electrodo de plantilla que se puede insertar en una unidad de impresión ECPR con el fin de replicar un patrón de metal del elemento maestro ECPR sobre un sustrato mediante el proceso ECPR.

Uno de los fines del elemento maestro es proporcionar una conexión eléctrica a un grabado local completo o a celdas de chapado que se forman cuando se comprime el elemento maestro y el sustrato en estrecho contacto uno con el otro y, al mismo tiempo, proporcionar aislamiento eléctrico a las áreas en las que la acción electroquímica no es deseada, es decir, en las zonas de contacto entre una capa de aislamiento de patrones y el sustrato. Para permitir una transferencia de patrones bien definida, incluso para superficies de sustrato relativamente rugosas que tienen una topografía definida, se necesita un comportamiento conformable. Esto puede satisfacerse por una capa flexible o compresible en la construcción del elemento maestro.

Los elementos maestros pueden fabricarse utilizando métodos de microfabricación convencionales.

El sistema ECPR integrado puede comprender un portador del sustrato 502 y un portador del elemento maestro 504. El portador del sustrato y los portadores del elemento maestro 502, 504 son disposiciones para recibir y sostener sustratos y elementos maestros, respectivamente.

Estos pueden ser casetes abiertos y/o portadores, tales como conjunto soporte universal con apertura frontal

- (FOUP) y portadores con una interfaz mecánica estándar (SMIF) de los elementos maestros y sustratos. Estos casetes y/o portadores de diámetros comunes, tales como 100 a 300 mm, normalmente 200 mm o 300 mm, están configurados para retener elementos maestros y/o sustratos en una posición que permite a un efector terminal robótico 518 extraer un electrodo o un sustrato, a partir de dichos casetes y/o portadores. Además del efector terminal robótico 518, una segunda unidad de robot controlada por un efector terminal 520 también puede proporcionarse. Los efectores terminales están vinculados a una unidad de robot 516, que, a su vez, puede conectarse a una unidad de control, que comprende un ordenador, una unidad de memoria, circuitos de soporte, etc., para controlar el movimiento de los efectores terminales 518, 520. El elemento maestro y el sustrato pueden de este modo transportarse entre las unidades de proceso 508-524 por los efectores terminales robóticos 518, 520.
- 10 El sistema ECPR integrado comprende además una unidad de impresión 510 configurada para realizar una impresión electroquímica de nano o microestructuras con un elemento maestro sobre una superficie conductora de un sustrato. Al menos una u opcionalmente dos unidades de limpieza 512, 522 también están comprendidas en el sistema ECPR integrado configurado para limpiar el elemento maestro y el sustrato. El elemento maestro y el sustrato pueden además ser pre-alineados por una unidad de pre-alineación 514. Los sustratos o elementos maestros pueden estar opcionalmente recocidos por una unidad de recocido 513, que es una unidad de herramientas de fabricación de semiconductores que puede recocer una película metálica sobre un electrodo o una oblea. Las unidades de recocido pueden ser configuradas para tener una única o múltiples cámaras de proceso para el tratamiento térmico de cualquier elemento maestro o sustrato en una atmósfera controlada. Las unidades de recocido se pueden configurar con líneas de suministro de gas para N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, Ar u otro gas inerte, formando mezclas de gases que se utilizan para crear un entorno bien controlado con cantidades mínimas de oxígeno en la cámara o cámaras de recocido de la unidad de recocido. Una unidad de control por ordenador en la unidad de recocido se puede utilizar para gestionar, limpiar y grabar fórmulas, ejecutar fórmulas, supervisar el proceso, realizar la adquisición de datos y entregar informes sobre los parámetros medidos y el rendimiento de cada etapa del proceso.
- 25 La unidad de control por ordenador puede ser configurada para comunicarse con el software de control del nivel del sistema ECPR del sistema ECPR integrado utilizando un protocolo de comunicación predefinido para los datos tales como los respectivos parámetros de proceso, formulaciones de recocido, archivos de registro e informes, señales de estado, señales de establecimientos de conexiones y errores.
- 30 La unidad de pre-alineación 514, también llamada pre-alineador es una unidad de manipulación de obleas que puede realizar etapas implicadas en la medición y el ajuste opcional de la posición espacial de un elemento maestro o sustrato en un flujo para el manejo de elementos maestros y sustrato, que implica al menos un efector terminal de una unidad de robot que transporta un elemento maestro o sustratos entre múltiples unidades de procesamiento o unidades de procesamiento en un sistema ECPR integrado.
- 35 En algunas formas de realización de la presente invención, la unidad de pre-alineación 514 está configurada para medir la posición y orientación de una oblea y después de ello transportar la posición de la oblea medida a una unidad de control de robot que ajusta entonces la posición del efector terminal de la unidad de robot en una posición de recogida o entrega de modo que la oblea se transporta a una cierta unidad de procesamiento con una cierta precisión en la colocación.
- 40 En algunas formas de realización de la presente invención, la unidad de pre-alineación está configurada para medir la posición y orientación de un elemento maestro o sustrato y para ajustar mecánicamente la posición y/u orientación de dicha oblea, de manera que pueda ser recogida por un efector terminal del robot con cierta precisión en la colocación, lo que permite la entrega a una unidad de procesamiento con cierta precisión en la colocación. Las unidades de pre-alineación se pueden utilizar normalmente para lograr una precisión de colocación del elemento maestro o sustrato de +/- 50 µm o mejor en un sistema ECPR integrado, utilizando una unidad de robot de manipulación de obleas.
- 45 En otras formas de realización de la invención, la unidad de pre-alineación está configurada con dos posiciones de alineación de oblea, una para elementos maestros limpios conocidos o sustratos que son conocidos por estar limpios y una para elementos maestros o sustratos potencialmente contaminados.
- 50 La unidad de pre-alineación 514 también puede comprender una unidad de volteo dispuesta para cambiar la orientación de un elemento maestro o un sustrato.
- 55 Antes de iniciar el proceso de impresión, el elemento maestro puede ser llenado con un metal, mediante el uso de una unidad de llenado 508.
- 60 Un portador 507 puede servir como una unidad de almacenamiento temporal para el elemento maestro o el sustrato

para aumentar la productividad de los sustratos del proceso.

Los portadores del elemento maestro o sustrato 502, 504, 506 pueden tener además una disposición para recibir y retener elementos maestros o sustratos, y pueden ser uno de los tipos: conjunto soporte universal con apertura frontal (FOUP), una interfaz mecánica estándar (SMIF), o tipo casete abierto.

La unidad de llenado puede ser una unidad de llenado ECPR que es una unidad de herramientas de fabricación de semiconductores que puede realizar etapas involucradas en el llenado selectivo de zanjas de un elemento maestro con una cantidad controlada de metal antes de la etapa de impresión ECPR en la que el metal pre-relleno se transporta a partir del elemento maestro al sustrato. "Pre-relleno" se refiere en este caso a ser llenado antes de la etapa de impresión. Las unidades de llenado ECPR pueden configurarse para comprender una o varias cámaras de proceso para el llenado de elementos maestros. Una unidad de control por ordenador en la unidad se puede utilizar para gestionar el llenado de fórmulas, ejecutar el llenado de fórmulas, controlar el proceso de llenado ECPR, realizar la adquisición de datos y entregar el relleno de informes sobre los parámetros medidos y el rendimiento de cada etapa de llenado.

La unidad de control por ordenador puede ser configurada para comunicarse con el software de control del nivel del sistema del sistema ECPR integrado utilizando un protocolo de comunicación predefinido para la comunicación de datos, tales como los respectivos parámetros del proceso, llenado de fórmulas, archivos de registro y relleno de informes, llenado de señales de estado, señales de establecimientos de conexiones y llenado de errores.

En algunas formas de realización de la presente invención, la unidad de llenado está diseñada y configurada para realizar la deposición electroquímica de metal, es decir, galvanoplastia, en las zanjas de un elemento maestro. Tal unidad de llenado puede comprender sistemas de control automático para el control del volumen de electrolitos, dosificación de aditivos de carácter ácido y químico, así como sistemas de circulación para el electrolito que comprende capacidades de filtración de alta pureza y de control de la temperatura. Una unidad de llenado para galvanoplastia según algunas formas de realización de la invención está configurada para realizar las etapas implicadas en la recepción de un elemento maestro seco a partir de un efector terminal de una unidad de robot, sujetándolo y poniéndolo en contacto con un portador de obleas. La unidad de llenado puede realizar a partir de entonces etapas para el llenado de las zanjas con metal, que implican normalmente etapas de pre-humectación del elemento maestro, opcionalmente mientras rota, sumergiéndolo en un baño de chapado, chapar la cantidad deseada de metal en las zanjas en una única o múltiples etapas de chapado por el control de una fuente de alimentación de chapado. Además, la unidad de llenado puede luego enjuagar y/o secar el elemento maestro antes de retirarlo del soporte de obleas, lo que permite la descarga del elemento maestro utilizando un efector terminal de una unidad de robot. Las unidades de llenado para galvanoplastia pueden ser configuradas con reactores de galvanoplastia fuente en los que el electrolito se suministra de forma ascendente en un reactor circular hacia el elemento maestro que se coloca boca abajo, normalmente en un soporte de obleas rotatorio, o utilizando una celda de paletas vertical u horizontal en la que la agitación de electrolitos en la interfaz del elemento maestro/electrolitos se realiza moviendo las paletas con una agitación individual o múltiple cercana a la superficie del elemento maestro.

En algunas formas de realización de la presente invención, la unidad de llenado está diseñada y configurada para realizar la llamada deposición no eléctrica del metal en las zanjas de un elemento maestro, mediante la aplicación de una deposición de metal autocatalítica de una solución química con o sin agentes de reducción presentes en la solución.

En algunas formas de realización de la presente invención, la unidad de llenado está diseñada y configurada para realizar una deposición del metal por una replicación inversa electroquímica de patrones (ECPR) en las zanjas de un elemento maestro. La unidad de llenado utilizada en estas formas de realización puede tener un material de sustrato como fuente de metal para llenar un elemento maestro en contacto con el sustrato que se vuelve anódico mientras que el elemento maestro se vuelve catódico al aplicar potenciales eléctricos externos a fin de transferir el metal del sustrato a las zanjas del elemento maestro, realizando así el grabado ECPR del sustrato y el chapado ECPR del elemento maestro.

En algunas formas de realización de la presente invención, la unidad de llenado está diseñada y configurada para realizar una deposición selectiva química en fase de vapor, CVD, de metal en las zanjas de un elemento maestro.

Volviendo a los componentes del sistema ECPR integrado, una unidad de impresión adicional 524 también puede proporcionarse en dicho sistema ECPR integrado. La unidad de robot 516 que comprende los dos efectores terminales 518, 520 se puede proporcionar conectada a una plataforma de robot 526.

Los efectores terminales 518, 520 son preferiblemente de tipo agarre de los cantos de la parte trasera o de paletas de vacío de la parte trasera. Mediante el uso del agarre de los cantos de la parte trasera o efectores terminales de paleta de vacío, sólo un lado del elemento maestro o sustrato será tocado para lo cual la contaminación de partículas puede reducirse aún más.

5

Con el fin de proporcionar un control ambiental del sistema ECPR integrado, una carcasa 534 que contiene las unidades 502-526 puede además estar dispuesta en el sistema ECPR integrado. Esta carcasa puede comprender una unidad de control de la temperatura 528 para mantener una temperatura constante en su interior. La unidad de control de la temperatura 528 también se puede configurar para templar fluidos del proceso para al menos la unidad de llenado 202, 304, 404, 508, 610 y, potencialmente, también para la unidad de limpieza 512, 522, 612, antes de la impresión en la unidad de impresión 510, 414.

10

Además, una unidad de control de la contaminación 530 que tiene un filtro de aire también puede proporcionarse para mantener un contenido reducido de partículas de aire en el interior de la carcasa 534.

15

Además, un puerto de carga 532 puede ser proporcionado en la carcasa 534 para la carga y descarga eficiente de los portadores de los elementos maestros o de obleas 502, 504 y 506 dispuestos para retener y liberar elementos maestros o sustratos. El puerto de carga 532 permite así el mantenimiento de un entorno local controlado del interior o la carcasa 534.

20

A continuación, se presentará una descripción de un método ECPR, y se hará referencia a las respectivas unidades de procesamiento del sistema ECPR integrado.

Además, la siguiente descripción se centra en formas de realización de la presente invención aplicables al sistema para realizar ECPR. En particular, la presente invención se refiere a un sistema para realizar un proceso de ECPR de una manera automatizada, con lo que el procesamiento y el tiempo de procesamiento de sustratos puede resultar en una mayor eficacia y una mayor precisión, ya que los parámetros críticos son controlados en, al menos cerca de, una forma optimizada.

25

El proceso ECPR es un proceso de replicación electroquímica de patrones mediante el cual la transferencia de patrones de metal puede realizarse mediante el uso de un elemento maestro que tiene zanjás, en las que el metal pre-relleno puede disolverse.

30

Mediante la aplicación de un potencial eléctrico externo a una capa conductora de semillas del sustrato y otro potencial eléctrico al elemento maestro, la capa conductora de semillas puede volverse catódica y el elemento maestro puede volverse anódico.

35

El metal disuelto puede transferirse como iones a través de un electrolito en microceldas electroquímicas formadas por dichas zanjás entre el elemento maestro y un sustrato cuando se coloca el elemento maestro y el sustrato en estrecho contacto uno con el otro. Los iones transferidos pueden de este modo acumularse y formar el patrón replicado.

40

La capa de semilla sobre el sustrato puede comprender una o varias capas de un material conductor. Este material puede ser un metal u otro material conductor.

45

La capa de semilla del sustrato puede limpiarse y activarse antes de su uso en el proceso ECPR. El método de limpieza puede incluir el uso de disolventes orgánicos y/o disolventes inorgánicos. La limpieza también se puede realizar mediante la aplicación de plasma de oxígeno, plasma de argón y/o plasma de hidrógeno o eliminando mecánicamente impurezas. La activación de la superficie de la capa de semillas se puede realizar con soluciones de eliminación de óxidos.

50

Un elemento maestro para la impresión ECPR puede comprender un portador que es conductor o semiconductor en al menos en algunas partes, una capa de electrodos conductores, y una capa de aislamiento de patrones que define cavidades en las que pueden producirse el grabado o chapado ECPR en el proceso ECPR mediante el uso de impresión ECPR automatizado por ejemplo mediante la aplicación de una unidad de impresión ECPR.

55

La capa de electrodos conductores puede ser un ánodo en chapado ECPR y un cátodo en grabado ECPR. La capa de electrodos conductores es sustancialmente inerte en la solución de electrolitos utilizada.

La impresión ECPR, como se utiliza en esta invención, puede por lo tanto referirse a chapado ECPR o grabado

60

## ECPR.

El elemento maestro puede ser utilizado para producir una o múltiples capas de estructuras utilizando una unidad de impresión ECPR. La unidad de impresión ECPR puede realizar:

- 5 a) la colocación del elemento maestro en contacto con un sustrato, tal como una capa de semillas, para formar múltiples celdas electrolíticas, definidas por la capa de electrodos conductores, la capa de aislamiento de patrones, y la capa de semillas; y
- 10 b) la formación de estructuras en dicha capa de semillas por grabado o formación de estructuras en dicha capa de semillas por chapado de material de ánodo ya depositado previamente en las cavidades del elemento maestro.

Con referencia a las figuras 8A y 8B, el grabado ECPR se describirá con más detalle. En la primera etapa (a), para el caso de grabado ECPR de un elemento maestro 802 que comprende una capa de electrodo eléctricamente conductor 804, de al menos un material que es menos soluble que el material de pre-relleno, tal como platino, y una capa de aislamiento de patrones 806, está posicionada en contacto físico cercano con la capa superior conductora o capa de semillas 808, sobre el sustrato 810 en presencia de un electrolito 812, formando celdas electroquímicas, llenadas de electrolito, definidas por las cavidades de las estructuras aislantes 806 en el elemento maestro 802.

20 El posicionamiento del elemento maestro 802 en estrecho contacto con la capa superior sobre el sustrato 810 puede incluir alinear el patrón de aislamiento del elemento maestro 806 con la capa con patrones sobre el sustrato 810. Esta etapa puede incluir el uso de marcas de alineación del elemento maestro cuyas marcas de alineación pueden alinearse con las correspondientes marcas de alineación sobre el sustrato.

25 El electrolito puede comprender una solución de cationes y aniones apropiada para el grabado y/o chapado electroquímico.

En la segunda etapa (b), las estructuras de material conductor se pueden formar utilizando una unidad de impresión ECPR por grabado aplicando un voltaje, utilizando una fuente de alimentación externa, al elemento maestro 802 y a la capa de semillas 808 sobre el sustrato 810 para crear un proceso electroquímico simultáneamente dentro de cada una de las celdas electroquímicas definidas por las cavidades del elemento maestro 802 y la capa superior sobre el sustrato 810. Cuando se aplica el voltaje de una manera tal que la capa de semillas 808 sobre el sustrato 810 es ánodo y la capa de electrodo conductor 804 en el elemento maestro 802 es cátodo, el material de capa de semillas puede ser disuelto y al mismo tiempo el material 814 se puede depositar en el interior de las cavidades del elemento maestro 802. La estructura o estructuras formadas a partir de la capa de semilla restante 808 es una imagen negativa de las cavidades de la capa de aislamiento de patrones 806 del elemento maestro 802, mediante el cual se forman las estructuras grabadas ECPR 816.

Con referencia a las figuras 9A y 9B, el chapado ECPR se describirá con cierto detalle. En la primera etapa (a), para el caso de chapado ECPR, un elemento maestro 902 que comprende una capa de electrodo eléctricamente conductor 904, de al menos un material que es menos soluble que el material de pre-relleno, tal como platino, y una capa de aislamiento de patrones 906, se coloca en contacto físico cercano con la capa superior conductora o capa de semillas 908, sobre el sustrato 10 en presencia de un electrolito 912, formando celdas electroquímicas, llenas de electrolito, definidas por las cavidades de las estructuras de aislamiento en el elemento maestro 902.

45 El posicionamiento del elemento maestro 902 en estrecho contacto con la capa superior sobre el sustrato 910 puede incluir alinear el patrón de aislamiento del elemento maestro 906 con la capa con patrones sobre el sustrato 910. Esta etapa puede incluir el uso de marcas de alineación del elemento maestro cuyas marcas de alineación pueden alinearse con las correspondientes marcas de alineación sobre el sustrato.

50 Antes de colocar el elemento maestro en contacto con el sustrato, el material de ánodo pre-depositado 914 puede disponerse sobre dicha capa de electrodo conductor 904 en las cavidades definidas por la superficie conductora del elemento maestro 902 y la capa de aislamiento de patrones 906. Dicho material de ánodo pre-depositado 914 en las cavidades del elemento maestro se puede limpiar y activar, de la misma manera que la descrita para la capa de semillas del sustrato, antes de colocar el elemento maestro en contacto con el sustrato. Dicho electrolito puede comprender una solución de cationes y aniones apropiados para el grabado y/o chapado electroquímico.

En la segunda etapa (b), las estructuras de material conductor se pueden formar utilizando una unidad de impresión ECPR por chapado que aplica un voltaje, utilizando una fuente de alimentación externa, con el elemento maestro 902 y a la capa de semillas 908 sobre el sustrato 910 para crear un proceso electroquímico simultáneamente dentro



de cada una de las celdas electroquímicas definidas por las cavidades del elemento maestro 902 y la capa superior sobre el sustrato 910. Cuando se aplica el voltaje de tal manera que la capa de electrodo conductor 904 en el elemento maestro 902 es ánodo y la capa de semilla 908 del sustrato 910 es cátodo, el material de ánodo pre-depositado 914 dentro de las cavidades del elemento maestro se puede disolver y al mismo tiempo el material 916 se deposita sobre la capa conductora sobre el sustrato 910 en las cavidades que se llenan con electrolitos 912. El material depositado sobre la capa conductora sobre el sustrato 910 forma estructuras que son una imagen positiva de las cavidades de la capa de aislamiento de patrones 906 del elemento maestro 902, con lo que se forman estructuras chapadas ECPR 916.

10 Dichas estructuras grabadas ECPR o chapadas ECPR pueden estar compuestas de materiales conductores, tales como metales o aleaciones, por ejemplo, Ag, Ni, Cu, Sn, SnAg, SnAgCu, AgCu y/o combinaciones de los mismos.

En algunas formas de realización de la presente invención, dicho material de ánodo se pre-deposita por galvanoplastia regular, galvanización no electrolítica, chapado ECPR inverso, en el que el grabado por contacto ECPR se realiza a partir de una fuente de metal, chapado por inmersión, deposición química en fase de vapor (CVD), deposición química en fase de vapor metal-orgánico (MOCVD, por sus siglas en inglés), recubrimiento de polvo que puede ser cargado, injerto químico y/o electroinjerto de dicho material selectivamente sobre la capa de electrodo conductor en las cavidades de la capa de aislamiento de patrones del elemento maestro.

20 El voltaje se puede aplicar de una manera que mejora la uniformidad y/o las propiedades de las estructuras grabadas y/o chapadas. El voltaje aplicado puede ser un voltaje de corriente continua (DC, por sus siglas en inglés), un voltaje pulsado, un voltaje pulsado cuadrado, un voltaje de impulsos inverso y/o una combinación de los mismos.

La uniformidad de las estructuras impresas se puede aumentar por la elección de una combinación optimizada de la forma de onda de voltaje aplicado, amplitud y frecuencia. La profundidad de grabado o la altura del chapado se pueden controlar mediante el control del tiempo y la corriente que pasa a través del elemento maestro. Si se conoce el área total del electrodo, la densidad de corriente se puede predecir a partir de la corriente que pasa a través del área del electrodo. La densidad de corriente corresponde a una tasa de grabado o de chapado y por ende la profundidad de grabado o la altura de chapado puede predecirse a partir de la tasa y el tiempo de grabado o chapado.

En algunas formas de realización, el proceso de impresión se detiene al desconectar el voltaje aplicado antes de alcanzar la superficie subyacente del material de ánodo disolvente. Para el proceso de grabado, esto significa que el proceso se detiene cuando aún queda una capa en el fondo de las ranuras grabadas en la capa de semilla, que cubre la capa de sustrato subyacente. De lo contrario, existe el riesgo de que la conexión eléctrica en ciertas porciones de la capa de semilla pueda romperse. Para el proceso de chapado, esto significa que el proceso se detiene cuando permanece una capa de material de ánodo pre-depositado, tal como 5 % al 50 %, cubriendo la capa de electrodo conductor. De lo contrario, la distribución irregular de la corriente se puede producir en las respectivas celdas electroquímicas.

Después de la etapa de impresión ECPR, el material restante depositado en el interior de las cavidades del elemento maestro se puede eliminar utilizando métodos de eliminación que incluyen la aplicación de productos químicos de grabado por vía húmeda adecuados para disolver los materiales restantes.

45 Alternativamente, durante el chapado, sólo una porción del material pre-depositado puede ser utilizada en un procedimiento único y otra porción del material pre-depositado puede ser utilizada en el siguiente procedimiento, para un número de procedimientos. Alternativamente, durante el grabado, el material depositado en el cátodo, es decir, el elemento maestro, puede no necesitar ser eliminado entre cada procedimiento, pero puede ser eliminado entre cada segundo, tercer, etc... procedimiento.

Después de la etapa de impresión ECPR, una capa de semilla sobre el sustrato se puede eliminar realizando un grabado de semillas en una cámara de grabado y limpia de una unidad de limpieza utilizando métodos de grabado que incluyen grabado por pulverización por vía húmeda, grabado por inmersión o grabado por plasma seco.

55 Según algunas formas de realización de la presente invención, la unidad de impresión puede ser una unidad de impresión ECPR, que es una unidad de herramientas de fabricación de semiconductores que puede realizar las etapas involucradas en la transferencia de un patrón de metal a partir de un elemento maestro ECPR pre-relleno utilizando el proceso ECPR en un sustrato que tiene una capa conductora de semillas para recibir un patrón de metal que se replica de ese modo. La unidad de impresión ECPR puede realizar operaciones que comprenden la alineación del elemento maestro ECPR y el sustrato, el llenado de electrolitos del elemento maestro, la presión del

elemento maestro y el sustrato juntos en estrecho contacto, la realización de electrólisis utilizando el proceso ECPR para la transferencia de metal, la separación física del elemento maestro y el sustrato, la limpieza y/o secado del elemento maestro y el sustrato, la carga y/o descarga del sustrato y el elemento maestro. La unidad de impresión ECPR también puede comprender una unidad de control por ordenador que se puede utilizar para gestionar fórmulas de impresión de diversos ajustes de parámetros, ejecutar dichas fórmulas, supervisar el proceso ECPR, realizar la adquisición de datos durante el proceso ECPR y entregar informes sobre los parámetros medidos y el rendimiento de las etapas en el proceso ECPR. La unidad de control por ordenador puede ser configurada para comunicarse con el software de control del nivel del sistema del sistema ECPR integrado utilizando un protocolo de comunicación predefinido para comunicar datos relacionados con la impresión, tales como los respectivos parámetros de proceso, fórmulas de impresión, archivos de registro de impresión, informes de impresión, señales de estado de impresión, señales de establecimientos de conexiones, y señales de error de impresión.

Se describirá con referencia a la figura 6, la presentación de una trayectoria de flujo esquemático 600 de una oblea de elemento maestro, según algunas formas de realización de la presente invención, diferentes etapas como las operadas por la unidad de robot 516.

Durante el proceso ECPR, el elemento maestro puede estar contaminado y por lo tanto requiere una limpieza. En la figura 6, así como en una próxima figura 7, las líneas de transporte al menos directamente anteriores a la unidad de limpieza 612, 704 denotan un transporte de una oblea que está sucia o al menos contaminada, y por ende tiene que ser limpiada. En consecuencia, las líneas de al menos directamente después de la unidad de limpieza 612, 704 denotan un transporte de una oblea limpia.

Ya que las formas de realización de la presente invención comprenden la manipulación de obleas sucias y limpias con diferentes efectores terminales, la contaminación y por lo tanto las etapas de limpieza requeridas se pueden mantener a un mínimo. Al menos en parte debido a los progresos de tratar elementos maestros y sustratos con diferentes efectores terminales, niveles muy bajos de impurezas y la contaminación puede ser mantenida en el entorno local de un sistema ECPR.

Ahora, a partir de, por ejemplo, un elemento maestro de conjunto soporte unificado con apertura frontal (FOUP), que puede estar comprendido en el portador de oblea del elemento maestro 602, una consulta lógica 604 puede determinar si el elemento maestro necesita limpieza o no.

Si la unidad lógica 604 considera que el elemento maestro no necesita ser limpiado, el elemento maestro se transporta con un efector terminal limpio 518, como se indica en la Fig. 5, a una unidad de volteo 606.

La unidad de volteo 606, también llamada unidad volteadora puede ser una unidad de manipulación de elemento maestro o sustrato que está configurada para voltear un elemento maestro o sustrato cambiando la orientación de la oblea por rotación. Normalmente, una rotación de  $\pi$  radianes, es decir, 180 grados, se realiza con respecto a la orientación previa de la oblea. Los dos lados planares del elemento maestro pueden en este sentido ser considerados para ser intercambiados tras el volteo.

En algunas formas de realización de la presente invención, un mecanismo de volteo de la unidad de volteo para realizar el volteo está integrado en la unidad de pre-alineación. En algunas formas de realización de la presente invención, el mecanismo de volteo se realiza como una unidad independiente de volteo en el sistema ECPR integrado. La unidad de volteo como se describe en las formas de realización anteriores se utiliza preferiblemente junto con efectores terminales del agarre de los cantos u otros efectores terminales que no hacen contacto físico con las superficies planares de una oblea, al menos no en la región dentro de la zona de exclusión de los bordes durante la manipulación de elementos maestros o sustratos. En algunas formas de realización de la presente invención, el mecanismo de volteo está integrado en un brazo de robot como un muñón que se puede utilizar para voltear un efector terminal del robot a 180 grados o  $\pi$  radianes. En estas formas de realización de la presente invención, el efector terminal puede ser una paleta de vacío de agarre a la parte trasera. En algunas formas de realización de la invención, una unidad de volteo puede estar configurada con dos puertos de volteo de oblea, de los cuales uno es para voltear las obleas que son conocidas por ser limpias y el otro para voltear obleas que están potencialmente contaminadas.

Después de voltear el elemento maestro en la unidad de volteo 606, dicho elemento maestro está orientado normalmente boca abajo, con el patrón de replicación hacia abajo. El elemento maestro hacia abajo se transporta a una unidad de pre-alineación 808 configurada para centrar y alinear el elemento maestro, lo que permite un relleno de metal apropiado en la unidad de llenado posterior 610.

En la unidad de llenado 610, el elemento maestro es entonces pre-llenado con un material, tal como un metal, que

más tarde puede ser chapado o grabado. Habiendo pre-llenado las cavidades del elemento maestro en la unidad de llenado 610, el elemento maestro es transportado por un efector terminal potencialmente contaminado 520, de vuelta a la unidad de volteo 606 con el fin de voltear pi radianes de nuevo por la unidad de volteo 606.

5 Cabe señalar que la etapa de limpieza puede realizarse antes de la etapa de llenado, según una forma de realización alternativa. Para la limpieza y la activación de un elemento maestro antes de la impresión ECPR, se puede utilizar un proceso de pulverización química por vía húmeda, un proceso de distribución química por rotación y por vía húmeda, un proceso por inmersión por vía húmeda o un proceso por plasma seco.

10 Siguiendo el flujo del elemento maestro en la figura 6; desde la unidad de volteo 606, el elemento maestro puede ser transportado a la unidad de limpieza 612, por el efector terminal potencialmente contaminado 520. El elemento maestro se limpia en la unidad de limpieza 612 y se transporta por el efector terminal limpio 518 a la unidad de alineación 608. Esta unidad de alineación 608 está ahora configurada para alinear el elemento maestro en una posición bien definida.

15 Ha de mencionarse que el flujo como se describe anteriormente se refiere a chapado ECPR en el que el material del ánodo se llena en las cavidades del elemento maestro por la unidad de llenado.

En el caso de ECPR inverso, la impresión ECPR se realiza por las estructuras de grabado ECPR en una capa de semilla sobre un sustrato. Dado que el material está grabado en la capa de semilla y se deposita en las cavidades del elemento maestro, el elemento maestro no necesita ser llenado por el material. Por esta razón, un flujo del elemento maestro correspondiente al descrito anteriormente ni va a utilizar la unidad de volteo 606 ni la unidad de llenado 610. Además, la etapa de limpieza en la unidad de limpieza 612 entre el volteo en la unidad de volteo 606 y la alineación en la unidad de alineación 608, tampoco es necesaria. En consecuencia, en el caso de N en la etapa  
20 604, o después de haber pasado la unidad de almacenamiento temporal 618, la siguiente etapa es para pre-alinear el elemento maestro en la unidad de alineación 608 antes de imprimir en la unidad de impresión 614.

Al retener la alineación del elemento maestro, el elemento maestro es así transportado a la unidad de impresión 614 por un efector terminal limpio 518, lo que permite un resultado exitoso en la etapa de impresión.

30 Después de imprimir en la unidad de impresión 614, una pequeña cantidad de metal pre-relleno puede permanecer en el elemento maestro o alternativamente al menos el elemento maestro puede estar contaminado, lo que requiere una limpieza por lo cual el elemento maestro se transporta con el efector terminal potencialmente contaminado 520 a la unidad de limpieza 612.

35 A fin de permitir un rendimiento competitivo en el proceso ECPR en el sistema ECPR integrado, se investiga si el elemento maestro tiene que ser sustituido con otro elemento maestro. Esta investigación se realiza en la unidad lógica 616 en la que se determina si un recuento del elemento maestro que se incrementa en cada ciclo de uso, sigue estando, por ejemplo, por debajo de un límite superior o no. Si el recuento ha alcanzado el límite superior, dicho elemento maestro es transportado al FOUP 602 del elemento maestro para retener elementos maestros utilizados. En el caso de que el recuento del elemento maestro sea inferior a dicho límite superior para un uso continuo garantizado, el elemento maestro se transporta a una memoria temporal 618 del elemento maestro configurada para almacenar temporalmente elementos maestros. En el caso de que el recuento esté por debajo del límite superior y el número de los elementos maestros sea bajo, el efector terminal limpio 518 puede avanzar de  
40 45 forma continua el elemento maestro a la unidad de volteo 606 para el procesamiento continuo.

Se puede determinar por un medio de control tal como un software de control del nivel del sistema del sistema ECPR integrado si se utiliza un FOUP 602 del elemento maestro o se utiliza otro elemento maestro limpio de la memoria temporal 618 del elemento maestro. Ha de mencionarse que varios elementos maestros pueden ser operados  
50 simultáneamente en un sistema ECPR integrado por lo que una optimización de la operación de los efectores terminales como se operan por la unidad de robot 516 y controlan por el sistema ECPR integrado puede ser realizada, por ejemplo, por el software de control del nivel del sistema.

El software de control del nivel de sistema, incluyendo una aplicación de programación de oblea puede controlar el transporte de sustratos y elementos maestros entre las unidades de proceso. Además, la aplicación de  
55 programación puede estar configurada para controlar los establecimientos de conexiones entre las diferentes unidades de procesamiento, la selección de fórmulas de procesamiento, la adquisición de datos, señalización y alarmas de errores para las unidades de procesamiento.

60 El sistema ECPR integrado también puede comprender un simulador de flujo de sustrato y elemento maestro y un

optimizador para optimizar la productividad y la calidad de los sustratos impresos.

En el caso de que el FOUP 602 del elemento maestro se determine que es limpio en la unidad lógica 604, el elemento maestro es transportado directamente por el efector terminal limpio 518 a la unidad de volteo 606, para la  
5 operación continua como se describe anteriormente.

En el caso de que el elemento maestro a partir del FOUP 602 del elemento maestro no esté suficientemente limpio como se determina en la unidad lógica 604, el elemento maestro es transportado por el efector terminal potencialmente contaminado 520 a la unidad de limpieza 612 para limpiar el elemento maestro.  
10

Ha de mencionarse que la consulta lógica en la unidad lógica 604 determina si se requiere que los elementos maestros se sometan a una etapa de limpieza breve en la que las partículas de polvo y contaminación pueden eliminarse por enjuague y secado del elemento maestro. Por lo tanto, el elemento maestro cuando se transporta desde FOUP 602 del elemento maestro puede ser tratado por el efector terminal limpio 518.  
15

En paralelo con el transporte de uno o más elementos maestros, por el efector terminal potencialmente contaminado 520 o por el efector terminal limpio 518, un sustrato por cada elemento maestro manejado también puede ser manejado por dichos efectores terminales 518, 520. Es fácil darse cuenta de que el proceso de manipulación simultánea de uno o más elementos maestros y uno o más sustratos requiere una programación adecuada de  
20 etapas de proceso y ajuste de parámetros de tiempo para los procesos y las transferencias requeridas de los elementos maestros y sustratos no corre el riesgo de colisiones y daños a los sustratos y/o elementos maestros. Además, una mayor optimización de la programación se requiere a menudo para optimizar la productividad de sustratos.

A continuación, con referencia a la figura 7 que presenta una trayectoria de flujo esquemático 700 de un sustrato, según algunas formas de realización de la presente invención, se describirán las diferentes etapas operadas por efectores terminales 518, 520 de la unidad de robot 516.  
25

A partir de un portador del sustrato 702, que puede ser el portador del sustrato 504 de la figura 5, un sustrato es transportado a una unidad de limpieza 704 por el efector terminal potencialmente contaminado 520, para certificar  
30 que el sustrato de manipulación posterior está suficientemente limpio para no contaminar el efector terminal limpio 518, ni se usa uno o más elementos maestros. Después de haber limpiado el sustrato por la unidad de limpieza 704, el sustrato es transportado por el efector terminal limpio 518 a una unidad de pre-alineación 706, en la que el sustrato está alineado para el centrado y la alineación del sustrato. El sustrato alineado se transporta luego a una  
35 unidad de volteo 708, configurada para invertir el sustrato girando el sustrato  $\pi$  radianes. El sustrato invertido se transporta entonces por el efector terminal limpio a una unidad de impresión 710. El efector terminal limpio es responsable del transporte del sustrato de la unidad de volteo 708 a la unidad de impresión 710. En la unidad de impresión 710, el sustrato se chapa con metal a partir de un elemento maestro pre-relleno.

Después de la unidad de impresión 710, el sustrato puede ser transportado por el efector terminal potencialmente contaminado 520 a la unidad de volteo 708. El sustrato adicional puede ser transportado por el mismo efector terminal 520 a una unidad de recocido 711 para el recocido del metal chapado. El sustrato puede entonces ser transportado a la unidad de limpieza 704 o al portador del sustrato 702 en función de si el sustrato se considera que está suficientemente limpio por la unidad lógica 712, o no. La unidad de recocido 711 puede alternativamente ser  
45 posicionada después de la etapa de limpieza del grabado de semillas en la unidad de limpieza 704 antes de transportar el sustrato al portador del sustrato 702.

De este modo, la unidad de recocido 711 se puede configurar para tratar térmicamente o recocer un electrodo de sustrato impreso antes de la limpieza por la unidad de limpieza 704. Alternativamente, la unidad de recocido 711  
50 puede estar configurada para tratar térmicamente o recocer un sustrato grabado de semilla antes de su transporte al portador del sustrato 702.

El tratamiento térmico puede comprender recocido, como el recocido térmico rápido, RTA, por sus siglas en inglés, calentamiento del horno, calentamiento de la placa calefactora o combinaciones de los mismos; en el que dichos  
55 métodos pueden llevarse a cabo en un entorno que comprende esencialmente: vacío, gas protector, gas hidrógeno, gas nitrógeno, bajo contenido de oxígeno o combinaciones de los mismos. El tratamiento térmico puede mejorar las propiedades eléctricas y/o mecánicas del sustrato tales como la dureza y/o resistencia al desgaste, mediante la reducción de la tensión interna y/o resistencia al contacto.

En caso de que se considere el sustrato que está contaminado, el sustrato es transportado por al menos el efector  
60

terminal potencialmente contaminado 520 a la unidad de limpieza 704. A partir de entonces, el sustrato limpio puede ser transportado por el efector terminal limpio 518 al portador del sustrato 702.

5 Ha de mencionarse que, aunque cada tipo de unidades de procesamiento que se describen en las figuras 6 y 7 se han descrito de forma independiente en relación unas con otras, al menos según algunas formas de realización, estas pueden ser realizadas por una sola unidad de procesamiento. Por ejemplo, la unidad de volteo tal como se presenta en la figura 6 y denota 606, y la unidad de volteo en la figura 7 y denota 708, puede realizarse, así como la misma unidad de volteo singular.

10 Del mismo modo, la unidad de pre-alineación 608 y la unidad de pre-alineación 706 puedan ser realizadas por una unidad de pre-alineación singular.

La unidad de impresión 614 y la unidad de impresión 710 es normalmente la misma unidad, puesto que la unidad de impresión para el proceso ECPR requiere un elemento maestro, así como un sustrato. En los sistemas ECPR  
15 integrados más grandes dos o más unidades de impresión pueden no obstante ser realizadas también, como se indica en la Fig. 5 como dos unidades de impresión 510, 524.

Aunque el sistema ECPR integrado presentado e ilustrado anteriormente en la figura 5 se ilustra por tener una cierta configuración, se pueden utilizar alternativamente otras configuraciones diferentes. Como se indica en la Fig. 4, una  
20 plataforma formada de modo diferente puede ser utilizada alternativamente. Las unidades de proceso pueden ser posicionadas de una manera radial alrededor de una unidad de robot que tiene uno o más efectores terminales. Las unidades de proceso pueden estar dispuestas conjuntamente o en la parte superior entre sí de una manera apilada.

El sistema ECPR integrado se puede ampliar con componentes adicionales, unidades de proceso que se agregan  
25 fácilmente y conectan al sistema ECPR integrado.

Asimismo, se prevé que las diferentes unidades de procesamiento puedan ser operadas con diferentes presiones. Varios niveles de vacío y diversas mezclas de gases se pueden utilizar si se desea para diferentes etapas de procesamiento. Esto es posible por el uso de la carcasa 534 como se ilustra en la Fig. 5.

30 Al menos según algunas formas de realización, el sistema ECPR integrado puede ser controlado a través de un software de control del nivel del sistema, incluyendo una aplicación de programación de oblea para la programación de una secuencia de etapas operativas para cada unidad del sistema ECPR integrado, lo que permite llevar a cabo una formulación de operación para la operación a medida de las unidades como se comprende en un sistema ECPR  
35 integrado. A través de una interfaz de automatización de fábrica o una interfaz de control del sistema, puede controlarse el sistema ECPR.

La interfaz de control del sistema del sistema ECPR integrado puede comprender un ordenador o un controlador de software, que comprende un código de programa legible por ordenador, que cuando se inserta en dicho ordenador o  
40 controlador de software puede llevar a cabo etapas de procesamiento en los métodos para la replicación de un patrón de un sistema ECPR integrado.

El sistema ECPR integrado según formas de realización de la presente invención tiene una serie de efectos ventajosos de los cuales unos pocos serán descritos con más detalle a continuación.

45 Entre el gran número de efectos y ventajas que pueden ser identificados sobre las técnicas de la técnica anterior, algunos efectos y ventajas en esta invención se mencionarán de forma explícita.

El control del tiempo y el entorno entre las etapas de pre-llenado de un elemento maestro y de impresión del sustrato  
50 utilizando el elemento maestro, afecta a la calidad de impresión.

Debido a la modificación espontánea y continua del grano que tiene lugar para muchos tipos de metales pre-  
rellenos, por ejemplo el crecimiento espontáneo del grano de cobre electrodepositado a temperatura ambiente, los  
55 tiempos de espera significativamente más largos asociados con la etapa de procesamiento ECPR de la técnica anterior, agravados por entornos menos controlados en diferentes portadores de oblea, dan lugar a variaciones en el tamaño del grano y la estructura de metal pre-relleno en elementos maestros. La calidad de estructuras metálicas impresas, por ejemplo, la uniformidad y variaciones de rugosidad, así como la fiabilidad del proceso de transferencia de metal, por ejemplo, las variaciones de espesor del metal objetivo, depende del tamaño del grano y la rugosidad superficial del material pre-relleno que afecta a la disolución durante el proceso de transferencia de metal en  
60 microceldas electroquímicas como se utiliza en la impresión ECPR.

Ha de destacarse explícitamente que los tiempos de espera minimizados y altamente repetibles para elementos maestros y sustratos entre unidades de procesamiento en un entorno controlado son críticos para la calidad de los patrones metálicos impresos cuando se forman en la unidad de impresión. Para fines comparativos, se puede  
 5 mencionar que, en un entorno ambiental, puede estar presente gas en diversas composiciones, la temperatura puede ser un defecto, y la densidad de partículas no es muy adecuada para las etapas de procesamiento de semiconductores, tales como etapas en las unidades de procesamiento en el sistema ECPR integrado.

El control del tiempo y el entorno entre las etapas de limpieza/activación de la superficie y de impresión del sustrato  
 10 utilizando el elemento maestro, afecta a las condiciones superficiales del elemento maestro y a la capa de semilla de los sustratos.

Mediante la integración de la unidad de llenado y la unidad de impresión en un solo sistema ECPR integrado, el tiempo transcurrido para el transporte de la oblea entre el tratamiento de la oblea en dicho tiempo de pre-llenado y la  
 15 unidad de impresión posterior, así como variaciones en el tiempo pueden minimizarse. Al proporcionar un entorno local bien controlado en el interior del sistema ECPR integrado la cantidad total de la modificación espontánea de grano, así como la variación de oblea a oblea entre el llenado de metal y la impresión pueden minimizarse. El efecto es un control mejorado de la disolución de metal pre-relleno del elemento maestro durante la impresión, lo que permite mejorar la uniformidad y la rugosidad de metal impreso, así como una mejor fiabilidad de impresión  
 20 reduciendo al mínimo el riesgo de formación de cortocircuitos eléctricos en microceldas.

El riesgo de formar cortocircuitos eléctricos en microceldas durante la impresión se ha observado en función de varios parámetros, uno es una disolución de trozos o piezas relativamente grandes de metal en el caso de metal pre-llenado con granos más grandes, lo que aumenta el riesgo de cortocircuitos eléctricos.

25 Mediante la integración de las unidades de proceso para la limpieza y la impresión en un solo sistema ECPR según algunas formas de realización de la presente invención, el tiempo de espera y las variaciones en el tiempo de espera de oblea a oblea, se reducen al mínimo. Asimismo, al proporcionar un minientorno bien controlado en el interior del sistema integrado la cantidad total de modificación de la superficie, así como las variaciones de la superficie de  
 30 oblea a oblea entre la limpieza y la impresión pueden minimizarse. El efecto es mejorar el tamaño de los granos y el control de la rugosidad, mejorar la adherencia entre las estructuras impresas y las capas de semillas, así como reducir la defectibilidad tal como dislocaciones y vacíos, resultante de las superficies de metal más limpias y más repetibles para las capas de semillas y metal pre-relleno en la impresión en la unidad de impresión ECPR.

35 El control del tiempo y el entorno entre las etapas de impresión y la etapa de grabado de semillas de los sustratos afectan al tamaño del grano de metal y de este modo a la rugosidad posterior al grabado de semillas, así como a la selectividad entre el metal chapado y el metal de la capa de semilla.

Mediante la integración de la unidad de proceso de impresión y la unidad de limpieza configurada para el grabado de  
 40 semillas en un solo sistema ECPR integrado, el tiempo de espera y las variaciones en el tiempo de espera de oblea a oblea, se reducen al mínimo. Al proporcionar un entorno local bien controlado en el interior del sistema ECPR integrado la cantidad total de la modificación espontánea de grano, así como la variación de oblea a oblea entre la impresión y el grabado de semillas pueden minimizarse. Efectos ventajosos son la mejora del control de la rugosidad de la superficie y la selectividad de grabado en la capa de semilla durante el grabado de la capa de semilla en la  
 45 unidad de limpieza configurada para el grabado.

El sistema ECPR integrado comprende unidades de herramientas integradas, al aplicar un flujo de única oblea, tiene también las siguientes ventajas:

50 - La productividad de una línea de producción ECPR puede ser maximizada utilizando una pequeña cantidad dada de elementos maestros. Por lo tanto, una productividad maximizada para un número mínimo de elementos maestros puede alcanzarse. Suponiendo que una línea de proceso ECPR tiene un número dado de unidades de impresión ECPR, un problema con la técnica anterior es mantener la unidad de impresión completamente ocupada en la impresión en cualquier momento maximizando así la productividad. Esto se debe a que un segundo elemento  
 55 maestro necesita ser llenado en paralelo con un tercer elemento maestro que está siendo limpiado con el fin de tener un elemento maestro lleno y limpio listo para el próximo ciclo de impresión de llenado, limpieza e impresión, en el momento de la descarga de un primer elemento maestro en un primer ciclo de impresión. En el caso de que se utilizaran herramientas independientes para el llenado, limpieza e impresión, el problema sería que el transporte de las obleas de una herramienta a otra se realiza utilizando portadores de oblea estándar, normalmente 25 obleas de  
 60 sujeción en cada portador. Con el fin de tener un portador de forma simultánea en las tres herramientas, serán

necesarios al menos tres portadores con elementos maestros con el fin de mantener la línea de proceso completamente cargada. Incluso si el número de elementos maestros por portador se reduce a un número bajo, por ejemplo 5, que todavía puede ser posible en la práctica desde una perspectiva del ciclo de intercambio de portador, en un intento de reducir el número de elementos maestros requeridos, todavía serían necesarios 15 elementos maestros para mantener una línea de proceso cargada. Este número debe ser comparado con el bajo número de 3 elementos maestros en el caso de un sistema ECPR integrado según formas de realización de la presente invención en las que cada uno de los tres elementos maestros se mueve independientemente entre unidades de proceso manteniendo la línea de proceso ECPR completamente cargada.

5 - Reducir al mínimo el tiempo de ciclo ECPR, es decir, el tiempo requerido para un ciclo de proceso ECPR, los circuitos de bucles de realimentación cortos proporcionan una retroalimentación oportuna y precisa a las unidades de proceso y/o unidad de control de robot que controla los efectores terminales de la unidad de robot, aumentan la efectividad del control del proceso estadístico, que en conjunto permiten mayores rendimientos de sustrato del sistema ECPR integrado.

10 - Contando cada vez que un elemento maestro se utiliza en un ciclo de impresión en el sistema ECPR integrado, un elemento maestro nunca tiene que dejar el sistema ECPR antes de que haya llegado al final de su vida, lo que reduce el desgaste del elemento maestro y el tiempo que de otro modo sería necesario para controlar la calidad actual del elemento maestro.

15 - Mediante el uso de un sistema ECPR integrado que comprende una unidad de control del nivel del sistema, un seguimiento eficaz de los datos del proceso entre unidades de llenado, impresión, limpieza se puede obtener fácilmente, lo que permite la optimización de una alta productividad de los sustratos de alta calidad.

20 - Un sistema ECPR integrado que tiene una unidad de control del nivel del sistema permite que el software (SW) integrado y totalmente automatizado simule y equilibre el flujo del elemento maestro y el flujo del sustrato, para obtener el objetivo de mantener la unidad de impresión constantemente ocupada utilizando una cantidad mínima de elementos maestros y sustratos en el flujo.

25 - La provisión de un simulador de flujo de obleas y optimizador que por medio del uso de reglas lógicas y reglas de tiempo definidas para elementos maestros y sustratos en cada etapa en el flujo integrado, por ejemplo entre la activación de semillas en una unidad de limpieza y la impresión en la unidad de impresión, realiza la simulación de los tiempos de ciclo eficaces y productividad asociada con una cierta secuencia de manipulación de elementos maestros o sustratos y o se mueve el patrón de prioridad de la unidad de robot. Mediante el análisis, el resultado da lugar a un gran número de posibles secuencias de manipulación de elementos maestros y sustratos y o se mueven los patrones de prioridad de la unidad de robot, una programación de flujo del elemento maestro y sustrato optimizado con tiempos de espera en general minimizados se puede generar de forma automática, realizando de este modo un optimizador de flujo de oblea automático para el sistema ECPR integrado que derivará en el punto de operación más favorable del sistema para cualquier especificación del proceso ECPR dado.

30 - Mediante la integración de las unidades de procesamiento en una y la misma plataforma de herramientas, un elemento maestro puede ser re-utilizado un gran número de veces sin cargarlo/descargarlo a un portador y la durabilidad se puede aumentar mediante la manipulación mecánica reducida y el desgaste. También se reduce el riesgo de ruptura de los elementos maestros tras un error de manipulación.

35 - Mediante el uso de un flujo de una única oblea del elemento maestro y sustratos, el tiempo transcurrido hasta que el primer sustrato se ha completado y puede dejar el sistema ECPR integrado, el llamado retraso de la primera oblea, se reduce sustancialmente en comparación con la manipulación en forma discontinua de, al menos, sustratos. En el momento en que el primer sustrato impreso a partir de un sistema ECPR integrado se complete así, una serie de sustratos aún están procesándose, utilizando el procesamiento en forma discontinua, sin tener un único sustrato completado. Esto es un claro inconveniente especialmente en una serie de sustratos relativamente pequeña.

40 - Además, ha de mencionarse que los elementos y componentes de una forma de realización de la invención pueden ser implementados física, funcional y lógicamente de cualquier modo adecuado. De hecho, la funcionalidad puede implementarse en una sola unidad, en una pluralidad de unidades o como parte de otras unidades funcionales. Como tal, la invención puede implementarse en una sola unidad, o puede distribuirse física y funcionalmente entre diferentes unidades y procesadores.

45 - Aunque la presente invención ha sido descrita anteriormente con referencia a formas de realización específicas, no se tiene por objeto que esté limitada a la forma específica expuesta en esta invención. Más bien, la invención está limitada solo por las reivindicaciones anexas y, otras formas de realización distintas de la específica anterior son igualmente posibles dentro del alcance de estas reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema integrado de replicación electroquímica de patrones, ECPR (por sus siglas en inglés) (500) para realizar la impresión electroquímica de nano o microestructuras utilizando un elemento maestro, sobre una superficie conductora de un sustrato, que comprende:
- una carcasa (534);
  - una unidad de llenado (202, 304, 404, 508, 610) y una unidad de limpieza (406, 512, 612, 704), en el que el elemento maestro es un electrodo con una capa de aislamiento con patrones que forma cavidades, en el que la unidad de llenado está configurada para depositar un material en las cavidades del elemento maestro y la unidad de limpieza está configurada para limpiar al menos una superficie seleccionada entre la superficie del sustrato y/o una superficie del elemento maestro;
  - una unidad de impresión ECPR (206, 308, 408, 510, 524, 614, 710) configurada para transferir electroquímicamente materiales, por deposición en las cavidades del elemento maestro en una unidad de llenado, como nano o microestructuras a partir del elemento maestro hasta la superficie conductora del sustrato en celdas llenas de electrolitos que se forman por las cavidades del elemento maestro y la superficie conductora del sustrato cuando se coloca el elemento maestro en estrecho contacto con el sustrato, o por disolución de material a partir del sustrato mientras se deposita dicho material en el elemento maestro mediante el uso de celdas llenas de electrolitos que se forman por las cavidades del elemento maestro y la superficie conductora del sustrato cuando se coloca el elemento maestro en estrecho contacto con el sustrato;
  - una plataforma de herramientas (526) que comprende una unidad de robot para el elemento maestro y el sustrato (516), que tiene al menos un efector terminal (518, 520) configurado para agarrar, doblar, transferir y liberar el elemento maestro o el sustrato, la plataforma de herramientas (526) comprende además una unidad de control de robot (536) y un programador que se configura para controlar la unidad de robot (516) para la manipulación del elemento maestro y del sustrato en un flujo de oblea única y para proporcionar instrucciones para la manipulación de los elementos maestros y del sustrato al sistema ECPR integrado, respectivamente, en el que la carcasa (534) está configurada para contener la unidad de llenado, la unidad de limpieza y la unidad de impresión ECPR y para proporcionar un interior confinado que tiene un sub-entorno del sistema ECPR integrado (500).
2. El sistema ECPR integrado (500) según la reivindicación 1, en el que la carcasa (534) está configurada además con uno o más puertos de carga (532) para la aceptación y la devolución de los portadores de elementos maestros y sustratos.
3. El sistema ECPR integrado (500) según una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que la plataforma de herramientas (526) comprende además al menos una unidad seleccionada entre una unidad de control de la temperatura (528) y una unidad de filtración de partículas (530), en la que la unidad de control de la temperatura está configurada para controlar la temperatura del interior del sistema ECPR integrado y la unidad de filtración de partículas (530) está configurada para filtrar el aire de entrada para el sistema ECPR integrado.
4. El sistema ECPR integrado (500) según la reivindicación 3, en el que la unidad de control de la temperatura (528) está configurada además para controlar la temperatura de los fluidos del proceso para al menos una unidad seleccionada entre la unidad de llenado, la unidad de limpieza y la unidad de impresión ECPR.
5. El sistema ECPR integrado (500) según una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que la unidad de llenado comprende una o más unidades seleccionadas entre unidades de electrodeposición, una unidad de deposición no eléctrica, una unidad para el proceso ECPR configurada para realizar un proceso ECPR inverso, o una unidad de deposición selectiva química en fase de vapor, CVD, por sus siglas en inglés.
6. El sistema ECPR integrado (500) según una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que la unidad de limpieza comprende una unidad de distribución química por rotación y por vía húmeda, una unidad de proceso por inmersión por vía húmeda o una unidad de proceso por plasma seco, en el que la unidad de distribución química por rotación y por vía húmeda está configurada para realizar un proceso de rotación-pulverización química por vía húmeda o un proceso de pulverización química por vía húmeda.
7. El sistema ECPR integrado (500) según una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, que comprende además una unidad de recocido configurada para el recocido del sustrato que tiene un material transferido a partir del elemento maestro, o al menos una unidad de recocido (513, 711) integrada en al menos una unidad seleccionada entre la unidad de impresión ECPR, la unidad de llenado y la unidad de limpieza.



8. El sistema ECPR integrado (500) según una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, que comprende además una unidad de alineación (514, 608, 706) configurada para alinear el sustrato y el elemento maestro en las primeras posiciones de los mismos.
- 5 9. El sistema ECPR integrado (500) según una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, que comprende además una unidad de almacenamiento temporal (618) del elemento maestro configurada para alojar temporalmente al menos un elemento maestro para la provisión de un elemento maestro utilizado con un efector terminal (518, 520) para el transporte de dicho elemento maestro utilizado hasta la unidad de llenado.
- 10 10. El sistema ECPR integrado (500) según una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, que comprende además un contador (616) configurado para incrementar un valor de recuento tras el paso de un elemento maestro, para el recuento del número de impresiones realizadas utilizando cada elemento maestro, y en el que el programador está configurado además para determinar si el elemento maestro ha de ser devuelto a un portador del elemento maestro (302, 504, 602) que permite el reciclaje del elemento maestro o utilizado además en el sistema  
15 ECPR.
11. El sistema ECPR integrado (500) según una cualquiera de las reivindicaciones 8-10, en el que la unidad de alineación (514, 608) comprende además una unidad de volteo (606) configurada para cambiar la orientación del elemento maestro o sustrato, de manera que el elemento maestro o el sustrato tenga una primera  
20 orientación en el portador del elemento maestro (302, 504, 602) y en el portador del sustrato (306, 502, 702), respectivamente, mientras uno del elemento maestro y el sustrato tiene una segunda orientación en la unidad de impresión ECPR.
12. El sistema ECPR integrado (500) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende  
25 una segunda unidad de limpieza (522, 204), en el que una unidad de limpieza (512, 208) comprende una unidad de grabado configurada para eliminar por grabado el metal residual a partir del elemento maestro después de la transferencia de metal del elemento maestro al sustrato en la unidad de impresión ECPR (510, 524, 206), y configurada para el grabado o la activación de la capa de semilla del sustrato, y en el que la segunda unidad de limpieza (522, 204) comprende una unidad de eliminación de partículas para el enjuague y secado del elemento  
30 maestro y del sustrato.
13. El sistema ECPR integrado (500) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además un simulador del flujo del sustrato y del elemento maestro y un optimizador del flujo.
- 35 14. El sistema ECPR integrado (500) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además un software de control del nivel del sistema que comprende una aplicación de programación de oblea para la programación en el tiempo del transporte de sustratos y/o elementos maestros entre diversas unidades de procesamiento, así como el propio procesamiento en diversas unidades de procesamiento, que comprende al menos una unidad seleccionada entre la unidad de llenado (202, 304, 404, 508, 610), la unidad de limpieza (204,  
40 208, 406, 512, 522, 612, 704) y la unidad de impresión ECPR (206, 308, 408, 510 524, 614, 710).
15. El sistema ECPR integrado (500) según la reivindicación 14, en el que la aplicación de programación de oblea en el software de control del nivel del sistema está configurada además para el control de establecimientos de conexiones entre las unidades, para la selección de fórmulas de impresión para la impresión en los sustratos,  
45 para realizar la adquisición de datos de las etapas y los procesos que se realizan en el sistema ECPR integrado y para el control de alarmas y de señales de errores para las unidades.

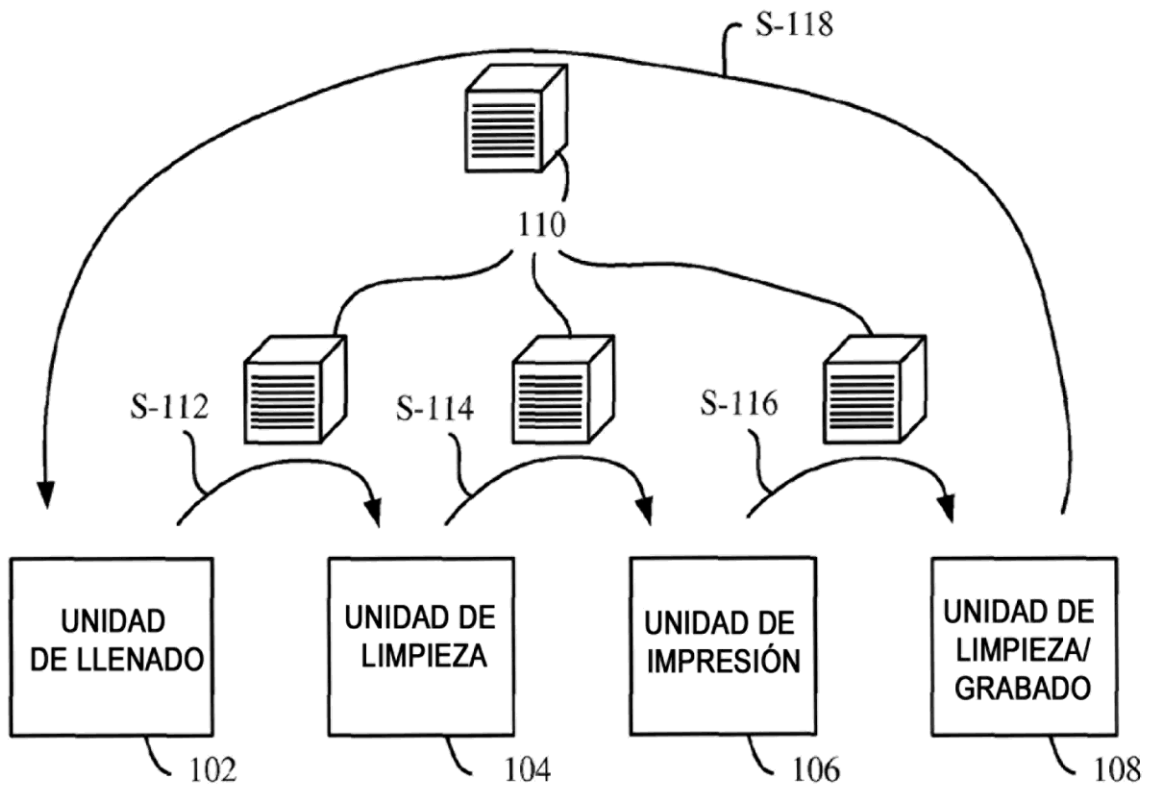


FIG. 1

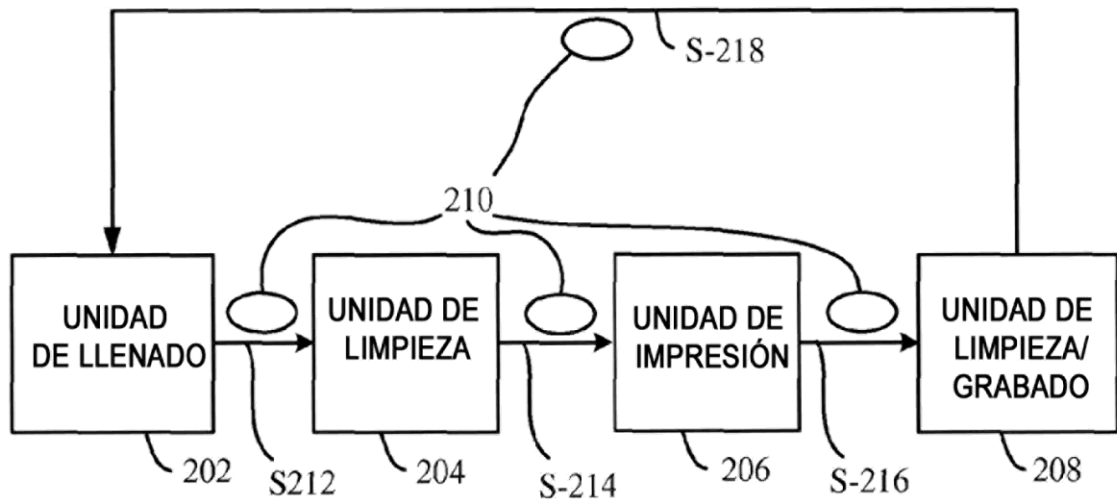
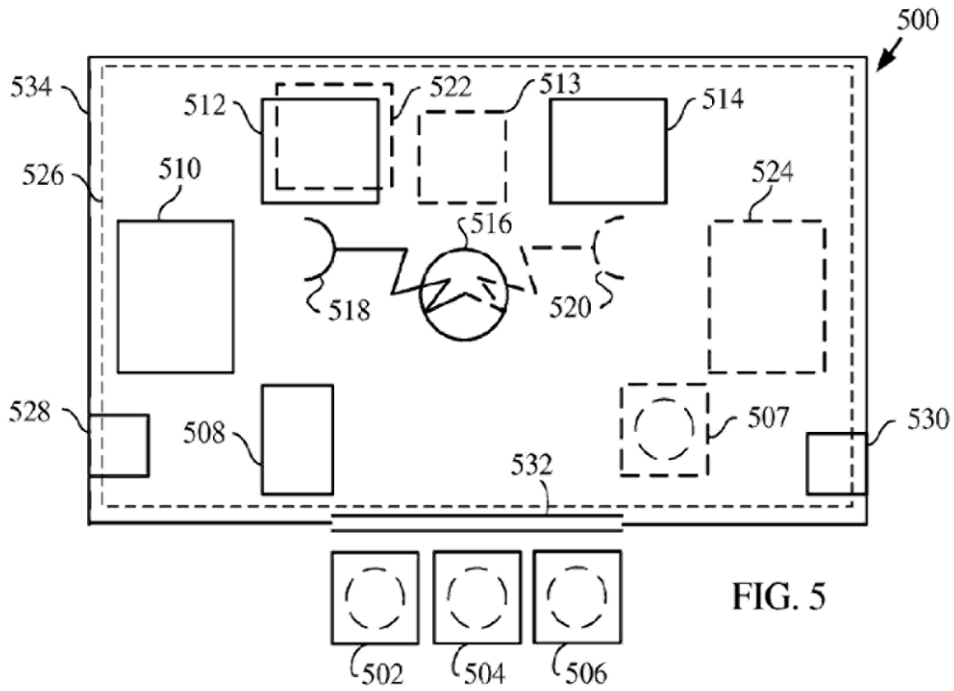
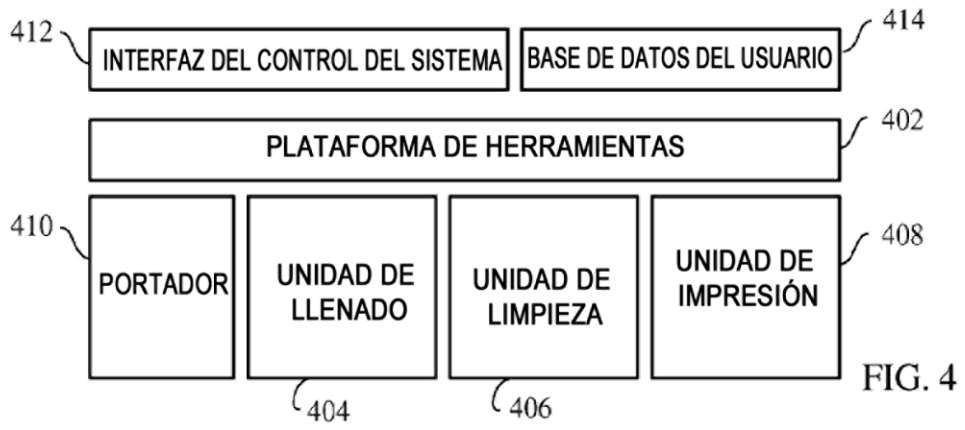
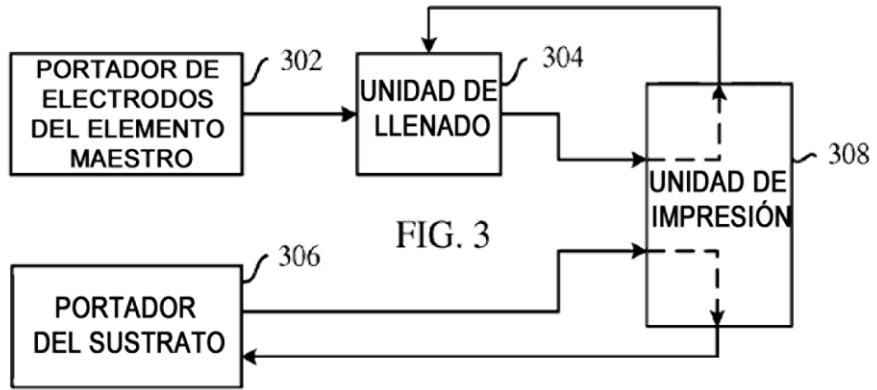


FIG. 2



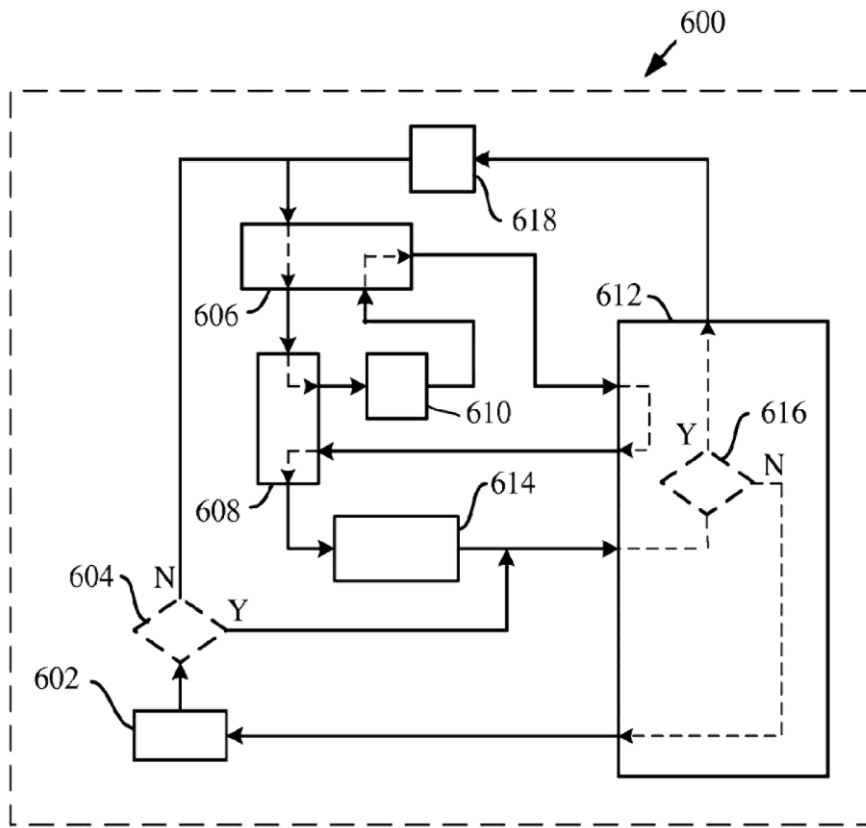


FIG. 6

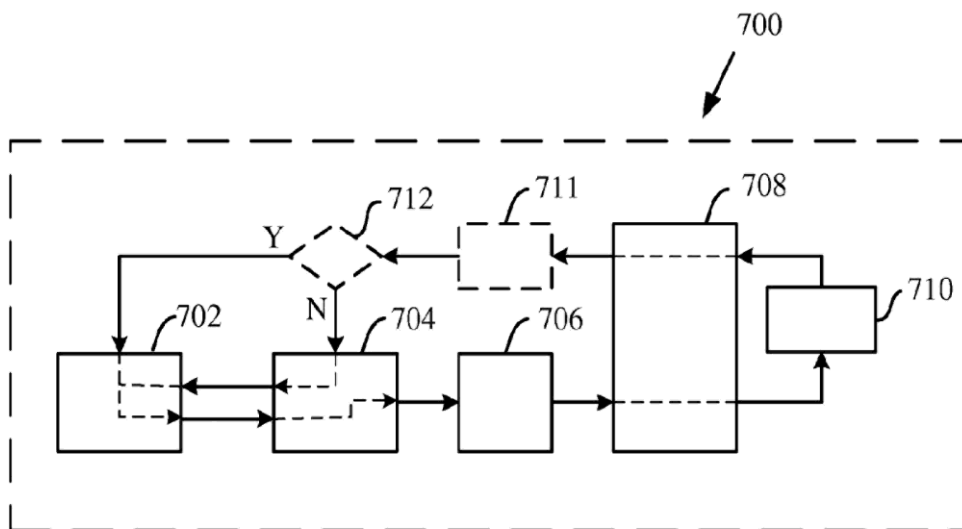


FIG. 7

