

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 393 053**

51 Int. Cl.:

B41J 2/035 (2006.01)

H05K 3/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09757969 .2**

96 Fecha de presentación: **02.06.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2285574**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **23.02.2011**

54 Título: **Impresión por inyección de tinta de tintas funcionales de nanopartículas**

30 Prioridad:

02.06.2008 ZA 200804765

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:

18.12.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:

18.12.2012

73 Titular/es:

**PST SENSORS (PTY) LIMITED (100.0%)
Department of Physics, RW James Building,
Room 513, Upper Campus
University of Cape Town, 7700, ZA**

72 Inventor/es:

**BRITTON, DAVID THOMAS;
ODO, EKUNDARE AYODELE y
HARTING, MARGIT**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 393 053 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

Impresión por inyección de tinta de tintas funcionales de nanopartículas

Antecedentes de la invención

5 La presente invención se refiere a un método de impresión por inyección de tinta de tintas que contienen nanopartículas, y al aparato de impresión para llevar a cabo el método.

El método y el aparato son particularmente, aunque no exclusivamente, adecuados para la impresión de tintas funcionales para aplicaciones electrónicas, donde se requiere una alta densidad de partículas de interconexión y un tamaño de carácter pequeño del patrón impreso.

10 La impresión de tintas funcionales tiene una larga tradición en el campo electrónico. Por ejemplo, las tintas a base de pigmentos se utilizan para las interconexiones y las resistencias por medio de serigrafía en las placas de circuitos impresos. En estas aplicaciones las tintas de película gruesa utilizadas consisten en un vehículo, y pigmentos de plata y carbono, respectivamente, donde las partículas de pigmento pueden tener una dimensión en el intervalo de nanómetros. Los desarrollos más recientes están dirigidos a la impresión no sólo de los componentes pasivos de un circuito, sino también de los componentes activos. Un ejemplo es la divulgación de silicio impreso en forma de nanopartículas en la solicitud internacional de patente WO 2004/068536 del solicitante de la presente, que proporciona capas semiconductoras en dispositivos tales como celdas solares y transistores.

20 Tradicionalmente los materiales más funcionales han sido impresos por medio de técnicas de impresión convencionales, tales como serigrafía y flexografía, las cuales requieren de la fabricación de un patrón maestro (por ejemplo, una pantalla o placa de impresión) para cada diseño que va a ser impreso. Generalmente se considera conveniente la aplicación de métodos de impresión digital, tales como la impresión por chorro de tinta, debido a su flexibilidad de uso y a una mayor precisión espacial. Sin embargo, para evitar la obstrucción de las boquillas de inyección de tinta, la impresión por inyección de tinta requiere de soluciones relativamente dispersas de partículas y de una tinta de baja viscosidad. Esto hace que este método sea inadecuado para ciertas aplicaciones en el campo de la electrónica, en la cual se debe llevar hasta una posición específica sobre un sustrato una alta densidad de partículas para lograr la funcionalidad requerida del patrón impreso.

25 Con respecto a la deposición de patrones de tamaño de carácter pequeño, se conoce la impresión por inyección de tinta de soluciones que contienen nanopartículas, que proporcionan propiedades funcionales a una estructura impresa. Las aplicaciones más comunes son la impresión por inyección de tinta de las pistas conductoras de los circuitos, utilizando nanopartículas conductoras, por ejemplo, nanopartículas de plata, dispersas en la tinta. En tales aplicaciones se obtiene una baja resistencia por medio de tratamiento térmico, con el efecto de remover el dispersante, y posterior sinterización de las nanopartículas. Un desarrollo más reciente en la deposición de una capa funcional es la impresión por inyección de tinta de nanopartículas de óxido conductor transparente, donde se controla la estructura modelada y el empaquetamiento de las partículas por medio de un tratamiento con radiación electromagnética en el proceso de secado.

35 Otro método para mejorar la precisión del modelado en estructuras impresas por inyección de tinta compuestas de tintas funcionales, incluyendo tintas que contienen nanopartículas, es la impresión por inyección electrohidrodinámica, descrita por Jang-Ung Park et al. (Nature, Vol 6 (2007) p. 782). En este caso, la resolución del patrón impreso se ve reforzada por un campo electrostático, aplicado a una boquilla microcapilar del equipo de inyección de tinta, que configura y controla el movimiento de las gotas expulsadas desde la boquilla. Sin embargo, la impresión por inyección electrohidrodinámica no tiene ningún efecto sobre la densidad o la disposición de las partículas en la estructura impresa, y se requiere de un procesamiento posterior para conseguir las propiedades deseadas.

45 En ciertas aplicaciones, la funcionalidad de una capa depositada, que contiene partículas en general, y nanopartículas en particular, es proporcionada por una red de interconexión de estas partículas. Para lograr la compactación de dichas capas se ha divulgado una modificación de la deposición electroforética por parte de Tuck en GB2355338 para pantallas de emisión de campo. Este trabajo enseña la sedimentación forzada de partículas a partir de una solución diluida del material aglutinante por un campo eléctrico aplicado. La cantidad de aglutinante en la solución está cuidadosamente calculada de manera que, después de la evaporación del disolvente, se mantiene en su lugar el sedimento en el fondo de un pozo microscópico. Como en otras técnicas convencionales de deposición electroforética, utilizadas para el recubrimiento de un baño de solución, no hay formación del patrón o control del flujo de fluido durante el proceso.

50 El documento EP 0761441 se refiere a una impresora de inyección de tinta que utiliza una tinta que contiene partículas sólidas finas de un pigmento suspendido en un líquido portador. La impresora tiene un cabezal de impresión con una cámara de tinta que tiene un orificio de eyección de tinta en un extremo de la misma. La cámara

de tinta cuenta con un electrodo para concentrar las partículas de pigmento cerca el orificio por medio de electroforesis.

5 El documento US2005/0219323 A1 se refiere a un cabezal de inyección que consta de una cámara a presión y una abertura para eyección que están conectadas por medio de un canal de eyección. Un par de electrodos generan un campo eléctrico dentro del canal de eyección para ejercer una fuerza sobre las partículas cargadas de la dispersión en el canal de eyección.

Resumen de la invención

De acuerdo con la invención, se provee un método para depositar tinta sobre un sustrato, incluyendo el método:

10 la preparación de una tinta que consta de un vehículo líquido y de partículas de pigmento dispersas en el vehículo, estando al menos las partículas de pigmento cargadas eléctricamente;

la aplicación de un primer potencial a una boquilla de salida para la tinta;

la aplicación de al menos un segundo potencial a uno o más electrodos auxiliares localizados en forma adyacente a la boquilla de salida; y

la expulsión de gotitas de tinta desde la boquilla de salida hacia una zona objetivo sobre un sustrato,

15 la configuración de la boquilla de salida y de dichos uno o más electrodos auxiliares, y los valores del primer y del segundo potenciales, siendo seleccionados para hacer que las partículas de pigmento se concentren en la zona objetivo, con lo que se deposita una cantidad de las partículas de pigmento en la zona objetivo que tiene una concentración mayor que la concentración de las partículas de pigmento en la tinta.

20 Las partículas de pigmento pueden tener una carga permanente, o pueden tener una carga inducida. En este último caso, la carga de las partículas puede ser inducida por los potenciales aplicados.

El método está preferentemente diseñado para utilizar los potenciales aplicados para provocar un movimiento electroforético radialmente hacia adentro del pigmento durante el proceso de deposición, para concentrar las partículas de pigmento hacia el centro de dicha gotita de tinta y por lo tanto en la zona objetivo.

25 El método está preferiblemente diseñado adicionalmente para utilizar los potenciales aplicados para generar fuerzas electrohidrodinámicas sobre el vehículo líquido de la gotita de tinta, para hacer que el vehículo líquido se disperse fuera de la zona objetivo.

Los uno o más electrodos auxiliares localizados en forma adyacente a la boquilla de salida pueden estar dispuestos coaxialmente alrededor del electrodo formado por la boquilla.

30 El sustrato puede ser mantenido a un potencial definido, mientras que las gotitas de tinta son expulsadas desde la boquilla hacia la zona objetivo.

Preferiblemente, el sustrato se mantiene a potencial de masa o de tierra.

Preferiblemente, la diferencia de potencial entre la boquilla de salida y los uno o más electrodos auxiliares es al menos tan grande como la diferencia de potencial entre la boquilla de salida y el sustrato.

35 En una realización preferida del método, la diferencia de potencial entre la boquilla de salida y los uno o más electrodos auxiliares está en el intervalo de 1 a 100 V.

El método puede comprender la localización de al menos un electrodo auxiliar detrás del sustrato sobre un eje común con el electrodo formado por la boquilla.

En una realización del método, se mantiene una placa base adicional que soporta el sustrato a un potencial definido.

40 Preferiblemente, la placa base se mantiene a potencial de masa o de tierra.

En una realización, la placa base está situada detrás del sustrato, es decir, con el sustrato localizado entre la boquilla y la placa base.

En otra realización, la placa base se encuentra entre el sustrato y la boquilla.

Cuando al menos un electrodo auxiliar se encuentra detrás del sustrato, la boquilla y dicho al menos un electrodo auxiliar detrás del sustrato pueden moverse con respecto al sustrato, estando sincronizados el movimiento de la boquilla y dicho al menos un electrodo auxiliar.

- 5 En otra realización, una pluralidad de electrodos y los orificios correspondientes en una placa base se mantienen en posiciones fijas absolutas.

En una realización adicional, la boquilla y los electrodos auxiliares se mantienen en una posición fija y el sustrato se mueve con relación a los mismos.

- 10 Preferiblemente, se mantiene el potencial del electrodo auxiliar con más poder de atracción para las nanopartículas cargadas que el potencial de la boquilla.

En una realización preferida, la relación de los potenciales del electrodo auxiliar y la boquilla se mantiene mayor que la relación del radio de un orificio en la placa base adyacente al electrodo auxiliar, y el radio de la boquilla.

Además, de acuerdo con la invención, se provee un aparato para depositar tinta sobre un sustrato, incluyendo el aparato:

- 15 una boquilla que define una salida para la tinta, siendo al menos una porción de la boquilla eléctricamente conductora;

una primera fuente de voltaje para aplicar un primer potencial a la boquilla de salida;

uno o más electrodos auxiliares localizados en forma adyacente a la boquilla de salida;

una segunda fuente de voltaje para aplicar un segundo potencial a dichos uno o más electrodos auxiliares; y

- 20 medios para expulsar la tinta desde la boquilla hacia una zona objetivo sobre un sustrato, comprendiendo la tinta un vehículo líquido y partículas de pigmento dispersas en el vehículo, estando al menos las partículas de pigmento cargadas eléctricamente

caracterizado porque los uno o más electrodos auxiliares localizados en forma adyacente a la boquilla de salida están dispuestos para aplicar un campo eléctrico a una gotita de tinta que sale de la boquilla y

- 25 la configuración de la boquilla y dichos uno o más electrodos auxiliares, y los valores del primero y el segundo potenciales siendo seleccionados para provocar que las partículas de pigmento se concentren en la zona objetivo, para depositar así una cantidad de las partículas de pigmento en la zona objetivo que tiene una concentración mayor que la concentración de las partículas de pigmento en la tinta.

- 30 En una realización, los uno o más electrodos auxiliares localizados en forma adyacente a la boquilla de salida pueden estar dispuestos coaxialmente alrededor del electrodo formado por la boquilla.

Las fuentes de voltaje pueden estar dispuestas para mantener la diferencia de potencial entre la boquilla de salida y los uno o más electrodos auxiliares para que sea al menos tan grande como la diferencia de potencial entre la boquilla de salida y el sustrato.

- 35 Preferentemente, las fuentes de voltaje están dispuestas para mantener la diferencia de potencial entre la boquilla de salida y los uno o más electrodos auxiliares en el intervalo de 1 a 100V.

En otra realización, al menos un electrodo auxiliar puede estar situado más allá de la boquilla, es decir, con el sustrato situado entre la boquilla y la placa base, sobre un eje común con el electrodo formado por la boquilla, de modo que el sustrato se encuentra entre el boquilla y dicho al menos un electrodo auxiliar en uso.

- 40 El aparato puede incluir una placa base dispuesta para soportar el sustrato, siendo mantenida la placa base a un potencial definido.

Las fuentes de voltaje pueden estar dispuestas para mantener el potencial del electrodo auxiliar más atractivo para las nanopartículas cargadas que el potencial de la boquilla.

Preferentemente, las fuentes de voltaje están dispuestas para mantener la relación de los potenciales del electrodo auxiliar y de la boquilla mayor que la relación del radio de un orificio en la placa base adyacente al electrodo auxiliar y el radio de la boquilla.

5 La invención se refiere a un método de separación y compactación de las partículas de pigmento durante la impresión por inyección de tinta por medio de una combinación de efectos electroforéticos y electrohidrodinámicos, que se logran por medio de la aplicación de campos eléctricos de enfoque no lineales o no uniformes. Dos ventajas de tal proceso son en primer lugar que permite la impresión de pequeñas zonas con una alta densidad de empaquetado de las partículas, y en segundo lugar la producción un patrón de alta definición con un tamaño de carácter pequeño. Las aplicaciones particulares son para la impresión de componentes y circuitos electrónicos que requieren capas densas de nanopartículas semiconductoras de interconexión. Las realizaciones de la invención, tal como se divulga aquí, incluyen además los aspectos específicos del sistema de impresión que se requieren para formar los campos eléctricos necesarios. Estos se describen con referencia a dos realizaciones preferidas.

15 Para los fines de esta solicitud, se puede considerar que una tinta está compuesta de dos componentes, un pigmento que consiste de pequeñas partículas, y un vehículo, que es un líquido compuesto de un aglutinante, un disolvente y cualquier otro líquido adecuado o aditivos solubles tales como agentes surfactantes, humectantes, o secantes. Preferiblemente, las partículas de pigmento son nanopartículas con un tamaño característico entre 1 nm y 1 micra, aunque se pueden utilizar partículas más grandes. En la impresión por inyección de tinta se reconoce generalmente que el pigmento se dispersa uniformemente en el vehículo, sin aglomeración, y que la viscosidad de la tinta debe ser relativamente baja, para evitar la obstrucción de las boquillas de impresión.

20 Generalmente estas consideraciones son incompatibles con las propiedades de las capas impresas de materiales electrónicos, que deben ser altamente aglomeradas para permitir la transferencia de carga entre las partículas individuales. Por lo tanto, se requieren etapas adicionales de procesamiento, tales como la sinterización o la pirólisis del material aglutinante, para obtener una buena conexión entre las partículas. Si las partículas pueden ser reunidas en el proceso de impresión, y separadas de la mayor parte del vehículo, se pueden evitar los pasos subsiguientes, y tales dispositivos se pueden imprimir directamente. En el método y aparato de la presente invención esto se logra mediante una combinación de electroforesis, para impartir movimiento al pigmento, y electrohidrodinámica, para esparcir la fase líquida de la gota.

Breve descripción de los dibujos

30 La figura 1 es un diagrama esquemático en secciones de una primera realización de una boquilla de inyección de tinta de acuerdo con la invención, que incluye tubos coaxiales;

La Figura 2 es un diagrama esquemático en secciones de una segunda realización de una boquilla de inyección de tinta de acuerdo con la invención, que incluye un solo tubo y un electrodo asociado de aguja;

La Figura 3 es una ilustración esquemática de una estructura de prueba de transistores formado utilizando el principio de la invención;

35 La Figura 4 es un gráfico que compara las características de drenaje de la fuente de un transistor producido por medio del método de la invención, con un transistor de otra manera similar producido sin el método de la invención;

La Figura 5 es un diagrama esquemático simplificado de una realización de un aparato de impresión por inyección de tinta de acuerdo con la invención; y

40 La Figura 6 es una fotografía de gotas de tinta que contienen nanopartículas de silicio depositados sobre papel filtro de una boquilla, con un potencial eléctrico aplicado a la boquilla de acuerdo con el principio de la invención, y por un método del estado del arte.

Descripción de las realizaciones

45 Aunque tanto la deposición electroforética como la impresión por medio de inyección electrohidrodinámica son conocidos, como se discutió anteriormente, la combinación de ambos en el mismo proceso es contradictorio, y no trivial de lograr. La clave del método es que las partículas de pigmento debe tener una carga definida, y el vehículo debe portar ya sea una carga opuesta o permanecer neutro. Estas cargas pueden ser o bien permanentes o inducidas por medio de la aplicación de potenciales eléctricos durante el proceso de impresión o durante la alimentación al cabezal de impresión.

50 En la situación en la que tanto las partículas como el vehículo se cargan, un campo eléctrico aplicado provocará un movimiento absoluto tanto de las partículas como del líquido. En el caso donde las partículas se cargan pero el

vehículo no, aunque el vehículo líquido no se vea afectado por el campo eléctrico, la materia sólida todavía experimentará una fuerza. En ambos casos, sin embargo, habrá un movimiento relativo de los dos componentes, con una concentración del pigmento en un área particular. Preferiblemente, la concentración de las partículas debería estar en el centro de la gota, directamente alineadas con el eje de la boquilla de inyección de tinta. Para que esto ocurra, el campo eléctrico debe tener un componente radial en el espacio entre la boquilla y el sustrato. Por lo tanto, dependiendo de la carga transportada por las partículas, el campo eléctrico debe ser o bien divergente o convergente a medida que la gota se aproxima al sustrato. Como se puede lograr esta situación es algo que se describe con referencia a las siguientes realizaciones preferidas.

En la Figura 1, se muestra esquemáticamente una primera realización de un aparato de acuerdo con la invención que comprende una estructura de una boquilla de inyección de tinta. El aparato incluye medios (no mostrados en esta figura) para expulsar tinta desde la boquilla que puede utilizar, por ejemplo, tecnología térmica o piezoeléctrica, como es bien conocido por aquellos capacitados en la técnica de impresión por inyección de tinta. Una tinta que consiste en un vehículo líquido 10 y un pigmento en forma de nanopartículas 12 se va a imprimir sobre un sustrato 14. Las nanopartículas de pigmento deben tener una carga eléctrica definida, que para los fines de este ejemplo es negativa. El vehículo líquido puede ser ya sea neutro, o portar la carga opuesta, que en este caso es positiva. La carga puede ser el resultado de una separación intrínseca de la carga en la tinta, o puede ser inducida por medio de la aplicación de un potencial V_1 , que se aplica a un primer tubo interior 16 de dos tubos coaxiales conductores 16 y 18. El tubo 16 sirve dos funciones distintas: como electrodo, y define una boquilla 20 en su extremo inferior para suministrar la tinta al sustrato.

El potencial V_1 es opuesto a la carga sobre las nanopartículas, y para los fines del ejemplo se asume que es positivo. Se asume que el sustrato 14 forma un plano equipotencial, que preferiblemente está al potencial de tierra. Este es normalmente el caso si el sustrato es en sí mismo conductor, o consiste en un material dieléctrico delgado montado en un soporte conductor. Para los sustratos aislantes gruesos se pueden utilizar una cantidad de métodos establecidos para mantener un potencial constante.

El segundo tubo exterior coaxial 18, que se extiende por debajo del extremo inferior de la boquilla 20, se mantiene a un potencial V_2 y sirve como un electrodo de Wehnelt. El potencial V_2 debe ser tal que repele las nanopartículas cargadas, y en este caso es negativo. En una modificación adicional de esta realización, se podrían utilizar adicionalmente una multiplicidad de tales electrodos coaxiales para definir el campo eléctrico. Alternativamente, uno de dichos electrodos podría adoptar la forma de una placa plana, con un orificio que es coaxial con los otros electrodos y se coloca entre el sustrato y la boquilla 20.

La mitad derecha de la Figura 1 muestra los campos eléctrico y potencial derivados de tal situación. Inmediatamente por debajo de la boquilla 20, el campo eléctrico E_1 derivado del potencial aplicado V_1 está alineado con el eje de la boquilla 20 y se dirige hacia el sustrato, y por lo tanto no tiene ningún efecto sobre la trayectoria ya sea del líquido de la tinta que sale de la boquilla, o de las nanopartículas del pigmento dentro de ella. Para el material ligeramente fuera del centro, sin embargo, las partículas experimentan una deriva electroforética hacia el eje de la boquilla debido al efecto del componente transversal del campo eléctrico radialmente divergente E_2 resultante del potencial aplicado V_2 . Para lograr un campo eléctrico muy divergente, la diferencia de potencial entre V_2 y V_1 debe ser al menos tan grande como la diferencia de potencial entre V_1 y el sustrato, para la misma distancia. Si el vehículo líquido porta la carga opuesta, experimenta una deriva electrohidrodinámica radialmente hacia fuera. El resultado neto es una concentración de partículas directamente por debajo de la boquilla, con una relación mucho mayor de partículas con respecto al vehículo (o una relación de partículas con respecto al aglutinante), que en la mezcla original de la tinta.

Así, en resumen, se aplican potenciales eléctricos opuestos a los electrodos coaxiales 16 y 18 para formar un campo eléctrico no uniforme que dirige las partículas de pigmento radialmente hacia dentro hacia el centro de la zona impresa y las concentra electroforéticamente, mientras el vehículo líquido es simultáneamente dirigido hacia fuera, lejos del centro de la zona impresa. Como se discute en los ejemplos, para lograr un fuerte movimiento electroforético de las partículas, se requieren campos eléctricos del orden de voltios por micra. En consecuencia, los valores típicos de V_1 y V_2 estarán en el rango de 1 - 100 V, y preferiblemente en el rango de 5 - 50 V.

En la segunda realización, que se muestra en la Figura 2, únicamente se utiliza un solo tubo 16 que define una boquilla 20 en el aparato de impresión por inyección de tinta y la geometría de acción de enfoque del campo eléctrico se consigue por medio de la presencia de un electrodo de aguja 24 inmediatamente detrás del sustrato 14. El tubo 16 tiene, nuevamente, una potencial V_1 aplicado a él, mientras que el electrodo de aguja 24 tiene un potencial V_2 aplicado a él. El potencial V_2 del electrodo de aguja debe ser más atrayente para las nanopartículas cargadas que el potencial V_1 de la boquilla.

En esta realización, es necesario que el campo eléctrico penetre a través del sustrato 14. En consecuencia, se prefieren sustratos dieléctricos relativamente delgados. El electrodo de aguja 24 puede ser un solo componente, montado en un caballete, y movido por medios mecánicos para seguir la posición del cabezal de impresión que

contiene la boquilla 16. Alternativamente, se pueden montar una multiplicidad de tales electrodos en orificios en posiciones fijas, y sus potenciales conmutados eléctricamente. Una variación adicional es mantener fijas las posiciones de los electrodos y de las boquillas, y mover el sustrato. En todos estos casos, se podría utilizar un plano de respaldo opcional 26 para soportar simultáneamente el sustrato y definir su posición, y para aumentar la convergencia del campo eléctrico en la posición que se va a imprimir. Alternativamente, en el caso de un sustrato grueso, el plano de respaldo opcionalmente podría ser colocado entre el sustrato y la boquilla. Como se muestra, el plano de respaldo está formado con un orificio que tiene un radio r_2 , estando la punta del electrodo de aguja 24 situada en o en forma adyacente al centro del orificio.

En el caso mostrado, para partículas de pigmento cargadas negativamente 12 en un vehículo cargado positivamente 10, los potenciales V_1 y V_2 son positivos, con V_2 siendo preferiblemente mayor que V_1 , y el plano de respaldo 26 se mantiene a potencial de tierra. Como en la primera realización, el efecto de un campo eléctrico, así producido, es una deriva electroforética hacia el interior de las partículas hacia el centro del área de impresión, y una fuerza electrohidrodinámica hacia afuera sobre la fase líquida, causada por la componente transversal del campo eléctrico divergente E_3 . Como se describe en el ejemplo más adelante, esta realización funcionará como se prevé para todos los potenciales V_2 mayores o iguales al potencial del plano de respaldo, pero el electrodo secundario tendrá un efecto mayor cuando la relación de su magnitud (V_2) con respecto a aquel del primer electrodo (V_1) es mayor que la relación del radio del orificio (r_2) con respecto al radio de la boquilla (r_1). Idealmente esta relación debe ser $V_2 / V_1 > r_2 / r_1$.

El diagrama esquemático simplificado de la Figura 5, que no está a escala, muestra los componentes principales de una realización del aparato de impresión por inyección de tinta de acuerdo con la invención. En la Figura 5, un depósito 40 contiene una cantidad de tinta 42 que comprende un vehículo líquido 10 y un pigmento en forma de nanopartículas 12 como se describió anteriormente. En comunicación con el depósito 40 está una boquilla 20 definida en el extremo más inferior de un tubo conductor interno 16 rodeado por un tubo exterior coaxial conductor 18 como se describió anteriormente con referencia a la Figura 1. Dentro del tubo interior 16 es un accionador piezoeléctrico o térmico 44, conectado a un circuito de control 46 a través de un conductor 48. En una forma conocida por aquellos capacitados en la técnica, un impulso eléctrico breve se transmite al accionador 44, provocando que este se deforme momentáneamente (en el caso de un accionador piezoeléctrico) o que caliente y vaporice una pequeña cantidad del vehículo líquido 10 de la tinta (en el caso de un accionador térmico), expulsando así una gota 50 de tinta desde la boquilla 20 definida en el extremo abierto del tubo 16.

Como se observa mejor en el detalle ampliado de la Figura 5, la distribución de las nanopartículas del pigmento 12 dentro del vehículo líquido 10 es sustancialmente uniforme, y por lo tanto la distribución de las nanopartículas dentro de la gota 50 a medida que sale de la boquilla es sustancialmente uniforme. Sin embargo, debido al efecto de los campos eléctricos que resultan de los potenciales V_1 y V_2 aplicados a los tubos 16 y 18, respectivamente, a partir de las respectivas fuentes de voltaje, las nanopartículas del pigmento 12 se concentran electroforéticamente hacia el centro de la gota a medida que cae, como se muestra en la gota que cae 52.

Ejemplo 1

En un ejemplo preliminar, el efecto de la inclusión de electroforesis en el proceso de impresión por inyección de tinta ha sido modelado utilizando gotas individuales depositadas, manualmente, sobre una estructura de prueba de transistores, como se muestra en la Figura 3. La estructura se formó sobre un sustrato 30 que contiene polimetilmetacrilato y tomó la forma de un transistor de efecto de campo (FET) que tiene un electrodo fuente 32, un electrodo de drenaje 34, y un electrodo de compuerta 36 depositado sobre una capa dieléctrica delgada 38.

Para producir la estructura del transistor, se produjo una tinta diluida de baja viscosidad, sin aglutinante, por medio de la dispersión de nanopartículas de silicio en agua triplemente destilada. Las nanopartículas de silicio fueron producidas por medio de una molienda de acuerdo con el proceso descrito en la solicitud de patente sudafricana 2008/02727 titulada "Method of Producing Stable Oxygen Terminated Semiconducting Nanoparticles". Para determinar la carga sobre las partículas, se aplicó una diferencia de potencial de tres voltios entre la fuente y los electrodos de drenaje. Una deriva electroforética de las partículas, en la dirección del electrodo positivo, indicó que la carga sobre las partículas era negativa.

La compactación o concentración de las partículas se logró aplicando un voltaje de polarización positivo de 20 V al electrodo de compuerta, de una forma similar al electrodo de aguja de la segunda realización descrita anteriormente, con el aislante de la compuerta 36 tomando el lugar del sustrato dieléctrico delgado 14. Los potenciales se mantuvieron hasta que la gota había caído completamente. Para comparación, se llevó a cabo una deposición de la misma tinta sobre una estructura similar, sin campos eléctricos.

La Figura 4 muestra las características de drenaje de la fuente de dos transistores (es decir, otros transistores idénticos, producidos con y sin un potencial aplicado durante la deposición) para diferentes potenciales aplicados de compuerta. La curva inferior es para el transistor producido sin la aplicación de potenciales, y la curva superior es

para un transistor producido de acuerdo con el método de la invención.

5 La primera diferencia importante es que las corrientes de la fuente de drenaje en el transistor que contiene las nanopartículas compactadas son más de diez mil veces superiores a las corrientes correspondientes en la capa depositada sin un campo eléctrico aplicado. En segundo lugar, se observa un aumento similar en la corriente de drenaje de la fuente, que es conmutada por medio de la aplicación del voltaje de polarización de la compuerta.

Ejemplo 2

10 Se construyó un modelo macroscópico de la segunda realización descrita anteriormente para investigar los efectos electroforéticos y electrohidrodinámicos durante la deposición de la gotita. En este modelo, se mantuvo una aguja roma de acero de calibre 23 (0,6 mm), que representa al tubo único 16 de la Figura 2, una distancia de 1,5 mm por encima de la placa de respaldo de aluminio sólido, al potencial de tierra. Esta configuración es equivalente a la fijación del potencial V_2 del electrodo auxiliar de aguja 24 y de la placa base 26 al potencial de tierra. El campo eléctrico resultante es por lo tanto, uniforme a lo largo del eje de la boquilla y divergente a distancias radiales más grandes que el radio de la boquilla, lo que en realidad se parece más al patrón de campo mostrado en la Figura 1 que en la Figura 2.

15 Una tinta diluida de baja viscosidad, sin aglutinante, fue producida por medio de la dispersión de nanopartículas de silicio en agua tridestilada. Las nanopartículas de silicio fueron producidas por medio de la molienda de obleas de silicio tipo p de acuerdo con el proceso descrito en la solicitud de patente sudafricana 2008/02727 titulada "Method of Producing Stable Oxygen Terminated Semiconducting Nanoparticles". En sustratos pobremente absorbentes, tales como papel normal de oficina, las gotas del tamaño depositado en este sistema permanecen como líquidos durante 20 varias decenas de minutos, permitiendo una redistribución de los materiales componentes en la tinta. Para investigar la distribución de material a medida que se depositaba la gota, en lugar de un movimiento electroforético del nanopolvo de silicio en el líquido estacionario sobre el sustrato, se utilizó por lo tanto un papel filtro altamente absorbente, como material del sustrato.

25 La aplicación de un potencial negativo de 1,5 kV a la aguja durante la deposición indujo tanto efectos electrohidrodinámicos sobre el vehículo líquido como movimiento electroforético de las nanopartículas de silicio en relación con el líquido. Ambos efectos se observan en la Figura 6, que es una fotografía de las gotas de tinta seca depositadas con y sin un campo eléctrico aplicado. Sin la aplicación de un campo eléctrico, la gota (1) es grande, y el material depositado se esparce de manera uniforme. Cuando se aplica un potencial eléctrico a la aguja, el 30 vehículo acuoso, y por lo tanto la gota, es atraída hacia el sustrato, lo que conduce a la formación de pequeñas gotas en la punta de la aguja. Más importante, sin embargo, el componente radial del campo eléctrico resulta en movimiento electroforético de las partículas en la gota - durante la deposición - y una concentración de material sólido en el centro de la gota (2).

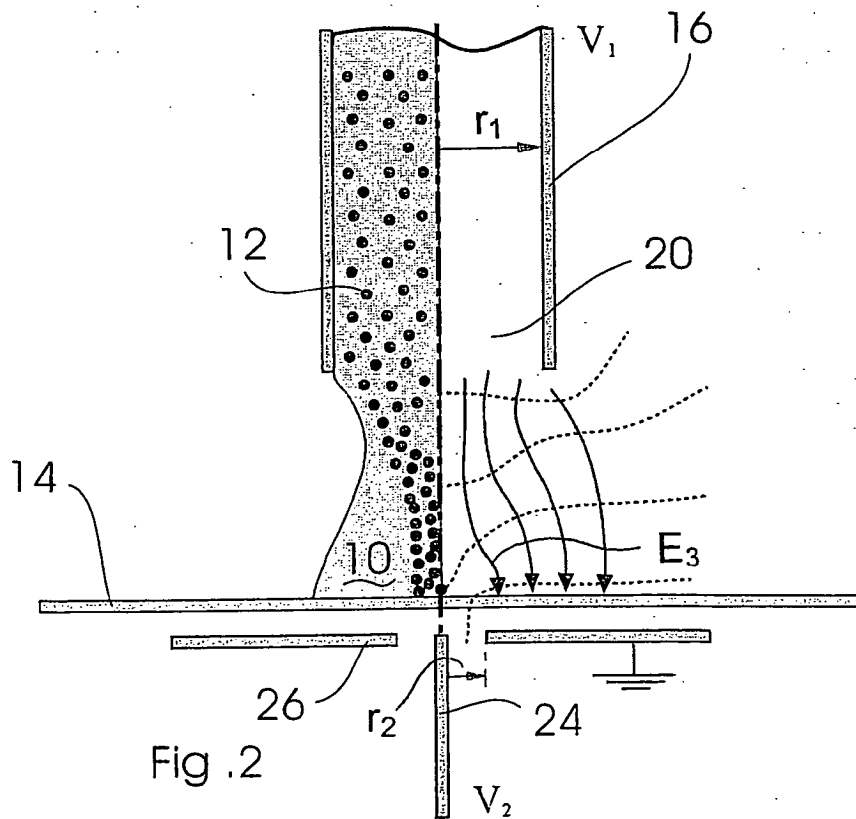
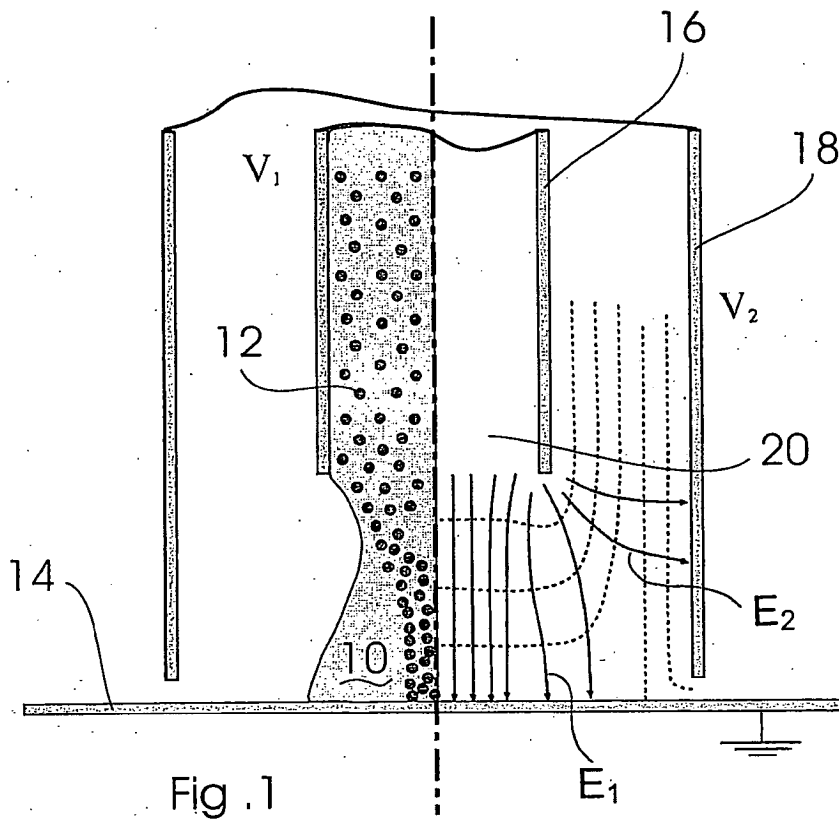
35 Debido a las grandes dimensiones del modelo experimental, necesita aplicarse un gran potencial eléctrico a la aguja en comparación con aquellos requeridos en las dos realizaciones. La fuerza nominal de campo eléctrico necesario para el movimiento electroforético de las partículas en ambos ejemplos es del orden de 1 kV / mm. Cuando se escala a las dimensiones reales de las dos realizaciones, se requerirán diferencias de potencial, tanto entre V_2 y V_1 , como a tierra, en el rango de 1 a 100 V, y preferiblemente en el rango de 5 a 50 V.

REIVINDICACIONES

1. Un método de deposición de tinta sobre un sustrato, incluyendo el método:
la preparación de una tinta que consta de un vehículo líquido y de partículas de pigmento dispersas en el vehículo, estando al menos las partículas de pigmento cargadas eléctricamente;
- 5 la aplicación de un primer potencial a una boquilla de salida para la tinta;
la aplicación de al menos un segundo potencial a uno o más electrodos auxiliares localizados en forma adyacente a la boquilla de salida; y
la expulsión de gotitas de tinta desde la boquilla de salida hacia una zona objetivo sobre un sustrato,
- 10 **caracterizado porque** dichos uno o más electrodos auxiliares están dispuestos para aplicar un campo eléctrico a una gotita de tinta que sale de la boquilla, la configuración de la boquilla de salida y dichos uno o más electrodos auxiliares, y los valores del primer y del segundo potenciales, siendo seleccionados para hacer que las partículas de pigmento se concentren electroforéticamente hacia el centro de dicha gotita de tinta que sale de la boquilla a medida que cae, para depositar así una cantidad de las partículas de pigmento en la zona objetivo que tiene una concentración mayor que la concentración de las partículas de pigmento en la tinta.
- 15 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde las partículas de pigmento tienen una carga permanente.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en donde las partículas de pigmento tienen una carga inducida.
4. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 que está diseñado para utilizar los potenciales aplicados para provocar un movimiento electroforético del pigmento durante el proceso de deposición, para concentrar las partículas de pigmento en la zona objetivo.
- 20 5. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 que está diseñado para utilizar los potenciales aplicados para generar fuerzas electrohidrodinámicas sobre el vehículo líquido de la tinta, para provocar que el vehículo líquido sea dispersado fuera de la zona objetivo.
- 25 6. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 en donde los uno o más electrodos auxiliares localizados en forma adyacente a la boquilla de salida están dispuestos coaxialmente alrededor del electrodo formado por la boquilla.
7. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 en donde el sustrato se mantiene a un potencial definido mientras las gotitas de tinta son expulsadas desde la boquilla hacia la zona objetivo.
8. Un método de acuerdo con la reivindicación 7 en donde el sustrato es mantenido al potencial de masa o de tierra.
- 30 9. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 en donde la diferencia de potencial entre la boquilla de salida y los uno o más electrodos auxiliares es al menos tan grande como la diferencia de potencial entre la boquilla de salida y el sustrato.
10. Un método de acuerdo con la reivindicación 9 en donde la diferencia de potencial entre la boquilla de salida y los uno o más electrodos auxiliares está en el rango de 1 a 100 V.
- 35 11. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 que comprende ubicar al menos un electrodo auxiliar detrás del sustrato, sobre un eje común con el electrodo formado por la boquilla.
12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11 en donde se provee una placa base para soportar el sustrato, siendo mantenida la placa base a un potencial definido.
13. Un método de acuerdo con la reivindicación 12 en donde la placa base se mantiene a un potencial de masa o de tierra.
- 40 14. Un método de acuerdo con la reivindicación 12 o la reivindicación 13 en donde la placa base está localizada detrás del sustrato, con el sustrato localizado entre la boquilla y la placa base.

15. Un método de acuerdo con la reivindicación 12 o la reivindicación 13 en donde la placa base se localiza entre el sustrato y la boquilla.
- 5 16. Un método de acuerdo con la reivindicación 11 en donde la boquilla y dicho al menos un electrodo auxiliar detrás del sustrato pueden moverse con relación al sustrato, estando sincronizados el movimiento de la boquilla y dicho al menos un electrodo auxiliar.
17. Un método de acuerdo con la reivindicación 11 en donde una pluralidad de electrodos y los correspondientes orificios en una placa base se mantienen en posiciones absolutas fijas.
18. Un método de acuerdo con la reivindicación 11 en donde la boquilla y los electrodos auxiliares se mantienen en una posición fija y el sustrato se mueve con relación a los mismos.
- 10 19. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15 en donde el potencial del electrodo auxiliar se mantiene más atrayente para las nanopartículas cargadas que el potencial de la boquilla.
20. Un método de acuerdo con la reivindicación 19 en donde la relación de los potenciales del electrodo auxiliar y la boquilla se mantiene mayor que la relación del radio de un orificio en la placa base adyacente al electrodo auxiliar y el radio de la boquilla.
- 15 21. Aparato para la deposición de tinta sobre un sustrato, incluyendo el aparato:
- una boquilla que define una salida para la tinta, siendo al menos una porción de la boquilla eléctricamente conductora;
- una primera fuente de voltaje para aplicar un primer potencial a la boquilla de salida;
- uno o más electrodos auxiliares localizados en forma adyacente a la boquilla de salida;
- 20 una segunda fuente de voltaje para aplicar un segundo potencial a dichos uno o más electrodos auxiliares; y
- medios para expulsar la tinta desde la boquilla hacia una zona objetivo sobre un sustrato, comprendiendo la tinta un vehículo líquido y partículas de pigmento dispersas en el vehículo, estando al menos las partículas de pigmento cargadas eléctricamente,
- 25 **caracterizado porque** los uno o más electrodos auxiliares localizados en forma adyacente a la boquilla de salida están dispuestos para aplicar un campo eléctrico a una gotita de tinta que sale de la boquilla y la configuración de la boquilla y dichos uno o más electrodos auxiliares, y los valores del primero y el segundo potenciales se seleccionan para provocar que las partículas de pigmento se concentren electroforéticamente hacia el centro de dicha gotita de tinta que sale de la boquilla a medida que cae, para depositar así una cantidad de las partículas de pigmento en la zona objetivo que tiene una concentración mayor que la concentración de las partículas de pigmento en la tinta.
- 30 22. Aparato de acuerdo con la reivindicación 21 en donde los uno o más electrodos auxiliares localizados en forma adyacente a la boquilla de salida están dispuestos coaxialmente alrededor del electrodo formado por la boquilla.
23. Aparato de acuerdo con la reivindicación 22 en donde las fuentes de voltaje se disponen para mantener la diferencia de potencial entre la boquilla de salida y los uno o más electrodos auxiliares para que sean al menos tan grandes como la diferencia de potencial entre la boquilla de salida y el sustrato.
- 35 24. Aparato de acuerdo con la reivindicación 23 en donde las fuentes de voltaje se disponen para mantener la diferencia de potencial entre la boquilla de salida y los uno o más electrodos auxiliares en el rango de 1 a 100 V.
25. Aparato de acuerdo con la reivindicación 21 que comprende al menos un electrodo auxiliar localizado más allá de la boquilla, sobre un eje común con el electrodo formado por la boquilla, de manera que el sustrato esté entre la boquilla y dicho al menos un electrodo auxiliar en uso.
- 40 26. Aparato de acuerdo con la reivindicación 25 que incluye una placa base dispuesta para soportar al sustrato, siendo mantenida la placa base a un potencial definido.
27. Aparato de acuerdo con la reivindicación 26 en donde se disponen las fuentes de voltaje para mantener el potencial del electrodo auxiliar más atrayente para las nanopartículas cargadas que el potencial de la boquilla.

28. Aparato de acuerdo con la reivindicación 27 en donde se disponen las fuentes de voltaje para mantener la relación de los potenciales del electrodo auxiliar y la boquilla mayor que la relación del radio de un orificio en la placa base adyacente al electrodo auxiliar y el radio de la boquilla.



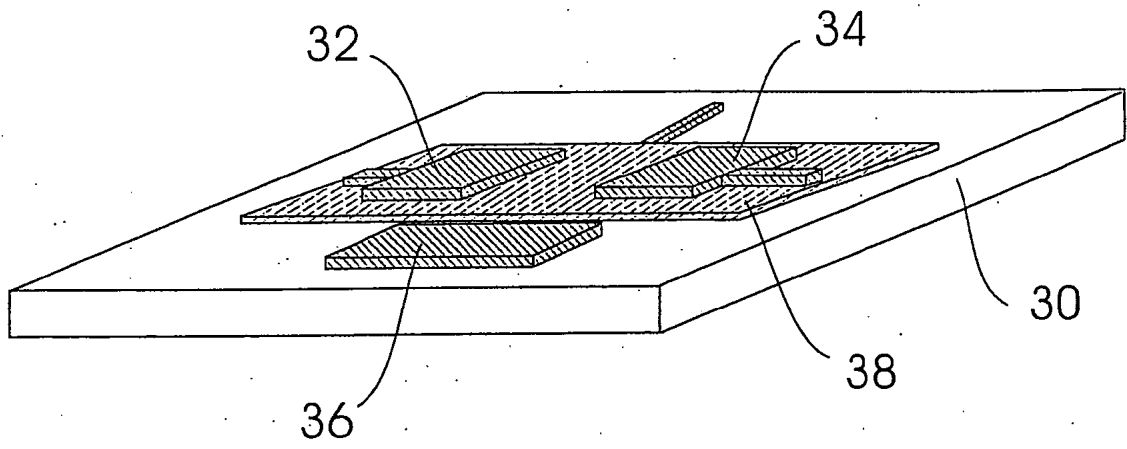


Fig .3

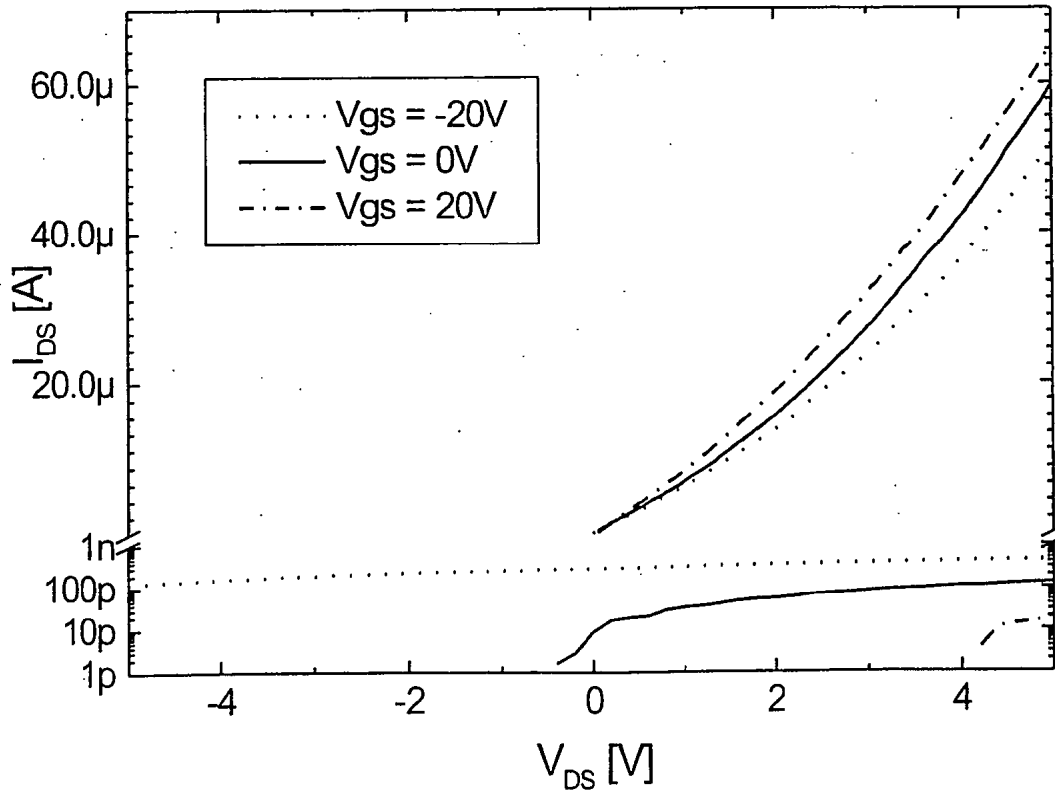


Fig .4

Fig. 5

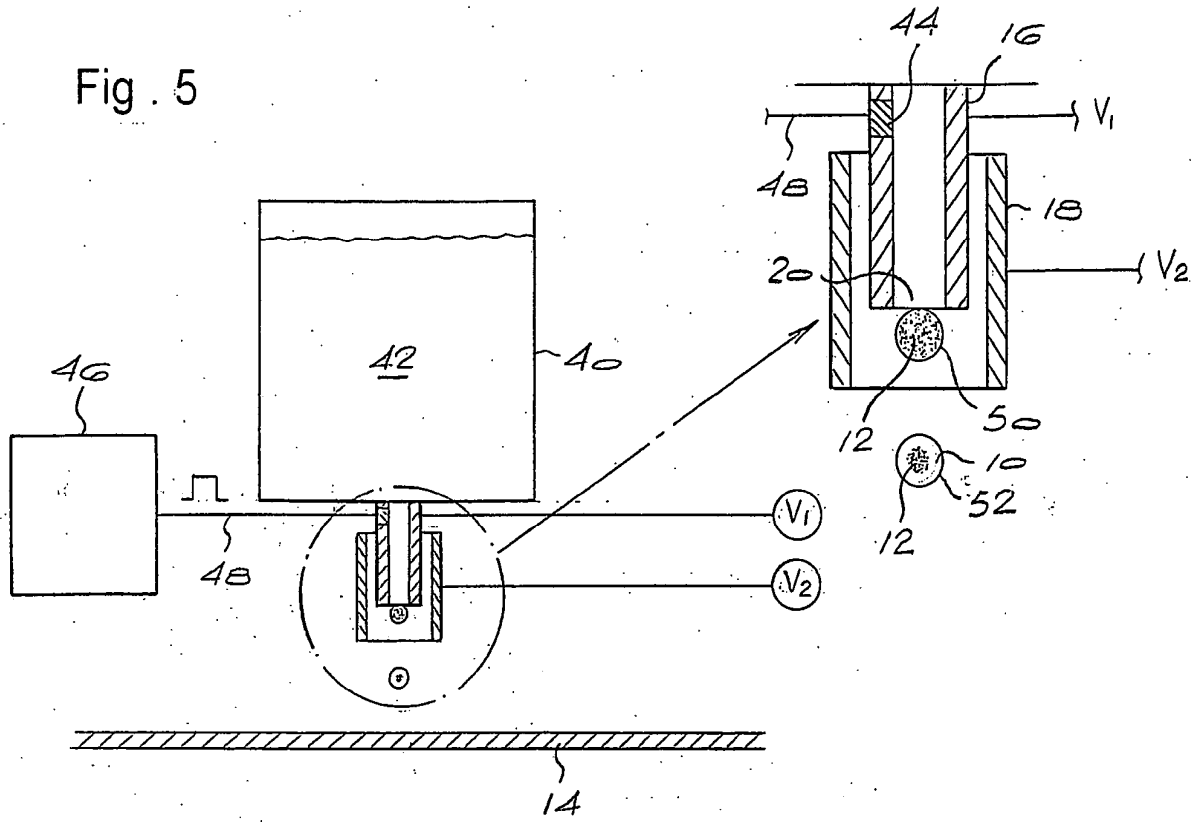


Fig. 6

