

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 615 279**

51 Int. Cl.:

**G03F 7/20**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.07.2013 PCT/DE2013/000377**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.02.2014 WO2014026662**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.07.2013 E 13753263 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.12.2016 EP 2885677**

54 Título: **Procedimiento para la transferencia óptica de una estructura a un medio de registro**

30 Prioridad:

**16.08.2012 DE 102012016178**

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

**06.06.2017**

73 Titular/es:

**FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH (100.0%)  
Fachbereich Patente  
52425 Jülich, DE**

72 Inventor/es:

**HARDTDEGEN, HILDE y  
MIKULICS, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 615 279 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**

Procedimiento para la transferencia óptica de una estructura a un medio de registro.

**Estado de la técnica**

5 Las microestructuras y las nanoestructuras se producen casi siempre por medio de la litografía óptica. En este caso, el sustrato a estructurar se recubre primeramente con un medio de registro. La estructura a producir se transfiere a este medio de registro irradiando localmente el medio de registro con luz a través de una máscara. De este modo, el medio de registro es hecho pasar de un estado no escrito a un estado escrito que se manifiesta en propiedades físicas y/o químicas modificadas del medio de registro. A continuación, se retira selectivamente el medio de registro solamente en los sitios escritos o solamente en los sitios no escritos, tras lo cual se puede procesar, por ejemplo  
10 corroer, el sustrato en los sitios puestos al descubierto.

El tamaño mínimo de las estructuras a escribir se ha acomodado, debido a la difracción, al orden de la magnitud de la longitud de onda luminosa. Por tanto, para reducir el tamaño de las estructuras, es decir, para mejorar la resolución local, se tiene que reducir siempre aún más la longitud de onda de luz empleada. La necesidad de producir otra vez con cada variación de la estructura una nueva máscara de una manera costosa en tiempo y cara restringe el aprovechamiento práctica de la litografía óptica especialmente para la producción de prototipos de nuevas estructuras.  
15

Se conoce por el documento US 2007/078613 A1 un procedimiento para la transferencia óptica de una estructura a un medio de registro que, por efecto de una irradiación de fotones desde una fuente de fotones (nanoLED), puede ser hecho pasar localmente de un primer estado no escrito a un segundo estado escrito, materializándose los dos  
20 estados del medio de registro en propiedades químicas diferentes del material de registro. En este caso, se revelan fotones con una energía de 3,36 eV, una densidad de potencia típica de 100 W/cm<sup>2</sup> y una distancia típica de los nanohilos de 10 nm. Resulta de ello un flujo de fotones de aproximadamente 10<sup>8</sup> fotones por segundo para el nanoLED de GaN empleado. El flujo de fotones puede regularse por medio de la tensión de paso aplicada.

En Z. Yaun et al., "Electrically driven Single-Photon Source", Science, American Association for the advancement of science, Washington, DC, US, 1 de enero de 2002 (01-01-2002), páginas 102-105, XP002278163, ISSN: 0036-8075, DOI: 10.1126/Science.1066790, se describen diodos con una zona intrínseca (estructura p-i-n) como fuente de fotones individuales.  
25

**Problema y solución**

30 Por tanto, el problema de la invención consiste en proporcionar un procedimiento para la transferencia óptica de una estructura a un medio de registro que ofrezca una resolución local mejorada y que al mismo tiempo no necesite la producción de una máscara.

Este problema se resuelve según la invención con un procedimiento acorde con la reivindicación principal. Otras ejecuciones ventajosas se desprenden de las reivindicaciones subordinadas referidas a ella.

**Objeto de la invención**

35 En el marco de la invención se ha desarrollado un procedimiento para la transferencia óptica de una estructura a un medio de registro que, mediante una irradiación de fotones desde una fuente de fotones, puede hacerse pasar localmente de un primer estado no escrito a un segundo estado escrito. En este caso, los dos estados del medio de registro se manifiestan en propiedades físicas y/o químicas diferentes de dicho medio de registro.

40 Según la invención, para la irradiación de los fotones se elige al menos una fuente de fotones con un flujo de fotones de menos de 10<sup>4</sup> fotones por segundo.

Se ha reconocido que con un flujo de fotones tan pequeño se pueden transmitir de manera ventajosa estructuras especialmente finas al medio de registro sin que tenga que apantallarse parcialmente la irradiación por medio de una máscara. Por el contrario, para flujos de fotones tan pequeños están disponibles otras posibilidades con miras a fijar las estructuras escritas en el medio de registro: Por ejemplo, se puede elegir una disposición de entre una pluralidad  
45 o una multiplicidad de fuentes de fotones. Siempre que éstas no puedan activarse por separado (litografía pasiva), se fija la estructura escrita por medio de las posiciones de las fuentes de fotones; siempre que dichas fuentes puedan activarse por separado (litografía activa), se fija adicionalmente la estructura escrita por medio del patrón de activación. Además, la fuente de fotones o la disposición de fuentes de fotones pueden moverse, especialmente escanearse, con relación al medio de registro.

50 Se ha reconocido que el empleo de una máscara según el estado actual de la técnica ha traído consigo varios inconvenientes. Estos inconvenientes conducen en suma a que la resolución local obtenible en la práctica con la litografía sea con regularidad netamente peor que el límite de difracción de, por ejemplo, una media longitud de onda

de luz.

- Una máscara consiste generalmente en una capa lateralmente estructurada impermeable a la luz, por ejemplo una capa de cromo, que predetermina la estructura que se debe escribir y que a su vez está aplicada sobre un sustrato permeable a la luz. Éste debe tener un espesor de aproximadamente 1-2 mm para garantizar una estabilidad mecánica suficiente. La capa impermeable a la luz tiene que ser netamente más gruesa que la profundidad de penetración óptica de la luz, ya que se tiene que apantallar completamente la luz. Si se deja pasar una pequeña parte de la luz, el medio de registro en sitios que verdaderamente no deben escribirse se conmuta ciertamente con el tiempo, dado que integra las interacciones con fotones a lo largo del tiempo. El espesor netamente mayor de la máscara en proporción a la longitud de onda de la luz y, por tanto, al tamaño de la estructura fija ahora la distancia mínima entre la fuente de luz y el medio de registro. Cuanto mayor sea esta distancia, tanto más fuertemente repercuten las distribuciones tan solo finitamente precisas de la energía y las direcciones de irradiación debajo de los fotones actuantes como embadurnado de la estructura escrita.
- En los cantos de la estructura de la capa impermeable a la luz se presentan otros efectos de difracción que conducen también a un embadurnado de la estructura escrita.
- La máscara puede producirse solamente con una precisión finita, lo que conduce a una inseguridad adicional en las dimensiones exactas de la estructura escrita.
- Una máscara con dimensiones macroscópicas, por ejemplo las dimensiones de una oblea semiconductor típica con varias pulgadas de diámetro, es irradiada en general con una extensa fuente de luz, por ejemplo una lámpara. Su distribución de intensidad no es homogénea con tales dimensiones, de modo que se pueden escribir estructuras en zonas diferentes del medio de registro con intensidades diferentes.

Como quiera que ahora según la invención se puede prescindir de una máscara, se eliminan estas fuentes de error y la resolución obtenible se aproxima al límite de difracción. Se suprime también la fabricación y estructuración muy complicadas y caras de la máscara que formaba, según el estado actual de la técnica, un cuello de botella en la materialización de prototipos de estructuras novedosas.

- Para hacer pasar una molécula o una unidad de fórmula del medio de registro desde el estado no escrito hasta el estado escrito es necesario al menos un fotón como alimentación de energía. Cuantos menos fotones se ofrezcan tantas menos moléculas o unidades de fórmula se modificarán. Por tanto, la fuente de fotones se hace funcionar ventajosamente en ciclos de trabajo en los que ésta emite entre 1 y 100 fotones. Si se emite exactamente un fotón por cada ciclo de trabajo, se realiza la modificación más pequeña posible en el medio de registro.
- El sitio en que se realiza exactamente esta modificación viene determinado por una distribución de probabilidades según la característica de irradiación de la fuente de fotones. Esta distribución de probabilidades pasa en el caso límite de grandes números de fotones al perfil de rayo macroscópico de la fuente de fotones. Cuanto mayor sea la distancia entre la fuente de fotones y el medio de registro tanto más ampliada espacialmente estará la distribución de probabilidades. Por tanto, se pone la fuente de fotones ventajosamente a una distancia de trabajo de 1  $\mu\text{m}$  o menos con respecto al medio de registro. La distancia de trabajo mínimamente posible está predefinida sustancialmente por la aspereza de la superficie y el riesgo así originado de colisiones mecánicas entre la fuente de fotones y el medio de registro.

En una ejecución especialmente ventajosa de la invención la fuente de fotones y el medio de registro se mueven una con relación a otro. Este movimiento puede efectuarse a lo largo de una línea que ha de transferirse como estructura al medio de registro. Sin embargo, puede efectuarse también, por ejemplo, de manera tramada, activándose la fuente de fotones solamente en aquellos puntos de la trama en los que, según la estructura a transferir, debe modificarse el material de registro.

En este caso, los sitios por cada punto de trama en los que inciden los fotones emitidos sobre el medio de registro están sujetos nuevamente a una distribución de probabilidades. No obstante, se pueden transferir estructuras que sean netamente más pequeñas que la anchura de esta distribución. A este fin, se elige ventajosamente un medio de registro que únicamente por encima de una dosis umbral predefinida de fotones se hace pasar localmente del estado no escrito al estado escrito. Mediante una elección adecuada del ancho de trama y de la dosis de fotones irradiada en cada punto de trama se puede generar entonces una distribución espacial de las dosis de fotones irradiadas en conjunto sobre el medio de registro, cuya distribución está por encima de la dosis umbral solamente a lo largo de la estructura que se debe transferir. El hecho de que también las regiones restantes del medio de registro hayan recibido fotones carece de importancia para la aplicación práctica, que distingue solamente entre los dos estados "no escrito" y "escrito".

De esta manera, con una longitud de onda adecuada (energía) de los fotones se pueden transferir estructuras que son netamente más pequeñas que la anchura de la distribución de probabilidades predefinida por el límite de difracción para los sitios en los que inciden los fotones emitidos. Por el contrario, la litografía convencional está limitada en materia de difracción y requiere menores longitudes de onda para pasar a tamaños de estructura más

pequeños. Cuanto más pequeña sea la longitud de onda tanto mayor será el coste que habrá que dedicar a la fuente de luz y a la óptica. Precisamente, las fuentes de luz térmicas tienen grandes imprecisiones en las energías y direcciones de los fotones individuales de los que está compuesta su luz.

5 Ventajosamente, se elige una fotorreserva para la fotolitografía como medio de registro. Esta fotorreserva puede retirarse selectivamente allí donde esté en el estado escrito (reserva negativa) o allí donde esté en el estado no escrito (reserva positiva). El sustrato sobre el cual se había aplicado la fotorreserva puede procesarse entonces física o químicamente a través de la máscara de fotorreserva estructura de esta manera, por ejemplo mediante corrosión iónica o corrosión química en húmedo. De esta manera, se transfiere la estructura del medio de registro al sustrato. Aparte de una fotorreserva, son adecuados también como medio de registro, por ejemplo, unos medios de cambio de fase y unos medios térmicamente activados.

10 En una ejecución especialmente ventajosa de la invención se elige una disposición de entre varias fuentes de fotones activables por separado. Éstas pueden estar dispuestas especialmente según una trama con un ancho de tramo de 100 nm o menos, preferiblemente 50 nm o menos. Están disponibles fuentes de fotones individuales con dimensiones de hasta 20 nm. La trama puede ser unidimensional, por ejemplo una trama de puntos a lo largo de una línea, o bien bidimensional, por ejemplo una trama de puntos en forma de rejilla. Cada fuente de fotones individual activada recubre ahora el medio de registro con una distribución espacial de probabilidades de los fotones emitidos por ella, pudiendo superponerse también las distribuciones que provienen de fuentes de fotones contiguas activadas. El medio de registro se hace pasar del estado no escrito al estado escrito en todos los sitios en los que en suma incide al menos el valor umbral necesario de fotones. Las estructuras dotadas de dimensiones que se mueven dentro del orden de magnitud de la trama de puntos pueden reproducirse de manera directamente comprensible en una muestra de escritura cuyas fuentes de fotones situadas en la trama se pueden activar durante el tiempo requerido o con la frecuencia requerida. Con una disposición físicamente producida se pueden escribir un gran número de estructuras diferentes mediante una variación de la activación. Una adaptación de la estructura ya no requiere entonces una adaptación de una máscara en materia de hardware, sino que dicha adaptación se puede materializar mediante una variación de la activación en materia de software.

15 En una ejecución especialmente ventajosa de la invención se determinan la frecuencia y/o la duración  $x_i$ , con las que se hace funcionar cada fuente de fotones  $i$ , como una solución de un sistema de ecuaciones en el que la dosis de fotones  $D_k$  irradiada para cada sitio  $k$  sobre o en el medio de registro se expresa como la suma de las aportaciones  $d_{ik}(x_i)$  que efectúa cada fuente de fotones  $i$  a esta dosis de fotones  $D_k$ . En esta ejecución las  $D_k$  que están en el lado derecho vienen predefinidas por la estructura que se debe transferir, habiéndose discretizado el medio de registro continuo en sitios individuales  $k$ . Las aportaciones  $d_{ik}(x_i)$  dependen de la característica de irradiación de las fuentes de fotones. En principio, existen siempre pequeñas desviaciones de la estructura realmente escrita con respecto a la escritura predefinida, ya que las distribuciones de probabilidades referentes a los sitios en los que los fotones emitidos por cada fuente de fotones inciden sobre o en el medio de registro no presentan necesariamente una forma semejante a la estructura que se debe escribir. Sin embargo, dado que estas distribuciones de probabilidades se superponen, se pueden optimizar las aportaciones de las distintas fuentes de fotones resolviendo el sistema de ecuaciones en el sentido de que se minimicen las desviaciones. Ventajosamente, las aportaciones  $d_{ik}(x_i)$  se expresan como el producto de  $x_i$  por la probabilidad  $p_{ik}$  de que un fotón individual emitido por la fuente de fotones  $i$  incida en el sitio  $k$  sobre o en el medio de registro. El sistema de ecuaciones pasa a ser entonces lineal. En sus coeficientes están incluidas la característica de irradiación de las distintas fuentes de fotones, su disposición espacial y la finura con la que se ha discretizado el medio de registro en sitios individuales  $k$ .

20 En una ejecución especialmente ventajosa de la invención se coloca la disposición de fuentes de fotones en  $n$  posiciones diferentes con relación al medio de registro. En las ecuaciones del sistema de ecuaciones se expresa  $D_k$  como la suma de las aportaciones  $d_{ikp}(x_{ip})$  que efectúa cada fuente de fotones  $i$  en la posición  $p=1, \dots, n$  a la dosis de fotones  $D_k$ . Las  $n$  posiciones pueden ser, por ejemplo, los puntos de una trama de puntos que es netamente más fina que la trama de los sitios  $k$  en los que están predefinidas las dosis de fotones  $D_k$  que se deben lograr. La solución de este sistema de ecuaciones es una frase  $x_{ip}$ , es decir, una muestra de escritura exacta para cada fuente de fotones  $i$ , indicando en qué sitio  $p$ , durante cuánto tiempo o con cuánta frecuencia debe activarse esta fuente de fotones. A partir de una estructura prefijada que se debe transmitir al medio de registro se desarrolla un "espectáculo de luces" de las distintas fuentes de fotones, mientras que la disposición de las fuentes de fotones alcanza sucesivamente un lugar  $p=1, \dots, n$  tras otro.

De esta manera, se puede transferir también estructuras que son netamente más pequeñas que la trama en la que están dispuestas las fuentes de fotones. La exactitud con la que se puede desplazar la disposición de fuentes de fotones con relación al medio de registro se reconvierte parcialmente en exactitud de la estructura transferida.

## 55 Parte especial de la descripción

A continuación, se explica el objeto de la invención ayudándose de figuras, sin que el objeto de la invención quede por ello limitado. Muestran:

La figura 1, un ejemplo de realización del procedimiento según la invención.

La figura 2, un esquema eléctrico para la activación separada de fuentes de fotones individuales en una matriz.

La figura 3, fotografías tomadas con microscopio electrónico de una disposición hexagonal de fuentes de fotones.

La figura 4, una caracterización de la emisión de luz desde las fuentes de fotones mostradas en la figura 3.

5 La figura 5, una fuente de fotones individuales en forma de pirámide.

La figura 6, la integración de la fuente de fotones individuales mostrada en la figura 5 en una estructura de alta frecuencia.

La figura 1 muestra esquemáticamente un ejemplo de realización del procedimiento según la invención. Sobre un sustrato 1 está aplicado un medio de registro 2 al que debe transferirse una estructura. Para transferir la estructura se coloca el sustrato portador 3 con un gran número de fuentes de fotones individuales 4 en la proximidad del medio de registro 2. El medio de registro 2 se conmuta ahora del estado no escrito al estado escrito solamente en la zona de aquellas fuentes 4 que se activan y emiten luz 5. Por tanto, se pueden escribir estructuras diferentes solamente por medio de una activación diferente. En una forma simplificada de este ejemplo de realización las fuentes de fotones individuales 4 no pueden activarse por separado, sino que están todas activadas o todas no activadas. La estructura escrita viene predefinida entonces por la disposición bidimensional de las fuentes 4 en el plano del sustrato portador 3.

La figura 2 muestra un esquema eléctrico para la activación separada de fuentes 4. Se ha previsto una trama de líneas a base de líneas de palabra  $W_1, W_2, \dots, W_n$  y una segunda trama de líneas a base de líneas de bit  $B_1, B_2, \dots, B_n$ . Ambas tramas de líneas juntas dan como resultado una rejilla rectangular. Las fuentes 4 están dispuestas con la misma periodicidad que esta rejilla rectangular, estando ligada una fuente exactamente a una línea de palabra y exactamente a una línea de bit. Por tanto, si se aplica una tensión entre una línea de palabra y una línea de bit, se activa exactamente una fuente 4. Las líneas de palabra y las líneas de bit no tienen que discurrir en este caso en el mismo plano ni tampoco tienen que estar en un plano con las fuentes 4. Si las fuentes 4 consisten, por ejemplo, en diodos luminiscentes (LEDs) en los que el apilamiento de contacto n, transición pn y contacto p discurre en la dirección de la normal al plano del dibujo, se tiene entonces que, por ejemplo, las líneas de palabra pueden discurrir por debajo de los contactos n o en el plano de los contactos n, de modo que cada línea de palabra une solamente contactos n uno con otro. Las líneas de bit pueden discurrir por encima de los contactos p o en el plano de los contactos p, de modo que cada línea de bit une solamente contactos p uno con otro.

En principio, en esta agrupación de barras cruzadas no solo existe entre una línea de palabra y una línea de bit una vía de corriente a través de la fuente 4 que está conectada directamente entre esta línea de palabra y esta línea de bit. Aparte de esta vía directa, existen aún otras vías parásitas a través de un gran número de fuentes adicionales 4. Sin embargo, cada fuente en tal vía parásita es solicitada con una tensión sensiblemente más pequeña que la de aquella fuente que está conectada directamente entre la línea de palabra activada y la línea de bit activada. La tensión en las fuentes de vías parásitas es más baja que la tensión mínima originada por los huecos de banda que se necesita para excitar y hacer que luzca un LED. Por este motivo, se excita y luce exclusivamente la fuente 4 conectada directamente entre la línea de palabra activada y la línea de bit activada, aun cuando existen vías parásitas a través de otras fuentes.

La figura 3 muestra unas fotografías tomadas con microscopio electrónico de una disposición hexagonal de fuentes 4. La imagen parcial b es una fotografía con zoom de una zona parcial de la imagen parcial a. Las fuentes 4 son estructuras LED cuya región n común es la capa 4a de GaN n-dopada representada en oscuro en la figura 3 sobre un sustrato de zafiro. Sobre la capa 4a de GaN n-dopada se encuentran unas columnas corroídas constituidas por una estructura multicapa no dopada 4b de GaInN/GaN que forman cada una de ellas un pozo multicuántico (MQW). El MQW funciona como un medio activo que determina la longitud de onda de la fuente de fotones. Sobre cada MQW se ha desarrollado GaN p-dopado como región p 4c.

La disposición se ha fabricado aplicando la estructura multicapa 4b y la región p 4c primeramente como capas planas sobre la capa 4a de GaN. A continuación, se estructuró la fotorreserva con litografía de chorro de electrones de modo que se puso al descubierto la región p 4c allí donde debía quedar como columna una fuente 4. Se aplicó una capa de níquel y a continuación se retiró la fotorreserva por levantamiento, de modo que solamente quedó níquel 4d sobre las regiones p 4c y éste fue retirado en las demás regiones. La estructura multicapa 4b y la región p 4c se eliminaron por corrosión hasta la capa 4a de GaN en todos los sitios en que no estaban protegidos por el níquel.

En el estado representado en la figura 3 le falta aún a la disposición el contactado eléctrico de las regiones p 4c con el mundo exterior. Este contactado se puede establecer introduciendo un material aislante entre las columnas hasta una altura tal que solamente sobresalgan todavía las regiones 4c y 4d. Como tal material aislante es adecuado, por ejemplo, silsesquioxano de hidrógeno (HSQ), el cual puede proyectarse sobre la disposición y, bajo la acción del

calor, forma SiO<sub>2</sub> aislante como producto final. Cuando está formada la capa de SiO<sub>2</sub>, se retira selectivamente el níquel y se aplica seguidamente una capa de contacto transparente eléctricamente conductora a base de una aleación de níquel-oro que une las regiones deseadas 4c con el mundo exterior. Se producen contactos n por corrosión del SiO<sub>2</sub> con chorro de iones Ar hasta alcanzar la capa de n-GaN y penetrar en las regiones que se han definido previamente con procedimientos litográficos. A continuación, se realiza una metalización con Ti/Al/Ni/Au que se alean seguidamente.

La disposición puede configurarse también de modo que las fuentes 4 sean individualmente direccionables. A este fin, se estructura la capa 4a de GaN en forma de líneas de palabra que unen una respectiva fila de columnas una con otra. Cada columna está entonces siempre sobre exactamente una línea de palabra, y entre las líneas de palabra se ha retirado la capa 4a de GaN hasta alcanzar el sustrato de zafiro, con lo que las líneas de palabra quedan aisladas una respecto de otra. La capa de contacto transparente eléctricamente conductora se estructura lateralmente en forma de líneas de bit que unen siempre columnas de regiones 4c una con otra y con el mundo exterior. Aplicando una tensión entre una línea de palabra y una línea de bit se puede activar entonces exactamente una fuente 4.

La figura 4a muestra la distribución espacial de la fotoluminiscencia que ha emitido el sistema estratificado representado en la figura 3 a consecuencia de una excitación óptica con una longitud de onda de luz de 325 nm. La fotoluminiscencia ha tenido lugar a una longitud de onda de 440 nm. La medición de la fotoluminiscencia es adecuada como ensayo intermedio para el control de calidad durante la producción. Si no se muestra fotoluminiscencia, la disposición fabricada es un producto de rechazo y se ahorran los demás pasos del proceso.

La figura 4b muestra la distribución de intensidad I de la electroluminiscencia en función de la energía E para la pila de capas planas a partir de la cual se ha fabricado la disposición mostrada en la figura 3 (antes de la aplicación de la fotorreserva; curva (i)), así como para una fuente individual 4 (curva (ii)). La distribución tiene para la curva (i) una anchura de semivalor (FWHM) de 140 meV y para la curva (ii) tiene una anchura de semivalor de 100 meV. Como quiera que la dimensión espacial de la fuente 4 se ha reducido por la capa plana a la columna, se ha aminorado el número de fotones emitidos por unidad de tiempo hasta el punto de que con una duración de impulso suficientemente corta se puede excitar la emisión de fotones individuales. Cuanto más pequeña sea la columna corroída, tanto mayor será el confinamiento cuántico en las columnas y tanto menor será el intervalo de las energías fotónicas que emite una fuente de fotones individual.

La figura 5 muestra otro ejemplo de realización para una fuente 4 de fotones individuales que es adecuada para la puesta en práctica del procedimiento según la invención. Sobre un sustrato de zafiro 51 se aplica primeramente una capa 52 de GaN n-dopada por medio de un procedimiento MOVPE. Seguidamente, se aplica por centrifugado una capa 53 de HSQ que, bajo la acción de calor, forma SiO<sub>2</sub> aislante como producto final. Se aplica un polímero de polimetilmetacrilato PMMA y éste sirve como reserva positiva para la litografía por chorro de electrones. Se expone la capa con un chorro de electrones allí donde debe producirse una fuente 4 de fotones individuales, y a continuación se retira selectivamente dicha capa. El SiO<sub>2</sub> puesto al descubierto es retirado por medio de corrosión iónica reactiva. A continuación, se retira luego el PMMA. El SiO<sub>2</sub> no solo es un material aislante, sino que sirve como máscara para la epitaxia siguiente. Mediante otro proceso MOVPE se aplica selectivamente InN sobre el n-GaN a través de la abertura producida en la capa de HSQ. El InN crece como una pirámide 54 hacia fuera de la máscara de SiO<sub>2</sub>. La pirámide se recrece conformalmente con GaN 55 p-dopado. Se forma entonces la transición p i n del LED entre el GaN p-dopado, el InN no dopado y el GaN n-dopado (figura 5a).

Se aplica una capa de fotorreserva 56 y se estructura ésta litográficamente de modo que a la izquierda y a la derecha de las pirámides 54/55 se originen unas respectivas zonas en las que la capa 53 de SiO<sub>2</sub> es puesta al descubierto. En estas zonas se eliminan por efecto de la corrosión de iones argón insinuada con flechas de trazos la capa 53 de SiO<sub>2</sub> y una zona de la capa 52 de n-GaN próxima a la superficie (figura 5b). A continuación, se aplican los metales Ti/Al/Ni/Au, los cuales forman en estas zonas, después de alearse, unos contactos metálicos 57 que unen la capa de n-GaN con el mundo exterior. El metal restante se retira por levantamiento de la capa de fotorreserva 56. Se aplica otra capa de fotorreserva 58 y se estructura ésta lateralmente de modo que se pongan al descubierto las pirámides 54 (figura 5c).

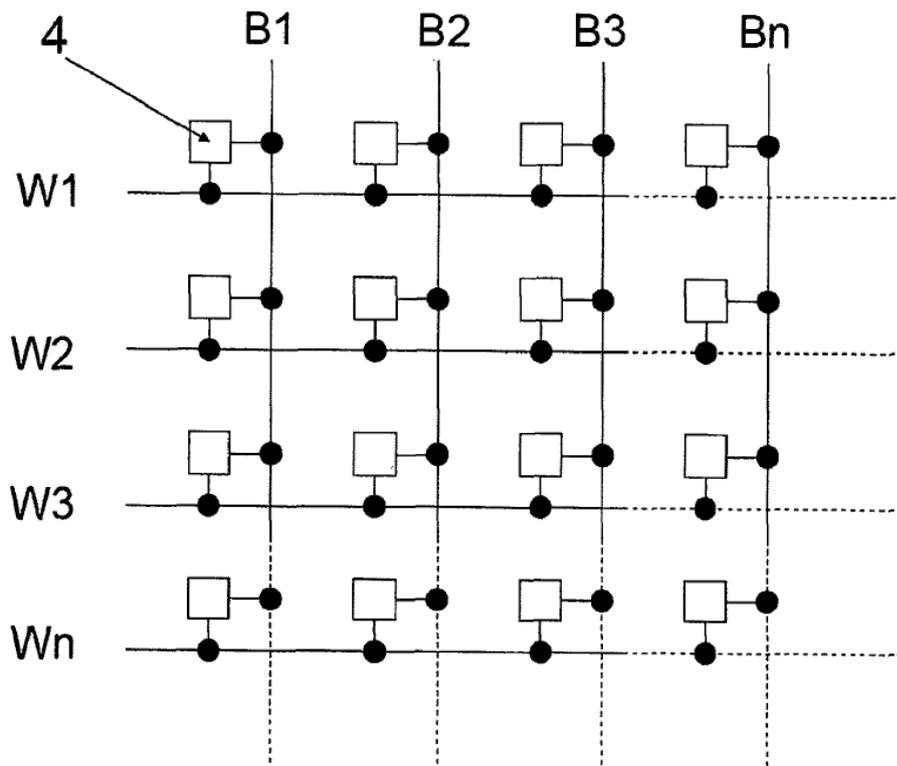
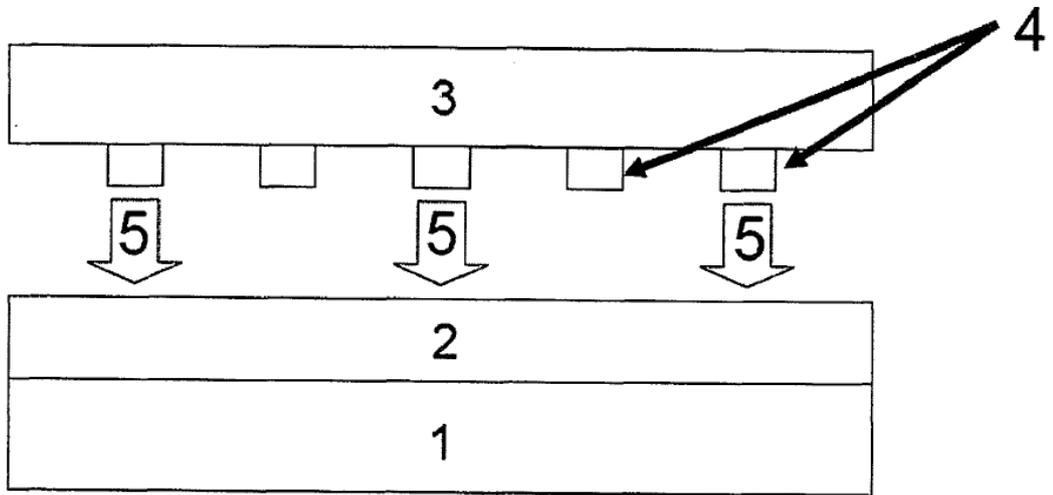
Se aplica nuevamente una metal – aquí Ni y Au – que rodea a las pirámides 54/55. Mediante un nuevo levantamiento se retira el metal depositado sobre la capa de fotorreserva 58. Queda un contacto metálico 59 a través del cual se pueden activar las pirámides 54/55. Se activa la fuente de fotones cuando se aplica una tensión entre los contactos 57 y 59.

La figura 6 muestra fotografías tomadas con microscopio electrónico de una fuente de fotones individuales fabricada de esta manera que está integrada en una estructura de alta frecuencia. Las imágenes parciales a-d muestran escalones de aumento diferentes. El contacto 59 está configurado aquí como una lengüeta metálica 59a, 59b que cubre las pirámides 54/55 de InN aún visibles revestidas de p-GaN. Cada dos de estas lengüetas desembocan en una plaquita de contacto macroscópica 59c para conectar eléctricamente las pirámides 54/55 con el mundo exterior. Los contactos 57 desembocan también en plaquitas de contacto macroscópicas 57a, 57b para conectar

la capa de n-GaN con el mundo exterior. Si se aplica una tensión entre las plaquitas de contacto 59c y 57a, se activa la fuente sobre la lengüeta metálica 59a.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la transferencia óptica de una estructura a un medio de registro que puede hacerse pasar localmente de un primer estado no escrito a un segundo estado escrito por irradiación de fotones desde una fuente de fotones, manifestándose los dos estados del medio de registro en propiedades físicas y/o químicas diferentes del medio de registro, **caracterizado** por que para la irradiación de fotones se elige al menos una fuente de fotones con un flujo de fotones de menos de  $10^4$  fotones por segundo.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** por que la fuente de fotones se hace funcionar en ciclos de trabajos en los que ésta emite entre 1 y 100 fotones.
- 10 3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado** por que la fuente de fotones se coloca a una distancia de trabajo de  $1\ \mu\text{m}$  o menos con respecto al medio de registro.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** por que la fuente de fotones y el medio de registro se mueven una con relación a otro.
- 15 5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** por que se elige un medio de registro que, únicamente por encima de una dosis umbral predefinida de fotones, se hace pasar localmente del estado no escrito al estado escrito.
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** por que se elige como medio de registro una fotorreserva para la fotolitografía.
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** por que se elige una disposición de varias fuentes de fotones activables por separado.
- 20 8. Procedimiento según la reivindicación 7, **caracterizado** por que las fuentes de fotones están dispuestas en una trama con un ancho de trama de  $100\ \text{nm}$  o menos, preferiblemente  $50\ \text{nm}$  o menos.
- 25 9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 7 y 8, **caracterizado** por que la frecuencia y/o la duración  $x_i$ , con las que se hace funcionar cada fuente de fotones  $i$ , se determinan como solución de un sistema de ecuaciones en el que la dosis de fotones  $D_k$  inyectada en cada sitio  $k$  sobre o en el medio de registro se expresa como la suma de las aportaciones  $d_{ik}(x_i)$  que efectúa cada fuente de fotones  $i$  a esta dosis de fotones  $D_k$ .
10. Procedimiento según la reivindicación 9, **caracterizado** por que en el sistema de ecuaciones las aportaciones  $d_{ik}(x_i)$  están expresadas como el producto de  $x_i$  por la probabilidad  $p_{ik}$  de que un fotón individual emitido por la fuente de fotones  $i$  incida en el sitio  $k$  sobre o en el medio de registro.
- 30 11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 y 10, **caracterizado** por que la disposición de fuentes de fotones se coloca en  $n$  posiciones diferentes con relación al medio de registro y por que  $D_k$  se expresa como la suma de las aportaciones  $d_{ikp}(x_{ip})$  que cada fuente de fotones  $i$  efectúa a la dosis de fotones  $D_k$  en la posición  $p=1, \dots, n$ .



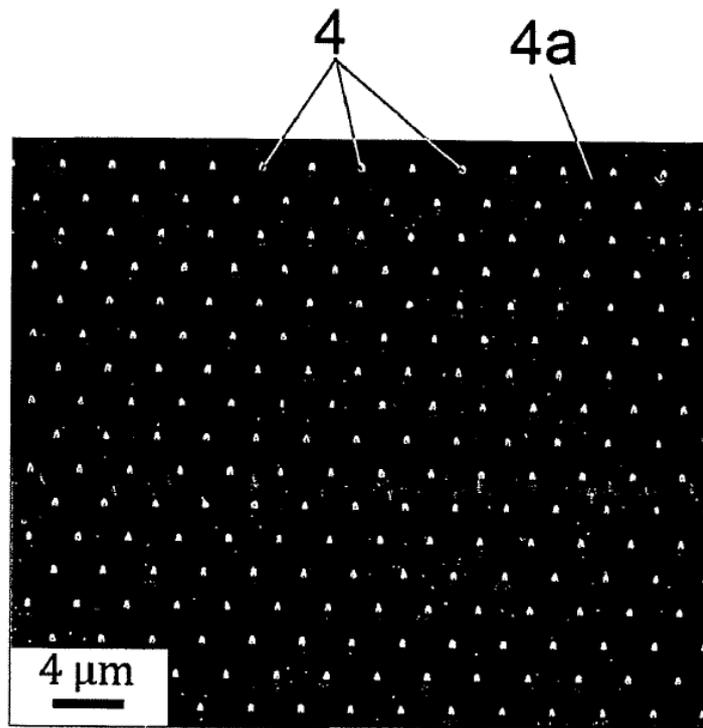


Figura 3a

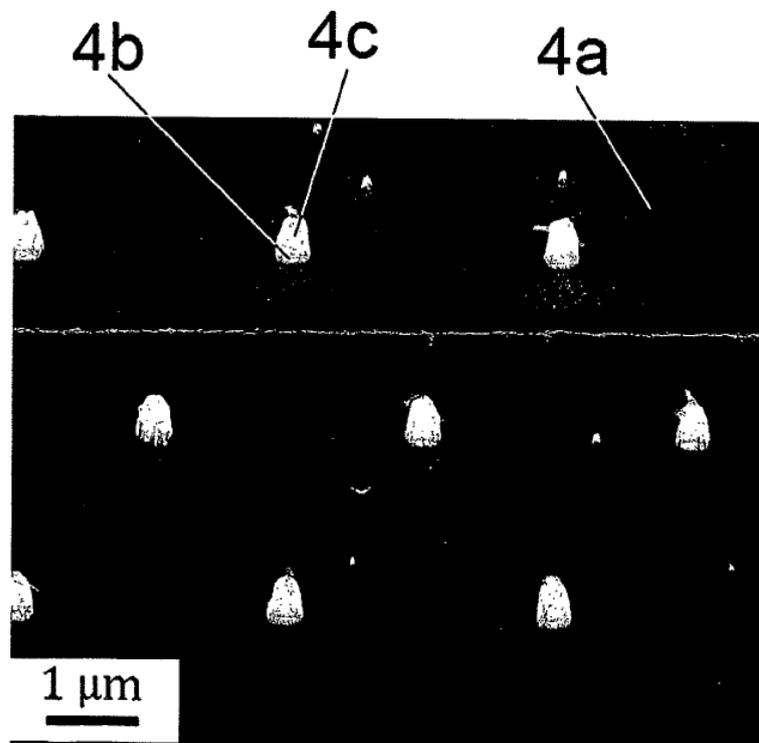


Figura 3b

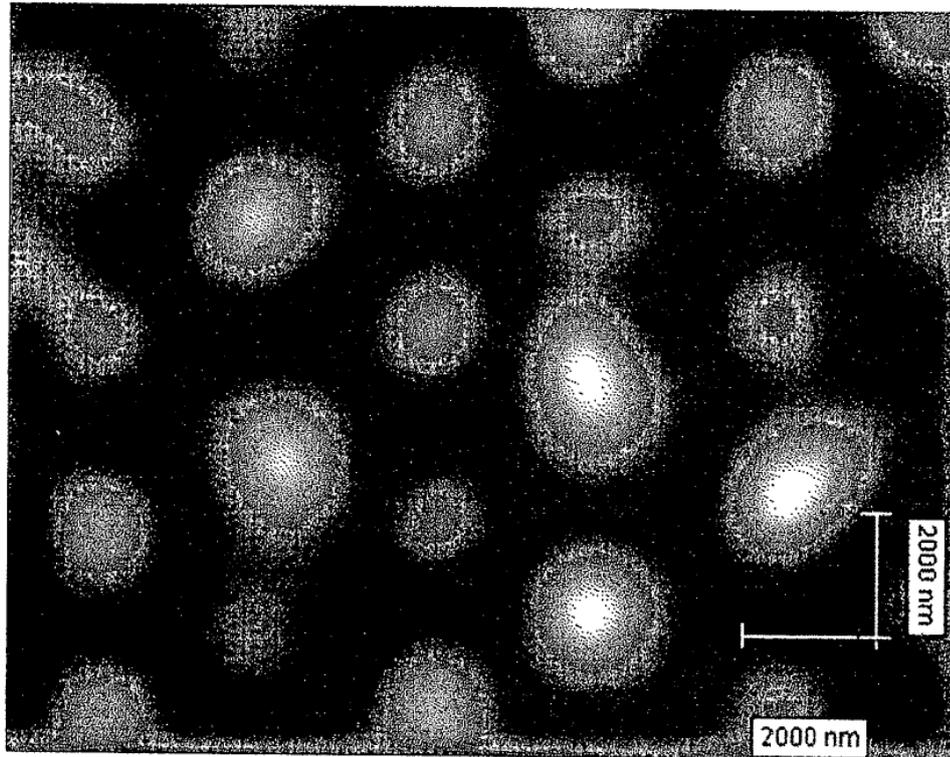


Figura 4a

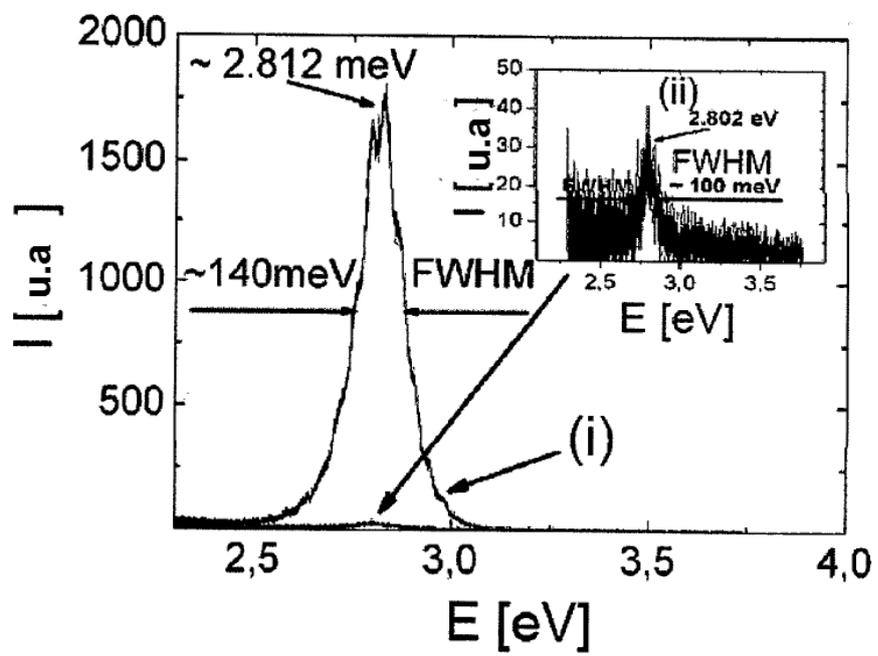


Figura 4b

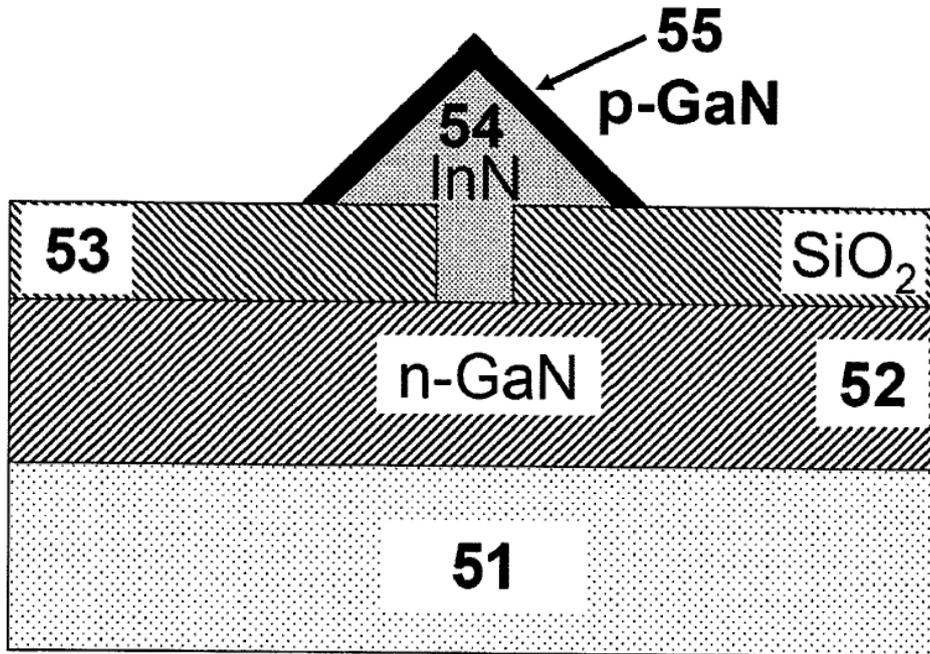


Figura 5a

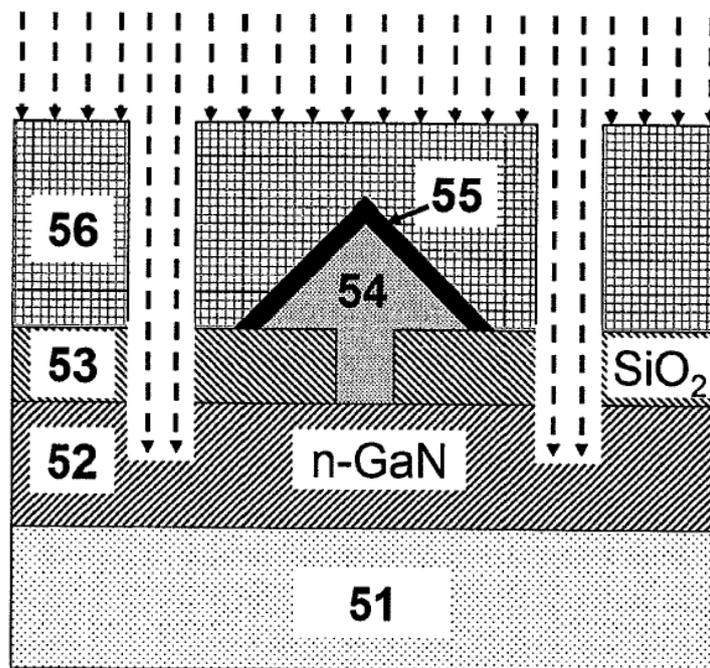


Figura 5b

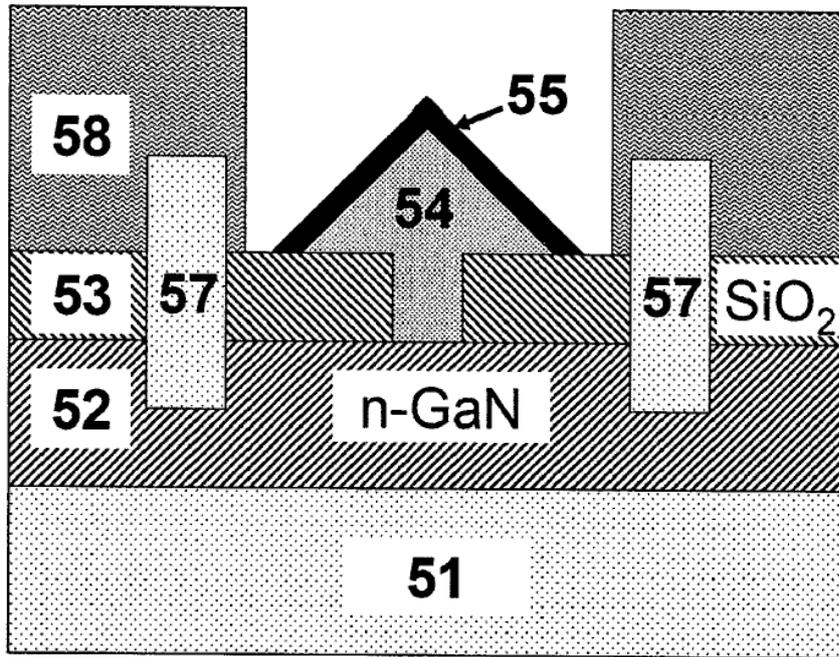


Figura 5c

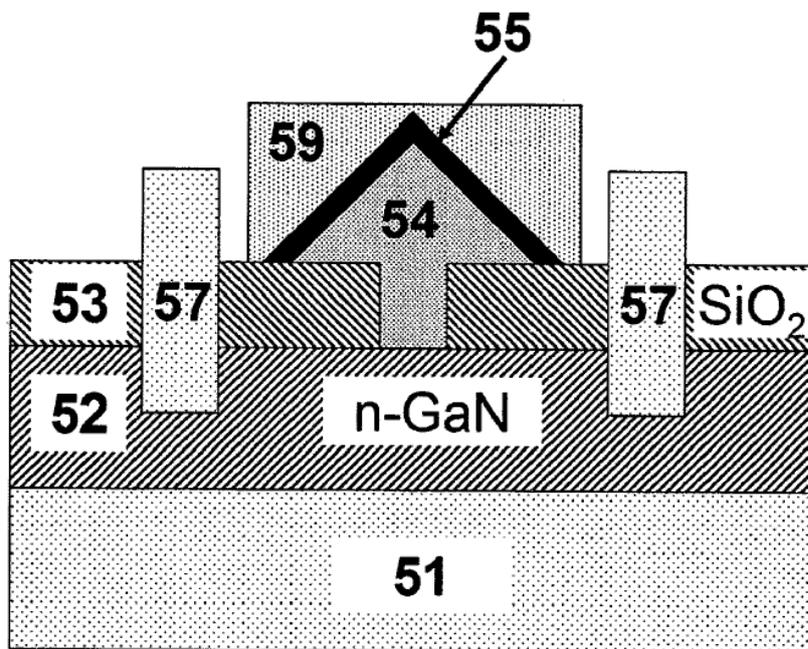


Figura 5d

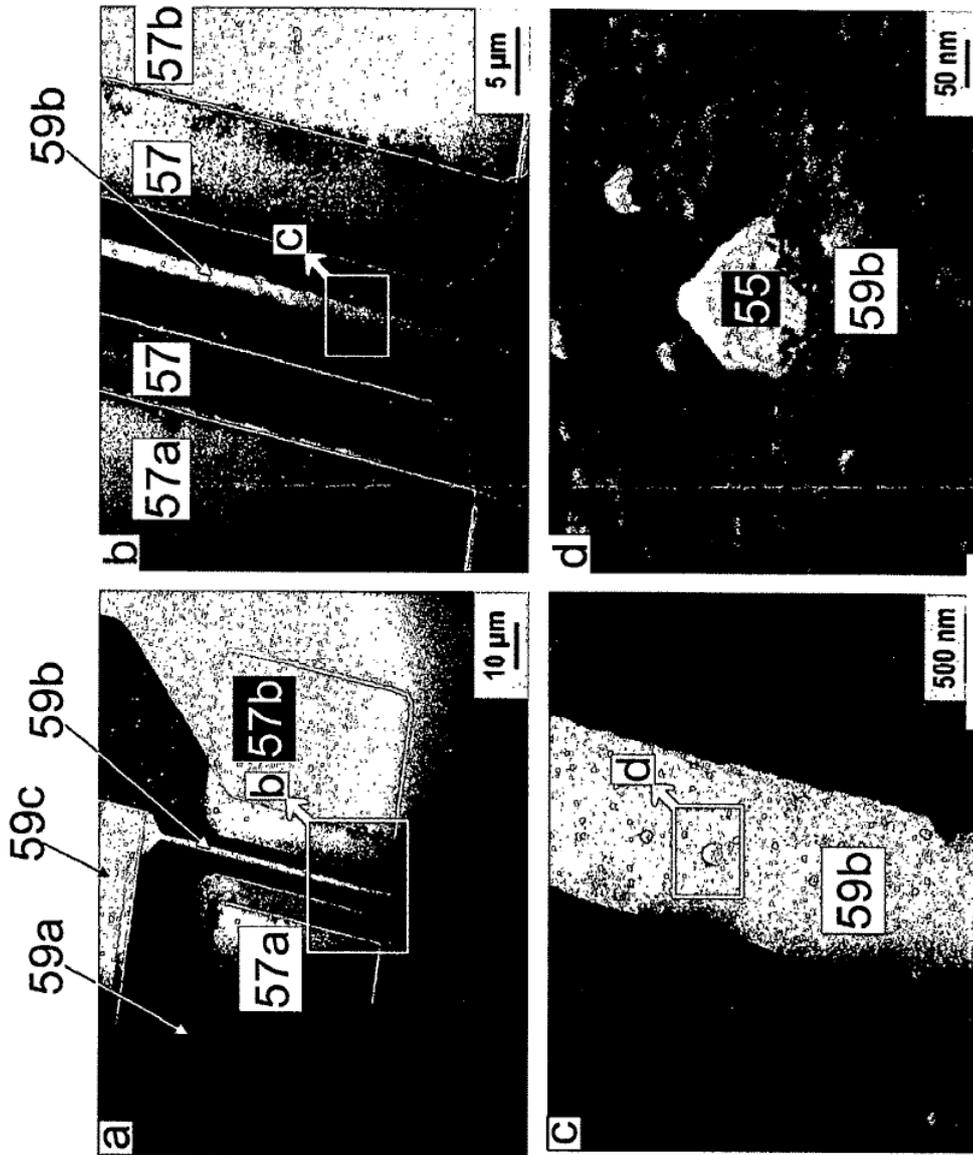


Figura 6