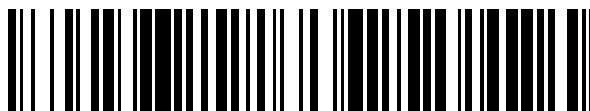


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 776 724**

51 Int. Cl.:

<b>C03B 33/02</b>	(2006.01)
<b>B23K 26/00</b>	(2014.01)
<b>B24D 3/00</b>	(2006.01)
<b>B23K 26/0622</b>	(2014.01)
<b>B23K 103/00</b>	(2006.01)
<b>B23K 26/53</b>	(2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.12.2016 PCT/EP2016/079411**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.08.2017 WO17140394**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2016 E 16810274 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2020 EP 3416921**

54 Título: **Procedimiento de mecanización de cantos de elementos de vidrio y elementos de vidrio mecanizados según este procedimiento**

30 Prioridad:

**17.02.2016 DE 102016102768**

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

**31.07.2020**

73 Titular/es:

**SCHOTT AG (100.0%)  
Hattenbergstrasse 10  
55122 Mainz, DE**

72 Inventor/es:

**PLAPPER, VOLKER;  
WAGNER, FABIAN;  
ORTNER, ANDREAS;  
SEIDL, ALBRECHT y  
LENTES, FRANK-THOMAS**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 776 724 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 de mecanización de cantos de elementos de vidrio y elementos de vidrio mecanizados según este procedimiento.

5 La invención se refiere en general a la mecanización de los cantos de lunas de vidrio. En particular, concierne a una mecanización de los cantos con procedimientos diferentes.

10 Para fabricar un elemento plano de vidrio o vitrocerámica se trocea típicamente un elemento plano de mayor tamaño por medio de uno o varios cortes de división y se la confiere así la medida deseada. A continuación, es generalmente necesaria una mecanización del canto. Para la individualización se han establecido operaciones mecánicas de rayado y rotura, pero también son conocidos procesos de fusión o de abrasión, como la división por chorro de agua.

15 Cada uno de estos procedimientos tiene determinados inconvenientes, como, por ejemplo, una pequeña resistencia mecánica o una pequeña fidelidad de forma. Así, por ejemplo, durante el rayado y la rotura aumentan, al hacerse mayor el espesor, los defectos de forma originados por roturas oblicuamente inducidas. En el corte por chorro de agua se origina, debido al procedimiento, una superficie de división oblicua, ya que, al cortar con chorro de agua, se genera una ranura que termina en forma cónica.

Sin embargo, en los diferentes procesos de división se pueden producir desconchaduras y microfisuras en los cantos, con lo que se reduce fuertemente la resistencia resultante o se varía el contorno previsto de la pieza de trabajo.

Al aumentar la longitud de las fisuras se reduce la resistencia del canto, cumpliéndose que:

$$a = \left( \frac{K_{1c}}{2\sigma_{res}} \right)^2$$

20 En esta fórmula  $K_{1c}$  es el factor crítico de intensidad de tensión del material,  $a$  es la longitud de la fisura y  $\sigma_{res}$  es la carga de tensión máxima de la fisura antes de que se agrande la microfisura.

25 En el procesamiento ulterior se generan típicamente geometrías especiales (esmerilado en C, esmerilado plano, facetas pequeñas) con una herramienta de conformación especial. Según la calidad de entrada, este paso de mecanización puede ser también de varias etapas, recorriéndose sucesivamente el canto con diferentes herramientas de granulometrías distintas.

Dado que no siempre se puede mantener exactamente el trazado del canto durante la división, se provee en general también una sobremedida. La sobremedida se retira después durante la mecanización adicional del canto.

30 Por último, en procesos de varias etapas se tienen que retirar también daños en profundidad producidos por un primer proceso de esmerilado (subsurface damages – daños subsuperficiales) por medio de los pasos siguientes. El esmerilado basto está previsto en este caso como primer paso de esmerilado de conformación para la rectificación o la generación de contorno (basta) del canto, lo que es importante sobre todo en procedimientos de división que no generan una alta fidelidad de forma. El segundo paso – el esmerilado fino – produce entonces el contorno final con la calidad superficial correspondiente al proceso y, por tanto, proporciona la resistencia. Esto es engorroso, ya que los procesos de esmerilado más fino erosionan también el material con mayor lentitud, pero, a pesar de ello, hay que rebajar una capa más gruesa para eliminar los daños en profundidad. Frecuentemente, las calidades superficiales en este estado no corresponden a los requisitos ópticos, por ejemplo en cuanto a transparencia o rugosidad. Si no es suficiente la calidad materializada del canto, se efectúa opcionalmente un paso de pulido para el afinado del canto que no mejora las variaciones del contorno, sino únicamente la calidad superficial (por ejemplo, rugosidad reducida, mayor transparencia, mayor resistencia, ...). Todos los pasos descritos del proceso pueden estar constituidos en detalle por varios pasos de proceso individuales.

40 El documento US 2015/165548 A1 describe la filamentación de un vidrio con pulido subsiguiente del canto producido. En otro proceso se obtiene un contorno por filamentación doble de las zonas del borde del canto bajo un ángulo oblicuo. Existe aquí el problema de que especialmente en vidrio no pretensado las pequeñas zonas perforadas del canto (con corte transversal triangular) tienen que arrancarse del material bruto de una manera segura para el proceso y deben retirarse de éste sin producción de esquirlas. Un procedimiento semejante se encuentra descrito también en el documento US 2014/239552 A1 y en el documento WO 2015/113026 A2.

50 Por consiguiente, la invención se basa en el problema de mejorar la mecanización de cantos en vidrios y vitrocerámicas en cuanto a la complejidad, la exactitud y los costes de producción. La calidad del canto deberá ser comparable al menos con la de los procedimientos de fabricación anteriormente descritos en cuanto a desconchaduras y microfisuras, la resistencia y la impresión visual.

Este problema se resuelve con el objeto de las reivindicaciones independientes. En las respectivas reivindicaciones subordinadas se indica ejecuciones y perfeccionamientos ventajosos.

5 Utilizando un láser de impulsos ultracortos se puede estructurar (filamentar) un vidrio de tal manera que éste pueda dividirse seguidamente. La división puede favorecerse eventualmente por vía mecánica o termomecánica o similares. El canto entonces producido presenta valores de resistencia comparables a los de cantos esmerilados.

10 Se manifiesta como sorprendente el hecho de que, debido a las exactitudes así obtenibles del canto, se pueden utilizar pasos de proceso subsiguientes, como un esmerilado del canto, de una manera sensiblemente más exacta. Esto significa que solamente se necesita un paso de proceso, se puede utilizar éste sin una sobremedida condicionada por la técnica del proceso y, por tanto, se puede operar con velocidades de proceso netamente más altas. En particular, se puede prescindir de un esmerilado basto debido a la alta precisión lograda durante la división. Además, se ha visto también que, a consecuencia de la alta fidelidad de forma lograda ya durante el proceso de división, se tiene que retirar durante el esmerilado subsiguiente una cantidad de material netamente menor en comparación con el esmerilado fino realizado en una mecanización adicional por esmerilado convencional de varias etapas. Se puede aumentar así la velocidad del proceso en un factor 2, incluso generalmente en un factor 2,5 o 3.

15 En particular, la calidad del canto en materia de resistencia es comparable con la de un canto convencionalmente esmerilado. Asimismo, se ha verificado sorprendentemente que, en cuanto al aspecto visual, un canto producido por división previa con un láser de impulsos ultracorto no se diferencia apreciablemente de un canto esmerilado. Por tanto, se pueden combinar ambos procesos para generar finalmente un canto. Se pueden utilizar así también herramientas geoméricamente sencillas (por ejemplo, en el facetado), lo que, a igual calidad, hace que resulte más favorable la cadena del proceso. Se reduce con ello una vez más el volumen de esmerilado, con lo que se puede aumentar de manera correspondiente la velocidad de mecanización y se puede reducir netamente el desgaste de la herramienta. Además, se pueden producir así artículos de vidrio con exactitudes prefijadas por el proceso del láser que estén netamente por encima de las exactitudes actuales.

25 Por tanto, la invención prevé en general un elemento plano de vidrio o vitrocerámica cuyo canto esté mecanizado con una combinación de dos procedimientos, a saber, por un lado, filamentación y clivaje o división y, por otro lado, esmerilado del canto. Por tanto, estos procedimientos comprenden como primer procedimiento la incorporación de daños filamentosos yuxtapuestos a lo largo de una línea y una división subsiguiente a lo largo de la línea, formando al propio tiempo un canto, y como segundo procedimiento una mecanización del canto por esmerilado. Según una forma de realización especialmente preferida de la invención, el esmerilado del canto se no se efectúa en toda la superficie, sino que se limita a una o especialmente ambas zonas de borde de la superficie del canto configuradas en forma de tiras adyacentes a las superficies laterales del elemento de vidrio o vitrocerámica.

En especial, la invención prevé un procedimiento para fabricar elementos de vidrio o vitrocerámica a partir de piezas planas de vidrio o vitrocerámica, en el que

35 - se generan en el interior de la pieza de vidrio o vitrocerámica unos daños filamentosos yuxtapuestos a lo largo de una línea de división y

- se generan los daños por medio de impulsos de un láser de impulsos ultracortos, siendo el material del elemento de vidrio o vitrocerámica al menos parcialmente transparente para los impulsos del láser de modo que la radiación láser pueda penetrar en el vidrio o la vitrocerámica para generar los daños en su interior, y

40 - se mueven el rayo láser pulsado y la superficie de la pieza de vidrio o vitrocerámica uno con relación a otra de modo que los puntos de incidencia de los impulsos de láser sobre la superficie del elemento de vidrio o vitrocerámica se yuxtapongan a lo largo de la línea de división, y en el que

- después de incorporar los daños filamentosos yuxtapuestos a lo largo de la línea de división se desprende el elemento de vidrio o vitrocerámica por división en la línea de división o bien se extrae dicho elemento de la pieza de vidrio o vitrocerámica, y en el que

45 - se mecaniza parcialmente por esmerilado la superficie del canto del elemento de vidrio o vitrocerámica formada durante la división de modo que la superficie del canto presente al menos una zona de forma de tira generada por la incorporación de los daños filamentosos y la división y una zona de forma de tira adyacente mecanizada adicionalmente por esmerilado.

50 Estas dos zonas de forma de tira así generadas se diferencian, entre otras cosas, en cuanto a su constitución superficial, si bien esta diferencia no es perceptible generalmente a simple vista. Los daños filamentosos previamente producidos en la superficie del canto obtenida después de la extracción del elemento de vidrio o vitrocerámica pueden detectarse como estructuras que discurren transversalmente a la dirección longitudinal de la superficie del canto y son paralelas una a otra. Por el contrario, en la zona adicionalmente mecanizada por esmerilado se han retirado al menos parcialmente estas estructuras por efecto de la erosión del material.

Por consiguiente, un elemento plano de vidrio o vitrocerámica obtenible con el procedimiento anteriormente descrito presenta dos superficies laterales opuestas y una superficie de canto que une las dos superficies laterales, comprendiendo la superficie de canto al menos una primera zona de canto alargada en forma de tira y al menos una segunda zona de canto alargada en forma de tira que se ha formado por esmerilado. Estas zonas de canto se extienden en la dirección longitudinal a lo largo de la superficie del canto y a lo largo de las superficies laterales, es decir que se extienden así paralelamente a la dirección longitudinal de la superficie del canto. La primera zona del canto presenta daños filamentosos alargados distanciados y yuxtapuestos paralelamente uno a otro, cuya dirección longitudinal discurre transversalmente a las superficies laterales y a lo largo de la superficie de la primera zona del canto. Típicamente, la velocidad de avance y también la tasa de repetición de impulsos del láser son sustancialmente constantes durante la mecanización con láser. Esto va acompañado entonces de la circunstancia de que los daños filamentosos están dispuestos también en posiciones equidistantes, es decir, con una distancia constante entre los centros de unos y otros.

La invención es especialmente adecuada para sustratos gruesos. Existe aquí la ventaja especial de que el láser puede penetrar en el volumen y puede detectar allí con precisión la superficie de división prevista por la producción de un daño. Por el contrario, los procedimientos mecánicos solamente pueden actuar en general desde fuera, lo que favorece el corrimiento de la superficie de división y, por tanto, la producción de inexactitudes en las dimensiones. En general, la invención es adecuada para piezas de vidrio o vitrocerámica y, por consiguiente, también para la fabricación de elementos de vidrio o vitrocerámica con un espesor en el intervalo de 1 a 20 milímetros, preferiblemente en el intervalo de 2 a 15 milímetros y de manera especialmente preferida para el intervalo comprendido entre 3 y 10 milímetros.

A continuación, se explicará la invención con más detalle haciendo referencia a las figuras. En las figuras los mismos símbolos de referencia designan siempre elementos iguales o correspondientes. Muestran:

La figura 1, un dispositivo de mecanización con láser para incorporar daños filamentosos,

La figura 2, una disposición óptica para generar un rayo de Bessel para la filamentación,

La figura 3, un dispositivo de mecanización con láser para desprender un elemento de una pieza de vidrio o vitrocerámica,

La figura 4, un elemento extraído de una pieza de vidrio o vitrocerámica,

La figura 5, la mecanización adicional de la pieza de vidrio o vitrocerámica por esmerilado de zonas de canto de forma de tira,

La figura 6, el elemento de vidrio o vitrocerámica terminado de mecanizar,

La figura 7, en corte transversal, un canto con facetas y

La figura 8, en corte transversal un canto con un esmerilado en C, y

La figura 9, una fotografía tomado con microscopio de un canto filamentado y a continuación esmerilado.

Para el procedimiento según la invención se extrae de una pieza plana 2 de vidrio o vitrocerámica un elemento 3 de vidrio o vitrocerámica con dimensiones establecidas. La figura 1 muestra un ejemplo de realización de un dispositivo 1 de mecanización con láser para realizar este paso del procedimiento. A lo largo de una línea de división 4 prevista se realiza una división previa mediante la incorporación de daños alargados o filamentosos. La línea de división imaginaria 4 y así también el trazado de los daños incorporados 6 imitan el contorno exterior del elemento 3 de vidrio o vitrocerámica que se debe desprender.

Por consiguiente, en el ejemplo mostrado en la figura 1 se debe recortar en la pieza 2 de vidrio o vitrocerámica un elemento rectangular de conformidad con el trazado de la línea de división imaginaria. La línea de división 4 no tiene que correr necesariamente a lo largo de todo el contorno exterior. Por ejemplo, sería imaginable también que el contorno exterior de la pieza 2 de vidrio o vitrocerámica y el del elemento 3 de vidrio o vitrocerámica a desprender coincidan parcialmente y entonces no haya que realizar tampoco una división previa a lo largo de estas zonas.

Para generar en el interior de la pieza 2 de vidrio o vitrocerámica unos daños filamentosos 6 yuxtapuestos a lo largo de la línea de división 4 está previsto un láser 10 de impulsos ultracortos como parte integrante del dispositivo 1. El láser 10 de impulsos ultracortos emite impulsos de láser 8 que inciden en el respectivo punto de incidencia 80 sobre una de las superficies laterales 25 de la pieza 2 de vidrio o vitrocerámica y penetran en el volumen de la pieza. Los impulsos 8 del láser se dirigen hacia la superficie lateral 25 de modo que los puntos de incidencia 80 estén situados sobre la línea de división 4. Por medio de un mecanismo de avance se mueven entonces el rayo láser pulsado y la superficie de la pieza 2 de vidrio o vitrocerámica uno con relación a otra de modo que los puntos de incidencia 80 de los impulsos 8 del láser sobre la superficie 20 del elemento 2 de vidrio o vitrocerámica se yuxtapongan a lo largo de la línea de división. En el ejemplo mostrado en la figura 1 se mueve el elemento 2 de vidrio o vitrocerámica a lo largo

de la línea de división 4 en la dirección de la flecha representada al lado de los puntos de incidencia 80. Como equipo de avance está prevista en este ejemplo una mesa XY 17 con la cual se puede mover la pieza 2 de vidrio o vitrocerámica en el plano de la superficie lateral 25.

5 La formación de un daño filamentosos alargado en el material puede obtenerse especialmente por autoenfoco del impulso de láser altamente energético. Puede preverse también una óptica que genere en el material un foco alargado. Un ejemplo de esta óptica es un axicón. El foco lineal presenta preferiblemente una longitud de 10 mm o menos, así como un diámetro de 10  $\mu\text{m}$  o menos. Independientemente del mecanismo de enfoque, el daño del material de vidrio o vitrocerámica es ocasionado especialmente por la generación de un plasma por medio de la luz láser altamente energética.

10 Los daños filamentosos alargados 6 se generan por absorción multifotónica, cuyos dominios de actividad pueden ajustarse y conformarse con ayuda de ópticas adecuadas. Se puede tratar aquí de una filamentación por autoenfoco de un rayo láser a consecuencia del efecto Kerr no lineal en la zona del foco de una lente, cuyo mecanismo se ha descrito, por ejemplo, en el documento WO 2012/006736 A2. Sin embargo, como alternativa o  
15 adicionalmente, se puede generar también con ayuda de ópticas especiales, como, por ejemplo, un axicón o lentes con aberración esférica, una zona focal lineal a lo largo de la cual puedan provocarse deliberadamente procesos de absorción multifotónica. Tales ópticas se describen, por ejemplo, en los documentos FR 2989294 A1, KR 2014 0072448 A o US 2012/0234807 A1. El empleo de una óptica para generar un foco lineal tiene la ventaja de que no debe tenerse en cuenta el frágil equilibrio entre el enfoque Kerr y el desenfoco del plasma, con lo que en la práctica se pueden generar daños más uniformes en el material. Mediante una óptica se pueden ajustar también  
20 deliberadamente la distribución de intensidad en el material y, por tanto, la longitud de los daños lineales.

En general, independientemente de la naturaleza del avance, se prefiere que la tasa de repetición del láser 10 de impulsos ultracortos y la velocidad de avance durante el movimiento del rayo láser pulsado y de la superficie de la pieza 2 de vidrio o vitrocerámica se ajusten una con relación a otra de modo que los daños filamentosos yuxtapuestos presenten una distancia entre centros en el intervalo de 1 a 15 micrómetros, preferiblemente 2 a 10  
25 micrómetros. Esta distancia garantiza a una elevada velocidad del proceso que el elemento 3 de vidrio o vitrocerámica se pueda extraer todavía de manera sencilla y segura.

Especialmente ventajoso para la generación de daños filamentosos largos es en general un funcionamiento del láser 10 de impulsos ultracortos en el modo de ráfagas. En este modo de funcionamiento se emiten los impulsos de láser 8 no como impulsos individuales, sino en forma de paquetes de impulsos. Estos paquetes de impulsos se denominan ráfagas. Por consiguiente, en un perfeccionamiento de la invención está previsto un funcionamiento de  
30 láser 10 en forma de una emisión temporalmente consecutiva de impulsos de láser en forma de ráfagas o paquetes de impulsos, generando preferiblemente cada una de estas ráfagas uno de los daños filamentosos 6.

Este paquete de impulsos presenta en general una energía algo mayor que la de un impulso individual en el modo de funcionamiento usual de un solo disparo. Sin embargo los impulsos de una ráfaga incluyen ellos mismos una  
35 energía netamente menor que la de un impulso individual. Asimismo, es típico que las energías de los impulsos disminuyan dentro de una ráfaga. En determinados láseres la distribución de la energía de los impulsos es ajustable dentro de la ráfaga. Por tanto, el modo de ráfagas se puede caracterizar señalando que el láser emite paquetes de impulsos, siendo la distancia temporal de los impulsos dentro de un paquete de impulsos menor que la distancia temporal entre dos paquetes de impulso y disminuyendo de impulso a impulso la energía de los impulsos dentro de  
40 un paquete de impulsos.

Una fuente de láser adecuada según la presente invención es un láser de itrio-aluminio-granate dopado con neodimio con una longitud de onda de preferiblemente  $1064 \pm 5$  nanómetros, pero son posibles también las longitudes de onda de  $532 \pm 5$  o  $355 \pm 5$  nanómetros. La fuente de láser trabaja preferiblemente con una tasa de repetición que está entre 5 kHz y 200 kHz, preferiblemente entre 10 kHz y 150 kHz y de manera muy especialmente  
45 preferida entre 30 kHz y 110 kHz. La velocidad de escaneo puede elegirse preferiblemente de modo que, dependiendo de la tasa de repetición, la distancia de daños filamentosos contiguos esté en el intervalo de 2 micrómetros a 10 micrómetros.

Según una forma de realización de la invención, es especialmente ventajoso en general también un modo de funcionamiento en el que la tasa de repetición de los impulsos de láser en forma de impulsos individuales o ráfagas se adapta en función de la velocidad relativa entre el láser y la pieza de vidrio o vitrocerámica para conseguir especialmente una distancia lo más constante posible incluso a velocidades diferentes. Por tanto, la adaptación es especialmente tal que, a una mayor velocidad de avance, se ajuste también una mayor tasa de repetición.

Según un perfeccionamiento de esta forma de realización, se ha previsto que se recorran trayectos rectos con mayores tasas de repetición (y velocidades) que, por ejemplo, en el caso de secciones de trayecto curvas. Se pueden materializar así también geometrías complejas con altas exactitudes, pero especialmente también con altas  
55 velocidades medias.

La duración adecuada de un impulso de láser está en un rango de menos de 100 picosegundos, preferiblemente en

menos de 20 picosegundos. La duración del impulso puede estar también en menos de 1 picosegundo. La potencia típica de la fuente de láser está de manera especialmente favorable en un intervalo de 40 a 200 vatios. Para lograr los daños filamentosos se utiliza, según un perfeccionamiento ventajoso de la invención, una energía de impulso en la ráfaga de más 200 microjulios, más ventajosamente una energía total de la ráfaga de más de 500 microjulios.

5 Preferiblemente, se emplea un láser 10 con una potencia en un intervalo de aproximadamente 10 a 200 vatios.

La energía de láser depositada en la pieza 3 de vidrio o vitrocerámica es  $> 300 \mu\text{J}$ , preferiblemente  $> 400 \mu\text{J}$  y de manera muy especialmente preferida  $> 500 \mu\text{J}$  por impulso de láser, especialmente en el caso de impulsos de láser en forma de ráfagas.

10 En el caso de un funcionamiento de láser 10 en el modo de ráfagas la tasa de repetición es la tasa de repetición de la emisión de ráfagas. La duración del impulso es sustancialmente independiente de si se hace funcionar un láser en funcionamiento de un solo impulso o en modo de ráfagas. Los impulsos dentro de una ráfaga presentan típicamente una longitud de impulso semejante a la de un impulso en el funcionamiento de un solo impulso.

15 Los daños filamentosos 6 se extienden, siguiendo la propagación de la luz, desde la superficie hasta el interior del material, es decir, en dirección a la superficie lateral opuesta. Cuando ha concluido la incorporación de estos daños 6 de modo que tales daños formen ciertamente una cortina de filamentos yuxtapuestos que discurre debajo de la línea de división prevista 74, o estén sobre una superficie situada en el volumen, se puede extraer seguidamente el elemento 3 de vidrio o vitrocerámica que se debe fabricar.

20 La figura 2 muestra esquemáticamente el trayecto del rayo del impulso de láser 8 a través de un elemento óptico 9 para generar un rayo de Bessel. Con el rayo de Bessel se consigue un foco lineal de una longitud  $d$ , a lo largo del cual se presenta una intensidad luminosa sustancialmente constante en la zona del eje óptico. El trayecto del rayo discurre de izquierda a derecha en la representación de la figura 2. Con el símbolo de referencia 82 se designa el perfil de intensidad espacial del impulso de láser 8 antes de incidir sobre el elemento óptico. El impulso de láser 8 tiene típicamente un perfil de intensidad de forma gaussiana. Después de pasar por el elemento óptico se forma un perfil de intensidad espacial 84 configurado como un rayo de Bessel con una intensidad fuertemente superelevada sobre el eje óptico. Este perfil de intensidad se conserva sustancialmente a lo largo del trayecto  $d$ . Por consiguiente, el elemento óptico 9 provoca un enfoque sobre un foco lineal. Para conseguir un enfoque de esta clase es especialmente adecuado como elemento óptico 9 un axicón.

30 En general, sin limitación a los ejemplos de representación descritos, la división en la línea de división 4 para la extracción del elemento 3 de vidrio o cerámica puede efectuarse o al menos favorecerse por calentamiento local de la pieza (2) de vidrio o vitrocerámica a lo largo de la línea de división. Especialmente adecuado para ello es el calentamiento por medio de un rayo láser. Este paso de división por medio de un láser está representado en la figura 3. El calentamiento local se realiza guiando nuevamente el rayo láser 110 de un láser de  $\text{CO}_2$  a lo largo de la línea de división 4 sobre la superficie lateral 25 de la pieza 2 de vidrio o vitrocerámica. Se ofrece el emplear el mismo mecanismo de movimiento que para el paso de incorporación de los daños filamentosos. Por consiguiente, en el ejemplo mostrado en la figura 3 y de manera correspondiente a la disposición de la figura 1 se mantiene también estacionario el láser y se mueve la pieza 2 de vidrio o vitrocerámica por medio de la mesa XY 17. Por supuesto, este mecanismo de movimiento se indica solamente a modo de ejemplo. Es esencial un movimiento relativo entre el punto de incidencia del rayo láser y la pieza 2 de vidrio o vitrocerámica. Gracias al calentamiento local se generan tensiones mecánicas que conducen a que se forme una fisura 111 a lo largo de la superficie en la que están los daños filamentosos 6 y así la pieza 3 de vidrio o vitrocerámica que se debe extraer se separe del material circundante.

45 La figura 4 muestra la pieza plana extraída 3 de vidrio o vitrocerámica. El elemento 3 de vidrio o vitrocerámica presenta dos superficies de canto opuestas 25, 26 y una superficie de canto periférica 24. El espesor del elemento 3 está preferiblemente en el intervalo de 1 a 20 milímetros, de manera especialmente preferida en el intervalo de 5 a 15 milímetros. En la superficie de canto pueden apreciarse todavía las estructuras de láser, por ejemplo en forma de daños filamentosos 6. Éstas discurren en su dirección longitudinal yendo desde una superficie lateral 25 hasta la superficie lateral opuesta 26. Si la proyección de los impulsos de láser 8 es perpendicular a la superficie lateral 25, la dirección longitudinal de los daños filamentosos se encuentra entonces de manera correspondiente en la dirección de la normal al área de la superficie lateral 25.

50 Frente a procedimientos de división convencionales, este procedimiento presenta la ventaja de una alta exactitud. Así, con un espesor de 4 mm de la pieza de vidrio o vitrocerámica y con una rotura por rayado convencional se mantiene una sobremedida de, por ejemplo, 0,6 mm. Las dimensiones exactas previstas se establecen después por esmerilado hasta la medida correcta. Resulta necesaria entonces una aproximación de 1 – 2 mm, por ejemplo 1,3 mm por cada lado para la operación de esmerilado. Al aumentar el espesor de la pieza de vidrio o vitrocerámica aumentan aún más las inexactitudes en el corte. Por consiguiente, hay que tener en cuenta una sobremedida mayor.

Por el contrario, en el procedimiento según la invención se pueden producir en todo caso inexactitudes al sujetar la pieza de vidrio o vitrocerámica cuando el contorno del elemento a fabricar no pueda ser recorrido con el láser de

impulsos ultracortos en un paso de mecanización continua. Tales inexactitudes se mueven típicamente dentro del rango de menos de 0,2 mm, preferiblemente 0,1 mm y de manera especialmente preferida menos de 0,05 mm.

Sin embargo, según la invención, la mecanización del canto no está aún concluida con la extracción de la pieza 3 de vidrio o vitrocerámica. Se efectúa aún una mecanización fina de naturaleza mecánica. Ahora bien, ésta es preferiblemente tal que ya no se reduzcan las dimensiones exteriores. En cualquier caso, la superficie de canto 24 del elemento 3 de vidrio o vitrocerámica formada durante la división se mecaniza parcialmente por esmerilado de modo que la superficie 24 del canto presente al menos una zona de forma de tira generada por la incorporación de los daños filamentosos y la división y una zona adyacente de forma de tira mecanizada adicionalmente por esmerilado.

La figura 5 muestra el elemento 3 de vidrio o vitrocerámica durante la mecanización adicional del canto anteriormente explicada. Los cantos 27, 28 en la zona de transición entre la superficie 24 del canto a las superficies laterales 25, 26 están aún afilados y son correspondientemente sensibles. Mediante el esmerilado del canto se modifica aquí el perfil de la superficie del canto para hacerla más insensible a golpes. A este fin, se mecanizan por esmerilado unas zonas 242, 244 de forma de tira adyacentes a las superficies laterales 25, 26 de modo que se redondeen los cantos 27, 28. En el ejemplo mostrado en la figura 5 se realiza el esmerilado de las zonas 242, 244 de forma de tira de la superficie de canto 24 con un dispositivo de esmerilado 13 que presenta dos cabezas esmeriladoras rotativas 14, 15. El dispositivo de esmerilado 13 se mueve a lo largo de la superficie 24 del canto siguiendo la flecha dibujada de modo que se esmerilen oblicuamente las zonas 242, 244, incluidos los cantos 27, 28.

En general, mediante el esmerilado se puede generar una faceta que forme una transición de la superficie de canto 24 a la superficie lateral adyacente 25, 26. Preferiblemente, tal como ocurre también en el ejemplo mostrado en la figura 5, se esmerila al menos una faceta 20, 21 en el canto de cada una de las superficies laterales 25, 26.

La figura 6 muestra el elemento 3 de vidrio o vitrocerámica terminado de mecanizar con facetas 242, 244 en ambos lados. La superficie de canto 24 del elemento 3 de vidrio o vitrocerámica presenta ahora, debido a la fabricación anteriormente descrita, al menos una primera zona de canto alargada 240 de forma de tira y al menos una segunda zona de canto alargada de forma de tira, aquí dos zonas de canto 242, 244, que se han formado mediante una operación de esmerilado. Estas zonas de canto 240, 242, 244 se extienden en dirección longitudinal a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie de canto 24. La primera zona de canto 240 presenta los daños filamentosos 6 alargados incorporados por la mecanización con láser, distanciados de manera equidistante y dispuestos paralelamente uno al lado de otro. Su dirección longitudinal discurre transversalmente a las superficies laterales 25, 26, de preferencia perpendicularmente a estas superficies, y a lo largo de la superficie de la primera zona de canto 240. Dado que la pieza 3 de vidrio o vitrocerámica se ha dividido en los daños filamentosos 6, éstos pueden presentarse especialmente como cavidades alargadas de forma de zanja en la superficie de la primera zona de canto 240.

La figura 7 muestra, para ilustrar la realización anteriormente descrita, la forma del corte transversal de un canto de un elemento 3 de vidrio o vitrocerámica con un esmerilado de facetas, mecanizado como se ha descrito anteriormente. La superficie de canto 24 está formada por una primera zona de canto 240, estando formada la transición a las superficies laterales 25, 26 por una respectiva segunda zona de canto 242, 244 configurada como una faceta estrecha 20, 21. La inclinación de las segundas zonas de canto 242, 244 está siempre entre la inclinación de la primera zona de canto 240 y la superficie lateral adyacente 25 o 26. Se aplica también una consideración correspondiente para las direcciones de las normales. Por consiguiente, las segundas zonas de canto 242, 244 forman sendas facetas 20, 21 cuya dirección normal está entre la normal de la segunda zona de canto 240 y la normal de la superficie lateral 25, 26 adyacente a la faceta.

La figura 8 muestra otra forma de realización de la invención. En esta forma de realización se obtiene con la primera zona de canto 240 y las segundas zonas de canto 242, 244 una forma en C de la superficie de canto. En el elemento plano 3 de vidrio o vitrocerámica según esta forma de realización de la invención la superficie de canto 24 presenta en especial al menos zonalmente un perfil en C, en el que la primera zona de canto 240 discurre entre dos segundas zonas de canto curvadas 242, 244.

Al igual que en el ejemplo mostrado en la figura 8, las segundas zonas de canto 242, 244 enmarcan aquí también la primera zona de canto 240 y forman la transición de la primera zona de canto 240 a las superficies laterales 25 o 26. Debido a la propagación rectilínea de la luz se tiene que, al igual que ocurre en las otras formas de realización de la invención, la primera zona de canto 240 discurre en línea recta en corte transversal. Debido al curvado de la superficie de las segundas zonas de canto 242, 244, la inclinación de la superficie tanto hacia la zona de canto como hacia la superficie lateral se aproxima a la inclinación de estas zonas de superficie adyacentes. Sin embargo, no se excluye aquí que estén presentes también cantos en las transiciones. El esmerilado en C es especialmente insensible frente a daños del canto. Es evidente para el experto que los ejemplos de realización según la figura 7 y la figura 8 pueden combinarse también uno con otro. Por un lado, el canto periférico puede presentar secciones con un esmerilado en C y secciones con facetas. En una superficie lateral puede preverse también una faceta según la figura 7 y en el lado opuesto puede preverse una zona de canto redondeada de un esmerilado en C. Por último, en ambas superficies laterales, además de las zonas de canto redondeadas, pueden estar presentes también facetas.

5 A continuación, se compara el procedimiento según la invención con un procedimiento convencional para cortar a medida una pieza 3 de vidrio o vitrocerámica. Como sustrato sirvió en ambos ejemplos una luna de vidrio de cal-  
sosa con un espesor de 8 mm. En el procesamiento convencional se hizo un rayado con una rueda de rayado de  
diamante y luego se extrajo el elemento de vidrio por rotura. La incorporación del esmerilado en C se efectuó en dos  
pasos, con una granulometría D121 y un avance de 8 m/min y luego con una granulometría D76 y un avance de 5  
m/min.

10 Según la invención se perforó una luna de vidrio por medio de un láser de picosegundos con 1064 nm de longitud de  
onda, una tasa de repetición de 100 kHz e impulsos de láser constituidos por 4 ráfagas. La distancia entre  
perforaciones, es decir, la distancia entre centros de daños filamentosos contiguos, ascendió a 5  $\mu\text{m}$ . La división se  
efectuó recorriendo la línea de división con el rayo láser de un láser de CO<sub>2</sub>. La mancha del láser tenía un diámetro  
de 8 mm y la potencia del láser era de 260 W. Las zonas de canto curvadas del esmerilado en C se incorporaron  
mediante un único esmerilado con una granulometría D76 y un avance de 12,5 m/min. Dado que el trazado del canto  
se ha establecido más exactamente que en el caso de la rotura por rayado y solo se tienen que fabricar las zonas de  
15 transición curvadas del canto a las superficies laterales, es suficiente un único paso de esmerilado frente al  
procedimiento de mecanización convencional. Además, el esmerilado puede realizarse con una velocidad de avance  
mayor. En general, sin limitación a los ejemplos de realización especiales, tal como los muestran las figuras, para el  
procedimiento según la invención son favorables velocidades de avance durante el esmerilado, es decir, durante el  
movimiento relativo entre el dispositivo de esmerilado 13 y la superficie de la pieza 2 de vidrio o vitrocerámica, en el  
que intervalo de 5 metros por minuto a 40 metros por minuto y de manera especialmente preferida en el rango de 20  
20 metros por minuto.

La figura 9 muestra una fotografía tomada con microscopio de un canto fabricado según la invención, es decir,  
previamente dividido por filamentación y seguidamente esmerilado. En esta fotografía se pueden apreciar en la zona  
242 unas trazas de esmerilado que discurren en diagonal y que faltan en la zona de canto 240 de forma de tira  
fabricada por filamentación. Sin embargo, la fotografía tomada con microscopio muestra que las rugosidades de las  
25 dos zonas son semejantes. Por tanto, las zonas de canto mecanizadas de manera diferente son sustancialmente  
indistinguibles en el aspecto óptico y en el aspecto háptico. Los daños filamentosos no se pueden apreciar en la  
ampliación de las fotografías mostradas en la figura 9.

Lista de símbolos de referencia

1	Dispositivo de mecanización con láser
30 2	Pieza de vidrio o vitrocerámica
3	Elemento de vidrio o cerámica extraído de la pieza 2 de vidrio o vitrocerámica
4	Línea de división
6	Daño filamentosos
8	Impulso de láser
35 9	Elemento óptico
10	Láser de impulsos ultracortos
11	Láser de CO <sub>2</sub>
13	Dispositivo de esmerilado
14, 15	Cabezas esmeriladoras
40 17	Mesa XY
20, 21	Faceta
24	Superficie de canto
25, 26	Superficies laterales
27, 28	Canto
45 80	Punto de incidencia de un impulso de láser 8 sobre la superficie 20
82	Perfil de intensidad espacial del impulso de láser 8 antes del enfoque
84	Perfil de intensidad espacial del impulso de láser después del enfoque
110	Rayo láser de 10
111	Fisura
50 240	Zona de forma de tira mecanizada por filamentación
242, 244	Zona de forma de tira mecanizada adicionalmente por esmerilado



**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para fabricar elementos (3) de vidrio o vitrocerámica a partir de piezas planas (2) de vidrio o vitrocerámica con alta exactitud y reducido volumen de esmerilado, en el que
- 5 - se generan daños filamentosos (6) yuxtapuestos a lo largo de una línea de división (4) en el interior de la pieza (2) de vidrio o vitrocerámica,
- se generan los daños con impulsos de láser (8) de un láser (10) de impulsos ultracortos, siendo el material del elemento (2) de vidrio o vitrocerámica al menos parcialmente transparente para los impulsos de láser (8) de modo que la radiación láser pueda penetrar en el vidrio o la vitrocerámica para generar los daños en su interior, y
- 10 - se mueven el rayo láser pulsado y la superficie de la pieza (2) de vidrio o vitrocerámica uno con relación a otra de modo que los puntos de incidencia (80) de los impulsos de láser (8) sobre la superficie (20) del elemento (2) de vidrio o vitrocerámica estén yuxtapuestos a lo largo de la línea de división, y en el que
- después de la incorporación de los daños filamentosos (6) yuxtapuestos a lo largo de la línea de división (4) se extrae el elemento (3) de vidrio o vitrocerámica mediante una operación de división en la línea de división (4), y en el que
- 15 - se mecaniza parcialmente por esmerilado la superficie de canto (24) formada durante la operación de división en el elemento (3) de vidrio o vitrocerámica de modo que dicha superficie de canto (24) presente al menos una zona (240) de forma de tira generada por la incorporación de daños filamentosos y la división, dotada de daños filamentosos alargados que discurren paralelamente uno al lado de otro, cuya dirección longitudinal discurre transversalmente a las superficies laterales (25, 26), y una zona adyacente (242) de forma de tira mecanizada adicionalmente por esmerilado.
- 20
2. Procedimiento según la reivindicación anterior, **caracterizado** por que se mecanizan por esmerilado unas zonas (242, 244) de forma de tiras adyacentes a las superficies laterales (25, 26).
3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que se genera por el esmerilado una faceta que forma una transición de la superficie de canto (24) a la superficie lateral adyacente (25, 26).
- 25
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que la división en la línea de división (4) se efectúa o se favorece por calentamiento local de la pieza (2) de vidrio o vitrocerámica a lo largo de la línea de separación, preferiblemente por medio de un rayo láser.
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que la tasa de repetición del láser (10) de impulsos ultracortos y la velocidad de avance durante el movimiento del rayo láser pulsado y de la superficie de la pieza (2) de vidrio o vitrocerámica se ajustan una con relación a otra de modo que los daños filamentosos yuxtapuestos presenten una distancia entre centros comprendida dentro del intervalo de 1 a 15 micrómetros, preferiblemente 2 a 10 micrómetros.
- 30
6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que se ajusta una velocidad de avance durante el esmerilado en el movimiento relativo entre el dispositivo de esmerilado (13) y la superficie de la pieza (2) de vidrio o vitrocerámica en el intervalo de 5 metros por minuto a 40 metros por minuto, en particular preferiblemente en el rango de hasta 20 metros por minuto.
- 35
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se hace funcionar el láser (10) de impulsos ultracortos en el modo de ráfagas en el que se emiten impulsos de láser (8) en forma de paquetes de impulsos.
- 40
8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que se adapta la tasa de repetición de los impulsos de láser (8) en función de la velocidad relativa entre el láser (10) y la pieza (2) de vidrio o vitrocerámica.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que se depositan en la pieza (2) de vidrio o vitrocerámica más de 300  $\mu\text{J}$ , preferiblemente más de 400  $\mu\text{J}$  y de manera muy especialmente preferida más de 500  $\mu\text{J}$  por cada impulso de láser (8).
- 45
10. Elemento plano (3) de vidrio o vitrocerámica con dos superficies laterales opuestas (25, 26) y una superficie de canto (24) que une las dos superficies laterales (25, 26), en el que la superficie de canto (24) presenta al menos una primera zona de canto alargada (240) de forma de tira y al menos una segunda zona de canto alargada (242, 244) de forma de tira que se ha formado por una operación de esmerilado, en el que estas zonas de canto se extienden en dirección longitudinal a lo largo de la superficie de canto (24) y a lo largo de las superficies laterales (25, 26), y en el que la primera zona de canto (240) presenta daños filamentosos alargados (6) especialmente distanciadas de
- 50

manera equidistante y dispuestos paralelos uno al lado de otro, cuya dirección longitudinal discurre transversalmente a las superficies laterales (25, 26) y a lo largo de la superficie de la primera zona de canto (240).

5 11. Elemento plano (3) de vidrio o vitrocerámica según la reivindicación anterior, **caracterizado** por que la superficie de canto (24) presenta dos zonas de canto (242, 244), cada una de las cuales linda con una de las superficies laterales (25, 26) y entre las cuales se extiende la primera zona de canto (240).

12. Elemento plano (3) de vidrio o vitrocerámica según cualquiera de las dos reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por un espesor en el intervalo de 1 a 20 milímetros, de manera especialmente preferida en el intervalo de 2 a 15 milímetros y de manera muy especialmente preferida en el intervalo de 3-10 mm.

10 13. Elemento plano (3) de vidrio o vitrocerámica según cualquiera de las tres reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que la superficie de canto (24) presenta al menos zonalmente un perfil en C en el que la primera zona de canto (240) discurre entre dos segundas zonas de canto curvadas (242, 244).

15 14. Elemento plano (3) de cerámica o vitrocerámica según cualquiera de las tres reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que las segundas zonas de canto (242, 244) forman cada una de ellas una faceta (20, 21) cuya dirección normal está entre la normal de la primera zona de canto (240) y la normal de la superficie lateral (25, 26) adyacente a la faceta.

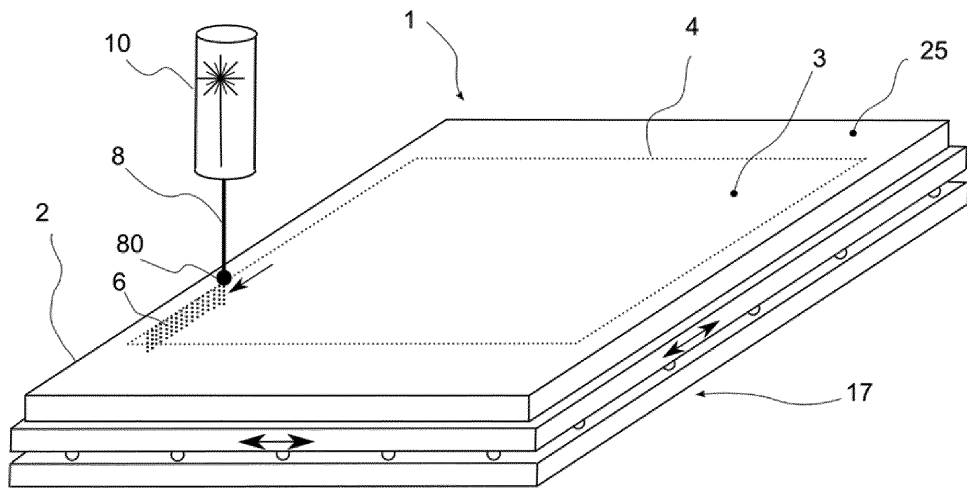


Fig. 1

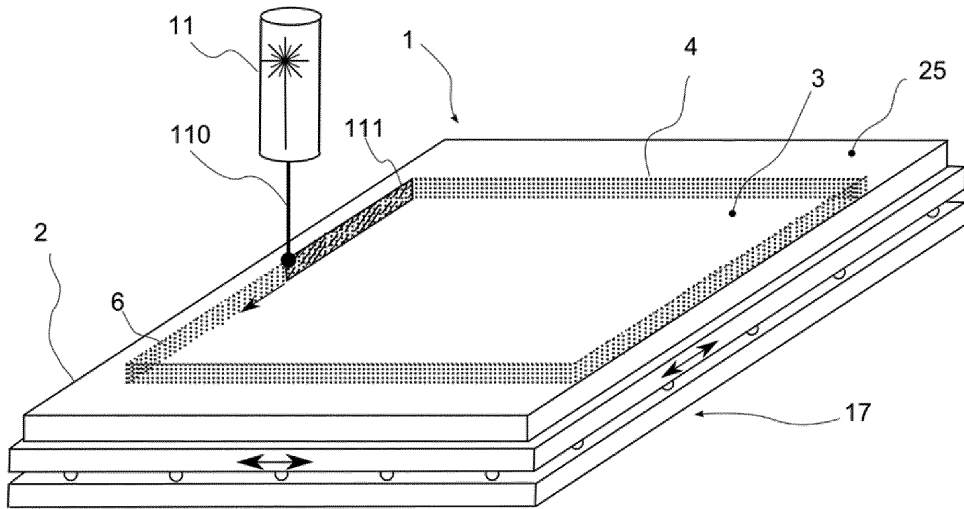


Fig. 3

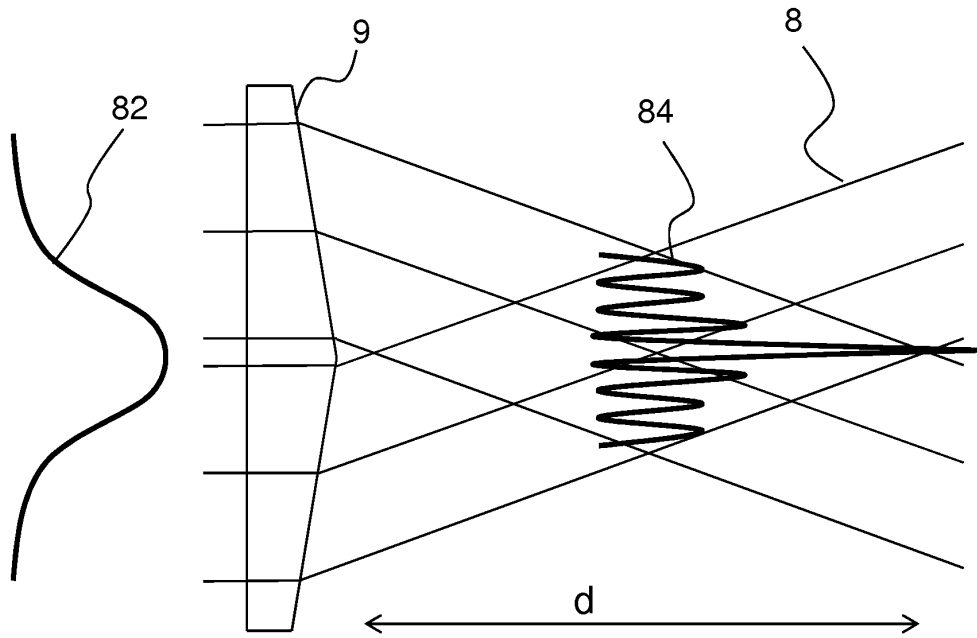


Fig. 2

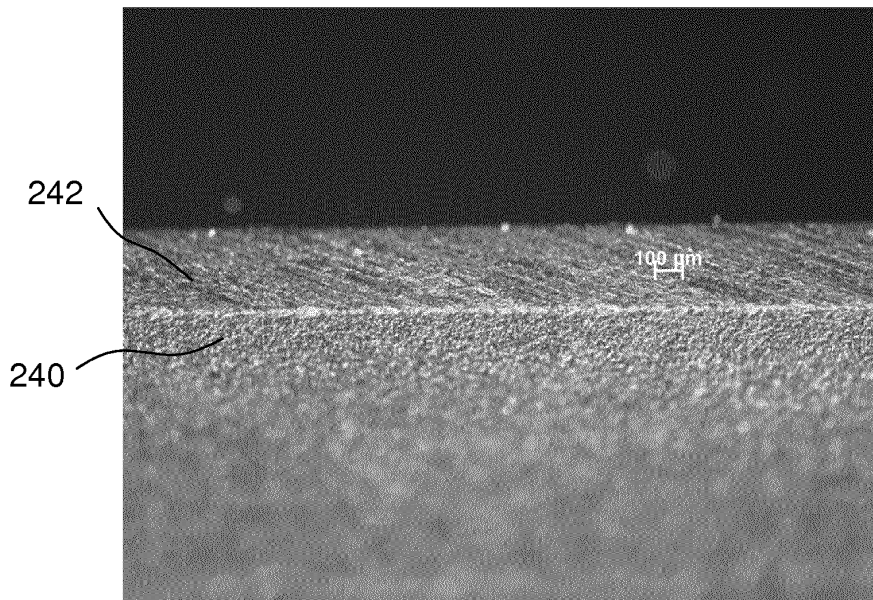


Fig. 9

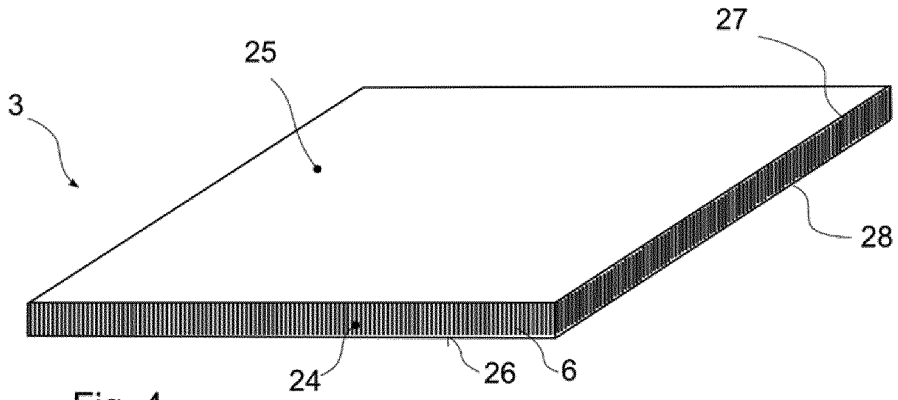


Fig. 4

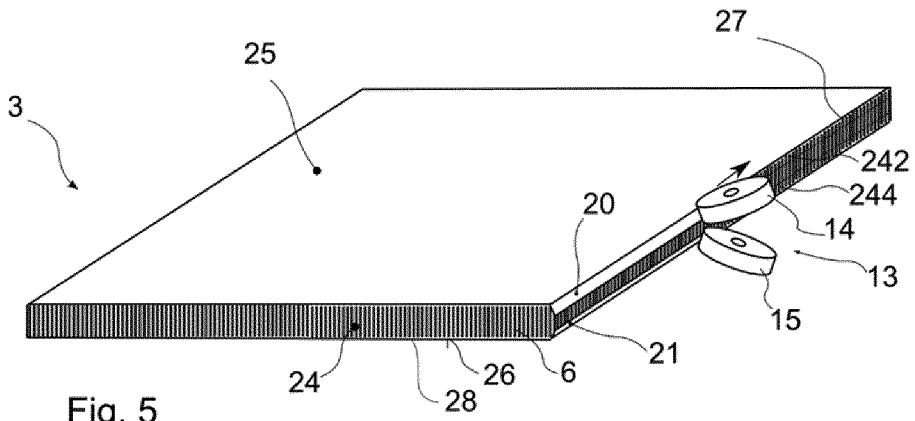


Fig. 5

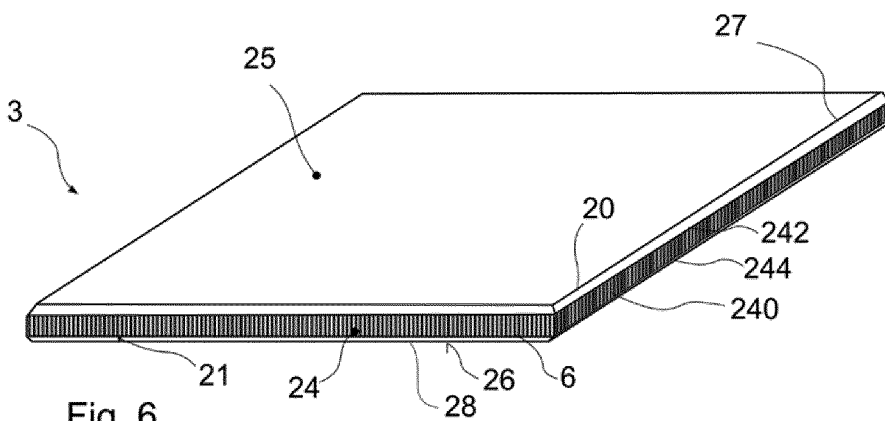


Fig. 6

