(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 595 036**

(51) Int. CI.:

G02B 9/00 (2006.01)
G02B 3/00 (2006.01)
B29D 11/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.09.2004 PCT/US2004/030355**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **23.06.2005 WO05057245**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.09.2004 E 04784271 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.06.2016 EP 1687664**

(54) Título: **Lentes de índice en gradiente (GRIN) de polímero multicapa**

(30) Prioridad:

14.11.2003 US 519655 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.12.2016

(73) Titular/es:

BAER, ERIC (100.0%)
2 Mornington Lane
Cleveland Hts., OH 44106, US

(72) Inventor/es:

BAER, ERIC;
HILTNER, ANNE P. y
SHIRK, JAMES S.

(74) Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

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).

Lentes de índice en gradiente (GRIN) de polímero multicapa

DESCRIPCIÓN

La presente solicitud reivindica la prioridad de la solicitud provisional de EE.UU. 60/519.655, presentada el 14 de noviembre de 2003.

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

La presente invención se refiere a la fabricación de lentes de índice en gradiente (GRIN) de polímero axiales, radiales o esféricas que poseen tanto una longitud focal fija como una longitud focal dinámicamente variable. Las lentes son polímeros de Supercomposite formados por la disposición en capas de películas de material compuesto de polímero en estructuras jerárquicas. Pueden diseñarse para su uso desde los intervalos de longitud de onda de visibles a mm.

Discusión de la técnica relacionada

Las ópticas de índice en gradiente son muy conocidas y son el objeto de revisiones recientes. En una lente convencional, un rayo de luz entrante es reflejado cuando entra en la superficie de la lente formada debido al cambio abrupto del índice de refracción del aire al material homogéneo. La forma de la superficie de la lente determina el enfoque y las propiedades de obtención de imágenes de la lente.

En una lente de índice de refracción en gradiente (GRIN) hay una variación continua del índice de refracción dentro del material de la lente. En una lente GRIN simple pueden usarse superficies ópticas planas. Los rayos de luz son continuamente dirigidos dentro de la lente. Las propiedades de enfoque se determinan por la variación del índice de refracción dentro del material de la lente. Hay dos tipos de lentes de índice en gradiente (GRIN) descritas en la bibliografía: gradiente axial y gradiente radial/cilíndrico. En el gradiente axial el índice de refracción varía de una forma continua a lo largo del eje óptico del medio no homogéneo. En el gradiente axial, las superficies de índice constante son planos perpendiculares al eje óptico. En la radial/cilíndrica el perfil del índice varía continuamente desde el eje óptico hasta la periferia a lo largo de la dirección transversal de tal forma que las superficies de índice constante sean cilindros concéntricos alrededor del eje óptico.

La simple geometría de una lente GRIN con superficies planas permite la eficaz producción y ensamblaje simplificado de sistemas de lentes. El variar el espesor de la lente puede variar los parámetros de la lente tales como la longitud focal y la distancia de trabajo. Son posibles lentes delgadas de hasta 0,02 mm de espesor. Alternativamente, puede hacerse que el plano de la imagen se sitúe directamente sobre la superficie de salida de la lente.

Una lente convencional con superficies esféricas y con un índice de refracción homogéneo no enfocará la luz perfectamente; habrá aberraciones esféricas y cromáticas. También es muy conocido en la técnica que estas aberraciones pueden reducirse o eliminarse empleando blancos de lentes de gradiente axial. Una lente de gradiente axial es una lente que tiene un perfil del índice de refracción que varía en una dirección solo, normalmente elegida para ser el eje óptico. Estas lentes libres de aberración pueden usarse ventajosamente en una variedad de sistemas ópticos, tales como proyectores de transparencias, cámaras, prismáticos, y muchos otros dispositivos de obtención de imágenes. Puede reducirse el número de elementos de lente requeridos para una tarea dada, además del peso y la complejidad del sistema.

La patente de EE.UU. N.º 5.262.896 de R. Blankenbecler describe la fabricación de lentes de gradiente axial por el proceso de difusión controlada; los blancos para la fabricación de tales lentes de gradiente pueden fabricarse mediante una variedad de procesos tales como SOL-GEL, infusión y difusión, y puede ser vidrio, plástico u otro material óptico adecuado. La discusión anterior se aplica a tanto lentes radiales como cilíndricas; sin embargo, el esmerilado y el pulido de lentes cilíndricas a la precisión necesaria es especialmente difícil.

La patente de EE.UU. N.º 4.956.000 de Reeber et al. describe un método y aparato para fabricar una lente que tiene una distribución radialmente no uniforme, pero axialmente simétrica, del material de la lente, en el que el tamaño y la forma de la lente están determinados por la dirección selectiva y condensación de material de lente vaporizado sobre un sustrato.

La patente de EE.UU. N.º 1.943.521 de W. Ewald describe una lente segmentada construida de constituyentes de diferentes índices de refracción. Las partes separadas de las lentes, cada una de las cuales es homogénea, se cementan juntas de tal manera que las superficies límite o interfases estén sustancialmente localizadas en la dirección de la trayectoria de los rayos de luz. Es decir, las interfases son paralelas al eje óptico. Los índices de refracción se eligen para reducir la aberración esférica de las lentes y producir imágenes claramente definidas sobre una pantalla.

La patente de EE.UU. N.º 5.236.486 de Blankenbecler et al. describe la formación de un blanco de lente de gradiente cilíndrico o esférico a partir de un blanco de lente de gradiente axial por moldeo térmico (combado). Este proceso produce una lente monolítica con un perfil del índice de refracción continuo.

La patente de EE.UU. N.º 4.460.585 de Nojiri describe una lente de película delgada semiconductora que tiene un miembro laminado que comprende semiconductores A y B de forma alterna en capas. El miembro laminado en conjunto tiene un gradiente del índice de refracción que crea una acción de lente.

Un diseño para un sistema de lente de índice en gradiente cementado para remodelado por haz láser se desvela por Wang et al en "Design of gradient-index lens systems for laser beam reshaping", Applied Optics, 32, 4763-4769 (1993). Se desvela un sistema usando dos lentes de gradiente axial y una lente de transferencia central homogénea. Las interfases entre la lente de gradiente frontal y la lente de transferencia central y la lente de transferencia central y la lente de gradiente posterior son superficies esféricas que deben esmerilarse y pulirse para ajustarse la una en la otra. Además, los perfiles del índice en gradiente son diferentes y deben elegirse adecuadamente para funcionar como un remodelador de haces.

Los sensores de obtención de imágenes en tiempo real son críticos para aplicaciones de táctica militar. Durante los últimos años, su uso aumentó espectacularmente. Se desea un sensor de campo de visión (FOV) amplio para tareas de búsqueda, pero para la identificación y seguimiento se requiere un FOV más estrecho. Un telescopio de aumento variable o lente de zoom puede proporcionar un FOV variable. Con los actuales sistemas de sensor, puede lograrse un cambio en FOV, por ejemplo, por la inserción o eliminación de conjuntos de lentes de la trayectoria óptica. Esto es lento y requiere una inmensa conmutación mecánica o electromecánica. La lente, según la presente invención, da variación continua en el FOV con constantes de tiempo de milisegundos o más rápido en una lente compacta de peso ligero.

Se conoce la extrusión multicapa de polímeros con varias a miles de capas. Este proceso de extrusión da un material que comprende muchos miles de capas alternas de polímeros, materiales compuestos de polímero, y/o polímeros que contienen nanopartículas inorgánicas o metálicas. Los materiales poliméricos en las capas alternas pueden elegirse para tener diferencias sustanciales en el índice de refracción (Δn) de manera que los materiales resultantes poseerán una modulación en el índice con un periodo correspondiente al espesor de capa. Pueden ser fácilmente producidos espesores de capa de hasta 5 nm. Nazarenko et al. en "Polymer microlayer structures with anisotropic conductivity", Journal of Materials Science, 34(7), 1461 (1999) y Mueller et al. en Polymer Engineering and Science, 37(2), 355 (1997) describen las ideas básicas para la fabricación y el uso de tales materiales para producir reflectores dieléctricos. Los métodos de fabricación de reflectores dieléctricos y filtros con propiedades de transmisión específicas y bandas de paso se describen en P. Yeh; "Optical Waves in Layered Media", Wiley, New York, (1998). Polímeros de birrefringencia en capas adecuadamente orientadas pueden dar espejos multicapa que mantienen la reflectividad sobre una banda ancha de ángulos incidentes.

Se ha desarrollado una variedad de métodos para producir materiales con una variación en el índice de refracción que es adecuada para óptica GRIN. Lentes GRIN de polímero se fabrican frecuentemente por copolimerización (Y. Ohtsuka, et al, "Studies on the light-focusing plastic rod 10:A light-focusing plastic fiber of methyl methacrylate-vinyl benzoate copolymer", Applied Optics, 20, (15), 2726 (1981), y Y. Ohtsuka and Y. Koike, "Studies on the light-focusing plastic rod. 18: Control of refractive-index distribution of plastic radial gradient-index rod by photocopolymerization", Applied Optics, 24(24), 4316 (1985)) de dos monómeros diferentes que experimentan difusión. La difusión incompleta conduce a un gradiente de composición y, por lo tanto, a un gradiente del índice a través del material. La mayoría de estas técnicas producen lentes pequeñas, inferiores a 10 mm de diámetro. Los gradientes del índice son pequeños; las variaciones más grandes del índice normalmente están en el orden de 0,01 a 0,03. Normalmente, los gradientes del índice son monotónicos y la variación del índice con la distancia está limitada a aquella que puede lograrse por las leyes de la difusión. La lente GRIN de polímero radial más grande informada fue fabricada por esta técnica usando un molde curvo. Tenía 7 cm de diámetro y tenía una Δn de 0,02 (Wu, S.P, Nihei, E., Koike, Y. "Large Radial Graded-Index Polymer" Appl. Opt. 35(1), 28 (1996)). Otras técnicas para producir un gradiente de composición incluyen difusión de dopantes y centrifugación. También se han propuesto técnicas de mezcla compleja y de extrusión. Las técnicas de copolimerización de polímero son eficaces solo si los componentes son miscibles en todos los intervalos de polimerización. Esto normalmente significa que los componentes son polímeros muy similares y la Δn máxima que puede lograrse es pequeña. Materiales poliméricos fabricados por difusión de dopantes tienen frecuentemente una vida corta debido a la migración de los dopantes. Las técnicas de mezcla/extrusión implican muchas variables de control que son difíciles de controlar y además solo pueden usarse con polímeros que son miscibles en un amplio intervalo de composiciones.

Generalmente, los polímeros multicapa se han fabricado usando polímeros vítreos. Se han fabricado estructuras multicapa elastoméricas con separaciones de capa adecuadas para filtros dieléctricos y reflectores por recubrimiento por centrifugación secuencial y por extrusión multicapa.

Además de las aplicaciones militares, las lentes de la presente invención tendrán amplias aplicaciones comerciales en las que se requieren lentes de peso ligero con longitudes focales cortas, largas y variables; por ejemplo, lentes de zoom para cámaras con cristales de lectura y prismáticos.

Según la presente invención, los gradientes del índice (Δn) pueden especificarse independientemente. Esto permite flexibilidad en las propiedades focales de la lente que no eran previamente posibles en una única lente. También permite diseñar una lente con correcciones de la aberración. Es altamente deseable un método mejorado más simple y más flexible para fabricar lentes de gradiente de polímero axiales, radiales o esféricas que presentan las propiedades anteriores.

Sumario de la invención

La presente solicitud se refiere a un material compuesto de polímero multicapa de manera jerárquica para lentes de índice de refracción (GRIN) clasificado y a un método para fabricar las mismas como se define en las reivindicaciones adjuntas. Según una realización preferida de la presente invención, una estructura de material compuesto jerárquica se forma en dos etapas. Primera, se fabrica un conjunto de películas de material compuesto de polímero multicapa, cada una con un índice de refracción diferente. Segunda, se ensamblan un conjunto ordenado de estas películas de material compuesto de polímero multicapa en una hoja GRIN de material compuesto multicapa, con el gradiente del índice deseado; además, la hoja GRIN de material compuesto multicapa se forma dentro de una lente.

Breve descripción de los dibujos

La **Figura 1** es una hoja GRIN de material compuesto multicapa con un gradiente del índice. Cada una de las películas mostradas es ella misma un material compuesto multicapa.
La **Figura 2** es una lente plana unidireccional. Se fabrica por apilamiento de dos hojas GRIN multicapa de material compuesto como se muestra en la Figura 1, que están cortadas en rebanadas para formar lentes axiales.
La **Figura 3** es una lente plana con un gradiente del índice radial. Se fabrica, como se muestra en la Figura 17, por la disposición en capas de un conjunto de películas de material compuesto de polímero multicapa sobre una varilla cilíndrica, que se corta en rebanadas en lentes de diversos espesores.
La **Figura 4** es una lente en gradiente del índice esférica.
La **Figura 5** muestra una estructura e imagen de microscopía de fuerza atópica (AFM) de una película de polímero de material compuesto multicapa de 50/50 de PC/PMMA.
La **Figura 6** muestra el diseño del índice de refracción de las películas de polímero de material compuesto multicapa de PC/PMMA. Se procesaron las siguientes composiciones para este estudio: 100/0, 95/5, 90/10, 85/15, 80/20, 75/25, 70/30, 65/35, 60/40, 55/45, 50/50, 45/55, 40/60, 35/65, 30/70, 25/75, 20/80, 15/85, 10/90, 5/95, 0/100.
La **Figura 7** muestra el índice de refracción frente al contenido de policarbonato (PC) en 21 películas de polímero de material compuesto multicapa. Se fabricaron un conjunto de películas con un índice de refracción entre 1,49 y 1,59 variando sistemáticamente el contenido de PC y de PMMA.
La **Figura 8** muestra un procedimiento de preparación de una hoja GRIN de material compuesto multicapa.
La **Figura 9** muestra un diseño de un sistema GRIN de películas de material compuesto de polímero multicapa usando películas de material compuesto de polímero multicapa de PC/PMMA de 50 µm (2 milésimas de pulgada) con índice de refracción, n_i. Se apilaron un total de 308 películas individuales.
La **Figura 10** indica la distribución del índice de refracción medido del sistema multicapa GRIN en comparación con la distribución del diseño.
La **Figura 11** muestra las propiedades de enfoque esperadas del sistema multicapa GRIN mostrado en la Figura 9 en las que un haz circular es enfocado en una línea.
La **Figura 12** muestra las propiedades de enfoque observadas del sistema multicapa GRIN convergente mostrado en la Figura 9.
La **Figura 13** muestra un diseño del sistema GRIN divergente de películas de material compuesto de polímero multicapa.
La **Figura 14** muestra una distribución del índice de refracción medido del sistema multicapa GRIN divergente en comparación con la distribución del diseño.
La **Figura 15** representa propiedades de enfoque observadas del sistema multicapa GRIN divergente mostrado en la Figura 13.
La **Figura 16** muestra un diseño del sistema GRIN asimétrico de películas de material compuesto de polímero multicapa.
La **Figura 17** muestra un procedimiento para fabricar un sistema multicapa GRIN con simetría cilíndrica.

Descripción de las realizaciones preferidas

Estructura del material compuesto jerárquica de lentes GRIN

La presente invención se refiere a un material compuesto de polímero multicapa de forma jerárquica para lentes de índice de refracción en gradiente (GRIN) y un método para fabricar las mismas.

En una realización preferida de la presente invención, la estructura jerárquica en una lente GRIN se fabrica en dos etapas. Primera, se fabrica un conjunto de películas de material compuesto de polímero multicapa. Cada película de

material compuesto de polímero tiene un índice de refracción diferente. Segunda, se ensamblan un conjunto ordenado de estas películas de material compuesto de polímero multicapa en la hoja GRIN de material compuesto multicapa jerárquica con el gradiente del índice deseado. Estas hojas GRIN de material compuesto multicapa se moldean en diversas lentes.

Según esta realización, en la primera etapa las películas de material compuesto de polímero multicapa se fabrican. Cada película de material compuesto de polímero multicapa comprende hasta 500.000 capas que se alternan entre al menos dos tipos: (A) y (B). Las capas de tipo (A) comprenden el componente (a) y las capas de tipo (B) comprenden el componente (b). Los componentes (a) y (b) son materiales poliméricos, preferentemente materiales poliméricos termoplásticos, tales como materiales vítreos, cristalinos o elastoméricos. Los componentes (a) y (b) pueden ellos mismos ser un polímero de material compuesto o una mezcla de polímeros. Preferentemente, las capas de la película de material compuesto de polímero multicapa de la presente invención tienen un espesor en el intervalo de 5 nanómetros (nm) a 1.000 micrómetros (µm).

Con el fin de fabricar el material GRIN, tales películas de material compuesto de polímero multicapa se fabrican con un intervalo de índices de refracción y una diferencia del índice arbitrariamente pequeña entre ellos. Esto se hace, en una realización de la presente invención, alterando el espesor relativo de las capas (A) y (B) de aquél en la primera película de material compuesto de polímero multicapa.

Para la segunda etapa en la fabricación, según esta realización, las películas de material compuesto de polímero multicapa se apilan para formar la hoja GRIN de material compuesto multicapa jerárquica. Las películas de material compuesto de polímero multicapa adyacentes se eligen para presentar índices de refracción progresivamente diferentes. Preferentemente, el apilamiento de 5 a 100.000 películas de material compuesto de polímero multicapa formará una hoja GRIN de material compuesto multicapa a partir de la cual pueden fabricarse lentes GRIN como se describe más adelante. El gradiente del índice se determina por el diseño en el que las películas de material compuesto de polímero multicapa se apilan para producir la hoja GRIN de material compuesto multicapa. Una ventaja particular de este proceso es que cualquier gradiente del índice predeterminado puede lograrse fácilmente usando películas de material compuesto de polímero multicapa. El gradiente del índice está limitado solo por el intervalo disponible de índice en las películas de material compuesto de polímero multicapa. La hoja GRIN de material compuesto multicapa tiene una estructura jerárquica en la escala nanométrica, escala micrométrica y la escala de centímetros.

Materiales

Un experto habitual en la materia apreciará fácilmente que pueden usarse una amplia variedad de materiales poliméricos termoplásticos para formar las lentes de la presente invención. Tales materiales incluyen, pero no se limitan a, polímeros vítreos, polímeros cristalinos y elastómeros, siempre que las capas formadas a partir de estos materiales sean sustancialmente transparentes. De estos materiales, que nosotros sepamos, nunca se ha informado de la fabricación de estructuras multicapa elastoméricas con separaciones de capa inferiores a la longitud de onda de la luz visible o infrarroja cercana (NIR), de manera que el material compuesto se comporte como un medio eficaz dinámicamente variable. Uno de los requisitos para los materiales según la presente invención es una diferencia en el índice de refracción entre los componentes poliméricos de las capas. El máximo gradiente del índice que puede lograrse en la lente del material compuesto de polímero multicapa de la presente invención viene dado por la diferencia entre los índices de los componentes de polímero. La longitud focal, el espesor y la forma de una lente GRIN dependen del gradiente del índice que puede lograrse.

El término "polímero" o "material polimérico", como se usa en la presente solicitud, indica un material que tiene un peso molecular promedio en peso (Mw) de al menos 5.000. Preferentemente, el polímero es un material polimérico orgánico. El término "oligómero" o "material oligomérico", como se usa en la presente solicitud, indica un material con un peso molecular promedio en peso de 1.000 a menos de 5.000. Tales materiales poliméricos pueden ser materiales poliméricos vítreos, cristalinos o elastoméricos.

Materiales poliméricos adecuados según la presente invención incluyen, pero no se limitan a, poli(naftalato de etileno) e isómeros del mismo tales como 2,6-, 1,4-, 1,5-, 2,7- y 2,3-poli(naftalato de etileno); poli(tereftalatos de alquileno) tales como poli(tereftalato de etileno), poli(tereftalato de butileno) y poli(tereftalato de 1,4-ciclohexanodimetileno); poliimidas tales como imidas poliacrílicas; poliéterimidas; polímeros estirénicos tales como poliestireno atáctico, isotáctico y sindiotáctico, α-metil-poliestireno, para-metil-poliestireno; policarbonatos tales como bisfenol-A-policarbonato (PC); poli(met)acrilatos tales como poli(metacrilato de isobutilo), poli(metacrilato de propilo), poli(metacrilato de etilo), poli(metacrilato de metilo), poli(acrilato de butilo) y poli(acrilato de metilo) (el término "(met)acrilato" se usa en el presente documento para indicar acrilato o metacrilato); derivados de celulosa tales como etilcelulosa, acetato de celulosa, propionato de celulosa, acetato-butirato de celulosa y nitrato de celulosa; polímeros de polialquileno tales como polietileno, polipropileno, polibutileno, poliisobutileno y poli(4-metil)penteno; polímeros fluorados tales como resinas perfluoroalcoxi, politetrafluoroetileno, copolímeros de etileno-propileno fluorados, poli(fluoruro de vinilideno) y policlorotrifluoroetileno y copolímeros del mismo; polímeros clorados tales como polidicloroestireno, poli(cloruro de vinilideno) y poli(cloruro de vinilo); polisulfonas; poliétersulfonas; poliacrilonitrilo; poliamidas; poli(acetato de vinilo); poliéter-amidas. También son adecuados copolímeros tales como

copolímero de estireno-acrilonitrilo (SAN), que contiene preferentemente entre el 10 y el 50 % en peso, preferentemente entre el 20 y el 40 % en peso, de acrilonitrilo, copolímero de estireno-etileno; y poli(tereftalato de etileno-1,4-ciclohexilendimetileno) (PETG). Materiales poliméricos adicionales incluyen un caucho acrílico; isopreno (IR); isobutileno-isopreno (IIR); caucho de butadieno (BR); butadieno-estireno-vinilpiridina (PSBR); caucho butílico; polietileno; cloropreno (CR); caucho de epiclorhidrina; etileno-propileno (EPM); etileno-propileno-dieno (EPDM); nitrilo-butadieno (NBR); poliisopreno; caucho de silicona; estireno-butadieno (SBR); y caucho de uretano. Materiales poliméricos adicionales incluyen copolímeros de bloque o de injerto.

Además, cada capa individual puede incluir mezclas de dos o más de los polímeros o copolímeros anteriormente descritos, preferentemente los componentes de la mezcla son sustancialmente miscibles, no afectándose así la transparencia de la mezcla. Materiales poliméricos preferidos incluyen un poli(fluoruro de vinilideno) (PVDF) y copolímeros del mismo, un poli(metacrilato de metilo), un poli(naftalato de etileno) (PEN) y un policarbonato.

Los componentes que comprenden las capas según la presente invención pueden incluir materiales orgánicos o inorgánicos diseñados para aumentar o disminuir el índice de refracción del componente, que incluyen materiales nanoparticulados. Además, los componentes según la presente invención están en ausencia de un colorante no lineal.

Fabricación de lentes GRIN de polímero

Según una realización de la presente invención, las películas de material compuesto de polímero multicapa se fabrican primero. Por simplicidad de discusión, se describe el comportamiento de un sistema de dos componentes. En esta realización de la presente invención, el material compuesto de polímero multicapa se fabrica de dos capas alternas (ABABA.....) de dos materiales poliméricos denominados componente "(a)" y componente "(b)", respectivamente, en toda la descripción. Los componentes (a) y (b) presentan diferentes índices de refracción y forman una película de material compuesto de polímero multicapa representada por la fórmula $(AB)_x$, en la que $x = (2)^n$, y n es el número de elementos multiplicadores y está en el intervalo de 4 a 18. Los componentes (a) y (b) pueden ser independientemente un material polimérico vítreo, un material polimérico cristalino, un material polimérico elastomérico o mezcla de los mismos. A modo de un ejemplo no vinculante, cuando el componente (a) es un material vítreo, el componente (b) puede ser un material elastomérico, un material vítreo, un material cristalino o una mezcla de los mismos, o cuando el componente (a) es un material elastomérico, el componente (b) puede ser un material elastomérico, un material vítreo, un material cristalino o una mezcla de los mismos. Sin embargo, el componente (a) debe presentar un índice de refracción diferente del componente (b); asimismo, la capa (A) debe presentar un índice de refracción diferente de la capa (B). Una multitud de capas alternas (A) y (B) forman una película de material compuesto de polímero multicapa, compuesta de al menos 10 capas alternas (A) y (B), preferentemente de 50 a 500.000 capas alternas, que incluye cualquier incremento dentro de estos intervalos. Las capas son preferentemente microcapas o nanocapas. Similarmente, se forman películas de material compuesto de polímero multicapa adicionales compuestas de las capas (A_i) y (B_i), capas que comprenden el componente (a_i) y (b_i), respectivamente.

En la segunda etapa según esta realización, una multitud de películas de material compuesto de polímero multicapa que se alternan que presentan diferentes índices de refracción forman una hoja GRIN de material compuesto multicapa a partir de la que se fabrican lentes GRIN. Preferentemente, el número de películas de material compuesto de polímero multicapa que se alternan es superior a 5. Más preferentemente, el número de películas de material compuesto de polímero multicapa en una hoja GRIN de material compuesto multicapa está en el intervalo de 5 a 100.000, lo más preferentemente de 20 a 10.000, que incluye cualquier incremento dentro de estos intervalos. El gradiente del índice está limitado solo por el intervalo disponible del índice en las películas de material compuesto de polímero multicapa. La hoja GRIN de material compuesto multicapa final tiene una estructura jerárquica a la escala de nanómetros, micrómetros y centímetros. Preferentemente, comprende películas de material compuesto de polímero multicapa de polímeros con estructura de micro y nanocapas.

Según la presente invención, (a) y (a_i) pueden ser materiales termoplásticos iguales o diferentes. Asimismo, (b) y (b_i) pueden ser materiales termoplásticos iguales o diferentes. Además, los componentes (a) y (b) pueden ser los mismos materiales químicamente, en tanto que puedan formar capas distintas que presentan diferentes índices de refracción, en virtud de diferencias físicas secundarias, tales como diferencias conformacionales de la estructura polimérica, diferencias resultantes de diferentes condiciones de procesamiento tales como orientación, o diferencias de peso molecular.

Es factible desarrollar estructuras en capas con muchos componentes, preferentemente compuestas de diferentes materiales. A modo de un ejemplo no limitante, una estructura de capas alternas de tres componentes (ABCABCABC...) de los componentes (a), (b) y (c) se representa por $(ABC)_x$, en la que x es como se ha definido anteriormente. Una estructura que comprende cualquier número de capas de diferentes componente se incluye dentro del alcance de la presente invención tal como (CACBCACBC...).

En la realización descrita anteriormente de una estructura de polímero multicapa de dos componentes, la lente se prepara por coextrusión multicapa de los dos materiales poliméricos. Las películas de material compuesto de

polímero multicapa comprenden capas alternas de dos o más componentes con espesor de capa individual que oscila de la macroescala a la nanoescala.

La hoja GRIN de material compuesto multicapa de la presente invención tiene preferentemente al menos 5 películas. Preferentemente, la hoja GRIN de material compuesto multicapa comprende 5 a 100.000 películas, más preferentemente de 20 a 10.000, incluyendo cualquier número de películas dentro de estos intervalos. La hoja GRIN de material compuesto multicapa tiene un espesor global que oscila de 10 nanómetros a 10 cm, preferentemente de 25 µm a 3 cm, incluyendo cualquier incremento dentro de estos intervalos. Además, una hoja GRIN de material compuesto multicapa puede formarse dentro de lentes axiales, radiales o esféricas por corte en rebanadas y moldeo de laS hojas GRIN de material compuesto multicapa. Además, una película de material compuesto de polímero multicapa según la presente invención puede estar orientada, tanto uniaxialmente como biaxialmente.

Por consiguiente, las lentes de la presente invención se forman por la disposición en capas de películas de polímero de material compuesto en una estructura jerárquica como se ha descrito anteriormente y desvelado en la patente de EE.UU. 6.582.807, concedida el 24 de junio de 2003, a Baer et al., que se incorpora en el presente documento por referencia en su totalidad. En el primer nivel, los materiales son películas de material compuesto de polímero multicapa. Las películas de material compuesto polimérico multicapa según la presente invención comprenden capas alternas de polímeros elegidas por tener diferencias en el índice de refracción.

En la fabricación de lentes GRIN, se desea ser capaz de especificar el gradiente del índice de menos de 0,01 a de hasta tan grande como sea posible. Con la técnica de disposición multicapa de la presente invención, son posibles una amplia variedad de gradientes del índice. Como un gradiente más grande da un intervalo más amplio de lentes GRIN que pueden prepararse, se desea ser capaz de producir un gran gradiente. Esto permite una longitud focal más corta en una lente GRIN más delgada. Para lentes GRIN multicapa, el gradiente del índice puede especificarse de un mínimo de 0,001 a un máximo de la diferencia en el índice de refracción entre los polímeros que constituyen las capas. Frecuentemente, se desea el mayor intervalo posible. Preferentemente, la lente de la estructura polimérica multicapa puede presentar un gradiente del índice de 0,01 o mayor, preferentemente en el intervalo de 0,02 a 1,0, más preferentemente en el intervalo de 0,05 a 0,5, que incluye todos los incrementos dentro de estos intervalos.

Un punto importante es que la técnica de disposición multicapa según la presente invención permite el uso de polímeros miscibles, inmiscibles o parcialmente miscibles para lograr una gran diferencia del índice. Otras técnicas de fabricación de lentes GRIN usan técnicas de difusión para lograr un gradiente del índice. Así, los ejemplos en el estado de la técnica están limitados a los pequeños gradientes del índice de 0,01 a 0,03.

Un segundo punto importante es que pueden diseñarse lentes multicapa que van a usarse como elementos ópticos a lo largo de un amplio intervalo de longitudes de onda de cerca de 40 nm a 1 metro. El intervalo de longitudes de onda específico se determina por los componentes poliméricos. En una realización de la presente invención, la estructura de polímero multicapa presenta una transmisión interna superior al 20 %, preferentemente superior al 50 %. Una estructura de material compuesto de polímero multicapa transparente puede fabricarse con un intervalo de índices de refracción por disposición en capas apropiada de los componentes. Si el espesor de capa de cada capa es suficientemente delgado, el material compuesto se comporta como un medio eficaz. El índice de refracción puede diseñarse para presentar cualquier valor entre los índices de los polímeros componente seleccionando el espesor relativo de las capas de componente. Un material compuesto tal puede prepararse con una transparencia comparable a la de los polímeros componente.

En una realización de la presente invención, en la que el módulo elástico de los polímeros componente se diferencia, el índice de refracción del material compuesto puede variarse mecánicamente mediante esfuerzos de presión, tensión, compresión o cizallamiento o una combinación de estos esfuerzos. Como se ha indicado anteriormente, el material compuesto puede fabricarse de manera que uno o ambos de los polímeros componente sea un elastómero.

Una segunda disposición en capas de las películas de material compuesto de polímero multicapa puede dar una hoja GRIN de material compuesto multicapa con un gradiente del índice de refracción. Obsérvese que la disposición en capas es jerárquica, primero los polímeros componente se disponen en capas en una película de material compuesto de polímero multicapa y entonces las películas de material compuesto de polímero multicapa se ensamblan dentro de las hojas GRIN de material compuesto multicapa. La segunda disposición en capas puede hacerse de manera que la hoja GRIN de material compuesto multicapa resultante tenga un gradiente del índice en cualquier dirección, tal como la dirección axial, radial o esférica. El gradiente del índice puede ser continuo, discreto o escalonado. Pueden lograrse muchos gradientes dentro de los límites impuestos por el índice de los polímeros componente de las películas de material compuesto de polímero multicapa.

Si el módulo elástico de los polímeros componente se diferencia, entonces el índice de refracción de una o más de las capas de material compuesto de medio eficaz es variable, con respecto a la otra, mecánicamente mediante esfuerzos de presión, tensión, compresión o cizallamiento o una combinación de estos esfuerzos. Entonces, el gradiente del índice en el material jerárquicamente en capas también puede variarse mediante fuerzas de tensión, compresión o cizallamiento. También pueden lograrse cambios del índice de refracción y del gradiente del índice de

refracción por cualquier tipo de estímulo mecánico o eléctrico, o por imanes unidos a la estructura de material compuesto polimérico multicapa. Los cambios pueden inducirse por efectos electrostáticos o usando polímeros componente electroactivos o electro-ópticos. Esto proporciona a los materiales una gran respuesta electro-óptica.

Según la presente invención, las hojas GRIN de material compuesto multicapa pueden formarse en cualquier forma deseada que incluye, pero no se limita a, axial, radial o esférica, para formar lentes de diversas formas, tales como planas o esféricas, como se ejemplifica más adelante.

Lente GRIN axial

En una realización que no se encuentra bajo el alcance de la presente invención, se fabrican lentes GRIN axiales. Para fabricar la lente GRIN, los presentes inventores introducen un segundo nivel de disposición en capas, produciendo hojas. Los presentes inventores empiezan con un conjunto de estas películas de material compuesto de polímero multicapa fabricado de manera que los valores relativos de d_1 y d_2 varíen gradualmente, pero su suma se mantenga constante.

Si se apila un conjunto de películas de material compuesto de polímero multicapa, la composición y el gradiente del índice varía normal a la superficie de la película. Esto produce una hoja con un gradiente del índice normal al plano de la película. Esto se muestra en la Figura 1. La estructura polimérica multicapa de la presente invención mostrada en la Figura 1 tiene un gradiente axial. Como el gradiente del índice depende de la disposición y el espesor de cada una de las diferentes capas, es posible construir un gradiente del índice específico. Como un ejemplo, la estructura polimérica multicapa mostrada en la Figura 1 se fabricó con un gradiente lineal, un gradiente en forma de V y un gradiente parabólico.

La estructura polimérica multicapa en la Figura 1 puede usarse para fabricar una lente con un gradiente del índice axial. Un ejemplo se muestra en la Figura 2. En la Figura 2, dos hojas GRIN de material compuesto multicapa representadas en la Figura 1 se combinan para formar una pila axial simétrica y entonces se cortan en rebanadas para formar lentes axiales. Las lentes de gradiente axial son útiles en dispositivos ópticos para controlar las aberraciones. Esto es un método eficiente y económico para fabricar una lente tal.

Lente GRIN radial

En otra realización según la presente invención, se fabrican lentes GRIN radiales. La técnica de disposición en capas que permite la formación de la lente de gradiente axial puede extenderse para formar una lente radial. Combinando dos hojas mostradas en la Figura 1, los presentes inventores pueden formar la pila de material compuesto multicapa mostrada en la Figura 3.

Como se entiende por aquellos expertos en la materia, el espesor de la lente radial, y así el punto focal, puede variarse. Por consiguiente, el término "radial", como se usa en la presente solicitud, incluye lentes cilíndricas con una distribución radial predeterminada.

El índice de la varilla central se elige para casi coincidir con el primer polímero multicapa. La pila de la Figura 3, con una variación en la composición, y por tanto, del índice, correspondiente a la variación del índice deseada, se envuelve concéntricamente alrededor de la varilla. El corte en rebanadas de la varilla en secciones da lentes planas de índice en gradiente radiales.

Al igual que con la lente de gradiente axial, se fabrica una lente con gradiente radial. La técnica puede usarse para fabricar una variedad más amplia de diseños de gradiente que es posible usando las técnicas de difusión o de polimerización variable que actualmente se usan para fabricar lentes GRIN. Es un método eficiente y posiblemente económico para fabricar lentes GRIN en grandes cantidades.

Lente GRIN esférica

En otra realización de la presente invención se fabrica una lente GRIN esférica, que comprende estructura de material compuesto de polímero multicapa como se muestra en la Figura 4. Es la forma de una lente normal con gradiente, en la que las películas de material compuesto de polímero multicapa están apiladas en una forma esférica, como una cebolla, como se muestra en la Figura 4. La lente esférica de la presente invención presenta campo de visión más amplio, sin aberración, y tiene longitudes de onda más cortas o más largas que las lentes convencionales fabricadas con materiales que no tienen gradiente del índice. En un gradiente esférico, el perfil del índice varía continuamente a lo largo de cualquier dirección desde un punto dentro de la lente de tal forma que las superficies de índice constante sean esferas concéntricas, como una cebolla. Se presenta adicionalmente que la fabricación de lentes esféricas no puede lograrse con las técnicas previamente descritas en la materia.

Cualquiera de las lentes anteriormente formadas puede ser tanto deformable como no deformable, y cuando son deformables, pueden ser tanto reversiblemente deformables como irreversiblemente deformables. Por consiguiente, usando tecnología de polímeros multicapa, los presentes inventores también pueden fabricar una lente en la que el

gradiente puede variarse dinámicamente y reversiblemente. Esto se lleva a cabo, en una realización preferida de la presente invención, usando materiales poliméricos multicapa dinámicamente variables como capas individuales en las Figuras 1-4. Los materiales poliméricos que constituyen las capas mostradas en las Figuras 1-4 pueden fabricarse de manera que los módulos elásticos, además del índice de refracción de las capas de polímero que se alternan, sean diferentes. En estos materiales, el esfuerzo aplicado, tal como el esfuerzo de presión, tensión, compresión o cizallamiento, o una combinación de estos esfuerzos, cambia el espesor de capa relativo y, por lo tanto, el gradiente en la lente. La disposición en capas de tales polímeros para formar una estructura de polímero multicapa jerárquica mostrada en las Figuras 1-4 dará una lente GRIN axial, radial o esférica variable.

La sensibilidad del índice al esfuerzo puede variarse por la elección de los polímeros componente y su espesor inicial relativo. Así, es posible fabricar una lente de gradiente variable en la que pueda especificarse tanto el gradiente inicial como la variabilidad del gradiente con esfuerzo.

Las ventajas de la presente invención incluyen:

El gradiente del índice en el material de la lente puede ser de hasta 0,5 o mayor. Esto hace posible la fabricación de lentes tan delgadas como 25 µm (1 milésima de pulgada) o menos con longitudes focales relativamente cortas.

En la técnica según la presente invención, puede lograrse un gradiente del índice mucho mayor que en otras técnicas de fabricación GRIN. Puede usarse una variedad más amplia de polímeros componente. El único requisito es que sean materiales poliméricos, preferentemente materiales poliméricos termoplásticos. Esto nos permite elegir polímeros componente con un amplio intervalo de índices de refracción. El máximo gradiente del índice que puede lograrse en la lente viene dado por la diferencia entre los índices de los polímeros componentes.

El gradiente del índice puede definirse para ser continuo, discreto o escalonado en cualquiera de la dirección axial, radial o esférica. El gradiente del índice no necesita ser monotónico. En técnicas de fabricación previas para materiales de gradiente del índice, el gradiente fue normalmente continuo y monotónico. El control adicional sobre la naturaleza del gradiente del índice hace posible muchos más diseños de lentes GRIN con, por ejemplo, correcciones de la aberración, puntos bifocales y multifocales, y campo de visión más amplio.

Puede lograrse una gran variación en el gradiente del índice de refracción. Además, puede lograrse una variación reversible dinámica en el gradiente del índice de refracción. Es factible un índice variable de 0,01 a 0,5 y es posible un valor que se aproxima a 1. Como el gradiente del índice puede variarse dinámicamente, puede variarse la longitud focal de las lentes GRIN fabricadas a partir de estos materiales. Esto hace posible la construcción de lentes de longitud focal variable y lentes de zoom sin partes móviles.

Los materiales de la lente son baratos y pueden producirse como grandes hojas de material. Un punto importante es que la técnica de disposición multicapa permite el uso de polímeros inmiscibles, miscibles o parcialmente miscibles para lograr una gran diferencia del índice. Técnicas de fabricación de lentes GRIN previas usaron principalmente técnicas de difusión para lograr un gradiente del índice. Funcionan solo para polímeros completamente miscibles.

A diferencia de los métodos del estado de la técnica de fabricación de una lente, según la presente invención, es posible preparar lentes con gradientes del índice mucho más grandes. Esto permite la preparación de una variedad más amplia de lentes. Permite tanto lentes de peso ligero delgadas como gruesas. Por tanto, no hay límite práctico al diámetro de la lente. El diámetro según la presente invención puede ser de 0,1 µm a muchos metros. Esto significa que pueden fabricarse lentes GRIN rápidamente grandes con un pequeño número f y una capacidad de reunir luz mucho mejor.

Además, los gradientes del índice en las estructuras según la presente invención pueden definirse fácilmente durante la fabricación. Esto significa que son posibles lentes más complejas con mejor corrección de la aberración.

Habiendo descrito generalmente la presente invención, puede obtenerse un entendimiento adicional por referencia a ciertos ejemplos específicos que se proporcionan en el presente documento para fines de ilustración solo y que no pretenden ser limitantes, a menos que se especifique de otro modo.

Ejemplos

Se fabricó un conjunto de lentes de polímero de material compuesto multicapa jerárquico GRIN, según los procesos escalonados tratados anteriormente, usando un material compuesto de policarbonato (PC) y poli(metacrilato de metilo) (PMMA).

Las películas de material compuesto de polímero multicapa iniciales se ilustran en la Figura 5. Comprenden 2.048 nanocapas que se alternan de los polímeros componente PC y PMMA con un espesor total de 50 µm (2 milésimas de pulgada) y 100 µm (4 milésimas de pulgada). También se muestra una imagen del microscopio de fuerza atómica (AFM) del material con capas de espesor iguales, marcada la muestra 50/50 de PC/PMMA. El espesor de capas individuales para la película de 50/50 de PC/PMMA es 25 nm en la película de 50 µm y 50 nm en la película de 100

µm.

Se fabricó un conjunto de 19 películas diferentes con espesor de capa relativo diferente, pero el mismo espesor global. La relación del espesor de capa de policarbonato con respecto al de PMMA varió de 95/5 a 5/95 para dar un conjunto de películas de material compuesto de polímero multicapa con diferentes índices de refracción. Estas películas de material compuesto de polímero multicapa se ilustran en la Figura 6. Si están incluidas películas puras de PC y PMMA, esto da un conjunto de 21 películas de material compuesto de polímero multicapa con índices de refracción entre 1,49 y 1,59. Éstas se obtienen variando sistemáticamente el contenido de PC y PMMA. La Figura 7 muestra el índice de refracción medido en función de la fracción del espesor total constituido de policarbonato. El índice de refracción de las películas varía linealmente con el contenido de policarbonato como era de esperar.

La fabricación de una hoja GRIN de material compuesto multicapa jerárquico a partir de estas películas se logra apilando las películas de material compuesto de polímero multicapa como se ilustra en la Figura 8. En el ejemplo mostrado en la Figura 8, se apilaron 363 películas de PC/PMMA multicapa y se unieron para dar una hoja con una variación del índice a través del bloque. La variación del índice en función de la distancia, d, a través de esta preforma de polímero se determina por la distribución predefinida del índice de refracción en la hoja GRIN de material compuesto multicapa.

La lente GRIN de material compuesto multicapa jerárquico se fabrica cortando en rebanadas este bloque de polímero a través de las capas, perpendicular a la dirección de apilamiento, como se muestra.

La Figura 9 ilustra los parámetros de fabricación de una lente GRIN axial de material compuesto multicapa jerárquico que se fabricó. Ésta es una lente de enfoque. Se usaron diecinueve películas de material compuesto de polímero multicapa de PC/PMMA diferentes. El índice de refracción de la i^n película, n_i, se muestra en la Figura 7. En el caso mostrado en la Figura 9, se apilaron un total de 308 películas de material compuesto de polímero multicapa, cada una de 50 µm de espesor. Esto da un total de 630.784 nanocapas en la lente de enfoque axial. Las películas se apilaron como se indica para dar una variación cuadrática en el índice a través del polímero resultante. El gradiente de diseño fue:

$$n(d)=n_0(1 - 0{,}0013\ d^2)$$

en la que d es la distancia a través del polímero y n_0=1.576. El índice de refracción de la preforma se midió en función de *d* a través de la hoja. El índice real en función de *d* está muy próximo al calculado a partir de la ecuación anterior, como se muestra en la Figura 10.

En la lente GRIN de material compuesto multicapa jerárquico descrita en las Figuras 8 y 9, el gradiente del índice es en una dirección. Las propiedades de enfoque esperadas se ilustran en la Figura 11. Las propiedades de enfoque observadas se muestran en la Figura 12.

Se han fabricado varias otras lentes GRIN de material compuesto multicapa jerárquico con grandes gradientes del índice. El diseño de una de éstas se muestra en la Figura 13. La Figura 13 muestra una lente GRIN de material compuesto multicapa jerárquico con un índice que aumenta desde el centro hasta el borde. El índice medido en función de la distancia del centro del polímero fabricado con esta estructura de capa se muestra en la Figura 14. Se ajusta a la ecuación:

$$n(d)=n_0(1 - 0{,}0015\ d^2)$$

en la que, en este caso, n_0=1.495. Una lente fabricada con esta distribución del índice tendrá propiedades de enfoque como las de una lente cóncava o cilíndrica de desenfoque convencional. Las propiedades de enfoque observadas se muestran en la Figura 15. Experimentalmente, esto demuestra un sistema GRIN de material compuesto multicapa jerárquico que se comporta como una lente cilíndrica de desenfoque. Otro gradiente del índice del polímero de material compuesto multicapa jerárquico que se fabricó se muestra en la Figura 16.

Este ejemplo tiene un gradiente asimétrico. Es útil en la fabricación de una lente GRIN de material compuesto multicapa jerárquico con simetría cilíndrica. La fabricación de un polímero de material compuesto multicapa jerárquico cilíndricamente simétrico tal se muestra en la Figura 17. El gradiente del índice puede fabricarse de manera que tanto aumente como disminuya radialmente hacia afuera desde el centro hasta el borde. Las lentes GRIN de material compuesto multicapa jerárquico correspondientes pueden fabricarse para tener tanto propiedades de enfoque como de desenfoque según se desee. Se fabricó una lente de enfoque con este diseño y los presentes inventores demostraron que se comporta como una lente convexa o de enfoque convencional. El diseño mostrado, con un orificio en el centro, también puede funcionar de preforma para un tubo luminoso guía de ondas.

En resumen, los presentes inventores han fabricado películas de material compuesto de polímero multicapa; las películas de material compuesto de polímero multicapa se apilaron para formar hojas GRIN de material compuesto multicapa; a partir de las hojas GRIN de material compuesto multicapa se formaron tres tipos de lentes: axiales, radiales y esféricas.

Obviamente, son posibles numerosas modificaciones y variaciones de la presente invención en vista de las enseñanzas anteriores. Por tanto, debe entenderse que dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas, la invención puede ponerse en práctica de otro modo distinto al específicamente descrito en el presente documento.

Reivindicaciones

1. Una lente GRIN esférica o radial que comprende una hoja GRIN de material compuesto multicapa;
en la que dicha hoja de material compuesto multicapa comprende una pluralidad de al menos dos películas de material compuesto de polímero multicapa;
en la que cada una de dichas películas de material compuesto de polímero multicapa comprende una pluralidad de al menos dos capas alternas (A) y (B) representadas por la fórmula (AB)x, en la que $x = 2^n$, y n está en el intervalo de 4 a 18;
en la que películas de polímero de material compuesto multicapa adyacentes se eligen para presentar progresivamente diferentes índices de refracción que alteran el espesor relativo de las capas (A) y (B);
en la que la capa (A) comprende el componente (a) y la capa (B) comprende el componente (b);
en la que dichos componentes (a) y (b) presentan un índice de refracción diferente;
en la que en el caso de una lente GRIN esférica las películas de material compuesto multicapa están apiladas en una forma esférica; y
en la que en el caso de una lente GRIN radial la lente GRIN radial se obtiene envolviendo la hoja de material compuesto multicapa concéntricamente alrededor de una varilla, teniendo la varilla un índice de refracción que coincide sustancialmente con el índice de refracción de la película de polímero multicapa adyacente a la varilla.

2. La lente de la reivindicación 1, en la que dichos componentes (a) y (b) están seleccionados del grupo que consiste en un material polimérico, un polímero de material compuesto y una mezcla de polímeros.

3. La lente de la reivindicación 2, en la que dicho material polimérico está seleccionado del grupo que consiste en un material vítreo, un material cristalino y un material elastomérico.

4. La lente de la reivindicación 1, en la que dichas capas tienen un espesor de 5 nm a 1.000 µm.

5. La lente de la reivindicación 1, en la que dicha película de polímero de material compuesto multicapa comprende al menos 10 capas alternas.

6. La lente de la reivindicación 1, en la que dicha película de polímero de material compuesto multicapa comprende en el intervalo de 50 a 500.000 capas alternas.

7. La lente de la reivindicación 1, en la que dicha hoja GRIN de material compuesto multicapa comprende de 5 a 100.000 películas de material compuesto de polímero multicapa.

8. La lente de la reivindicación 1, en la que dicha hoja GRIN de material compuesto multicapa comprende de 20 a 10.000 películas de material compuesto de polímero multicapa.

9. La lente de la reivindicación 1, en la que los componentes (a) y (b) son químicamente los mismos materiales.

10. Una lente GRIN esférica o radial que comprende una estructura de material compuesto multicapa;
en la que dicha estructura de material compuesto multicapa comprende una pluralidad de al menos dos películas de material compuesto de polímero multicapa;
en la que cada una de dichas películas de material compuesto de polímero multicapa comprende una pluralidad de al menos tres capas alternas (A), (B) y (C) representadas por la fórmula $(ABC)_x$, en la que $x = 2^n$, y n está en el intervalo de 4 a 18;
en la que las películas de polímero de material compuesto multicapa adyacentes se eligen para presentar progresivamente diferentes índices de refracción que alteran el espesor relativo de las capas (A) y (B);
en la que la capa (A) comprende el componente (a), la capa (B) comprende el componente (b) y la capa (C) comprende el componente (c);
en la que dichos componentes (a), (b) y (c) presentan un índice de refracción diferente
en la que en el caso de una lente GRIN esférica las películas de material compuesto multicapa están apiladas en una forma esférica; y
en la que en el caso de una lente GRIN radial la lente GRIN radial se obtiene envolviendo la hoja de material compuesto multicapa concéntricamente alrededor de una varilla, teniendo la varilla un índice de refracción que coincide sustancialmente con el índice de refracción de la película de polímero multicapa adyacente a la varilla.

11. La lente de la reivindicación 2, en la que dicho material polimérico está seleccionado del grupo que consiste en un poli(naftalato de etileno), un isómero del mismo , un poli(tereftalato de alquileno), una poliimida, una poliéterimida, un polímero estirénico, un policarbonato, un poli(met)acrilato, un derivado de celulosa, un polímero de polialquileno, un polímero fluorado, un polímero clorado, una polisulfona, una poliétersulfona, poliacrilonitrilo, una poliamida, poli(acetato de vinilo), una poliéter-amida, un copolímero de estireno-acrilonitrilo, un copolímero de estireno-etileno, poli(tereftalato de etileno-1,4-ciclohexilendimetileno), un caucho acrílico, isopreno, isobutileno-isopreno, caucho de butadieno, butadieno-estireno-vinilpiridina, caucho butílico, polietileno, cloropreno, caucho de epiclorhidrina, etileno-propileno, etileno-propileno-dieno, nitrilo-butadieno, poliisopreno, caucho de silicona, estireno-butadieno y caucho de uretano.

12. La lente de la reivindicación 2, en la que dicho material polimérico está seleccionado del grupo que consiste en un copolímero de bloque y de injerto.

13. La lente de la reivindicación 1, en la que dichas capas comprenden además un material orgánico o inorgánico diseñado para afectar el índice de refracción.

14. La lente de la reivindicación 1, en la que dichos componentes (a) y (b) son materiales poliméricos miscibles, inmiscibles o parcialmente miscibles.

15. Un método de fabricación de la lente de la reivindicación 1, que comprende fabricar la hoja GRIN de material compuesto multicapa formando un conjunto de películas de material compuesto de polímero multicapa comprendidas de capas alternas (A) y (B); co-extruir dichas películas en una hoja GRIN de material compuesto multicapa; y formar la lente de índice en gradiente por corte en rebanadas y moldeo de las hojas GRIN de material compuesto multicapa.

16. El método de la reivindicación 15, en el que dicha hoja GRIN de material compuesto multicapa presenta una transmisión interna superior al 20 %.

17. El método de la reivindicación 15, en el que dicha hoja GRIN de material compuesto multicapa presenta una transmisión interna superior al 50 %.

18. El método de la reivindicación 15, en el que el índice de refracción de dicha hoja GRIN de material compuesto multicapa se varía mecánicamente por presión, tensión, compresión, cizallamiento o una combinación de estos esfuerzos.

19. El método de la reivindicación 15, en el que dicha hoja GRIN de material compuesto multicapa comprende 5 a 100.000 películas de material compuesto de polímero multicapa.

20. El método de la reivindicación 15, en el que dicha hoja GRIN de material compuesto multicapa comprende 20 a 10.000 películas de material compuesto de polímero multicapa.

21. El método de la reivindicación 15, en el que dicha hoja GRIN de material compuesto multicapa tiene un espesor global que oscila de 10 nm a 10 cm.

22. El método de la reivindicación 15, en el que dicha hoja GRIN de material compuesto multicapa tiene un espesor global que oscila de 25 mm a 3 cm.

23. El método de la reivindicación 15, en el que dicha película u hoja GRIN de material compuesto de polímero multicapa de material compuesto multicapa está orientada.

24. La lente de la reivindicación 1, en la que dicha hoja de material compuesto es reversiblemente deformable.

25. La lente de la reivindicación 10, en la que dicha estructura de material compuesto es reversiblemente deformable.

26. Un método de fabricación de la lente GRIN radial de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, y 11 a 14, que comprende fabricar la hoja GRIN de material compuesto multicapa formando un conjunto de películas de material compuesto de polímero multicapa compuestas de capas alternas (A) y (B); co-extruir dichas películas en una hoja GRIN de material compuesto multicapa; y formar la lente de índice en gradiente que tiene una simetría cilíndrica por corte en rebanadas y moldeo de la hojas GRIN de material compuesto multicapa.

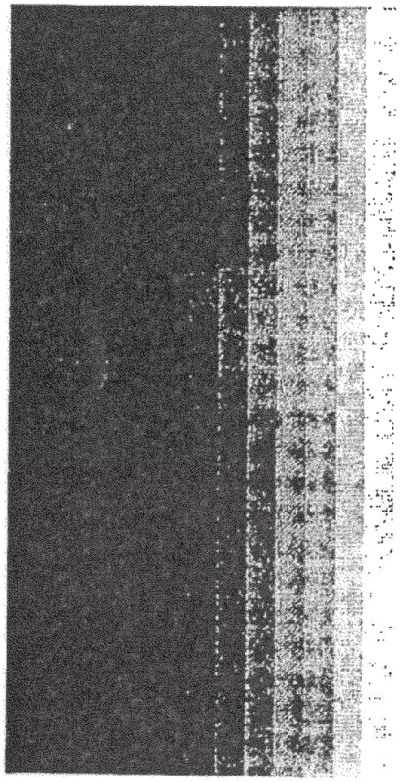

Figura 1

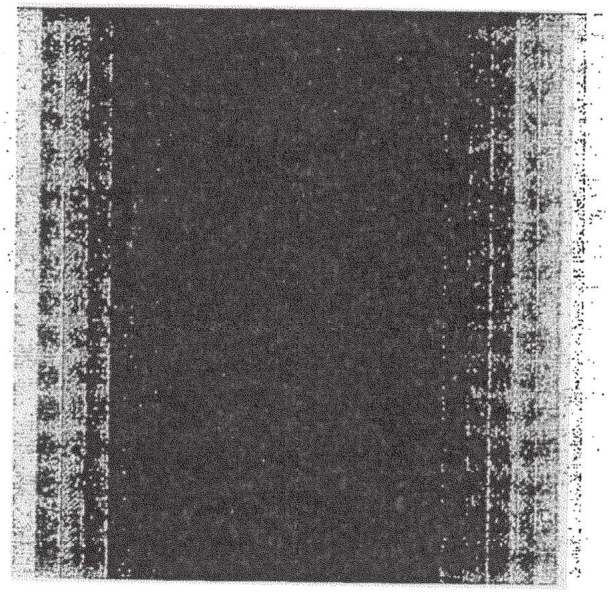

Figura 2

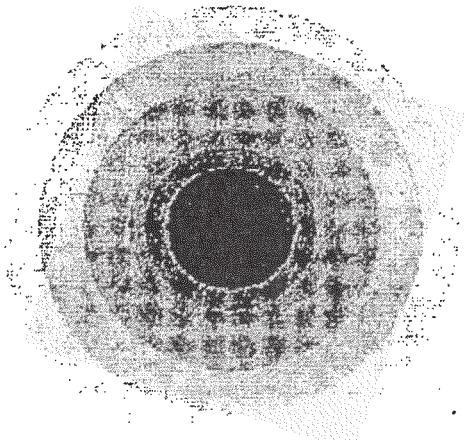

Figura 3

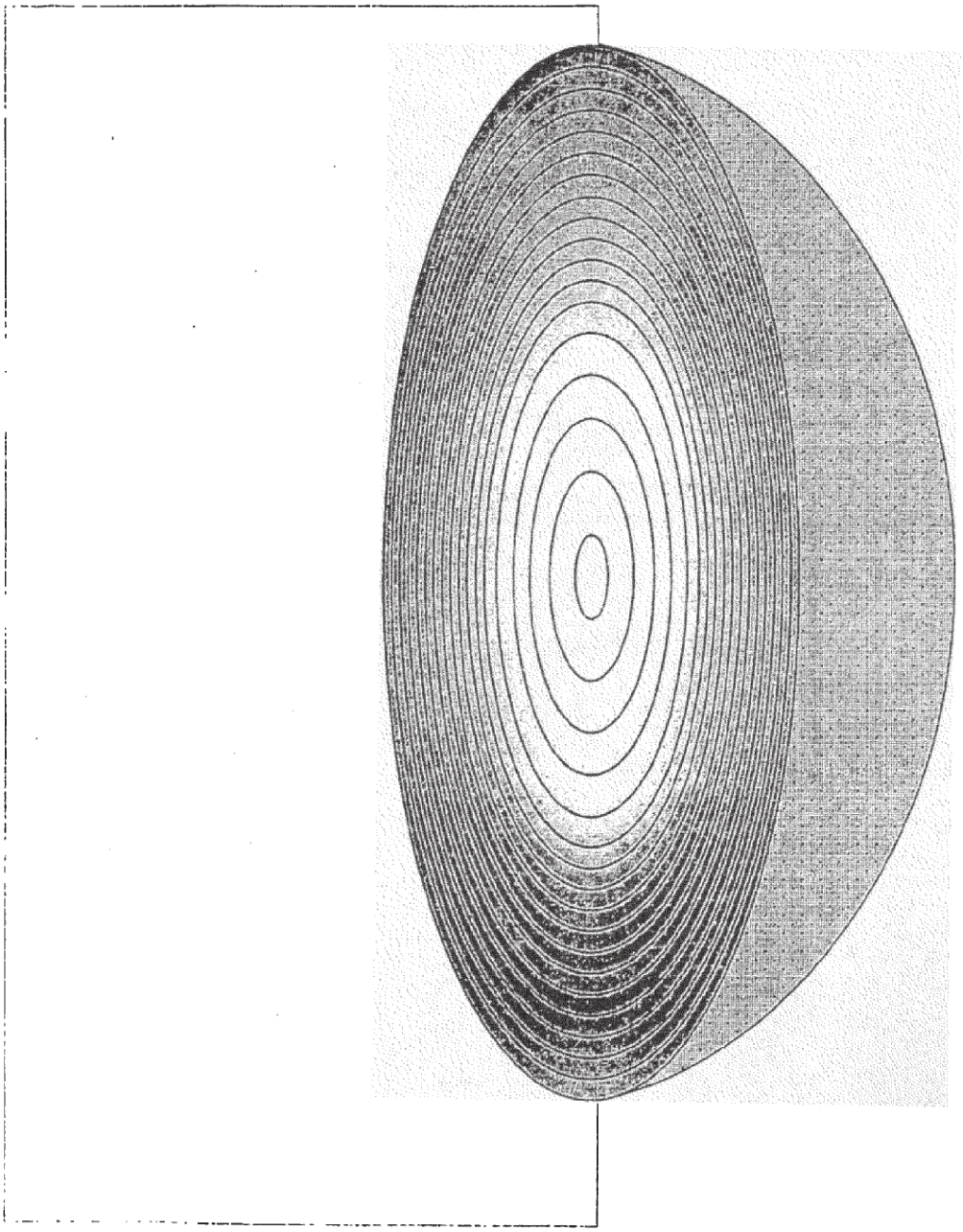

Figura 4

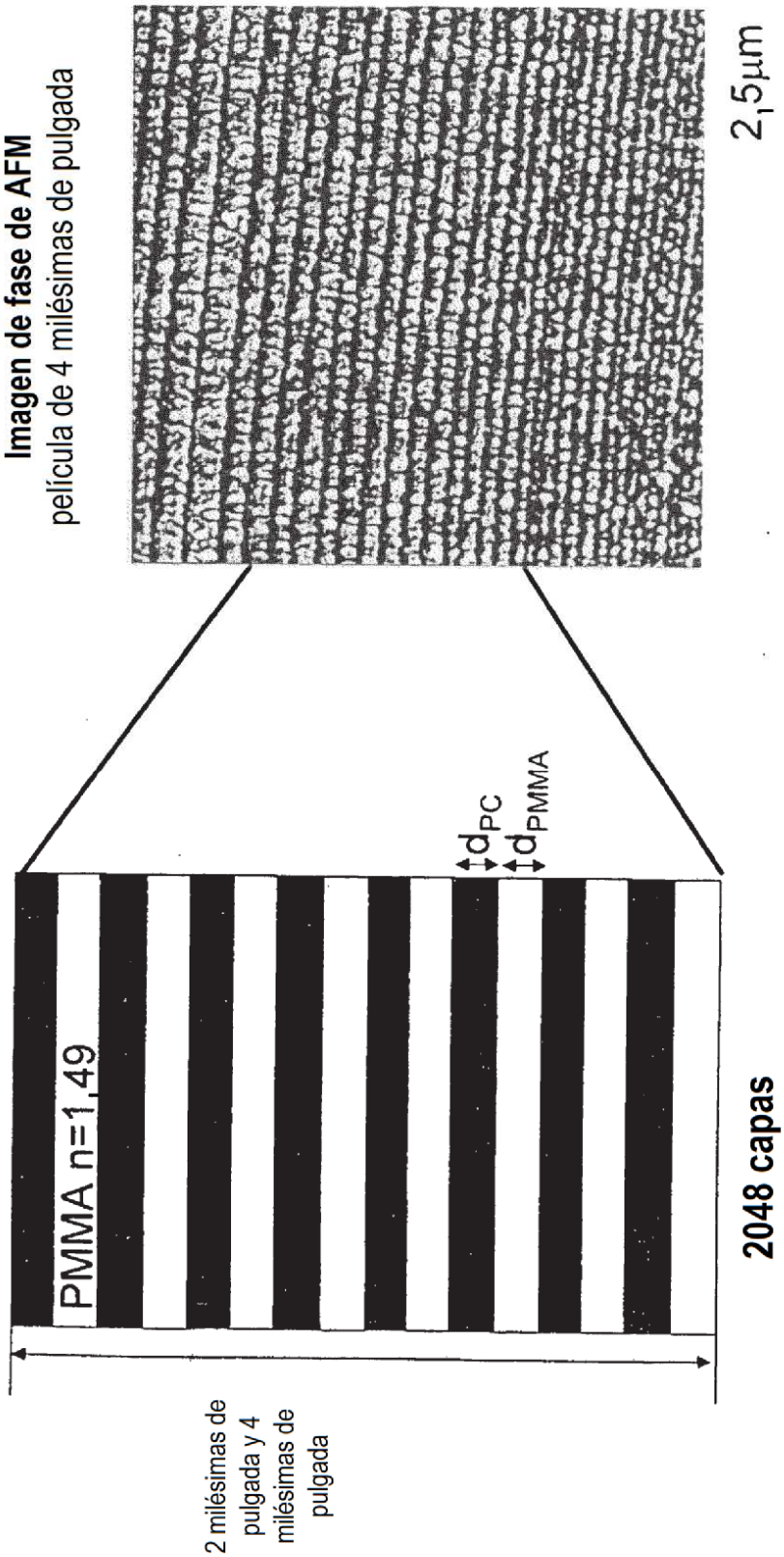
Imagen de fase de AFM
película de 4 milésimas de pulgada
2,5µm
PMMA n=1,49
d_{PC}
d_{PMMA}
2048 capas
2 milésimas de pulgada y 4 milésimas de pulgada

Figura 5

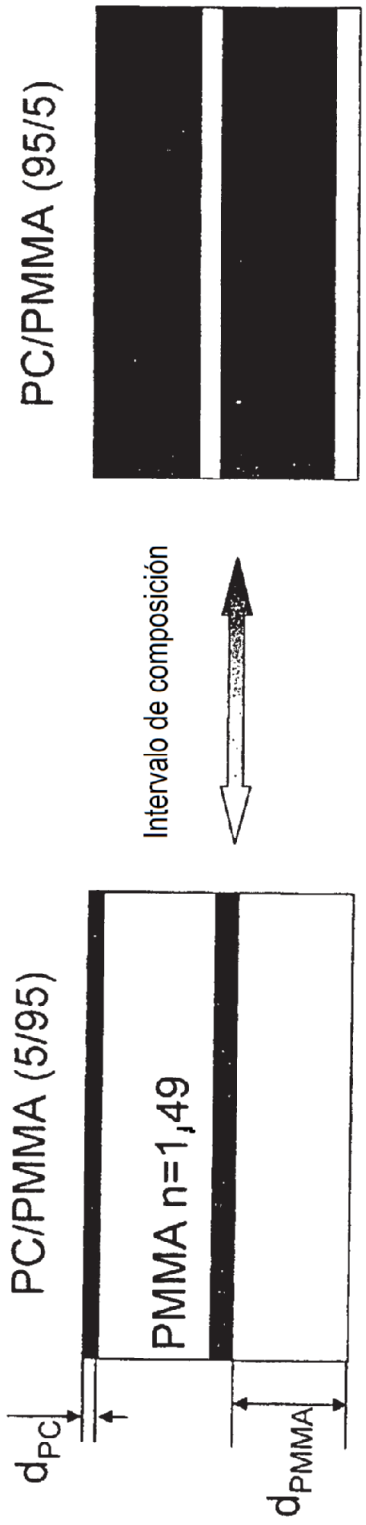
PC/PMMA (95/5)
Intervalo de composición
PC/PMMA (5/95)
PMMA n=1,49
d_{PC}
d_{PMMA}

Figura 6

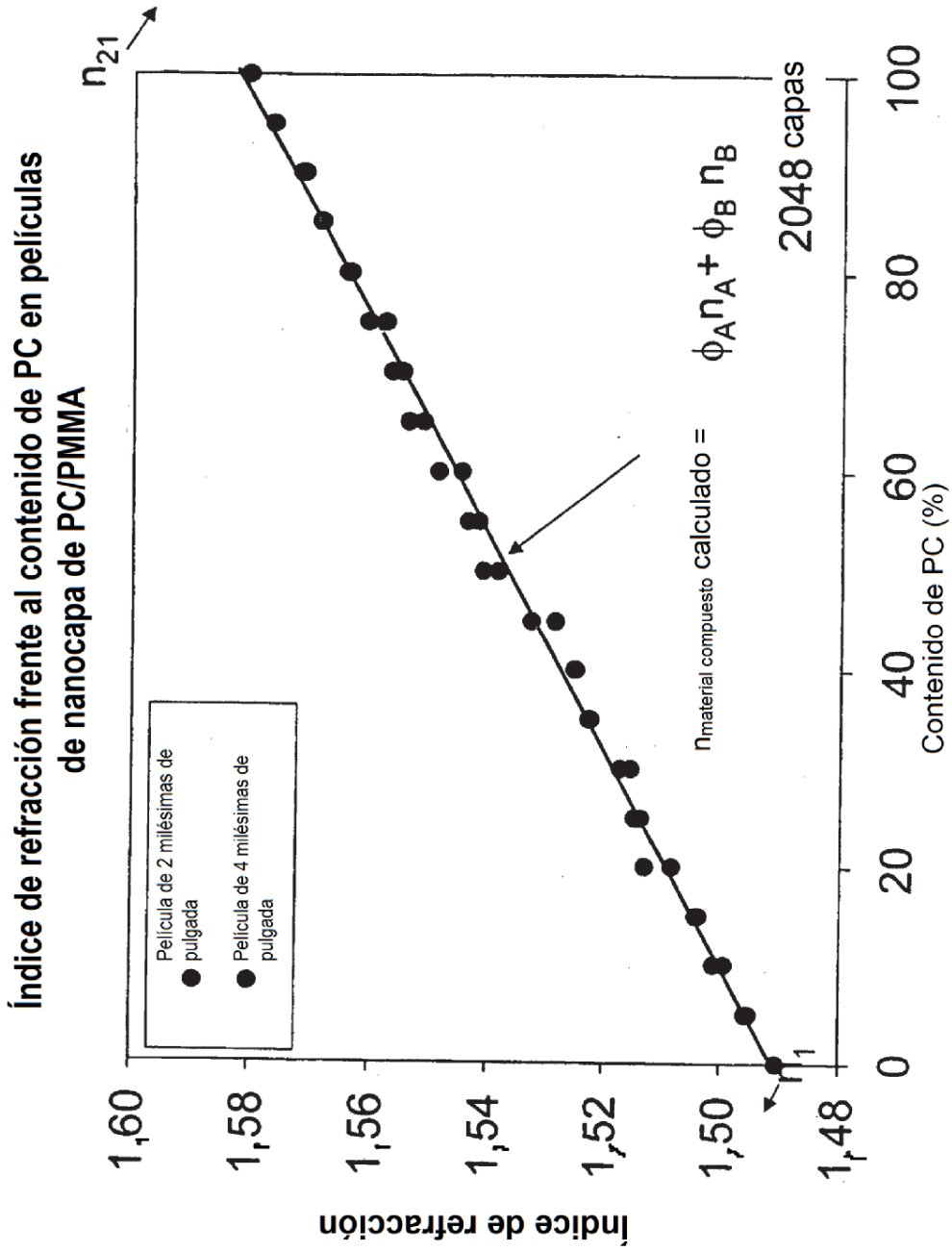
Índice de refracción frente al contenido de PC en películas de nanocapa de PC/PMMA
Película de 2 milésimas de pulgada
Película de 4 milésimas de pulgada
$n_{material\ compuesto}$ calculado = $\phi_A n_A + \phi_B n_B$
2048 capas
n_{21}
n_1
Índice de refracción
Contenido de PC (%)
1,60
1,58
1,56
1,54
1,52
1,50
1,48
0
20
40
60
80
100

Figura 7

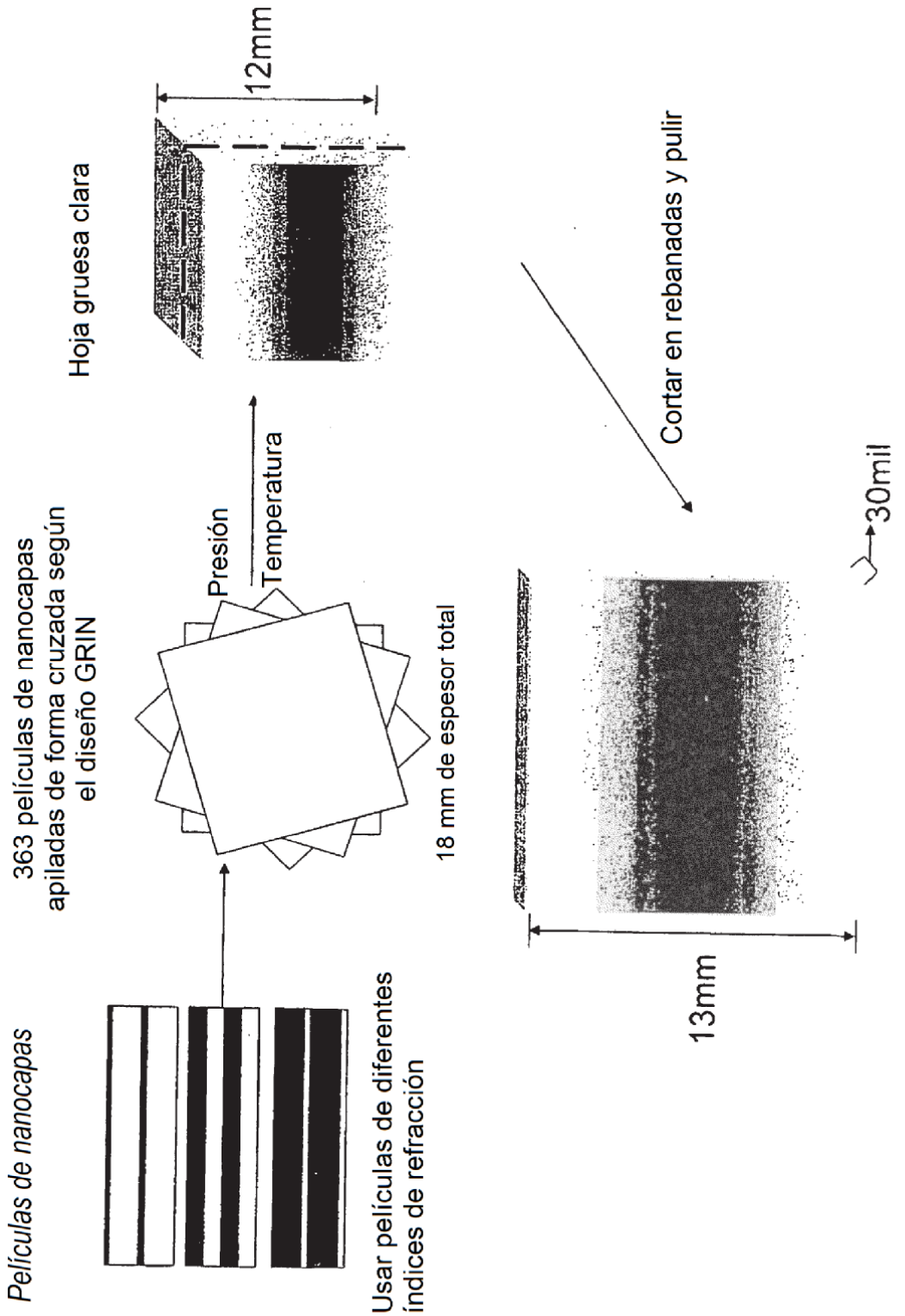
Películas de nanocapas
Usar películas de diferentes índices de refracción
363 películas de nanocapas apiladas de forma cruzada según el diseño GRIN
Presión
Temperatura
18 mm de espesor total
Hoja gruesa clara
12mm
Cortar en rebanadas y pulir
30mil
13mm

Figura 8

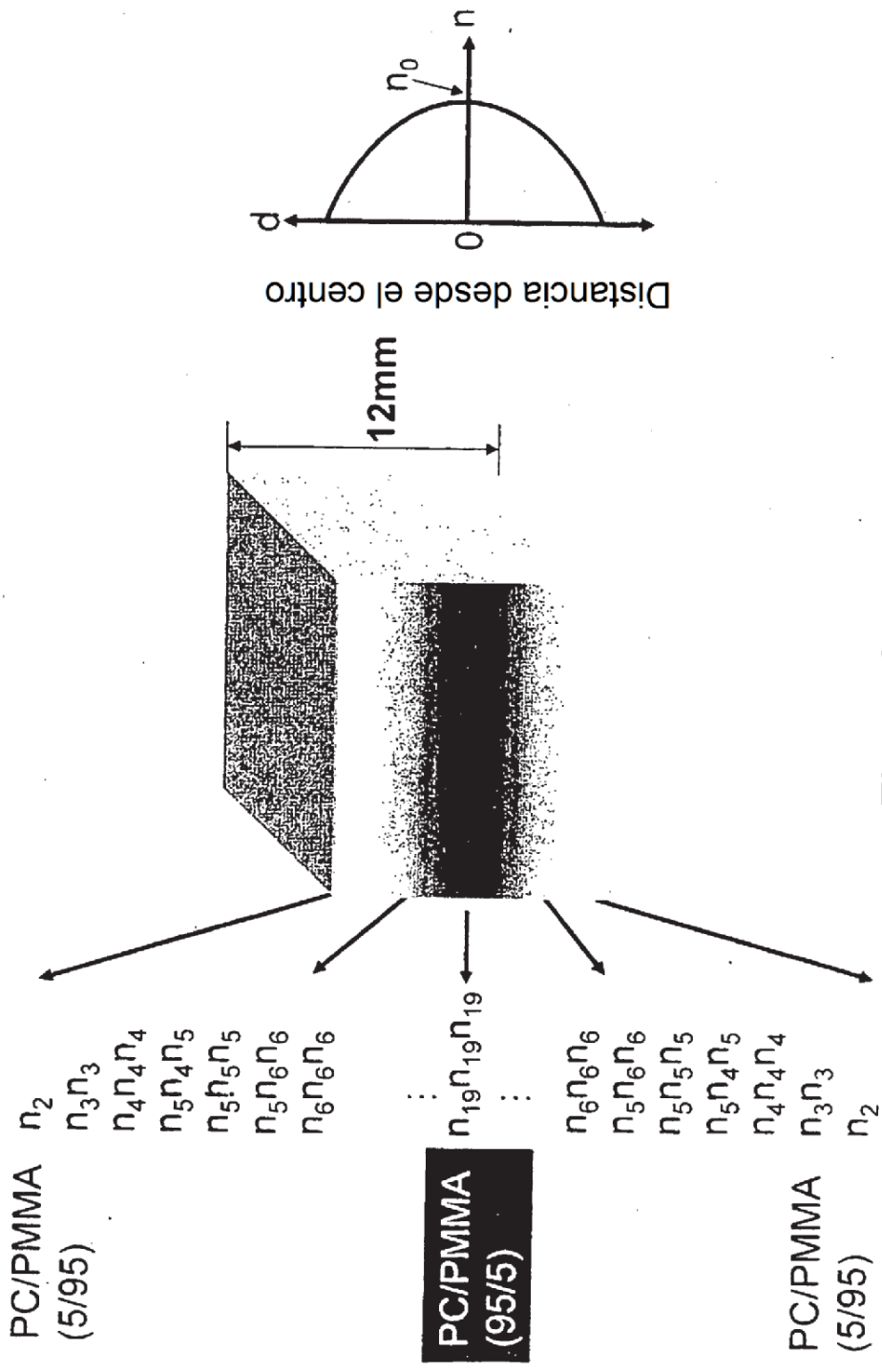
n
n_0
d
0
Distancia desde el centro
12mm
PC/PMMA
(5/95)
n_2
n_3n_3
$n_4n_4n_4$
$n_5n_4n_5$
$n_5n_5n_5$
$n_5n_6n_6$
$n_6n_6n_6$
$n_{19}n_{19}n_{19}$
$n_6n_6n_6$
$n_5n_6n_6$
$n_5n_5n_5$
$n_5n_4n_5$
$n_4n_4n_4$
n_3n_3
n_2
PC/PMMA
(95/5)
PC/PMMA
(5/95)

Figura 9

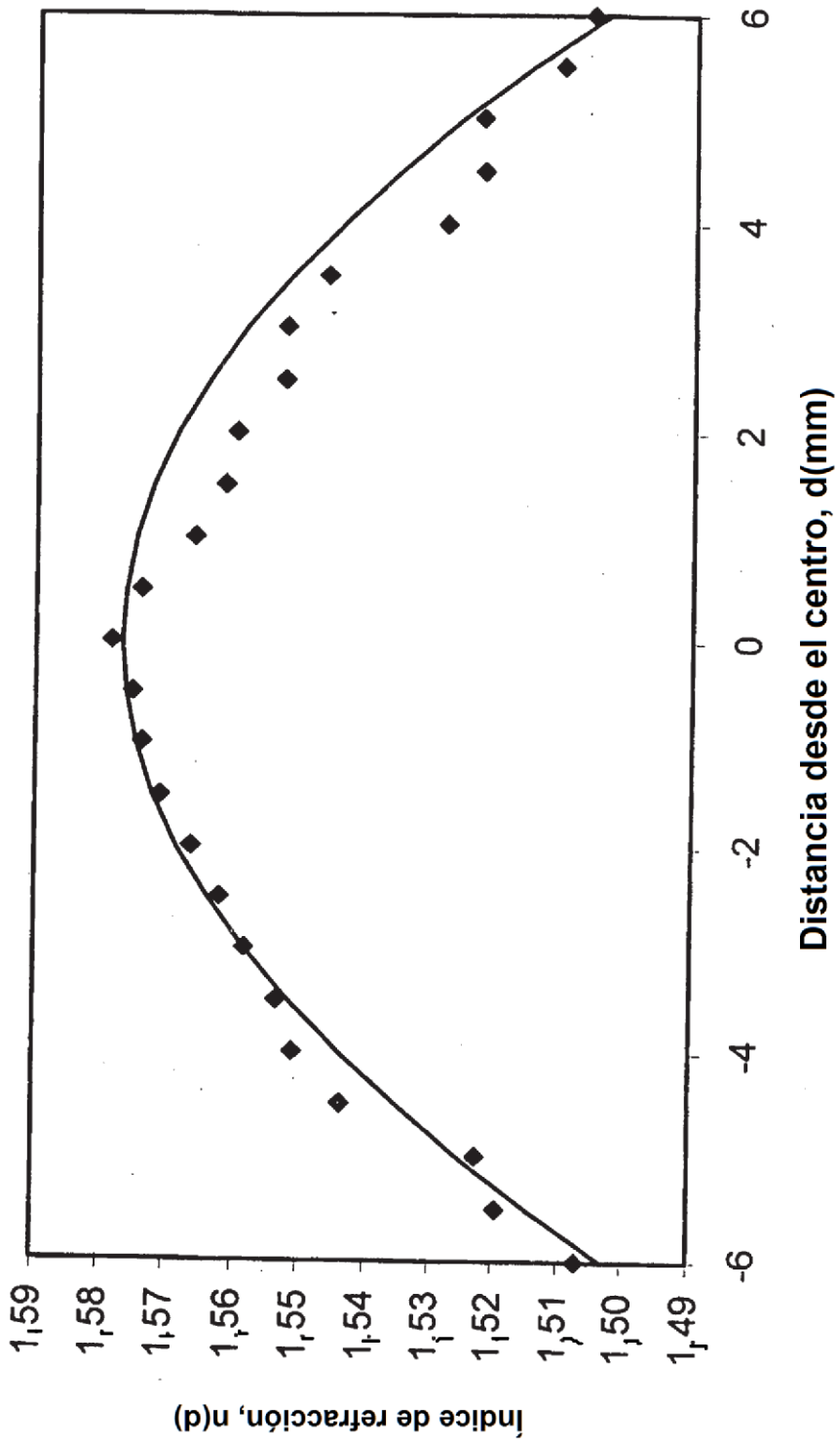
Índice de refracción, n(d)
1,59
1,58
1,57
1,56
1,55
1,54
1,53
1,52
1,51
1,50
1,49
-6
-4
-2
0
2
4
6
Distancia desde el centro, d(mm)

Figura 10

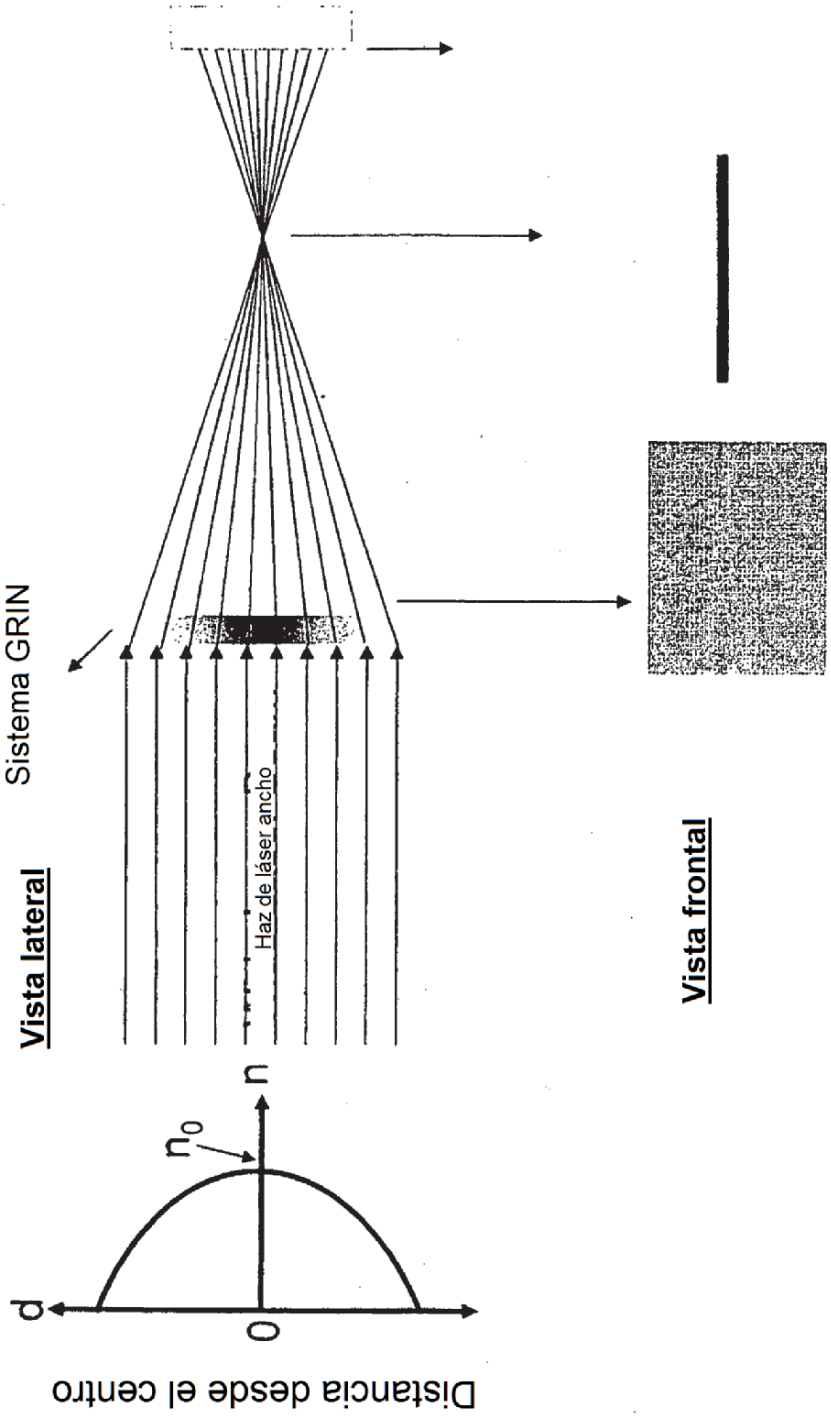
Sistema GRIN
Vista lateral
Haz de láser ancho
Vista frontal
n
n_0
d
0
Distancia desde el centro

Figura 11

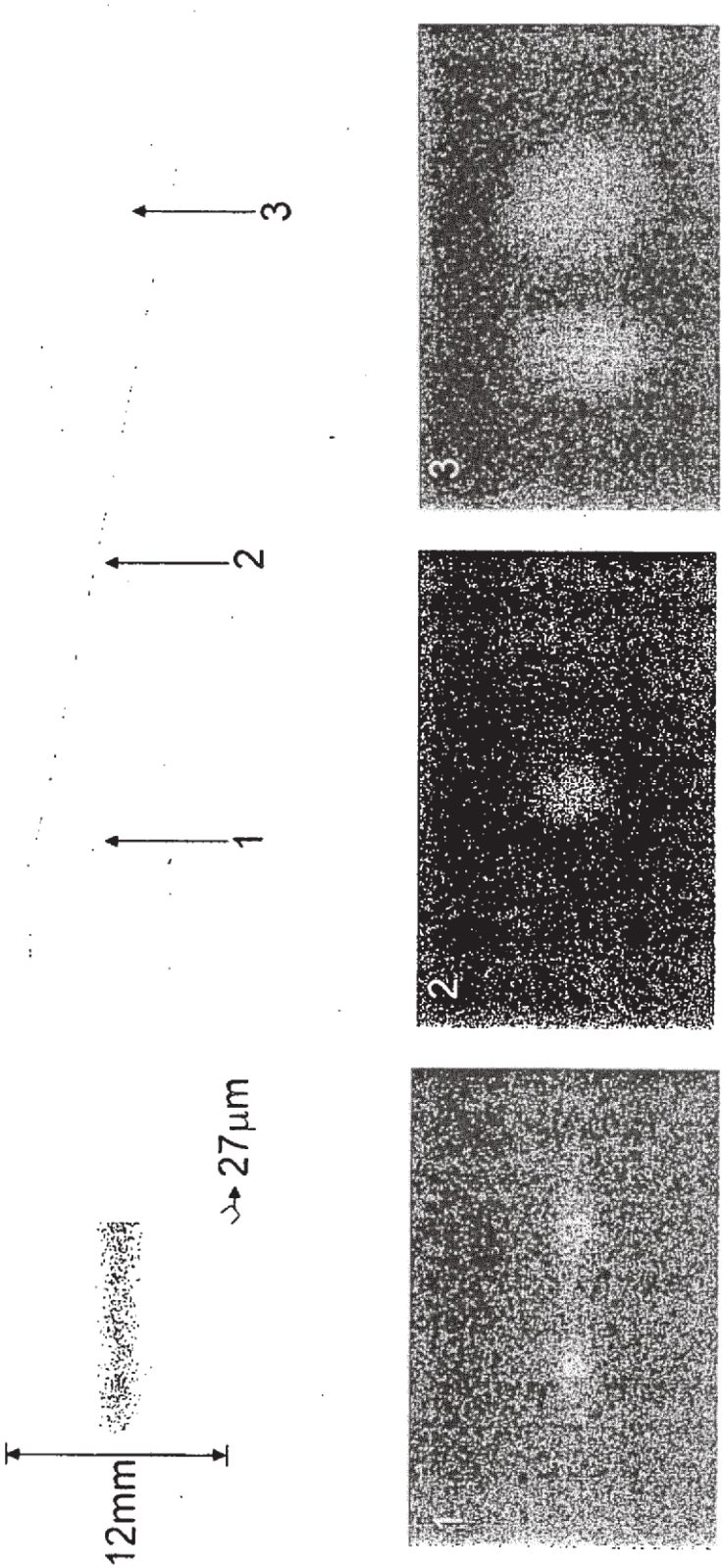

Figura 12

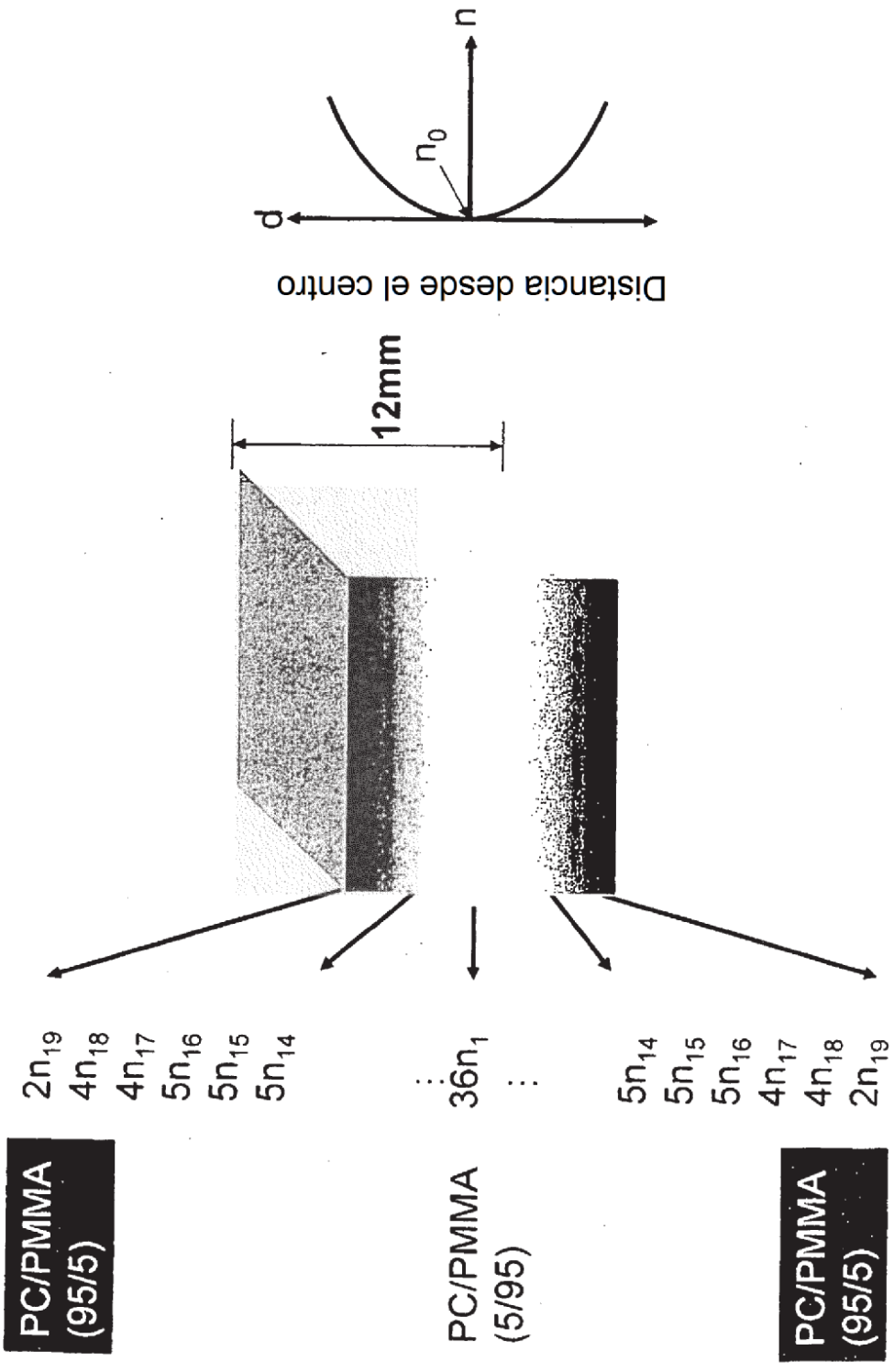
n
n_0
d
Distancia desde el centro
12mm
PC/PMMA (95/5)
$2n_{19}$ $4n_{18}$ $4n_{17}$ $5n_{16}$ $5n_{15}$ $5n_{14}$
$36n_1$
PC/PMMA (5/95)
$5n_{14}$ $5n_{15}$ $5n_{16}$ $4n_{17}$ $4n_{18}$ $2n_{19}$
PC/PMMA (95/5)

Figura 13

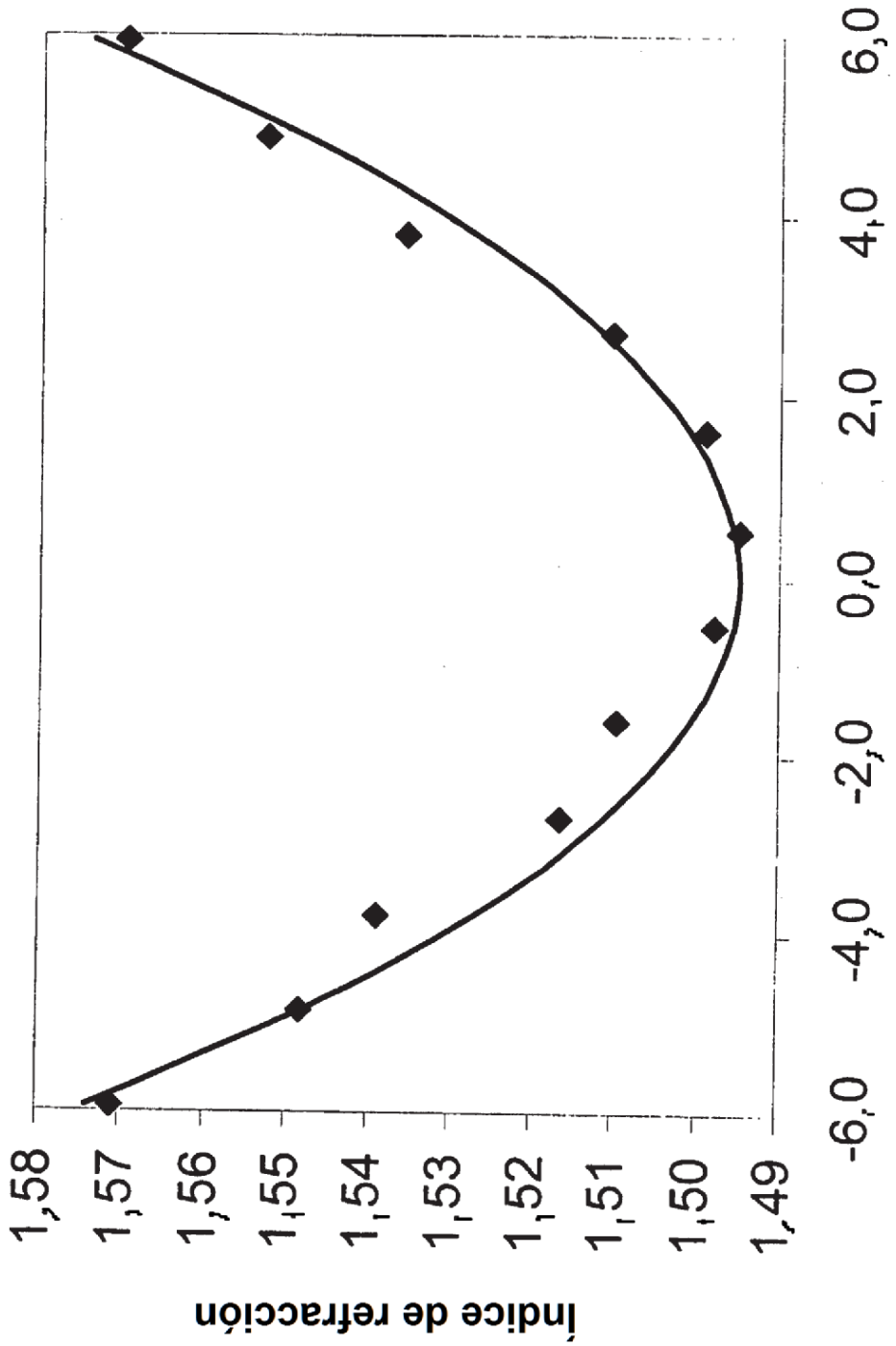
1,58
1,57
1,56
1,55
1,54
1,53
1,52
1,51
1,50
1,49
Índice de refracción
-6,0
-4,0
-2,0
0,0
2,0
4,0
6,0
Distancia desde el centro (mm)

Figura 14

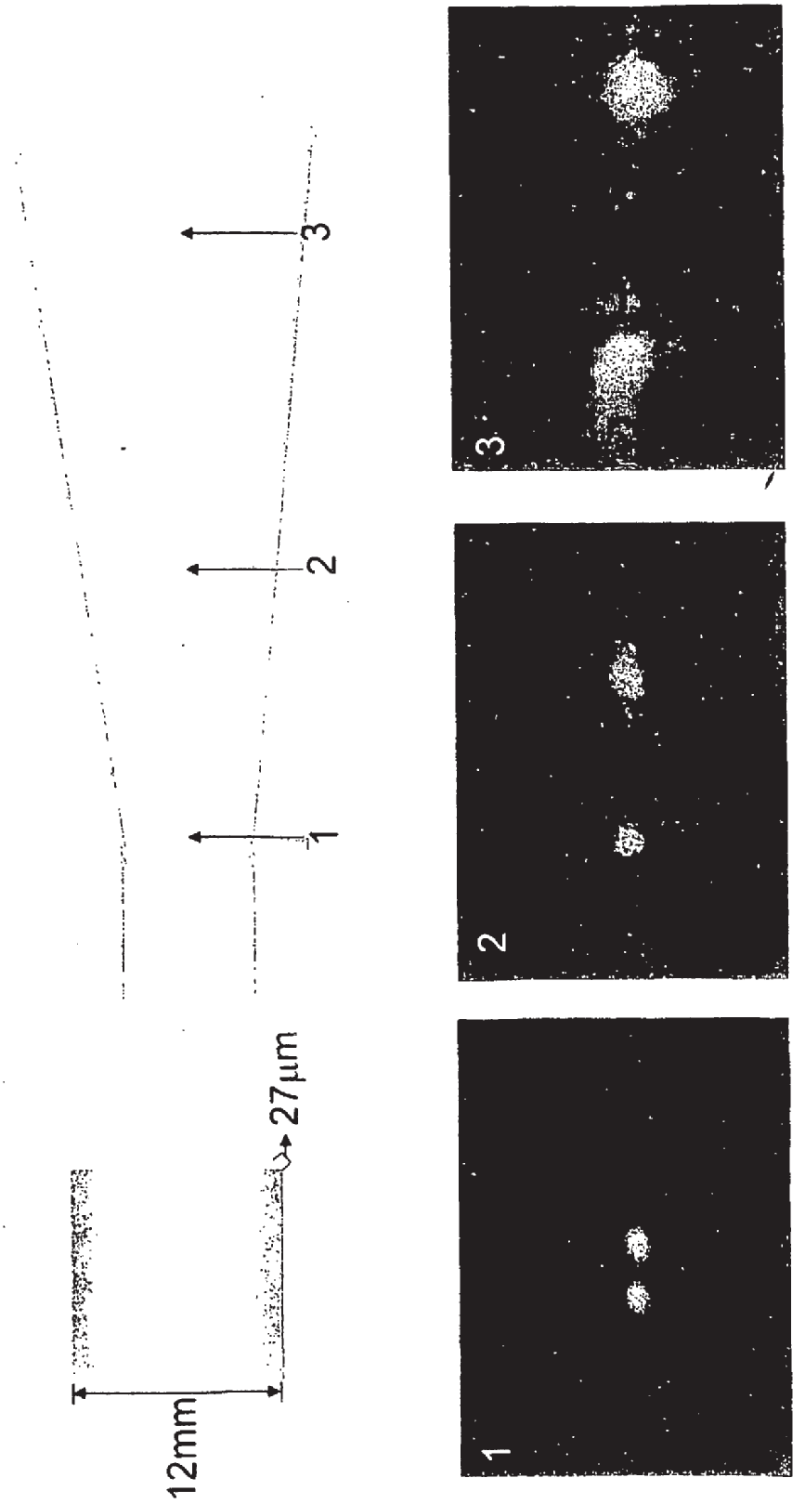

Figura 15

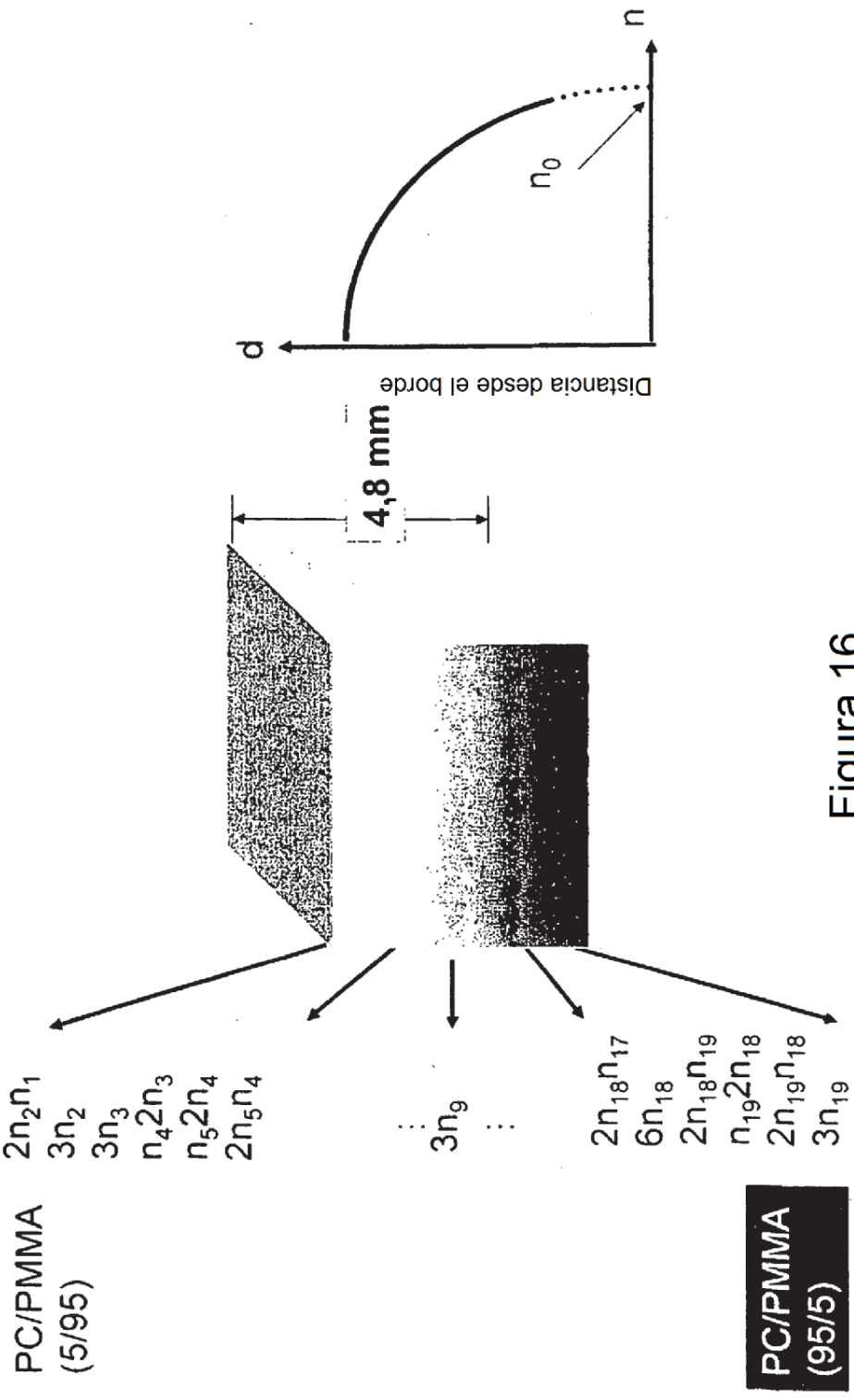
n
n_0
d
Distancia desde el borde
4,8 mm
PC/PMMA
(5/95)
$2n_2n_1$
$3n_2$
$3n_3$
$n_4 2n_3$
$n_5 2n_4$
$2n_5n_4$
$3n_9$
$2n_{18}n_{17}$
$6n_{18}$
$2n_{18}n_{19}$
$n_{19}2n_{18}$
$2n_{19}n_{18}$
$3n_{19}$
PC/PMMA
(95/5)

Figura 16

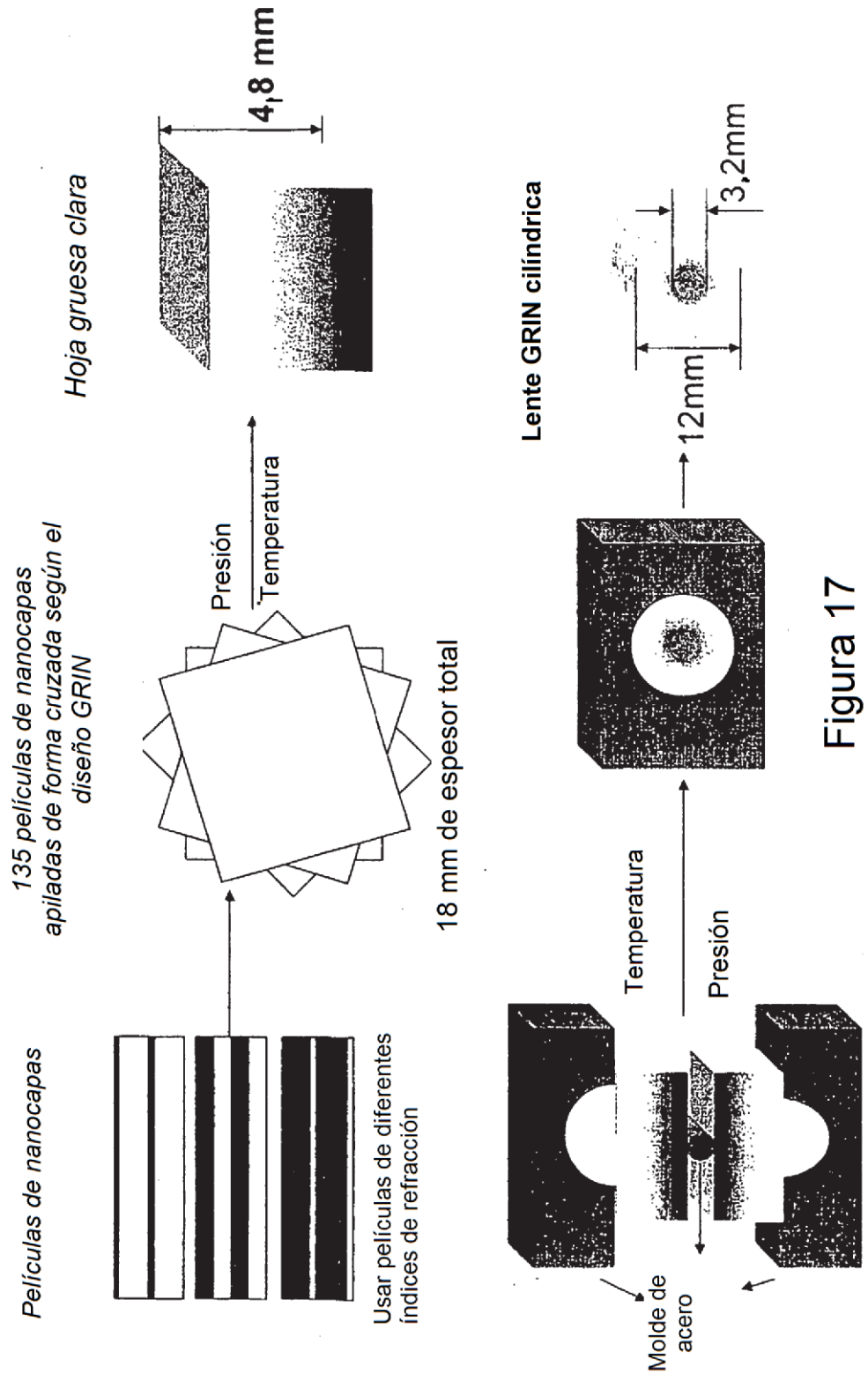
Películas de nanocapas
Usar películas de diferentes índices de refracción
135 películas de nanocapas apiladas de forma cruzada según el diseño GRIN
Presión
Temperatura
18 mm de espesor total
Hoja gruesa clara
4,8 mm
Lente GRIN cilíndrica
Molde de acero
Temperatura
Presión
12mm
3,2mm

Figura 17