



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 696 29 119 T2** 2004.04.15

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 850 201 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **696 29 119.3**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US96/14428**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **96 930 773.5**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 97/010183**

(86) PCT-Anmeldetag: **11.09.1996**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **20.03.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **01.07.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **16.07.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.04.2004**

(51) Int Cl.⁷: **C03C 3/06**

C03B 19/01, C03B 19/14

(30) Unionspriorität:

3608 P 12.09.1995 US

(73) Patentinhaber:

Corning Inc., Corning, N.Y., US

(74) Vertreter:

**PAe Reinhard, Skuhra, Weise & Partner GbR,
80801 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, NL

(72) Erfinder:

MAXON, E., John, Canton, US

(54) Bezeichnung: **TOPF ZUM HERSTELLEN VON SILIKAGLAS**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Diese Erfindung betrifft die Herstellung von Quarzglas und betrifft insbesondere Verfahren und Vorrichtungen zu Verbesserung der Homogenität eines solchen Glases, das heißt, zur Reduktion von Schwankungen im Brechungsindex des Glases.

Beschreibung der Technologie

[0002] **Fig. 1** zeigt einen Ofen **10** nach dem Stand der Technik zur Herstellung von Quarzglas. Als Überblick werden Silizium-enthaltende Gasmoleküle in einer Flamme zur Bildung von SiO_2 -Ruß bzw. -Soot-Teilchen umgesetzt. Diese Teilchen werden auf der heißen Oberfläche eines sich drehenden Körpers abgelagert, wobei sie sich zu einer stark viskosen Flüssigkeit konsolidieren bzw. verfestigen, die später zum (festen) Glas-Zustand abgekühlt wird. In der Technik sind Glasherstellungs-Verfahren dieses Typs als Dampfphasen-Hydrolyse/Oxidations-Verfahren oder einfach als Flammen-Hydrolyse-Verfahren bekannt. Der durch die abgelagerten Teilchen gebildete Körper wird oftmals als ein "Boule" bezeichnet, und diese Terminologie wird hierin verwendet, und es sollte klar sein, dass der Begriff jeden Siliziumdioxid-enthaltenden Körper einschließt, der durch ein Flammen-Hydrolyse-Verfahren gebildet wird.

[0003] Der Ofen **10** schließt eine Krone **12** mit vielfachen Ablagerungsbrennern **14**, eine Ringwand **16**, die die Krone stützt und eine drehbare Basis **18** ein, die am x-y-Oszillations-Tisch **20** befestigt ist. Die Krone, die Ringwand und die Basis sind jeweils aus feuerfesten Materialien hergestellt. Bevorzugte Muster für die Bewegung des x-y-Oszillations-Tisches **20**, die in der Ausübung der vorliegenden Erfindung verwendet werden können, sind in der auf übliche Weise übertragenen US-Patentanmeldung Nr. 60/003 596 mit dem Titel "Boule Oscillation Patterns for Producing Fused Silica Glass" beschrieben, die am 12. September **1995** auf den Namen John E. Maxon eingereicht wurde.

[0004] Feuerfeste Blöcke **20** sind so an der Basis **18** befestigt, dass sie das Sicherheitsbehälter-Gefäß **13** zu bilden. Die Blöcke bilden die Sicherheitsbehälter-Wand des Gefäßes, und der Anteil der Basis **18**, der von der Wand umgeben ist (der Boden des Gefäßes) ist mit hochreinem Bait-Sand **24** bedeckt, der die initialen Soot-Teilchen sammelt. Der Raum zwischen dem Oberteil des Gefäßes und der Krone (das heißt, das Plenum bzw. der Raum **26**) wird von einer Vielzahl von Öffnungen **28** belüftet, die am Oberteil der Ringwand **16** an deren Verbindung mit der Krone ausgebildet sind. Die Öffnungen sind an ein geeignetes Abgas-System durch ein Kanal-Netz angeschlossen, das im Plenum einen negativen Druck erzeugt. Der negative Druck lässt Luft aufwärts durch eine ringförmige Lücke **30** zwischen der Ringwand und dem Sicherheitsbehälter-Gefäß strömen. Ein Ofensystem, das Schwankungen der Luftströmung um das Sicherheitsbehälter-Gefäß herum kontrolliert und das in der Ausübung der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann, ist in der in üblicher Weise übertragenen US-Patentanmeldung Nr. 60/003 595 mit dem Titel "Furnace for Producing Fused Silica Glass" beschrieben, die am 12. September 1995 im Namen von Paul M. Schermerhorn eingereicht wurde.

[0005] Die feuerfesten Blöcke **22** können aus einem äußeren Aluminiumoxid-Basis-Block **22a** und einem inneren Einsatz **22b** zusammengesetzt sein, der beispielsweise aus Zirkoniumoxid oder Zirkon hergestellt ist. Weitere feuerfeste Materialien und Konstruktionen können natürlich verwendet werden, falls dies erwünscht ist. Um sicherzustellen, dass der Einsatz nicht in den Boule **19** fallen würde, wurden im Stand der Technik die Innenoberflächen der Basis-Blocks zu einem Winkel von ungefähr 10° (das heißt, ein Bereich von ungefähr 10° bis zu ungefähr 15°) bezüglich der Vertikale geschnitten, wie dies in **Fig. 1** dargestellt ist. Dieser 10° -Winkel entspricht einer Veränderungsrate der Höhe der Sicherheitsbehälter-Wand mit zunehmender Distanz vom Zentrum des Gefäßes von mehr als 5,5 (mehr als 3,5 für 15°), das heißt, für jeden Millimeter nach außen geht die Oberfläche der Sicherheitsbehälter-Wand um mehr als 5,5 mm nach oben (um mehr als 3,5 mm für 15°). Wie ebenfalls in **Fig. 1** dargestellt ist, war der Innenradius r_v des Bodens des Sicherheitsbehälter-Gefäßes im Stand der Technik dem Radius r_o des Äußersten der Ablagerungsbrenner **14** im Wesentlichen gleich.

[0006] Wie es kommerziell praktiziert wird, können Boules mit Durchmessern in der Größenordnung von 5 Fuß (1,5 Meter) und mit Dicken in der Größenordnung von 5 bis 8 Inch (13–20 cm) unter Verwendung des in **Fig. 1** dargestellten Ofentyps hergestellt werden. Vielfache Rohlinge bzw. Rohteile werden aus solchen Boules herausgeschnitten und zur Herstellung verschiedener Produkte verwendet, einschließlich optischer Elemente, wie beispielsweise Linsen (einschließlich Linsen für Mikrolithographie-Systeme), Prismen und dergleichen. Die Rohlinge werden im Allgemeinen in einer Richtung geschnitten, die zur Drehachse des Boules im Ofen **10** parallel liegt und die optische Achse eines Linsen-Elementes, die aus einem solchen Rohling hergestellt ist, wird im Allgemeinen zur Rotations-Achse des Boules parallel liegen. Zur vereinfachten Bezugnahme wird diese Richtung hierin als die "z-Richtung" oder die "z-Achse" bezeichnet werden.

[0007] Der Schwankungsumfang des Brechungsindex eines Rohlings, die toleriert werden kann, hängt vom Produkt ab, das aus diesem Rohling hergestellt werden soll. Die Homogenität eines Rohlings oder opti-

schen Elementes wird normalerweise unter Verwendung von interferometrischen Techniken bestimmt. Wenn große Teile hergestellt werden sollen, wird ein Interferometer mit großer Apertur bzw. Blende verwendet, beispielsweise ein Interferometer, das eine Apertur von 18 Inch (46 cm) aufweist.

[0008] **Fig. 2** zeigt einen 18 Inch (46 cm) Interferometer-Plot (Phasen-Plot) für einen Quarzglas-Boule, der gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wurde. Der Boule wurde unter Verwendung (1) eines Ofens des Types, der in **Fig. 1** dargestellt wurde, (2) eines Sicherheitsbehälter-Gefäßes, dessen Innenwände eine Neigung mit einem Winkel von 30° bezüglich der Vertikale aufwiesen und (3) unter Verwendung des Oszillations-Musters, das in der oben erwähnten Anmeldung mit dem Titel "Boule Oscillation Patterns for Producing Fused Silica Glass" als "Verfahren 1" bezeichnet wird, hergestellt.

[0009] Quantitativ wird die Homogenität der z-Richtung eines Rohlings als sein Δn -Wert ausgedrückt, der aus dem Interferometer-Plot unter Verwendung der folgenden Gleichung berechnet wird:

$$\Delta n = \lambda \cdot PV / t_b, \quad (1)$$

wobei λ die Wellenlänge des Lichtes ist, das durch das Interferometer verwendet wird, wobei PV die Differenz zwischen dem höchsten Peak und dem tiefsten Tal des Phasen-Plots ist und t_b die Dicke des Rohlings ist. Die Homogenität eines Rohlings kann ebenfalls auf anderen Wegen ausgedrückt werden, wie beispielsweise bezüglich der mittleren quadratischen Abweichung (Boot-Mean-Square = RMS) des Phasenplots, die ein Maß der Schwankungen in n zwischen unterschiedlichen Punkten des Rohlings bereitstellt. Siehe beispielsweise die japanische Patent-Anmeldung, Offenlegungs-Nr. 6-308717, veröffentlicht am 4. November 1994.

[0010] Eine Anwendung für Quarzglas-Rohlinge, die sehr niedrige Werte von Δn erfordert (beispielsweise Δn -Werte von weniger als oder gleich $1,0 \times 10^{-6}$ und vorzugsweise weniger als oder gleich $0,5 \times 10^{-6}$ für Rohlinge mit einem Durchmesser von 125 mm und größer) liegt in der Herstellung optischer Elemente für Mikrolithographie-Systeme.

[0011] Mikrolithographie-Systeme werden dazu verwendet, integrierte Schaltkreise zu erzeugen und schließen im Allgemeinen eine Laser-Lichtquelle im tiefen UV-Bereich, ein Beleuchtungslinsensystem und ein Projektions-(Bildgebungs)-Linsensystem ein. Siehe beispielsweise Pfau et al., "Quartz inhomogeneity effects in diffraction-limited deep ultraviolet imaging" Applied Optics, Band 31, Nr. 31, Seiten 6658–6661 (1. November 1992). Das Belichtungs- bzw. Illuminations-Linsensystem erweitert den Laserstrahl und homogenisiert dessen Intensität. Das Projektions-Linsensystem projiziert ein Bild einer Maske mit sehr hoher Auflösung auf einen Resist-bedeckten IC-Wafer.

[0012] Diffraktionswirkungen begrenzen die Bandbreite, die auf dem IC-Wafer erzeugt wird und beschränken somit die Dichte an Schaltkreisen, die auf den Wafer aufgeschrieben werden können. Insbesondere ist die Auflösung (R) auf dem Wafer durch Folgendes angegeben:

$$R = K \cdot \lambda_L / NA, \quad (2)$$

wobei K eine Konstante ist, deren Wert vom speziellen System und verwendeten Verfahren abhängt, λ_L die Betriebswellenlänge der Laser-Lichtquelle ist und NA die numerische Apertur des Projektions-Linsensystems ist.

[0013] Die Reduktion der Wellenlänge des Laserlichtes verbessert somit die Auflösung und erlaubt engere Linien auf den Laser zu schreiben. Dem gemäß sind in den letzten Jahren Laser mit kürzeren Wellenlängen in Mikrolithographie-Systemen zur Anwendung gekommen, beispielsweise Laser mit einer Wellenlänge von 400 nm oder weniger. Beispiele für solche Laser schließen KrF- und ArF-Excimer-Laser ein, die jeweils bei 248 nm und 193 nm arbeiten.

[0014] Bei diesen kurzen (UV) Wellenlängen können optische Standardgläser wegen ihrer hohen Absorption nicht für die optischen Elemente des Systems verwendet werden. Quarzglas ist andererseits im UV-Bereich transparent und wurde somit für diese Anwendung zum Material der Wahl.

[0015] Weil das Ziel eines Mikrolithographie-Systems darin besteht, ein Bild mit einer Auflösung im Submikron-Bereich zu erzeugen, müssen die in einem solchen System verwendeten Linsenelemente und somit die Linsen-Rohlinge, die zur Herstellung der Linsenelemente verwendet werden, die höchste Qualität aufweisen. Unter anderen Eigenschaften müssen solche Linsen-Rohlinge hohe interne Transmissionswerte aufweisen, beispielsweise oberhalb ungefähr $99,8\% \pm 0,1\%$ pro Zentimeter, niedrige Einschlussgrade, eine geringe Doppelbrechung und eine geringe Fluoreszenz und eine hohe Beständigkeit gegenüber einer Laserschädigung bei UV-Wellenlängen.

[0016] Von entscheidender Bedeutung ist der Δn -Wert des Rohlings, weil unkontrollierte Schwankungen in n sich selbst als nicht kommierbare Aberrationen im Bild manifestieren, das auf dem IC-Wafer erzeugt wird. Überdies sind große NA-Werte aus Gleichung (2) oben erforderlich, um eine hohe Auflösung zu erreichen. Große NA-Werte bedeuten wiederum große Linsenelemente. Dem gemäß muss nicht nur Δn klein sein, es muss für große Rohling-Größen klein sein.

[0017] Es wurden verschiedene Bemühungen unternommen, um diese Kombination eines geringen Δn -Wertes und einer großen Rohling-Größe zu erreichen. Siehe beispielsweise Yamagata et al., US-Patent Nr. 5 086 352, PCT Veröffentlichungs-Nr. WO 93/00307, veröffentlicht am 7. Januar 1993, die japanische Patentanmeldung Offenlegungsnr. 5-97452, veröffentlicht am 20. April 1993, die japanische Patentanmeldung, Offenlegungsnr. 5-116969, veröffentlicht am 14. Mai 1993, die japanische Patentanmeldung, Offenlegungsnr. 6-166527, veröffentlicht am 14. Juli 1994, die japanische Patentanmeldung, Offenlegungsnr. 6-234530, veröffentlicht am 23. August 1994 und die japanische Patentanmeldung, Offenlegungsnr. 6-234531, veröffentlicht am 23. August 1994. Trotz dieser Bemühungen existiert nach wie vor ein Bedarf nach Verbesserungen auf diesem Gebiet. Die vorliegende Erfindung befasst sich mit diesem Bedarf.

Zusammenfassung der Erfindung

[0018] Im Hinblick auf das Vorhergehende ist es eine Aufgabe dieser Erfindung, verbessern Verfahren und Vorrichtungen zur Herstellung von Siliciumdioxid-enthaltenden Boules durch das Flammen-Hydrolyse-Verfahren bereitzustellen. Es ist insbesondere eine Aufgabe der Erfindung, die Homogenität solcher Boules zu verbessern und somit die Homogenität von Rohlingen und optischen Elementen, die daraus hergestellt sind, zu verbessern. Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, Rohlinge und optische Elemente bereitzustellen, die sowohl eine hohe Homogenität als auch eine große Dimension aufweisen.

[0019] Gemäß dieser Erfindung wurde entdeckt, dass die Homogenität eines Boules und somit die Homogenität von Rohlingen und optischen Elementen, die hieraus hergestellt sind, dadurch signifikant verbessert werden kann, dass ein Boule während seiner Bildung einer ausreichenden radialen Strömung unterzogen wird, so dass zumindest eine gewisse Vermischung unterschiedlicher Anteile des Boules erreicht werden kann, die unterschiedliche Ablagerungsbedingungen während der Bildung des Boules erfahren haben kann, beispielsweise unterschiedliche Mengen an SiO_2 -Ablagerung, unterschiedliche Ablagerungstemperaturen, unterschiedliche Luftströmungen im Plenum etc.

[0020] Die erforderliche radiale Strömung wird durch eines oder durch eine Kombination des Folgenden erreicht:

- (1) Aufrechterhalten einer ausreichend hohen Boule-Temperatur während des Boule-Bildungsverfahrens, so dass der Boule radial unter seinem eigenen Gewicht mit einer minimalen Kopfhöhe strömen wird, insbesondere mit einer Kopfhöhe, die weniger als oder gleich ungefähr 5,0 mm beträgt und vorzugsweise weniger als oder gleich ungefähr 0,125 Inch (3,2 mm) Glas beträgt;
- (2) Ausbilden des Boules in einem Sicherheitsbehälter-Gefäß, dessen Innenradius r_v im Wesentlichen bzw. wesentlich größer als der Radius r_b der Äußersten der Ablagerungsbrenner ist, die zur Bildung des Boules verwendet werden, beispielsweise ist das Verhältnis von r_v zu r_b zumindest ungefähr 1,1; und/oder
- (3) Ausbilden des Boules in einem Sicherheitsbehälter-Gefäß mit einer Sicherheitsbehälterinnenwand oder -wänden, deren vertikale Höhe h mit zunehmender Distanz d vom Zentrum des Gefäßes in einer Rate von $\Delta h/\Delta d$ zunimmt, die weniger als oder gleich ungefähr 3 ist.

[0021] Vorzugsweise werden alle drei Ansätze zur Erzielung einer radialen Strömung in Kombination verwendet.

[0022] Mittels der Erfindung können Rohlinge und optische Elemente erzeugt werden, die Homogenitäts-Werte (Δn -Werte) von weniger als oder gleich $1,0 \times 10^{-6}$, vorzugsweise weniger als oder gleich $0,5 \times 10^{-6}$ und am meisten bevorzugt weniger als oder gleich $0,25 \times 10^{-6}$ für Rohling-(Element)-Größen (beispielsweise Durchmesser für zylindrische Rohlinge) größer als oder gleich 125 mm, vorzugsweise größer als oder gleich 150 mm, und am meisten bevorzugt größer als oder gleich 200 mm aufweisen. Abhängig von den Fähigkeiten des verwendeten Testgerätes kann die Erfüllung des Δn -Kriteriums durch Testen des Rohlings oder Elementes als Ganzes oder durch Testen von repräsentativen Schnitten hiervon bestimmt werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0023] **Fig. 1** ist ein schematisches Diagramm eines Ofens des Stands der Technik, der zur Herstellung von Quarzglas-Boules unter Verwendung eines Flammen-Hydrolyse-Verfahrens verwendet wird.

[0024] **Fig. 2** zeigt einen 18 Inch (46 cm) Interferometer-Phasenplot für einen Schnitt aus einem Quarzglas-Boule, der gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wurde. Der Phasenplot wird entlang der z-Achse des Boules vorgenommen.

[0025] **Fig. 3** ist ein schematisches Diagramm eines Sicherheitsbehälter-Gefäßes nach dem Stand der Technik zur Herstellung von Quarzglas-Boules.

[0026] **Fig. 4** ist ein schematisches Diagramm eines Sicherheitsbehälter-Gefäßes zur Herstellung von Quarzglas-Boules, die gemäß der Erfindung konstruiert wurden.

[0027] **Fig. 5** ist ein schematisches Diagramm des Sicherheitsbehälter-Gefäßes, das zur Durchführung der

Tests des Vergleichsbeispiels verwendet wurde.

[0028] **Fig. 6** zeigt einen 8,5 Inch (21,5 cm) Interferometer-Phasenplot für einen Quarzglas-Rohling, der gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt wurde. Der Phasen-Plot wird entlang der z-Achse des Rohlings vorgenommen und veranschaulicht die Erzielung eines Δn -Werts von weniger als $0,25 \times 10^{-6}$ für eine Rohling-Größe von mehr als 200 mm. Dieser Plot ist eher bezüglich Randzonen als bezüglich Wellen dargestellt, wobei zwei Randzonen für jede Welle vorliegen.

[0029] Die Plots von **Fig. 2** und **6** repräsentieren die Rohphasen-Plotdaten minus der PST und TLT-Bestandteile (Zygo terminology; Zygo Corporation, Middlefield, CT).

[0030] Die vorhergehenden Zeichnungen, die in die Beschreibung mit aufgenommen sind und einen Teil dieser Beschreibung bilden, veranschaulichen die bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung und dienen zusammen mit der Beschreibung dazu, die Prinzipien der Erfindung zu erklären. Es ist natürlich zu verstehen, dass sowohl die Zeichnungen als auch die Beschreibung lediglich beispielhaft sind und die Erfindung nicht einschränken sollen. Die Zeichnungen der **Fig. 1** und **3** bis **5** zeigen keine maßstabsgetreuen oder relativen Verhältnisse der darin dargestellten Elemente. Die gleichen Bezugszeichen bezeichnen gleiche oder entsprechende Teile in den verschiedenen Figuren.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0031] Wie oben erörtert, betrifft die vorliegende Erfindung Verfahren und Vorrichtungen zur Verbesserung der Homogenität von Siliziumdioxid-enthaltenden Körpern, die durch Dampfablagerungs-Techniken hergestellt wurden. Der Siliziumdioxid-enthaltende Körper kann im Wesentlichen reines Quarzglas sein oder kann falls erwünscht ein oder mehrere Dotierungsmittel enthalten, beispielsweise kann der Körper ein Titan-Dotierungsmittel enthalten, das den Wärmeausdehnungs-Koeffizienten des Glases absenkt. Niedrige Konzentrationen von verunreinigenden Stoffen bzw. Kontaminanten können ebenfalls im Körper vorliegen.

[0032] Bezüglich der Figuren, in denen gleiche Bezugszeichen gleiche oder entsprechende Teile in den verschiedenen Ansichten bezeichnen, zeigt **Fig. 4** ein Sicherheitsbehälter-Gefäß **13**, das gemäß der Erfindung konstruiert wurde. Das Gefäß weist eine Sicherheitsbehälter-Wand **22** auf, deren vertikale Höhe h mit zunehmender Distanz d vom Zentrum des Gefäßes in einer Rate von $\Delta h/\Delta d$ zunimmt, die weniger als oder gleich ungefähr 3 ist. Wie in **Fig. 4** dargestellt, ist die Sicherheitsbehälter-Wand **22** insbesondere in einem Winkel von 30° bezüglich der Vertikale ausgerichtet, so dass ihr $\Delta h/\Delta d$ -Verhältnis ungefähr 1,7 beträgt, das heißt, ihr $\Delta h/\Delta d$ -Verhältnis ist weniger als ungefähr 2, wie es bevorzugt wird.

[0033] Die Innenoberfläche der Sicherheitsbehälter-Wand **22** ist typischerweise flach, wie in **Fig. 4** dargestellt ist, obwohl andere Konfigurationen, beispielsweise eine konkave, becherartige Konfiguration, falls erwünscht verwendet werden kann, vorausgesetzt, dass ein beträchtlicher Anteil der Glas-kontaktierenden Oberfläche der Wand das Erfordernis erfüllt, dass $\Delta h/\Delta d$ weniger als ungefähr 3 ist.

[0034] Obwohl man nicht an eine besondere Betriebstheorie gebunden sein will wird angenommen, dass die Verwendung einer Sicherheitsbehälter-Wand mit einem $\Delta h/\Delta d$ -Verhältnis von weniger ungefähr 3 die Kompensation von Aufroll-Effekten unterstützen kann, die an der Kante des Boules auftreten können, das heißt, Effekte, bei denen Glas, das ungefähr zur selben Zeit im Boule-Bildungsverfahren abgelagert wurde, dazu neigt, nahe der Kante des Boules eine größere Höhe als im Zentrum aufzuweisen, wobei Unterschiede in der Höhe größer werden, wenn die Dicke des Boules zunimmt. Es wird angenommen, dass dieses Phänomen eine gesenkte Homogenität des Brechungsindex des Glases zur Folge hat, wenn dieser in der z-Richtung gemessen wird.

[0035] Es wird angenommen, dass die sanfte nach auswärts gerichtete Neigung der Sicherheitsbehälter-Gefäße der Erfindung dabei hilft, diesen Effekt zu kompensieren, ebenso wie er Raum für eine größere radiale Strömung und für das Mischen bereitstellt, wenn die Dicke des Boules zunimmt, und es wird ebenfalls angenommen, dass dies bei der Reduzierung der Wirkungen des Aufrollens auf die Homogenität von Vorteil ist.

[0036] Zusätzlich zu den sanft abgeschrägten bzw. geneigten Wänden weist das Sicherheitsbehälter-Gefäß von **Fig. 4** ebenfalls einen Boden-Radius r_v auf, der im Wesentlichen größer als der Radius r_b des Äußersten der Brenner **14** ist, die von der Krone **12** getragen werden. Die Brenner **14** sind um die Krone herum verteilt, um eine gleichförmige Abdeckung der Boule-Oberfläche zu erzeugen. Die Brenner können beispielsweise radiale Distanzen vom Zentrum der Krone aufweisen, die durch die folgende Gleichung gegeben sind:

$$r_n = (nA_b/\pi),$$

wobei n die Brenneranzahl ist, r_n die radiale Anordnung des n -ten Brenners ist und A_b die Fläche des Boules ist, die von einem individuellen Brenner bedeckt wird. Ein geeigneter Wert für A_b ist 80 Inch^2 (516 cm^2).

[0037] Erfindungsgemäß ist r_v zumindest ungefähr 10% größer als der Maximalwert von r_n , das heißt, r_v ist zumindest ungefähr 10% größer als r_b , so dass der Boule einem Mischen unterworfen werden kann, wenn er als Folge einer radialen Strömung gebildet wird. Vorzugsweise ist r_v zumindest ungefähr 135 mm größer als r_b ,

so dass ein adäquater Raum für eine solche Strömung bereitgestellt wird. Für einen r_b -Wert von ungefähr 750 mm entspricht dies einem r_v - zu r_b -Verhältnis von ungefähr 1,2.

[0038] Sicherheitsbehälter-Gefäße nach dem Stand der Technik wiesen r_v -Werte auf, die in einigen Fällen geringfügig größer als r_b waren, jedoch nicht um zumindest 10% und nicht ausreichend, um eine verbesserte Homogenität durch eine radiale Strömung zu erzeugen. In der Tat haben im Stand der Technik Boules in vielen Fällen die Oberseite der Blocks **22** als Folge eines r_v überzogen, der im Wesentlichen gleich r_b war. Gemäß der Erfindung wird das Sicherheitsbehälter-Gefäß groß genug gemacht, so dass ein solches Überziehen nicht auftritt.

[0039] Zusätzlich zur Erzeugung von Soot-Partikeln dienen die Brenner **14** ebenfalls dazu, den Boule **19** während seiner Bildung zu erhitzen. Erfindungsgemäß wird die Temperatur des Boules ausreichend hoch gehalten, so dass der Boule unter seinem eigenen Gewicht radial mit einer minimalen Kopfhöhe fließen bzw. strömen wird. Die Temperatur ist hoch genug, so dass der Boule mit einer Kopfhöhe strömen wird, die nur ungefähr 0,125 Inch (3,2 mm) Glas oder weniger beträgt. Abhängig davon, wie der Boule hergestellt wird, beispielsweise die Geschwindigkeit bei der er gedreht wird, können Zentrifugalkräfte ebenfalls eine Rolle bei der radialen Strömung spielen.

[0040] Mittels der Erfindung werden signifikante Verbesserungen der Homogenität erreicht. Beispielsweise wurden Boules mit einem Durchmesser von bis zu 1,53 Metern hergestellt und zur Herstellung von Rohlingen mit Durchmessern bis zu 360 mm und Δn -Werten von weniger als $0,5 \times 10^{-6}$ verwendet. Solche Rohlinge können dazu verwendet werden, unter Verwendung von beispielsweise KrF-Lasern optische Elemente für Mikrolithographie-Systeme zu erzeugen.

[0041] Weiterhin, wie durch das "Ultrahoch-Homogenitäts-Beispiel", unten präsentiert, illustriert wird, hat die Erfindung ebenfalls Boules mit einem Durchmesser bis zu 1,53 Metern produziert, aus denen Rohlinge mit Durchmessern bis zu 203 mm (8 Inch) und einem Δn -Wert von weniger als $0,25 \times 10^{-6}$ erzeugt wurden.

[0042] Ohne sie in irgendeiner Weise einschränken zu wollen, wird die vorliegende Erfindung ausführlicher durch die nachfolgenden Beispiele beschrieben.

Vergleichsbeispiel

[0043] In diesem Experiment wurde ein Boule aus Quarzglas unter Verwendung eines Sicherheitsbehälter-Gefäßes gebildet, das speziell zum Testen der Wirkung auf die Homogenität der Orientierung bzw. Ausrichtung der Sicherheitsbehälter-Wand des Gefäßes bezüglich der Vertikale konstruiert wurde.

[0044] Die Struktur des Testgefäßes ist in **Fig. 5** dargestellt. Es ist darin ersichtlich, dass der Boden-Innenradius des Gefäßes konstant gehalten wurde (speziell bei 29 Inch (73,7 cm)), jedoch verwendete die Hälfte der Sicherheitsbehälter-Wand des Gefäßes den 10° -Winkel des Stands des Technik und die andere Hälfte verwendete einen 30° -Winkel gemäß der Erfindung.

[0045] Das Testgefäß wurde verwendet, um einen Boule mit 52 Inch (132 cm) Durchmesser unter normalen Betriebsbedingungen zu erzeugen. Nach dem Annealing bzw. Glühen bzw. Abkühlen und Vermahlen wurden sieben Proben aus unterschiedlichen Teilen des Boules entnommen und auf einem 18 Inch (46 cm) Interferometer getestet. Es wurden Bezugsmarkierungen verwendet, um spezielle Beispiele mit den zwei Hälften des Boules in Verbindung zu bringen.

[0046] Die Ergebnisse dieses Experiments sind in Tabelle 1 dargestellt. Wie darin gezeigt, wies die Boule-Hälfte, die mit dem größeren Wandwinkel hergestellt wurde, eine wesentlich bessere Index-Homogenität als die Hälfte auf, die unter Verwendung des Winkels nach dem Stand der Technik hergestellt wurde. Zusätzlich hat sich herausgestellt, dass die Wellenfront ein geringeres Banding zeigte, was bessere RMS-Werte zur Folge hat. Die Tabelle zeigt ebenfalls, dass der Durchmesser der Rohlinge, die aus dem Boule extrahiert werden können, sowohl auf den $0,5 \times 10^{-6}$ als auch $1,0 \times 10^{-6}$ Index-Homogenitäts-Ebenen auf der 30° -Seite des Boules signifikant größer war.

[0047] Weil alle anderen Variablen, die die Index-Homogenität beeinflussen konstant waren, zeigen diese Daten klar, dass die $\Delta h/\Delta d$ -Werte der beiden Hälften der Gefäßwand für die Unterschiede der Index-Homogenität verantwortlich waren.

Ultrahochhomogenitäts-Beispiel

[0048] Dieses Beispiel veranschaulicht die Herstellung eines Quarzglas-Boules, aus dem Rohlinge mit einem Δn -Wert von weniger als $0,25 \times 10^{-6}$ für eine Rohling-Größe von mehr als 200 mm hergestellt werden können.

[0049] Der Boule wies einen Durchmesser von ungefähr 5 Fuß (1,5 Meter) auf und wurde unter Verwendung eines Ofens des Typs, der in **Fig. 1** dargestellt ist, eines Sicherheitsbehälter-Gefäßes, dessen Innenwände in einem Winkel von 30° bezüglich der Vertikale abgeschrägt waren und der oben beschriebenen Verarbeitungsbedingungen hergestellt. Das Oszillationsmuster für den x-y-Oszillations-Tisch 20, der zur Herstellung dieses Boules verwendet wurde, war durch Folgendes gegeben:

$$x(t) = r_1 \sin 2\pi \omega_1 t + r_2 \sin 2\pi \omega_2 t$$

$$y(t) = r_1 \cos 2\pi \omega_1 t + r_2 \cos 2\pi \omega_2 t$$

$$r_1 = 1,2 \text{ Inch (30,5 mm)}$$

$$r_2 = 2,3 \text{ Inch (58,4 mm)}$$

$$\omega_1 = 5,34 \text{ upm}$$

$$\omega_2 = 5,876 \text{ upm}$$

wobei $x(t)$ und $y(t)$ die Koordinaten des Zentrums des Boules als eine Funktion der Zeit (t) repräsentieren und die Zeit in Minuten gemessen wird. Dieses x-y-Oszillations-Muster wurde in Kombination mit einer Gesamt-Boule-Drehgeschwindigkeit (ω_3) von 4,98 upm verwendet. Dieses Muster neigt dazu, einen relativ hohen Level von Streifen bzw. Schlieren zur Achse zu erzeugen, wie es durch die Verfahren der US-Patentanmeldung Nr. 60/003 607 mit dem Titel "Methods for Detecting Striae" gemessen wurde, das in üblicher Weise übertragen wurde, und das am 12. September 1995 auf den Namen David R. Fladd und Stephen J. Rieks eingereicht wurde. Für viele Anwendungen beeinträchtigt das Vorhandensein von Schlieren zur Achse die Leistung von optischen Elementen, die aus Quarzglas zusammengesetzt sind, nicht. Ebenfalls kann das Niveau der Schlieren zur Achse unter Verwendung des Ofen-Systems reduziert werden, das in der oben erwähnten Anmeldung mit dem Titel "Furnace for Producing Fused Silica Glass" beschrieben ist.

[0050] **Fig. 6** zeigt ein 8,5 Inch (21,5 cm) Interferometer-Phasenplot für einen Rohling, der aus diesem Boule gewonnen wurde. Der Rohling wies einen Δn -Wert von weniger als $0,25 \times 10^{-6}$ für eine Rohling-Größe von mehr als 200 mm auf.

[0051] Obwohl bevorzugte und andere Ausführungsformen der Erfindung hierin beschrieben wurden, können zusätzliche Ausführungsformen vom Fachmann auf dem Gebiet wahrgenommen werden, ohne vom Umfang der Erfindung, wie er in den nachfolgenden Ansprüchen definiert ist, abzuweichen.

Tabelle 1

	Durchschnittliche Homogenität 18 Inch (46 cm Apertur)	Größe $0,5 \times 10^{-6}$ Apertur	Größe $1,0 \times 10^{-6}$ Apertur
10°-Wand	$6,6 \times 10^{-6}$	8,9 Inch (22,6 cm)	12,0 Inch (30,5 cm)
30°-Wand	$3,0 \times 10^{-6}$	10,8 Inch (27,4 cm)	15,8 Inch (40,1 cm)

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bildung eines Siliziumdioxid-enthaltenden Körpers mit einem Zentrum, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

- (a) Bereitstellen von Rußteilchen;
- (b) Sammeln der Rußteilchen, um den Körper zu bilden; und
- (c) Bewirken, dass der Körper bei seiner Bildung eine Vermischung durchläuft, als ein Ergebnis einer Strömung in einer radialen Richtung relativ zu dem Zentrum, so dass ein aus dem Körper gebildetes Rohteil eine Homogenität aufweist, welche für eine Rohteilgröße größer oder gleich 125 mm geringer oder gleich $1,0 \times 10^{-6}$ beträgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Körper eine ausreichende Vermischung durchläuft, so dass ein aus dem Körper gebildetes Rohteil eine Homogenität aufweist, welche für eine Rohteilgröße größer oder gleich

150 mm kleiner oder gleich $1,0 \times 10^{-6}$ beträgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Körper eine ausreichende Vermischung durchläuft, so dass ein aus dem Körper gebildetes Rohteil eine Homogenität aufweist, welche für eine Rohteilgröße größer oder gleich 200 mm kleiner oder gleich $1,0 \times 10^{-6}$ beträgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Körper eine ausreichende Vermischung durchläuft, so dass ein aus dem Körper gebildetes Rohteil eine Homogenität aufweist, welche für eine Rohteilgröße größer oder gleich 125 mm kleiner oder gleich $1,0 \times 10^{-6}$ beträgt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Körper eine ausreichende Vermischung durchläuft, so dass ein aus dem Körper gebildetes Rohteil eine Homogenität aufweist, welche für eine Rohteilgröße größer oder gleich 150 mm kleiner oder gleich $1,0 \times 10^{-6}$ beträgt.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Körper eine ausreichende Vermischung durchläuft, so dass ein aus dem Körper gebildetes Rohteil eine Homogenität aufweist, welche für eine Rohteilgröße größer oder gleich 200 mm kleiner oder gleich $1,0 \times 10^{-6}$ beträgt.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Körper eine ausreichende Vermischung durchläuft, so dass ein aus dem Körper gebildetes Rohteil eine Homogenität aufweist, welche für eine Rohteilgröße größer oder gleich 125 mm kleiner oder gleich $0,25 \times 10^{-6}$ beträgt.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Körper eine ausreichende Vermischung durchläuft, so dass ein aus dem Körper gebildetes Rohteil eine Homogenität aufweist, welche für eine Rohteilgröße größer oder gleich 150 mm kleiner oder gleich $0,25 \times 10^{-6}$ beträgt.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Körper eine ausreichende Vermischung durchläuft, so dass ein aus dem Körper gebildetes Rohteil eine Homogenität aufweist, welche für eine Rohteilgröße größer oder gleich 200 mm kleiner oder gleich $0,25 \times 10^{-6}$ beträgt.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Schritt (c) beinhaltet, dass der Körper bei einer Temperatur gehalten wird, die ausreichend hoch ist, so dass der Körper radial unter seinem eigenen Gewicht bei einer Kopfhöhe kleiner oder gleich ungefähr 5,0 mm aus Glas strömt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Temperatur ausreichend hoch ist, so dass der Körper radial unter seinem eigenen Gewicht bei einer Kopfhöhe kleiner oder gleich ungefähr 3,2 mm aus Glas strömt.

12. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Rußteilchen in einem Behältergefäß gesammelt werden, welches ein Zentrum aufweist, und welches mindestens eine Behälterwand aufweist, welche mit dem Körper bei der Bildung des Körpers in Kontakt ist, wobei die vertikale Höhe der Wand mit zunehmendem Abstand vom Zentrum des Gefäßes mit einem Verhältnis zunimmt, welches kleiner oder gleich ungefähr 3 beträgt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das Verhältnis kleiner oder gleich ungefähr 2 ist.

14. Verfahren nach Anspruch 1, wobei:
die Rußteilchen mit einer Vielzahl von Brennern bereitgestellt werden, wobei die Vielzahl von Brennern ein Zentrum aufweist, und der äußerste der Brenner sich bei einem Radius r_b von dem Zentrum befindet;
die Rußteilchen in einem Behältergefäß gesammelt werden, welches einen Boden und mindestens eine Behälterwand aufweist, wobei der Abstand zwischen dem innersten Punkt der Behälterwand und dem Zentrum des Bodens r_v ist; und
das Verhältnis von r_v zu r_b mindestens ungefähr 1,1 beträgt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei die Differenz zwischen r_v und r_b größer oder gleich ungefähr 135 mm beträgt.

16. Verfahren nach Anspruch 14, wobei:
die mindestens eine Behälterwand mit dem Körper bei der Bildung des Körpers in Kontakt ist, und
die vertikale Höhe der Wand mit zunehmenden Abstand vom Zentrum des Bodens mit einem Verhältnis zunimmt, welches kleiner oder gleich ungefähr 3 beträgt.

17. Verfahren nach Anspruch 14, wobei Schritt (c) beinhaltet, den Körper bei einer Temperatur zu halten, welche ausreichend hoch ist, so dass der Körper radial unter seinem eigenen Gewicht bei einer Kopfhöhe kleiner oder gleich ungefähr 5,0 mm aus Glas strömt.

18. Verfahren nach Anspruch 16, wobei Schritt (c) das Halten des Körpers bei einer Temperatur beinhaltet, welche ausreichend hoch ist, so dass der Körper radial unter seinem eigenen Gewicht bei einer Kopfhöhe kleiner oder gleich ungefähr 5,0 mm aus Glas strömt.

19. Rohteil, hergestellt aus einem Siliziumdioxid-enthaltenden Körper, hergestellt durch das Verfahren von Anspruch 1, wobei das Rohteil eine Homogenität aufweist, welche kleiner als oder gleich $0,25 \times 10^{-6}$ bei einer Rohteilgröße größer oder gleich 125 mm beträgt.

20. Rohteil nach Anspruch 19, wobei das Rohteil ein Dotierungsmittel enthält.

21. Optisches Element, hergestellt aus dem Rohteil von Anspruch 19.

22. Behältergefäß zur Verwendung bei der Bildung eines Siliziumdioxid-enthaltenden Körpers, wobei das Gefäß einen Boden aufweist, welcher mit Aufnahmesand bedeckt ist, sowie mindestens eine Behälterwand, welche mit dem Körper in Kontakt ist, während der Körper gebildet wird, wobei die vertikale Höhe der Wand mit zunehmenden Abstand vom Zentrum des Gefäßes mit einem Verhältnis zunimmt, welches kleiner oder gleich ungefähr 3 beträgt.

23. Behältergefäß nach Anspruch 22, wobei das Verhältnis kleiner oder gleich ungefähr 2 beträgt.

24. Ofen zur Bildung eines Siliziumdioxid-enthaltenden Körpers, mit:

(a) einer Vielzahl von Brennern zur Erzeugung von Rußteilchen, wobei die Vielzahl von Brennern ein Zentrum aufweist, und der äußerste der Brenner sich bei einem Radius r_b von dem Zentrum befindet; und

(b) ein Behältergefäß zum Sammeln der Rußteilchen zur Bildung des Körpers, wobei das Gefäß einen Boden und mindestens eine Behälterwand aufweist, wobei der Boden ein Zentrum aufweist und mit Aufnahmesand bedeckt ist, wobei der Abstand zwischen dem Bodenzentrum und dem innersten Punkt der Gefäßwand r_v ist; wobei r_v um einen Anteil größer als r_b ist, der dem Körper ein Vermischen erlaubt, während dieser als ein Ergebnis der radialen Strömung gebildet wird, wobei das Verhältnis von r_v zu r_b mindestens ungefähr 1,1 beträgt.

25. Ofen nach Anspruch 24, wobei die Differenz zwischen r_v und r_b größer oder gleich ungefähr 135 mm beträgt.

26. Ofen nach Anspruch 24, wobei:

die mindestens eine Behälterwand während der Bildung des Körpers mit dem Körper in Kontakt ist, und die vertikale Höhe der Wand mit zunehmendem Abstand von dem Bodenzentrum mit einem Verhältnis zunimmt, welches kleiner oder gleich ungefähr 3 beträgt.

27. Quarzglas-Rohteil, welches eine Homogenität aufweist, die kleiner oder gleich $0,25 \times 10^{-6}$ für eine Rohteilgröße größer oder gleich 125 mm beträgt.

28. Quarzglas-Rohteil nach Anspruch 27, wobei die Rohteilgröße größer oder gleich 150 mm beträgt.

29. Quarzglas-Rohteil nach Anspruch 27, wobei die Rohteilgröße größer oder gleich 200 mm beträgt.

30. Optisches Element, hergestellt aus dem Rohteil nach Anspruch 27.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

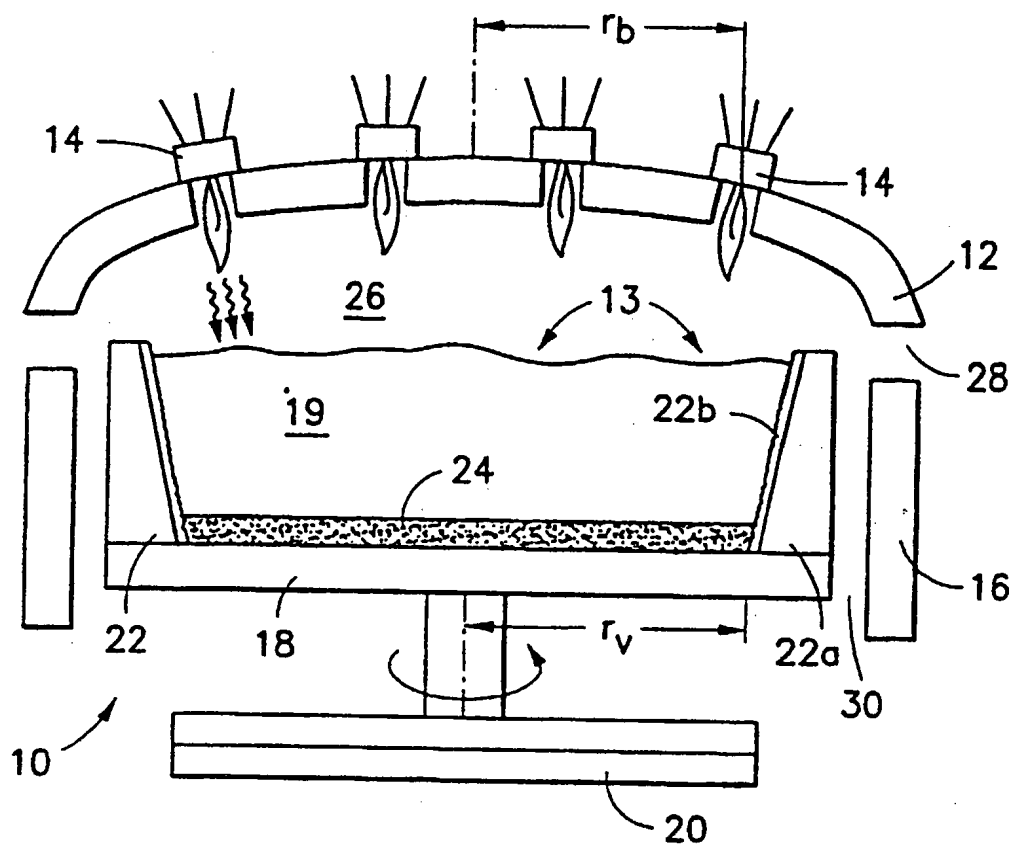


FIG. 1
STAND DER TECHNIK

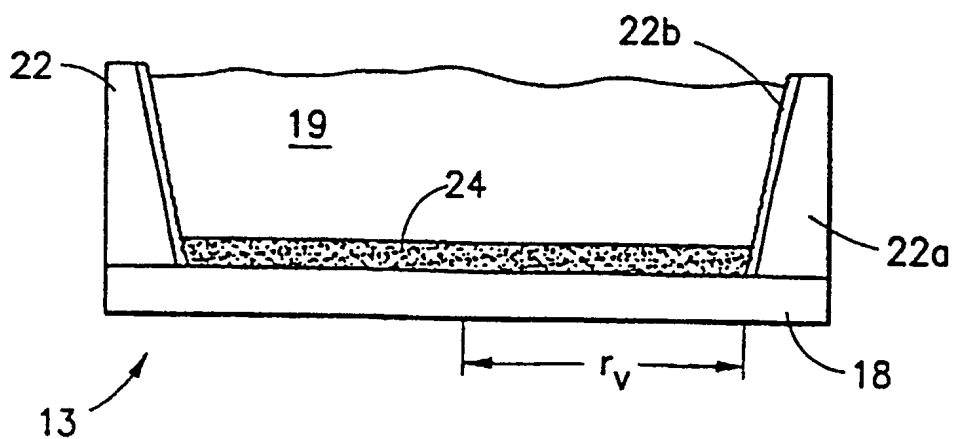
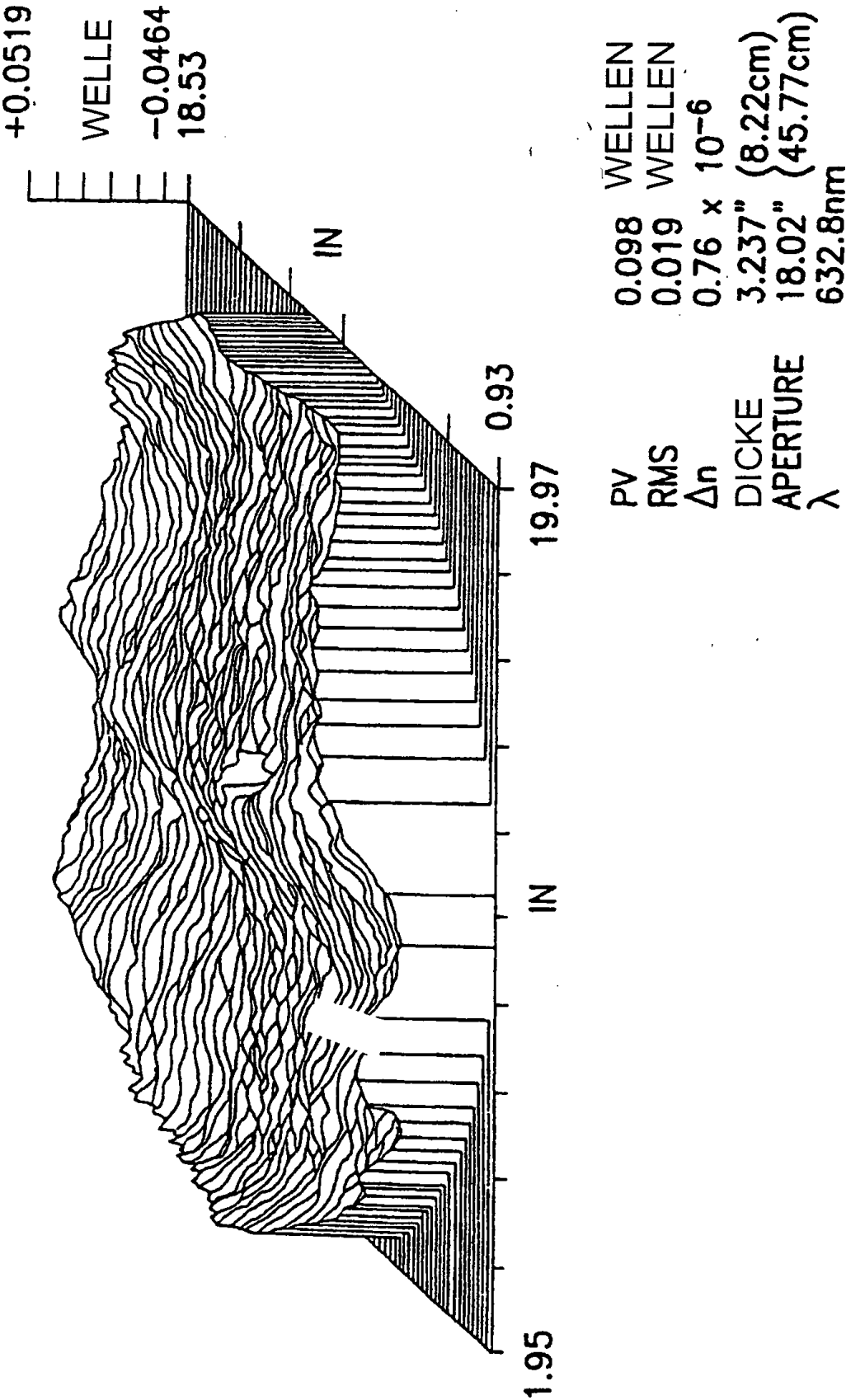


FIG. 3
STAND DER TECHNIK

FIG. 2



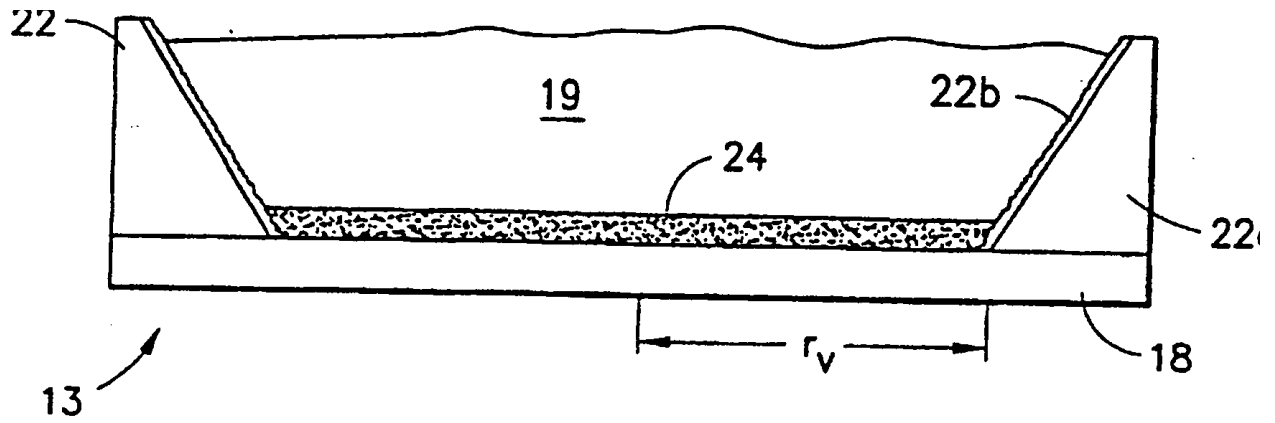


FIG. 4

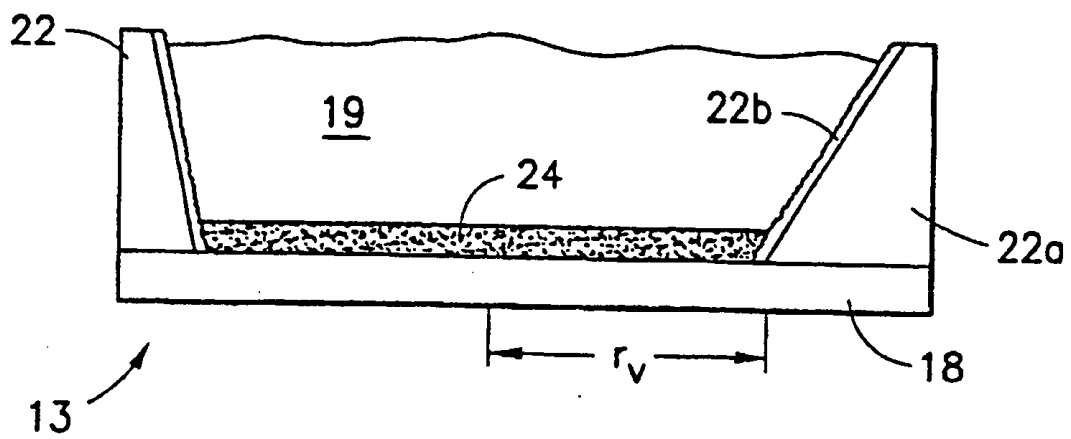
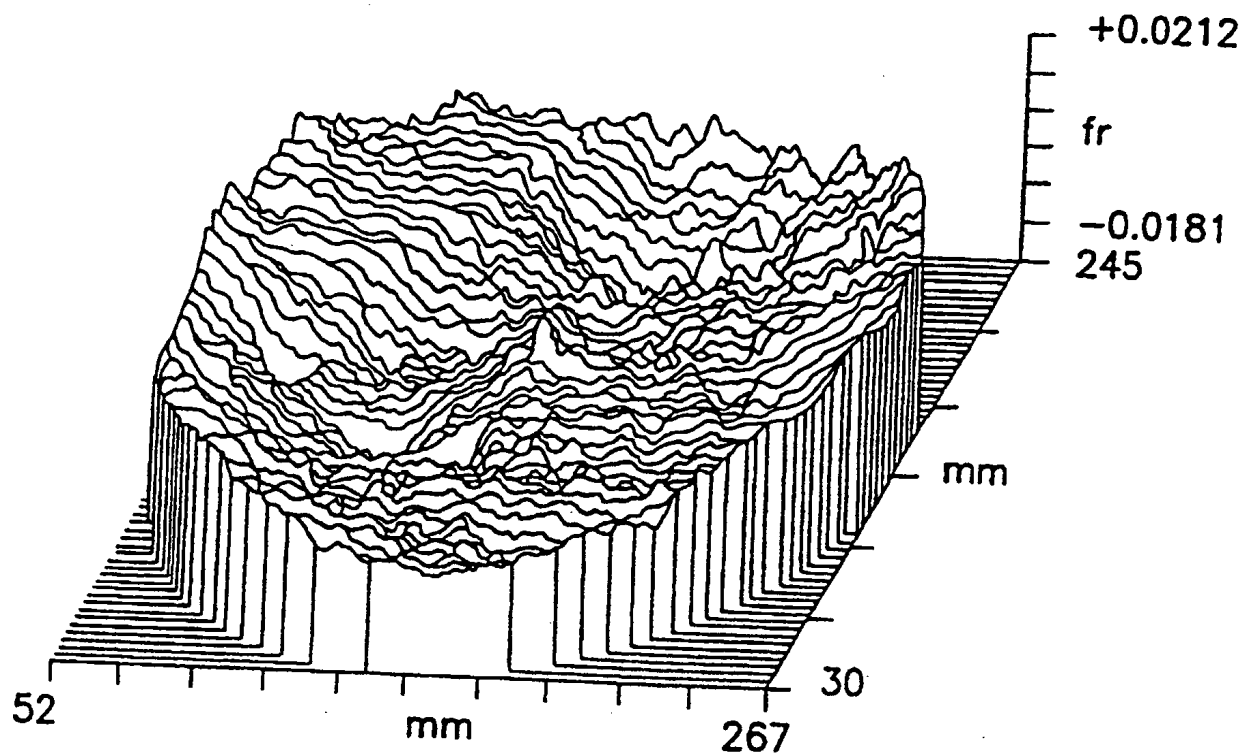


FIG. 5

FIG. 6



PV	0.0200 WELLEN
RMS	0.0033 WELLEN
Δn	0.24×10^{-6}
DICKE	2.003" (5.09cm)
APERTUR	8.5" (21.5cm)
λ	632.8nm