



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.08.2001 Patentblatt 2001/32

(51) Int Cl.7: **B24B 45/00, B24D 5/16**

(21) Anmeldenummer: **01100721.8**

(22) Anmeldetag: **12.01.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:

- **Vos, Markus, Dr.**
55218 Ingelheim (DE)
- **Pallhorn, Sven**
55131 Mainz (DE)
- **Julius, Patrick W.**
55118 Mainz (DE)
- **Kessler, Thomsa Dr**
55218 Ingelheim (DE)

(30) Priorität: **15.01.2000 DE 10001480**

(71) Anmelder:

- **Schott Glas**
55122 Mainz (DE)
Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
- **CARL-ZEISS-STIFTUNG**
55122 Mainz (DE)
Benannte Vertragsstaaten:
GB IE

(74) Vertreter: **Fuchs Mehler Weiss & Fritzsche**
Patentanwälte
Postfach 46 60
65036 Wiesbaden (DE)

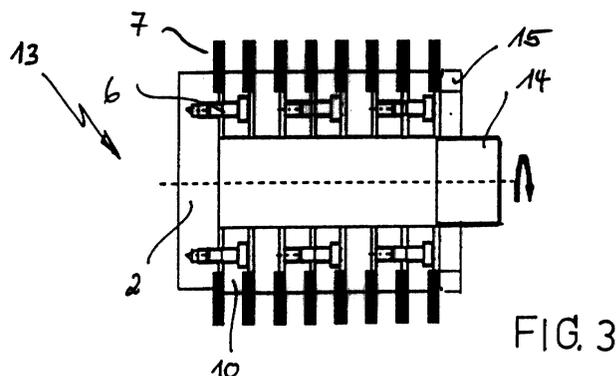
(54) **Verfahren zum Herstellen eines hochpräzisen Mehrscheiben-Schleifmoduls und nach diesem Verfahren hergestelltes Mehrscheiben-Schleifmodul**

(57) Derartige hochpräzise Mehrscheiben-Schleifmodule besitzen typischerweise mehrere, auf einer gemeinsamen Spindel (1), hochpräzise durch Distanzringe (10) axial beabstandet zueinander, montierte Präzisions-Schleifscheiben (7) zum gleichzeitigen Ausschleifen von parallel zueinander verlaufenden Mikrostrukturen in einem Werkstück.

Die Schleifscheiben (7) müssen dabei einen hochpräzisen gegenseitigen Abstand mit sehr kleinen Toleranzen aufweisen, was beim Stand der Technik nur mit

großem Aufwand zu erzielen ist.

Dieser Aufwand kann, unter Erzielung weiterer Vorteile, deutlich vermindert werden, indem der Schleifmodul (13) auf einer Ultrapräzisions-Drehmaschine montiert wird, unter Verwendung von in üblicher Werkstattfertigungsqualität bearbeiteten Distanzringen (10), in die mittels des Meßsystems der Drehmaschine Montage-Absätze (11) für die Aufnahme der Schleifscheiben (7) im hochpräzisen Abstand zu einem vorgegebenen axialen Abstands-Referenzwert eingedreht werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen eines hochpräzisen Mehrscheiben-Schleifmoduls mit mehreren, auf einer gemeinsamen Spindel, hochpräzise durch Distanzringe axial beabstandet zueinander, angeordnete Präzisions-Schleifscheiben zum gleichzeitigen Ausschleifen von parallel zueinander verlaufenden Mikrostrukturen in einem Werkstück.

[0002] Die Erfindung betrifft ferner ein nach diesem Verfahren hergestelltes, hochpräzises Mehrscheiben-Schleifmodul.

[0003] Derartige Mehrscheiben-Schleifmodule werden typischerweise zum hochpräzisen Trennen von Siliziumwafern und zur hochpräzisen Mikrostrukturierung verwendet. Sie können jedoch auch zum Aufbringen von Mikrostrukturen in Spezialgläsern, Kunststoffen sowie anderen schleiffähigen Materialien verwendet werden.

[0004] Mit Mikrostrukturen hoher Präzision versehenes Flachglas wird für Präzisionsanwendungen, insbesondere für Displays, Beleuchtungssysteme und für die Sensortechnik verwendet. Von besonderer Bedeutung sind dabei Displayscheiben von neueren Flachbildschirmgenerationen (Plasma Display Panel = PDP bzw. Plasma Addressed Liquid Crystal = PALC).

[0005] In diese sogenannten Kanalplatten sind Mikrokanal-Strukturen in Form von mehreren, parallel verlaufenden Kanälen eingebracht.

[0006] Eine derartige Kanalplatte ist ausschnittsweise in Fig. 4 im stark vergrößerten Maßstab prinzipiell dargestellt. Die aus dieser Fig. ersichtliche kanalartige Mikrostrukturierung muß kostengünstig und in großen Stückzahlen für verschiedene Displaygrößen (Bildschirmdiagonalen bis 55") erfolgen. In Abhängigkeit vom Bildschirmformat liegen die Strukturabmessungen in folgenden Bereichen: Stegabstand (Pitch) $X = 150 - 650 \mu\text{m}$, Steghöhe $Y = 100 - 250 \mu\text{m}$ und Stegbreite $Z = 20 - 50 \mu\text{m}$. Für ein 42"-HiVision PDP-Display sind beispielsweise ca. 5760 Kanäle mit einem Teilungsabstand der Stege "X", dem sog. Pitch, von ca. $161 \mu\text{m}$ bei einer Steghöhe "Y" von $150 \mu\text{m}$ und einer Stegbreite "Z" von $30 \mu\text{m}$ mit Toleranzen von wenigen μm über ca. 520 mm Länge zu fertigen.

[0007] Es sind verschiedene Methoden zum Ausbilden der Kanalstruktur bekannt geworden. Bei einer Methode werden die Stege im Siebdruckverfahren in mehreren Schichtungen nacheinander auf das Glassubstrat aufgetragen. Dieses Verfahren ist sehr aufwendig und teuer. Bei einer anderen Methode werden die Strukturen im Glas im Wege der Heißformgebung durch Prägen erzeugt.

[0008] Bei einem anderen Prinzip werden die Kanäle durch Sandstrahlen oder einen Schleifvorgang strukturiert. Beim Schleifen wird dabei ein hochpräzises Mehrscheiben-Schleifmodul verwendet, das mehrere auf einer gemeinsamen Spindel, hochpräzise durch Distanz-

ringe axial beabstandet zueinander angeordnete Präzisionsschleifscheiben aufweist.

[0009] Hiervon geht die Erfindung aus.

[0010] Da die Kanäle, wie oben beschrieben, sehr fein strukturiert sind und sehr geringe Abstände haben, bereitet die Herstellung der Kanalplatten dahingehend Schwierigkeiten, daß die einzelnen Schleifscheiben des Mehrscheiben-Schleifmoduls nicht in entsprechend geringen axialen Abständen zueinander angeordnet werden können. Aus diesem Grund beträgt der Abstand der einzelnen Schleifscheiben ein ganzzahliges Vielfaches des Teilungsabstandes "X" der Stege. Da die Länge des Mehrscheiben-Schleifmoduls durch das Schwingungsverhalten der Bearbeitungsspindel und durch die Drehzahl begrenzt ist, kann eine Kanalplatte nicht auf einem einzigen Mehrscheiben-Schleifmodul gleichzeitig bearbeitet werden. Die Herstellung der Kanalplatten erfolgt dann durch sogenanntes versetztes Schleifen, bei dem durch mehrfachen Überlauf des Mehrscheiben-Schleifmoduls die Kanalplatte strukturiert wird. Zwischen den einzelnen Überläufen wird das Mehrscheiben-Schleifmodul rechtwinklig zu den Kanallängsachsen versetzt und zwar genau um den zu fertigenden Pitch.

[0011] Ein derartiges Verfahren des versetzten Schleifens wird in der japanischen Offenlegungsschrift 318524-1996 beschrieben.

[0012] An das Mehrscheiben-Schleifmodul werden hohe Anforderungen gestellt. Sie leiten sich direkt aus den hohen Anforderungen an die Fertigungstoleranzen der Kanalplatten ab. So ist z.B. der Pitch ist mit einer Maßgenauigkeit von $\pm 4 \mu\text{m}$ bis $\pm 10 \mu\text{m}$ zu fertigen. Die Anforderungen werden auch anhand der nachstehenden Überlegungen deutlich. Die Distanzringe, auch Zwischenscheiben genannt, werden zur Erzielung eines definierten axialen Abstandes zwischen den Einzelschleifscheiben eingesetzt. Zur Herstellung der oben beschriebenen Mikrostrukturen darf dieser Abstand und damit die Dicke des Distanzringes eine sehr kleine Toleranz nicht überschreiten. Somit sind wiederum höchste Anforderungen an das Verfahren zur Herstellung dieser Mehrscheiben-Schleifmodule gestellt.

[0013] Nach dem Stand der Technik werden die einzelnen Bauteile des modular aufgebauten Mehrscheiben-Schleifmoduls, im wesentlichen die Schleifscheiben und die Distanzringe, in unabhängigen, separaten Herstellungs- bzw. Bearbeitungsprozessen, z.B. Läppen, endbearbeitet gefertigt und anschließend auf der Spindel montiert. Wesentliches Merkmal des bekannten Verfahrens zum Herstellen von Mehrscheiben-Schleifmoduls ist daher, daß die Herstellung bzw. Endbearbeitung der einzelnen Bauteile und die Montage dieser Teile zum Mehrscheiben-Schleifmodul voneinander getrennte Verfahrensschritte sind, die zeitlich nacheinander durchgeführt werden. Zunächst werden die einzelnen Schleifscheiben und Distanzringe gefertigt, wobei noch keine hohen Anforderungen an die Lage- bzw. Oberflächentoleranzen gestellt werden. Anschließend

findet eine Feinstbearbeitung durch Lappen der später in axialem Wirkeingriff befindlichen Stirnseiten der Schleifscheiben und der Distanzringe statt, um die geforderte Oberflächenqualität bzw. Lagetoleranz dieser Funktionsflächen zu erreichen. Es können Rauhtiefen bis $R_f = 0,03 \mu\text{m}$ und Planparallelitäten bis zu $0,2 \mu\text{m}$ erzielt werden. Man erhält so eine Vielzahl von hochgenauen, auf Dickentoleranz geläppte Distanzringe und Schleifscheiben die anschließend als Stapel montiert werden.

Dieses Stapeln, das rein manuell durchgeführt wird, verläuft wie folgt:

[0014] Eine Spindel, die an ihrem einen Ende einen mit größerem Durchmesser versehenen Anschlag aufweist, wird zur Bestückung mit den Schleifscheiben bzw. Distanzringen so auf einen Rundtisch gestellt, daß die Stirnseite des Anschlages, die am Spindelende liegt, auf dem Tisch zum Aufliegen kommt. Dann wird die erste Schleifscheibe über das offene Spindelende geschoben und auf dem Spindelanschlag abgelegt. Anschließend wird der erste Distanzring auf das freie Spindelende aufgeschoben, und mit der ersten Schleifscheibe in Anschlag gebracht. Im weiteren Verfahren zur Herstellung des Mehrscheiben-Schleifmoduls werden abwechselnd Schleifscheiben und Distanzringe über das freie Spindelende aufgeschoben und in Anschlag gebracht. Dieses abwechselnde Stapeln von Schleifscheiben und Distanzringen erfolgt, bis die zu erzielende Länge des Schleifmoduls erreicht wird, die durch den Abstand der beiden äußersten Schleifscheiben definiert wird. Durch Aufbringen einer Nutmutter am freien Spindelende werden die angeordneten Schleifscheiben und Distanzringe zwischen Spindelanschlag und Nutmutter verspannt.

[0015] Die Schleifscheiben und die Distanzringe sind trotz Feinstbearbeitung durch Lappen mit Fertigungstoleranzen versehen. Ein wahlloses Stapeln würde aus diesem Grunde die Gefahr in sich bergen, daß sich die Fertigungsungenauigkeiten der einzelnen Schleifscheiben und Distanzringe beim Stapeln zu unzulässigen Fehlern aufsummieren.

[0016] Werden z.B. die Distanzringe aller mit einer nur um wenige Mikrometer zu großen Dicke gefertigt, so addieren sich diese Toleranzen auf und es werden somit unzulässige Stapeltoleranzen erreicht. Durch Parallelitätsabweichungen der Stirnflächen der Schleifscheiben oder an den Distanzringen kommt es zu einem Planschlag der Einzelschleifscheiben und somit auch zu einem Rundlauffehler an der Schleifscheibe. Dieser Schlag an den Schleifscheiben kann bei der Mikrostrukturierung zur Zerstörung der Struktur führen.

[0017] Während des Stapelns der endgefertigten Einzelteile des Mehrscheiben-Schleifmoduls findet deshalb immer wieder ein Messen und Kontrollieren der einzuhaltenden Toleranzen statt. Beginnend mit der ersten aufgeschobenen Schleifscheibe wird nach jedem

weiteren Aufschieben einer weiteren Schleifscheibe bzw. eines weiteren Distanzringes der Verfahrensschritt des Messens und Überprüfens durchgeführt. Als Referenzpunkt dient dabei die Stirnseite des Spindelanschlags, die die erste Schleifscheibe axial aufnimmt. Dazu wird der jeweils bis zum Meßzeitpunkt erzielte Hub, die axiale Länge des Teil-Moduls, an mehreren, verteilt liegenden Stellen der Funktionsfläche, im einzelnen der Stirnflächen der Schleifscheiben bzw. der Distanzringe gemessen.

[0018] Durch diese Vorgehensweise wird einerseits die Einhaltung der Maßtoleranzen des zu erzielenden Hubes kontrolliert, andererseits kann, dadurch daß der Hub an verschiedenen Stellen auf der Funktionsfläche gemessen wird, gleichzeitig eine Kontrolle der Lagetoleranzen stattfinden. Dies sind die Parallelität der Funktionsflächen der Schleifscheiben bzw. der Distanzringe und die Lage dieser Funktionsflächen zur Spindel- und späteren Drehachse, wobei diese einen Winkel von 90° bilden müssen. Bei Abweichungen von der Rechtwinkligkeit und damit bei einem Sitz der Schleifscheiben bzw. der Distanzringe auf der Achse ähnlich dem einer Taumelscheibe, käme es zu einem Planschlag. Die Folge wäre auch hier, wie erwähnt, die Zerstörung der Mikrostruktur und somit des Werkstückes.

[0019] Durch den sehr aufwendigen und immer zu wiederholenden Verfahrensschritt des Messens und Kontrollierens und Auswählens der geeigneten Kombinationsfolge der Distanzringe wird versucht, die vorgegebenen Fertigungstoleranzen des Mehrscheiben-Schleifmoduls einzuhalten. Weil sämtliche Distanzringe und Schleifscheiben unterschiedliche Fertigungsungenauigkeiten aufweisen, kann durch geschicktes Auswählen und Stapeln der Distanzringe und der Schleifscheiben die Aufsummierung der Fertigungsungenauigkeiten gemindert werden; teilweise kompensieren sich auch Fertigungsungenauigkeiten bei dieser Art der Montage. Das Auffinden einer geeigneten Kombinationsreihenfolge ist jedoch extrem personal-, zeit- und somit kostenintensiv. Zudem sind die Schleifscheiben und die Distanzringe während der Montage ohne Nutmutter bezüglich der Spindelachse drehbar, womit sich ein weiterer Freiheitsgrad beim Stapeln ergibt. Die Anzahl der Kombinationsmöglichkeiten vervielfacht sich hierdurch. Trotz des hohen Aufwandes ist dabei nicht immer sichergestellt, daß das später vorliegende Mehrscheiben-Schleifmodul die hohen Anforderungen bezüglich Maß- und Lagetoleranzen, erfüllt.

[0020] Dieses Verfahren zur Herstellung eines Mehrscheiben-Schleifmoduls stößt nicht nur bezüglich seiner Fertigungstoleranzen, sondern auch bezüglich der Anzahl an stapelbaren Schleifscheiben an seine Grenzen, da mit zunehmender Anzahl an Schleifscheiben der Aufwand und die Fertigungsungenauigkeit ansteigen. Dies ist auch dadurch bedingt, daß ein Verspannen der einzelnen Teile durch eine Nutmutter einmalig und erst am Ende des Fertigungsprozesses durchgeführt wird, wenn berücksichtigt wird, daß zwischen den Teilen

während des Stapelvorganges Passungsspiel verbleiben kann. Durch die hohe Anzahl an Setzfugen kommt es weiterhin beim axialen Verspannen der Schleifscheiben zu einer Verlagerung der einzelnen Schleifscheiben, die unzulässig sein kann. Unter dem Gesichtspunkt der Rationalisierung des Produktionsprozesses wird jedoch eine möglichst hohe Anzahl an Schleifscheiben angestrebt.

[0021] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Herstellen eines Mehrscheiben-Schleifmoduls bereitzustellen und ein Mehrscheiben-Schleifmodul zu schaffen, bei dem die Zeit für seine Herstellung, insbesondere die Montagezeit, die Bearbeitungszeit und die Meßzeit, im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren nach dem Stand der Technik reduziert wird, wobei die Fertigungsqualität des so hergestellten Mehrscheiben-Schleifmoduls gesteigert wird bzw. seine Maß- und Lagetoleranzen verkleinert werden und die Anzahl an Schleifscheiben auf dem Mehrscheiben-Schleifmodul maximiert wird.

[0022] Die Lösung dieser Aufgabe gelingt verfahrensmäßig ausgehend von dem eingangs bezeichneten Verfahren zum Herstellen eines hochpräzisen Mehrscheiben-Schleifmoduls mit mehreren, auf einer gemeinsamen Spindel, hochpräzise durch Distanzringe axial beabstandet zueinander, angeordneten Präzisions-Schleifscheiben zum gleichzeitigen Ausschleifen von parallel zueinander verlaufenden Mikrostrukturen in einem Werkstück, gemäß der Erfindung mit den Schritten:

- Einspannen der Spindel in eine Ultrapräzisions-Drehmaschine und Vorgabe eines ersten axialen Abstands-Referenzpunktes durch Eindrehen eines Montage-Absatzes in einen stirnseitigen Spindelabsatz der Spindel unter Ausbildung einer Absatzflanke,
- Aufbringen einer ersten, endbearbeiteten Präzisions-Schleifscheibe über das freie Spindelende auf den Montage-Absatz,
- Aufbringen eines ersten, in üblicher Werkstattfertigungsqualität bearbeiteten Distanzringes über das freie Spindelende und Befestigen dieses Distanzringes mit dem Spindelabsatz unter Fixierung der ersten Schleifscheibe mit Anliegen an der Absatzflanke,
- Eindrehen eines Montage-Absatzes in den ersten Distanzring im vorgegebenen, hochpräzisen Abstand zum ersten axialen Abstands-Referenzpunkt des Montage-Absatz (8) im Spindelabsatz zur Aufnahme einer zweiten, endbearbeiteten Hochpräzisions-Schleifscheibe, und
- Montage der weiteren endbearbeiteten Hochpräzisions-Schleifscheiben und grob vorbereiteten Distanzringe bis zu dem vorgegebenen Hub des Schleifmoduls durch aufeinanderfolgendes Wiederholen des Schrittes des Aufbringens einer Präzisions-Schleifscheibe, des Schrittes des Aufbrin-

gens eines Distanzringes, des Befestigens dieses Distanzringes (10) unter Fixierung der Schleifscheibe und des Eindrehens eines Montage-Absatzes im Distanzring in einem vorgegebenen hochpräzisen Abstand zu einem axialen Abstands-Referenzpunkt für die Montage der folgenden Schleifscheibe.

[0023] Bei der erfindungsgemäßen Stapeltechnik werden die grob vorbereiteten Distanzringe sukzessive auf einer Ultrapräzisions-Drehmaschine für den zu montierenden Hub von Schleifscheiben in einer Aufspannung montiert und während der Montage auf das notwendige Präzisionsmaß endbearbeitet. Dadurch kann die Montagezeit und die Meßzeit signifikant reduziert werden. Außerdem ist die Fertigungsqualität des endmontierten Mehrscheiben-Schleifmoduls sehr hoch, da alternierend montiert und endbearbeitet wird und somit während der Montage - im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren - auf die geometrischen Abmessungen bestimmter Bauteile, nämlich der Distanzringe, Einfluß genommen werden kann.

[0024] Der Abstand der Schleifscheiben wird folglich erst durch Einarbeiten eines Absatzes in einen Distanzring realisiert, wodurch der Stegabstand (Pitch) der zu fertigenden Kanalplatte mit kleineren Toleranzen gefertigt werden kann.

[0025] Da die Komponenten des Mehrscheiben-Schleifmoduls schrittweise während der Montage miteinander verbunden werden, ergibt sich auch keine Maßverschiebung beim Fixieren aller Komponenten auf dem freien Spindelende nach der Montage.

[0026] Vorteilhaft ist eine Ausführungsform des Verfahrens, bei der

- das Eindrehen des Montage-Absatzes in den ersten Distanzring im vorgegebenen, hochpräzisen Abstand zum ersten axialen Abstands-Referenzpunkt des Montage-Absatz im Spindelabsatz in der Art erfolgt, daß ein neuer axialer Abstand-Referenzwert in der Absatzflanke des Distanzringes für das Eindrehen eines Montage-Absatzes in dem folgenden Distanzring vorgegeben wird, der den vorherigen axialen Abstands-Referenzwert ersetzt, und daß
- bei der Montage der weiteren endbearbeiteten Hochpräzisions-Schleifscheiben und grob vorbereiteten Distanzringe das Eindrehen des Montage-Absatzes im Distanzring im vorgegebenen, hochpräzisen Abstand zum vorherigen axialen Abstands-Referenzpunkt für die Montage der folgenden Schleifscheibe immer in der Art erfolgt, daß ein neuer axialer Abstand-Referenzwertes in der Absatzflanke für das Eindrehen eines Montage-Absatzes in dem folgenden Distanzring vorgegeben wird, der den vorherigen axialen Abstands-Referenzwert ersetzt.

[0027] Im Vordergrund dieser Verfahrensvariante steht die Realisierung eines möglichst exakten Abstandes der einzelnen Schleifscheiben voneinander und damit die Bereitstellung eines Werkzeuges, mit dem die mit diesem Werkzeug zu fertigende Kanalplatte, insbesondere die Stegabstände der Stege dieser Kanalplatte, maßgenauer hergestellt werden kann.

[0028] Die Realisierung erfolgt in der Art, daß für jede zu montierende Einzel-Schleifscheibe der Referenzpunkt für das Abstandsmaß zur benachbarten, vorherigen Schleifscheibe unabhängig von den vorher montierten Schleifscheiben und Distanzringen neu festgelegt wird. Dieser Abstands-Referenzpunkt, welcher bei der Einarbeitung des Distanzring-Absatzes Berücksichtigung findet, befindet sich nämlich jeweils in der Absatzflanke des Distanzring-Absatzes, der dem gerade in Bearbeitung befindlichen Distanzring vorherläuft.

[0029] Zu bevorzugen ist eine Ausführungsform des Verfahrens, die dadurch gekennzeichnet ist, daß

- bei der Montage der weiteren endbearbeiteten Hochpräzisions-Schleifscheiben und grob vorbereiteten Distanzringe jeweils das Eindrehen des Montage-Absatzes im Distanzring für die Montage der folgenden Schleifscheibe immer im vorgegebenen, hochpräzisen Abstand zum ersten axialen Abstands-Referenzpunktes des Montage-Absatz im Spindelabsatz erfolgt.

[0030] Die Vorgabe eines einzelnen axialen Abstands-Referenzpunktes im Montage-Absatz des Spindelabsatzes als Referenzpunkt für die Einarbeitung sämtlicher Montage-Absätze in die zu montierenden Distanzringe hat zur Folge, daß es zu keinem Summenfehler von Einzeltoleranzen kommt, weil der Gesamthub, der sich durch Addition der Teilhübe der einzelnen Pakete, bestehend aus Schleifscheibe und zugehörigem Distanzring, ergibt, ständig justiert werden kann und sich die Toleranzen bzw. Abweichungen der einzelnen Pakete nicht zu einer Gesamtoleranz bzw. Gesamtabweichung des Ist-Gesamthubes vom Soll-Gesamthub aufsummieren können.

[0031] Diese Verfahrensvariante gestattet sowohl die Fertigung eines vorgegebenen, präzisen Schleifscheibenabstandes, als auch die Einhaltung enger Toleranzen im Hinblick auf den einzuhaltenden Gesamthub.

[0032] Hinsichtlich des hochpräzisen Mehrscheiben-Schleifmoduls gelingt die Lösung der Aufgabe, ausgehend von einem hochpräzisen Mehrscheiben-Schleifmodul, mit mehreren, auf einer gemeinsamen Spindel, hochpräzise durch Distanzringe axial beabstandet zueinander, montierte Präzisions-Schleifscheiben zum gleichzeitigen Ausschleifen von parallel zueinander verlaufenden Mikrostrukturen in einem Werkstück gemäß der Erfindung dadurch, daß die erste Schleifscheibe auf einem eingedrehten Montage-Absatz eines an einem Ende der Spindel angeformten flanschartigen Spindelabsatzes aufgenommen ist und die weiteren Schleif-

scheiben jeweils auf Montage-Absätzen aufgenommen sind, die jeweils im vorhergehenden Distanzring so eingedreht sind, daß der Abstand von Flanke zu Flanke aufeinanderfolgender Montage-Absätze hochpräzise jeweils gleich dem axialen Soll-Abstandsmaß der Schleifscheiben ist, daß der erste Distanzring am flanschartigen Spindelabsatz der Spindel und die weiteren Distanzringe untereinander unter Einspannen der Schleifscheiben mechanisch befestigt sind, und daß die Distanzringe normale Werkstatt-Fertigungsqualität besitzen.

[0033] Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet und werden im folgenden beschrieben.

[0034] In den Zeichnungen ist ein Ausführungsbeispiel für das erfindungsgemäße Verfahren und den erfindungsgemäßen Mehrscheiben-Schleifmodul, sowie zum besseren Verständnis, ein mit dem Mehrscheiben-Schleifmodul beispielsweise strukturiertes Flachglas dargestellt.

[0035] Es zeigen:

Figur 1 in einer schematischen Schnittdarstellung den ersten Bearbeitungsschritt an der Spindel des erfindungsgemäßen Mehrscheiben-Schleifmoduls im Rahmen seiner Montage

Figur 2 ebenfalls in einer Schnittdarstellung entsprechend Figur 1 den zweiten Montage-schritt unter Befestigung der ersten Schleifscheibe auf der Spindel

Figur 3 den fertig montierten Mehrscheiben-Schleifmodul, und

Figur 4 ein mit dem Mehrscheiben-Schleifmodul strukturiertes Flachglas bekannter Konfiguration.

[0036] Gemäß der erfindungsgemäßen Stapeltechnik werden auf einer, in der Zeichnung nicht dargestellten, an sich bekannten Ultrapräzisions-Drehmaschine endbearbeitete Schleifscheiben und nur grob vorbereitete Distanzringe für den zu montierenden Hub in einer Aufspannung endbearbeitet und montiert. Dadurch kann, wie bereits erwähnt, die Montagezeit und die Meßzeit reduziert und die Fertigungsqualität des montierten Mehrscheiben-Schleifmoduls gesteigert werden.

[0037] Zunächst wird bei der Montage eine Spindel 1, eine Welle, auf der die Schleifscheiben und Distanzringe montiert werden, aufgespannt und endbearbeitet. Diese Spindel besitzt am stirnseitigen Ende einen schmalen Spindel- bzw. Wellenabsatz 2 mit einem größeren Durchmesser als der Durchmesser der Spindel 1, mit dem sie in der Ultrapräzisions-Drehmaschine aufgenommen wird. Die Spindel 1 wird in Drehung um ihre Achse 5 versetzt, wobei mit einem Werkzeug 4 der

Drehmaschine ein Absatz 8 zur Aufnahme der ersten Schleifscheibe 7 in den Spindel- bzw. Wellenabsatz 2 eingearbeitet wird. Die Flanke 9 dieses Absatzes 8 dient als Referenzpunkt, d.h. die NC-Steuerung der Ultrapräzisionsmaschine wird bezüglich ihrer Wegmessung in Z-Richtung, d.h. in Spindellängsrichtung zu Null gesetzt.

[0038] Wie Figur 2 zu entnehmen ist, wird die erste, bereits endbearbeitete Schleifscheibe 7 über das freie Spindelende auf die Spindel 1 aufgeschoben und auf den Absatz 8 im Spindel- bzw. Wellenabsatz 2 aufgesteckt. Danach wird ein nur grob vorbearbeiteter Distanzring 10 über das freie Spindelende auf die Spindel 1 aufgeschoben und zum Anschlag mit der ersten Schleifscheibe 7 gebracht. Der Distanzring 10 wird über Schrauben 6 in Gewindebohrungen 3, die im Absatz 2 eingearbeitet sind, befestigt, wodurch die erste Schleifscheibe 7 zwischen Absatz 8 und Distanzring 10 fest eingespannt wird.

[0039] Auf der Stirnseite des Distanzringes 10, die zum freien Spindelende hin zeigt, wird nunmehr mit dem Werkzeug 4 ein Absatz 11 zur Aufnahme einer zweiten Schleifscheibe mit einem vorgegebenen Maß eingearbeitet, derart, daß die Flanke 12 dieses Absatzes 11 den zu erzielenden präzisen Abstand zur benachbarten Flanke 9 im Absatz 8 des Spindelabsatzes 2, der die erste Schleifscheibe 7 aufgenommen hat, aufweist, und somit die beiden benachbarten Schleifscheiben hochpräzise das notwendige, vorgegebene Abstandsmaß aufweisen. Dieses Abstandsmaß ist ein ganzzahliges Vielfaches des Pitches "X" und ist für alle auf der Spindel 1 sitzenden Schleifscheiben 7 gleich groß. Dieses Maß ist letztlich das für das bevorzugt zur Herstellung von Kanalplatten angewendete Herstellungsverfahren wichtige Maß und muß je nach Anforderung mit einer Toleranz von $\pm 4\mu\text{m}$ bis $\pm 10\mu\text{m}$ gefertigt werden. Es wird in einfacher Weise durch den Werkzeugvorschub bei der Herstellung des jeweiligen Absatzes 11 in den Distanzringen 10 und durch die Steuerung der Ultrapräzisionsmaschine gefertigt. Ein manuelles Messen und Überprüfen dieses Maßes im eigentlichen Sinne, wie es bei Verfahren nach dem Stand der Technik notwendig ist, entfällt.

[0040] Abwechselndes Aufschieben und Befestigen von Schleifscheiben und Distanzringen durch mehrmaliges Wiederholen der Verfahrensschritte, bis der zu erzielende Hub erreicht ist, führen schließlich zu dem im Figur 3 dargestellten Mehrscheiben-Schleifmodul 13. Dabei sind die gestapelten Schleifscheiben 7 und Distanzringe 10 über eine am freien Spindelende sitzenden Nutmutter 15, die auf ein Gewinde 14 aufgeschraubt ist, zusätzlich gesichert.

[0041] Die axiale Tiefe des Absatzes 8 im Spindelanschlag 2 ist kleiner als die Dicke der aufzunehmenden Schleifscheibe, so daß die Schleifscheibe kraftschlüssig axial fixiert ist. Die im weiteren Herstellungsverfahren in die Distanzringe einzuarbeitenden Absätze werden in ihrer axialen Tiefe durch den zwischen den Schleifscheiben einzuhaltenden Abstand bestimmt,

sind aber so bemessen, daß es nicht zu einem Kontakt zwischen einzelnen Distanzringen kommen kann. Der Durchmesser des Absatzes wird jeweils so gewählt, daß sich zwischen Absatz und Schleifscheibe eine Spielpassung ergibt.

[0042] Die Schleifscheiben sind bereits vor der Montage durch Lappen ihrer Stirnseiten genau auf Dickentoleranz endbearbeitet.

[0043] Ein essentielles Merkmal bei der Herstellung des erfindungsgemäßen Mehrscheiben-Schleifmoduls ist es daher, daß der Abstand der einzelnen Schleifscheiben 7 durch die Bearbeitung auf der Ultrapräzisions-Drehmaschine festgelegt wird. Dadurch können die Distanzringe, in die jeweils die den Abstand festlegenden Absätze 11 eingedreht werden, in einfacher Werkstattfertigungsqualität ausgeführt werden; eine Präzisionsbearbeitung, z.B. durch Lappen, ist nicht nötig. Es kommt auch zu keinem Summenfehler von Einzeltoleranzen, da der jeweilige Absatz 11 unabhängig von den vorher montierten Distanzscheiben 10 und Schleifscheiben 7 bearbeitet wird. Der in den Spindelabsatz eingearbeitete Absatz 11 bzw. seine Flanke 12 dienen als Referenzpunkt für sämtliche in die Distanzringe einzuarbeitenden Absätze 11.

[0044] Die zur Erzielung eines definierten Abstandes zwischen den Einzelschleifscheiben verwendeten Distanzringe bestehen vorzugsweise aus einem Material mit einem geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten. Vorrangig sind dies z.B. Zerodur, Keramiken, Glaskeramiken oder Eisenlegierungen. Es können aber auch aufgrund ihrer guten Zerspannbarkeit NE-Legierungen, Kunststoffe oder Graphit verwendet werden.

[0045] Für die Befestigung des Distanzringes und der damit beabsichtigten Einspannung der Schleifscheibe bieten sich verschiedene Befestigungsmittel an. Eine bevorzugte Methode ist die vorbeschriebene, in den Zeichnungen dargestellte Befestigung des Distanzringes mit mehreren Schrauben am Spindelanschlag bzw. am vorherigen Distanzring. Eine weitere Befestigungsmethode stellt die Klebeverbindung dar. Hierbei wird zwischen die durch das Stapeln in Eingriff kommenden Funktionsflächen, im einzelnen die Stirnseiten der Schleifscheibe und die Stirnseite der Distanzringe bzw. die Flanke des Absatzes zur axialen Aufnahme der Schleifscheiben, ein Klebemittel eingebracht. Vorteilhaft ist auch die Befestigung der Distanzringe durch Aufschrupfen auf die Spindel, wobei sich zwischen Spindel und Distanzring eine kraftschlüssige Preßverbindung ergibt. Die Schleifscheiben selbst werden hierbei wiederum fest zwischen den Distanzringen eingespannt.

[0046] Die gestapelten Schleifscheiben und untereinander befestigten Distanzringe werden zweckmäßig durch ein am freien Spindel angeordnetes Sicherungselement fixiert werden. Eine bevorzugte Sicherung ist, wie vorbeschrieben, die am Spindel aufgebrachte Nutmutter. Weitere Ausführungsbeispiele dieses Sicherungselementes sind ein Spannelement oder ein

Spannsatz, wobei das letzte zu stapelnde Element des Mehrscheiben-Schleifmodules ein Distanzring ist, der im Bereich seiner Bohrung so ausgebildet ist, das er einerseits auf der Spindel zentriert werden kann und andererseits das Spannelement aufzunehmen in der Lage ist.

[0047] Ein manuelles Messen und Überprüfen der Maß- und Lagetoleranzen im herkömmlichen Sinne entfällt bei dem erfindungsgemäßen Verfahren. Die Steuerung der Ultrapräzisionsdrehmaschine, die bei dem Prozeß des Eindrehens des Absatzes im Distanzring bzw. im Spindelabsatz zum Einsatz kommt, wird dazu benutzt, die vorgegebenen Maße präzise einzuhalten. Hierzu wird die Flanke, die die erste Schleifscheibe axial aufnimmt, als Referenzpunkt gewählt, d.h. bei ihr wird die Steuerung der Ultrapräzisionsdrehmaschine bezüglich ihrer Wegmessung in Spindellängsrichtung auf Null gesetzt. Der Abstand der einzelnen Schleifscheiben ist, wie oben erwähnt, ein Vielfaches des Pitches und wird durch die Steuerung des Bearbeitungswerkzeuges erzielt.

[0048] Nach erfolgter Endmontage des nach dem oben beschriebenen Verfahren hergestellten Mehrscheiben-Schleifmodules erfolgt seine "Konditionierung", vorzugsweise auf der Bearbeitungsmaschine, auf der das Mehrscheiben-Schleifmodul zur Mikrostrukturierung der optischen Flachgläser zum Einsatz kommt. Dies geschieht wieder unter dem Aspekt der zu erzeugenden Fertigungsqualität. Indem eine mögliche Fehlerquelle, nämlich zusätzliche Ungenauigkeiten durch das Umspannen des Mehrscheiben-Schleifmodules, eliminiert wird, kann vermieden werden, daß sich die dadurch bedingten Ungenauigkeiten mit den bereits bestehenden, unvermeidbaren Fertigungstoleranzen des Mehrscheiben-Schleifmodules ungünstig additiv überlagern.

[0049] Das Konditionieren beinhaltet das Profilieren, das Schärfen bzw. Abrichten der Schleifscheibe. Ziel des Profilierens ist es, der Schleifscheibe das gewünschte Profil und den nötigen Rundlauf zu geben. Hierbei wird die Schleifscheibe nicht an ihren Stirnseiten bearbeitet bzw. in ihrem Dickenmaß verändert, sondern, mit Rücksicht auf die Tiefentoleranz der später zu fertigenden Struktur, mit einem einheitlichen Radius versehen. Die Schleifscheiben werden nämlich von den mit der Ultrapräzisionsmaschine gefertigten Montageabsätzen radial aufgenommen, wobei die Teile so dimensioniert sind, daß in den Kontaktflächen eine Spielpassung vorliegt, wodurch ein Profilieren notwendig wird.

[0050] Vorrangig werden für die Kanalplatten Schleifscheiben eingesetzt, die eine Rechteckkontur aufweisen. Je nach Anforderungen am mikrostrukturierten Bauteil können jedoch auch abgerundete Konturen erforderlich sein.

[0051] Das Schärfen, auch Abrichten genannt, sorgt für die notwendige Schleifscheibentopographie mit schneidfähigen Körnern und einer Entfernung von Ab-

lagerungen, die in den Spanräumen der Scheibe sitzen.

[0052] Das Konditionieren kann zwischen den Bearbeitungszeiten auf der Bearbeitungsmaschine stattfinden oder vorzugsweise während des Bearbeitungsprozesses, wobei es sich dann um ein kontinuierliches Konditionieren handelt.

Bezugszeichen

10 [0053]

- | | |
|-------|---|
| 1 | Spindel |
| 2 | Wellen- bzw. Spindelabsatz |
| 3 | Bohrung |
| 15 4 | Werkzeug |
| 5 | Spindelachse |
| 6 | Schraube |
| 7 | Schleifscheibe |
| 8 | Montageabsatz im Spindelabsatz |
| 20 9 | Flanke des Montageabsatzes im Spindelabsatz |
| 10 | Distanzring |
| 11 | Montageabsatz im Distanzring |
| 12 | Flanke des Montageabsatzes im Distanzring |
| 13 | Mehrscheiben-Schleifmodul |
| 25 14 | Gewinde der Nutmutter |
| 15 | Nutmutter |

Patentansprüche

- 30 1. Verfahren zum Herstellen eines Mehrscheiben-Schleifmodules (13) mit mehreren, auf einer gemeinsamen Spindel (1), hochpräzise durch Distanzringe (10) axial beabstandet zueinander, angeordnete Präzisions-Schleifscheiben (7) zum gleichzeitigen Ausschleifen von parallel zueinander verlaufenden Mikrostrukturen in einem Werkstück, mit den Schritten:
- 35
- 40 - Einspannen der Spindel (1) in eine Ultrapräzisions-Drehmaschine und Vorgabe eines ersten axialen Abstands-Referenzpunktes durch Eindrehen eines Montage-Absatzes (8) in einen stirnseitigen Spindelabsatz (2) der Spindel (1) unter Ausbildung einer Absatzflanke (9),
 - 45 - Aufbringen einer ersten, endbearbeiteten Präzisions-Schleifscheibe (7) über das freie Spindelende auf den Montage-Absatz (8),
 - 50 - Aufbringen eines ersten, in üblicher Werkstattfertigungsqualität bearbeiteten Distanzringes (10) über das freie Spindelende und Befestigen dieses Distanzringes (10) mit dem Spindelabsatz (2) unter Fixierung der ersten Schleifscheibe (7) mit Anliegen an der Absatzflanke (9),
 - 55 - Eindrehen eines Montage-Absatzes (11) in den ersten Distanzring (10) im vorgegebenen, hochpräzisen Abstand zum ersten axialen Abstands-Referenzpunktes des Montage-Absatz

- (8) im Spindelabsatz (2) zur Aufnahme einer zweiten, endbearbeiteten Hochpräzisions-Schleifscheibe (7), und
- Montage der weiteren endbearbeiteten Hochpräzisions-Schleifscheiben (7) und grob vorbearbeiteten Distanzringe (10) bis zu dem vorgegebenen Hub des Schleifmoduls (13) durch aufeinanderfolgendes Wiederholen des Schrittes des Aufbringens einer Präzisions-Schleifscheibe (7), des Schrittes des Aufbringens eines Distanzringes (10), des Befestigens dieses Distanzringes (10) unter Fixierung der Schleifscheibe (7) und des Eindrehens eines Montage-Absatzes (11) im Distanzring (10) in einem vorgegebenen hochpräzisen Abstand zu einem axialen Abstands-Referenzpunkt für die Montage der folgenden Schleifscheibe (7).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
- das Eindrehen des Montage-Absatzes (11) in den ersten Distanzring (10) im vorgegebenen, hochpräzisen Abstand zum ersten axialen Abstands-Referenzpunktes des Montage-Absatz (8) im Spindelabsatz (2) in der Art erfolgt, daß ein neuer axialer Abstand-Referenzwert in der Absatzflanke (12) des Distanzringes (10) für das Eindrehen eines Montage-Absatzes (11) in dem folgenden Distanzring (10) vorgegeben wird, der den vorherigen axialen Abstands-Referenzwert ersetzt, und daß
 - bei der Montage der weiteren endbearbeiteten Hochpräzisions-Schleifscheiben (7) und grob vorbearbeiteten Distanzringe (10) das Eindrehen des Montage-Absatzes (11) im Distanzring (10) im vorgegebenen, hochpräzisen Abstand zum vorherigen axialen Abstands-Referenzpunktes für die Montage der folgenden Schleifscheibe (7) immer in der Art erfolgt, daß ein neuer axialer Abstand-Referenzwertes in der Absatzflanke (12) für das Eindrehen eines Montage-Absatzes (11) in dem folgenden Distanzring (10) vorgegeben wird, der den vorherigen axialen Abstands-Referenzwert ersetzt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
- bei der Montage der weiteren endbearbeiteten Hochpräzisions-Schleifscheiben (7) und grob vorbearbeiteten Distanzringe (10) jeweils das Eindrehen des Montage-Absatzes (11) im Distanzring (10) für die Montage der folgenden Schleifscheibe (7) immer im vorgegebenen, hochpräzisen Abstand zum ersten axialen Abstands-Referenzpunkt des Montage-Absatz (8) im Spindelabsatz (2) erfolgt.
4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die gestapelten, untereinander befestigten Schleifscheiben (7) und Distanzringe (10) zusätzlich durch ein am freien Spindelende angeordnetes Sicherungselement (15) fixiert werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Sicherungselement (15) ein Spannelement verwendet wird, wobei als letztes zu stapelndes Element des Mehrscheiben-Schleifmoduls (13) ein Distanzring (10) verwendet wird, der im Bereich seiner Bohrung so bearbeitet wurde, daß er einerseits auf der Spindel (1) zentriert werden kann und andererseits das Spannelement (15) aufzunehmen in der Lage ist.
6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Sicherungselement (15) eine Nutmutter (15) verwendet wird, die auf ein am freien Spindelende eingearbeitetes Gewinde aufgeschraubt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Sicherungselement ein Spannsatz verwendet wird, wobei als letztes zu stapelndes Element des Mehrscheiben-Schleifmoduls (13) ein Distanzring (10) verwendet wird, der im Bereich seiner Bohrung so bearbeitet wurde, daß er einerseits auf der Spindel (1) zentriert werden kann und andererseits das Spannelement aufzunehmen in der Lage ist.
8. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Distanzringe (10) mit Hilfe von Schrauben an dem jeweils vorher aufgeschobenen Distanzring (10) befestigt werden, und der erste Distanzring (10) am stirnseitigen Endanschlag der Spindel (1) befestigt wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Distanzringe (10) auf die Spindel (1) aufgeschraubt werden, wodurch sich zwischen Distanzring (10) und Spindel (1) eine Preßverbindung ergibt, die eine kraftschlüssige Befestigung der Distanzringe (10) und ein festes Einspannen der zwischen den Distanzringen (10) liegenden Schleifscheiben (7) vorsieht.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Distanzringe (10) und die Schleifscheiben (7) durch Klebeverbindungen befestigt werden, wobei zwischen die durch das Stapeln in Eingriff kommenden Funktionsflächen, der Stirnseiten der Schleifscheiben (7) und der Stirnseiten der Distanzringe (10), sowie jeweils die Flanke des Montage-Absatzes (11) der Distanzringe (10) zur axialen Aufnahme der Schleifschei-

- ben (7), ein Klebemittel eingebracht wird.
11. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß der fertig montierte Mehrscheiben-Schleifmodul (13) konditioniert wird. 5
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Konditionieren auf der Bearbeitungsmaschine, auf der der Mehrscheiben-Schleifmodul (13) als Schleifwerkzeug zum Einsatz kommt, durchgeführt wird. 10
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Konditionieren kontinuierlich während des Bearbeitungsprozesses des Werkstückes durch den Schleifmodul (13) erfolgt. 15
14. Hochpräziser Mehrscheiben-Schleifmodul, mit mehreren, auf einer gemeinsamen Spindel (1), hochpräzise durch Distanzringe (10) axial beabstandet zueinander, montierte Präzisions-Schleifscheiben (7) zum gleichzeitigen Ausschleifen von parallel zueinander verlaufenden Mikrostrukturen in einem Werkstück, **dadurch gekennzeichnet**, daß die erste Schleifscheibe (7) auf einem eingedrehten Montage-Absatz (8) eines an einem Ende der Spindel (1) angeformten flanschartigen Spindelabsatzes (2) aufgenommen ist und die weiteren Schleifscheiben (7) jeweils auf Montage-Absätzen (11) aufgenommen sind, die jeweils im vorhergehenden Distanzring (10) so eingedreht sind, daß der Abstand von Flanke (12) zu Flanke (12) aufeinanderfolgender Montage-Absätze (11) hochpräzise jeweils gleich dem axialen Soll-Abstandsmaß der Schleifscheiben (7) ist, daß der erste Distanzring (10) am flanschartigen Spindelabsatz (2) der Spindel (1) und die weiteren Distanzringe (10) untereinander unter Einspannen der Schleifscheiben (7) mechanisch befestigt sind, und daß die Distanzringe (10) bei der Montage normale Werkstatt-Fertigungsqualität besitzen. 20
25
30
35
40
15. Schleifmodul nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Distanzringe (10) radial so dimensioniert sind, daß es zu keinem Kontakt zwischen Ihnen kommt. 45
16. Schleifmodul nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß die gestapelten Schleifscheiben (7) und Distanzringe (10) zusätzlich durch ein am freien Spindelende angeordnetes Sicherungselement (14, 15) fixiert sind. 50
17. Schleifmodul nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Sicherungselement ein Spannelement ist. 55
18. Schleifmodul nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Sicherungselement eine Nutmutter (15) ist, die auf einem am freien Spindelende befindlichen Gewinde sitzt.
19. Schleifmodul nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Sicherungselement ein Spannsatz ist.
20. Schleifmodul nach einem der Ansprüche 14 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Distanzringe (10) jeweils an dem bei der Montage vorher aufgeschobenen Distanzring (10) mit Hilfe von Schrauben (6) befestigt sind, wobei der erste Distanzring (10) am Endanschlag (2) der Spindel (1) aufgeschraubt ist.
21. Schleifmodul nach einem der Ansprüche 14 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen den Distanzringen (10) und der Spindel (1) eine Preßverbindung besteht.
22. Schleifmodul nach einem der Ansprüche 14 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwischen den Distanzringen (10) und den Schleifscheiben (7) eine Klebeverbindung besteht, wobei sich das Klebemittel zwischen den sich im Eingriff befindlichen Kontaktflächen, den Stirnseiten der Schleifscheiben (4) und den Stirnseiten der Distanzringe (10) sowie den Flanken (12) der Absätze (11) der Distanzringe (10) zur axialen Aufnahme der Schleifscheiben, befindet. 25
30
23. Schleifmodul nach einem der Ansprüche 14 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Distanzringe (10) aus Zerodur gefertigt sind.
24. Schleifmodul nach einem der Ansprüche 14 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Distanzringe (10) aus Keramik gefertigt sind.
25. Schleifmodul nach einem der Ansprüche 14 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Distanzringe (10) aus Glaskeramik gefertigt sind.
26. Schleifmodul nach einem der Ansprüche 14 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Distanzringe (10) aus einer Eisenlegierung gefertigt sind.
27. Schleifmodul nach einem der Ansprüche 14 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Distanzringe (10) aus einem Kunststoff oder aus Graphit gefertigt sind.
28. Schleifmodul nach einem der Ansprüche 14 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Distanzringe aus NE-Metall gefertigt sind.

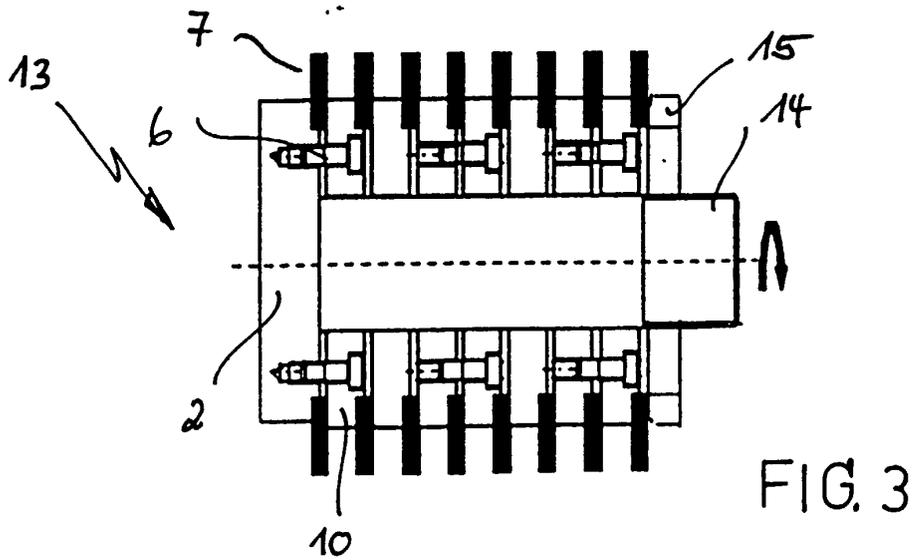
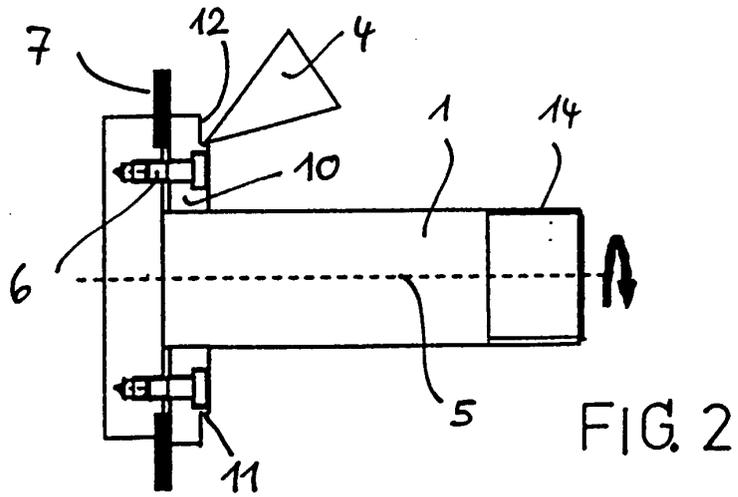
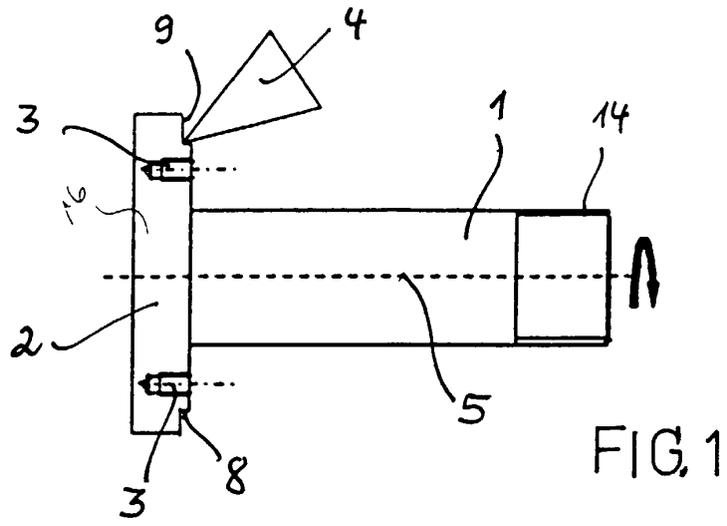


FIG. 4

