



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 678 116 A5

⑤① Int. Cl.⁵: G 02 B 21/18

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENT SCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 1450/89

㉔ Anmeldungsdatum: 17.04.1989

㉔ Patent erteilt: 31.07.1991

㉔ Patentschrift
veröffentlicht: 31.07.1991

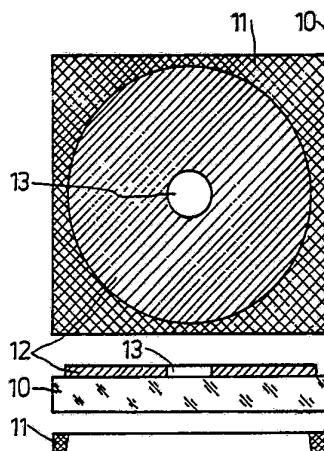
㉔ Inhaber:
VEB Carl Zeiss Jena, Jena (DD)

㉔ Erfinder:
Ludwig, Manfred, Dr. rer. nat., Jena (DD)

㉔ Vertreter:
Bovard AG, Bern 25

⑤④ **Mikroskop insbesondere für Operationszwecke.**

⑤⑦ Die Multiaperturblende weist eine Tiefenbild-Blendenöffnung (13) und eine Arbeitsebenen-Blendenöffnung (12) auf. Die Tiefenbild-Blendenöffnung (13) wirkt als eine Aperturblende mit geringer Öffnung und erzeugt ein Bild, bei dem relativ grobe Objektstrukturen, wie sie in der praktischen Anwendung durch Operationsinstrumente und Operationshilfsmittel sowie durch die Finger des Operateurs gegeben sind, in relativ grosser Tiefenausdehnung wiedergegeben werden. Dieses Bild ist auf Grund der geringen Apertur der Tiefenbild-Blendenöffnung und der damit geringeren Lichtstärke von geringer Helligkeit im Vergleich zu dem Bild, welches von der Arbeitsebenen-Blendenöffnung (12) erzeugt wird. Dabei wird die maximale Apertur durch den Durchmesser der festen Blende realisiert. Das so erzeugte Bild zeichnet sich auf Grund der grossen wirksamen Apertur durch hohen Kontrast und Detailreichtum aus.



Beschreibung

Das Mikroskop ist sowohl für Operationszwecke als auch allgemein in der Mikroskopie anwendbar, speziell bei bestehender Forderung nach relativ hohem Auflösungsvermögen bei grosser Tiefenschärfe und gleichzeitiger Bildhelligkeit.

Bekannte stereoskopische Operationsmikroskope weisen im Strahlengang nach dem Objektiv für jeden Teilstrahlengang einen Vergrösserungswechsler auf, der als Gallei-Fernrohr oder als Zoom-System ausgebildet sein kann. Danach folgen im Strahlengang Tubusobjektive, Umkehrprismen und Okulare. Entscheidend für Auflösungsvermögen, Lichtstärke und Tiefenschärfe des Gesamtsystems ist die Aperturblende, welche jeweils im Vergrösserungswechsler realisiert ist. Dabei sind hohe Lichtstärke und hohes Auflösungsvermögen einerseits mit geringer Tiefenschärfe andererseits verbunden. Andererseits bedingt hohe Tiefenschärfe ein geringes Auflösungsvermögen und geringe Lichtstärke. Bei den in den bekannten technischen Lösungen eingegangenen Kompromissen bleibt im Hinblick auf Fotodokumentation und Einsatz von Videotechnik die Forderung nach erhöhter Lichtstärke, verbessertem Auflösungsvermögen und verbesserter Kontrastwiedergabe in der Ebene des Operationsfeldes sowie nach Tiefenorientierung im Operationsraum, sicherer Positionierung und Führung der Operationsinstrumente, d.h. nach grösserer Tiefenschärfe, bestehen.

Ziel der Erfindung ist eine Erhöhung des Gebrauchswertes bei der mikroskopischen Beobachtung bezüglich der genannten Komponenten.

Aufgabe der Erfindung ist es, die Forderungen nach hoher Auflösung, hoher Lichtstärke zu erfüllen, d.h. die Relation der genannten Komponenten zu verbessern. Die Aufgabe wird erfindungsgemäss bei einem Mikroskop insbesondere für Operationszwecke dadurch gelöst, dass in mindestens einem Strahlengang eine Aperturblende vorgesehen ist, die aus mindestens zwei simultan wirksamen, konzentrischen Bereichen besteht, wobei die Bereiche der Aperturblende unterschiedliche Transmissionseigenschaften aufweisen. Eine komplementäre, vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, dass am Ort der Aperturblende über Strahlenteiler ein Strahlenbündel aus der Achse ausgespiegelt wird, mit diesem Bündel über ein Objektiv ein Bild auf dem Eingang eines Lichtverstärkers entworfen wird, und das auf der Ausgangsseite des Lichtverstärkers entstehende Bild in den Mikroskopstrahlengang vor einem Tubusobjektiv eingespiegelt wird.

Durch die Verwendung der Aperturblenden, deren Bereiche simultan wirken, erzeugt die engste Blendenöffnung ein lichtschwaches Bild grosser Tiefenschärfe und geringer Auflösung, die grösste Blendenöffnung ein lichtstarkes Bild hoher Auflösung und geringer Tiefenschärfe. Beide Bilder überlagern sich und werden gleichzeitig betrachtet.

Erfindungsgedanke und Funktion von Ausführungsbeispielen eines erfindungsgemässen Mikroskops, bzw. des damit möglichen mikroskopischen Beobachtungsverfahrens werden nachstehend an-

hand von schematischen Darstellung erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 schematische Darstellung eines Operationsmikroskopes;

Fig. 2 graphische Darstellung der Modulationsübertragungsfunktion;

Fig. 3 graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen optischer Tiefenschärfe, Lichtstärke, Apertur und Aperturblendendurchmesser;

Fig. 4 erfindungsgemässe Aperturblende;

Fig. 5 Einbaubeispiel für die erfindungsgemässe Aperturblende;

Fig. 6 besondere Ausführungsform einer erfindungsgemässen Aperturblende;

Fig. 7 Einbaubeispiel, seitliche Ansicht;

Fig. 8 Einbaubeispiel, Draufsicht;

Fig. 9 eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemässen Mikroskops.

Die Bezugszeichen in Fig. 1 haben folgende Bedeutung: 1 ist das Objekt, 2 ist ein Objektiv, 3 und 3' sind zwei optische Systeme zur Veränderung der Vergrösserung des Operationsmikroskops, 4, 4' sind zwei feststehende Blenden herkömmlicher Art, die als Aperturblende maximaler Öffnung wirken und die vorteilhaft an den beobachterseitigen Ausgang der Systeme 3, 3' gelegt sind. 5, 5' sind zwei erfindungsgemässe Aperturblenden, ihrer Funktion wegen im weiteren als Multiaperturblenden bezeichnet, 6, 6' sind Tubusobjektive, 7, 7' Umkehrprismen und 8, 8' sind Okulare.

Fig. 2 stellt den Verlauf der Modulationsübertragungsfunktion (MÜF) graphisch dar. Die MÜF charakterisiert die Leistungsfähigkeit des optischen Systems und stellt ein Gütemass für die Übertragungseigenschaften dar. Auf der Abszisse ist die Linienfrequenz eines gitterartigen Testobjektes vom Kontrast $K = 1$ und als Ordinate der Kontrast des mit einem optimal korrigierten optischen System erzeugten Bildes dieses Objektes mit der Apertur als Parameter aufgetragen. Die Gerade (a) charakterisiert ein optisches System mit grosser Apertur, die Gerade (c) ein System mit geringer Apertur und die Gerade (b) ein System mit dazwischenliegendem Aperturwert.

Fig. 3 stellt den allgemeinen Zusammenhang zwischen Tiefenschärfe TS, numerischer Apertur NA und Durchmesser der Aperturblende DB graphisch dar.

In Fig. 4 (a, b) ist eine erfindungsgemässe Multiaperturblende dargestellt. Die Bezugszeichen bedeuten 10 – eine Trägerplatte aus Glas, 12 – eine teildurchlässige Schicht, vorzugsweise eine aufgedampfte Chromschicht, wegen der Funktion im weiteren als Arbeitsebenen-Blendenöffnung bezeichnet, 13 ist ein zentraler, kreisrunder, aus der teildurchlässigen Schicht ausgesparter Bereich, der wegen seiner Funktion im weiteren als Tiefenbild-Blendenöffnung bezeichnet wird.

Fig. 5 a und b zeigt die Einbauposition der Multiaperturblende in Beziehung zu einer festen Aperturblende 11, entsprechend 4 in Fig. 1 in einem stereoskopischen Operationsmikroskop. Fig. 6 (a, b) zeigt eine vorteilhafte Ausführungsform von Mul-

tiaperturblenden für ein stereoskopisches Mikroskop. In Fig. 6 bedeuten 14 – eine kreisrunde Trägerplatte aus Glas, 20 ist eine senkrecht durch die Trägerplatte gehend gedachte Drehachse dieser Platte, 15 ist eine teildurchlässige Schicht, vorzugsweise eine aufgedampfte Chromschicht, 16, 16' und 16'', 16''' sind Tiefenbild-Blendenöffnungen, paarweise mit unterschiedlichen Öffnungsdurchmessern, 18 ist eine ringförmige metallische Fassung der Trägerplatte 14. Die Fassung 18 weist Raststellen 19 auf, welche die Lage der Tiefenbild-Blendenöffnungen zur Drehachse 20 fixieren, 17 ist eine Führungsnut in der Fassung 18. Fig. 7 zeigt im Querschnitt die Einbauposition dieser Ausführungsform von Multiaperturblenden für ein Stereomikroskop. In Fig. 7 bedeuten 9 – der Mikroskopkörper mit dem Objektiv 2 und den Vergrößerungswechslern 3, 3', 4, 4' die festen Aperturblenden maximaler Öffnung, 14 die Trägerglasplatte mit der teildurchlässigen Schicht 15 und den Tiefenbild-Blendenöffnungen 16, 16', 16'', 16'''. 18 ist die ringförmige Fassung der Multiaperturblende und 20 ist die gedachte Drehachse, welche mit der optischen Achse des Objektivs 2 zusammenfällt. In Fig. 8 ist das Einbaubeispiel von Fig. 7 in der Schnittebene A-A' dargestellt. Die Bezugszeichen bedeuten 16, 16' Tiefenbild-Blendenöffnung in Arbeitsstellung, 15 – teildurchlässige Schicht (einfach schraffiert), welche die Arbeitsebenen-Blendenöffnung realisiert, 9' – Deckplatte des Mikroskopkörpers 9, durch welche die Aperturblenden maximaler Öffnung 4, 4' gebildet werden kreuzweise schraffiert, 16'', 16''' Tiefenbild-Blendenöffnung ausser Arbeitsstellung, 18 Fassungsring, 19 Raststellen und 19' – federnde Rastung. Bei der Beobachtung mit dem in Fig. 1 dargestellten Stereomikroskop befindet sich das Objekt 1 in der Brennebene des Objektivs 2. In den beiden stereoskopischen Strahlengängen befindliche Fernrohrsysteme entwerfen Bilder im Unendlichen, die mit dem Einblicksystem, bestehend aus Tubusobjektiven 6, 6', Umkehrprismen 7, 7' und Okularen 8, 8' stereoskopisch beobachtet werden. Zwischen dem Ausgang der Fernrohrsysteme 3, 3' und den Tubusobjektiven 6, 6' gelegene Blenden 4, 4' bestimmen die Apertur des Gesamtsystems. Die Apertur des Gesamtsystems beeinflusst dessen optische Eigenschaften in der in Fig. 2 mittels der MÜF dargestellten Weise. Insbesondere ist bei grosser Apertur Auflösungsvermögen und Kontrastwiedergabe höher (Gerade a) als bei geringer Apertur (Gerade c). Die Gerade (b) repräsentiert einen dazwischen liegenden Wert, wie er bei den dem Stand der Technik entsprechenden Operationsmikroskopen benutzt wird. Aus Fig. 3 ist zu entnehmen, wie numerisch Apertur NA, Lichtstärke LS und Tiefenschärfe TS vom Durchmesser DB der maximalen Aperturblende im praktisch wichtigen Bereich abhängen. Mit wachsendem Blendendurchmesser nehmen numerische Apertur NA und Lichtstärke LS zu. Das bedeutet nach Fig. 2 eine Verbesserung von Auflösungsvermögen und Kontrastübertragung (Gerade a), damit verbunden ist eine Abnahme der Tiefenschärfe TS. Praktisch erwünscht sind einerseits hohes Auflösungsvermögen und hohe Kontrastwiedergabe sowie grosse Lichtstärke LS in der

Arbeitsebene und andererseits hohe Tiefenschärfe TS. Dabei dient die hohe Tiefenschärfe der Orientierung im Raum vor und hinter der Arbeitsebene und insbesondere der sicheren Positionierung und Führung der Operationsinstrumente und erfordert deshalb geringeres Auflösungsvermögen und geringere Bildhelligkeit als für die Arbeitsebene verlangt werden muss. Fig. 4 zeigt eine erfindungsgemässe Multiaperturblende, die ein mikroskopisches Beobachtungs- und Aufnahmeverfahren gestattet, welches die beschriebenen Forderungen und Funktionen gleichzeitig erfüllt. Dabei wird die erwünschte hohe Tiefenschärfe durch die Tiefenbild-Blendenöffnung (13 in Fig. 4 und 5 sowie 16, 16' und 16'', 16''' in Fig. 6, 7 und 8) realisiert und die erwünschte hohe Apertur durch die Wirksamkeit der Öffnung der Blenden 4, 4' mit der maximal möglichen Apertur.

Dabei setzt die teildurchlässige Schicht 12 die Bildhelligkeit entsprechend dem Transmissionsfaktor dieser Schicht herab, was wiederum dadurch ausgeglichen wird, dass aufgrund der grösseren Apertur die Lichtstärke des Gesamtsystems grösser sein kann, als sie es bisher unter der Nebenbedingung ausreichender Tiefenschärfe sein konnte. Fig. 5 zeigt eine erfindungsgemässe Multiaperturblende mit der Tiefenbild-Blendenöffnung 13 und der Arbeitsebenen-Blendenöffnung 12 eingebaut und im Zusammenwirken mit einer festen Aperturblende 4. Die Tiefenbild-Blendenöffnung 13 wirkt als eine Aperturblende mit geringer Öffnung und erzeugt ein Bild, bei dem relativ grobe Objektstrukturen, wie sie in der praktischen Anwendung durch Operationsinstrumente und Operationshilfsmittel sowie durch die Finger des Operators gegeben sind, in relativ grosser Tiefenausdehnung wiedergegeben werden. Dieses Bild ist aufgrund der geringen Apertur der Tiefenbild-Blendenöffnung und der damit geringeren Lichtstärke von geringer Helligkeit im Vergleich zu dem Bild, welches von der Arbeitsebenen-Blendenöffnung 12 erzeugt wird. Dabei wird die maximale Apertur durch den Durchmesser der festen Blende 4 realisiert. Das so erzeugte Bild zeichnet sich aufgrund der grossen wirksamen Apertur durch hohen Kontrast und Detailreichtum aus (vgl. Fig. 2, MÜF, Gerade a). Aus der Relation von Transmissionswert T der teildurchlässigen Schicht, dem Durchmesser der Tiefenbild-Blendenöffnung DTB und dem Durchmesser der Arbeitsebenen-Blendenöffnung DAB lässt sich das Verhältnis der Helligkeitseindrücke von beiden Bildanteilen nach Wunsch variieren. Als Dimensionierungsbeispiel wird $T = 60\%$, $DTB = 3 \text{ mm}$, $DAB = 16 \text{ mm}$ gegeben.

Fig. 6 zeigt eine vorteilhafte Ausführungsform der Multiaperturblende für Stereomikroskope. Die mit der teildurchlässigen Schicht beschichtete kreisrunde Trägerglasplatte 14 ist in einer Metallfassung 18 gefasst. Der Durchmesser der Platte 14 erlaubt, mit unterschiedlichen Öffnungsdurchmessern herzustellen. Die Fassung ist mit einer Ringnut 22 zur Führung und mit Rastpunkten 19 versehen. Fig. 7 zeigt ein Einbaubeispiel für die Ausführungsform gemäss Fig. 6 in einer seitlichen Ansicht. Die Drehachse 20 der Multiaperturblende in Fig. 7 erlaubt es, Tiefenbild-Blenden verschiedenen Durch-

messers paarweise in den Strahlengang einzuschalten, um wahlweise verschiedene Relationen von Tiefenschärfe und Bildhelligkeit des Tiefenbildes zu realisieren. Dabei sichern die Rasten 19 die Koaxialität der Blendenlage zu den Achsen der beiden stereoskopischen Strahlengänge. Fig. 8 zeigt die Draufsicht auf die Anordnung gemäss Fig. 7 im Schnitt A-A' wobei die bequeme Umschaltbarkeit der Tiefenbild-Blendenpaare deutlich wird. Die Ausführungsform der Multiaperturblenden gemäss Fig. 6, 7 und 8 zeichnet sich durch einen weiteren Vorteil aus: Beim Umschalten der Blendenpaare verschwindet das Bild nicht, wie es bei einer opaken Scheibe mit verschiedenen Blendenöffnungen der Fall wäre, Irisblenden lassen sich bei der durch die vorgegebene Maximalapertur bestimmten Geometrie nicht verwirklichen. In einer möglichen Weiterbildung der erfindungsgemässen Multiaperturblende, die besonders vorteilhaft bei der Untersuchung von Objekten mit selektiven spektralen Eigenschaften ist (Remission, Fluoreszenz) kann die teildurchlässige Schicht als Interferenzfilter ausgeführt sein.

In einer anderen Ausführungsform der erfindungsgemässen Multiaperturblende wird das Helligkeitsverhältnis von Tiefenbild und Arbeitsebenen-Bild kontinuierlich geregelt. Bei dieser Ausführungsform besteht die Multiaperturblende aus einer polarisierenden Schicht (Polarisationsfolie), und die Transmission der Arbeitsebenen-Blendenöffnung wird durch Verdrehung eines Analysators variiert.

In einer Weiterentwicklung des Erfindungsgedankens wird es ermöglicht, den beabsichtigten Effekt zu erzielen, ohne die Helligkeit des mit Maximalapertur gewonnenen Bildes durch eine teildurchlässige Schicht merklich einzuschränken. Fig. 9 zeigt eine Ausführungsform besagter Weiterentwicklung. In Fig. 9 bedeuten 1-Objekt, 2-Objektiv, 3, 3'-Systeme zum Vergrösserungswechsel, 6-Tubusobjektiv, 7-Umkehrprisma, 8-Okular, 22 ist ein aus zwei Prismen zusammengesetzter Strahlenteiler, 23 ist eine teildurchlässige Spiegelschicht von elliptischer Gestalt, koaxial zum Strahlengang durch 3 und 4. 24 ist ein Spiegel, 25 ist ein Objektiv, 26 ist ein elektronischer Bildverstärker, 27 ist eine Abbildungsoptik, 28 ein Spiegel. 29 ist ein Strahlenteilerprisma mit einer Teilverspiegelung geringen Reflexionsvermögens. Das Objekt 1 wird mit dem Objektiv 2 nach Unendlich abgebildet. Für das System zum Vergrösserungswechsel 3 ist die Blende 4 maximale Aperturblende. Über die elliptische teildurchlässige Schicht 22 wird ein Teil des axialen Strahlenbündels ausgespiegelt. Dabei wirkt der Durchmesser der Projektion senkrecht zur optischen Achse als Durchmesser der Tiefenbild-Blende. Über den Spiegel 24 wird mit dem Objektiv 25 das Bild mit hoher Tiefenschärfe und geringer Auflösung auf den Eingang des Bildverstärker-Systems 26 entworfen. Das Objektiv 27 entwirft über den Spiegel 28 und den teildurchlässigen Spiegel 30 ein Bild des Ausgangs des Bildverstärkers 26 im Unendlichen, welches zusammen mit dem mit Maximalapertur 4 erzeugten Bild über das Tubusobjektiv 6, Umkehrprisma 7 und Okular 8 beobachtet wird. Das auf dem Eingang des Bildverstärkers erzeugte Bild ist we-

gen der geringen wirksamen Apertur (Durchmesser der Projektion des Spiegels 23 beispielsweise 3 mm, Reflexionsvermögen beispielsweise 30%) von geringer Helligkeit. Dieser Mangel wird durch den elektronischen Bildverstärker 26 ausgeglichen, so dass das über den teildurchlässigen Spiegel 30 (Reflexionsvermögen maximal für den Spektralbereich der Leuchtstoffschicht des Ausgangs vom Bildverstärker 26, und beispielsweise bei 10% liegend) zu beobachtende Tiefenbild neben dem Hellen, mit grosser Apertur erzeugten Arbeitsebenen-Bild gut beobachtbar ist.

Patentansprüche

1. Mikroskop, insbesondere für Operationszwecke, dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens einem Strahlengang eine Aperturblende vorgesehen ist, die aus mindestens zwei simultan wirksamen, konzentrischen Bereichen besteht, wobei die Bereiche der Aperturblende unterschiedliche Transmissionseigenschaften aufweisen.

2. Mikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass am Ort der Aperturblende über Strahlenteiler ein Strahlenbündel aus der Achse ausgespiegelt wird, mit diesem Bündel über ein Objektiv ein Bild auf dem Eingang eines Lichtverstärkers entworfen wird, und das auf der Ausgangsseite des Lichtverstärkers entstehende Bild in den Mikroskopstrahlengang vor einem Tubusobjektiv eingespiegelt wird.

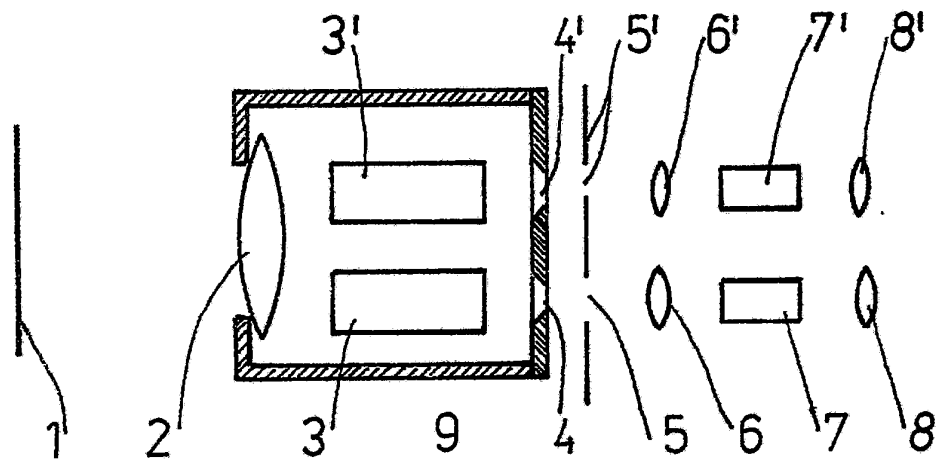


Fig. 1

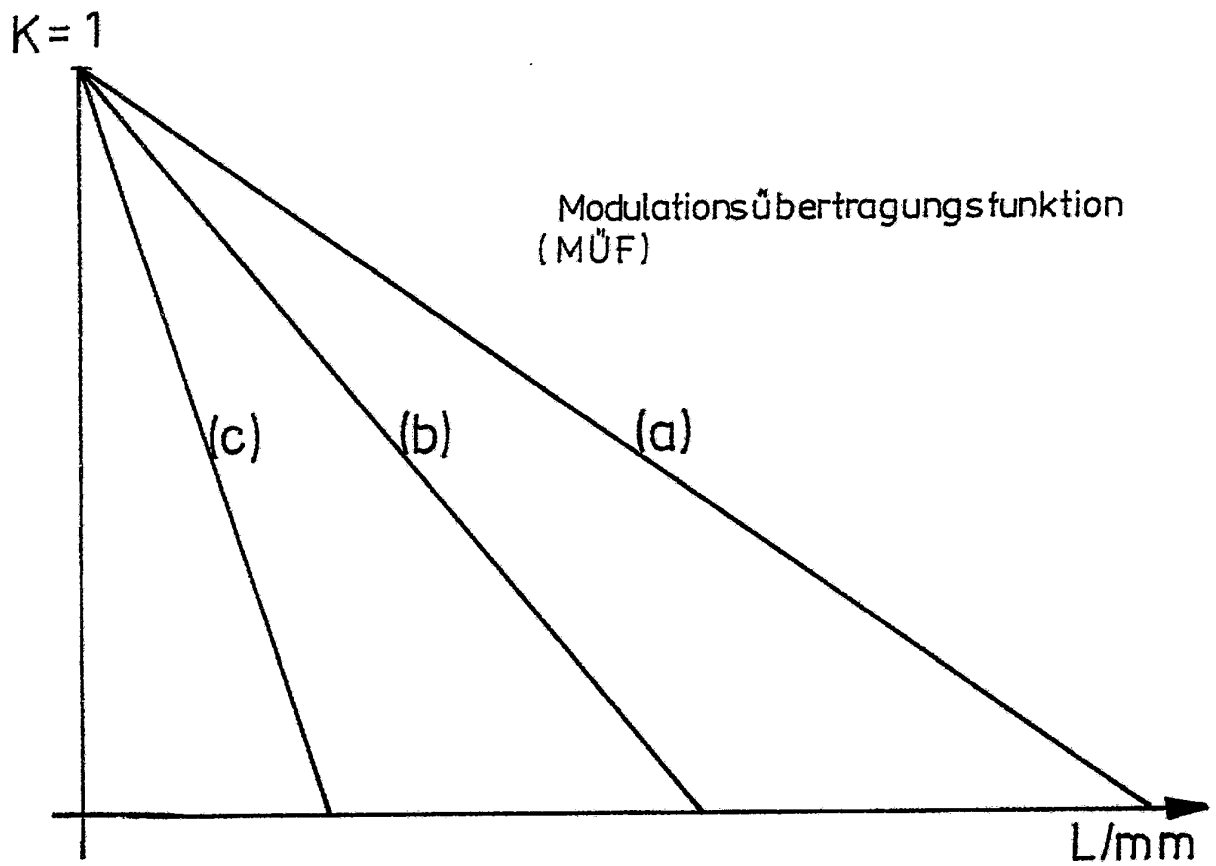


Fig. 2

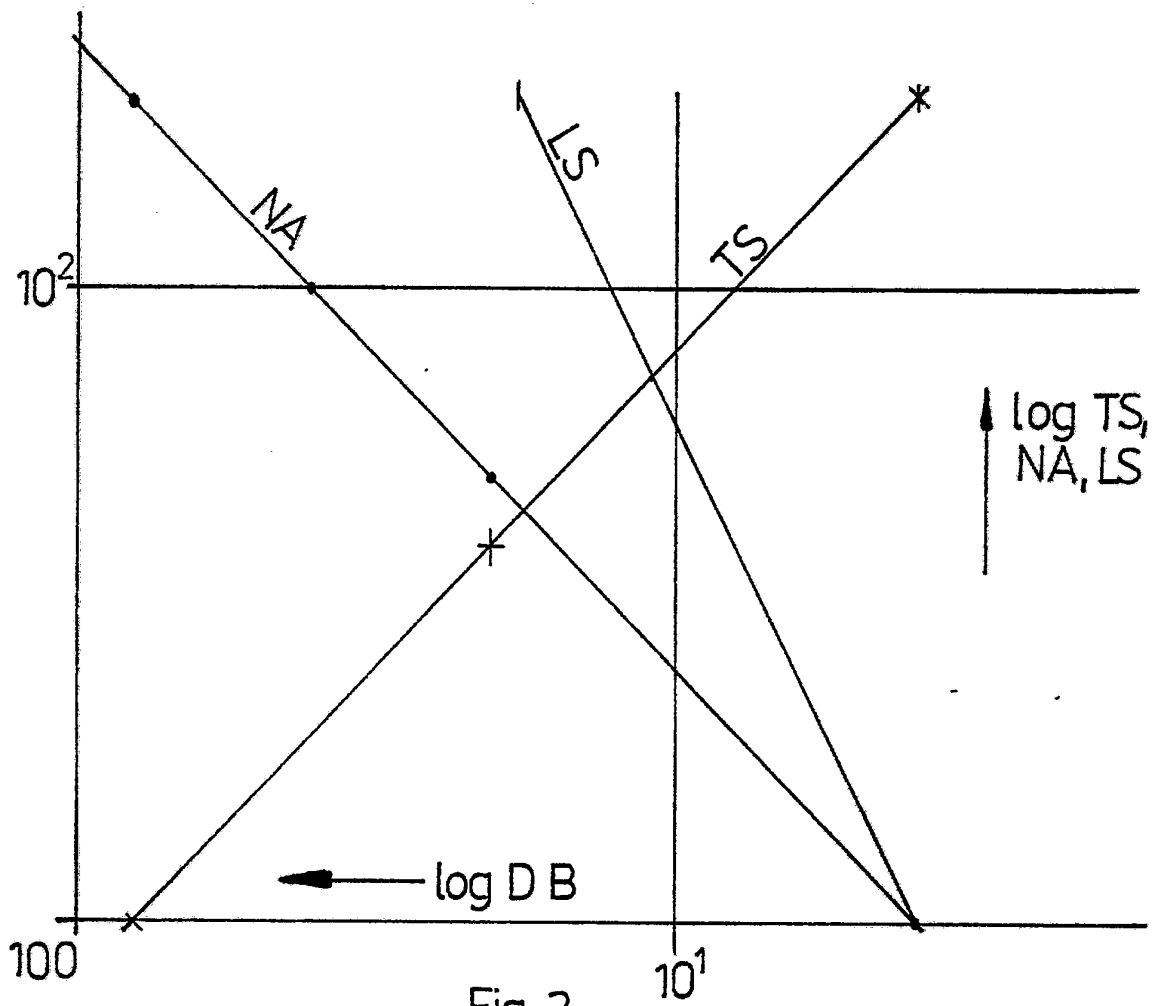


Fig. 3

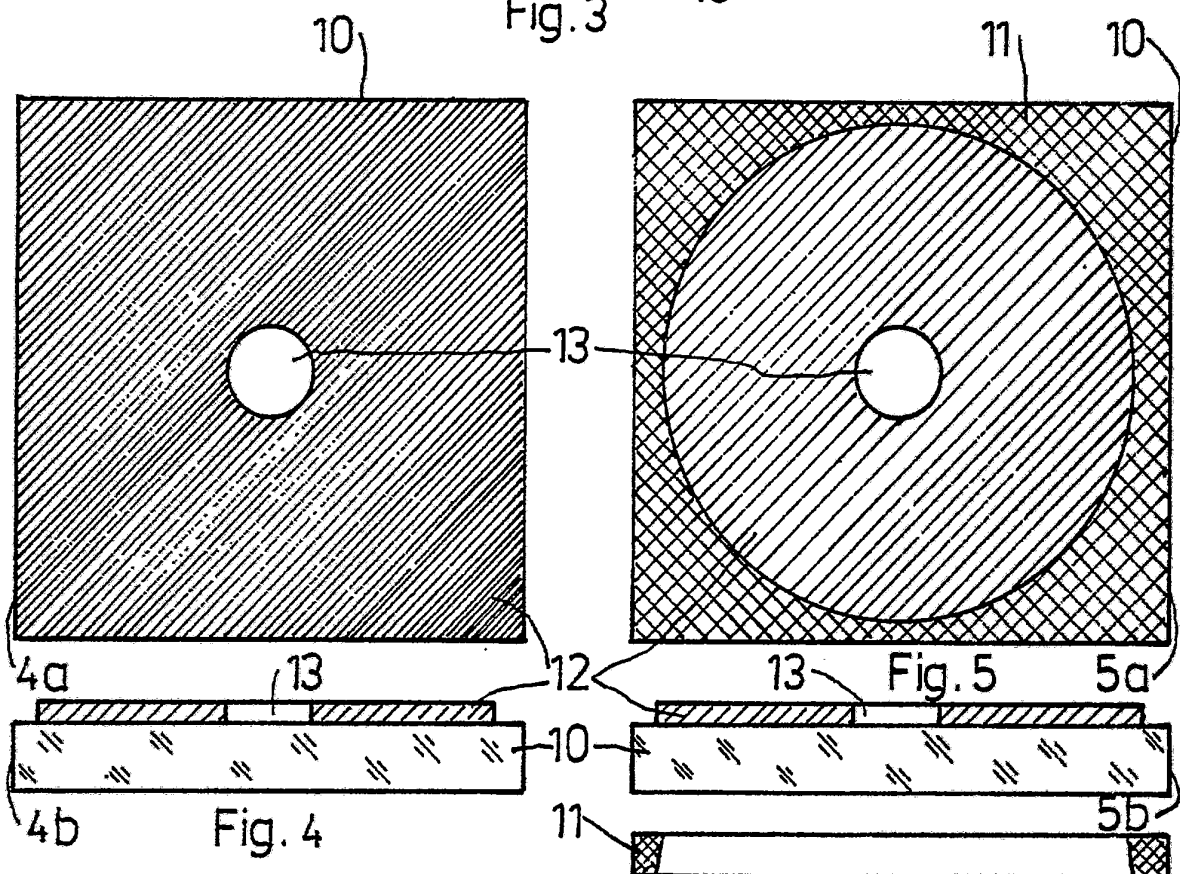


Fig. 4

Fig. 5

