



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 036 469 A1** 2006.02.16

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 036 469.9**

(22) Anmeldetag: **28.07.2004**

(43) Offenlegungstag: **16.02.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01L 27/146** (2006.01)

**H01L 31/0232** (2006.01)

**H04N 5/335** (2006.01)

**H04N 5/225** (2006.01)

**G03B 17/00** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80686 München,  
DE; Fresnel Optics GmbH, 99510 Apolda, DE**

(74) Vertreter:

**PFENNING MEINIG & PARTNER GbR, 80339  
München**

(72) Erfinder:

**Duparré, Jacques, Dipl.-Phys., 07745 Jena, DE;  
Dannberg, Peter, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 07745  
Jena, DE; Schreiber, Peter, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.,  
07749 Jena, DE; Bitzer, Martin, Dipl.-Ing., 99510  
Apolda, DE; Bräuer, Andreas, Dipl.-Phys. Dr.,  
07646 Schlöben, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 299 11 047 U1**

**DE 696 27 088 T2**

**EP 14 14 068 A2**

**WO 04/0 27 880 A2**

**WO 02/0 65 751**

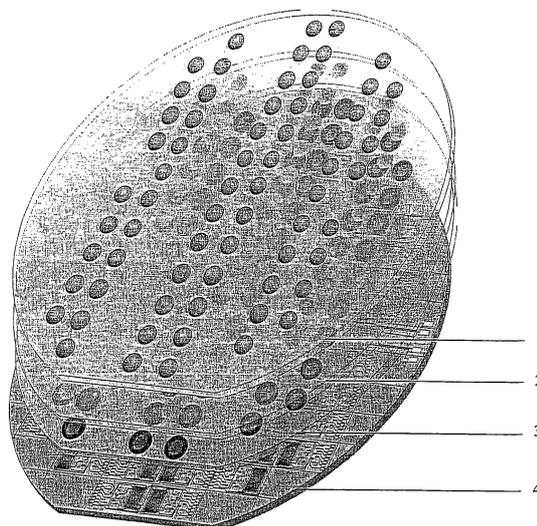
**JP 2002-1 39 662 A**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Kameramodul, hierauf basierendes Array und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft die Entwicklung kostengünstiger Kameramodule mit darin enthaltenen Objektiven mit minimaler Baulänge und hervorragenden optischen Eigenschaften. Hierdurch wird ermöglicht, dass derartige Kameramodule in Mobiltelefonen oder Kleincomputern, wie PDAs (Personal Digital Assistant) eingesetzt werden können.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft die Entwicklung kostengünstiger Kameramodule mit darin enthaltenen Objektiven mit minimaler Baulänge und hervorragenden optischen Eigenschaften. Hierdurch wird ermöglicht, dass derartige Kameramodule in Mobiltelefonen oder Kleincomputern, wie PDAs (Personal Digital Assistant) eingesetzt werden können.

**[0002]** Von den Herstellern von Mobiltelefonen und tragbaren Minicomputern wird zunehmend die Verkleinerung einzusetzender Digitalkameras gefordert. Um die Miniaturisierung der Elektronik nicht aufzuhalten, müssen dementsprechend die abbildenden Optiken immer kürzere Ausmaße aufweisen. Somit ist es wünschenswert, für gegebenes Gesichtsfeld und Bildfeld die minimal mögliche Baulänge bei gleichbleibender optischer Abbildungsqualität zu erreichen.

**[0003]** Bei aus dem Stand der Technik bekannten Montagevarianten werden derzeit die Komponenten der Optiken einzeln gefertigt, zu Objektiven zusammengefügt und einzeln relativ zu den bildgebenden Optoelektroniken, z.B. CCD- oder CMOS-Matrizen, positioniert. Dies ist ein hoher Montageaufwand, der zu hohen Kosten und nicht reproduzierbaren Dejustierungen und damit Ausschuss führt.

## Stand der Technik

**[0004]** Die US 4,348,081 beschreibt ein Projektionsobjektiv für das Schirmbild einer Kathodenstrahlröhre, wobei das Objektiv ein zur Korrektur blendenabhängiger Abberation dienendes Element, ein bikonvexes Element und ein als Bildfeldebener dienendes Element aufweist. Eine Miniaturisierung ist in diesem Fall jedoch nicht gegeben, da im Bereich der Kathodenstrahlröhren dies kein wesentliches Erfordernis darstellt.

## Aufgabenstellung

**[0005]** Ausgehend hiervon war es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Kameramodul mit einem miniaturisierten Objektiv bereitzustellen, das im Wafermaßstab herstellbar ist und so den Montagewand und die Herstellungskosten für die Kameramodule erheblich reduziert.

**[0006]** Diese Aufgabe wird durch das Kameramodul mit den Merkmalen des Anspruchs 1, das Array aus derartigen Kameramodulen mit den Merkmalen des Anspruchs 20 sowie das Verfahren zur Herstellung eines Kameramoduls mit den Merkmalen des Anspruchs 22 gelöst. Die Verwendung der erfindungsgemäßen Kameramodule wird in Anspruch 32 beschrieben. Die weiteren abhängigen Ansprüche zeigen vorteilhafte Weiterbildungen auf.

**[0007]** Erfindungsgemäß wird ein Kameramodul aus einem miniaturisierten Objektiv mit einer Trägerstruktur mit gesichtsfeldseitig angeordnetem IR-Sperrfilter, mindestens einer asphärischen optischen Linseplatte aus einem polymeren Werkstoff sowie einer von der Trägerstruktur bildfeldseitig angeordneten bildgebenden Optoelektronik bereitgestellt.

**[0008]** Diese Erfindung bringt den Vorteil mit sich, dass mikrooptische Technologien, wie UV-Replikation oder Heißprägen in Plastik, welche die hochgenaue und kostengünstige Herstellung vieler gleichartiger optischer Elemente parallel auf einem Substrat ermöglichen, eingesetzt werden können. Prägwerkzeuge werden durch galvanische Abformung von Präzisions-Diamantgedrehten Masterstrukturen generiert. Die Montage der zum Aufbau hochwertiger Objektive der nötigen mehreren optischen Komponenten geschieht im Wafer-Maßstab. Durch die Montage im Wafer-Maßstab wird es erstmals finanziell sinnvoll, mehr als zwei optische Elemente für derartige Objektive einzusetzen. Durch die vorliegende Erfindung kann so verglichen mit auf der klassischen Weise hergestellten Objektiven eine herausragende optische Qualität der optischen Abbildung erreicht werden, die gleichzeitig mit geringeren Kosten verbunden ist.

**[0009]** Als bildgebende Optoelektronik wird vorzugsweise ein CMOS-Sensor eingesetzt, der abgedünnt und rückseitig beleuchtet ist. Hierdurch muss das Objektiv nicht zwingend telezentrisch arbeiten. Durch die Anpassung des Objektivdesigns an einen CMOS-Sensor entstehen neue Design-Freiheitsgrade, welche eine drastische Verkürzung der Optiken ermöglichen. Hohe Einfallswinkel auf den bildgebenden Sensor, d.h. bildseitiger Hauptstrahlwinkel, sind bei Nutzung abgedünnter und durch die Rückseite beleuchteter CMOS-Sensoren nicht problematisch, da hier weniger Abschattungseffekte der aktiven Pixel durch Leiterbahnen und Elektrodenstrukturen auftreten bzw. sich die dünnen Farbfilter sehr nahe vor den aktiven Pixelgebieten befinden und so ein geringes Risiko für Farb-Übersprechen besteht. Der Verzicht auf bildseitige Telezentrie erlaubt, verglichen mit

üblichen Objektiven, einen unkonventionellen Strahlengang und damit alleine aufgrund der Geometrie eine deutliche Reduktion der Systemlänge.

**[0010]** Als bildgebende Optoelektronik kann vorzugsweise auch ein CCD-Sensor im Kameramodul enthalten sein.

**[0011]** Hinsichtlich der Linsenplatte müssen diese an eine Wafer-Maßstabmontage angepasst sein, d.h. es dürfen keine extremen Menisken eingesetzt werden. Die Kanten- und Zentrumsdicken der Linsen müssen in für das Heißprägen vertretbaren Größenordnungen eingestellt werden. In einer bevorzugten Variante besitzen die einzelnen Linsenplatten eine plankonvexe und/oder plankonkave Oberfläche. Dies vereinfacht die Herstellung der einzelnen Linsenplatten. Im allgemeinen kann jedoch auch von bikonkaven und/oder bikonvexen oder konvexkonkaven bzw. konkavkonvexen Linsenplatten ausgegangen werden, um Anforderungen des Optikdesigns und der Baulänge gerecht zu werden. Dadurch erhöht sich jedoch der Montageaufwand der vorder- und rückseitigen Werkzeuge.

**[0012]** Als Polymermaterialien für die Herstellung der Linsenplatten kommen Polymethylmetacrylat (PMMA), Polycarbonat, Polystyrol, Cycloolefin-Polymer (COP), Cycloolefin-Copolymer (COC) oder andere Polymeren auf Polycycloolefin-Basis, zum Beispiel Zeonex, bevorzugt zur Anwendung. So zeichnet sich PMMA durch seine geringe Dispersion aus, auf der anderen Seite ist es thermisch oder hinsichtlich Luftfeuchtigkeit nicht sehr stabil. Polycarbonat hingegen ist hoch dispersiv, dahingegen mechanisch, thermisch und hinsichtlich der Luftfeuchtigkeit sehr stabil. Für eine Achromatisierung bieten sich Kombinationen von kron- bzw. schwerflintartigen Polymeren an.

**[0013]** In einer bevorzugten Variante weist das Objektiv mindestens zwei Linsenplatten auf. Dabei ist es besonders bevorzugt, dass die mindestens zwei Linsenplatten unterschiedliche Dispersionscharakteristika aufweisen und damit die Achromatisierung des Objektivs einstellbar ist.

**[0014]** Weiterhin ist es bevorzugt, dass zwischen zwei Linsenplatten ein abstandsdefinierendes Element in Form einer nicht-transparenten Polymerplatte mit einer die Systemapertur bildenden kegelförmigen Ausnehmung angeordnet ist. Diese fungiert so als Lichtschutztrichter zur Einschränkung des Gesichtsfeldes der Optik und damit zur Reduktion von Streulicht.

**[0015]** Vorzugsweise ist mindestens eine der Linsenplatten als Bildfeld ebendes Element ausgebildet, woraus eine deutlich verbesserte optische Abbildungsqualität über das gesamte Gesichtsfeld des Objektivs resultiert. Diese befindet sich direkt vor der Bildebene.

**[0016]** Der IR-Sperrfilter besteht bevorzugt aus einem dielektrischen Schichtsystem, das aus mechanisch-hermischen Gründen vorzuziehen ist. Der IR-Sperrfilter kann dabei so ausgelegt sein, dass selbst für ein großes Spektrum von Einfallswinkeln durch mangelnde Telezentrie der Abbildung die Funktion erfüllt ist. Auch dieser wird im Wafer-Maßstab hergestellt und an entsprechender Stelle in den Optik-Komponenten-Stapel eingebracht.

**[0017]** Ein spezielles Filterdesign ist erforderlich, um der großen Einfallswinkelbandbreite und dem Polymerwerkstoff der mindestens einen Linsenplatte als Superstrat Rechnung zu tragen und eine minimale Verschiebung der Bandkante abhängig zum Einfallswinkel zu erreichen.

**[0018]** Als Trägerstruktur für die bildfeldseitig angeordnete bildgebende Optoelektronik und den gesichtsfeldseitig angeordneten IR-Sperrfilter werden solche aus Quarzglas und/oder Pyrex bevorzugt. Diese bringen den Vorteil mit sich, dass sie die Erfordernisse der Herstellungs- und Bondingprozesse hinsichtlich eines großen Temperaturintervalls für die Verbindung des Sensors zum Träger erfüllen.

**[0019]** Das erfindungsgemäße Kameramodul ist so konzipiert, dass die Baulänge des Kameramoduls von der Bildebene bis zur ersten Oberfläche des Kameramoduls im Bereich von 1 mm bis 10 mm, besonders bevorzugt von 3 mm bis 5 mm liegt.

**[0020]** Erfindungsgemäß wird ebenso ein Array aus erfindungsgemäßen Kameramodulen bereitgestellt, bei dem eine Vielzahl von Kameramodulen auf einer einzigen Trägerstruktur angeordnet ist. Hierbei können von 2 bis mehrere tausend Kameramodule auf der Trägerstruktur angeordnet sein.

**[0021]** Ebenso wird erfindungsgemäß ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Kamera-

moduls bereitgestellt, bei dem im Wafermaßstab durch Heißprägung oder UV-Replikation eine Linsenplatten hergestellt wird. Weiterhin wird auf einer Trägerstruktur bildfeldseitig eine bildgebende Optoelektronik und gesichtsfeldseitig ein IR-Sperrfilter in Wafer-Technologie aufgebracht. Die Linsenplatte wird mit einem UV- oder thermisch härtbaren Klebstoff gesichtsfeldseitig mit dem IR-Sperrfilter verbunden und die einzelnen Kameramodule werden mittels Sägeblättern separiert.

**[0022]** Der Prozess der Separierung der einzelnen Kameramodule kann im Rahmen der Erfindung je nach Anwendung an verschiedenen Stellen der Prozesskette angesetzt werden. Höchste Integration wird erreicht, wenn auch die bildgebende Optoelektronik und die nötige Leiterplatte im Wafermaßstab mit dem Optikwafer verbunden werden und so die Vereinzelung erst nach der Montage aller für eine Digitalkamera nötigen Komponenten geschieht. Auf diese Weise ist eine Justierung der Elemente eines Moduls nicht modulweise, damit makroskopisch und nur mit begrenzter Genauigkeit durchführbar, sondern für eine große Gruppe von Modulen auf einem Wafer mit einem Justageschritt und lithographischer Genauigkeit durch so erzeugte Justierstrukturen auf den Wafers.

**[0023]** Vorzugsweise wird das abstanddefinierende Element durch Heißprägen, Spritzgießen oder Ausbohren aus einer nicht-transparenten Polymerplatte hergestellt.

**[0024]** Eine weitere bevorzugte Ausführungsvariante sieht vor, dass das abstanddefinierende Element mit einem UV- oder thermisch härtbaren Klebstoff mit der mindestens einen Linsenplatte verklebt wird.

**[0025]** Die Montage des Waferstapels kann unter Zuhilfenahme von Justierstrukturen auf den einzelnen Wafers durchgeführt werden. Hierdurch kann die Präzision bei der Herstellung deutlich erhöht werden, wobei gleichzeitig der Herstellungsaufwand durch gleichzeitige Justage vieler Kameramodule reduziert wird

**[0026]** Die erfindungsgemäßen Kameramodule finden insbesondere Anwendung bei der Herstellung von Mobiltelefonen oder tragbaren Minicomputern (personal digital assistant, PDA).

**[0027]** Im Folgenden wird eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Kameramoduls anhand dessen Aufbau beschrieben.

**[0028]** Die refraktiven, unter Umständen asphärischen, optischen Komponenten im Wafermaßstab bilden das abbildende optische System. Diese bestehen aus drei heißgeprägten Linsenplatten aus PMMA und einer Abstands- und Systemapertur definierenden, nicht-transparenten Polymerplatte mit kegelförmigen Löchern. Die optischen Komponenten sind dabei vorzugsweise selbstjustierend oder durch Justiermarken zueinander im Wafermaßstab alignierbar miteinander verbunden. Weiterhin weist das Kameramodul einen Träger aus Quarzglas oder Pyrex auf, an dessen Bildfeldseite die bildgebende Optoelektronik, z. B. ein CMOS-Sensor, angeordnet ist. Ein Träger aus Polymermaterial ist hier wenig vorteilhaft, da dessen thermischer Ausdehnungskoeffizient zu groß ist, um an dem des aus Silizium bestehenden CMOS-Sensors angepasst zu sein, was dessen Zerstörung zur Folge hätte. Weiterhin weist das erfindungsgemäße Kameramodul einen IR-Sperrfilter als dielektrisches Schichtsystem auf, das gesichtsfeldseitig auf die Trägerstruktur aufgebracht ist. Hierbei ist ein spezielles Filterdesign erforderlich, um der großen Einfallswinkelbandbreite und den Polymerwerkstoffen für die Linsenplatten als Substrat Rechnung zu tragen und eine minimale Verschiebung der Bandkante abhängig vom Einfallswinkel zu erreichen. Die Linsenformen müssen dabei an eine Wafermaßstab-Montage angepasst sein, d.h. extreme Menisken müssen vermieden werden. Die Kanten- und Zentrumsdicken der Linsen müssen in für das Heißprägen vertretbaren Größenordnungen eingestellt werden. Weiterhin ist es vorteilhaft, einen Scherpunkt beim Teilen des Optowafers entstehenden seitlichen Sägeflächen durchzuführen, um das Streulicht zu minimieren. Weiterhin können Beschichtungen zur Entspiegelung im Wafermaßstab aufgebracht werden. Dabei sollte die Beschichtung der gesichtsfeldseitigen Oberfläche vorteilhafterweise mit einer feuchtigkeitsabweisenden und kratzfesten Beschichtung erfolgen. Planare, innerhalb des Objektivs liegende Flächen können z.B. mit Mottenaugenstrukturen zur Entspiegelung versehen werden. Die Erzeugung dieser Strukturen ist einfach durch die Wahl des entsprechenden Prägwerkzeugs für die Rückseite eines Linsenwafers während der Abformung der Linsenstrukturen auf der Vorderseite zu ermöglichen. Eine Entspiegelung der Linsenstrukturen selbst kann bevorzugt durch dielektrische Schichtsysteme erfolgen. Es ist aber auch eine Strukturierung der gekrümmten Oberflächen der Linsen mit Mottenaugenstrukturen denkbar.

**[0029]** Die Anordnung der Linsen in dem aus dem Waferstapel ausgesägten Modul muss weiterhin gewährleisten, dass Licht, welches von Quellen außerhalb des Gesichtsfeldes in die Systemapertur einfällt, nicht durch Reflexion oder Brechungen an optischen Grenzflächen außerhalb der genutzten Linsenöffnung wieder auf den Bildempfänger gelangt. Dies hätte eine Kontrastminderung oder Generierung von Geisterbildern zur

Folge.

**[0030]** Aus Streulichtsimulation folgt, dass speziell die Übergänge zwischen den Linsen, welche zur Definition des Linsenabstands dienen, in dieser Beziehung kritisch sind. Eine Vergrößerung der freien Öffnung an diesen Übergängen ist daher entscheidend, dass selbst Licht, welches unter den größtmöglichen Einfallswinkel in die Systemöffnung einfällt, nicht reflektiert oder wieder zum Sensor hingebrochen wird.

#### Ausführungsbeispiel

**[0031]** Anhand der nachfolgenden Figuren und Beispiele soll der erfindungsgemäße Gegenstand näher beschrieben werden, ohne diesen auf die hier genannten speziellen Ausführungsbeispiele zu beschränken.

**[0032]** [Fig. 1](#) zeigt eine schematische Darstellung eines Arrays aus Kameramodulen.

**[0033]** [Fig. 2](#) zeigt in einer schematischen Darstellung den Aufbau eines Kameramoduls.

**[0034]** [Fig. 3](#) zeigt ein Beispiel einer Prozesskette für die Herstellung der Kameramodule.

**[0035]** [Fig. 4](#) zeigt in perspektivischer Darstellung den Aufbau eines erfindungsgemäßen Kameramoduls.

**[0036]** [Fig. 5](#) zeigt eine schematische Darstellung der optischen Anordnung in dem erfindungsgemäßen Kameramodul.

**[0037]** [Fig. 6](#) zeigt die Transmissionskurve eines erfindungsgemäß eingesetzten IR-Sperrfilters.

**[0038]** [Fig. 7](#) zeigt in einem Diagramm die RMS-Spottradien eines erfindungsgemäßen Kameramoduls.

**[0039]** [Fig. 8](#) zeigt die Modulationsübertragungsfunktion (MTF) eines erfindungsgemäßen Kameramoduls, aufgetragen über der Bildfeldkoordinate (A) bzw. der Ortsfrequenz (B).

**[0040]** [Fig. 9a](#) zeigt am Diagramm die Bildfeldwölbung und Verzeichnung eines erfindungsgemäßen Kameramoduls.

**[0041]** [Fig. 9b](#) zeigt in einem Diagramm den Hauptstrahlwinkel im Bildraum aufgetragen als Funktion der Bildfeldkoordinate eines erfindungsgemäßen Kameramoduls.

**[0042]** [Fig. 10](#) zeigt eine Schnittdarstellung am Übergang zweier Linsenplatten eines erfindungsgemäßen Kameramoduls.

**[0043]** [Fig. 1](#) zeigt die Darstellung der prinzipiellen Herstellung miniaturisierter Objektiv im Wafermaßstab anhand der Anordnung einer bevorzugten Ausführungsvariante. Drei in Polymer heißgeprägte Linsenplatten **1**, **2** und **3** formen den Optikwaferstapel. Der absorbierende Abstandshalter **5** ist hier nicht dargestellt. Eine Quarz-Glas-Platte **4** welche auf ihrer Vorderseite den IR-Sperrfilter und auf der Rückseite die bildwandelnde Optoelektronik, hier ein abgedünnter und rückseitig beleuchteter CMOS-Sensor, trägt, wird mit dem Optikwaferstapel verbunden, um das Array von Kameramodulen im Wafermaßstab zu bilden.

**[0044]** [Fig. 2](#) zeigt ein vereinzeltes Kameramodul bestehend aus Linsen in Polymer **1**, **2** und **3** mit planen **1b**, **2a**, **3b** und convexen **1a**, **2b**, bzw. konkaven **3a** Flächen, IR-Sperrfilter **4a** auf der Vorderseite des Quarz-Glas-Substrates **4** und abgedünntem und rückseitig beleuchtetem CMOS-Sensor auf der Rückseite **4b**, absorbierende, mit kegelförmiger Öffnung die Systemapertur bildende und als Abstandshalter zwischen den Flächen **2b** und **3a** dienende Polymerplatte **5**.

**[0045]** [Fig. 3](#) zeigt einen Vorschlag für eine Prozesskette zur Herstellung von miniaturisierten digitalen Kameras im Wafermaßstab anhand der oben beschriebenen Ausführungsvariante:

**[0046]** [Fig. 3A](#): Herstellung der Linsenplatten **1**, **2** und **3** mit planen **1b**, **2a**, **3b** und convexen **1a**, **2b**, bzw. konkaven Flächen durch Heißprägen in Polymer. Generierung des IR-Sperrfilters auf der Vorderseite des Quarz-Glas-Substrates **4a** und nachfolgend Applikation des abgedünnten und rückseitig zu beleuchtenden CMOS-Sensors auf der Rückseite **4b**. Erzeugung der absorbierenden, mit kegelförmiger Öffnung die Systemapertur der einzelnen Module bildenden und als Abstandshalter zwischen den Flächen **2b** und **3a** dienenden

Polymerplatte **5** durch Heißprägen, Spritzgießen oder Ausbohren aus Platten der richtigen Dicke.

**[0047]** **Fig. 3B:** Zusammenführung und Justage der einzelnen Polymer-Komponentenwafer, Verklebung mit UV- oder thermisch-härtbarem Kleber.

**[0048]** **Fig. 3C:** Rückseitiges Vorsägen des Polymerwaferstapels mit an Polymer angepassten Sägeblättern.

**[0049]** **Fig. 3D:** Zusammenführung, Justage und UV- oder thermisch-härtbare Verklebung des Polymerwaferstapels mit der den IR-Sperrfilter und den CMOS-Sensor tragenden Quarz-Glas-Platte.

**[0050]** **Fig. 3E:** Durchtrennung der übrig gebliebenen tragenden Polymerstrukturen des Polymerwaferstapels mit geeigneten Sägeblättern.

**[0051]** **Fig. 3F:** Durchtrennung der Quarz-Glas-Platte mit angepasstem Sägeblatt. Es resultiert die Vereinzelung der Kameramodule.

**[0052]** **Fig. 4** zeigt die Stapelung der einzelnen Polymer-Komponenten eines Kameramoduls zu einem Sandwich mit integrierter Abstandhalterung. Linsenplatten **1**, **2** und **3** sowie schwarzer Platte **5** zur Definition der Systemapertur und des Abstandes der Linsen **1** und **2**. Die Abstanddefinition zwischen den Linsen **2** und **3** wird über die Tiefe bzw. Form der Linsenplatten **2** und **3** bestimmt. In dieser Ausführungsvariante können auch die Komponenten der einzelnen Module vor der Montage vereinzelt werden und durch die Form des sie aufnehmenden Zylinders **6** in die richtige Zentrierung gebracht werden.

**[0053]** **Fig. 5** zeigt einen Schnitt durch die rotationssymmetrische optische Anordnung. Der Durchmesser des Bildkreises ist 4.56 mm, die Systemlänge von der ersten Linsenfläche **1a** bis zur Bildebene **4b** ist 4.32 mm. Die repräsentierten Feldwinkel sind  $0^\circ$ ,  $25^\circ$  und  $35^\circ$ .

**[0054]** Dargestellt sind die Linsen in PMMA **1**, **2** und **3** mit planen **1b**, **2a**, **3b** und konvexen **1a**, **2b**, bzw. konkaven **3a** Flächen, IR-Sperrfilter auf der Vorderseite des Quarz-Glas-Substrates **4a** und abgedünntem und rückseitig beleuchtetem CMOS-Sensor auf der Rückseite **4b**.

**[0055]** **Fig. 6** zeigt eine Transmissionskurve des speziell angepassten IR-Sperrfilters mit dem Einfallswinkel in PMMA als Parameter. Aufgetragen ist die Transmission des Filters als Funktion der Wellenlänge bei verschiedenen Einfallswinkeln. Die Bandkante liegt bei ca. 650 nm (50% Transmission). Die Bandkantenverschiebung mit dem Einfallswinkel konnte durch ein spezielles Filterdesign reduziert werden.

**[0056]** **Fig. 7** zeigt ein Diagramm, das belegt, dass von dem System Spots mit über das Bildfeld durchschnittlichen RMS-Spotradien von  $10\mu\text{m}$  erzeugt werden. Dargestellt sind die polychromatischen Punktbilder des erfindungsgemäßen Objektivs unter drei verschiedenen Einfallswinkeln für  $0^\circ$ ,  $25^\circ$  und  $35^\circ$ .

**[0057]** **Fig. 8A** zeigt die Modulationsübertragungsfunktion (MTF) der beschriebenen Ausführungsvariante aufgetragen über der Bildfeldkoordinate, jeweils für die tangentielle und für die sagitale Bildrichtung. Parameter sind drei betrachtete Ortsfrequenzen. Es kann nur eine marginale Verschlechterung der Auflösung über das Bildfeld abgelesen werden.

**[0058]** **Fig. 8B** zeigt die Modulationsübertragungsfunktion (MTF) der beschriebenen Ausführungsvariante aufgetragen über der Ortsfrequenz, jeweils für die tangentielle und für die sagitale Bildrichtung. Parameter sind drei betrachtete Bildfeldkoordinaten. Es kann ein tolerierbarer Abfall des Abbildungscontrastes mit wachsender Feinheit von Bilddetails abgelesen werden.

**[0059]** **Fig. 9A** zeigt, dass die Bildfeldwölbung (Verschlechterung der Auflösung mit wachsender Bildfeldkoordinate) und Verzeichnung (Änderung des Abbildungsmaßstabes als Funktion der Bildhöhe) der beschriebenen Ausführungsvariante minimal sind. Dargestellt sind die Kurven für verschiedene Wellenlängen und für die tangentielle und sagitale Bildrichtung.

**[0060]** **Fig. 9B** zeigt den Hauptstrahlwinkel im Bildraum aufgetragen als Funktion der Bildfeldkoordinate. Das System ist nicht telezentrisch ausgelegt, der bildseitige Hauptstrahlwinkel wächst mit dem objektseitigem Einfallswinkel, welcher über die Systembrennweite mit der Bildfeldkoordinate korreliert ist.

**[0061]** **Fig. 10** zeigt den Übergang von Linsenplatte **2** zu Linsenplatte **3** zur Minimierung von Falschlicht auf

dem Detektor resultierend von Lichtquellen außerhalb des Gesichtsfeldes. Ausgehend von den Parametern der Linsenplatten resultierend aus dem Optikdesign nach [Fig. 5](#) müssen die Linsenplatten so modifiziert werden, dass sie Abstandshalterung beinhalten, ohne jedoch auf die optischen Eigenschaften Einfluss zu nehmen, Falschlicht zu generieren und den lateralen Platzbedarf des Objektivs aufgrund großer freier Öffnungen unnötig zu erhöhen.

#### Beispiel

**[0062]** Die Baulänge des in den Figuren dargestellten beschriebenen Objektivs mit VGA-Auflösung (640×480) und 5,6 µm Pixelgröße bei einem horizontalen Gesichtsfeld (FOV) von 56° ist 4,32 mm, was für eine derartige Spezifikation gegenüber dem Stand der Technik das kürzeste bekannte optische System darstellt. Die entsprechenden Parameter sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1

| Parameter  | Spezifikation      |
|--|--------------------|
| Totale Länge des optischen Systems<br>(erste Fläche bis Bildebene) | 4,32 mm            |
| F/#  | 2,8                |
| Brennweite   | 3,37 mm            |
| Durchmesser des Bildkreises  | 4,56 mm            |
| Nutzbarer Wellenlängenbereich                                      | 450 nm - 630 nm    |
| FOV (volle Diagonale)  | 70°                |
| Objektstand  | 500 mm - unendlich |

#### Aufbau der beschriebenen Ausführungsvariante:

**[0063]** Das abbildende System ([Fig. 5](#)) besteht aus drei asphärischen Linsenplatten in PMMA **1**, **2** und **3** und einer 500 µm dicken Quarz-Glas-Platte **4**. Diese dient als thermisch und mechanisch belastbare Trägerstruktur für einen IR-Sperrfilter auf der Vorderseite **4a** und einen abgedünnten und rückseitig beleuchteten CMOS-Sensor auf der Rückseite **4b**.

**[0064]** Die beiden ersten Linsen im Strahlengang in Richtung des Lichteinfalls **1** und **2** sind asphärisch plankonvex und dienen als geteilte Objektivlinse. Die Systemöffnung (STOP) mit einem Durchmesser von 1,11 mm befindet sich auf der planen Rückseite **1b** der ersten Linsenplatte **1**. Die Symmetrie der Objektivlinsen um die Systemapertur führt zu verringerten Aberrationen. Die F/# des Systems ist 2.8. Abhängig vom technologischen Prozess wird der STOP als eine Beschichtung absorbierenden Materials (Polymers) auf der Fläche **1b** realisiert oder als zusätzliche dünne absorbierende Polymerplatte **5** (schwarzes PMMA) zwischen den Linsenplatten **1** und **2**. Dabei diene **5** gleichzeitig als abstandsdefinierende Struktur für den Abstand der Linsenplatten **1** und **2** und durch eine geeignete konische Apertur als eine Art Lichtschutztrichter zur Einschränkung des Gesichtsfeldes der Optik und damit zur Reduktion von Streulicht.

**[0065]** Die dritte Linsenplatte **3** ist asphärisch plankonkav und dient als das Bildfeld ebendes Element und durch geeignete Weiterführung der Form der Fläche **3a** gleichzeitig zur Definition des Abstandes zur Fläche **2b**. Durch die Nutzung dieses das Bildfeld ebendes Elementes wird es möglich, eine gleichmäßig hohe MTF über das Gesichtsfeld der Optik zu erhalten.

**[0066]** Telezentrie wird nicht angestrebt, um eine minimale Baulänge zu ermöglichen, die Hauptstrahlwinkel im Bildraum (im Material) entsprechen den Einfallswinkeln (Feldwinkeln).

**[0067]** Die beschriebenen optischen Komponenten können als Arraystrukturen im Wafermaßstab durch Heißprägen erzeugt werden. Die Linsenplatten werden mittels UV-härtbarem Kleber miteinander verbunden, wobei die Abstandsdefinitions- und Justierstrukturen direkt in die Linsenplatten bzw. die zusätzliche absorbierende Platte **5** integriert sind. Die dünne Quarz-Glas-Platte **4** wird auf die Rückseite des PMMA-Optikkomponentenstapels **3b** geklebt. Dabei ist zu beachten, dass zwischen der Rückseite des PMMA-Optikkomponentenstapels

**3b** und dem CMOS-Sensor **4b** kein Luftspalt existieren darf, da dieser teilweise Totalreflexion durch die vorliegenden hohen Hauptstrahlwinkel im Bildraum zur Folge hätte.

**[0068]** Der dielektrische IR-Sperrfilter kann in die Anordnung nur auf der Vorderseite des Quarz-Glas-Substrates, auf dessen Rückseite sich die bildgebende Elektronik befindet, eingebracht werden, da eine Beschichtung des PMMA mit dem dielektrischen Schichtsystem aufgrund mechanisch-thermischer Materialrandbedingungen nicht möglich ist. Aus dem Verzicht auf Telezentrie um möglichst kurze Objektive zu erhalten resultieren große Hauptstrahlwinkel im Bildraum und durch die Nähe des Filters zu diesem ein weites Spektrum von Einfallswinkeln, für die der Filter die Spezifikationen erfüllen muss, um den Weißabgleich des Systems zu ermöglichen. Dieser Fakt und die Tatsache, dass das Superstrat des Filters nicht Luft, sondern PMMA ist, stellen gesteigerte Anforderungen an das Filterdesign. Speziell eine Verschiebung der cut-off Wellenlänge zu kürzeren Wellenlängen bei Vergrößerung des Einfallswinkels beeinflusst die Filtercharakteristik negativ. Deshalb wird ein Filter eingesetzt, der direkt für ein weites Einfallswinkelspektrum, PMMA als Superstrat und die gegebenen Wellenlängenbereiche optimiert wurde. Durch ein spezielles Design eines  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ -Schichtsystems wurde es möglich diese Verschiebung der cut-off Wellenlänge für ein Spektrum von Einfallswinkeln von  $0-35^\circ$  innerhalb des Polymers auf 30 nm zu verringern. [Fig. 6](#) zeigt die entsprechende Transmissionskurve des entwickelten Filters für das beschriebene Einfallswinkelspektrum. Die cut-off Wellenlänge (50%) liegt abhängig vom Einfallswinkel zwischen 650 und 675 nm. Die durchschnittliche Transmission im Sperrbereich liegt unter 3% während die Transmission im transparenten Bereich größer 85% ist.

Oberflächenparameter der beschriebenen Ausführungsvariante (Tabelle 2):

Tabelle 2

| Fläche  | Typ   | Radius    | Dicke   | Material | Durchmesser | Conic     | Coeff $r^6$ |
|---------|-------|-----------|---------|----------|-------------|-----------|-------------|
| OBJEKT  | STAND | Infinity  | 500     | AIR      | 701.5498    | 0         |             |
| 1a      | ASPH  | 2.593351  | 0.63004 | PMMA     | 1.661869    |           | -1.681042   |
| 1b(STO) | STAND | Infinity  | 0.72105 | AIR      | 1.108201    |           | 0           |
| 2a      | STAND | Infinity  | 0.84714 | PMMA     | 1.937082    |           | 0           |
| 2b      | ASPH  | -1.786246 | 1.31797 | AIR      | 2.285339    | 0.4358701 | 0.039834853 |
| 3a      | ASPH  | -1.08162  | 0.3     | PMMA     | 2.70883     | -0.852709 |             |
| 3b      | STAND | Infinity  | 0       | -        | 2.70883     | 0         |             |
| 4a      | STAND | Infinity  | 0.5     | SILICA   | 4.079017    | 0         |             |
| 4b      | STAND | Infinity  |         | SILICA   | 4.66547     | 0         |             |

Brechzahlraten der beschriebenen Ausführungsvariante (Tabelle 3):

Tabelle 3

| Komponente       | Material | Temp  | Druck | 0.450000   | 0.535000   | 0.630000   |
|------------------|----------|-------|-------|------------|------------|------------|
| Objekt<br>(Luft) |          | 20.00 | 1.0   | 1.00000000 | 1.00000000 | 1.00000000 |
| 1                | PMMA     | 20.00 | 1.0   | 1.50102493 | 1.49442296 | 1.49007866 |
| Luftspalt        |          | 20.00 | 1.0   | 1.00000000 | 1.00000000 | 1.00000000 |
| 2                | PMMA     | 20.00 | 1.0   | 1.50102493 | 1.49442296 | 1.49007866 |
| Luftspalt        |          | 20.00 | 1.0   | 1.00000000 | 1.00000000 | 1.00000000 |
| 3                | PMMA     | 20.00 | 1.0   | 1.50102493 | 1.49442296 | 1.49007866 |
| 4                | SILICA   | 20.00 | 1.0   | 1.46556566 | 1.46056852 | 1.45709969 |

**[0069]** Eine Achromatisierung ist für die beschriebene Ausführungsvariante nicht nötig, da nur gering dispersives Material (PMMA) eingesetzt wird.

**[0070]** Die Abbildungseigenschaften der beschriebenen Ausführungsvariante sind in den [Fig. 7](#), [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) wiedergegeben. Die beschriebene Ausführungsvariante hat eine nahezu gleichbleibend hohe MTF über das gesamte Bildfeld und minimale Verzeichnung. Die Hauptstrahlwinkel in der Bildebene entsprechen den jeweiligen Einfallswinkeln.

**[0071]** Das beschriebene Design ist zusätzlich tolerant gegenüber  $\pm 50 \mu\text{m}$  Defokussierung, was eine vereinfachte und unkritische axiale Justierung des Optikwaferstapels zu der bildgebenden Elektronik bedeutet (10%ige Vergrößerung des RMS-Spotdurchmessers).

**[0072]** Die Toleranzen des Systems sind unkritisch, da die Hauptstrahlen für alle Feldwinkel nur relativ geringe Winkel zu den Oberflächennormalen der Flächen der optischen Elemente haben.

**[0073]** Skalierungen der Länge der Ausführungsvariante mit Skalierung der Pixelgröße und damit Bildfeldgröße müssen berücksichtigen, dass eine zusätzliche Reduktion der  $F/\#$  nötig ist, um die beugungsbedingte Auflösungs Grenze an die Pixelgröße anzupassen und die detektierte Lichtleistung beizubehalten.

**[0074]** Zur Vermeidung von Falschlicht auf dem Detektor ausgehend von Quellen außerhalb des Gesichtsfeldes des Objektivs wurde erstens eine Systemapertur **5** von großer Dicke und konusförmigem Verlauf gewählt ([Fig. 2](#)), die gleichzeitig als Abstandhalter der Linsenplatten **1** und **2** dient und zweitens die freie Öffnung des Überganges zwischen den Linsenplatten **2** und **3** auf 3,4 mm erhöht ([Fig. 10](#)). Der Winkel des Konus der Blendenplatte **5** ist so gewählt, dass Lichtbündel ausgehend von Objektpunkten innerhalb des Gesichtsfeldes Objektivs, welche durch die Systemapertur eintreten nicht vignettiert werden. Bündel, die jedoch von Lichtquellen außerhalb des Gesichtsfeldes ausgehen, werden hingegen teilweise bis komplett vignettiert.

**[0075]** Die nur teilweise vignettierten Bündel sind kritisch für die Generation von Falschlicht durch Reflexion oder Brechung an folgenden Grenzflächen, weswegen eine Vergrößerung der freien Öffnung an den folgenden Linsenplattenübergängen soweit erfolgt, dass selbst Licht, welches unter dem größtmöglichen Einfallswinkeln in die Systemöffnung einfällt, nicht an Kanten außerhalb der Linsenöffnungen reflektiert, oder wieder zum Sensor hin gebrochen wird.

**[0076]** Durch ein solches falschlichtsensitives Systemdesign speziell mit der Systemapertur innerhalb des Objektivs und nicht als erstes Element, wie bei herkömmlichen Mobiltelefonkameras, und mit einer großen Dicke und nicht nur als dünne Blende, wirkt die Blendenplatte **5** gleichzeitig als Feldblende. Dadurch kann auf Lichtschutztrichter, welche bei heutigen Kameras für Mobiltelefone der eigentlichen Optik zur Feldbegrenzung vorgeschaltet werden müssen und die gesamte Baulänge der Kamera deutlich erhöhen, verzichtet werden.

### Patentansprüche

1. Kameramodul aus einem miniaturisierten Objektiv mit einer Trägerstruktur mit gesichtsfeldseitig angeordnetem IR-Sperrfilter, mindestens einer asphärischen optischen Linsenplatte aus einem polymeren Werkstoff sowie einer von der Trägerstruktur bildfeldseitig angeordneten bildgebenden Optoelektronik.

2. Kameramodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die bildgebende Elektronik aus einem CMOS-Sensor besteht.

3. Kameramodul nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der CMOS-Sensor rückseitig abgedünnt und beleuchtet ist.

4. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die bildgebende Elektronik aus einem CCD-Sensor besteht.

5. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Linsenplatte aus einem Polymer ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Polymethylmethacrylat, Polycarbonat, Polystyrol, Cycloolefin-Polymer, Cycloolefin-Copolymer oder anderen Polymeren auf Polycycloolefin-Basis besteht.

6. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Objektiv

mindestens zwei Linsenplatten aufweist.

7. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens zwei Linsenplatten unterschiedliche Dispersionscharakteristika aufweisen und damit die Achromatisierung des Objektivs einstellbar ist.

8. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen zwei Linsenplatten ein abstandsdefinierendes Element in Form einer nicht-transparenten Polymerplatte mit einer die Systemapertur bildenden kegelförmigen Ausnehmung angeordnet ist.

9. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Linsenplatte plankonkav und/oder plankonvex ist.

10. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Linsenplatte bikonvex und/oder bikonkav ist.

11. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Linsenplatte konkavkonvex und/oder konvexkonkav ist.

12. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Objektiv drei Linsenplatten aufweist, wobei die beiden Gesichtsfeldseitigen Linsenplatten asphärisch plankonvex und die bildfeldseitige Linsenplatte asphärisch plankonkav ist.

13. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Linsenplatte dielektrisch ist und/oder durch Mottenaugenstrukturen ein- oder beidseitig entspiegelt ist.

14. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gesichtsfeldseitige Linsenplatte Gesichtsfeldseitig eine feuchtigkeitsabweisende Beschichtung aufweist.

15. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gesichtsfeldseitige Linsenplatte Gesichtsfeldseitig eine kratzfeste Beschichtung aufweist.

16. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gesichtsfeldseitige Linsenplatte Gesichtsfeldseitig eine entspiegelnde Beschichtung, insbesondere durch Mottenaugenstrukturen, aufweist.

17. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der IR-Sperrfilter aus einem dielektrischen Schichtsystem besteht.

18. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Trägerstruktur aus Quarzglas und/oder Pyrex besteht.

19. Kameramodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Baulänge des Kameramoduls von der Bildebene bis zur ersten Oberfläche des Kameramoduls im Bereich zwischen 1 mm und 10 mm, insbesondere 3 mm und 5 mm liegt.

20. Array aus Kameramodulen nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kameramodule auf einer einzigen Trägerstruktur angeordnet sind und die Kameramodule einen Waferstapel bilden.

21. Array aus Kameramodulen nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen 2 und mehrere tausend Kameramodule auf der Trägerstruktur angeordnet sind.

22. Verfahren zur Herstellung eines Kameramoduls nach einem der Ansprüche 1 bis 19 im Wafermaßstab, bei dem bildfeldseitig die bildgebende Elektronik und Gesichtsfeldseitig der IR-Sperrfilter auf einer Trägerstruktur in Wafertechnologie aufgebracht wird, mindestens eine durch Heißprägung oder UV-Replikation hergestellte Polymer-Linsenplatte mit einem UV- oder thermisch härtbarem Klebstoff Gesichtsfeldseitig mit dem IR-Sperrfilter verbunden wird und die einzelnen Kameramodule mittels Sägeblättern separiert werden.

23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass Justierstrukturen zur Erhöhung der Präzision bei der Montage des Waferstapels verwendet werden.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, dass das abstandsdefinierende Element durch Heißprägen, Spritzgießen oder Ausbohren aus einer nicht-transparenten Polymerplatte hergestellt wird.
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass das abstandsdefinierende Element mit einem UV- oder thermisch härtbarem Klebstoff mit der mindestens einen Linsenplatte verklebt wird.
26. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass die gesichtfeldseitige Seite der gesichtfeldseitigen Linsenplatte mit einer feuchtigkeitsabweisenden Beschichtung versehen ist.
27. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die gesichtfeldseitige Seite der gesichtfeldseitigen Linsenplatte mit einer kratzfesten Beschichtung versehen ist.
28. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Linsenplatte eine dielektrische Beschichtung aufweist.
29. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Linsenplatte mit einer entspiegelnden Beschichtung, insbesondere mit einer Mottenaugenstruktur versehen ist.
30. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Linsenplatten untereinander oder die Linsenplatte und das abstandsdefinierende Element mit einem UV- oder thermisch härtbarem Klebstoff verbunden sind.
31. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Separation der einzelnen Kameramodule die Seiten der separierten Kameramodule zur Minimierung von Streulicht geschwärzt werden.
32. Verwendung des Kameramoduls nach einem der Ansprüche 1 bis 19 zur Herstellung von Mobiltelefonen oder tragbaren Minicomputern.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

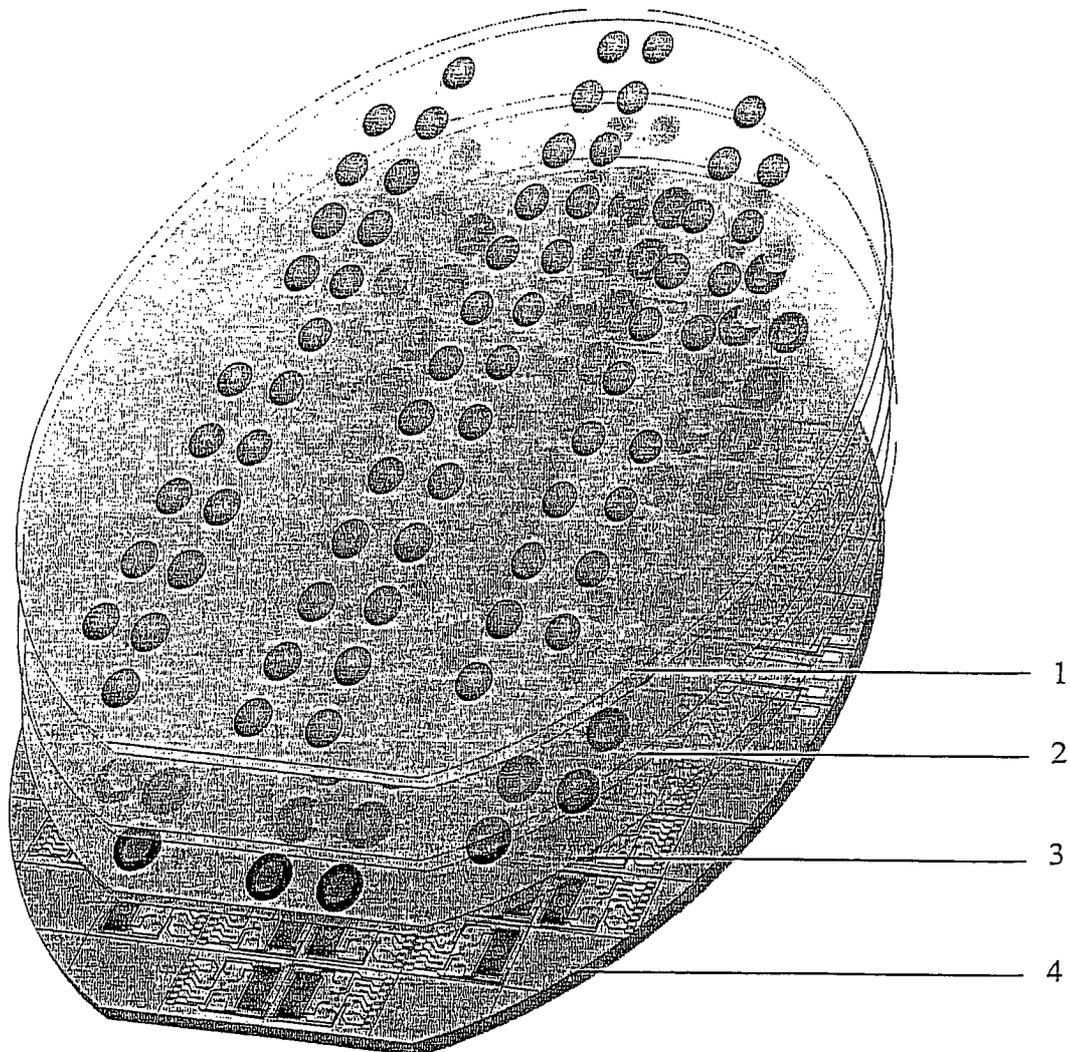


Fig. 1

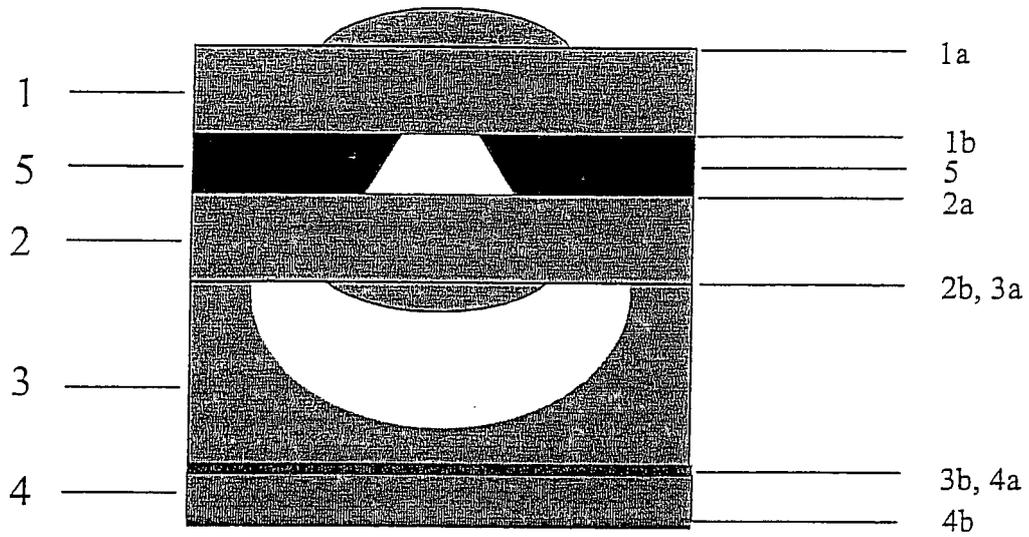


Fig. 2

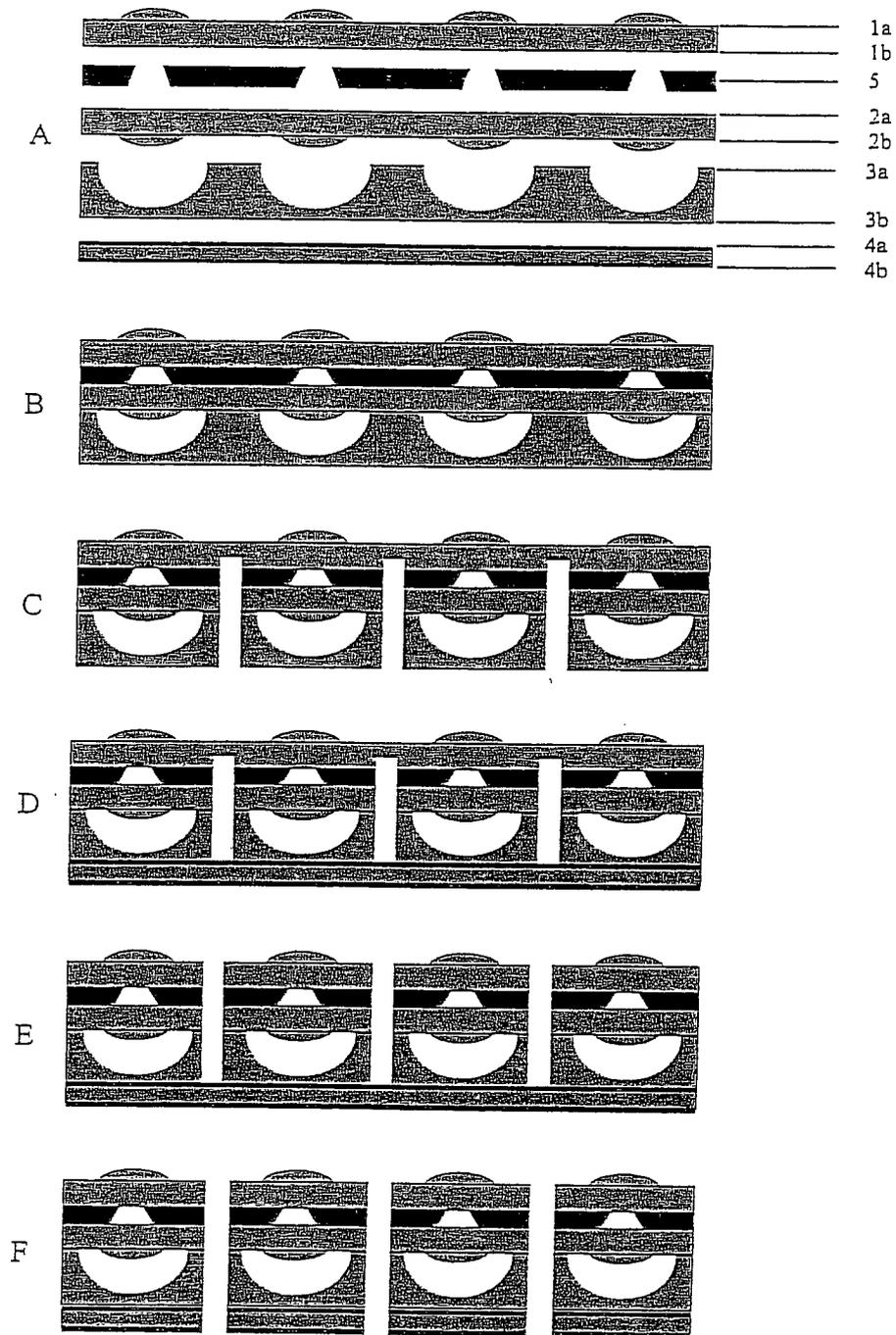


Fig. 3

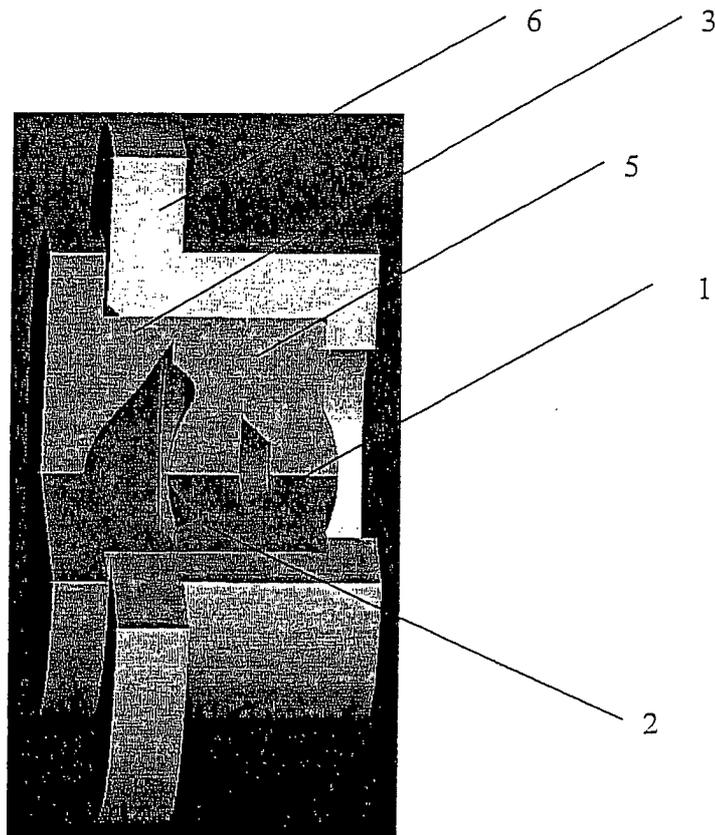


Fig. 4

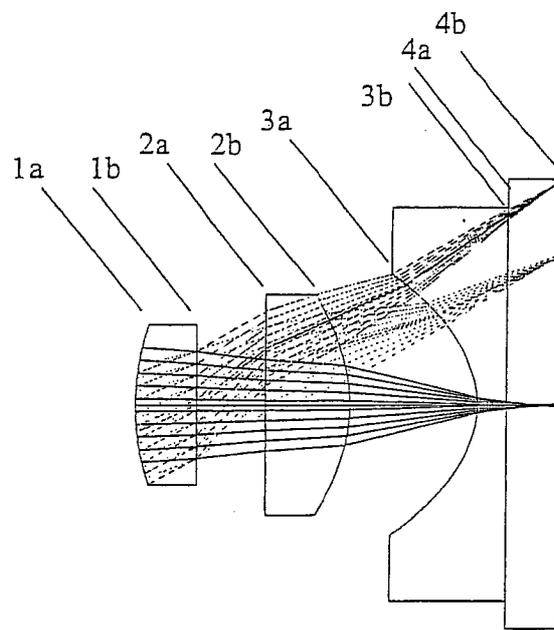


Fig. 5

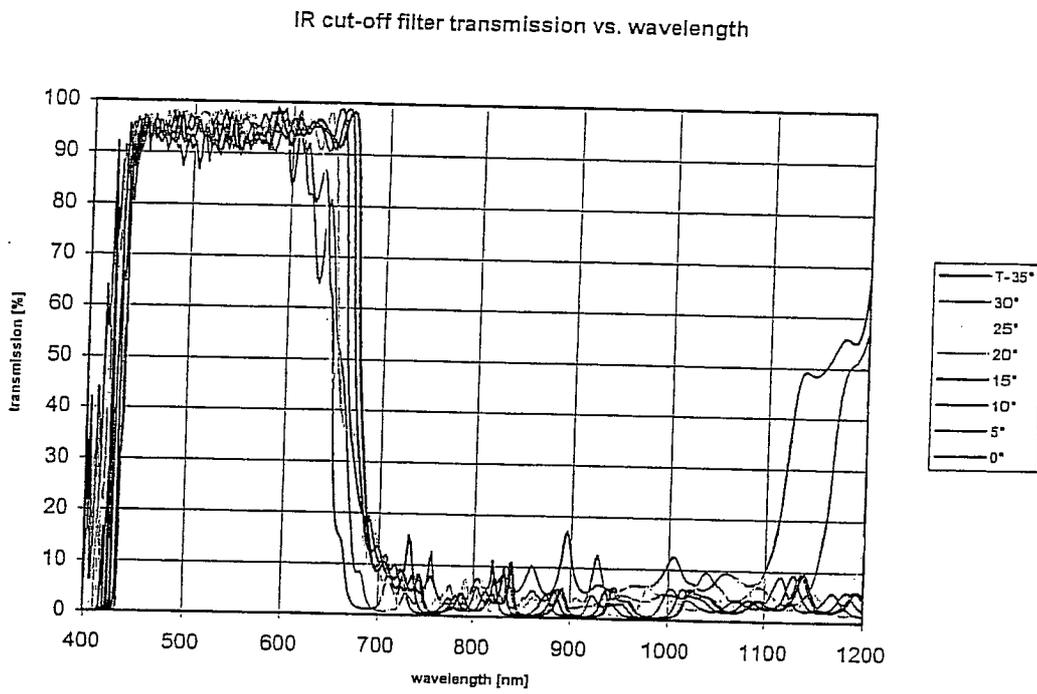


Fig. 6

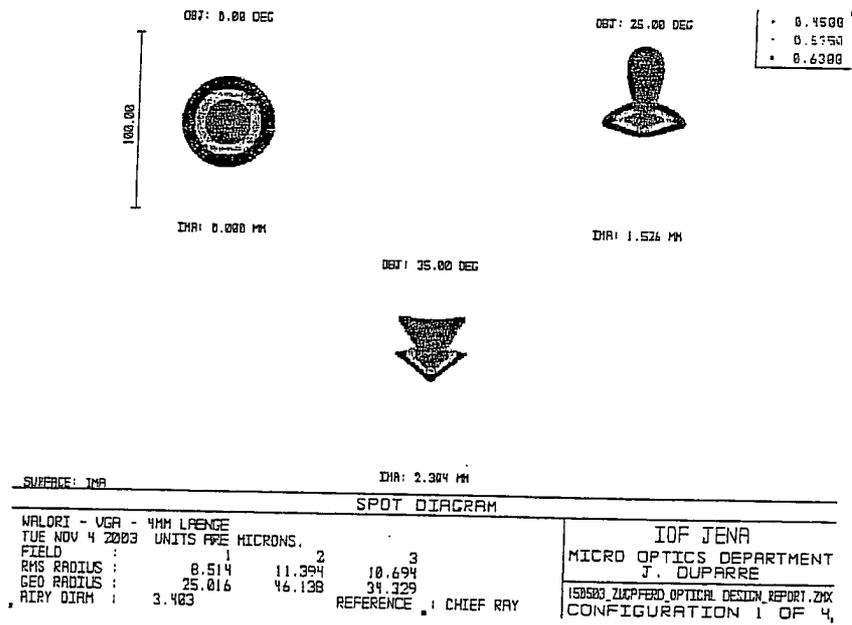
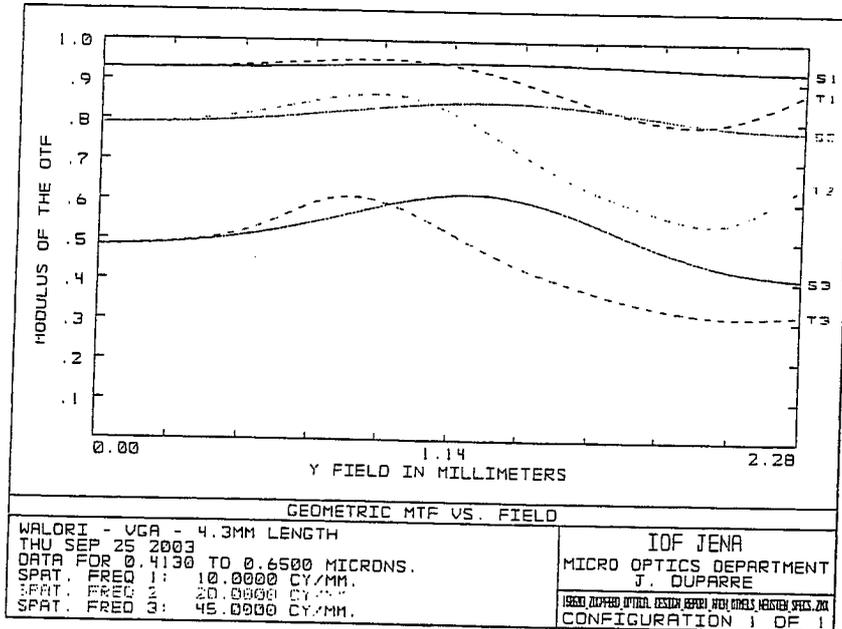


Fig. 7

A



B

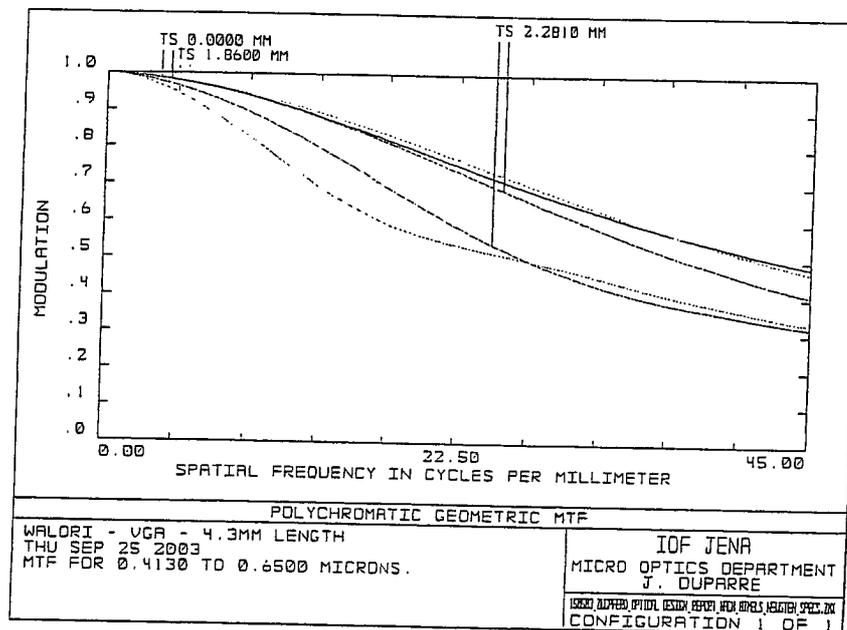
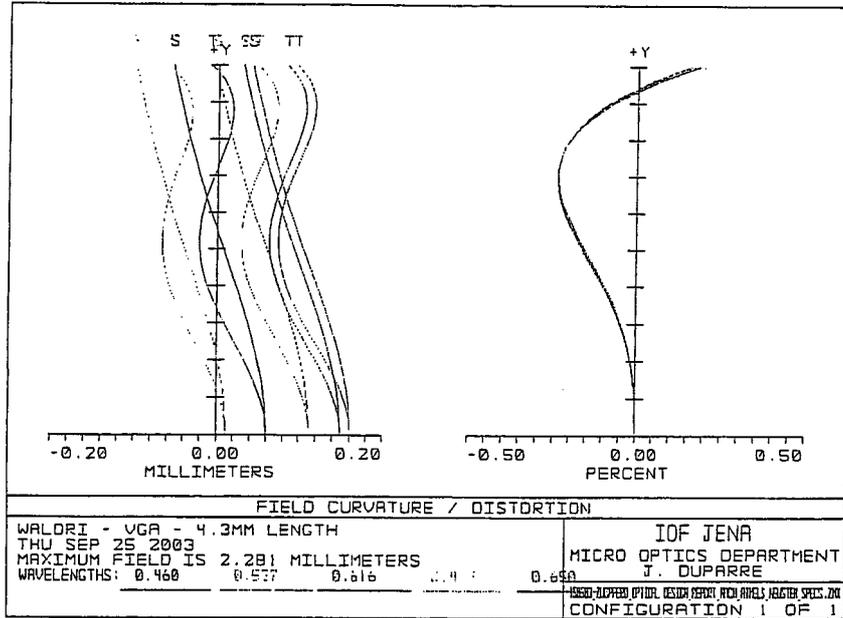


Fig. 8

A



B

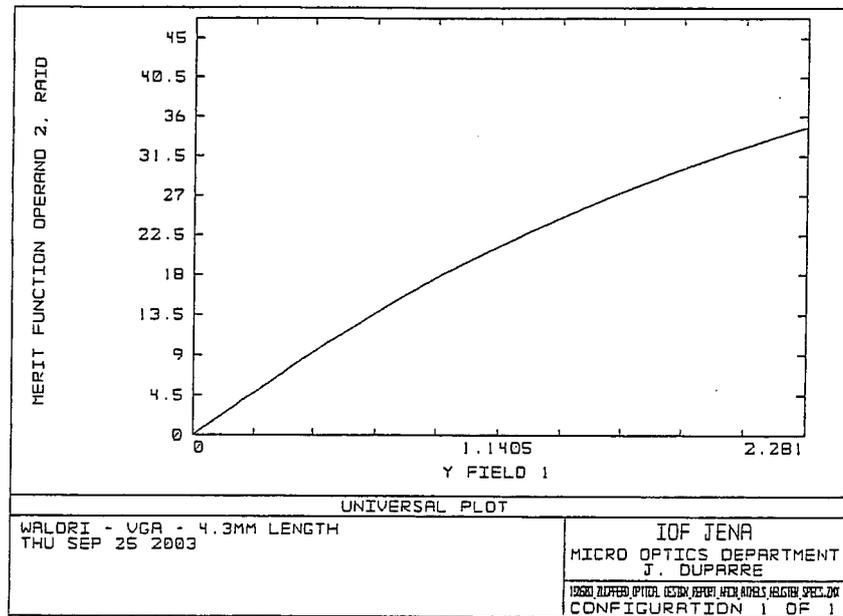


Fig. 9

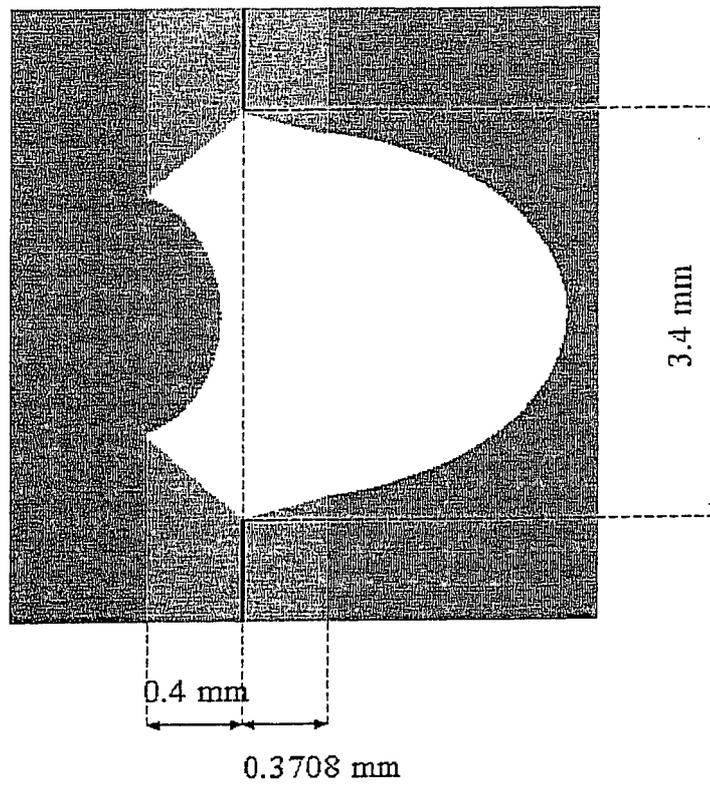


Fig. 10