Octrooiraad

(10) A **Terinzagelegging** (11) **7904579**

Nederland (19) **NL**

(54) **Optisch afbeeldingsstelsel voorzien van een opto-elektronisch detektiestelsel voor het bepalen van een afwijking tussen het beeldvlak van het afbeeldingsstelsel en een tweede vlak waarop afgebeeld moet worden.**

(51) Int.Cl³.: G03B15/00, H01L21/70, G11B7/12, G01B11/14.

(71) Aanvrager: N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

(74) Gem.: Ir. R.A. Bijl c.s.
Internationaal Octrooibureau B.V.
Prof. Holstlaan 6
5656 AA Eindhoven.

(21) Aanvrage Nr. 7904579.

(22) Ingediend 12 juni 1979.

(32) - -

(33) - -

(31) - -

(23) - -

(61) - -

(62) - -

(43) Ter inzage gelegd 16 december 1980.

De aan dit blad gehechte stukken zijn een afdruk van de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en).

Optisch afbeeldingsstelsel voorzien van een opto-elektronisch detektiestelsel voor het bepalen van een afwijking tussen het beeldvlak van het afbeeldingsstelsel en een tweede vlak waarop afgebeeld moet worden.

De uitvinding heeft betrekking op een optisch afbeeldingsstelsel voorzien van een opto-elektronisch detektiestelsel voor het bepalen van een afwijking tussen het beeldvlak van het afbeeldingsstelsel en een tweede vlak waarop een afbeelding door het afbeeldingsstelsel gevormd moet worden, welk detektiestelsel bevat een, een hulpbundel leverende, stralingsbron, twee stralingsgevoelige detektoren die zich aan dezelfde zijde van het tweede vlak bevinden als de stralingsbron, alsmede optische elementen voor het richten van de hulpbundel op het tweede vlak, voor het vormen van een stralingsvlek op het tweede vlak en voor het afbeelden van deze stralingsvlek in het vlak van de twee detektoren, waarbij minstens een deel van de genoemde optische elementen vast met het afbeeldingsstelsel verbonden is, en waarbij het verschil tussen de uitgangssignalen van de twee detektoren een maat voor de genoemde afwijking is.

Lenzenstelsels waarmee kleine details afgebeeld moeten worden hebben een grote numerieke apertuur, en daardoor een kleine scherptediepte. Voor dit soort lenzenstelsels, die bijvoorbeeld gebruikt worden voor het afbeelden van een maskerpatroon op een substraat ten behoeve van de fabrikage van geïntegreerde schakelingen, is het van belang een afwijking tussen het werkelijke vlak van afbeelding, van bijvoorbeeld het maskerpatroon, en het vlak waarop afgebeeld moet worden, bijvoorbeeld het substraat, te kunnen detekteren, om aan de hand daarvan het lenzenstelsel te kunnen bijregelen.

Het is mogelijk de genoemde afwijking langs capacitieve weg te bepalen. Dan moet het lenzenstelsel verbonden zijn met een metalen plaatje en moet het

oppervlak van het substraat gemetalliseerd zijn. De variatie van de capaciteit gevormd door het metalen plaatje en het gemetalliseerde oppervlak is een maat voor de genoemde afwijking. Deze afwijking zou ook met een luchtdruksensor gemeten kunnen worden. Het nadeel van deze methoden is dat de afstandsmeting buiten het veld van het afbeeldingsstelsel moet plaatsvinden. Verder is de afstand tussen de capaciteive sensor of de luchtdruk-sensor en het tweede vlak, bijvoorbeeld het oppervlak van het substraat, waarop afgebeeld moet worden erg klein, zodat gemakkelijk een beschadiging van ofwel de sensor ofwel het substraatoppervlak kan optreden. Een optische methode voor het bepalen van de genoemde afwijking is aantrekkelijker, omdat daarbij in het centrum van het veld van het afbeeldingsstelsel gemeten kan worden en de detektie-elementen op relatief grote afstand van het vlak waarop afgebeeld moet worden geplaatst kunnen worden.

Speciaal voor het uitlezen van een registratiedrager met een reflekterende optische informatiestruktuur, is in de ter visie gelegde Duitse octrooiaanvrage nr. 2.656.730 een stelsel voorgesteld voor het detekteren van een afwijking tussen de werkelijke positie van het vlak van de informatiestruktuur en de gewenste positie van dit vlak, welke gewenste positie samenvalt met het fokusvlak van een uitleesobjektief. In dit stelsel wordt een stralingsbron via het stralingsreflekterende vlak van de informatiestruktuur afgebeeld op twee stralingsgevoelige fokus-detektoren. De invalshoek, dat wil zeggen de hoek tussen de door de stralingsbron geleverde hulpbundel en de optische as van het objektiefstelsel, waaronder de hulpbundel het vlak van de informatiestruktuur treft is relatief groot. Bij een verplaatsing van het vlak van de informatiestruktuur langs de optische as van het uitleesobjectief verplaatst zich de afbeelding over de fokusdetektoren. Door vergelijken van de elektrische uitgangssignalen van deze

detektoren, kan een indikatie verkregen worden over de grootte en de richting van een afwijking tussen de werkelijke positie van het vlak van de informatiestruktuur en de gewenste positie van dit vlak.

Een dergelijk detektiestelsel kan ook gebruikt worden in een inrichting voor het afbeelden van een maskerpatroon op een halfgeleider-substraat ten behoeve van de fabrikage van geïntegreerde schakelingen. Speciaal voor deze toepassing kan het detektiestelsel enkele nadelen vertonen. Op de eerste plaats is het detektiestelsel gevoelig voor lokale reflektieverschillen van het substraat. Een geïntegreerde schakeling wordt in een aantal processtappen opgebouwd, waarbij achtereenvolgens verschillende maskerpatronen op het substraat afgebeeld moeten worden. Bij het afbeelden van een maskerpatroon kunnen de reeds in een vorige processtap op het substraat aangebrachte strukturen als verstrooiers gaan werken. Tengevolge van deze verstrooiing kunnen de twee helften van de op de twee detektoren gevormde stralingsvlek een verschillende intensiteit krijgen, terwijl toch de afstand tussen het substraat en het afbeeldend lenzenstelsel korrekt is. Op de tweede plaats is het detektiestelsel volgens de Duitse octrooiaanvrage no. 2.656.730 alleen ongevoelig voor kantelingen van het substraat of voor onvlakheden van dit substraat zolang geen afwijking optreedt tussen het beeldvlak van het lenzenstelsel en het vlak waarop afgebeeld moet worden. Treedt een dergelijke afwijking wel op dan beïnvloeden de genoemde kantelingen en onvlakheden mede de intensiteitsverdeling binnen de op de twee detektoren gevormde stralingsvlek, en dus ook het uit deze detektoren afgeleide signaal.

Het doel van de onderhavige uitvinding is een detektiestelsel te verschaffen, dat bovengenoemde nadelen niet vertoont.Het stelsel volgens de uitvinding vertoont als kenmerk, dat in de weg van de een eerste maal door het tweede vlak gereflekteerde hulpbundel een

bundelomkeerelement, dat de hulpbundel in zichzelf en gespiegeld reflekteert, aangebracht is en dat de twee detektoren aangebracht zijn in de weg van de een tweede maal door het tweede vlak gereflekteerde hulpbundel.

Dat de hulpbundel "gespiegeld in zichzelf" wordt gereflekteerd betekent dat de hoofdstraal van de gereflekteerde hulpbundel samenvalt met de hoofdstraal van de heengaande hulpbundel, en dat de lichtstralen die in de heengaande hulpbundel deel uitmaken van de eerste, respektievelijk de tweede, bundelhelft in de gereflekteerde hulpbundel deel uitmaken van de tweede, respektievelijk de eerste, bundelhelft. Van de naar de detektoren gerichte hulpbundel zijn dan beide bundelhelften in aanraking geweest met beide helften van het door de stralingsvlek bedekte gebiedje op het tweede vlak, of substraat. Daardoor wordt de intensiteit van beide bundelhelften in gelijke mate beïnvloed door eventuele lokale reflektieverschillen in het genoemde gebiedje van het tweede vlak, en is dus het intensiteitsverschil tussen beide bundelhelften onafhankelijk van deze reflektieverschillen. Doordat de hulpbundel, alvorens de twee detektoren te bereiken tweemaal door het substraat gereflekteerd is, is de positie van de stralingsvlek op deze detektoren onafhankelijk van onvlakheden in het substraat of van een kanteling van het substraat ten opzichte van het hoofdlenzenstelsel, en is de gevoeligheid met een faktor 2 vergroot ten opzichte van die van het detektiestelsel volgens de Duitse octrooiaanvrage no. 2.656.730.

Het detektiestelsel volgens de uitvinding kan met veel voordeel toegepast worden in een inrichting voor het herhaald afbeelden van een maskerpatroon op een substraat, welke inrichting bevat een, zich tussen een maskerpatroonhouder en een substraathouder bevindend, projektielenzenstelsel, waarbij het detektiestelsel wordt gebruikt voor het bepalen van een afwijking tussen het beeldvlak van het projektie-lenzenstelsel en het substraat. Daarnaast is de uitvinding algemeen toepas-

baar in afbeeldingssystemen waarbij lokale reflektieverschillen kunnen voorkomen in het vlak waarin afgebeeld moet worden, of waarbij dit vlak een kanteling kan vertonen. Daarbij kan gedacht worden aan mikroskopen, zowel aan reflektie-mikroskopen als aan transmissiemikroskopen. Vanwege de scheve inval van de hulpbundel, zal ook aan een doorzichtig voorwerp nog een hoeveelheid straling gereflekteerd worden die voldoende groot is om gebruikt te kunnen worden voor het detekteren van een variatie in de afstand tussen het te onderzoeken voorwerp en het mikroskoopobjektief.

De uitvinding zal nu, bij wijze van voorbeeld worden toegelicht aan de hand van een stelsel voor het afbeelden van een maskerpatroon op een substraat. Daarbij wordt verwezen naar de tekening, waarin

Figuur 1, schematisch, een afbeeldingsstelsel voorzien van een bekend opto-elektronisch detektiestelsel toont,

Figuur 2 het principe van het detektiestelsel volgens de uitvinding illustreert, en

Figuur 3 een uitvoeringsvorm van een dergelijk stelsel laat zien.

In Figuur 1 is een afbeeldingsstelsel met L_1 aangegeven. Een opto-elektronisch detektiestelsel bestaat uit een stralingsbron S, die een hulpbundel b uitzendt, een eerste lens L_2, een tweede lens L_3 en twee detektoren, bijvoorbeeld fotodiodes, D_1 en D_2. Het detektiestelsel is star met het lenzenstelsel L_1 verbonden via de steunen S_t.

De lens L_2 vormt een stralingsvlek V op het vlak p waarin door het lenzenstelsel L_1 een afbeelding gevormd moet worden. Deze stralingsvlek wordt door de lens L_3 op de fotodiodes D_1 en D_2 afgebeeld. Het detektiestelsel is ten opzichte van het lenzenstelsel L_1 zó uitgericht dat de lens L_3 het snijpunt van de optische as 00' van het stelsel L_1 met het beeldvlak van dit stelsel afbeeldt in het vlak van de twee detektoren

D_1 en D_2. Indien het vlak p samenvalt met het beeldvlak van het stelsel L_1 wordt de stralingsvlek V afgebeeld in de vlek V' die symmetrisch ten opzichte van de detektoren D_1 en D_2 gelegen is. Deze detektoren ontvangen dan gelijke stralingsintensiteiten. Het uitgangssignaal S_r van een met de detektoren D_1 en D_2 verbonden verschilversterker A is dan bijvoorbeeld nul. Bij een verandering van de afstand tussen het vlak p en het lenzenstelsel L_1 verschuift het beeld V' van de stralingsvlek V over de detektoren D_1 en D_2. Indien, zoals in Figuur 1 aangegeven is, het vlak p naar beneden verschoven is, wordt de op dit vlak gevormde stralingsvlek V_1 afgebeeld in V_1' volgens de met streeplijnen aangegeven stralengang. Dan ontvangt de detektor D_1 een grotere stralingsintensiteit dan de detektor D_2 en is het signaal S_r bijvoorbeeld positief. Bij een verschuiving van het vlak p naar boven treedt het omgekeerde op, en ontvangt de detektor D_1 een kleinere stralingsintensiteit dan de detektor D_2. Dan is het signaal S_r bijvoorbeeld negatief. Het signaal S_r kan worden toegevoerd aan een, niet getekend, servosysteem, waarmee de positie van het lenzenstelsel L_1 kan worden bijgeregeld.

De invalshoek α waaronder de hulpbundel b op het vlak p invalt wordt zo groot mogelijk gekozen, bijvoorbeeld in de orde van 80°, om een zo groot mogelijke gevoeligheid voor positiefouten van het vlak p ten opzichte van het lenzenstelsel L_1 te verkrijgen en om een zo groot mogelijke reflektie van de hulpbundel aan het vlak p te verkrijgen.

Volgens de uitvinding is in de weg van de aan het vlak p gereflekteerde bundel b een straal-omkeerelement, of retro-reflektor, aangebracht. Een dergelijke retro-reflektor kan gevormd worden door een zogenaamd "cats-eye" dat, zoals in Figuur 2 aangegeven is, bestaat uit een lens L_3 en een spiegel r waarbij de spiegel in het brandvlak van de lens L_3 geplaatst is. Door een dergelijk "cats-eye" wordt een bundel in zichzelf gere-

flekteerd. Figuur 2 toont slechst het gedeelte van de weg van de bundel b in de omgeving van het vlak p. De bundel b vormt op dit vlak de stralingsvlek V. De door het vlak p gereflekteerde bundel wordt door het reflektie-prisma P_4 naar de spiegel r gericht. Na reflektie aan deze spiegel doorloopt de bundel b dezelfde weg in omgekeerde richting.

Van de bundel b is een klein gedeelte b' donker getekend, om aan te geven hoe dit gedeelte de stralingsweg doorloopt. Bij eerste aankomst op het vlak p is dit gedeelte een part van de bundelhelft b_1. Het bundelgedeelte b' komt dan terecht in het rechterdeel V_r van de stralingsvlek V. Na reflektie aan het vlak p en aan het reflektie-prisma P_4 gaat het bundelgedeelte b' door het linkerdeel van de lens L_3. Na reflektie aan de spiegel r gaat het bundelgedeelte b' door het rechterdeel van de lens L_3 en komt dan terecht in het linkerdeel V_1 van de stralingsvlek V. Na tweevoudige reflektie aan het vlak p is het bundelgedeelte b' part geworden van de bundelhelft b_2. Dit geldt voor alle bundelgedeelten waaruit de bundelhelft b_1 opgebouwd is. Er kan gesteld worden dat na tweevoudige reflektie aan het vlak p de bundelhelft b_1 zowel met het rechtergedeelte als met het linkergedeelte van het gebied op het vlak p onder de stralingsvlek V in aanraking is geweest. Hetzelfde geldt natuurlijk voor de bundelhelft b_2. Daardoor zullen lokale reflektieverschillen tengevolge van verstrooiende strukturen in het vlak p, noch oneffenheden in dit vlak of scheefstand van dit vlak ten opzichte van het lenzenstelsel L_1 de intensiteitsverdeling over de bundelhelften b_1 en b_2 kunnen beïnvloeden.

Als omkeerelement, met een vergroting -1, kan in het detektiestelsel volgens de uitvinding ook een holle spiegel of een kombinatie van een vlakke spiegel en een cylinderlens gebruikt worden.

In Figuur 3 is een uitvoeringsvorm van een

detektiestelsel volgens de uitvinding voor gebruik in een inrichting voor het afbeelden van maskerpatronen op een substraat weergegeven. Het oppervlak van het substraat is aangegeven met het vlak p en het projektielenzenstelsel met L_1. Dit stelsel is langs zijn optische as 00' beweegbaar door middel van op zichzelf bekende en hier niet weergegeven aandrijfmiddelen die gestuurd worden door het signaal S_r, afgeleid uit de signalen van de twee detektoren. In richtingen loodrecht op de optische as 00' is het projektielenzenstelsel onbeweegbaar in zijn behuizing H. Zoals in Figuur 3 aangegeven is kan het projektielenzenstelsel door middel van veren S_p in de behuizing H bevestigd zijn. In plaats van veren kunnen ook membranen als bevestigingsmiddelen gebruikt worden.

In een inrichting voor het herhaald afbeelden van een maskerpatroon op een substraat zijn de projektie kolom en het substraat in twee onderling loodrechte richtingen ten opzichte van elkaar beweegbaar. Voor meer bijzonderheden over een dergelijke inrichting kan worden verwezen naar de ter inzage gelegde Nederlandse octrooiaanvrage no. 76.06548 (PHN 8429). Opgemerkt kan nog worden dat in een dergelijke inrichting het beeldvlak van het projektielenzenstelsel vrijwel samenvalt met het brandvlak van dit stelsel.

Om ook voor kleine verplaatsingen van het vlak p ten opzichte van het lenzenstelsel L_1 een voldoend groot signaal S_r, dat wil zeggen een voldoend groot verschil tussen de stralingsintensiteiten op de twee detektoren, te verkrijgen, moet de stralingsvlek V een grote helderheid hebben. Daarom wordt bij voorkeur een laser als stralingsbron S gebruikt. De door de laser geleverde stralingsbundel b moet stabiel zijn. Bij voorkeur wordt een halfgeleider-diodelaser, DL in Figuur 3, bijvoorbeeld een $AlGaA_s$ diodelaser, die dicht bij het substraat geplaatst kan worden, gebruikt.

Het is ook mogelijk een gaslaser te gebruiken die op grotere afstand van het substraat staat, waarbij de straling van deze laser via een lichtgeleidende vezel naar het substraat geleid wordt.

De laserbundel b wordt door de lens L_4 in een evenwijdige bundel omgezet en vervolgens via reflektie aan de bundeldeler BS en de reflektieprisma's P_2 en P_3 naar het substraatoppervlak p gericht. De lens L_2 vormt de stralingsvlek V op het substraat. Vervolgens doorloopt de bundel b de aan de hand van de Figuren 1 en 2 beschreven stralingsweg. Van de tweemaal door het substraatoppervlak gereflekteerde bundel b wordt een gedeelte door de bundeldeler BS doorgelaten naar de twee detektoren D_1 en D_2. De lens L_5 vormt een afbeelding van de stralingsvlek V op deze detektoren.

De bundeldeler BS kan bestaan uit een halfdoorlatende spiegel of een halfdoorlatend prisma. In plaats daarvan kan ook een polarisatiedeelprisma gebruikt worden, waarbij in de stralingsweg tussen dit prisma en het substraat een $\frac{\lambda}{4}$ -plaat, waarin λ de golflengte van de bundel b voorstelt, is aangebracht. De straling van de bron DL is dan zodanig gepolariseerd dat zij door het polarisatiedeelprisma wordt gereflekteerd. De bundel b doorloopt dan tweemaal de $\frac{\lambda}{4}$ - plaat waardoor het polarisatievlak van de straling in totaal over 90° gedraaid wordt, zodat de bundel dan door het prisma wordt doorgelaten.

Behalve het verschilsignaal S_r van de twee detektoren kan ook het somsignaal S_t van deze detektoren bepaald worden. Het signaal S_t kan gebruikt worden om de intensiteit van de stralingsbron, S of DL, bij te regelen. Het is ook mogelijk om het quotiënt van de signalen S_r en S_t te bepalen. Het resulterende signaal dat een maat is voor de positiefout van het vlak p van het substraat ten opzichte van het projektielenzenstelsel, is onafhankelijk van intensiteitsvariaties van de stralingsbron en van de reflektiecoëfficiënt van het substraat.

Voor de verplaatsing Δ van de stralingsvlek over de fotodiodes D_1 en D_2 geldt:

$$\Delta = 4.M.H.\sin\alpha .$$

Daarin is h de verplaatsing van het vlak p, α de invalshoek van de fokusbundel op dit vlak en M de vergroting van het lenzenstelsel L_5 L_2. Deze vergroting is gelijk aan de verhouding van de brandpuntsafstand van de lens L_5 tot die van de lens L_2. Doordat de fokusbundel tweemaal door het vlak p gereflekteerd is, is de gevoeligheid van het detektiestelsel ook met een faktor 2 toegenomen. Vandaar dat in de bovenstaande uitdrukking voor de verplaatsing Δ een faktor 4 in plaats van een faktor 2 optreedt.

In een gerealiseerde uitvoeringsvorm van een detektiestelsel volgens de uitvinding kon een verplaatsing van het vlak p over slechts 0,1 /um nog goed gedetekteerd worden.

CONCLUSIES:

1. Optisch afbeeldingsstelsel voorzien van een opto-elektronisch detektiestelsel voor het bepalen van een afwijking tussen het beeldvlak van het afbeeldingsstelsel en een tweede vlak waarop een afbeelding door het afbeeldingsstelsel gevormd moet worden, welk detektiestelsel bevat een, een hulpbundel leverende, stralingsbron, twee stralingsgevoelige detektoren die zich aan dezelfde zijde van het tweede vlak bevinden als de stralingsbron alsmede optische elementen voor het richten van de hulpbundel op het tweede vlak, voor het vormen van een stralingsvlek op het tweede vlak en voor het afbeelden van deze stralingsvlek in het vlak van de twee detektoren, waarbij minstens een deel van de genoemde optische elementen vast met het afbeeldingsstelsel verbonden is, en waarbij het verschil tussen de uitgangssignalen van de twee detektoren een maat voor de genoemde afwijking is, met het kenmerk, dat in de weg

van de een eerste maal door het tweede vlak gereflekteerde hulpbundel een bundelomkeerelement, dat de hulpbundel in zichzelf en gespiegeld reflekteert, aangebracht is en dat de twee detektoren aangebracht zijn in de weg van de een tweede maal door het tweede vlak gereflekteerde hulpbundel.

2. Inrichting voor het herhaald afbeelden van een maskerpatroon op een substraat, bevattende een, zich tussen een maskerpatroonhouder en een substraathouder bevindend, projektielenzenstelsel voorzien van een detektiestelsel volgens conclusie 1, waarbij het verschil tussen de uitgangssignalen van de detektoren een maat is voor een afwijking tussen het beeldvlak van het projektielenzenstelsel en het substraat.

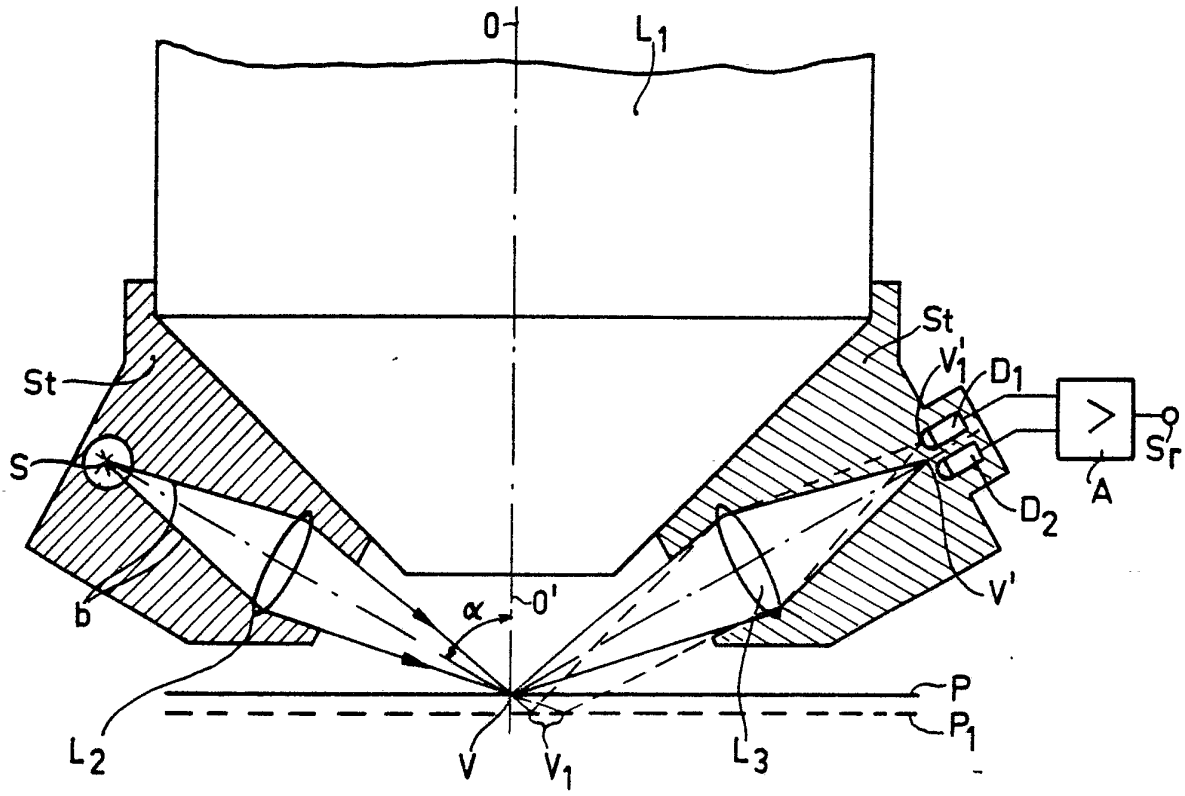


FIG. 1

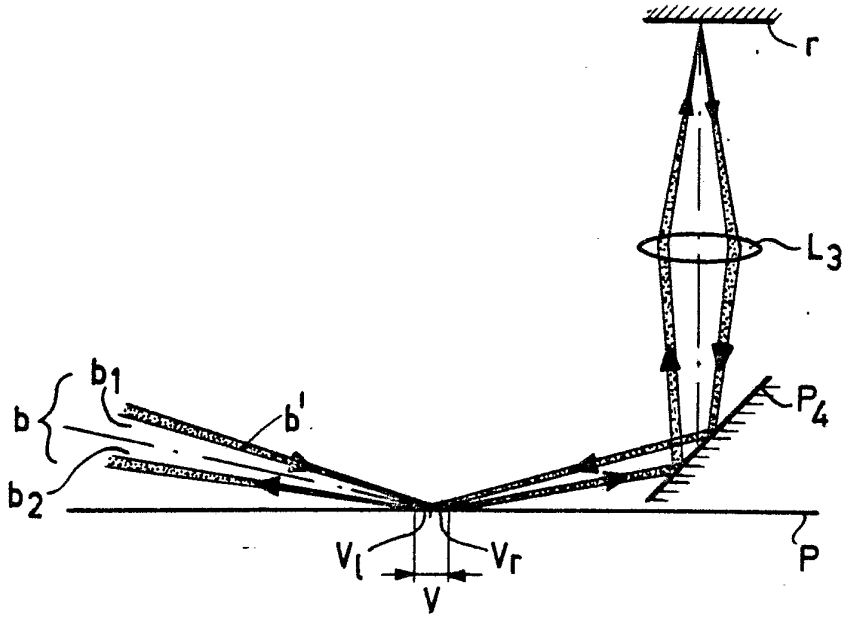


FIG. 2

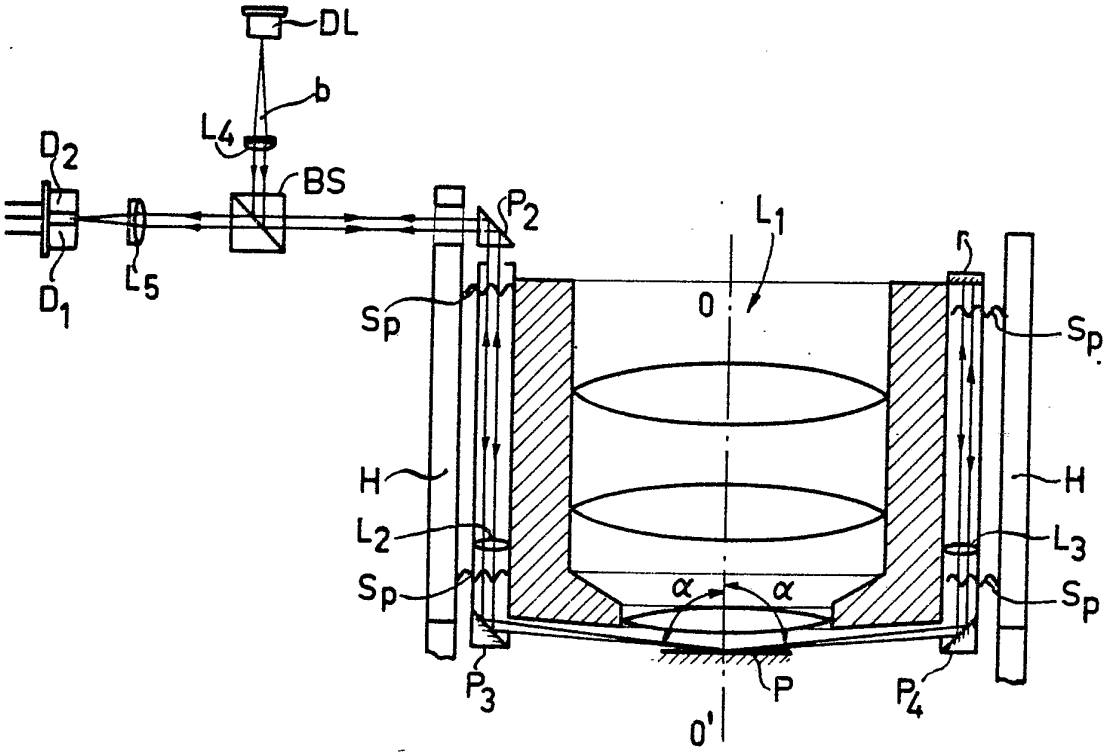


FIG.3