
Octrooiraad



12 A Terinzagelegging 11 8900991

Nederland

19 NL

- 54 Apparaat voor het afbeelden van een maskerpatroon op een substraat.**
- 51** Int.Cl⁵.: G03B 41/00, H01L 21/00.
- 71** Aanvrager: ASM Lithography B.V. te Eindhoven.
- 74** Gem.: Ir. J.E.M. Galama c.s.
Internationaal Octroobureau B.V.
Prof. Holstlaan 6
5656 AA Eindhoven.

-
- 21** Aanvraag Nr. 8900991.
- 22** Ingediend 20 april 1989.
- 32** --
- 33** --
- 31** --
- 62** --

-
- 43** Ter inzage gelegd 16 november 1990.

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

ASM Lithography B.V. te Eindhoven.

Apparaat voor het afbeelden van een maskerpatroon op een substraat.

De uitvinding heeft betrekking op een apparaat voor het projekeren van een maskerpatroon op een substraat welk apparaat achtereenvolgens bevat een verlichtingsstelsel voor het leveren van een projectiebundel, een maskerhouder, een projectielenzenstelsel en een substraathouder en verder voorzien is van een inrichting voor het ten opzichte van elkaar uitrichten van een substraat-uitrichtkenmerk en een masker-uitrichtkenmerk, welke inrichting bevat een uitrichtbundel leverende stralingsbron, het projectielenzenstelsel en een stralingsgevoelige detektiestelsel in de weg van de uitrichtbundel die in wisselwerking is geweest met zowel het masker-uitrichtkenmerk als het substraat-uitrichtkenmerk, waarbij het uitgangssignaal van het detektiestelsel een maat is voor de onderling positie van de uitrichtkenmerken.

Een dergelijk apparaat is beschreven in het Amerikaanse octrooischrift nr. 4.778.275 die betrekking heeft op een apparaat voor het repeterend en verkleind afbeelden van een maskerpatroon, bijvoorbeeld het patroon van een gefintegreerde schakeling (IC), op eenzelfde substraat, waarbij tussen twee opeenvolgende belichtingen het maskerpatroon en het substraat ten opzichte van elkaar bewogen worden bijvoorbeeld langs twee onderlinge loodrechte richtingen in een vlak evenwijdig aan het substraatvlak en het maskervlak.

Gefintegreerde schakelingen worden vervaardigd met behulp van diffusie- en maskeringstechnieken. Daarbij worden na elkaar een aantal maskers met verschillende maskerpatronen op eenzelfde plaats op een halfgeleidersubstraat afgebeeld. Tussen de opeenvolgende afbeeldingen op dezelfde plaatsen moet het substraat de gewenste fysische en chemische veranderingen ondergaan. Daartoe moet het substraat nadat het met een maskerpatroon belicht is uit het apparaat verwijderd worden en, nadat het de gewenste processtappen ondergaan heeft, daarin weer in eenzelfde positie teruggeplaatst worden om het te belichten met een tweede maskerpatroon, enzovoorts, waarbij er voor gezorgd moet worden dat de afbeeldingen van het tweede maskerpatroon en

8900991.

de volgende maskerpatronen nauwkeurig ten opzichte van het substraat gepositioneerd zijn.

Diffusie- en maskeringstechnieken kunnen ook worden toegepast bij de fabricage van andere structuren met detailafmetingen in de orde van mikrometers. Te denken valt daarbij aan structuren van gefintegreerde optische systemen of aan geleidings- en detektiepatronen van magnetische-domeinen geheugens en aan structuren van vloeibaar kristal beeldweergeefpanelen. Ook bij de fabricage van deze structuren moeten afbeeldingen van maskerpatronen zeer nauwkeurig ten opzichte van een substraat worden uitgericht.

In verband met het grote aantal elektronische componenten per oppervlakte-eenheid van het substraat en de dientengevolge kleine afmetingen van deze componenten, wordt aan de nauwkeurigheid waarmee gefintegreerde schakelingen vervaardigd worden steeds hogere eisen gesteld. De plaats waar de opeenvolgende maskers op het substraat afgebeeld worden, moeten derhalve steeds nauwkeuriger vastliggen.

Om de gewenste zeer grote positioneer-nauwkeurigheid, binnen enkele tienden van één mikrometer in het apparaat volgens het Amerikaanse octrooischrift nr. 4.778.275, van de afbeelding van het maskerpatroon ten opzichte van het substraat te kunnen realiseren bevat dit apparaat een inrichting voor het uitrichten van het substraat ten opzichte van het maskerpatroon, waarmee een in het substraat aangebracht uitrichtkenmerk wordt afgebeeld op een uitrichtkenmerk dat in het masker is aangebracht. Indien de afbeelding van het substraat-uitrichtkenmerk nauwkeurig samenvalt met het maskeroitrichtkenmerk is het substraat goed uitgericht ten opzichte van het maskerpatroon. Het hoofdelement voor het afbeelden van het substraatkenmerk op het maskerkenmerk wordt gevormd door het projektielenzenstelsel, of afbeeldingstelsel, waarmee het maskerpatroon op het substraat wordt afgebeeld. Vanwege de steeds sterker wordende vraag naar meer elektronische componenten per oppervlakte-eenheid van het substraat, dus naar nog kleinere afmetingen van deze componenten, is er steeds meer behoefte aan een apparaat dat repeterend afbeeldingen kan maken waarvan de details of lijnbreedtes aanzienlijk kleiner dan één mikrometer, bijvoorbeeld in de orde van 0,2 tot 0,3 mikrometer zijn. Dat betekent dat het oplossend vermogen van het projektielenzenstelsel moet worden vergroot. Zoals bekend, is dit oplossend vermogen evenredig met NA/λ , waarin NA de numerieke apertuur

8900991.

van het projektielenzenstelsel en λ de golflengte van de projektiebundel is. De numerieke apertuur is voor het bekende projektielenzenstelsel al vrij hoog, bijvoorbeeld is $NA=0,48$.

Een ander belangrijk gegeven is dat de scherptediepte van
5 het lenzenstelsel, die zo groot mogelijk moet zijn, gegeven wordt λ/NA^2 zodat een vergroting van de numerieke apertuur nadeliger is voor de scherptediepte dan een verkleining van de golflengte.

Als vrijwel enige mogelijkheid de gewenste afbeeldingen met details van 0,2 - 0,3 mikrometer met de gewenste scherptediepte te
10 kunnen realiseren blijft dan over gebruik te maken van een projektiebundel met een aanzienlijk kleinere golflengte dan tot nu toe gebruikelijk. Om met een dergelijk kortgolvlige bundel een afbeelding van het maskerpatroon op het substraat te kunnen maken moeten lenselementen van kwarts gebruikt worden. Aangezien kwarts erg dispersief is moet de
15 gebruikte straling een zeer smalle golflengteband hebben. Er zal derhalve een stralingsbron toegepast moeten worden die een groot vermogen binnen een smalle golflengteband uitzendt. Als reële mogelijkheid biedt zich dan aan gebruik te maken van een excimeerlaser bijvoorbeeld een krypton-fluoride laser met een golflengte van 248 nm
20 een argon-fluoride laser met een golflengte van 193 nm, of een Nd-YAG laser waarvan de frekwentie verviervoudigd is en die een golflente van 256 nm heeft.

Zoals in het Amerikaanse octrooischrift nr. 4.778.275 opgemerkt is, wordt als uitrichtbundel bij voorkeur een Helium Neon
25 laserbundel met een golflengte van 633 nm gebruikt omdat een dergelijke bundel enerzijds geen verandering in de op het substraat aangebrachte fotolaklaag kan teweegbrengen en anderzijds niet verzwakt wordt door deze fotolaklaag. Het projektielenzenstelsel is optimaal gekorrigeerd voor de projektiebundel- golflengte en kan een scherpe afbeelding van
30 het maskerpatroon op het substraat vormen. Echter vanwege de andere golflengte van de uitrichtbundel kunnen door deze bundel en met het projektielenzenstelsel het substraat en het masker niet scherp op elkaar afgebeeld worden. De door het projektielenzenstelsel gevormde scherpe afbeelding van een substraat-uitrichtkenmerk ligt op enige afstand van
35 het bijbehorende masker-uitrichtkenmerk. Het gevolg daarvan is dat het uitrichtsignaal, dat afgeleid wordt uit de signalen van het stralingsgevoelige detektiestelsel, niet langer door alleen

8900991.

uitrichtfouten bepaald wordt maar ook beïnvloed wordt door bijvoorbeeld een kanteling van het substraat of instabiliteiten van de uitrichtbundel. Bij het verplaatsen van een substraatuitrichtkenmerk en een maskeruitrichtkenmerk ten opzichte van elkaar zodanig dat het uitrichtsignaal de gewenste waarde heeft kan dan een uitrichtfout blijven bestaan.

Om te bereiken dat, ondanks de voor het afbeelden niet optimale golflengte van de uitrichtbundel een substraatuitrichtkenmerk toch scherp op een maskeruitrichtkenmerk wordt afgebeeld, wordt in het Amerikaanse octrooischrift nr. 4.778.275 voorgesteld een extra korrektie-element in de stralingsweg van de uitrichtbundel achter het projektie-lenzenstelsel aan te brengen, in welk korrektie-element de stralingsweg opgevouwen wordt zodat de optische weglengte voor de uitrichtbundel vergroot wordt. Met de combinatie van het projektie-lenzenstelsel en het korrektie-element kan het substraat-uitrichtkenmerk wel scherp op het masker-uitrichtkenmerk afgebeeld worden.

Deze korrektie-methode kan in de praktijk echter alleen toegepast worden indien het verschil tussen de optische lengtes voor de projektiebundel en de uitrichtbundel niet te groot is. Dit weglengteverschil wordt gegeven door $\Delta n \times \Delta \lambda$, waarin $\Delta \lambda$ het verschil tussen de golflengtes van de uitrichtbundel en de projektiebundel is en Δn het effectieve verschil tussen brekingsindices die het materiaal van het projektie-lenzenstelsel vertoont voor deze twee golflengtes. In een inrichting waarin een excimeerlaserbundel als projektiebundel en een helium-neon laserbundel als uitrichtbundel worden gebruikt is niet alleen $\Delta \lambda$ groot maar is bovendien Δn voor het te gebruiken lensmateriaal, kwarts, erg groot. Deze Δn kan niet gereduceerd worden door combinatie van verschillende lensmaterialen, zoals bij optische glazen wel mogelijk is. Het produkt $\Delta \lambda \cdot \Delta n$ wordt in dit geval extreem groot, hetgeen leidt tot weglengteverschillen van bijvoorbeeld in de orde van 2 m. Het bekende korrektie-element zou, ook indien de uitrichtbundel daarin meerdere malen opgevouwen wordt, zo groot moeten zijn dat daarvoor in het projektie-apparaat geen ruimte is. Nog belangrijker is dat een dergelijk groot element zeer gevoelig is voor mechanische instabiliteiten, zoals kanteling van het element, en voor temperatuurvariaties.

Ter kompensatie van het weglengteverschil zou in de stralingsweg van de uitrichtbundel achter het projektielenzenstelsel ook een extra lens aangebracht kunnen worden. Deze lens zou dan een zeer grote sterkte moeten hebben en daardoor ook erg gevoelig voor
5 mechanische en thermische instabiliteiten zijn.

De onderhavige uitvinding heeft ten doel een inrichting voor het uitrichten van een substraat-uitrichtkenmerk ten opzichte van een masker-uitrichtkenmerk te verschaffen waarin met eenvoudige middelen die goed gestabiliseerd zijn en vrijwel geen extra ruimte vragen goed
10 gekorrigeerd kan worden voor de genoemde fokusseringsfout. Deze inrichting vertoont daartoe het kenmerk dat in het projektielenzenstelsel en in de weg van een uitrichtbundel afkomstig van een substraatuitrichtkenmerk een refraktief korrektie-element waarvan de afmeting aanzienlijk kleiner is dan de diameter van het
15 projektielenzenstelsel in het vlak van dit element, is aangebracht voor het afbuigen en fokusseren van slechts de in de eerste diffractie-orde afgebogen gedeeltes van de straling op het bijbehorende masker-uitrichtkenmerk.

Het refraktief korrektie-element is aangebracht op een
20 zodanige hoogte in het projektielenzenstelsel dat enerzijds in het vlak van het korrektie-element de deelbundels van de verschillende diffractie-orde van een uitrichtbundel, welke deelbundels gevormd worden door een substraatuitrichtkenmerk, voldoende gescheiden zijn om deze deelbundels afzonderlijk te kunnen beïnvloeden, en anderzijds dit korrektie-
25 element een verwaarloosbare invloed heeft op de projektiebundel en de daarmee gevormd masker-afbeelding. Onder omstandigheden kan het korrektie-element ondoorzichtig voor de projektiebundel zijn. Dan wordt voorkomen dat dit element faseverschillen in de projektiebundel teweeg brengt.

Een voorkeursuitvoering van de inrichting vertoont als
30 kenmerk, dat het refraktief korrektie-element is aangebracht in het achterbrandvlak van het projektielenzenstelsel.

Het achterbrandvlak is het brandvlak aan de zijde van het substraat. In dit brandvlak wordt optimaal aan de beide genoemde voorwaarden voldaan. Indien zoals veelal het geval zal zijn, het
35 projektielenzenstelsel minstens aan de substraatzijde telecentrisch is, valt het achterbrandvlak samen het vlak van de uittreepupil van dit substraat.

Doordat het korrektie-element een refraktief element is, dat de richting van de er doorheen gaande stralen beïnvloedt en daardoor rechtstreeks de positie van het punt waar deze stralen samengebracht worden verlegt, is dit korrektie-element op zich al 5 effectieve dan het tot nu toe gebruikte korrektie-element dat alleen maar de stralingsweg opvouwt. Doordat bovendien het refraktief korrektie-element op relatief grote afstand van het masker-uitrichtkenmerk is geplaatst wordt zijn effectiviteit nog aanzienlijk vergroot. Daardoor kan de optische sterkte van dit element beperkt blijven waardoor het 10 aanzienlijk minder gevoelig is voor mechanische en thermische instabiliteiten.

Een extra voordeel van het nieuwe korrektie-element is dat dit element, omdat het alleen de in de eerste diffractie-orde afgebogen gedeelten van de uitrichtbundel afbuigt naar het masker- 15 uitrichtbundel, als een ruimtelijk filter voor de eerste diffractie-orde in de afbeelding van het substraat-uitrichtkenmerk werkt. Daardoor worden op zichzelf bekende voordelen verkregen zonder dat, zoals in bekende inrichtingen, een afzonderlijk 1^e ordes filter in de stralingsweg aangebracht moet worden. De bedoelde voordelen zijn: dat 20 het contrast waarmee het substraat-uitrichtkenmerk wordt afgebeeld op het masker-uitrichtkenmerk wordt verhoogd, dat eventuele onregelmatigheden in het substraat-uitrichtkenmerk geen invloed hebben op het verkregen uitrichtsignaal, en dat de nauwkeurigheid waarmee de twee kenmerken ten opzichte van elkaar uitgericht worden tweemaal zo 25 groot is dan in het geval ook de nulde-orde deelbundel van de uitrichtbundel voor de afbeelding gebruikt zou worden.

Het refraktief korrektie-element kan diverse vormen en bijvoorbeeld bestaan uit een dubbele optische wig.

Een voorkeursuitvoeringsvorm van de inrichting vertoont 30 als kenmerk, dat het refraktief korrektie-element een lens is.

Met een dergelijke korrektielens kan niet alleen de korrektie van de positie van het focuspunt gerealiseerd worden maar kan tevens de vergroting waarmee een substraat-uitrichtkenmerk wordt afgebeeld grotendeels gekorrigeerd worden.

35 De zo verkregen vergrotingsfout-korrektie zal in vele gevallen voldoende zijn. Indien het in bepaalde omstandigheden gewenst is ook voor rest-vergrotingsfouten te corrigeren, vertoont de inrichting

als verder kenmerk dat in de stralingsweg van de uitrichtbundel tussen het projektielenzenstelsel en een masker-uitrichtkenmerk een extra lens is aangebracht voor het korrigeren van de vergroting waarmee een substraat-uitrichtkenmerk op het masker-uitrichtkenmerk wordt afgebeeld.

5 De uitvinding is in de eerste instantie ontstaan door de behoefte in een projectie-apparaat waarin de projectiebundel een golflengte in het verre ultraviolette gebied van het spektrum heeft terwijl de uitrichtbundel een rode bundel is. In dat geval zijn de uitrichtbundel-gedeeltes met de verschillende diffractie-orde

10 gescheiden zodat alleen de eerste-orde gedeeltes op een masker-uitrichtkenmerk terecht komen. De uitvinding kan echter ook met veel voordeel toegepast worden in een apparaat waarin de projectielichtbundel een langere golflengte heeft en derhalve het verschil tussen de golflengtes van de projectiebundel en de uitrichtbundel kleiner is zodat

15 in principe met achromatische, of kleurgecorrigeerde, lenzen gewerkt kan worden, zoals bijvoorbeeld in het apparaat volgens het Amerikaanse octrooischrift nr. 4.778.275. Het omvangrijke en aan strenge tolerantie-eisen onderhavige korrektie-element van het laatsgenoemde apparaat wordt dan vervangen door het kleiner korrektie-element volgens de uitvinding

20 waaraan minder strenge eisen gesteld worden. Bovendien heeft dit apparaat dan geen aparte lens voor de eerste-orde korrektie van vergrotingsfouten meer te bevatten omdat deze korrektie al door het nieuwe korrektie-element wordt verzorgd.

Aangezien deze lens slechts een kleine korrektie tot

25 stand heeft te brengen, heeft zij slecht een geringe sterkte, zodat een stabiliteitseisen die aan deze lens gesteld moeten worden aanzienlijk kleiner zijn dan die welke aan een overeenkomstige lens in de inrichting volgens het Amerikaanse octrooischrift 4.778.275 gesteld moeten worden.

30 Vooral bij een kleiner verschil tussen de golflengtes van de projectiebundel en de uitrichtbundel en bij gebruik van achromatische lenselementen zou echter ook straling van hogere dan de eerste diffractie-orde op het masker-uitrichtkenmerk terecht kunnen komen. Een uitvoeringsvorm van de inrichting waarin dit voorkomen wordt vertoont

35 als kenmerk, dat in het projektielenzenstelsel een diafragma is aangebracht dat de gedeeltes van de van het substraat-uitrichtkenmerk afkomstige uitrichtbundel met diffractie-orde hoger dan één

blokkeert.

Dit diafragma bevindt zich in de buurt van het korrektie-element, en bij voorkeur in het vlak van dit element.

Een eerste uitvoeringsvorm van deze inrichting vertoont
5 als kenmerk, dat het diafragma wordt gevormd door een voor de projectiebundel en de uitrichtbundel doorzichtige laag waarin, op de posities waar de gedeeltes van de uitrichtbundel met diffraktie-ordes hoger dan één deze laag bereiken gebiedjes die de straling van de uitrichtbundel blokkeren aangebracht zijn.

10 Het totale oppervlakte van de bedoelde gebiedjes, die in hoofdzaak de in de derde en vijfde ordes afgebogen straling van de uitrichtbundel moeten blokkeren, is slechts 5 à 10% van het oppervlak van de pupil van het projectielenzenstelsel, zodat deze gebiedjes slechts een verwaarloosbare invloed op de projectiebundel hebben. De
15 bedoelde laag kan van hetzelfde materiaal als de lenzen zijn waarbij de gebiedjes gevormd worden bijvoorbeeld dotjes absorberend materiaal.

Een tweede uitvoeringsvorm van de inrichting met een diafragma in het vlak van het korrektie-element vertoont als kenmerk,
20 dat het diafragma wordt gevormd door een laag dichroïtische materiaal dat doorzichtig is voor de projectiebundel en ondoorzichtig voor de uitrichtbundel in welke laag zich voor de uitrichtbundel doorzichtige gebieden bevinden op die posities waar de eerste orde gedeeltes van de uitrichtbundel deze laag bereiken.

Dit diafragma biedt het voordeel dat het enerzijds geen
25 obstakels voor de projectiebundel bevat en anderzijds effectiever is in het blokkeren van de hogere dan eerste diffraktie-ordes van de uitrichtbundel.

Behalve met een diafragma geplaatst in het projectielenzenstelsel, bij voorkeur in vlak van het korrektie-element,
30 kan ook op andere wijze bereikt worden dat de door het detektiestelsel waargenomen afbeelding van het substraat uitrichtkenmerk op het masker-uitrichtkenmerk door alleen de eerste diffraktie-orde gedeeltes van de uitrichtbundel tot stand gebracht wordt.

Een eerste uitvoeringsvorm van de inrichting volgens de
35 uitvinding waarin deze mogelijkheid is gerealiseerd vertoont als kenmerk, dat tussen het projectielenzenstelsel en het masker een diafragma is aangebracht dat stralingsdoorlatend is in het gebied

8900991.

waar de door een substraat-uitrichtkenmerk in de eerste ordes afgebogen gedeeltes van de uitrichtbundel dit diafragma bereiken.

Omdat het diafragma achter het projektielenzenstelsel geplaatst is en dichtbij de afbeelding van het substraat-
5 uitrichtkenmerk, kan het onder omstandigheden voorkomen dat toch nog in hogere ordes, met name in de derde en vijfde orde, afgebogen straling van de uitrichtbundel door de diafragma-openingen treedt en het detektiestelsel bereikt. Om dat te voorkomen kan de laatstgenoemde uitvoeringsvorm als verder kenmerk vertonen, dat tussen het masker en
10 het stralingsgevoelige detektiestelsel een diafragmastelsel is aangebracht dat slechts de door een substraat-uitrichtkenmerk en een masker-uitrichtkenmerk in de eerste diffraktie-orde afgebogen gedeeltes van de uitrichtbundel doorlaat naar het detektiestelsel.

Dit diafragmastelsel kan weer een diafragma-plaat zijn met
15 openingen voor de eerste-orde bundelgedeeltes, maar ook bestaan uit een aantal stralingsgeleidende pijpjes voor alleen de eerste diffraktie-orde.

De hierboven genoemde verschillende filter-elementen van de eerste-orde bundelgedeeltes kunnen ook gekombineerd worden.

20 De diameter van het korrektie-element is bijvoorbeeld kleiner dan een tiende van die van het projektielenzenstelsel en dit korrektie-element is op een zodanige positie binnen het projektielenzenstelsel geplaatst dat dit element de stralengang van de projektiebundel zo weinig mogelijk beïnvloedt zodat de kwaliteit van
25 de afbeelding van het maskerpatroon op het substraat zo goed mogelijk gehandhaafd blijft. Onder omstandigheden kan het apparaat volgens de uitvinding als verder kenmerk hebben, dat het verlichtingsstelsel een projektiebundel levert die in het projektielenzenstelsel in het vlak van het korrektie-element een ringvormige doorsnede heeft. Dan kan er voor
30 gezorgd worden dat ter plaatse van het korrektie-element de binnendiameter van de ringvormige doorsnede groter is dan het oppervlak van het korrektie-element.

De uitrichtbundel kan verschillende wijzen in de stralingsweg tussen het substraat-uitrichtkenmerk in het masker-
35 uitrichtkenmerk gebracht worden. Een eerste mogelijkheid bestaat daarin dat tussen de maskertafel en het projektielenzenstelsel een reflector is aangebracht voor het inspiegelen van de uitrichtbundel in het

projektielenzenstelsel. Daarbij vertoont het apparaat als verder kenmerk, dat tussen het projektielenzenstelsel en het detektiestelsel een diafragma-stelsel is aangebracht dat behalve de gedeelten met diffraktie-orde hoger dan één ook het nulde-orde gedeelte van de
5 van een substraat-uitrichtkenmerk afkomstige uitrichtbundel blokkeert.

Een tweede mogelijkheid van inspiegelen van de uitrichtbundel is gerealiseerd in een uitvoeringsvorm die als kenmerk heeft dat de houder van het projektielenzenstelsel een stralingsdoorlatende venster bevat waardoor de uitrichtbundel
10 transversaal ten opzichte van de optische as van dit stelsel binnen kan treden en dat in het projektielenzenstelsel een reflektor is aangebracht voor het reflektieren van de binnentredende uitrichtbundel naar de substraattafel.

Zoals beschreven in het Amerikaanse octrooischrift
15 nr. 4.778.275 bevat een apparaat voor het afbeelden van een maskerpatroon op een substraat bij voorkeur behalve de genoemde inrichting voor het ten opzichte van elkaar uitrichten van een eerste masker-uitrichtkenmerk en een substraat-uitrichtkenmerk, een tweede analoge inrichting voor het ten opzichte van elkaar uitrichten van een
20 tweede masker-uitrichtkenmerk en een substraat-uitrichtkenmerk met een tweede uitrichtbundel. Dan kan de relatieve hoekoriëntatie van het maskerpatroon en het substraat direkt en langs optische weg worden vastgelegd en kan tevens de vergroting waarmee het projektielenzenstelsel het maskerpatroon op het substraat afbeeldt
25 worden bepaald. Een dergelijk apparaat waarin de uitvinding is toegepast vertoont als kenmerk, dat de eerste en tweede uitrichtbundel een gemeenschappelijke korrektie-element hebben.

Dit apparaat kan als verder kenmerk hebben, dat de reflektor een eerste, respektievelijk tweede reflektierend vlak bevat
30 voor het reflektieren van de eerste, respektievelijk tweede uitrichtbundel naar de substraattafel, welke vlakke even grote doch tegengestelde hoeken maken met de optisch as van het projektielenzenstelsel en dat de houder van het projektielenzenstelsel is voorzien van twee stralingsdoorlatende vensters tegenover de genoemde
35 reflektierende vlakken.

De eerste en tweede uitrichtbundel kunnen door afzonderlijke stralingsbronnen worden geleverd en via aparte elementen

8900991.

in de stralingswegen tussen de masker-uitrichtkenmerken en substraat-uitrichtkenmerken gebracht worden, bijvoorbeeld door instralen in de houder van het projektielenzenstelsel via de genoemde stralingsdoorlatende vensters.

5 Het apparaat kan echter ook als verder kenmerk hebben, dat de eerste en tweede uitrichtinrichting één gemeenschappelijke stralingsbron hebben voor het leveren van twee uitrichtbundels die onder verschillende richtingen eenzelfde stralingsdoorlatende venster in de houder van het projektielenzenstelsel bereiken waarna een van de
10 uitrichtbundels rechtstreeks op één van de reflekerende vlakken invalt, terwijl de andere uitrichtbundel de genoemde houder via het tweede stralingsdoorlatende venster verlaat en invalt op een extra reflektor die deze uitrichtbundel reflekteert naar het tweede reflekerend vlak.

15 Een voorkeursuitvoeringsvorm van het apparaat vertoont als verder kenmerk, dat de substraatkenmerken worden gevormd door fase-diffraktierasters en de maskerkenmerken door amplitude-diffraktierasters.

 Zoals beschreven in het Amerikaanse octrooischrift nr. 4.251.160 hebben periodieke rasters ten opzichte van andere
20 uitrichtkenmerken, zoals bijvoorbeeld vierkante kenmerken of zich loodrecht snijdende stroken, het voordeel dat bij het meten van positiefouten over de rasters gemiddeld wordt. Daardoor kan nauwkeurig uitgericht worden, zelfs indien de rasters onregelmatigheden vertonen, zoals afwijkingen van de nominale breedte van de rasterstroken en/of, in
25 het geval van profielraster, afwijkingen van het nominale profiel van de rastergroeven. De substraatrasters behoeven voor de hele vervaardigingscyclus van een geïntegreerde schakeling slechts één keer aangebracht te worden en niet opnieuw in elke nieuw opgebracht laag. Faserasters op het substraat hebben ten opzichte van
30 amplituderasters het voordeel dat zij goed "zichtbaar" blijven. De faserasters zijn bovendien goed bestand tegen de vele diffusieprocessen die het substraat tijdens het maken van geïntegreerde schakelingen moet ondergaan.

 Door combinatie van rastervormige uitrichtkenmerken en
35 filtering van de eerste-orde deelbundels wordt bereikt dat het uitrichtsignaal niet beïnvloed wordt door hogere-orde afwijkingen van de rastervormen.

De voorkeursuitvoeringsvorm van de inrichting volgens de uitvinding kan als verder kenmerk vertonen, dat in de stralingsweg van een uitrichtbundel met periodieke signalen gestuurde middelen aanwezig zijn voor het periodiek ten opzichte van elkaar verplaatsen van een door
5 het detektiestelsel waargenomen masker-uitrichtkenmerk en de afbeelding op dit kenmerk van een substraat-uitrichtkenmerk. In het geval van rasterkenmerken is de verplaatsing in de orde van een halve periode van het maskerraster.

De genoemde middelen kunnen gevormd worden door een
10 aandrijver voor het masker, zodat het masker-uitrichtkenmerk periodiek wordt bewogen, of door een polarisatiemodulator in combinatie met polarisatiegevoelige elementen die er voor zorgen dat de afbeelding van het substraat-uitrichtkenmerk effectief wordt geoscilleerd over een masker-uitrichtkenmerk. Door het periodiek verplaatsen van de door het
15 detektiestelsel waargenomen afbeelding van het substraatkenmerk ten opzichte van het maskerkenmerk wordt een dynamisch uitrichtsignaal verkregen, en wordt de nauwkeurigheid en de gevoeligheid van de inrichting aanzienlijk verbeterd. Het laatste is van belang indien de substraat-uitrichtkenmerken nog maar zwak reflekteren.

20 De uitvinding zal nu worden toegelicht aan de hand van de tekening. Daarin tonen:

figuur 1 een uitvoeringsvorm van een apparaat voor het repeterend afbeelden van een maskerpatroon op een substraat,
figuur 2 een, bekende, uitvoeringsvorm van een
25 uitrichtkenmerk in vorm van een tweedimensionaal raster,
figuur 3 een eerste uitvoeringsvorm van een apparaat volgens de uitvinding met twee uitricht-inrichtingen,
figuur 4 de werking van de in dit apparaat gebruikte korrektielens,

30 de figuren 5 en 6 een eerste en tweede uitvoeringsvorm van een diafragma-plaat geschikt voor het apparaat volgens de uitvinding,

de figuren 7 en 8 verdere uitvoeringsvormen van diafragma-elementen voor gebruik in dit apparaat, en

35 figuur 9 een tweede uitvoeringsvorm van dit apparaat.

In figuur 1 is een uitvoeringsvorm van een apparaat voor het repeterend afbeelden van een maskerpatroon op een substraat

weergegeven. De hoofdonderdelen van dit apparaat zijn een projektiekolom, waarin een af te beelden maskerpatroon C is aangebracht, en een beweegbare substraattafel WT, waarmee het substraat ten opzichte van het maskerpatroon C gepositioneerd kan worden.

5 In de projektiekolom is opgenomen een verlichtingsstelsel, dat bijvoorbeeld bestaat uit een laser LA, een bundelverbreder E_x , een element IN, ook wel aangeduid met integrator, dat een homogene stralingsverdeling binnen de projektiebundel PB bewerkstelligt, en een condensorlens CO. De projektiebundel PB verlicht
10 het in het masker M aanwezige maskerpatroon C, welk masker is aangebracht op een maskertafel MT.

De door het maskerpatroon C tredende bundel PB doorloopt een in de projektiekolom aangebracht, en slechts schematisch aangegeven, projektielenzenstelsel PL dat een afbeelding van het patroon C op het
15 substraat W vormt. Het projektielenzenstelsel heeft bijvoorbeeld een vergroting $M = 1/5$, een numerieke apertuur $N.A. = 0,48$ en een buigingsbegrensd beeldveld met een diameter van 22 mm.

Het substraat W is aangebracht op een bijvoorbeeld luchtgelagerde substraattafel WT. Het projektielenzenstelsel PL en de
20 substraattafel WT zijn aangebracht in een behuizing HO die aan de onderkant afgesloten wordt door een, bijvoorbeeld granieten, grondplaat BP en aan de bovenkant door de maskertafel MT.

Zoals in figuur 1 is aangegeven bevat het masker MA twee uitrichtkenmerken M_1 en M_2 . Deze kenmerken bestaan bij voorkeur uit
25 diffraktierasters, maar kunnen ook gevormd worden door andere kenmerken, zoals vierkanten of stroken die zich optisch van hun omgeving onderscheiden. De uitrichtkenmerken zijn bij voorkeur tweedimensionaal, dat wil zeggen dat zij zich in twee onderling loodrechte richtingen, de X- en Y-richting in figuur 1, uitstrekken. Het substraat W, bijvoorbeeld
30 een halfgeleidersubstraat, waarop het patroon C een aantal malen naast elkaar afgebeeld moet worden, bevat een aantal uitrichtkenmerken, bij voorkeur ook weer tweedimensionale diffraktierasters, waarvan er twee, P_1 en P_2 , in figuur 1 zijn aangegeven. De kenmerken P_1 en P_2 zijn gelegen buiten de gebieden op het substraat W waar de afbeeldingen
35 van het patroon C gevormd moeten worden. Bij voorkeur zijn de rasterkenmerken P_1 en P_2 uitgevoerd als faserasters en de rasterkenmerken M_1 en M_2 als amplituderasters.

In figuur 2 is een uitvoeringsvorm van een van de twee identieke substraatfaserasters vergroot weergegeven. Een dergelijk raster kan bestaan uit vier deelrasters $P_{1,a}$, $P_{1,b}$, $P_{1,c}$ en $P_{1,d}$, waarvan er twee, $P_{1,b}$ en $P_{1,d}$ dienen voor het uitrichten in de X-richting en de twee overige, $P_{1,a}$ en $P_{1,c}$ voor het uitrichten in de Y-richting. De twee deelrasters $P_{1,b}$ en $P_{1,c}$ hebben een rasterperiode van bijvoorbeeld $16 \mu\text{m}$ en de deelrasters $P_{1,a}$ en $P_{1,d}$ een rasterperiode van bijvoorbeeld $17,6 \mu\text{m}$. Elk van de deelrasters kan een afmeting van bijvoorbeeld $200 \times 200 \mu\text{m}$ hebben. Met deze raster en een geschikt optisch stelsel kan een uitrichtnauwkeurigheid van in principe kleiner dan $0,1 \mu\text{m}$ bereikt worden. Er is voor verschillende rasterperiodes gekozen om het invangbereik van de uitricht-inrichting te vergroten.

Figuur 3 toont de optische elementen die gebruikt worden bij het uitrichten in een eerste uitvoeringsvorm van het apparaat volgens de uitvinding. Dit apparaat bevat twee afzonderlijke en identieke uitrichtsystemen AS_1 en AS_2 die symmetrisch ten opzichte van de optische as AA' van het projectielenzenstelsel PL gepositioneerd zijn. Het uitrichtsysteem AS_1 is toegevoegd aan het maskeruitrichtkenmerk M_2 en het uitrichtsysteem AS_2 aan het maskeruitrichtkenmerk M_1 . De overeenkomstige elementen van de twee uitrichtsystemen zijn met gelijke verwijzingscijfers aangeduid waarbij die van het systeem AS_2 zich door het accentteken van die van het systeem AS_1 onderscheiden.

Thans zal eerst de opbouw van het systeem AS_1 beschreven worden, alsmede de wijze waarop met dit systeem de onderlinge positie van het maskerkenmerk M_2 en bijvoorbeeld het substraatkenmerk P_1 wordt vastgesteld.

Het uitrichtsysteem AS_1 bevat een stralingsbron 1, bijvoorbeeld een Helium-Neon laser, die een uitrichtbundel b uitzendt. Deze bundel wordt door een bundeldeler 2 naar het substraat W gereflekteerd. De bundeldeler kan bestaan uit een halfdoorlatende spiegel of een halfdoorlatend prisma, maar wordt bij voorkeur gevormd door een polarisatiegevoelig deelprisma dat gevolgd wordt door een $\lambda/4$ -plaat 3, waarin λ de golflengte van de bundel b is. Het projectielenzenstelsel PL focuseert de bundel b in een kleine stralingsvlek V , met een diameter in de orde van 1 mm , op het substraat

8900991:

W. Dit substraat reflekteert een deel van de bundel, als bundel b_1 , in de richting van het masker M. De bundel b_1 doorloopt het projektielenzenstelsel PL waarbij dit stelsel de stralingsvlek V afbeeldt op het masker. Voordat het substraat in het belichtingsapparaat
5 wordt aangebracht is het vóór-uitgericht in een met het apparaat gekoppeld vóór-uitrichtstation, bijvoorbeeld het station dat beschreven is in de Europese octrooiaanvraag no. 0.164.165, zodanig dat de stralingsvlek V op het substraatkenmerk P_2 gelegen is. Dit kenmerk wordt dan door de bundel b_1 afgebeeld op het maskerkenmerk M_2 . De
10 dimensie van het maskerkenmerk M_2 is, rekening houdende met de vergroting M van het projektielenzenstelsel, aangepast aan die van het substraatkenmerk P_2 , zodat bij een goede onderlinge positionering van de twee kenmerken het beeld van het kenmerk P_2 nauwkeurig samenvalt met het kenmerk M_2 .

15 Op zijn heen- en terugweg naar en van het substraat W heeft de bundel b, respectievelijk b_1 , tweemaal de $\lambda/4$ -plaat 3 doorlopen, waarvan de optische as onder een hoek van 45° staat met de polarisatierichting van de van de bron 1 afkomstige lineair gepolariseerde bundel b. De door de $\lambda/4$ -plaat tredende bundel b_1 heeft
20 dan een polarisatierichting die over 90° gedraaid is ten opzichte van de bundel b, zodat de bundel b_1 door het polarisatiedeelprisma 2 wordt doorgelaten. Het gebruik van het polarisatiedeelprisma in combinatie met de $\lambda/4$ -plaat biedt het voordeel van een minimaal stralingsverlies bij het inkoppelen van de uitrichtbundel in de stralingsweg van het
25 uitrichtsysteem.

De door het uitrichtkenmerk M_2 doorgelaten bundel b_1 wordt door een prisma 11 gereflekteerd en door bijvoorbeeld een verder reflekterend prisma 12 naar een stralingsgevoelige detektor 13 gericht. Deze detektor is bijvoorbeeld een samengestelde fotodiode met bijvoor
30 beeld vier afzonderlijke stralingsgevoelige gebiedjes in overeenstemming met het aantal deelrasters volgens figuur 2. De uitgangssignalen van deze detektoren zijn een maat voor het samenvallen van het kenmerk M_2 met de afbeelding van het substraatkenmerk P_2 . Deze signalen kunnen elektronisch verwerkt worden en gebruikt worden om met behulp van, niet
35 weergegeven, aandrijfsystemen het masker en het substraat ten opzichte van elkaar te bewegen zodanig dat de afbeelding van het kenmerk P_2 samenvalt met het kenmerk M_2 . Aldus is een automatisch

8900991.

uitrichtapparaat verkregen.

Eventueel kan tussen het prisma 11 en de detektor 13 een bundeldeler 14, in de vorm van bijvoorbeeld een gedeeltelijk doorlatend prisma, aangebracht zijn die een gedeelte van de bundel b_1 , als bundel 5 b_2 , afgesplitst. De afgesplitst bundel b_2 valt dan via bijvoorbeeld twee lenzen 15 en 16 in op een televisiekamera 17 die gekoppeld is met een, niet weergegeven, monitor waarop de uitrichtkenmerken P_2 en M_2 voor een bedienaar van het belichtingsapparaat zichtbaar zijn. Deze bedienaar kan dan konstateren of beide kenmerken samenvallen en 10 eventueel door middel van manipulatoren het substraat W verschuiven om de kenmerken te laten samenvallen.

Op analoge manier als hierboven beschreven voor de kenmerken M_2 en P_2 kunnen ook de kenmerken M_1 en P_2 15 respektievelijk de kenmerken M_1 en P_1 ten opzichte van elkaar uitgericht worden. Voor de twee laatstgenoemde uitrichtingen wordt het uitrichtsysteem AS_2 gebruikt.

Voor bijzonderheden over de uitrichtingsprocedure met behulp van de uitrichtsystemen wordt verwezen naar het Amerikaanse 20 octrooischrift nr. 4.778.275. Zoals daarin eveneens beschreven werken de uitrichtsystemen AS_1 en AS_2 zeer nauw samen met een uiterst nauwkeurig tweedimensionaal verplaatsingsmeetsystemen voor het, tijdens het uitrichtprocedure, meten van de verplaatsing van het substraat en het masker ten opzichte van elkaar. Dan kunnen de posities van en de 25 onderlinge afstanden tussen, de uitrichtkenmerken P_1 en P_2 , M_1 en M_2 in een door het verplaatsingsmeetsystemen vastgelegd koördinatiesysteem vastgelegd worden. Het verplaatsingsmeetsystemen, dat in figuur 1 met IF is aangegeven is bijvoorbeeld een interferometersysteem dat in het Amerikaanse octrooischrift nr. 4.251.160 beschreven is.

30 Omdat het projectielenzenstelsel PL ontworpen is voor de golflengte van de projectiebundel PB, die in verband met het gewenste groot oplossend vermogen zo klein mogelijk moet zijn, treden bij het gebruik van dit stelstel PL voor het op elkaar afbeelden van de uitrichtkenmerken P_1 , P_2 en M_1 , M_2 met behulp van de 35 uitrichtbundel afwijkingen op. Zo zullen de substraatuitrichtkenmerken P_1 , P_2 niet in het vlak van het maskerpatroon waarin de masker-uitrichtkenmerken gelegen zijn maar op een bepaalde afstand daarvan

8900991.

afgebeeld worden, waarbij die afstand afhangt van het verschil tussen de golflengten van de projektiebundel en de uitrichtbundel en het verschil tussen de brekingsindices die het materiaal van de projektieelementen vertoont voor de twee golflengtes. In het geval
5 de projektiebundel een golflengte van bijvoorbeeld 248 nm heeft en de uitrichtbundel een golflengte van 633 nm kan deze afstand tot 2 m bedragen. Bovendien wordt als gevolg van het genoemde golflengteverschil een substraat-uitrichtkenmerk afgebeeld op een masker-uitrichtkenmerk met een vergroting die afwijkt van de gewenste vergroting waarbij de
10 afwijking toeneemt met toenemende golflengteverschil.

Om voor de genoemde afwijkingen te corrigeren is volgens de uitvinding in de projektiekolom PL een extra lens, of korrektielens, 25 opgenomen. De korrektielens is aangebracht op een zodanige hoogte in de projektiekolom dat enerzijds in het vlak van de korrektielens de
15 deelbundels van de verschillende diffractie-orde van de uitrichtbundel, welke deelbundels gevormd worden door een substraat-uitrichtkenmerk, voldoende gescheiden zijn om deze deelbundels afzonderlijk te kunnen beïnvloeden, en anderzijds deze korrektielens een verwaarloosbare invloed heeft op de projektiebundel en de daarmee gevormde masker-
20 afbeelding. Bij voorkeur bevindt de projektie lens zich in het achterbrandvlak van het projektie lensstelsel. Indien dit stelsel aan de substraatzijde telecentrisch is valt dit brandvlak samen met het vlak van de uittreepupil van dit stelsel. Bevindt zich, zoals in figuur 3 is aangegeven, de korrektielens 25 in een vlak 24 waar de hoofdstralen van
25 de uitrichtbundels b en b' elkaar snijden, dan kan deze lens gelijktijdig voor het corrigeren van beide uitrichtbundels gebruikt worden.

Het effect van de korrektielens 25 kan worden verduidelijkt aan de hand van figuur 4 die het gedeelte van de
30 stralingsweg van de uitrichtbundels tussen de korrektielens en de substraat-uitrichtkenmerken weergeeft. Deze kenmerken zijn uitgevoerd als diffraktierasters. De op het raster P_2 invallende uitrichtbundel b wordt gesplitst in een nulde-orde deelbundel $b(0)$ die, bij loodrecht inval van de bundel b_1 dezelfde richting heeft als de bundel b , twee
35 deelbundels $b(+1)$, $b(-1)$ van de eerste-orde en een aantal paren van deelbundels van de derde, vijfde enz. ordes. Deze deelbundels worden naar het projektie lensstelsel gereflekteerd. De eerste orde

deelbundels bereiken de in het vlak 24 gelegen korrektielens 25. Deze lens heeft een zodanige sterkte dat zij de richtingen van de eerste-orde deelbundels $b(-1)$ en $b(+1)$ dusdanig verandert dat de hoofdstralen van deze bundels elkaar snijden in het vlak van het masker-
5 uitrichtkenmerk M_2 . De korrektielens heeft bovendien een zodanig kleine diameter dat de hogere ordes deelbundels die door het kenmerk P_2 over grotere hoeken worden afgebogen dan de eerste-orde deelbundels niet door deze lens gaan. Bij de korrektielens is verder een element
10 aangebracht dat verhindert dat de nulde-orde deelbundels $b(0)$, $b'(0)$ door de korrektielens treden. In de uitvoeringsvorm volgens figuur 4 wordt dit element gevormd door een reflekterende dubbele wig 26, welke wig gebruikt wordt om de uitrichtbundel b en b' in het
projektielenzenstelsel te koppelen. Deze wig reflekteert de nulde orde
15 invallende uitrichtbundel b , respektievelijk b' . Door de genoemde maatregelen wordt bereikt dat voor de afbeelding van het raster P_2 op het raster M_2 alleen de eerste-orde deelbundels gebruikt worden, waardoor enkele additionele voordelen behaald worden.

De nulde-orde deelbundel bevat geen informatie over de
20 positie van het raster P_2 . De intensiteit van deze deelbundel kan in afhankelijkheid van de geometrie van het raster, met name de diepte van de rastergroeven en de verhouding van de breedte van deze groeven tot de breedte van de rastertussenstroken aanzienlijk zijn vergeleken met de
25 intensiteit van de eerste-orde deelbundel. Door onderdrukken van de nulde-orde deelbundel kan het contrast in de afbeelding van P_2 aanzienlijk worden verhoogd. Doordat de tweede en hogere ordes
deelbundels onderdrukt worden hebben onregelmatigheden in het raster P_2 geen invloed op het uitrichtsignaal. Bij gebruik van alleen de
30 eerste-orde deelbundels wordt als het ware de tweede harmonische van het raster P_2 afgebeeld, met andere woorden de afbeelding van P_2 heeft, afgezien van de vergroting M van het projektielenzenstelsel PL , een periode die de helft is van die van het raster P_2 . Indien er voor
gezorgd wordt dat de rasterperiode van het raster M_2 gelijk is aan die van de afbeelding van P_2 , dus gelijk is aan $\frac{m}{2}$ maal de
35 rasterperiode van het raster P_2 , is de nauwkeurigheid waarmee de rasters M_2 en P_2 uitgericht worden tweemaal zo groot dan in het geval de volledige bundel b voor de afbeelding gebruikt wordt.

8900991.

Onder omstandigheden, vooral bij een kleiner verschil tussen de golflengtes van de projectiebundel PB en een uitrichtbundel b, b' en bij gebruik van achromatische lenselementen in het projectielenzenstelsel, kan het voorkomen dat de deelbundels met
5 diffractie-orde groter dan één via het projectielenzenstelsel toch het masker-uitrichtkenmerk M_2 bereiken. In dat geval kan een diafragmaplaat in, of in de buurt van de korrektielens 25 aangebracht worden die alleen de eerste-orde deelbundels doorlaat.

Twee uitvoeringsvormen van deze diafragmaplaat 30 zijn
10 overzichtelijkheidshalve afzonderlijk in de figuren 5 en 6 weergegeven. In figuur 5 is het materiaal 31 van deze plaat doorzichtig voor zowel de projectiebundel als de uitrichtbundel en bevinden zich op de plaat 30, op die posities waar gedeelten van de uitrichtbundel met diffractie-orde hoger dan één de plaat bereiken, gebiedjes 33 die
15 straling van de uitrichtbundel blokkeren. Deze gebiedjes zijn klein en bedekken gezamenlijk slechts 5 à 10% van het oppervlak van de pupil van het projectielenzenstelsel, zodat de gebiedjes 33 een verwaarloosbare invloed op de projectiebundel hebben. Het materiaal 31 kan van dezelfde soort zijn als het materiaal van de
20 projectielenselementen en de gebiedjes 33 kunnen uit een absorberend of reflektierend materiaal bestaan.

Het materiaal 32 van de diafragmaplaat volgens figuur 6 is dichroïtisch en doorzichtig voor de projectiebundel maar ondoorzichtig voor de uitrichtbundel. Thans zijn in de laag 32 op die
25 posities waar de uitricht-deelbundels van de eerste ordes de diafragmaplaat 30 bereiken gebiedjes 34 aangebracht die de straling van de uitrichtbundel doorlaten. Deze diafragmaplaat biedt het voordeel dat zij geen obstakels bevat voor de projectiebundel en effectiever de hogere ordes deelbundels van de uitrichtbundel blokkeert.

30 In plaats van met een diafragma geplaatst in het projectielenzenstelsel kan ook met een diafragma geplaatst tussen het projectielenzenstelsel en het masker bereikt worden dat de door het detektiestelsel waargenomen afbeelding van een substraat-uitrichtkenmerk op een masker-uitrichtkenmerk door alleen de eerste diffractie ordes-
35 gedeeltes van de uitrichtbundel tot stand gebracht wordt. Deze mogelijkheid is schematisch geïllustreerd in figuur 7. In deze figuur is PL weer het projectielenzenstelsel en MA het masker. 35 Is een

diafragmaplaat die ondoorzichtig is voor de uitrichtbundel maar een doorzichtige opening 36 bevat voor de eerste orde deelbundels van de niet weergegeven uitrichtbundel b'.

Omdat de diafragmaplaat 35 achter het
5 projeksielenzenstelsel en dichtbij de afbeelding van het substraat-
uitrichtkenmerk geplaatst is, kan het voorkomen dat toch nog in hogere
ordes, met name in de derde en vijfde ordes, afgebogen straling van de
uitrichtbundel door de opening 36 treedt en het detektiestelsel 13'
bereikt. Om dat te voorkomen kan, zoals in figuur 7 eveneens aangegeven
10 is tussen het masker MA en het detektiestelsel 13' een verdere
diafragmaplaat 37 met openingen 38 voor de door het substraat-
uitrichtkenmerk en het bijbehorende masker-uitrichtkenmerk in de eerste
ordes afgebogen deelbundels van de uitrichtbundel aangebracht zijn.

In plaats van een tweede diafragmaplaat 37 kunnen ook,
15 zoals in figuur 8 schematisch is weergegeven, stralingsdoorlatende
pijpjes 39 tussen het detektiestelsel 18' en bijvoorbeeld het prisma
11' aangebracht worden, welke pijpjes er voor zorgen dat slechts in de
eerste ordes afgebogen gedeeltes van de uitrichtbundel het
detektiestelsel 13' bereiken.

20 De korrektielens 25 zorgt er niet alleen voor dat een
uitrichtbundel scherp op het maskervlak wordt gefokuseerd, maar kan
tevens korrigeren voor de vergrotingsfout waarmee een substraat-
uitrichtkenmerk op een masker-uitrichtkenmerk wordt afgebeeld, welke
vergrotingsfout een gevolg is van het feit dat het
25 projeksielenzenstelsel ontworpen is voor de golflengte van de
projektiebundel en niet voor die van een uitrichtbundel. Deze
vergrotingsfout-korrektie zal in vele gevallen voldoende zijn. In een
apparaat waarin een diep-ultraviolette bundel, met een golflengte van
bijvoorbeeld 248 nm, als projektiebundel gebruikt wordt kan het
30 voorkomen dat de korrektielens 25 de vergrotingsfout niet volledig kan
korrigeren. In dat geval kan in de weg van de uitrichtbundel tussen het
projeksielenzenstelsel PL en het masker-uitrichtkenmerk een extra lens 9
aangebracht worden om de rest-vergrotingsfout te elimineren.

In het voorgaande is de uitrichting van de uitricht-
35 kenmerken P_2 en M_2 in de X-richting met behulp van de in het Y-Z
vlak afgebogen eerste-orde deelbundels beschreven. Bij gebruik van twee
dimensionale buigingsrasters, zoals in figuur 2 getoond, ontstaan ook in

het Y-Z vlak deelbundels met dezelfde buigingsordes als in het X-Z vlak. Van die deelbundels kunnen, zoals in de figuren 7 en 8 reeds aangegeven is, de eerste-orde deelbundels uitgefilterd worden en voor het uitrichten in de Y-richting gebruikt worden. Daarbij kunnen dezelfde
5 korrektielens en diafragmerende middelen als voor de X-uitrichting gebruikt worden, waarbij de diafragmerende middelen dan geschikt gemaakt zijn voor vier in plaats van voor twee deelbundels.

Na beschrijving van het systeem AS_1 , dat dient voor het uitrichten van het masker-uitrichtkenmerk M_2 ten opzichte van een
10 substraat-uitrichtkenmerk behoeft het systeem AS_2 waarmee het raster-uitrichtkenmerk M_1 ten opzichte van een substraat-uitrichtkenmerk wordt uitgericht, geen nadere toelichting. Het systeem AS_2 bevat soortgelijke elementen en werkt op dezelfde wijze als het systeem AS_1 . Zoals al in figuur 4 is aangegeven hebben de systemen AS_1 en
15 AS_2 de korrektielens 25 gemeenschappelijk.

De nauwkeurigheid waarmee de substraat-uitrichtkenmerken ten opzichte van de masker-uitrichtkenmerken kunnen worden uitgericht wordt aanzienlijk verhoogd door de uitgangssignalen van de detectoren 13 en 13' met een vaste frequentie te moduleren. Daartoe kan, zoals in
20 het artikel in "SPIE", Vol. 470 "Optical Microlithography" III "Technology for the next Decade" 1984, pag. 62-69 beschreven is, het masker M en daarmee bijvoorbeeld het maskerkenmerk M_2 periodiek bewogen worden. Een beter alternatief voor het verkrijgen van een dynamisch uitrichtsignaal, dat beschreven is in het Amerikaanse
25 octrooischrift no. 4.251.160, en waarmee ook de nauwkeurigheid van de uitrichtinrichting volgens de uitvinding kan worden verhoogd, is in figuur 3 aangegeven.

Alvorens het kenmerk M_2 te bereiken heeft de bundel b_1 het polarisatiegevoelige deelprisma 2 doorlopen zodat deze bundel
30 lineair gepolariseerd is en een bepaalde polarisatierichting heeft. Vervolgens doorloopt de bundel b_1 een plaat 8 uit dubbelbrekend materiaal, bijvoorbeeld kwarts, waarvan de optische as een hoek van 45° maakt met de polarisatierichting van de uit het prisma 2 tredende bundel. Het element 8 kan ook bestaan uit een Savart-plaat of uit een
35 prisma van Wollaston. Uit de plaat 8 treden twee onderling loodrechte gepolariseerde bundels die, ter plaatse van het maskerkenmerk M_2 ten opzichte van elkaar verschoven zijn over een bepaalde afstand die

8900991.

bepaald wordt door de geometrie van het kenmerk M_2 . Bij gebruik van rasters als uitrichtkenmerken is de genoemde afstand gelijk aan de helft van de rasterperiode van het raster M_2 . Vóór de detektor 13 zijn een polarisatiemodulator 18 en een polarisatieanalysator 19
5 aangebracht. De modulator 18, bijvoorbeeld een elasto-optische modulator, wordt gestuurd door een spanning V_B geleverd door een generator 20. Daardoor wordt de polarisatierichting van de door de modulator tredende bundel altemeerend over 90° geschakeld. De analysator 19 heeft dezelfde hoofdrichting, of doorlaatrichting, als het
10 polarisatiegevoelige deelprisma 2 zodat altemeerend een eerste stralingsbundel met een eerste polarisatierichting welke bundel bijvoorbeeld een niet verschoven afbeelding van P_2 op M_2 gevormd heeft, en een tweede stralingsbundel met een tweede polarisatierichting, welke bundel bijvoorbeeld een over een halve rasterperiode verschoven
15 beeld van P_2 op M_2 gevormd heeft, naar de detektor 13 doorgelaten. Het signaal van de detektor 13 wordt versterkt en verwerkt in een fasegevoelig detektielcircuit 21 waaraan tevens het signaal V_B is toegevoegd. Het uitgangssignaal S_A is het gewenste dynamische uitrichtsignaal.

20 De modulator 18 en analysator 19 kunnen ook in de stralingsweg vóór het masker-uitrichtkenmerk zijn aangebracht.

Figuur 9 toont een tweede uitvoeringsvorm van een apparaat met een dubbel-uitrichtsysteem. Van dit apparaat zijn slechts de door de onderhavig uitvinding belangrijke onderdelen weergegeven. De
25 houder van het projektielenzenstelsel PL is voorzien van twee stralingsdoorlatende vensters 40 en 41 waardoor de uitrichtbundels b en b' binnentreden. De uitrichtbundel b , respectievelijk b' , valt in op een reflekerend vlak 27, respectievelijk 28, van het reflekerend prisma 26 en wordt dan naar het substraat W waarin zich een, niet
30 weergegeven, uitrichtkenmerk bevindt, gereflekteerd. Dit kenmerk splitst de betreffende uitrichtbundel in een aantal deelbundels van verschillende buigingsordes. De nulde-orde deelbundel wordt door het reflekerend vlak 27, respectievelijk 28 naar buiten gereflekteerd. De eerste-orde deelbundels van de uitrichtbundel b_1 en b_1' worden door een zich
35 boven het prisma 26 bevindende korreklielens 25 tot interferentie gebracht in het vlak van het masker MA in welk vlak zich, niet weergegeven, uitrichtkenmerken bevinden. De door de eerste-orde

8900991.

deelbundels gevormde afbeelding van een substraat-uitrichtkenmerk wordt tesamen met het bijbehorende masker-uitrichtkenmerk waargenomen door een stralingsgevoelige detektor 13, respektievelijk 13'. Vóór deze detektoren bevinden zich blokken 43 en 43' waarin zich de in figuur 3
5 weergegeven elementen 10, 11, 12, 14-19, respektievelijk 10', 11', 12', 14'-19', bevinden.

Indien nodig kunnen de aan de hand van de figuren 5, 6, 7 en 8 beschreven diafragmerende middelen in de weg van elk van de uitrichtbundels aangebracht zijn.

10 Verder kunnen in de wegen van de uitrichtbundels b_1 en b_1' extra lenzen 9 en 9' aangebracht zijn voor het korrigeren van de vergroting waarmee een substraat-uitrichtkenmerk op een masker-uitrichtkenmerk wordt afgebeeld.

De uitrichtbundels kunnen door aparte stralingsbronnen
15 geleverd worden. Bij voorkeur wordt echter, zoals in figuur 9 getoond, gebruik gemaakt van een gemeenschappelijke stralingsbron 50. De door deze bron geleverde bundel wordt door een bundeldeler 51 gesplitst in twee bundels b en b' . De uitrichtbundel b' wordt door een reflektor 53 en via het stralingsdoorlatend venster 41 naar het reflekterend vlak
20 27 van het prisma 26 gereflekteerd. De uitrichtbundel b bereikt via de reflektoren 52 en 54 ook het stralingsdoorlatend venster 41. Deze bundel verlaat de houder van het projektielenzenstelsel PL via het diametraal gelegen tweede stralingsdoorlatend venster 40 en wordt vervolgens door een extra reflektor 42 naar het reflekterend vlak 28 van het prisma 26
25 gereflekteerd.

In de wegen van de bundel b en b' kunnen nog extra elementen in d vorm van plan-parallelle platen 55, 56, 57 en 58 en lenzen 59, 60, 61 en 62 aangebracht zijn waarmee er voor gezorgd kan worden dat beide bundels als evenwijdige bundels loodrecht op het
30 substraat vallen.

De uitvinding is tot nu toe beschreven aan de hand van een apparaat met twee uitricht-inrichtingen maar kan met even groot voordeel toegepast worden in een apparaat dat slechts één uitricht-inrichting, zoals AS_1 in figuur 3, bevat. Een apparaat met een
35 enkelvoudig uitrichtsysteem is beschreven in het Amerikaanse octrooischrift nr. 4.251.160. Het apparaat met een dubbel-uitrichtsysteem geniet echter de voorkeur omdat daarmee rechtstreeks

8900991.

langs optische weg de relatieve hoekoriëntatie van het maskerpatroon en het substraat wordt vastgelegd, en vergrotingsfouten van het projectielenzenstelsel alsmede vervormingen in het substraat en het masker kunnen worden gemeten.

5 Er moet voor gezorgd worden dat de volgens de uitvinding
aangebrachte korrektielens de projectiebundel PB niet wezenlijk
beïnvloedt, zodat de kwaliteit van de masker op substraat afbeelding
gehandhaafd blijft. Doordat de korrektielens 25 op de as AA' van het
10 apparaat is geplaatst en het oppervlak van deze lens bijvoorbeeld
slechts een tiende van de doorsnede van de projectiebundel wordt aan
deze wens verregaand tegemoet gekomen. Als extra maatregel kan de
projectiebundel in plaats van de gebruikelijke rond doorsnede een
ringvormige doorsnede gegeven worden. Daartoe kan bijvoorbeeld de
15 integrator (IN in figuur 1) ringvormig uitgevoerd worden op analoge
wijze als beschreven in het Duitse octrooischrift nr. 2.608.176.

Dat in de beschreven uitvoeringsvormen de
uitrichtkenmerken diffraktierasters zijn betekent geenszins dat de
uitvinding daartoe beperkt is. Ook bij het uitrichten met kenmerken in
de vorm van stralingsdoorlatende of reflekterende stroken, kruisen of
20 vierkanten kan een korrektielens volgens de uitvinding toegepast worden
om die kenmerken op de juiste positie en met de gewenste vergroting af
te beelden.

Omdat de beschreven uitrichtinrichting onafhankelijk
werkt van het soort patroon C dat zich in het masker M bevindt kan de
25 uitvinding overal toegepast worden daar waar een zeer fijn gedetailleerd
patroon overgebracht moet worden op een substraat en dit patroon zeer
nauwkeurig uitgericht moet worden ten opzichte van het substraat. Te
denken valt daarbij aan apparaten die gebruikt worden bij de
vervaardiging van geïntegreerde optische systemen of van magnetische-
30 domeinen geheugens. Het apparaat waarmee een patroon afgebeeld wordt
behoeft geen repeterend afbeeldend apparaat te zijn; de uitvinding kan
ook nuttig zijn in een apparaat waarin een patroon slechts eenmaal op
een substraat wordt afgebeeld.

Konklusies

1. Apparaat voor het projekereren van een maskerpatroon op een substraat welk apparaat achtereenvolgens bevat een verlichtingsstelsel voor het leveren van een projectiebundel, een maskerhouder, een projectielenzenstelsel en een substraathouder en verder voorzien is van
5 een inrichting voor het ten opzichte van elkaar uitrichten van een substraat-uitrichtkenmerk en een masker-uitrichtkenmerk, welke inrichting bevat een uitrichtbundel leverende stralingsbron, het projectielenzenstelsel en een stralingsgevoelig detektiestelsel in de weg van de uitrichtbundel die in wisselwerking is geweest met zowel het
10 substraat-uitrichtkenmerk als het masker-uitrichtkenmerk, waarbij het uitgangssignaal van het detektiestelsel een maat is voor de onderlinge positie van de uitrichtkenmerken, met het kenmerk, dat in het projectielenzenstelsel in de weg van een uitrichtbundel afkomstig van een substraat-uitrichtkenmerk een refraktief correctie-element, waarvan
15 de afmeting aanzienlijk kleiner is dan de diameter van het projectielenzenstelsel in het vlak van dit element is aangebracht voor het afbuigen en fokuseren van slechts de in de eerste diffractie-orde afgebogen gedeeltes van deze straling op het bijbehorende masker-uitrichtkenmerk.
- 20 2. Apparaat volgens konklusie 1, met het kenmerk, dat het refraktief correctie-element is aangebracht in het achterbrandvlak van het projectielenzenstelsel.
3. Apparaat volgens konklusie 1 of 2, met het kenmerk, dat het refraktief correctie-element een lens is.
- 25 4. Apparaat volgens konklusie 1, 2 of 3, met het kenmerk, dat in de stralingsweg van de uitrichtbundel tussen het projectielenzenstelsel en het masker-uitrichtkenmerk een extra lens is aangebracht voor het corrigeren van de vergroting waarmee een substraat-uitrichtkenmerk op het masker-uitrichtkenmerk wordt afgebeeld.
- 30 5. Apparaat volgens konklusie 1, 2 of 3, met het kenmerk, dat in het projectielenzenstelsel een diafragma is aangebracht dat de gedeeltes van de van het substraat-uitrichtkenmerk afkomstige uitrichtbundel met diffractie-orde hoger dan één blokkeert.
- 35 6. Apparaat volgens konklusie 5, met het kenmerk, dat het diafragma wordt gevormd door een voor de projectiebundel en de uitrichtbundel doorzichtige laag waarin, op de posities waar de gedeeltes van de uitrichtbundel met diffractie-orde hoger dan één

89 0099 17

deze laag bereiken, gebiedjes die de straling van de uitrichtbundel blokkeren aangebracht zijn.

7. Apparaat volgens konklusie 5, met het kenmerk, dat het diafragma wordt gevormd door een laag dichroftisch materiaal dat 5 doorzichtig is voor de projektiebundel en ondoorzichtig voor de uitrichtbundel in welke laag zich voor de uitrichtbundel doorzichtige gebieden bevinden op die posities waar de eerste diffraktie-orde gedeeltes van de uitrichtbundel deze laag bereiken.

8. Apparaat volgens konklusie 1, 2 of 3, met het kenmerk, 10 dat tussen het projektielenzenstelsel en het masker een diafragma is aangebracht dat stralingsdoorlatend is in het gebied waar de door een substraatuitrichtkenmerk in de eerste ordes afgebogen gedeeltes van de uitrichtbundel dit diafragma bereiken.

9. Apparaat volgens konklusie 8, met het kenmerk, dat tussen 15 het masker en het stralingsgevoelige detektiestelsel een diafragma stelsel is aangebracht dat slechts de door een substraat-uitrichtkenmerk en een masker-uitrichtkenmerk in de eerste diffraktie-orde afgebogen gedeeltes van de uitrichtbundel doorlaat naar het detektiestelsel.

10. Apparaat volgens één der konklusies 1 tot en met 9, 20 met het kenmerk, dat het verlichtingsstelsel een projektiebundel levert die in het projektielenzenstelsel in het vlak van het korrektie-element een ringvormige doorsnede heeft.

11. Apparaat volgens één der konklusies 1 tot en met 10, 25 waarin tussen de maskertafel in het projektielenzenstelsel een reflektor is aangebracht voor het inspiegelen van de uitrichtbundel in het projektielenzenstelsel, met het kenmerk, dat tussen het projektielenzenstelsel en het detektiestelsel een diafragmastelsel is aangebracht dat behalve de gedeeltes met diffraktie-orde hoger dan één ook het nulde-orde gedeelte van de van een substraat- 30 uitrichtkenmerk afkomstige uitrichtbundel blokkeert.

12. Apparaat volgens één der konklusies 1 tot en met 10, 35 met het kenmerk, dat de houder van het projektielezenstelsel een stralingsdoorlatend venster bevat waardoor een uitrichtbundel transversaal ten opzichte van de optische as van dit stelsel binnen kan treden en dat in het projektielenzenstelsel een reflektor is aangebracht voor het reflekteren van de binnentredende uitrichtbundel naar de substraattafel.

8900991.

13. Apparaat volgens één der konklusies 1 tot en met 12, dat behalve de genoemde inrichting voor het ten opzichte van elkaar uitrichten van een eerste masker-uitrichtkenmerk en een substraat-uitrichtkenmerk een tweede inrichting bevat voor het ten opzichte van
5 elkaar uitrichten van een tweede masker-uitrichtkenmerk en een substraat-uitrichtkenmerk met een tweede uitrichtbundel, met het kenmerk, dat de eerste en tweede uitricht-inrichting een gemeenschappelijke korrektie-element hebben.
14. Apparaat volgens conclusie 13, met het kenmerk, dat de
10 reflektor een eerste, respektievelijk tweede, reflekkerend vlak bevat voor het reflekkeren van de eerste, respektievelijk tweede, uitrichtbundel naar de substraattafel, welke vlakken even grote doch tegengestelde hoeken maken met de optische as van het
projektielenzenstelsel en dat de houder van het projektielenzenstelsel
15 is voorzien van twee stralingsdoorlatende vensters tegenover de genoemde reflekkerende vlakken.
15. Apparaat volgens conclusie 14, met het kenmerk, dat de eerste en tweede uitrichtinrichting één gemeenschappelijke
stralingsbron hebben voor het leveren van twee uitrichtbundels die onder
20 verschillende richtingen eenzelfde stralingsdoorlatend venster in de houder van het projektielenzenstelsel bereiken waarna een van de uitrichtbundels rechtstreeks op één van de reflekkerende vlakken invalt, terwijl de andere uitrichtbundel de genoemde houder via het
tweede stralingsdoorlatend venster verlaat en invalt op een extra
25 reflektor die deze uitrichtbundel reflekteert naar het tweede reflekkerend vlak.
16. Apparaat volgens één der voorgaande konklusies, met het kenmerk, dat een substraat, respektievelijk een masker-,
uitrichtkenmerk de vorm van een fase-, respektievelijk een amplitude-,
30 diffraktieraster heeft.
17. Apparaat volgens één der voorgaande konklusies, met het kenmerk, dat in de weg van een uitrichtbundel met periodieke
signalen gestuurde middelen aanwezig zijn voor het periodiek ten
opzichte van elkaar verplaatsen van een door het detektiestelsel
35 waargenomen masker-uitrichtkenmerk en een afbeelding op dit kenmerk van een substraat-uitrichtkenmerk.

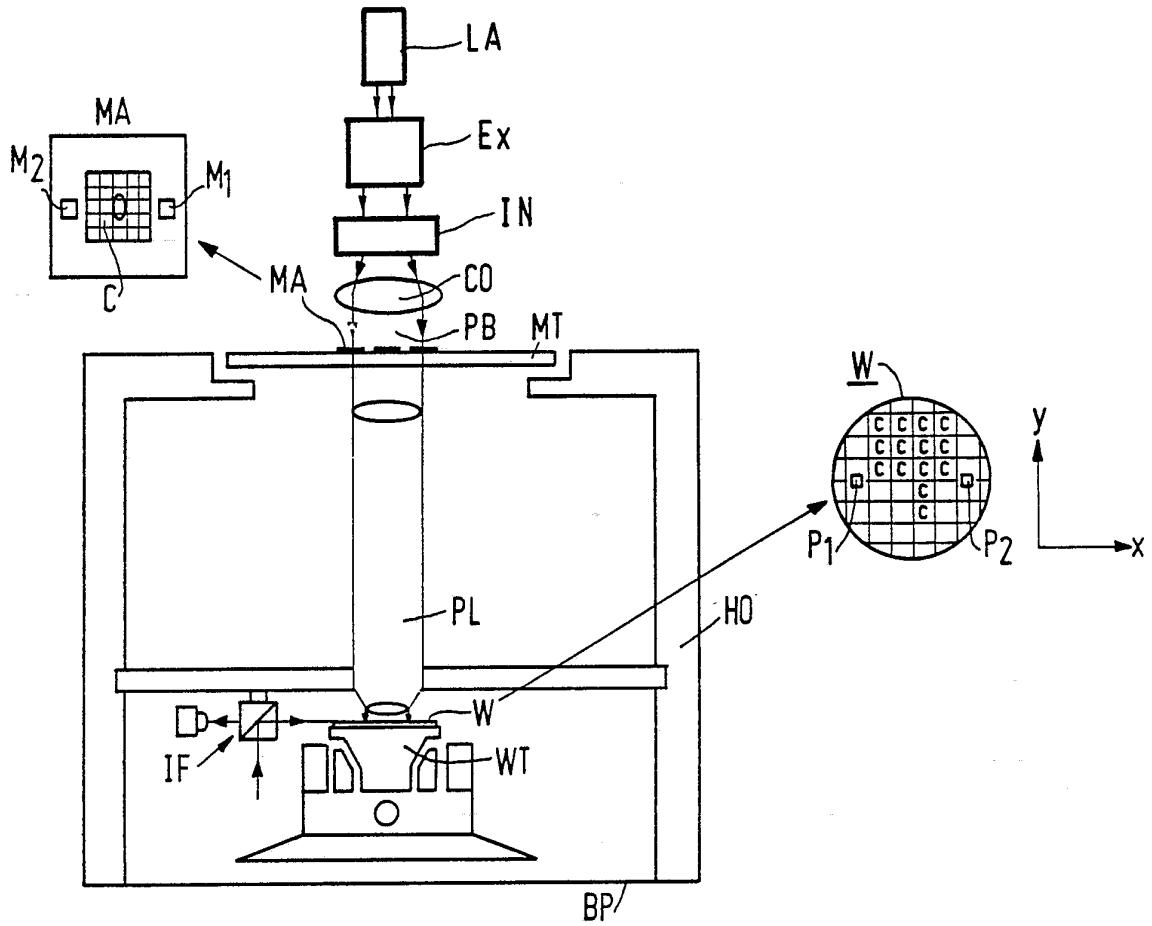
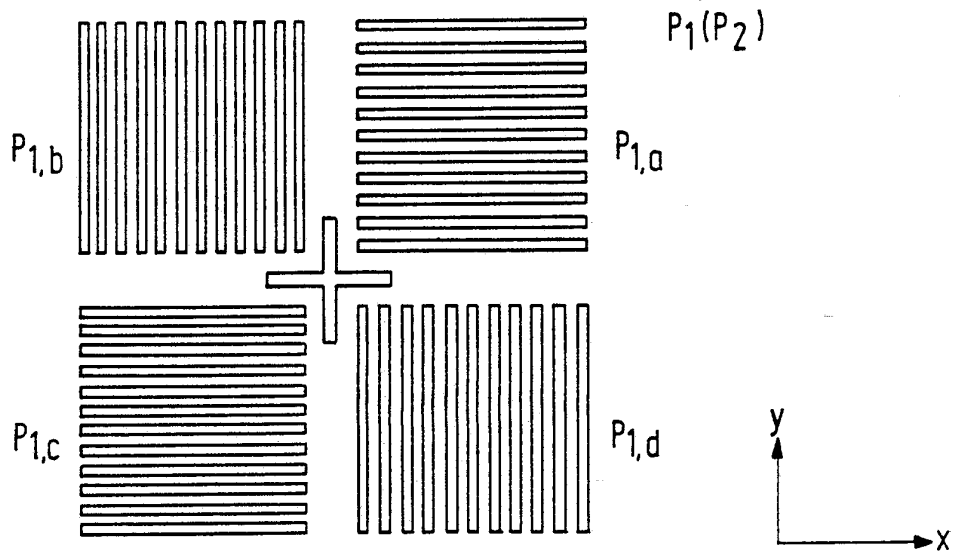


FIG.1



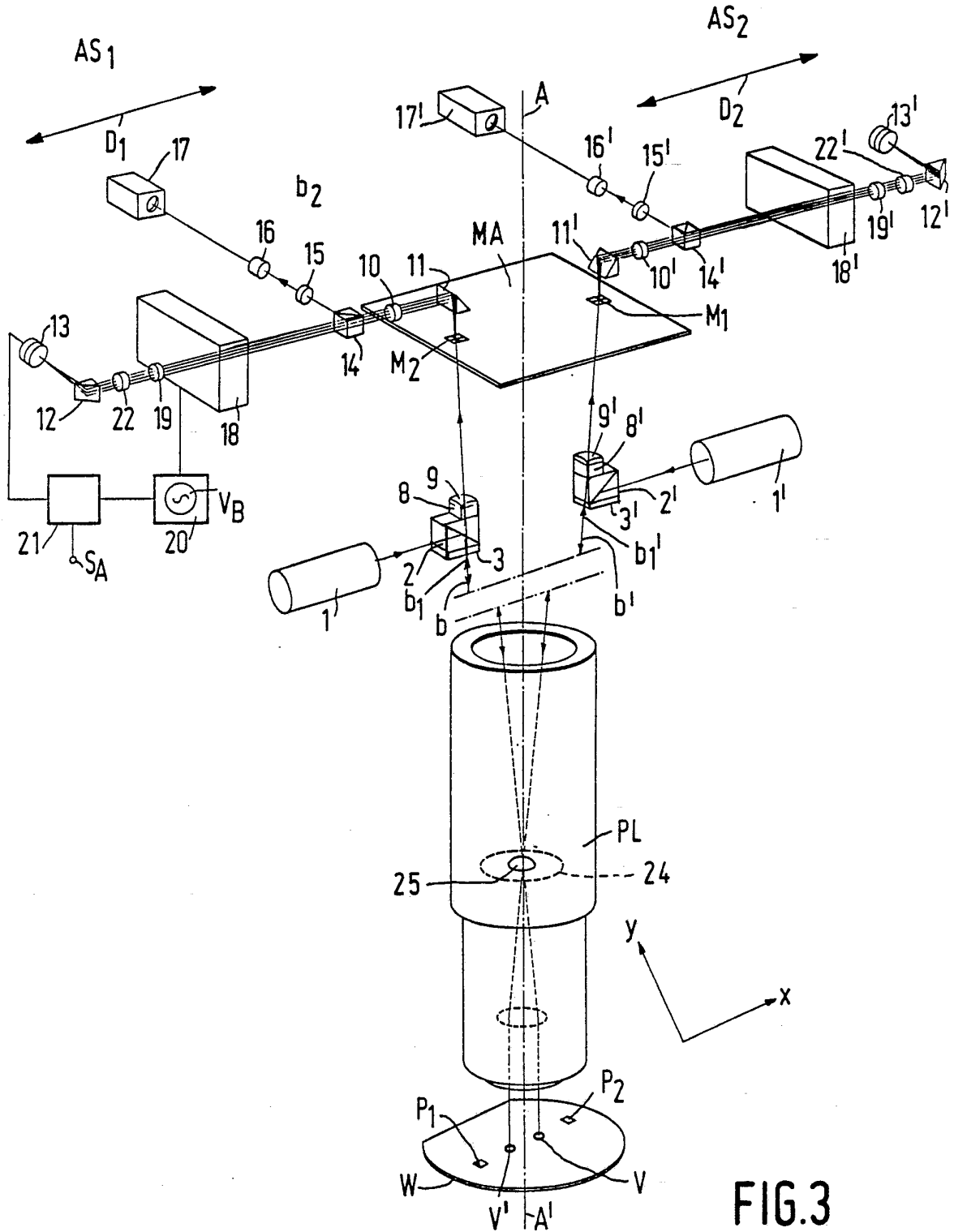


FIG.3

6200991.

3/5

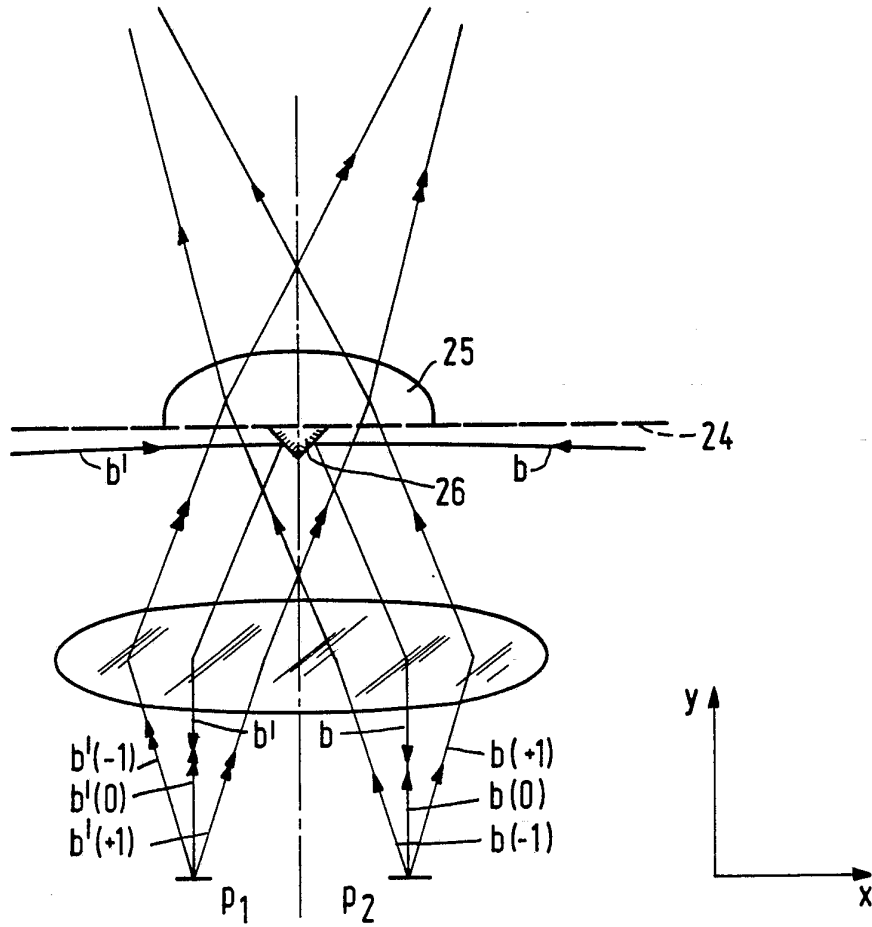


FIG.4

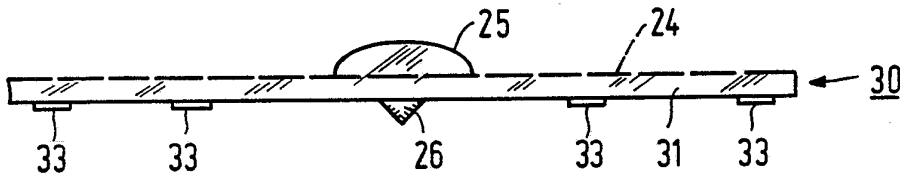


FIG.5

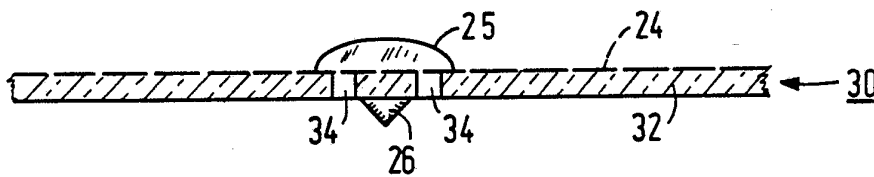
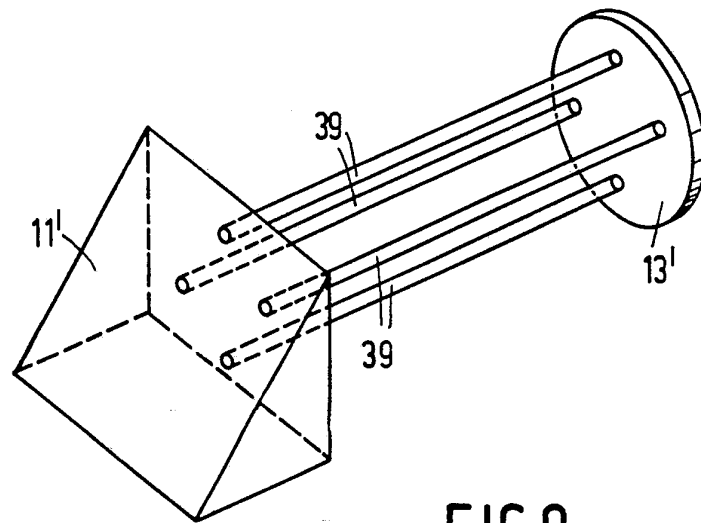
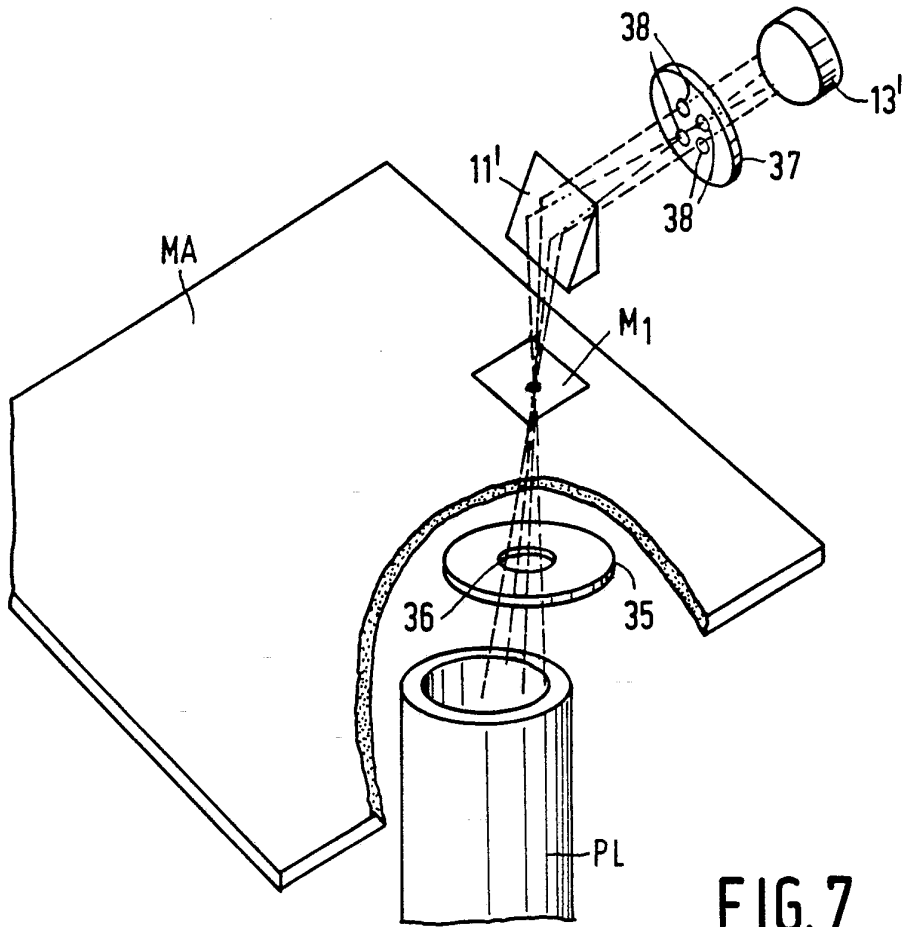


FIG.6

8800901

4/5



8900991

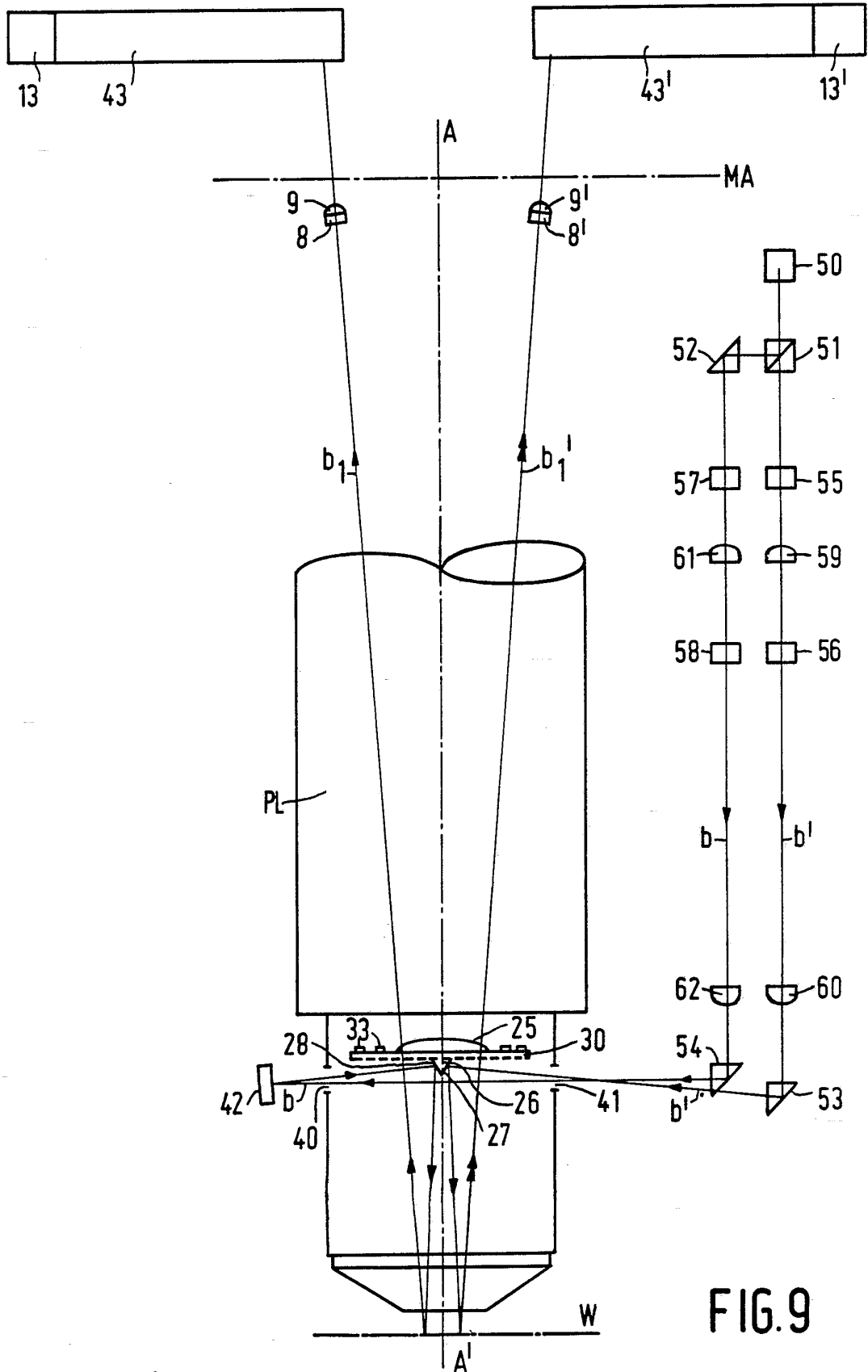


FIG. 9