

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
11. November 2004 (11.11.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/097527 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G03F 7/20**
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2004/000924
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
29. April 2004 (29.04.2004)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
103 19 154.2 29. April 2003 (29.04.2003) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN**

**FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Hansastr. 27c, 80636 München (DE).

(72) Erfinder; und

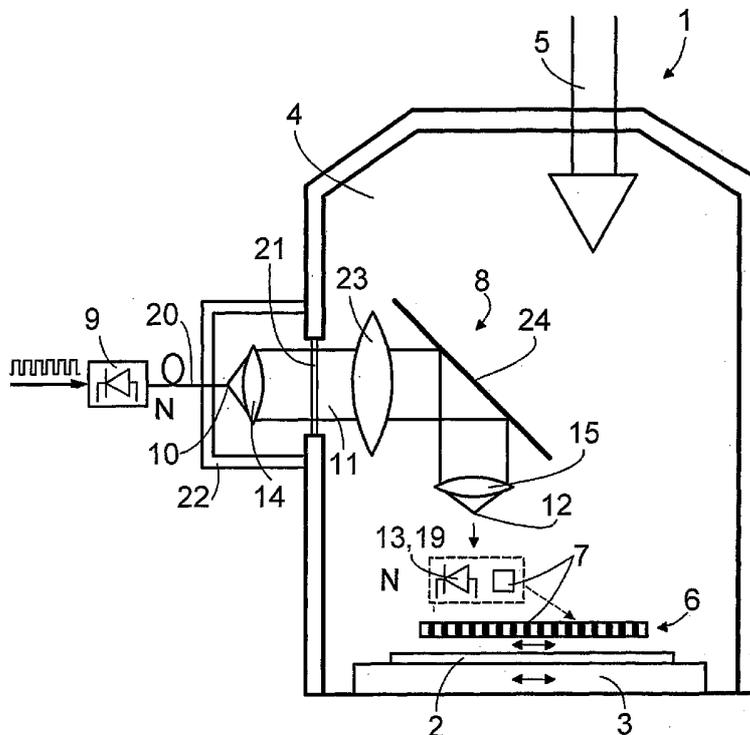
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **WALF, Godhard** [DE/DE]; Riemeisterstr. 15, 14169 Berlin (DE).  
**KUHLOW, Berndt** [DE/DE]; Frohnauer Strasse 7, 13467 Berlin (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MASKLESS LITHOGRAPHIC SYSTEM

(54) Bezeichnung: MASKENLOSES LITHOGRAPHIESYSTEM



(57) Abstract: Large amounts of data for controlling the apertures in programmable pattern production systems inside the vacuum chamber occur in maskless lithographic systems for the production of nano-structured semiconductor circuits. The known data transmission is carried out electrically by means of complicated, bulky wire connections which add a heavy mechanical burden in terms of contacting. According to the inventive lithographic system (1), data transmission is carried out by means of a powerful electrooptical free-beam connection system (8) enabling the optical pattern data to be guided from light exit places (10) to light entrance places (12) inside the vacuum chamber (4) by means of free beams in order to produce control signals. The burden on the pattern production system (6) is significantly reduced by the disappearance of mechanical contacts. The paths of the free beams (11) and the particle beams (F) can intersect each other in a non-influential manner in the track of the free beam path. The light exit places (10), e.g. active photodiodes

(19) can also be spatially disposed directly in the pattern production system (6). The light exit places (10), e.g. passive light waveguides (20) which can be bundled together to form multipolar fibre array plugs, or active transmission lasers can also be arranged outside the vacuum chamber (4). The free beams (11) are guided through a window (21).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/097527 A2



PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT,

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

**(57) Zusammenfassung:** Bei maskenlosen Lithographiesystemen zur Herstellung von nanostrukturierten Halbleiterschaltungen entstehen große Datenmengen zur Ansteuerung der Aperturen in den programmierbaren Mustererzeugungssystemen im Inneren der Vakuumkammer. Die bekannte Datenübertragung erfolgt elektrisch über aufwändige, platznehmende und mechanisch in der Kontaktierung stark belastende Drahtverbindungen. Dagegen erfolgt die Datenübertragung bei dem erfindungsgemäßen Lithographiesystem (1) mit einem leistungsfähigen elektrooptischen Freistrahlsystem (8), mit dem die optischen Musterdaten von Lichtaustrittsorten (10) mittels Freistrahlen (11) auf Lichteintrittsorte (12) im Inneren der Vakuumkammer (4) zur Erzeugung von Steuersignalen geführt werden. Das Mustererzeugungssystem (6) wird durch das Entfallen von mechanischen Kontaktierungen stark entlastet. In der Freistrahlschleife können sich die Bahnen der Freistrahlen (11) und des Teilchenstrahls (5) beeinflussungsfrei kreuzen. Deshalb können die Lichteintrittsorte (12), beispielsweise aktive Photodioden (19), auch direkt im Mustererzeugungssystem (6) räumlich angeordnet werden. Die Lichtaustrittsorte (10), beispielsweise passive Lichtwellenleiter (20), die in mehrpoligen Faserarray-steckern gebündelt werden können, oder aktive Sendelaser können auch außerhalb der Vakuumkammer (4) angeordnet sein, wobei die Freistrahlen (11) durch ein Fenster (21) hineingeleitet werden.

5

## **Maskenloses Lithographiesystem**

### **Beschreibung**

10 Die Erfindung bezieht sich auf ein maskenloses Lithographiesystem zur direkten, nanoskalierbaren Strukturierung eines auf einem verfahrbaren Halterungstisch angeordneten Substrats in einer hochspannungsbeaufschlagten Vakuumkammer mittels eines von einer Strahlenquelle erzeugten, geladenen Teilchenstrahls mit einem ansteuerbaren digitalen Mustererzeugungssystem, auf das das zu erzeugende Strukturmuster als computerunterstützt  
15 erzeugter Musterdatensatz mittels eines Datenübertragungssystems übertragen wird.

Bei der Herstellung von mikrosystemtechnischen Anordnungen und monolithisch integrierten Schaltungen in elektronischer, optoelektrischer, optischer  
20 oder anderer Ausführungsart und ihrer Einzelkomponenten mit Nanostrukturen von 100 nm und weniger ist der Teilchenstrahl-Lithographie besondere Bedeutung zuzumessen. Die auf einem Substrat, in der Regel ein Wafer, herzustellende geometrische Struktur wird computerunterstützt in einen  
25 Musterdatensatz umgesetzt. Dieser wird entweder zur Herstellung einer unveränderlichen Maske verwendet, die großflächig bestrahlt wird (indirekte Strukturierungstechnik), oder kontinuierlich durch entsprechende Ansteuerung des Teilchenstrahls und des Halterungstisches, auf dem das zu strukturierende Substrat angeordnet ist, abgearbeitet (direkte Strukturierungstechnik). Von  
30 Vorteil ist bei der indirekten Strukturierungstechnik die parallele und damit sehr schnelle Umsetzung des Strukturmusters. Als nachteilig sind jedoch die extrem kostenintensive Anfertigung der Masken, die sich nur bei der Massen-

herstellung von Schaltungslayouts ausgleichen lässt, die Übertragung von Maskenfehlern und die aufwändige Justage bei der Maskenpositionierung anzusehen. Somit wird derzeit die direkte Strukturierungstechnik intensiv weiterentwickelt, da diese den großen Vorteil der Flexibilität bezüglich der erstellbaren geometrischen Strukturmuster aufweist und somit letztendlich kostengünstiger arbeiten kann. Nachteilig ist bei diesem Verfahren jedoch der relativ geringe Durchsatz von Substraten aufgrund des langsamen, seriellen Strukturierungsvorgangs mit dem Teilchenstrahl. Eine größtmögliche Parallelisierung wird daher auch für das direkte Strukturierungsverfahren angestrebt.

Bei der Parallelisierung werden unterschiedliche Konzepte verfolgt. Zum einen kann eine Vielzahl von parallelen Teilchenstrahlen erzeugt werden, zum anderen kann eine programmierbare, veränderliche Maske mit ansteuerbaren Einzelementen (Aperturen) als Mustererzeugungssystem mit einem homogenen Teilchenstrahl großen Querschnitts angestrahlt werden. Die bei diesem bevorzugten Konzept zu verarbeitende Datenrate, die die Daten für die Ansteuerung des digitalisierten Strukturmusters mit beispielsweise 600.000 Maskenpunkten, die in der Regel noch mehrfach belichtet werden (Graustufensystem, vergleichbar mit dem Prinzip des Tintenstrahldruckers), und die Ansteuerung des Halterungstisches umfasst, ist jedoch außerordentlich hoch und erreicht ohne Weiteres mehrere Tbit/s, so dass die geeignete Übertragung der Datenrate an das Mustererzeugungssystem im Inneren der Vakuumkammer des Lithographiesystems ein besonderes Problem bei der direkten Strukturierungstechnik darstellt.

Das Lithographiesystem, von der die vorliegende Erfindung als gattungsbildendem Stand der Technik ausgeht, wird in der **US 6.379.867 B1** beschrieben. Es wird als „maskenlos“ bezeichnet, da keine unveränderliche, starre Maske im herkömmlichen Sinne verwendet wird. Vielmehr ist das Mustererzeugungssystem hier als Pixelpaneel ausgebildet, das eine Vielzahl von ansteuerbaren Einzelementen, beispielsweise in der Ausbildung von digitalen Spiegel-einrichtungen (Digital Mirror Devices DMD) aufweist, die den Teilchenstrahl durchlassen oder sperren. Das zu erzeugende Muster wird computer-

unterstützt als Bitmap generiert, in einem Speicher abgelegt und von dort über eine drahtgebundene Signalverbindung an das Mustererzeugungssystem übertragen. Das Datenübertragungssystem ist ausschließlich drahtgebunden aufgebaut. Somit muss zur Erreichung der hohen Datenübertragungsrate eine  
5 Vielzahl von drahtgebundenen Datenleitungen in das Innere der Vakuumkammer des Lithographiesystems geführt und dort kontaktiert werden. Es ergeben sich damit Probleme bei deren räumlicher Anordnung und Zuordnung und insbesondere bei der mechanischen Befestigung der Datenleitungen an der Trägerplatte der anzusteuern Einzellemente. Weiterhin ist eine  
10 Demontage der Drahtverbindungen zu Wartungszwecken in der Vakuumkammer sehr aufwändig. Außerdem können negative Einwirkungen auf die zu übertragenden Daten durch die im Inneren der Vakuumkammer herrschenden Verhältnisse, insbesondere durch die angelegte Hochspannung auftreten.

15 Die **Aufgabe** für die vorliegende Erfindung ist daher darin zu sehen, ein Lithographiesystem der eingangs genannten Art anzugeben, mit dessen Datenübertragungssystem auch höchste Datenraten zuverlässig in das Innere der Vakuumkammer übertragen werden können und insbesondere keine  
20 mechanischen Belastungen des Mustererzeugungssystems durch Kontaktierungen oder Platzprobleme entstehen. Eine einfache Zuordnung der übertragenen Daten zu den anzusteuern Einzellementen im Mustererzeugungssystem soll möglich sein. Das erfindungsgemäße Datenübertragungssystem soll unempfindlich im Betrieb sein und eine einfache Montage und Demontage ermöglichen.

25 Zur **Lösung** dieser Aufgabe ist bei dem erfindungsgemäßen Lithographiesystem vorgesehen, dass das Datenübertragungssystem als optoelektrisches Freistrahilverbindungssystem ausgebildet ist, mit dem die von elektrooptischen Wandlern optisch gewandelten Musterdaten auf Lichtaustrittsorte verteilt, von  
30 dort in justierbar ausgerichteten Freistrahlen auf Lichteintrittsorte im Innern der Vakuumkammer übertragen und von dort dem Mustererzeugungssystem bezüglich der übertragenen Musterdaten zugeordnete, optoelektrische

Wandler zugeleitet werden, wobei die Anzahl N der elektrooptischen Wandler aufgrund ihrer vorgegebenen Wandlungsrate an die zu übertragende Musterdatenrate angepasst ist.

5 Die Erfindung umfasst sowohl die Transformation der zu übertragenden hohen Datenrate in den leistungsfähigen optischen Bereich als auch den leitungsungebundenen Datentransfer in einem Freistrahlsverbindungs-  
system. Mit dem optoelektrischen Datenübertragungssystem bei dem erfindungsgemäßen Lithographiesystem wird das Mustererzeugungssystem von jeder leitungs-  
10 gebundenen und mechanisch belastenden Kontaktierung nach außen freigehalten und damit wesentlich mechanisch entlastet. Bei der Montage oder  
Wartung des Lithographiesystems sind somit direkt am Mustererzeugungssystem keine Leitungsverbindungen zur Datenübertragung herzustellen oder  
zu lösen. Die gesamte Datenübertragung erfolgt bei der Erfindung rein optisch  
15 und durch die Integration eines Freistrahlsverbindungs-systems zumindest direkt vor dem Mustererzeugungssystem auch leitungsungebunden. Das opto-  
elektrische Datenübertragungssystem ist sehr leistungsfähig, so dass auch höchste Datenraten übertragen werden können. Die elektrooptisch gewan-  
delten Daten werden in parallelen Freistrahlen, deren Anzahl über die  
20 vorgegebene Wandlungsrate der elektrooptischen Wandler an die zu übertragende Datenrate angepasst ist, direkt zum Mustererzeugungssystem  
geführt. Bei einer als Beispiel angenommenen Datenrate von 10 Gbit/s pro elektrooptischem Wandler sind für die Übertragung einer Datenrate von 2,56  
Tbit/s somit 256 parallele Freistrahlen erforderlich. Diese sind in ihrem Verlauf  
25 auf die optoelektrischen Wandler im Mustererzeugungssystem ausgerichtet. Von dort werden die in elektrische Signale gewandelten Daten über eine  
nachfolgende Signalverarbeitung den Einzelementen des Mustererzeugungssystem zuggeführt. Im gewählten Ausführungsbeispiel detektieren die opto-  
elektrischen Wandler im Mustererzeugungssystem die ankommenden  
30 optischen Daten entsprechend mit ihrer Datenrate von 10 Gbit/s. Im Bereich der leitungsungebundenen Freistrahlen wird das Licht als Datenträger in der  
Vakuumkammer weder von der dort beim Strukturieren herrschenden

Hochspannung noch von dem Teilchenstrahl, in der Regel handelt es sich bei den Teilchen um Ionen oder Elektronen, beeinflusst. Das hat den großen Vorteil, dass die Daten optisch direkt auf die optoelektrischen Wandler - auch unter Inkaufnahme von Bahnenkreuzungen mit dem Teilchenstrahl - ohne auftretende Potenzialprobleme eingestrahlt werden können. Platzintensive und aufwändige Leitungsbündelungen und deren mechanische Kontaktierungen entfallen.

Ein optisches Freistrahlsverbindungs-system, wie es bei der Erfindung eingesetzt werden kann, ist aus dem Stand der Technik in unterschiedlichen Ausführungsformen allgemein bekannt, in der Regel hier jedoch bei leistungsfähigen Kommunikationseinrichtungen, aber auch zur Datenübertragung an unzugängliche Orte (vgl. beispielsweise **EP 0 485 071 A2**, hier wird die Datenübertragung an ein hermetisch gekapseltes Gerät unter Wasser beschrieben) oder schwer kontaktierbare Orte (vgl. beispielsweise **DE 100 36 237 A1**, hier wird ein modularer Maschinenaufbau von einzelnen elektrisch gesteuerten Funktionseinheiten beschrieben, zwischen denen die Daten optisch übertragen werden). Aus dem **Abschlussbericht** zum Verbundprojekt „Optische Signalverarbeitung“ (herausgegeben vom Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik Berlin GmbH, Juli 1994, Kapitel D.6.2.2) ist beispielsweise eine optische 3D-Raumstufe bekannt, die aus kaskadierten elektronischen Schalt- und optischen Freistrahlsverbindungsstufen mit Fresnel-Zonenlinsen zur Kollimierung bzw. Fokussierung sowie Volumen hologrammen zur Strahl- ablenkung aufgebaut ist. Hierbei handelt es sich um ein Freistrahlsverbindungs- netzwerk zur Übertragung von Übertragungsraten im Gbit-Bereich, wie es für die optische Signalverarbeitung in einem OFDM-Vermittlungssystem verwendet werden kann.

Das Freistrahlsverbindungs-system bei dem Lithographiegerät nach der Erfindung wird im vorliegenden Wortgebrauch prinzipiell als eine Aneinander- reihung von Lichtaustrittsorten in der Funktion von optischen Sendern (z. B. aktive Lichtemitter wie elektrooptische Wandler, z. B. Laserdioden, oder

Ausgänge von Lichtwellenleitern), leitungsungebundenen Freistrahlen und Lichteintrittsorten in der Funktion von optischen Empfängern (z. B. aktive Empfangselemente wie optoelektrische Wandler, z. B. Photodioden, oder Eingänge von Lichtwellenleitern) verstanden. Dabei ist es wählbar, wie die Daten an den Lichteintritts- und Lichtaustrittsorten zur Verfügung gestellt bzw. abgegriffen werden. Weiterhin ist die Positionierung des Freistrahlsverbindungs-  
5 Systems frei wählbar und damit insbesondere konstruktiven Gegebenheiten und Erfordernissen anpassbar. In der einfachsten Ausführungsform ist das Freistrahlsverbindungs-system mit seinen oben aufgezählten Komponenten direkt vor dem Mustererzeugungssystem angeordnet. Die Freistrahlsstrecke ist  
10 somit sehr kurz. Durch die berührungsfreie Dateneinstrahlung wird das Mustererzeugungssystem mechanisch entlastet, was eine Hauptaufgabe für die vorliegende Erfindung ist. Die Datenübertragung zu den elektrooptischen Wandlern kann bei dieser Ausführungsform leitungsgebunden (elektrisch oder  
15 optisch) erfolgen, wobei entsprechende Leitungsdurchführungen in der Wandung der Vakuumkammer vorzusehen sind. Weiterhin können die Lichtaustrittsorte des Freistrahlsverbindungs-system im Innern der Vakuumkammer in größerer Entfernung zum Mustererzeugungssystem positioniert sein, wodurch sich eine Verlängerung der Freistrahlsstrecke ergibt. Hierbei ist es vorteilhaft,  
20 wenn gemäß einer Ausführungsform der Erfindung im Innern der Vakuumkammer optische Umlenkvorrichtungen in den Freistrahlen angeordnet sind. Somit können alle konstruktiven Gegebenheiten im Innern der Vakuumkammer berücksichtigt und die Freistrahlen trotzdem zu den Lichteintrittsorten geführt werden. Bei den Umlenkvorrichtungen, die beispielsweise mitten in der  
25 Freistrahlsstrecke oder auch direkt von den Lichtaustritts- bzw. -eintrittsorten angeordnet sein können, kann es sich beispielsweise um justierbare Mikrospiegel oder -prismen handeln.

Gemäß einer nächsten Erfindungsausgestaltung kann aber auch vorgesehen  
30 sein, dass die Lichtaustrittsorte außerhalb der Vakuumkammer angeordnet sind und die Freistrahlen durch ein lichtdurchlässiges Fenster in der Vakuumkammer in das Innere der Vakuumkammer geleitet werden. Durch diese

Maßnahme findet bereits die Datenübertragung in das Innere der Vakuumkammer leitungsungebunden in Form von Freistrahlen statt. Dabei werden die Freistrahlen in einfacher Weise durch ein in die Wandung der Vakuumkammer integriertes Fenster geführt. Bei einer Positionierung der Lichtaustrittsorte außerhalb der Vakuumkammer werden der Platzbedarf und der Montageaufwand des Freistrahilverbindungssystems im Innern der Vakuumkammer verringert. Es ist keine Leitungsdurchführung für die Datenübertragung in das Innere der Vakuumkammer erforderlich und es ergibt sich eine vollständige Entkopplung zu dem Hochvakuum und den Hochspannungsfeldern im Innern der Vakuumkammer. Eine Umlenkung der durch das Fenster in das Innere eintretenden Freistrahlen auf die optoelektrischen Wandler erfolgt wiederum in einfache Weise über optische Umlenkvorrichtungen. Um auch außerhalb der Vakuumkammer Platz einzusparen, kann nach einer anderen Erfindungsfortführung vorgesehen sein, dass die Lichtaustrittsorte direkt von außen am Fenster angeordnet sind. Hierbei ergibt sich noch eine Reihe von weiteren konstruktiven Vereinfachungen, die weiter unten im Text erläutert werden. Desweiteren können die Lichtaustrittsorte vorteilhaft auch die Lichtaustrittsorte rechtwinklig unterhalb des Fensters angeordnet sein und die Freistrahlen über eine zusätzliche optische Umlenkvorrichtung über das Fenster in das Innere der Vakuumkammer geleitet werden. Somit können auch außerhalb der Vakuumkammer optische Umlenkeinrichtungen eingesetzt werden, um die Freistrahlen optimal platzsparend führen zu können. Schließlich kann gemäß einer nächsten Ausgestaltung der Erfindung auch das Fenster in die Vakuumkammer hineingezogen sein. Dadurch wird eine platzsparende Positionierung der Lichtaustrittsorte außerhalb, aber dennoch im Bereich der Vakuumkammer ermöglicht. Weiterhin können vorgegebene optische Abstände leichter eingehalten werden. Näheres hierzu siehe weiter unten im Text und in den Ausführungsbeispielen. Um Störeinflüsse durch Streulicht und andere Effekte bei einer von externen Lichtaustrittsorten erfolgenden Einstrahlung der Freistrahlen durch das Fenster zu vermeiden, ist es zusätzlich besonders vorteilhaft, wenn das Fenster außerhalb der hindurchtretenden Freistrahlen mit einer Abdeckung gegen Fremdlicht und elektromagnetische Felder abge-

schirmt ist. Hierbei kann es sich um einfache mechanische oder auch optische Abdeckungen handeln. Desweiteren können die Freistrahlen zu Arrays gebündelt werden, die örtlich genau begrenzt sind und deren Umfeld leichter abdeckbar ist.

5

Bei Verwendung geeigneter Lichtquellen können die erzeugten Freistrahlen ohne weitere optische Maßnahmen insbesondere über kurze Strecken im cm-Bereich geführt werden. Vorteilhafter ist es aber auch bereits hier, wenn nach einer weiteren Ausgestaltung des Lithographiegerätes nach der Erfindung

10 kollimierende und fokussierende Mikrolinsen an den Lichtaus- und/oder -eintrittsorten angeordnet sind. Dadurch wird eine Bündelung und genaue Ausrichtung der Freistrahlen ermöglicht. An welchen Stellen Mikrolinsen in den Freistrahlen angeordnet werden, hängt im Einzelnen von der Güte der einzelnen verwendeten Bauelemente ab. Weiterhin werden Leistungsverluste

15 durch große Streuwinkel vermieden und winklige Ausrichtungen der Freistrahlen von den Lichtaustrittsorten und zu den Lichteintrittsorten ermöglicht. Die Mikrolinsen können beispielsweise als Grin- oder Fresnelzonenlinsen ausgebildet sein. Aufgrund ihrer optischen Eigenschaften können sie aber nur bei relativ kleinen Freistrahlstrecken verwendet werden. Bereits

20 weiter oben wurden die vorteilhafte und platzsparende Anordnung der Lichtaustrittsorte in einem Array erwähnt. Gleiches gilt auch für eine Anordnung der Lichteintrittsorte in einem gemeinsamen Array. Bei diesen Ausführungsformen der Erfindung kann das Array eindimensional als Zeile oder Spalte oder in kompakter Ausführung zweidimensional mit Zeilen und

25 Spalten von entsprechenden Lichtein- bzw. -austrittsorten ausgebildet sein. Bei einer Array-Anordnung kann dann gemäß einer nächsten Erfindungsfortführung vorteilhaft vorgesehen sein, dass das Array der Lichtaustrittsorte über eine Abbildungsoptik auf das Array der Lichteintrittsorte abgebildet wird. Dadurch können auch größere Freistrahlstrecken von 10 cm bis in den

30 Meterbereich realisiert werden. Bei einem gewählten Abbildungsverhältnis von 1:1 muss beim Einsatz einer einfachen Abbildungslinse als Abbildungsoptik diese symmetrisch zwischen den Lichtaustritts- bzw- eintrittsorten angeordnet

sein (Gegenstandsweite gleich Abbildungsweite). Um hier nicht zu große Abstände zu erhalten, kann – wie weiter oben bereits beschrieben – beispielsweise das Fenster in die Vakuumkammer hineingezogen werden. Mit der Wahl anderer Abbildungsverhältnisse bzw. bei Einsatz komplexerer Linsensysteme  
5 als Abbildungsoptik können entsprechend unsymmetrische Anordnungen der Abbildungsoptik oder Größenunterschiede in den Arrayabmessungen berücksichtigt werden. Bei der Verwendung einer Abbildungslinse müssen die Lichteintrittsorte in der Vakuumkammer eine an der vertikalen und/oder horizontalen Mittelachse (je nach Ausführungsform der Abbildungslinse) gespiegelte  
10 Anordnung zu den Lichtaustrittsorten aufweisen.

Weiter oben wurde bereits ausgeführt, dass den Lichtaustrittsorten im Freistrahlverbindungssystem die Aufgabe der Lichtaussendung und den Lichteintrittsorten die Aufgabe des Lichtempfangs zukommt. Dabei können die  
15 Orte konstruktiv unterschiedlich und insbesondere passiv oder aktiv realisiert werden. Gemäß einer nächsten Erfindungsfortführung können die Lichteintrittsorte und/oder Lichtaustrittsorte von den Enden von Lichtwellenleitern gebildet werden. Somit können bei dieser passiven Ausgestaltung die Daten bereits optisch gewandelt insbesondere zu den Lichtaustrittsorten über  
20 Lichtwellenleiter geleitet werden. Weiterhin können auch die Lichteintrittsorte über Lichtwellenleiter mit den optoelektrischen Wandlern verbunden sein. Dabei können die Lichtwellenleiter als bündelbare Lichtfasern, beispielsweise verlustarme und störunanfällige Glasfasern, oder auch als monolithisch integrierte Wellenleiter ausgebildet sein. Weiterhin können die Enden der  
25 Lichtwellenleiter bei deren Ausbildung als Lichtfasern in einem Faserarraystecker zusammengefasst sein. Die Verwendung von Faserarraysteckern ist besonders montagefreundlich und ermöglicht in einfacher Weise Wartungsarbeiten. Außerdem wird die Fehleranfälligkeit reduziert, da die einzelnen Lichtwellenleiter in den Faserarraysteckern fest angeordnet sind und die  
30 Faserarraystecker für korrekt ausgerichtete und zugeordnete Verbindungen sorgen. Bei einer Verwendung von 256 parallelen Lichtwellenleitern können beispielsweise 4 Leitungsbündel mit je 64 Lichtwellenleitern gebildet werden.

Jedes Bündel endet dann in einem „64-poligen“ Faserarraystecker. Derartige Faserarraystecker („Ferrule“) sind allgemein bekannt (vgl. bspw. **Internetseite** [www.xanoptix.com/ferrule.htm](http://www.xanoptix.com/ferrule.htm), Stand 14.03.2003) und können kommerziell bezogen werden.

5

Bei einer aktiven Ausgestaltung der Lichtaustrittsorte ist nach einer nächsten Fortführung der Erfindung vorteilhaft vorgesehen, dass die elektrooptischen Wandler als Lichtaustrittsorte in Form von Sendelasern ausgebildet sind. Somit erfolgt die elektrooptische Wandlung der Musterdaten erst direkt am  
10 Lichtaustrittsort. Eine leitungsgebundene Zuleitung zu den Sendelasern ist hier unproblematisch, insbesondere, wenn sich diese außerhalb der Vakuumkammer befindet. Aktive Lichteintrittsorte können dadurch realisiert werden, dass entsprechend einer weiteren Erfindungsausbildung die optoelektrischen Wandler als Lichteintrittsorte in Form von Photodioden ausgebildet sind. Die  
15 Daten werden direkt in den Lichteintrittsorten optoelektrisch gewandelt und drahtgebunden weitergeleitet. Bei einer Ausführung mit aktiven Sendeelementen (z.B. Sendelasern) und aktiven Empfangselementen (z.B. Photodioden) werden somit keine Lichtwellenleiter benötigt, wodurch sich eine besonders kompakte Ausführungsform ergibt. Andere aktive Bauelemente  
20 sind ebenfalls einsetzbar. Die optoelektrischen Wandler in Form von Photodioden haben beispielsweise einen Platzbedarf von weniger als 50  $\mu\text{m}$ . Bei einem Abstand zwischen den einzelnen Photodioden in einem Bereich von 250  $\mu\text{m}$  bis 500  $\mu\text{m}$  ergibt sich damit zur Übertragung einer Summendatenrate von 2,56 Tb/s mittels 256 paralleler Lichtwellenleiter und damit 256 in einer  
25 Reihe angeordneter Photodioden, die jede zur Ansteuerung einer Gruppe von Einzelelementen (Aperturen) genutzt wird, ein Platzbedarf für das Diodenarray in der einen Richtung zwischen 64 mm und 128 mm benötigt. Ein solches streifenförmiges Diodenarray kann bei einem bekannten Lithographiesystem auf der sogenannten „Blanking Plate“, die programmierbare Chips mit den  
30 einzelnen Aperturen trägt, angeordnet sein. Ein derartiges programmierbares Apertursystem ist beispielsweise aus der **Zusammenfassung** zu der Veröffentlichung „Programmable aperture plate for maskless high-throughput

nanolithography“ von I.L. Berry et al. (Journal of Vacuum Science and Technology B, 1997, Vol. 15, No. 6, pp. 2382-2386) bekannt. Der besondere Vorteil des Lithographiesystems nach der Erfindung liegt jedoch in der Überlagerungsmöglichkeit zwischen Lichtstrahlen und Teilchenbahnen in der Vakuunkammer und damit in der Möglichkeit der freien Anordnungswahl und Zugänglichkeit der optoelektrischen Wandler. Damit können besonders platzsparende Anordnungen realisiert werden. Weiterhin ergeben sich bedeutende Vorteile bei der Geschwindigkeit der Datenübertragung auf der Blanking Plate, da kürzere Wege erreicht werden können. Nach einer nächsten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Lithographiesystem ist es deshalb vorteilhaft, wenn die optoelektrischen Wandler räumlich direkt im digitalen Mustererzeugungssystem angeordnet sind. Die Zugänglichkeit zu den Wandlern über die freie Raumstrecke in der Vakuunkammer ist dabei immer gewährleistet. Aufwändige, anfällige und störende Verdrahtungen, die auch bezüglich der erreichbaren Datengeschwindigkeit kritisch sind, entfallen. Bei der vorteilhaften Ausbildung des Mustererzeugungssystems als programmierbares Aperturplattensystem bei der Erfindung können somit die Photodioden auf der Blanking Plate verteilt angeordnet und dort über Multiplexelemente Gruppen von Aperturen zugeordnet werden, wodurch eine bedeutsame Vereinfachung der Anordnung und Platzeinsparung erreicht wird.

Der datentragende, freie Lichtstrahl auf dem jeweiligen optischen Lichtpfad wird in der Regel durch optische Elemente fokussiert und kollimiert und in seiner Strahlrichtung entsprechend ausgerichtet. Bei der Montage, der Wartung oder auch im Betrieb können jedoch Dejustagen durch mechanische Toleranzen und Formveränderungen sowohl bei der Strahlausrichtung als auch am Detektor- bzw. Wandlerort auftreten. Hier ist es deshalb vorteilhaft, wenn gemäß einer Erfindungsausgestaltung ein automatisierbares Justagesystem zur Ausrichtung der Freistrahlen auf die Lichteintrittsorte vorgesehen ist. Dabei kann das Justagesystem bereits direkt auf den Lichtaustrittsort zugreifen und beispielsweise eine Lagekorrektur der Lichtaustrittsorte bewirken. Nach einer anderen Erfindungsausgestaltung kann auch vorgesehen sein, dass das

Justagesystem im Strahlengang des Freistrahilverbindungssystems angeordnet ist. Somit findet die Korrektur im optischen Bereich durch entsprechende Optiken statt, was konstruktiv relativ einfach zu realisieren ist. Weiterhin können zur Justage elektrische oder optische Rücksignale aus der Vakuumkammer genutzt werden. Nach einer anderen Erfindungsfortführung ist es deshalb vorteilhaft, wenn im Bereich des Mustererzeugungssystems zusätzliche elektrooptische Wandler angeordnet sind, mittels denen weitere optische Signale in Rückrichtung, insbesondere Kontroll- und Steuersignale, erzeugt und über Freistrahlen auf zusätzliche optoelektrische Wandler geleitet werden, wobei die weiteren optischen Signale als Rücksignale für das automatisierbare Justagesystem einsetzbar sind. Zur Detektion können beispielsweise Vier-Quadranten-Photodioden verwendet werden, die durch aufgeteilte Quadrantenmessungen eine genaue Strahlausrichtung über entsprechende Justageeinrichtungen z. B. im Strahlengang ermöglichen. Dieser Rückpfad kann auch dazu eingesetzt werden, Testsequenzen - einmalig oder zu wiederholten Zeitpunkten - zu übertragen, die Auskunft über die einwandfreie Funktionsfähigkeit des optischen Datenübertragungssystems und des Strukturierungssystems geben.

An dieser Stelle sei bemerkt, dass sich die vorliegende Erfindung auf die elektrooptische Datenübertragung in und auch aus einem abgeschlossenen, schlecht zugänglichen Raum mit extremen Innenraumbedingungen mit einem Freistrahilverbindungssystem bezieht. Realisierbar ist - zumindest für relativ kleine Energiemengen - zusätzlich aber auch eine optische, in das Innere der Vakuumkammer leitungsungebundene Übertragung von Energie, um beispielsweise in der Vakuumkammer einen Prozess, beispielsweise einen Schaltvorgang, auszulösen, ein elektrostatisches Feld aufzubauen oder einen Energiespeicher aufzuladen. Gemäß einer anderen Erfindungsausgestaltung kann deshalb vorteilhaft mit dem optoelektrischen Freistrahilverbindungssystem zusätzlich eine optische Energieübertragung auf das ansteuerbare Mustererzeugungssystem durchgeführt werden.

**Ausbildungsformen der Erfindung** werden zu deren weiterem Verständnis nachfolgend anhand der schematischen und teilweise zur besseren Übersicht etwas auseinander gezogenen Figuren näher erläutert. Dabei zeigt :

- 5 **Figur 1** ein vollständig in der Vakuumkammer angeordnetes Freistrahilverbindungssystem,
- Figur 2** ein Freistrahilverbindungssystem mit Lichtaustrittsorten linear außerhalb der Vakuumkammer,
- Figur 3** ein anderes Freistrahilverbindungssystem mit Lichtaustrittsorten linear außerhalb der Vakuumkammer im Ausschnitt,
- 10 **Figur 4** ein Freistrahilverbindungssystem mit einer Abbildungslinse im Detail,
- Figur 5** ein Freistrahilverbindungssystem mit Lichtaustrittsorten abgewinkelt außerhalb der Vakuumkammer,
- 15 **Figur 6** ein Freistrahilverbindungssystem mit Lichtaustrittsorten außerhalb, aber im Bereich der Vakuumkammer,
- Figur 7** einen Faserarraystecker,
- Figur 8** Freistrahlen mit Mikrolinsen und
- Figur 9** eine winklige Freistrahlführung.

20

Die **Figur 1** zeigt schematisch einen Ausschnitt aus einem maskenlosen Lithographiesystem **1** nach der Erfindung zur direkten, nanoskalierbaren Strukturierung eines Substrats **2**, beispielsweise ein Wafer aus Silizium, das auf einem verfahrbaren Halterungstisch **3** angeordnet ist. Dargestellt ist im Querschnitt die Vakuumkammer **4** mit einem herrschenden Potenzial von z. B. 100 kV im Inneren. Ein homogener breiter Teilchenstrahl **5**, hier aus Elektronen, wird aus der auch im Hochvakuum befindlichen Strahlquelle von oben in die Vakuumkammer **4** geleitet und trifft dort auf ein ansteuerbares Mustererzeugungssystem **6** oberhalb des Substrats **2**. Im Mustererzeugungssystem **6**, bei dem es sich bevorzugt um ein programmierbares

25

30

Aperturplattensystem handeln kann, wird computerunterstützt ein digitales Strukturierungsmuster für die Belichtung des Substrats **2** mit dem Teilchenstrahl **5** erzeugt. Dazu werden einzeln adressierbare Aperturen **7**, die die Strukturpunkte bzw. Einzelelemente darstellen, in Abhängigkeit von ihrer Position im zu erzeugenden Strukturierungsmuster und von ihrer Position über dem verschieblichen Substrat **2** angesteuert. Die zu übertragende Datenrate ist bei sehr feinen Strukturen und einer hohen Belichtungsgeschwindigkeit entsprechend hoch und kann im Tbit/s-Bereich liegen.

Die Daten für die Ansteuerung erhält das Mustererzeugungssystem **6** über ein optoelektrisches Freistrahilverbindungssystem **8**. Dieses besteht im gezeigten Ausführungsbeispiel aus elektrooptischen Wandlern **9**, Lichtaustrittsorten **10**, Freistrahlen **11**, Lichteintrittsorten **12** und optoelektrischen Wandlern **13**. Die elektrischen Musterdaten werden elektrooptisch gewandelt, mittels Freistrahlen **11** auf das Mustererzeugungssystem **8** übertragen und dort nach ihrer optoelektrischen Wandlung als Steuerdaten weiterverarbeitet. Dabei wird die Anzahl **N** der Freistrahlen **11** (und damit der elektrooptischen Wandler **9** und der optoelektrischen Wandler **13**) über die vorgegebene Wandlungsrate der elektrooptischen Wandler **9** an die zu übertragende Summendatenrate angepasst. Dabei sei an dieser Stelle angemerkt, dass die einzeln gezeigten Bauelemente jeweils auch immer als Array angeordnet sein können. Für die Übertragung einer Datenrate von 2,56 Tbit/s sind beispielsweise **N** = 256 parallele Freistrahlen **11** mit einer von elektrooptischen Wandlern **9** jeweilig erzeugbaren Datenrate von 10 Gbit/s erforderlich.

Im gezeigten Ausführungsbeispiel befinden sich sowohl die Lichtaustrittsorte **10** als auch die Lichteintrittsorte **12** (jeweils schematisch dargestellt) innerhalb der Vakuumkammer **4**. Damit kann eine sehr kurze Freistrahlstrecke realisiert werden, die insbesondere der mechanischen Entlastung des Mustererzeugungssystems **8** durch entfallende Kontaktierungen dient. In diesem Falle können die Freistrahlen **11** von kollimierenden Mikrolinsen **14** und fokussieren-

den Mikrolinsen **15** gebündelt werden. Zur Umlenkung werden die Freistrahlen **11** im gewählten Ausführungsbeispiel über Umlenkvorrichtungen **16**, beispielsweise Mikrospiegel, um  $90^\circ$  umgelenkt. Dabei werden die Umlenkvorrichtungen **16** aber grundsätzlich so angeordnet, dass sie den Teilchenstrahl **5** nicht behindern. Im gezeigten Ausführungsbeispiel werden die Lichtaustritts-  
5 orte **10** direkt von aktiven Sendelasern **17** als elektrooptische Wandler **9** gebildet. Die somit als elektrische Signale vorliegenden Musterdaten werden leitungsgebunden mittels Drähten, die durch Durchführungen **18** in der Wandung der Vakuumkammer **4** geführt werden, zugeführt. Befinden sich die  
10 elektrooptischen Wandler **9** außerhalb der Vakuumkammer **4**, so kann eine Zuführung der optisch gewandelten Daten in das Innere der Vakuumkammer beispielsweise auch über Lichtwellenleiter erfolgen. Die Lichtaustrittsorte **10** liegt dann an den Enden der Lichtwellenleiter. Die Lichteintrittsorte **12** werden im gezeigten Beispiel direkt von Empfangselementen, z. B. Photodioden, **19**  
15 als optoelektrische Wandler **13** gebildet. Bedarfsweise können bei einer solchen Realisierung mit einer sehr kurzen Freistrahlstrecke auch die Mikrolinsen **14, 15** entfallen.

In der **Figur 2** ist eine Ausführungsform der Erfindung mit einer langen  
20 Freistrahlstrecke gezeigt, bei der sich die Lichtaustrittsorte **10** des Freistrah-  
verbindungssystem **8** außerhalb der Vakuumkammer **4** befinden und von den  
Enden von passiven Lichtwellenleitern **20** gebildet werden, an deren Anfang  
die elektrooptischen Wandler **9** positioniert sind (aktive Sendeelemente sind  
hier ebenfalls möglich). Auch bei dieser Ausbildung können vorkollimierende  
25 Mikrolinsen **14** am Ende der Lichtwellenleiter **20** vorgesehen sein. Gezeigt sind  
auch fokussierende Mikrolinsen **15**, die jedoch auch entfallen können. Die  
Freistrahlen **11** werden über ein Fenster **21**, hierbei kann es sich um eine  
einfache Glasscheibe handeln, in der Wandung der Vakuumkammer **4** in das  
Innere geleitet. Gegen Störeinflüsse ist das Fenster **21** mit einer Abdeckung **22**  
30 versehen. Aufgrund des großen Abstandes zwischen den Lichtaustrittsorten **10**  
und den Lichteintrittsorten **12** wird eine Abbildungslinse **23** verwendet, die die

entsprechend positionierte Orte aufeinander abbildet. Insbesondere kompakte Array-Anordnungen der Lichtaustrittsorte **10** und der Lichteintrittsorte **12**, auch in Verbindung mit leicht lösbaren Faserarraysteckern, lassen sich mit einer Abbildungsoptik **23**, hier in Form einer einfachen Abbildungslinse, gut abbilden.

5 Auch bei Verwendung der Abbildungsoptik **23**, deren Anordnung den Teilchenstrahl **5** nicht stören darf, können die Freistrahlen **10** mit einer den Teilchenstrahl **5** ebenfalls nicht störenden optischen Umlenkvorrichtung **24** winklig geführt werden, wobei diese alle dicht beieinander positionierten Freistrahlen **10** gemeinsam erfasst.

10

Der **Figur 3** zeigt eine bemaßte, durchgängig lineare Ausführungsanordnung mit außerhalb der Vakuumkammer **4** (nur angedeutet) angeordneten Lichtaustrittsorten **10**. Diese werden von einem Faserarraystecker **30** gebildet. Im gewählten Ausführungsbeispiel weist der Faserarraystecker **30** (6x12) Lichtwellenleiter **20** in Form von Glasfasern und zwei Photodioden (Vier-  
15 Quadranten) zum Empfang von Rücksignalen auf. Über die Abbildungslinse **23** werden die gebündelten Freistrahlen **11** durch das Fenster **21** über eine optische Umlenkvorrichtung **24** auf ein Photodiodenarray **31** geleitet. Dieses weist im gewählten Ausführungsbeispiel neben (6x12) Photodioden auch zwei  
20 Sendelaser **32** (VCSEL) zur Erzeugung von Rücksignalen auf. Diese werden auf die beiden Photodioden mit Vierquadrantenaufbau im Faserarraystecker **30** rückgeleitet und dienen der Überprüfung der Ausrichtung der Freistrahlen **11** auf das Photodiodenarray **31**. Auftretende Abweichung werden in einem automatisierbaren Justagesystem **33**, das in der Freistrahlstrecke angeordnet  
25 ist, optisch ausgeregelt. Eine mechanische, automatische oder manuelle Justage durch beispielsweise eine Verschiebung des Faserarraysteckers **30** ist ebenfalls möglich. Das auf einer Trägerplatte **34** mit quadratischen Öffnungen angeordnete Photodiodenarray **31** ist im gewählten Ausführungsbeispiel mit einem Elektronikchip kombiniert ausgeführt und enthält auch die erste Stufe  
30 des Demultiplexers zur Verteilung der empfangenen, optoelektrisch gewandelten Musterdaten. Nicht dargestellt ist ein weitere Elektronikchip mit den

entsprechende Aperturen. Das gesamte System wird als programmierbares Aperturplattensystem **35** bezeichnet.

Der **Figur 4** sind Details zur Abbildungslinse **23** zu entnehmen. Mehrere  
5 Lichtwellenleiter **20** sind hier zu einem zeilenförmigen Faserarray **40**  
zusammengefasst. Eine Zusammenfassung in Zeilen und Spalten in einem  
Faserarraystecker (s.o.) zur Erzielung noch kompakterer Abmessungen und  
einfacherer Montage ist auch möglich. Das zeilenförmige Faserarray **40** wird  
über die Abbildungslinse **23** durch das Fenster **21** hindurch auf einem  
10 zeilenförmigen Lichteintrittsarray **41** spiegelverkehrt (in der **Figur 3** angedeutet  
durch Strahllinien) abgebildet. Gezeigt ist eine ungefähre 1:1-Abbildungsoptik  
**23** mit einer einfachen Abbildungslinse, die einen großen Arbeitsabstand in  
der Freistrahlstrecke ermöglicht. Bei einer unsymmetrischen Anordnung der  
Abbildungsoptik **23** können andere Abbildungsverhältnisse gewählt werden. Im  
15 gewählten Ausführungsbeispiel werden die Lichteintrittsorte **12** von Photo-  
dioden gebildet, die monolithisch in einem Halbleiterchip **42**, z. B. aus Silizium  
für eine Übertragungswellenlänge von 850 nm, integriert sind.

In der **Figur 5** ist ein Ausführungsbeispiel mit einer Anordnung eines  
20 Faserarraysteckers **50**, in dem die Enden einer Anzahl von **N** Lichtwellenleitern  
**20** zusammengefasst sind, und einer Abbildungslinse **23** außerhalb der  
Vakuumkammer **4** dargestellt. Die Umlenkung des Bündels aus Freistrahlen **11**  
erfolgt über die zusätzliche optische Umlenkvorrichtung **52** in der Höhe des  
Fensters **21**. Sowohl der Faserarraystecker **50** als auch die optische Umlenk-  
25 vorrichtung **24** sind einer winkligen Abdeckung **51** integriert, die gleichzeitig der  
mechanischen Befestigung und der Abschirmung von optischen Störeinflüssen  
sowie dem Schutz der Abbildungslinse **23** dient. Eine weitere optische  
Umlenkvorrichtung **24** ist im Innern der Vakuumkammer **4** angeordnet, die das  
Bündel aus Freistrahlen **11** im gewählten Ausführungsbeispiel auf ein  
30 Photodiodenarray **53** lenkt. In der **Figur 6** ist eine ähnliche Ausführungsform  
zu **Figur 5** dargestellt, wobei das Fenster **21** nunmehr in die Vakuumkammer **4**

hineingezogen ist. Der Faserarraystecker **50** ist auf einer Platte **61** montiert, die gleichzeitig der Abschirmung von optischen Störeinflüssen dient. Die Abbildungsoptik **23** ist wiederum genau vor dem Fenster **21** angeordnet. Durch diese Anordnung sind kleinere Abmessungen des Freistrahlsverbindungs-

5 systems **8** und damit kompaktere Konstruktionsmaße erreichbar. In der **Figur 7** ist in der Frontalansicht der bemaßte Faserarraystecker **50** mit zwei Befestigungslöchern **71** dargestellt, der im gewählten Ausführungsbeispiel sechs Zeilen mit je zwölf Lichtwellenleitern **20** enthält, die vertikal und horizontal einen vorgegeben, hier gleichen Pitchabstand aufweisen.

10

In der **Figur 8** sind mögliche, bemaßte Anordnungen von kollimierenden Mikrolinsen **14** und fokussierenden Mikrolinsen **15** in den Freistrahlen **11** beiderseits des Fensters **21** dargestellt. Dabei können die fokussierenden Mikrolinsen **15** vor den Photodioden **19** optional entfallen (in der **Figur 8** nur

15 rechts angedeutet). Gezeigt sind 1...64 Lichtwellenleiter **20** gemäß dem gewählten Ausführungsbeispiel. In der **Figur 9** ist die mögliche winklige Einstrahlung in die Photodiode **19** dargestellt. Diese wird durch eine entsprechende Drehung (gestrichelt angedeutet) der fokussierenden Mikrolinse **15** und des Fensters **21** realisiert und ermöglicht die Anpassung der

20 Ausrichtung der Freistrahlen **11** an die räumlichen Gegebenheiten in der Vakuumkammer **4**.

### Bezugszeichenliste

25	<b>1</b>	Lithographiesystem
	<b>2</b>	Substrat
	<b>3</b>	Halterungstisch
	<b>4</b>	Vakuumkammer
	<b>5</b>	Teilchenstrahl
30	<b>6</b>	Mustererzeugungssystem
	<b>7</b>	Apertur

	<b>8</b>	Freistrahlverbindungssystem
	<b>9</b>	elektrooptischer Wandler
	<b>10</b>	Lichtaustrittsort
	<b>11</b>	Freistrah
5	<b>12</b>	Lichteintrittsort
	<b>13</b>	optoelektrischer Wandler
	<b>14</b>	kollimierende Mikrolinse
	<b>15</b>	fokussierende Mikrolinse
	<b>16</b>	optische Umlenkvorrichtung
10	<b>17</b>	Sendelaser
	<b>18</b>	Durchführung
	<b>19</b>	Photodiode
	<b>20</b>	Lichtwellenleiter (Anzahl <b>N</b> )
	<b>21</b>	Fenster
15	<b>22</b>	Abdeckung
	<b>23</b>	Abbildungsoptik
	<b>24</b>	optische Umlenkvorrichtung
	<b>30</b>	Faserarraystecker
	<b>31</b>	Photodiodenarray
20	<b>32</b>	Sendelaser
	<b>33</b>	Justagesystem
	<b>34</b>	Trägerplatte
	<b>35</b>	Aperturplattensystem
	<b>40</b>	Faserarray
25	<b>41</b>	Lichteintrittsarray
	<b>42</b>	Halbleiterchip
	<b>50</b>	Faserarraystecker
	<b>51</b>	Abdeckung
	<b>52</b>	zusätzliche optische Umlenkvorrichtung
30	<b>53</b>	Photodiodenarray
	<b>61</b>	Platte
	<b>71</b>	Befestigungsloch

## Patentansprüche

1. Maskenloses Lithographiesystem zur direkten, nanoskalierbaren Strukturierung eines auf einem verfahrbaren Halterungstisch angeordneten Substrats in einer hochspannungsbeaufschlagten Vakuumkammer mittels eines von einer Strahlenquelle erzeugten, geladenen Teilchenstrahls mit einem ansteuerbaren digitalen Mustererzeugungssystem, auf das das zu erzeugende Strukturmuster als computerunterstützt erzeugter Musterdatensatz mittels eines Datenübertragungssystems übertragen wird,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

das Datenübertragungssystem als optoelektrisches Freistrahilverbindungssystem (8) ausgebildet ist, mit dem die von elektrooptischen Wandlern (9) optisch gewandelten Musterdaten auf Lichtaustrittsorte (10) verteilt, von dort in justierbar ausgerichteten Freistrahlen (11) auf Lichteintrittsorte (12) im Innern der Vakuumkammer (4) übertragen und von dort dem Mustererzeugungssystem (6) bezüglich der übertragenen Musterdaten zugeordnete, optoelektrische Wandler (13) zugeleitet werden, wobei die Anzahl N der elektrooptischen Wandler (9) aufgrund ihrer vorgegebenen Wandlungsrate an die zu übertragende Musterdatenrate angepasst ist.

2. Maskenloses Lithographiesystem nach Anspruch 1,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

im Innern der Vakuumkammer (4) optische Umlenkvorrichtungen (16;24) in den Freistrahlen (11) angeordnet sind.

3. Maskenloses Lithographiesystem nach Anspruch 1 oder 2,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Lichtaustrittsorte (10) außerhalb der Vakuumkammer (4) angeordnet sind und die Freistrahlen (11) durch ein lichtdurchlässiges Fenster (21) in der Vakuumkammer (4) in das Innere der Vakuumkammer (4) geleitet werden.

4. Maskenloses Lithographiesystem nach Anspruch 3,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
die Lichtaustrittsorte (10) direkt von außen am Fenster (21) angeordnet sind.
- 5
5. Maskenloses Lithographiesystem nach Anspruch 3,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
die Lichtaustrittsorte (10) rechtwinklig unterhalb des Fensters (21) angeordnet  
sind und die Freistrahlen (11) über eine zusätzliche optische Umlenkvorrich-  
10 tung (16) über das Fenster (21) in das Innere der Vakuumkammer (4) geleitet  
werden.
6. Maskenloses Lithographiesystem nach einem der Ansprüche 3 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
15 das Fenster (13) in die Vakuumkammer (4) hineingezogen ist.
7. Maskenloses Lithographiesystem nach einem der Ansprüche 3 bis 6,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
das Fenster (21) außerhalb der hindurchtretenden Freistrahlen (11) mit einer  
20 Abdeckung (22;51;61) gegen Fremdlicht und elektromagnetische Felder abge-  
schirmt ist.
8. Maskenloses Lithographiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
25 kollimierende und fokussierende Mikrolinsen (14,15) an den Lichtaus- und/oder  
-eintrittsorten (10,12) angeordnet sind.
9. Maskenloses Lithographiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
**dadurch gekennzeichnet**, dass  
30 die Lichteintrittsorte und/oder Lichtaustrittsorte (10,12) in einem Array (40)  
angeordnet sind.

10. Maskenloses Lithographiesystem nach Anspruch 9,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

- 5 das Array (40) der Lichtaustrittsorte (10) über eine Abbildungsoptik (23) auf das Array (41) der Lichteintrittsorte (12) abgebildet wird.

11. Maskenloses Lithographiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

- 10 die Lichteintrittsorte (12) und/oder Lichtaustrittsorte (10) von den Enden von Lichtwellenleitern (20) gebildet werden.

12. Maskenloses Lithographiesystem nach Anspruch 9 und 11,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

- 15 die Enden der Lichtwellenleiter (20) bei deren Ausbildung als Lichtfasern in einem Faserarraystecker (30) zusammengefasst sind.

13. Maskenloses Lithographiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

- 20 die elektrooptischen Wandler (10) als Lichtaustrittsorte (10) in Form von aktiven Sendeelementen, insbesondere Sendelasern (32), ausgebildet sind.

14. Maskenloses Lithographiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

- 25 die optoelektrischen Wandler (13) als Lichteintrittsorte (12) in Form von aktiven Empfangselementen, insbesondere Photodioden (19), ausgebildet sind.

15. Maskenloses Lithographiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 14,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

- 30 die optoelektrischen Wandler (13) räumlich direkt im digitalen Mustererzeugungssystem (6) angeordnet sind.

16. Maskenloses Lithographiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 15,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
5 das Mustererzeugungssystem (6) als programmierbares Aperturplattensystem  
(35) ausgebildet ist.

17. Maskenloses Lithographiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 16,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
10 ein automatisierbares Justagesystem (33) zur Ausrichtung der Freistrahlen  
(11) auf die Lichteintrittsorte (12) vorgesehen ist.

18. Maskenloses Lithographiesystem nach Anspruch 17,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
15 das Justagesystem (33) im Strahlengang des Freistrahlsverbindingssystems (8)  
angeordnet ist.

19. Maskenloses Lithographiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 18,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
20 im Bereich des Mustererzeugungssystems (6) zusätzliche elektrooptische  
Wandler angeordnet sind, mittels denen weitere optische Signale,  
insbesondere Kontroll- und Steuersignale, erzeugt und in Rückrichtung über  
Freistrahlen (11) auf zusätzliche optoelektrische Wandler geleitet werden,  
wobei die weiteren optischen Signale als Rücksignale für das automatisierbare  
25 Justagesystem (33) einsetzbar sind.

20. Maskenloses Lithographiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 19,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
mit dem optoelektrischen Freistrahlsverbindingssystem (8) zusätzlich eine  
30 optische Energieübertragung auf das ansteuerbare Mustererzeugungssystem  
(6) durchgeführt wird.

1/7

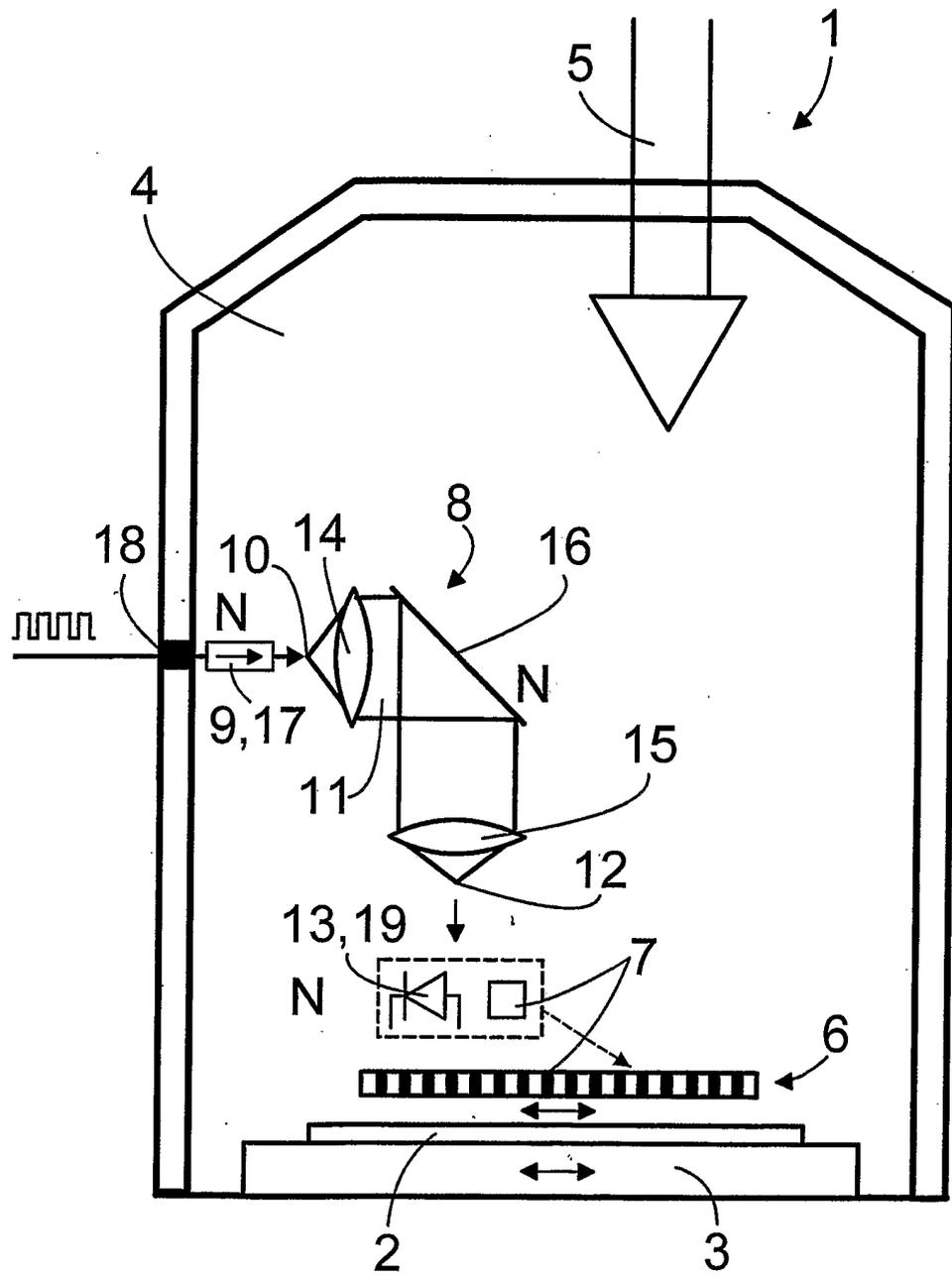


Fig. 1

2/7

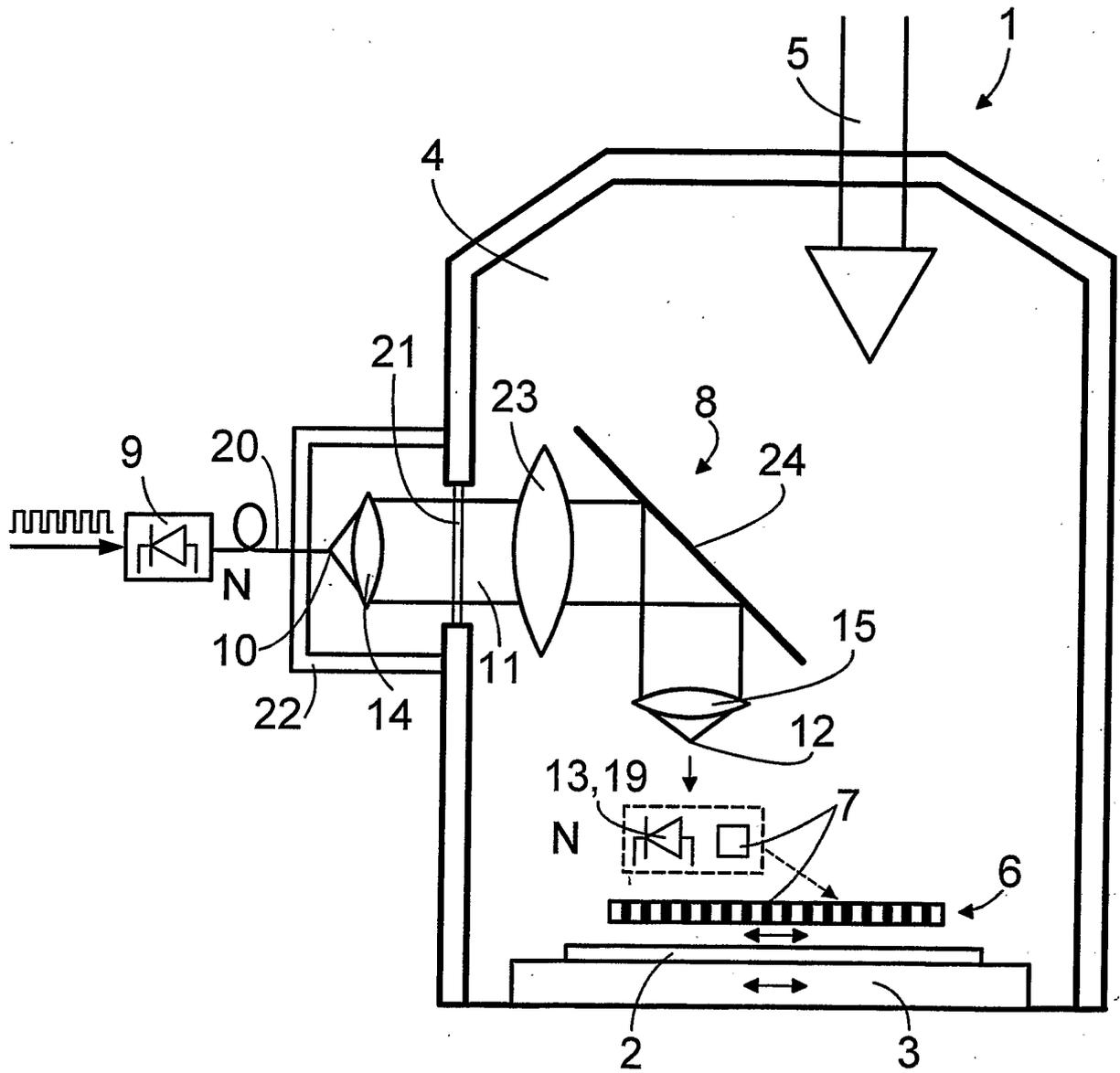


Fig.2

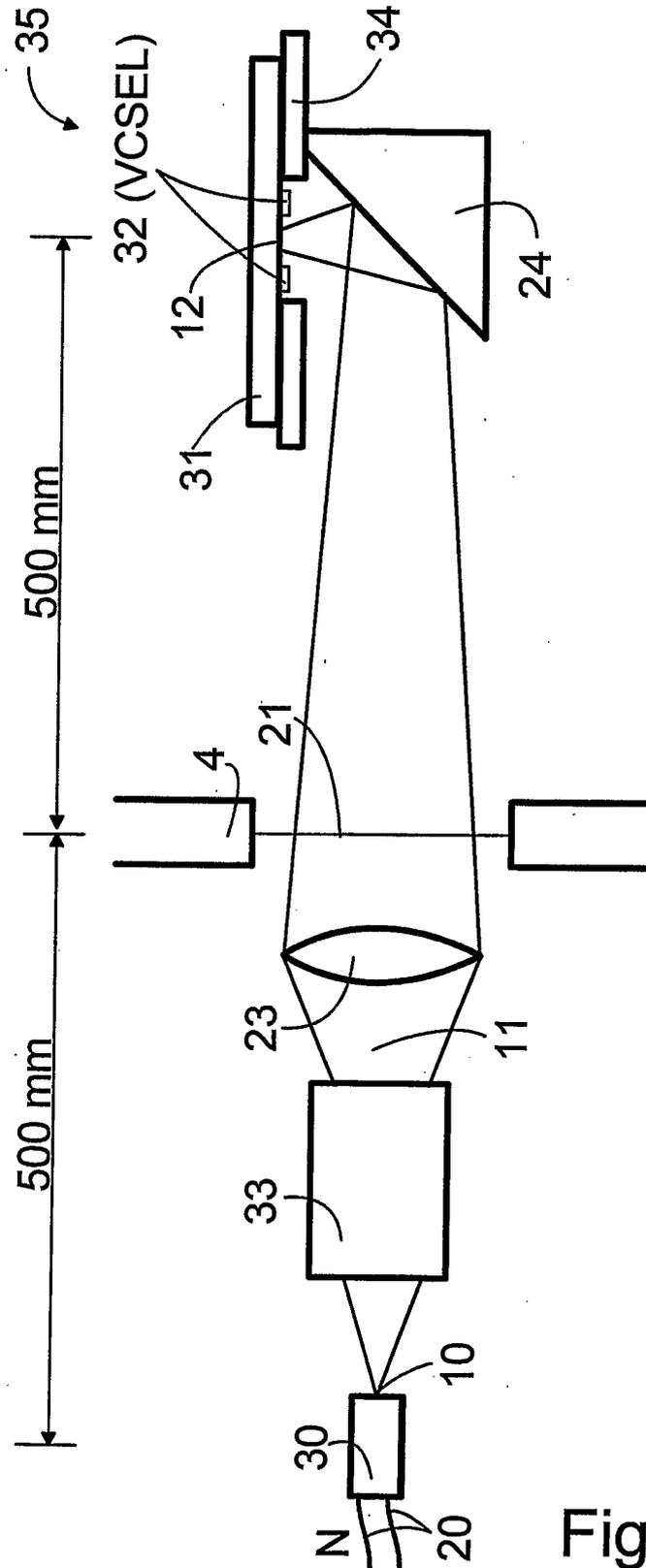


Fig.3

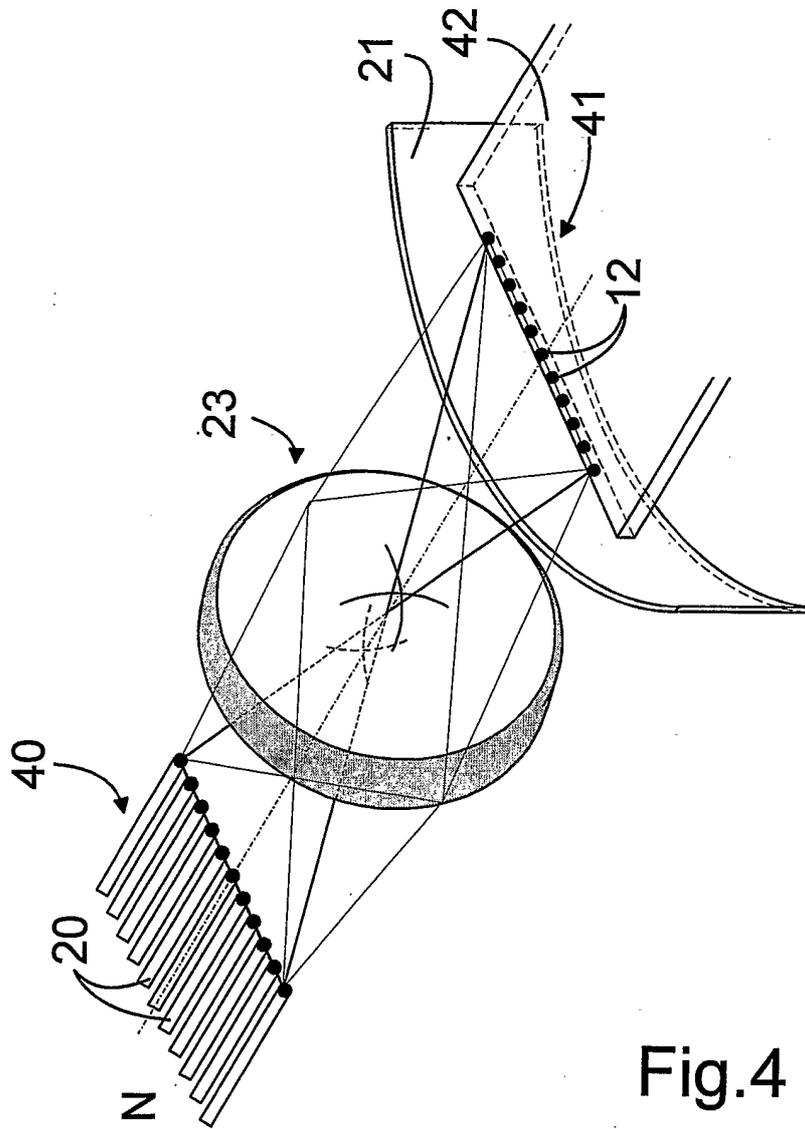


Fig.4

5/7

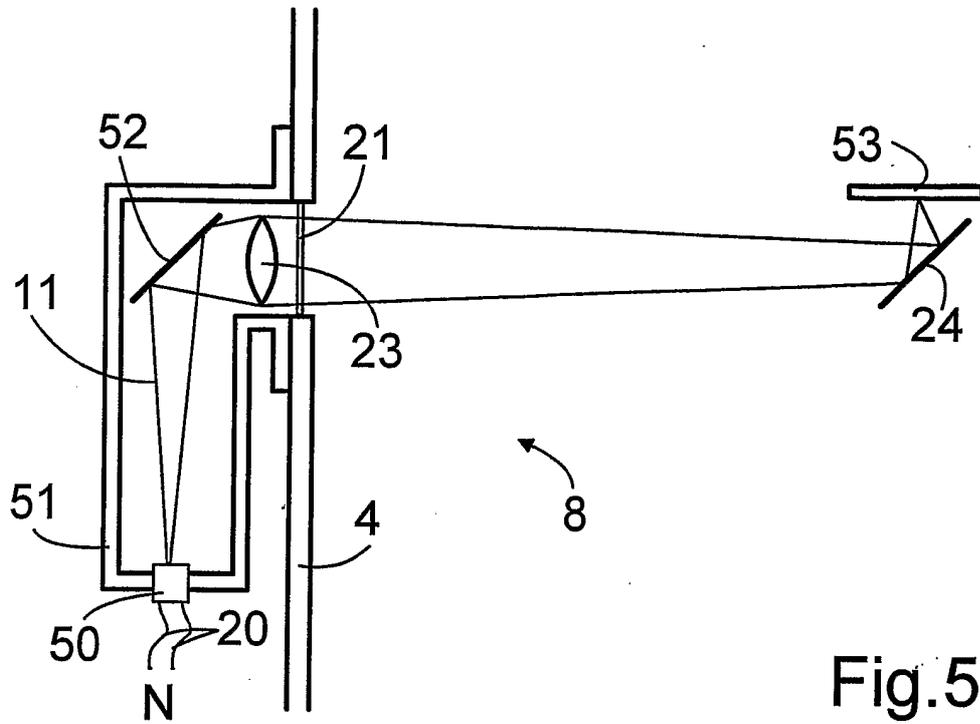


Fig.5

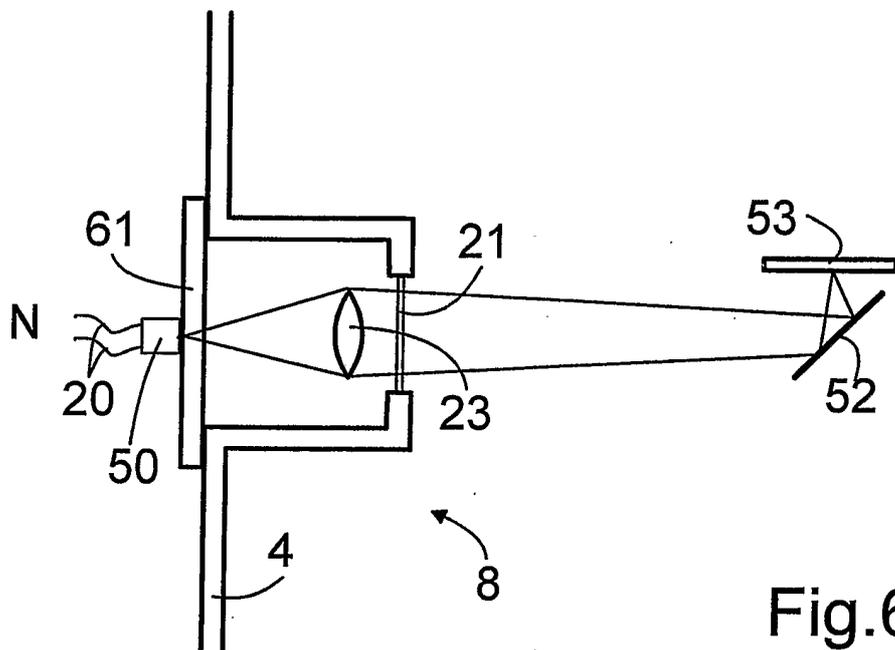


Fig.6

6/7

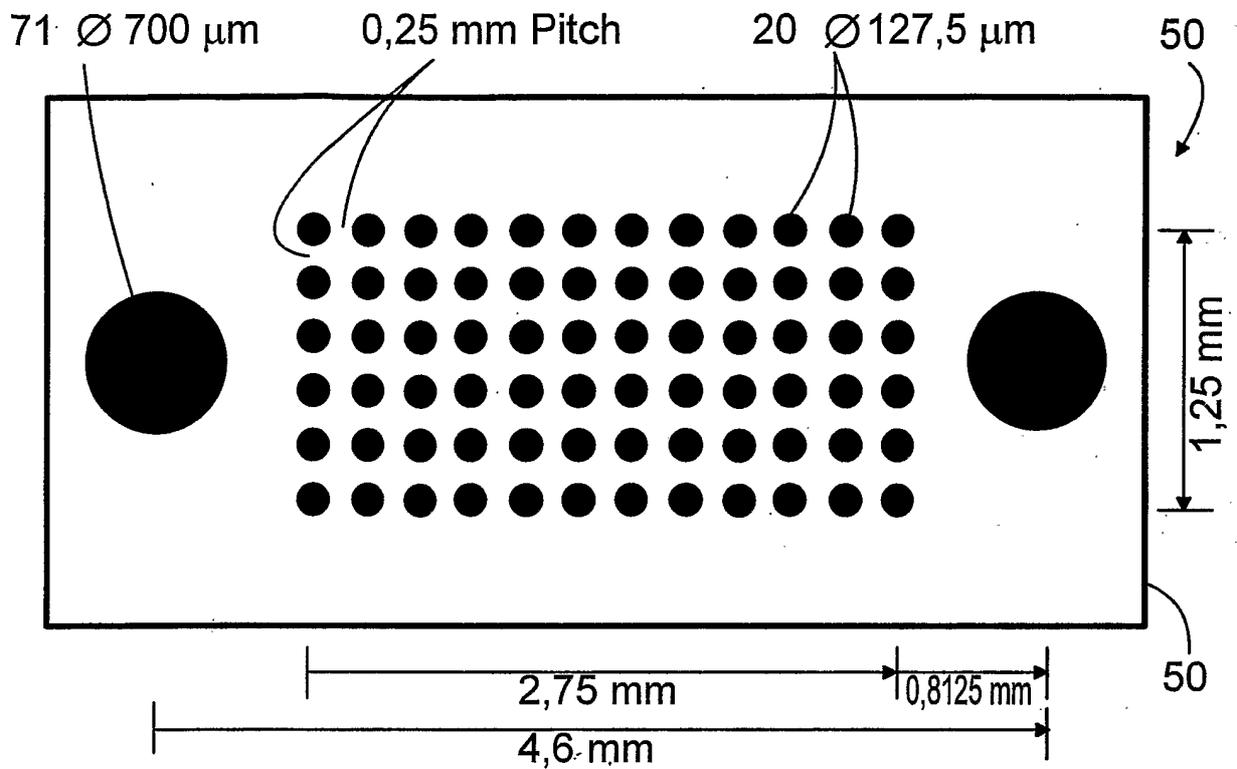


Fig.7

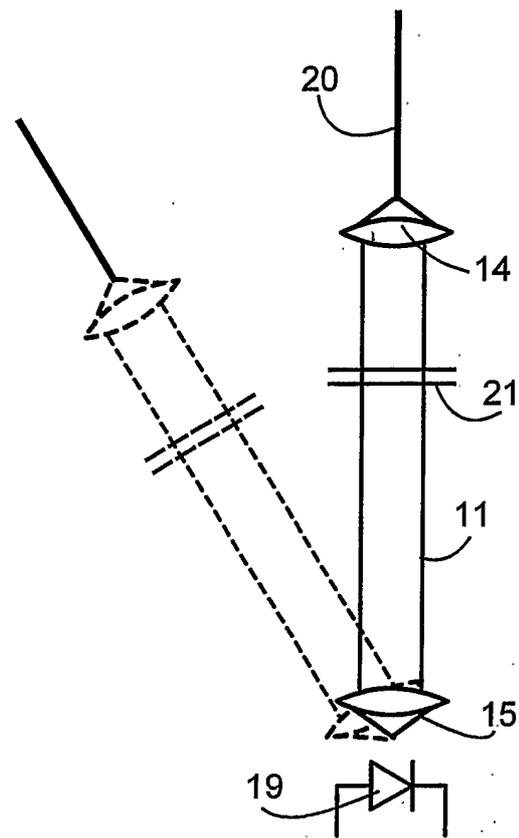


Fig.9

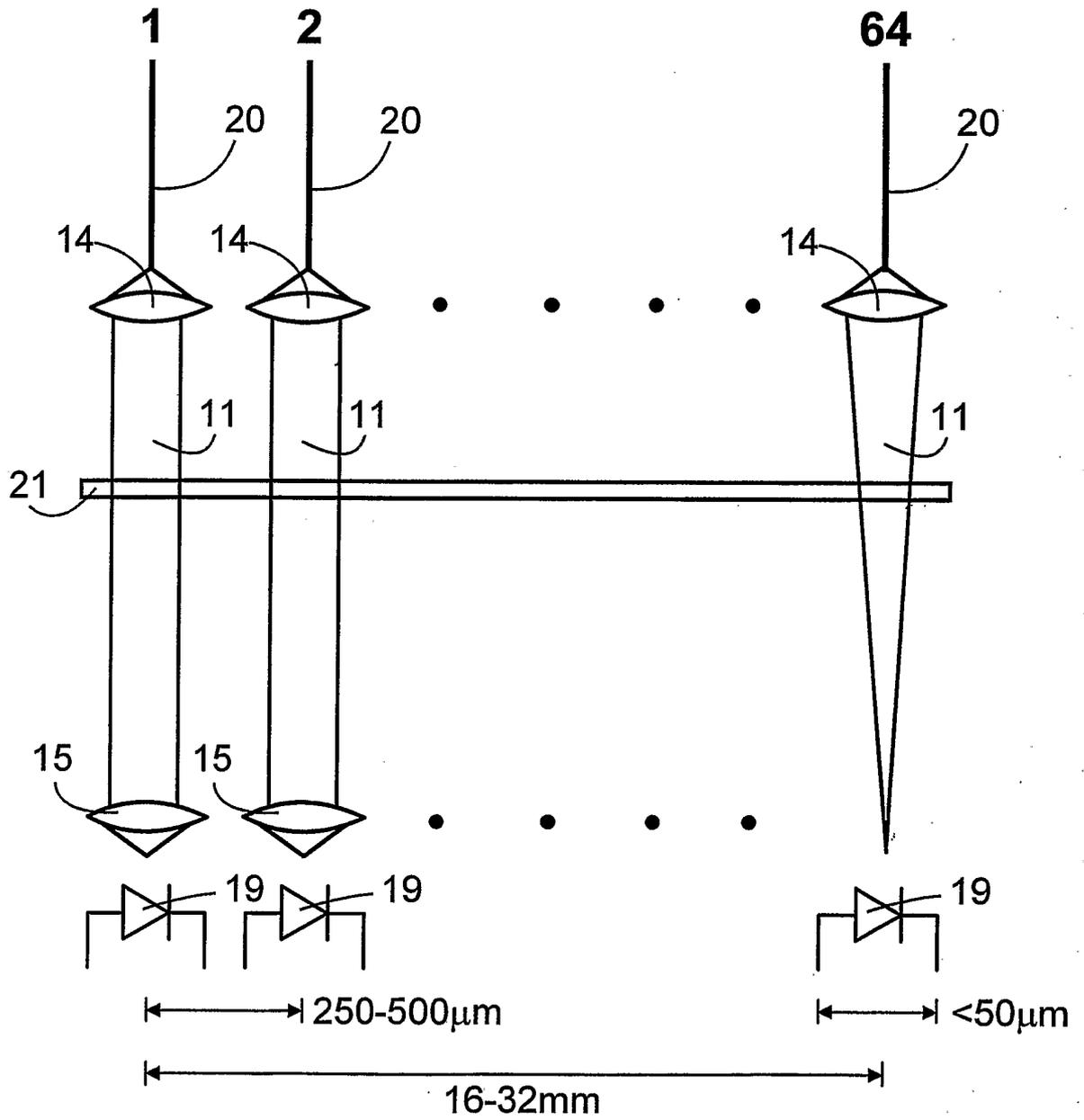


Fig.8