

(12)

## Patentschrift

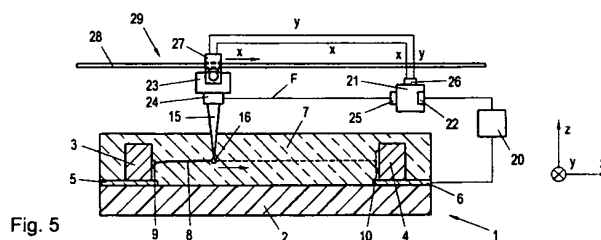
- (21) Anmeldenummer: A 63/2008 (51) Int. Cl.<sup>8</sup>: **G02B 6/138** (2006.01)  
**G02B 6/42** (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 2008-01-16 **G02B 6/43** (2006.01)  
(43) Veröffentlicht am: 2008-11-15

(56) Entgegenhaltungen:  
JP 2002-357733A AT 413891B  
AT 503585B1 WO 2006/003313A1

(73) Patentanmelder:  
AT & S AUSTRIA TECHNOLOGIE &  
SYSTEMTECHNIK  
AKTIENGESELLSCHAFT  
A-8700 LOEBEN-HINTERBERG (AT)

### (54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM ERZEUGEN EINES LICHT-WELLENLEITERS IN EINEM LEITERPLATTENELEMENT

- (57) Verfahren zum Erzeugen wenigstens eines Licht-Wellenleiters (8) in einem optischen, photopolymerisierbaren, schichtförmigen Material eines Leiterplattelements (1), zur Herstellung einer optischen Verbindung zwischen wenigstens einem optoelektronischen Sender-Bauelement (3) und wenigstens einem optoelektronischen Empfänger-Bauelement (4), wobei ein Photonenstrahl (15), vorzugsweise Laserstrahl, auf die Stelle des zu erzeugenden Wellenleiters (8) gerichtet und fokussiert und der Wellenleiter durch Mehrphotonenabsorption im optischen Material strukturiert wird, und wobei während der Strukturierung des Wellenleiters (8) ein Photostrom zwischen den optoelektronischen Bauelementen (3, 4) erzeugt wird, der am Empfänger-Bauelement (4) erfasst wird, und die Fokusposition (16) des Photonenstrahls (15) abhängig von der Amplitude des Photostroms gesteuert wird.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Erzeugen wenigstens eines Licht-Wellenleiters gemäß den einleitenden Teilen der unabhängigen Ansprüche.

5 Zur Herstellung von integrierten optischen Signalverbindungen in Leiterplatten wurden bereits verschiedene Techniken vorgeschlagen, wie etwa die Anbringung einer optischen Kernschicht zwischen Mantelschichten, die einen Brechungsindex aufweisen, der verschieden von jenem  
10 der Kernschicht ist, wobei die Kernschicht mit den optoelektronischen Bauelementen optisch gekoppelt ist. Andererseits wurden auch bereits photolithographische Prozesse oder aber das Aushärten von Bereichen einer entsprechenden optischen Schicht durch UV-Licht vorgeschla-

15 Aus der JP 2002-357733 A ist ein Leiterplattenelement mit einem Licht-Wellenleiter zwischen einem Senderbauelement und einem Empfängerbauelement bekannt. Die beiden Bauelemente sind in einem polymerisierbaren optischen Material eingebettet, das aus zwei Komponenten mit unterschiedlichem Brechungsindex besteht. Bei der Herstellung wird ein vom Senderbauelement ausgehender Photostrom von einem außerhalb dieses optischen Materials angeordneten Photodetektor über eine Lichtleitfaser und einen Richtungskoppler erfasst, und es wird eine Justierung der Position der Lichtleitfaser vorgenommen, bis der am Photodetektor erfasste Photostrom ein Maximum aufweist. Hierbei geht es nur um die optimale Position der Lichtleitfaser,  
20 wobei der Licht-Wellenleiter im Anschluss daran in herkömmlicher Weise strukturiert wird.

25 In der AT 503 585 B1 sind weiters ein Leiterplattenelement und ein Verfahren zu dessen Herstellung beschrieben, wobei eine lichtleitende Verbindung zwischen einem optoelektronischen Bauelement und einem Umlenkspiegel strukturiert wird. Das Bauelement und der Umlenkspiegel sind in einem polymerisierbaren Material eingebettet, welches durch Mehrphotonenabsorption, wie nachfolgend näher erläutert, strukturiert wird.

30 Aus der WO 2006/003313 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung eines integrierten optischen Schaltkreises bekannt, der in einem Block aus organischem Material eingebettet ist, welches ebenfalls durch Mehrphotonenabsorption polymerisierbar ist.

35 Eine besonders vorteilhafte Technik ist die direkte Strukturierung eines Licht-Wellenleiters in einem optischen photopolymerisierbaren schichtförmigen Material, in dem die optoelektronischen Bauelemente eingebettet sind, wobei im Einzelnen der jeweilige Licht-Wellenleiter durch Photonenbestrahlung, wobei es zur Mehrphotonenabsorption kommt, strukturiert wird. Diese Technik ist beispielsweise in der AT 413 891 B beschrieben.

40 Im Einzelnen wird bei dieser Technik derart vorgegangen, dass die optoelektronischen Bauelemente an einem Leiterplattensubstrat angebracht und kontaktiert werden, wonach sie im optischen Material eingebettet werden. Anschließend wird zwischen den optoelektronischen Bauelementen mittels Bestrahlung der Licht-Wellenleiter strukturiert, wobei eine chemische Reaktion, nämlich Polymerisation, durch gleichzeitige Absorption von mehreren (in der Regel zwei) Photonen aktiviert wird. Im Hinblick darauf, dass normalerweise zwei Photonen gleichzeitig absorbiert werden, wird dieses Verfahren auch Zweiphotonenabsorptions-Methode oder TPA-Methode (Two-Photon-Absorption) genannt. Das optische Material ist normalerweise für die eingestrahlte Laserwellenlänge (z.B. 800nm) transparent, so dass es im optischen Material zu keiner Absorption und zu keinem Polymerisationsprozess kommt. Im Fokusbereich des Laserstrahls oder allgemein Photonenstrahls ist jedoch die Strahlungsintensität so hoch, dass das optische Material zwei oder mehr Photonen gleichzeitig absorbiert, wonach die genannte chemische Reaktion aktiviert wird. Ein Vorteil ist dabei auch, dass durch die Transparenz des optischen Materials für die Anregungswellenlänge alle Punkte in der Schicht des optischen Materials erreicht und somit problemlos dreidimensionale Strukturen in der Schicht eingeschrieben werden können. „Dreidimensional“ ist dabei so zu verstehen, dass der Licht-Wellenleiter nicht nur in einer Ebene (der x/y-Ebene) verlaufen muss, sondern auch in der Höhe (z-Richtung) variieren kann, d.h. dass sich der Licht-Wellenleiter in der x-, y- und z-Richtung erstrecken  
55

kann, aber auch, dass der Licht-Wellenleiter in seiner Form über seine Längserstreckung Veränderungen in x-, y- und z-Richtung aufweisen kann, etwa indem der Querschnitt von einer kreisförmigen Form zu einer flach elliptischen Form, dann wieder zu einer kreisförmigen Form und weiters auch zu einer hochstehend elliptischen Form usw. wechseln kann.

5

Der Mehrphotonen-Absorptionsprozess ist ein Einschnitt-Strukturierungsprozess, bei dem keine Mehrfachbelichtungen und keine nass-chemischen Entwicklungsschritte erforderlich sind, so dass die Strukturierung des Wellenleiters besonders rasch und einfach erhalten werden kann. Ein weiterer Vorteil ist hier darin gelegen, dass im Gegensatz zu den früheren Verfahren, bei denen die optoelektronischen Bauelemente mechanisch zum Licht-Wellenleiter ausgerichtet werden müssen, bei der Mehrphotonen-Absorptionsmethode der Wellenleiter einfach an die zuvor montierten optoelektronischen Bauelemente heran „geschrieben“ werden kann. Zu diesem Zweck werden die optoelektronischen Bauelemente vorab mittels eines optischen Systems ausgemessen, und der Weg des Licht-Wellenleiters zwischen den so vermessenen optoelektronischen Bauelementen wird berechnet. Damit können Ungenauigkeiten, wie Verdrehungen oder Verkippungen der optoelektronischen Bauelemente, die beim Bestücken, d.h. beim Montieren auf dem Leiterplattensubstrat, aufgetreten sind, ausgeglichen werden. Die Soll-Positionen der Wellenleiterenden in z-Richtung werden über eine Ausmessung der Höhe der optoelektronischen Bauelemente und Zurückrechnung auf die z-Höhe der aktiven Flächen der optoelektronischen Bauelemente (d.h. der Lichtemissions- bzw. Lichtdetektionsfläche der Bauelemente) realisiert. Gemäß AT 413 891 B1 wird davon ausgegangen, dass vorab die Messungen wie erwähnt durchgeführt werden, wonach die Strukturierung des Licht-Wellenleiters anhand der gemessenen Daten vorgenommen wird.

Mit dieser Methode werden die bei den früheren Techniken, bei denen die optoelektronischen Bauelemente mechanisch einjustiert und an den Wellenleiter angepasst werden, gegebenen Nachteile der teuren, zeitaufwändigen und ineffektiven Justierungsprozesse wesentlich gemindert; nichtsdestoweniger erscheint auch die Technik der nachträglichen Strukturierung des Licht-Wellenleiters nach dem beschriebenen Ausmessen der optoelektronischen Bauelemente verbesserungswürdig, vor allem was die Genauigkeit und die Effizienz der Anbindung der Licht-Wellenleiter an die optoelektronischen Bauelemente betrifft, wobei auch die Kostenfrage zu berücksichtigen ist.

Es ist demgemäß Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung wie eingangs angegeben vorzuschlagen, wobei in rascher, effizienter Weise eine exakte optimierte Strukturierung des Licht-Wellenleiters in Anbindung an die optoelektronischen Bauelemente, die bereits zuvor montiert wurden, ermöglicht wird, und wobei die Kosten niedrig gehalten werden, wodurch die Entwicklung von integrierten optischen Verbindungen in Leiterplatten weiter vorangetrieben und eine Massenproduktion von optoelektronischen Leiterplattelementen mit hohen Stückzahlen ermöglicht werden soll.

Zur Lösung dieser Aufgabe sieht die Erfindung ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung wie in den unabhängigen Ansprüchen definiert vor. Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

45

Bei der vorliegenden Technik wird die Strukturierung des Licht-Wellenleiters „aktiv“ vorgenommen, d.h. es wird während der Strukturierung das optoelektronische Sender-Bauelement, also beispielsweise eine Laserdiode, aktiviert, so dass es Licht emittiert. Während der nun folgenden Strukturierung des Licht-Wellenleiters wird das am optoelektronischen Empfänger-Bauelement (also z.B. einer Photodiode) ankommende Licht detektiert, und der Strukturierungsweg des Wellenleiters wird derart aktiv gesteuert oder nachgeregelt, dass der Photodiodenstrom für den jeweiligen Zweck optimal wird, im Normalfall also ein Maximum erreicht. Damit können Lichtsender und Lichtdetektor optimal, mit minimalen optischen Verlusten, miteinander optisch gekoppelt werden. Demgemäß erlaubt es die vorliegende aktive Strukturierungstechnik, einen idealen Wellenleiter in einer optischen Verbindung zwischen den jeweiligen optoelektronischen

55

Bauelementen zu realisieren und weiters Ungenauigkeiten bei der Bestückung der Bauelemente auszugleichen bzw. Störstellen im optischen Material zu umgehen. Dabei wird weiters der Vorteil erzielt, dass die genannte aktive Strukturierung leicht durchgeführt werden kann, da die optoelektronischen Bauelemente bereits im optischen Material integriert sind, leicht anzusteuern sind, und die Kopplung zwischen Licht-Wellenleiter und optoelektronischen Bauelementen über eine optische (und nicht über eine mechanische) Methode durchgeführt wird. Weiters kann eine starke Abweichung sofort erkannt werden, und auch eine Nachbearbeitung kann sofort durchgeführt werden. Eine nachträgliche Vermessung der optischen Verbindung über den Licht-Wellenleiter ist nicht mehr nötig, da die Vermessung bereits während der Strukturierung sozusagen „online“ durchgeführt wurde. Diese Online-Messung führt auch dazu, dass etwaige defekte Teile, bei denen beispielsweise eine Nachbearbeitung nicht möglich ist oder nicht erfolgreich durchgeführt werden könnte, sofort bekannt sind und aus dem Produktionsprozess entfernt werden können.

Bei der vorliegenden Strukturierung des Licht-Wellenleiters kann, wenn beispielsweise die optoelektronischen Bauelemente einfach in der optischen Schicht eingebettet werden und eine direkte optische Verbindung zwischen den optoelektronischen Bauelementen hergestellt wird, derart vorgegangen werden, dass vorab die Bauelemente hinsichtlich Position, Verdrehung etc. vermessen werden, wonach das Sender-Bauelement angesteuert wird, damit es Licht emittiert, das am Empfänger-Bauelement detektiert wird. Das detektierte Signal wird allerdings in dieser Phase im Allgemeinen noch sehr gering sein. Es wird dann beispielsweise beginnend am Sender-Bauelement der Licht-Wellenleiter in Richtung Empfänger-Bauelement - zum berechneten Wellenleiterendpunkt hin - durch die vorgenannte TPA-Strukturierung eingeschrieben. Die Position des Wellenleiterstartpunkts wird aufgrund der Vermessungsdaten bestimmt. Je länger der Licht-Wellenleiter wird, und je näher er dem Empfänger-Bauelement kommt, umso höher wird der gemessene Photostrom am Empfänger-Bauelement. Während dieser Strukturierung „wächst“ der Licht-Wellenleiter, im einfachsten Fall ein gerader Wellenleiter, in dessen Strukturierungsrichtung, insbesondere der x-Richtung, es kann aber durch entsprechende Ansteuerung der Strahlführungsmittel der Photonenstrahl bzw. Laserstrahl laufend auch in y-Richtung (also quer zur Licht-Wellenleiter-Richtung x, jedoch in der x/y-Ebene parallel zum Leiterplattenelement) sowie in Höhenrichtung (z-Richtung, und zw. durch Verlagerung des Fokuspunktes) ausgelenkt werden, um so das Maximum des Photostroms am Empfänger-Bauelement zu finden. Auf diese Weise kann z.B. jener Lichtwellenleiterpfad ermittelt und realisiert werden, der den höchsten Photostrom liefert.

Im Einzelnen kann der Photonen- bzw. Laserstrahl auf verschiedene Arten in den drei Richtungen (x-, y- und z-Richtung) beim Strukturieren des Wellenleiters abgelenkt werden, wobei die Position des Fokuspunktes des Laserstrahls relativ zur Schicht des optischen photopolymerisierbaren Materials verändert wird. Beispielsweise kann das Leiterplattenelement auf einem Tisch aufliegen, der entsprechend den drei Achsen (x-, y- und z-Achse) bewegt wird, wogegen die Lasereinheit oder allgemein Photonenstrahleinheit stationär angebracht ist. Alternativ dazu ist jedoch denkbar, den Probenstisch mit dem Leiterplattenelement fest anzuordnen und die Laserstrahleinheit ihre Position in allen drei Richtungen ändern zu lassen. Für diese Verstellungen entweder des Tisches oder aber der Lasereinheit können beispielsweise Schrittmotoren, Linearmotoren, aber auch - für kleine Auslenkbewegungen - Piezoaktuatoren eingesetzt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht auch darin, den Laserstrahl über die Optik abzulenken, um insbesondere sehr kleine und sehr schnelle Positionsänderungen betreffend Fokuspunkt durchzuführen; mit dieser Ablenkung mit Hilfe der Optik kann aber auch die Geometrie des Fokus geändert werden, etwa über akustooptische Modulatoren oder Spiegelsysteme mittels Galvo- oder Piezoaktuatoren. In der Praxis werden die Bewegungen des Laserstrahls relativ zum Leiterplattenelement in x-Richtung (Wellenleiter-Richtung) und im rechten Winkel dazu, in y-Richtung z.B. durch Antreiben des Probenstisches oder der Lasereinheit eingestellt. Die vertikale Positionierung, also in z-Richtung sowie kleine, schnellere x- und y- Auslenkbewegungen des Photonenstrahls können über die Optik- bzw. Fokussiereinheit realisiert werden.

Bei den Abweichungen in der zur x/y-Ebene gelegenen Querrichtung (y-Richtung) und insbesondere in der Höhenrichtung (z-Richtung) wird zweckmäßig der minimale Krümmungsradius berücksichtigt, der für den Verlauf des Licht-Wellenleiters gilt, d.h. die Auslenkung darf nicht stärker sein als die maximal zulässige Krümmung des Licht-Wellenleiters, um die ordnungsgemäße Lichtleitung im Licht-Wellenleiter sicherzustellen.

Es können auch ausgehend vom Startpunkt, etwa vom Sender-Bauelement, mehrere Wellenleiter-Abschnitte erzeugt werden, von denen schließlich der optimale Wellenleiter-Abschnitt für den endgültigen Licht-Wellenleiter verwendet wird. Dabei kann beispielsweise derart vorgegangen werden, dass vorab mehrere kurze Wellenleiter-Abschnitte eine kurze Strecke eingeschrieben werden, wobei anhand des gemessenen elektrischen Signals, entsprechend dem Photostrom, der am besten geeignete Wellenleiter-Abschnitt ermittelt wird, und von diesem Wellenleiter-Abschnitt ausgehend wird dann der restliche Wellenleiter bis zum anderen optoelektronischen Bauelement durchgeschrieben. Diese Vorgangsweise eignet sich insbesondere für gerade Licht-Wellenleiter, bei denen schon nach den ersten Millimetern durch eine Fokussierung des eingekoppelten Lichts das Licht auf das gegenüberliegende Empfänger-Bauelement gestrahlt wird.

Andererseits können aber auch nach Strukturierung eines vorläufigen Licht-Wellenleiters weitere Wellenleiter-Abschnitte von dem einen Bauelement, beispielsweise dem Sender-Bauelement, in Richtung zum anderen Bauelement, insbesondere zum Empfänger-Bauelement, strukturiert werden, und zwar derart, dass sie in den vorläufigen Licht-Wellenleiter einmünden. In diesem Fall werden Wellenleiter-Abschnitte mit nicht so günstigen Startkoordinaten keine oder nur eine geringe Erhöhung des Photostroms bewirken, jene Wellenleiter-Abschnitte mit optimalen Startkoordinaten, also etwa direkt an der Lichtaustrittsstelle des Sender-Bauelements, werden eine Erhöhung des Photostroms bewirken.

Bei einer ähnlichen Vorgangsweise wird der Licht-Wellenleiter ausgehend von einem der optoelektronischen Bauelemente, etwa dem Sender-Bauelement, bis zum zugehörigen anderen Bauelement, z.B. zum Empfänger-Bauelement strukturiert, wonach der Verlauf des Wellenleiters in einer Rückwärts-Strukturierung zum einen Bauelement, also beispielsweise zum Sender-Bauelement, hin auf der Basis der Erfassung des Photostroms wie erwähnt optimiert wird.

Es ist auch von Vorteil, wenn vorab zumindest ein Sondierungs-Wellenleiter von einem der Bauelemente zum anderen auf der Basis des erfassten Photostroms strukturiert wird, wonach der endgültige Wellenleiter unter Überschreiben des Sondierungs-Wellenleiters strukturiert wird. Dabei kann der endgültige Wellenleiter mit einem größeren Querschnitt als der Sondierungs-Wellenleiter strukturiert werden. Auch ist es günstig, wenn der Sondierungs-Wellenleiter mit einer geringeren Photonenstrahl-Leistung als der endgültige Wellenleiter strukturiert wird.

Mit besonderem Vorteil kann die vorliegende aktive Strukturierung bei Vorliegen von optoelektronischen Sender- und Empfänger-Arrays als Bauelemente eingesetzt werden, wobei ein diesen Arrays zugehöriges Wellenleiter-Array mit einzelnen Wellenleiter-Kanälen strukturiert wird; bei der Erzeugung dieser Wellenleiter-Kanäle wird der jeweilige Kanal-Verlauf entsprechend einem maximalen Photostrom am zugehörigen Empfänger und einem minimalen Strom, d.h. entsprechend einem minimalen Übersprechen, an anderen Empfängern festgelegt.

Mit der vorliegenden Technik können nicht nur einfache Licht-Wellenleiter, mit geradem oder gekrümmten Verlauf etc., sondern auch sich verzweigende Wellenleiter strukturiert werden, wobei es in vorteilhafter Weise möglich ist, die Wellenleiter-Arme gemäß einem vorgegebenen Photostromverhältnis, z.B. mit gleich großen Photostromanteilen, zu strukturieren.

Im Rahmen der Erfindung mit der aktiven Wellenleiter-Strukturierung ist es auch mit Vorteil möglich, die optoelektronischen Bauelemente nicht direkt, sondern über andere Komponenten zu verbinden, nämlich insbesondere über passive Komponenten, wie Umlenkspiegel, und es ist

demgemäß auch vorteilhaft, wenn zumindest zwei gesonderte Wellenleiter zur Herstellung einer optischen Verbindung über zumindest eine passive Komponente, z.B. einen Umlenkspiegel, strukturiert werden. Auch in diesem Fall kann die vorstehend erläuterte aktive Strukturierung zu einer optimalen Wellenleiter-Verbindung führen, und dies trifft weiters auch zu, wenn gemäß  
5 einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform gesonderte Wellenleiter zu einer Licht- Ein- bzw. Auskopplungsposition an der Oberfläche des optischen schichtförmigen Materials führt, wobei eines der optoelektronischen Bauelemente außerhalb des optischen schichtförmigen Materials angeordnet ist. Bei dieser Ausführungsform ist somit zumindest eines der optoelektronischen Bauelemente außerhalb der Schicht des optischen photopolymerisierbaren Materials angeordnet,  
10 denkbar ist es aber auch, beide Bauelemente außerhalb vorzusehen, wenn dies aus bestimmten Gründen zweckmäßig oder notwendig ist. Nichtsdestoweniger kann auch in diesen Fällen mit einem Ein- bzw. Auskopplungs-Wellenleiter und dem im optischen Material eingebetteten Umlenkspiegel der Vorteil der vorliegenden Strukturierung genützt werden.

15 Im weiteren kann dann beispielsweise auch mit Hilfe der vorliegenden aktiven Strukturierung an der Ein- bzw. Auskopplungs-Position oder etwas im Inneren der optischen Schicht eine Linse, insbesondere zu Fokussierungszwecken, mit Hilfe der vorliegenden Mehrphotonenabsorption (aktiv) strukturiert werden, wobei der gesonderte Wellenleiter mit dieser Linse gekoppelt wird. An sich ist es aber auch denkbar, eine Linse zum Einkoppeln oder Auskoppeln durch Lasera-  
20 blation oder durch einen Stempelprozess herzustellen, wie dies beispielsweise in AT 503 585 B1 beschrieben ist.

Die aktive Strukturierung kann überdies auch in einem solchen Fall zu einem optimalen Einschreiben von Spiegelementen in Verbindung mit der aktiven Wellenleiter-Strukturierung,  
25 etwa bei einer externen Photodiode, verwendet werden.

Es ist ferner auch möglich, einander kreuzende bzw. einander schneidende Wellenleiter, nämlich auch mit einer Durchdringung von zwei Wellenleitern zu, strukturieren; die einander durchdringenden Wellenleiter können dabei dieselbe z-Koordinate haben, d.h. auf derselben Höhe  
30 liegen, die Wellenleiter können jedoch auch in unterschiedlichen Höhen vorliegen und so einander beispielsweise nicht berühren. Eine derartige Anordnung kann insbesondere im Fall von Sender- und Empfänger-Arrays als optoelektronische Bauelemente vorgesehen werden. Ein Vorteil bei einander kreuzenden Wellenleitern in unterschiedlichen Höhen, liegt darin, dass eine gegenseitige Beeinflussung der Lichtsignale in den kreuzenden Wellenleiter vermieden wird.  
35 Einander kreuzende oder schneidende Wellenleiter ermöglichen eine große Designfreiheit.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung, die eine Photonenstrahleinheit, insbesondere Laser-einheit, mit Fokussiereinheit sowie Strahlführungsmittel zur Herbeiführung einer Relativbewegung zwischen der Fokusposition des Photonenstrahls und dem Leiterplattelement zumindest in der Strukturierungsrichtung und eine Steuereinheit zum Ansteuern der Strahlführungsmittel enthält, um so die Fokusposition des Photonenstrahls relativ zur optischen Schicht des Leiterplattelements zu steuern, wird zweckmäßig vorgesehen, dass die Steuereinheit mit  
40 einer zum Erfassen des im Betrieb zwischen dem optoelektronischen Sender-Bauelement und dem optoelektronischen Empfänger-Bauelement erzeugten Photostroms am Empfänger-Bauelement vorgesehenen Messeinheit verbunden ist und Auswertmittel aufweist, die abhängig vom von der Messeinheit erfassten Photostrom die optimale Fokusposition des Photonenstrahls relativ zum optischen Material ermitteln und zugehörige Nachführsignale für die Strahlführungsmittel zur Verfügung stellen. Dabei liefern die Auswertmittel Koordinaten-Signale, um die Strahlführungs- oder -lenkmittel in an sich bekannter Weise derart anzusteuern, dass die Fo-  
45 kusposition des Photonenstrahls im optischen Material an der gewünschten Stelle vorliegt.  
50

Die Messeinheit kann dabei auch mehrere Eingänge haben, um mehrere Photoströme im Falle eines optoelektronischen Empfänger-Arrays messen zu können, und die Auswertmittel sind in diesem Fall mit Vorteil dazu eingerichtet, mehrere solche Photostrominformationen bei der  
55 Ermittlung der optimalen Fokusposition auszuwerten, wobei derart vorgegangen werden kann,

dass die Fokusposition so geregelt wird, dass der Photostrom am zum gerade eingeschriebenen Wellenleiter gehörigen Empfängererelement maximal ist, wogegen der Photostrom an den anderen Empfängererelementen des Empfänger-Arrays minimal wird.

- 5 Die Strahlführungsmittel können wie erwähnt eine zwei-achsige Antriebseinrichtung umfassen, beispielsweise mit Spindeltrieben und Schrittmotoren, um so nicht nur die Relativbewegung zwischen der Photonenstrahleinheit und dem Leiterplattenelement in der Strukturierungsrichtung, der x-Richtung, herbeizuführen, sondern auch eine mechanische Bewegung quer dazu, in der Ebene parallel zur Leiterplattenelement-Ebene, um so durch Auslenkungen in dieser Quer-  
10 richtung y - sowie weiters auch durch Auslenkungen in der Höhenrichtung, der z-Richtung, z.B. durch entsprechende Ansteuerung der Fokussiereinheit bzw. Optik der Photonenstrahleinheit - die jeweils günstigste Position für den Brennpunkt (Fokuspunkt) des Photonenstrahls herauszufinden.
- 15 Mit der vorliegenden Erfindung wird somit basierend auf den Vorteilen der TPA-Strukturierungsmethode eine aktive Änderung der Position des Fokuspunktes während des Einschreib- oder Strukturierungsvorgangs und damit eine aktive Strukturierung des Licht-Wellenleiters in der optischen Schicht des Leiterplattenelements realisiert. Es wird demgemäß ein „sich den optimalen Weg selbst suchender Licht-Wellenleiter“ generiert. Dadurch wird eine  
20 schnelle, effektive und auch auf die Gegebenheiten (Position der optoelektronischen Bauelemente, Position der aktiven Zonen der Bauelemente) optimierte Anbindung von Wellenleitern an integrierte optoelektronische Bauelemente ermöglicht.

25 Die vorliegende Technik kann daher mit besonderem Vorteil in optoelektronischen Leiterplatten mit Multimode- oder Singlemode-Wellenleitern für hohe Datentransferraten und große Designfreiheiten eingesetzt werden, und zwar für Rigid-Leiterplatten ebenso wie für Flex-Leiterplatten und für Rigid-Flex-Leiterplatten, wobei eine Produktion mit hohen Stückzahlen möglich ist. Es wird somit die Realisierung hochkomplexer Produktapplikationen, eine weitere Miniaturisierung der Leiterplatten, eine Erhöhung der Integrationsdichte von Produktfeatures und eine verbesserte Funktionalität der Leiterplatten auf einfache, kostengünstige Weise ermöglicht. Derartige  
30 Leiterplatten, mit gemäß der Erfindung strukturierten Licht-Wellenleitern, können dort mit besonderem Vorteil eingesetzt werden, wo Applikationen höchste Datenströme zwischen Bauelementen, Modulen oder Funktionseinheiten (Backplanes oder Multiprozessor-Boards) oder ein platzsparendes Design der Verbindungsstrecken (mobile Anwendungen) benötigen.

35 Die Erfindung wird nachstehend anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, auf die sie jedoch nicht beschränkt sein soll, und unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch weiter erläutert. Dabei zeigen in der Zeichnung im Einzelnen:

- 40 Fig. 1 in einem schematischen Querschnitt ein Leiterplattenelement mit zwei optoelektronischen Bauelementen und einem sich dazwischen erstreckenden Licht-Wellenleiter;  
Fig. 2 in einem vergleichbaren schematischen Schnitt ein Leiterplattenelement mit zwei optoelektronischen Bauelementen bei deren Vermessung vor Strukturierung des Licht-Wellenleiters;  
Fig. 3 in einem vergleichbaren Schnitt das der erfindungsgemäßen aktiven Strukturierung des  
45 Licht-Wellenleiters zu Grunde liegende Prinzip;  
Fig. 4 in einem vergleichbaren Schnitt eine Zwischenstufe bei der aktiven Strukturierung des Licht-Wellenleiters gemäß der Erfindung;  
Fig. 5 in einer Schnittdarstellung ähnlich Fig. 4 die aktive Strukturierung des Licht-Wellenleiters zwischen zwei optoelektronischen Bauelementen, wobei zusätzlich schematisch in einer Art  
50 Blockschaltbild ein Beispiel für Herbeiführung einer Relativbewegung zwischen Leiterplattenelement und Photonenstrahl, nämlich für die Ansteuerung der Photonenstrahleinheit und die Regelung der Fokusposition im optischen Material des Leiterplattenelements, veranschaulicht ist;  
Fig. 6 in einem vergleichbaren Schnitt eine Vorgangsweise mit einer Anbringung von kurzen  
55 Wellenleiter-Abschnitten zwecks Wellenleiter-Optimierung;

Die Fig. 7, 8 und 9 drei weitere mögliche Vorgangsweisen bei der Optimierung der Licht-Wellenleiter im Zuge der Strukturierung aufgrund der Online-Messung des Photostroms;

Fig. 10 eine Vorgangsweise bei Vorliegen von Laserdioden- und Photodioden-Arrays als optoelektronische Bauelemente, beispielsweise in einem horizontalen Querschnitt, gemäß einer Ebene parallel zur Ebene des Leiterplattenelements, wobei in Entsprechung zu Fig. 5 elektronische Einheiten, zusätzlich veranschaulicht sind;

Fig. 11 in einer der Fig. 10 vergleichbaren Schnittdarstellung die aktive Strukturierung eines sich verzweigenden Licht-Wellenleiters als Beispiel für erfindungsgemäß herstellbare komplexe Wellenleiterdesigns;

Fig. 12 in einer der Fig. 10 und 11 vergleichbaren Schnittdarstellung die aktive Strukturierung von zwei Wellenleitern zur Herstellung einer optischen Verbindung zwischen zwei optoelektronischen Bauelementen über eine passive Komponente in Form eines Umlenkspiegels;

die Fig. 13 und 14 in schematischen Querschnittsdarstellungen ähnlich Fig. 1 bis 9 Ausführungsformen für die Herstellung einer optischen Verbindung zwischen einem eingebetteten ersten optoelektronischen Bauelement und einem außerhalb der optischen Schicht aus photopolymerisierbarem Material angeordneten zweiten optoelektronischen Bauelement über einen in der optischen Schicht eingebetteten Umlenkspiegel, wobei gemäß Fig. 13 das Empfänger-Bauelement außerhalb der optischen Schicht angeordnet ist und gemäß Fig. 14, das Sender-Bauelement von außerhalb der optischen Schicht Licht, insbesondere Laserlicht, in die optische Schicht hineinstrahlt, um über einen Umlenkspiegel der eingebetteten Photodiode als Empfänger-Bauelement optische Signale zuzuführen;

die Figuren 15A und 15B Teil-Querschnitte durch Anordnungen im Bereich des Auskoppeln des optischen Signalstrahls über einen Umlenkspiegel und einem gesonderten zweiten Wellenleiter, wobei an der Auskoppelstelle zur Fokussierung Linsen durch Mehrphotonenabsorption (Fig. 15A) und/oder z.B. durch Laserablation oder durch einen Stempelprozess (Fig. 15B) hergestellt sind.

Fig. 16 in einem schematischen Schnitt ähnlich Fig. 10 einer Anordnung mit einander kreuzenden Wellenleitern.

In Fig. 1 ist schematisch und nicht maßstäblich in einem Querschnitt ein Leiterplattenelement 1 gezeigt, bei dem auf einem Leiterplattensubstrat 2 optische Bauelemente 3, 4, u. zw. einerseits ein Sender-Bauelement 3 und andererseits ein Empfänger-Bauelement 4, beispielsweise über Kupferkontaktflächen 5 bzw. 6, angebracht sind. Die optoelektronischen Bauelemente 3, 4, beispielsweise eine Laserdiode 3 und eine Photodiode 4 (wenn nachstehend der Einfachheit halber auf derartige konkrete Bauelemente Bezug genommen wird, ist dies selbstverständlich nicht einschränkend zu verstehen, und es kann beispielsweise anstatt einer Photodiode 4 auch ein Phototransistor vorgesehen sein usw.; auch können im Leiterplattenelement 1 mehr als bloß zwei Bauelemente 3, 4, wie in Fig. 1 gezeigt, enthalten sein) sind in einem optischen, schichtförmigen, photopolymerisierbaren Material, nachstehend kurz optische Schicht 7 genannt, eingebettet, und in dieser optischen Schicht 7 ist zwischen den beiden optoelektronischen Bauelementen 3, 4 ein Licht-Wellenleiter 8 aufgrund einer Mehrphotonen-Absorptionsmethode strukturiert. Hinsichtlich dieser Zwei- oder Mehrphotonen-Absorptions-Strukturierungsmethode sowie der Materialien für die optische Schicht 7 kann der Einfachheit halber beispielsweise auf die AT 413 891 B1 verwiesen werden.

In Fig. 1 sind weiters die aktive Fläche 9 der Laserdiode 3 sowie die aktive Fläche 10 der Photodiode 4 veranschaulicht, und der Licht-Wellenleiter 8 erstreckt sich zwischen diesen aktiven Flächen 9, 10 der beiden Bauelemente 3, 4 in einer möglichst mittigen Anbindung, wie sie durch die vorliegende Technik der „aktiven“ Strukturierung erzielt werden kann.

Hierfür werden beispielsweise die auf dem Leiterplattensubstrat 2 über die Kupferkontaktflächen 5, 6 angebrachten Bauelemente 3, 4 nach der auf ihre Anbringung folgende Einbettung in der optischen Schicht 7 optisch vermessen; zu diesem Zweck kann ein optisches Beobachtungs- bzw. Messsystem, in der Fachsprache Vision-System 11 genannt, verwendet werden, wie ganz schematisch in Fig. 2 gezeigt ist, um die x- und y-Koordinaten sowie eine etwaige

Verdrehung und Verkipfung der Bauelemente 3, 4 auszumessen; weiters kann beispielsweise mit Hilfe eines Laserstrahls 12 nach der Reflektionsmethode die Höhe der Bauelemente 3, 4 also die z-Koordinate der Bauelemente 3, 4, gemessen werden. Auf diese Weise können die Position und die Tiefe der aktiven Flächen 9, 10 ermittelt werden, vgl. auch die Höhendifferenzen  $Z_1$  und  $Z_2$ -betreffend die aktiven Flächen 9, 10 der Laserdiode 3 bzw. der Photodiode 4 zur Oberfläche 13 des Leiterplattenelements 1 in Fig. 2.

Alternativ dazu können auch zur Ermittlung der z-Koordinaten 9, 10 die z-Koordinaten der Kupferkontaktflächen 5 bzw. 6 nach oben, zur Oberfläche 13 der optischen Schicht 7 hin, vermessen werden.

Aufgrund der gemessenen Daten (x-, y- und z-Koordinaten) betreffend die Bauelemente 3, 4 bzw. deren aktive Flächen 9, 10 werden Positionen 9' bzw. 10' als Startposition bzw. Endposition des Licht-Wellenleiters (8 in Fig. 1) berechnet. Wie dabei aus Fig. 2 ersichtlich ist, sind die so berechnete Startposition 9' an der aktiven Fläche 9 der Laserdiode 3 und der Endposition 10' des Wellenleiters 8 an der aktiven Fläche 10 der Photodiode 4 nicht unbedingt exakt in der optimalen Mittenposition bezüglich der aktiven Flächen 9, 10 vorgesehen, was aber bei der vorliegenden aktiven Wellenleiter-Strukturierung durch die während der Strukturierung erfolgende Online-Vermessung und Überprüfung ausgeglichen werden kann.

Wie aus Fig. 3 ersichtlich ist, wird zwecks Strukturierung des Licht-Wellenleiters 8 (Fig. 1) die Laserdiode 3 oder allgemein das optoelektronische Sender-Bauelement elektrisch angesteuert, so dass Licht 14 emittiert wird, wie in Fig. 3 mit mehreren Strahlen schematisch angedeutet ist. Auf der Licht-Empfängerseite wird über einen Anschluss, z.B. die Kupferkontaktfläche 6 der Photodiode 4, ständig der Photostrom der Photodiode 4 detektiert, der aufgrund der Lichtemission der Laserdiode 3 erzeugt wird. Aufgrund des anfänglichen Fehlens eines Licht-Wellenleiters wird jedoch im Normalfall zu Beginn nur ein sehr geringer Photostrom, wenn überhaupt, messbar sein, u. zw. vor allem wegen der Divergenz des Lichtstrahls der Laserdiode 3 und wegen der nicht idealen Ausrichtung der Bauelemente 3, 4 relativ zueinander.

Gemäß Fig. 4 wird auf Basis der aufgrund der Vermessung berechneten Koordinaten des Startpunkts 9' des Licht-Wellenleiters 8 von dort weg der Licht-Wellenleiter 8 mit Hilfe eines Laserstrahls oder allgemein Photonenstrahls 15 gemäß der bekannten TPA-Strukturierungsmethode allgemein in Richtung x, in Richtung zum berechneten Endpunkt 10' des Wellenleiters hin, eingeschrieben. Um das Maximum des Photostroms an der Photodiode 4 zu erfassen, wird der Wellenleiter 8 beim Einschreiben ständig geringfügig in y-Richtung (also quer zur Zeichenebene in Fig. 4) und in z-Richtung (d.h. in Höhenrichtung, senkrecht zur Ebene des Leiterplattenelements 1) abgelenkt. Diese Ablenkung allgemein quer zur x-Richtung erfolgt jedoch unter Berücksichtigung des minimalen Wellenleiter-Bending-Radius, um nicht unnötig Licht im fertiggestellten Wellenleiter 8 zu verlieren. Auf diese Weise wird die jeweils optimale Fokusposition 16 für die Strukturierung des Licht-Wellenleiters 8 gefunden, nämlich jeweils jene Position, die beim gezeigten Beispiel, mit einem im Wesentlichen geradlinigen Wellenleiter 8 zwischen den Bauelementen 3, 4, den maximalen Photostrom an der Photodiode 4 ergibt.

Die berechneten Koordinaten für den Wellenleiter-Startpunkt 9' - an der Laserdiode 3 - und den Endpunkt 10' - an der Photodiode 4 - sind wie bereits vorstehend angedeutet in der Realität nicht unbedingt die optimalen Positionen für die Realisierung der besten Lichtleiterverbindung. Abweichungen von den optimalen Punkten sind beispielsweise auf Ungenauigkeiten bedingt durch die Vermessungsmethode, aber auch auf die Strukturierungsmethode, ferner auf nicht immer genau bestimmte Parameter des optischen Materials (z.B. Brechungsindex) der optischen Schicht 7, die in die Berechnung der Koordinaten mit einfließen, sowie auf durch die Aufbringung des Materials bedingte Unregelmäßigkeiten der optischen Schicht 7 zurückzuführen. Die theoretisch „optimalen“ Positionen für den Startpunkt und den Endpunkt des Licht-Wellenleiters, an die sich der konkrete Wellenleiter 8 annähern sollte, um eine optimale optische Verbindung zwischen den Bauelementen 3, 4 zu erzielen, sind in Fig. 4 bei 17 (Startposition

des Wellenleiters an der Laserdiode 3) bzw. 18 (Endposition des Wellenleiters an der Photodiode 4) angeben.

5 Bevor nun anhand der Fig. 6 bis 11 verschiedene Möglichkeiten zur Erzielung der optimalen Start- und Endpunkte und des optimalen Verlaufs des Licht-Wellenleiters 8 erläutert werden, soll noch das Prinzip der Nachführung der Fokusposition 16 für den optimalen Verlauf des Licht-Wellenleiters 8 anhand des Schemas gemäß Fig. 5 näher erläutert werden.

10 Wie bereits erwähnt wird bei der vorliegenden aktiven Strukturierung die Laserdiode 3 aktiviert, so dass sie Licht emittiert, wie anhand der Fig. 1 und 2 erläutert wurde. Dieses Licht wird zumindest zum Teil über die aktive Fläche 10 der Photodiode 4 empfangen, und das dem Photostrom entsprechende elektrische Signal wird mittels einer Messeinheit 20 erfasst, die beispielsweise mit der Kontaktfläche 6 der Photodiode 4 verbunden ist. An die Messeinheit 20 ist sodann eine Steuereinheit 21 angeschlossen, die Auswertmittel 22 zur Ermittlung von Koordinaten x, y und z für die optimale Fokusposition 16 des Laserstrahls 15 enthält. Der Laserstrahl wird von einer Lasereinheit 23 mit einer Optik- bzw. Fokussiereinheit 24 emittiert, wobei in der Steuereinheit 21 über den Ausgang 25 ein Optik-Steuersignal F an die Optikeinheit 24 abgegeben wird, um so die optimale z-Position des Fokuspunktes 16 zu erhalten. Über einen Steuerausgang 26 steuert die Steuereinheit 21 mit zwei Signalen, den x- und y-Signalen, eine Antriebseinheit 27 für die Lasereinheit 23 oder allgemein Photonenstrahleinheit 23 an, wobei die Antriebseinheit 27 im gezeigten Beispiel die Lasereinheit 23 auf an sich bekannte Weise, beispielsweise über Linearmotoren bzw. Schrittmotoren und Spindelmuttern bzw. Spindeln (in Fig. 5 nicht näher dargestellt) einerseits in Längsrichtung, d.h. x-Richtung, gemäß einer Führung 28, sowie andererseits quer dazu, jedoch in einer Ebene parallel zur Ebene des Leiterplat-  
25 tenelements 1, also in y-Richtung, bewegt. Dadurch wird über diese x/y-Steuerung im gezeigten Beispiel auch die optimale Position des Fokuspunktes 16 in der x/y-Ebene erhalten. Denkbar ist es aber auch, anstatt der Lasereinheit 23 das - auf einem nicht näher gezeigten Probentisch positionierte - Leiterplatenelement 1 in x-Richtung und in y-Richtung verstellbar vorzusehen, wogegen die Lasereinheit 23 stationär angebracht wird. Möglich ist es dabei auch, den Tisch mit dem Laserplatenelement 1 überdies in der z-Richtung zu verstellen, um so die Höhe, d.h. z-Koordinate, des Fokuspunktes 16 innerhalb der optischen Schicht 7 einstellen zu können.

35 Mittels der Optikeinheit 24 kann ferner auch eine Verstellung der Position des Fokuspunktes 16 in y-Richtung - zusätzlich zu jenem in z-Richtung - vorgesehen werden, um so schnelle, kurze Auslenkungen in der y-Richtung zusammen mit den kurzen, schnellen Auslenkungen in der z-Richtung im Zuge der beschriebenen aktiven Wellenleiter-Strukturierung vornehmen zu können. Die groben Einstellbewegungen, vor allem in x-Richtung und y-Richtung, können jedoch mit Hilfe der mechanischen Antriebseinheit für die Lasereinheit 23 oder aber für den Tisch samt Leiterplatenelement 1 vorgenommen werden.

40 Die Optikeinheit 24 und die Antriebseinheit 27 bilden gemeinsam (Strahl-)Führungs- bzw. Leitmittel 29, um den Photonen- bzw. Laserstrahl 15 entsprechend in x-, y- und z-Richtung zu steuern.

45 In Fig. 6 ist gezeigt, wie ein Wellenleiter 8 in die optische Schicht eingeschrieben wird, wobei anfangs jeweils nur kurze Abschnitte, z.B. 8', 8'', ausgehend von Startpunkten 9', 9'', eingeschrieben werden. Anhand des an der Photodiode 4 abgenommenen Photostrom-Signals (siehe Fig. 5) kann bei Detektion des maximalen Photostrom-Signals der optimale Wellenleiter-Startabschnitt (mit dem Startpunkt 17) ermittelt werden, und nur dieser wird dann zum kompletten Licht-Wellenleiter 8 bis zum richtigen Endpunkt 18 an der Photodiode 4 durchgeschrieben.  
50

Diese Technik eignet sich speziell für geradlinige Licht-Wellenleiter 8, bei denen sich schon nach den ersten Millimetern der Wellenleiter-Strukturierung durch eine Fokussierung des in diese Wellenleiter-Abschnitte eingekoppelten Lichts ein Richten des Lichts, das an der Laserdiode 3 emittiert wird, auf das gegenüberliegende Detektor-Bauelement 4 (Photodiode) ergibt.  
55

Wie in Fig. 6 dabei zu ersehen ist, wurde der Wellenleiterabschnitt mit dem optimalen Startpunkt 17 (vgl. auch oben Fig. 4) bis zur Photodiode 4 strukturiert, die von den weniger gut geeigneten Startpunkten 9' bzw. 9'' ausgehenden Abschnitte 8' bzw. 8'' wurden jedoch nicht weitergeführt.

Ersichtlich ist weiters aus Fig. 6, dass der Licht-Wellenleiter 8 nicht unbedingt einen exakt geraden Verlauf haben muss, sondern - beispielsweise um Störstellen im optischen Material der Schicht 7 auszuweichen - auch gegebenenfalls Biegungen folgen kann, wie dies von Fig. 6 etwa bei 30 veranschaulicht ist.

Auch bei der Vorgangsweise gemäß Fig. 7 sind benachbart der Laserdiode 3 verschiedene Wellenleiter-Abschnitte, z.B. 8a, 8b, ersichtlich, um mit deren Hilfe den optimalen Wellenleiter 8 herauszufinden. Konkret werden bei dieser Ausführungsform diese - weiteren - Wellenleiter-Abschnitte 8a, 8b erst nach der - vorläufigen - Strukturierung eines Licht-Wellenleiters 8 von der Laserdiode 3 ausgehend in Richtung zur Photodiode 4 strukturiert, wobei sie einen derartigen Verlauf erhalten, dass sie in den vorläufig strukturierten Wellenleiter 8 einmünden. Jene Wellenleiter-Abschnitte 8a, 8b, die relativ schlechte Startpunkte 9', 9'' haben, die somit zu einem niedrigen Photostrom an der Photodiode 4 führen, werden keine Erhöhung des Photostroms bewirken, optimale Startpunkte, wie der Startpunkt 17 (vgl. auch Fig. 4), bewirken hingegen eine Erhöhung des Photostroms an der Photodiode 4. In diesem Ausführungsbeispiel können die zusätzlichen Wellenleiter-Abschnitte 8a, 8b belassen werden und in die endgültige optische Verbindung mit eingebunden werden, auch wenn sie keinen wesentlichen Beitrag zur Lichtübertragung liefern.

Eine andere Variante zur Herausfindung des optimalen Verlaufs der optischen Verbindung ist in Fig. 8 veranschaulicht. Bei der hier beschriebenen Vorgangsweise wird zunächst, wie vorstehend anhand von Fig. 4 und 5 erläutert, ein Licht-Wellenleiter 8 von der berechneten Startposition 9' auf der Seite der Laserdiode 3 gestartet und bis zum optimalen Endpunkt 18 an der Photodiode 4 strukturiert. Dieser Wellenleiter 8 ist jedoch nur für das Photodioden-Interface optimiert. Um auch das Laserdioden-Interface zu optimieren, wird nun ein weiterer Wellenleiterzweig 31 beispielsweise ungefähr von der Mitte des Wellenleiters 8 weg zurück zur Laserdiode 3, zum optimalen Startpunkt 17 hin, strukturiert. Der Wellenleiter-Abschnitt 31 für die Optimierung der optischen Verbindung kann auch an einer Stelle näher zur Laserdiode 3 gestartet werden, nämlich an einer Stelle, ab der keine großen Änderungen im Photostrom mehr zu erwarten sind, wenn in Richtung zur Photodiode 4 hin fortgeschritten wird. Insgesamt ergibt sich dann eine endgültige optimale Licht-Wellenleiter-Struktur 8 vom Startpunkt 17, mit einem parallelen Abschnitt vom Startpunkt 9', und der Vereinigung der Anfangs-Abschnitte des Wellenleiters bis hin zum optimalen Endpunkt 18 an der Photodiode 4 bzw. an dessen aktiver Fläche 10.

Diese Vorgangsweise eignet sich mit besonderem Vorteil für gekrümmte Wellenleiter 8, also bei Wellenleiterausbildungen, die dann vorgesehen werden, wenn die beiden optoelektronischen Bauelemente 3, 4 nicht unmittelbar einander gegenüber vorgesehen sind, sondern in Querrichtung (y-Richtung und/oder z-Richtung) relativ zueinander versetzt, verdreht oder verkippt sind.

In Fig. 9 ist eine Technik gezeigt, bei der als erstes ein Sondierungs-Wellenleiter 31, 32 zwischen der Laserdiode 3 und der Photodiode 4, zwischen den Startpunkten 17 bzw. 9' und dem Endpunkt 18, eingeschrieben wird, wonach auf Basis dieses Sondierungs-Wellenleiters der endgültige Licht-Wellenleiter 8 strukturiert wird, wobei der Sondierungs-Wellenleiter 31, 32 teilweise überschrieben wird.

Wie aus einem Vergleich der Fig. 9 mit Fig. 8 ersichtlich ist, kann der Sondierungs-Wellenleiter gemäß Fig. 9 beispielsweise entsprechend dem vorstehend anhand der Fig. 8 erläuterten Prinzip strukturiert werden; demgemäß ist von den beiden Abschnitten 31, 32, der Abschnitt 32 als ursprünglicher Teil des Sondierungs-Wellenleiters beim Einschreiben in x-Richtung, d.h. zur Photodiode 4 hin, strukturiert worden, und der Abschnitt 31 ist im Zuge einer Rückwärts-

Strukturierung zur Laserdiode 3 hin, zum optimalen Startpunkt 17, eingeschrieben worden. Für diesen Rückwärts-Abschnitt war daher zweckmäßig die selbe Bezugszahl wie in Fig. 8, also 31, zu verwenden.

- 5 Der Sondierungs-Wellenleiter 31, 32 kann mit einem gegenüber dem endgültigen Licht-Wellenleiter 8 verringerten Durchmesser, z.B. mit einem Durchmesser von  $20\mu\text{m}$  bis  $40\mu\text{m}$ , eingeschrieben werden, wogegen der endgültige Wellenleiter 8 einen endgültigen Durchmesser von beispielsweise  $30\mu\text{m}$  bis  $60\mu\text{m}$  aufweisen kann.
- 10 Eine weitere vorteilhafte Möglichkeit besteht weiters darin, den Sondierungs-Wellenleiter 31, 32 mit einer vergleichsweise geringen Laserleistung zu strukturieren, wobei dann kein maximaler Brechungsindex-Hub generiert wird. Der optimale, endgültige Licht-Wellenleiter 8 wird schließlich mit der maximalen Laserstrahlleistung eingeschrieben, um so den maximalen Unterschied zwischen den Brechungsindizes des Wellenleiters 8 einerseits und des optischen Materials
- 15 der Schicht 7 andererseits, für eine optimale Totalreflexion an der Grenzfläche Wellenleiter 8/ umgebendes optisches Material der Schicht 7 zu erhalten. Auch in diesem Fall kann der Sondierungs-Wellenleiter 31, 32 einen geringeren Wellenleiter-Querschnitt als der endgültige Wellenleiter 8 aufweisen, es ist dies jedoch nicht notwendig.
- 20 In Fig. 10 ist schematisch, beispielsweise in einem Schnitt parallel zur Ebene des Leiterplattenelements, also zur x/y-Ebene, durch die optische Schicht 7, eine Anordnung mit in einem Array 40 angeordneten Wellenleitern 8.1, 8.2, 8.3, 8.4 zwischen optischen Bauelementen 3, 4 vorgesehen, wobei letztere durch ein Laserdioden-Array 41 bzw. ein Photodioden-Array 42, jeweils mit mehreren aktiven Flächen 9.1, 9.2, 9.3, 9.4 bzw. 10.1, 10.2, 10.3, 10.4, gebildet sind. Zwischen diesen Arrays 41, 42 erstreckt sich das Wellenleiter-Array 40, wobei beispielsweise wie
- 25 aus Fig. 10 ersichtlich ein teilweise bogenförmiger Verlauf der einzelnen Kanäle 8.1 bis 8.4 vorgesehen ist, etwa, weil die Diodenarrays 41, 42 relativ zueinander in y-Richtung versetzt sind.
- 30 In Analogie zum Schaltungsschema gemäß Fig. 5 ist auch in Fig. 10 die Messeinheit 20 gezeigt, die nun jedoch entsprechend der Anzahl der Empfangselemente (aktive Flächen 10.1 bis 10.4 des Photodioden-Arrays) entsprechend viele Messeingänge 20.i (mit  $i =$  beispielsweise 1, 2, 3, 4) aufweist. Die Steuereinheit 21 ist wiederum mit dem Ausgang der Messeinheit 20 verbunden, u. zw. entweder über ein Mehrfachleitungssystem oder aber über einen Bus, um die
- 35 entsprechenden Photostrom-Signale der Messeinheit 20 für alle Elemente des Photodiodenarrays 42 zugeführt zu erhalten. Hierbei kann auf an sich herkömmliche Techniken, wie Zeitmultiplex oder auch Frequenzmultiplex, abgesehen von den bereits erwähnten Räummultiplex, zufolge der mehreren Leitungsadern, zurückgegriffen werden.
- 40 Im Auswertmittel 22 der Steuereinheit 21 werden die empfangenen Signale wieder ausgewertet, um an Ausgängen 25 bzw. 26 beispielsweise Ansteuerungssignale F bzw. x, y für die Optikeinheit (24 in Fig. 5) bzw. Antriebseinheit (27 in Fig. 5) der Lasereinheit (23 in Fig. 5) zur Verfügung zu stellen, um beispielsweise wiederum in dieser Form die Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Probe (Leiterplattenelement 1) zu erzielen. (Selbstverständlich kann auch eine andere
- 45 der vorstehend angesprochenen Formen der Relativbewegung herbeigeführt werden.) Die Auswertung der Photostrom-Signale kann dabei zur Optimierung des komplexen Wellenleiter-Designs, mit dem Wellenleiter-Array 40, gemäß Fig. 10 derart erfolgen, dass einerseits der Photostrom einer bestimmten optischen Verbindung, beispielsweise von der aktiven Fläche 9.1 zur zugehörigen aktiven Fläche 10.1, maximiert wird, andererseits Störungen oder Übersprechen auf andere Kanäle minimiert werden, d.h. wenn beispielsweise das Laserdiodenelement 9.1 aktiv ist, soll der Photostrom an den Diodenelementen 10.2, 10.3 und 10.4 des Photodioden-Arrays 42 minimal sein.
- 50 Ein anderes Beispiel für ein komplexes Wellenleiter-Design ist in Fig. 11 in einer Schnittdarstellung ähnlich jener von Fig. 10 gezeigt. Im Einzelnen ist hier veranschaulicht, wie sich ein Wel-

lenleiter 8 in zwei Arme 8A, 8B verzweigt (ein so genannter „Splitter“ oder Y-Wellenleiter), wobei die beiden Arme 8A, 8B zu gesonderten Photodioden 4A, 4B hin eingeschrieben sind. Den beiden Photodioden 4A, 4B steht eine einzelne Laserdiode 3 gegenüber. Bei herkömmlichen Techniken ist es praktisch nie möglich, ein genaues Photostrom-Verhältnis, etwa 1:1, über die Wellenleiter-Arme 8A, 8B an den Photodioden 4A, 4B zu erhalten. Mit der vorliegenden aktiven Strukturierung oder Online-Vermessung können die beiden gesplitteten Wellenleiter-Arme 8A, 8B jedoch so optimiert werden, dass an den beiden Empfänger-Bauelementen 4A, 4B der gleiche Photostrom erhalten wird.

In Fig. 12 ist ein Ausführungsbeispiel veranschaulicht, bei dem eine optische Verbindung zwischen einem Sender-Bauelement (Laserdiode 3) und einem Empfänger-Bauelement (Empfangsdiode bzw. Photodiode 4) über eine passive Komponente in Form eines Umlenkspiegels 33 mit einer reflektierenden Fläche 34 hergestellt wird. Es werden also die Laserdiode 3 und die Photodiode 4 nicht direkt miteinander verbunden, wie bei den vorhergehenden Beispielen, sondern über einen Umweg, unter Zwischenschaltung des Umlenkspiegels 34. Auch in diesem Fall kann der Wellenleiter-Weg von der Laserdiode 3 zur Photodiode 4 auf die beschriebene Weise optimiert werden, wobei ein erster gesonderter Wellenleiter 8 von der Laserdiode 3 zum Umlenkspiegel 33 und ein zweiter gesonderter Wellenleiter 35 vom Umlenkspiegel 33 zur Photodiode 4 aktiv strukturiert wird.

Die vorliegende aktive Strukturierung, d.h. Umwandlung des optischen photopolymerisierbaren Materials der Schicht 7 durch Mehrphotonenabsorption, kann auch zur Herstellung der Spiegelfläche 34 verwendet werden.

Gemäß Fig. 13 kann eines der optoelektronischen Bauelemente, z.B. die Photodiode 4, auch außerhalb der optischen Schicht 7 vorgesehen sein, wobei dann ein zumindest in seiner Ausrichtung modifizierter Umlenkspiegel 33' den Lichtstrahl zur Oberseite der optischen Schicht 7 hin reflektiert. Demgemäß ist der zweite gesonderte Wellenleiter 35' in diesem Fall vertikal nach oben zur Oberfläche der optischen Schicht 7 zu richten, wo der Lichtstrahl ausgekoppelt wird und schließlich auf die in Abstand davon vorgesehenen Photodiode 4 auftrifft, an die im Übrigen ähnlich wie auch in Anordnung Fig. 12 wiederum eine Messeinheit 20 angeschlossen ist.

Anstatt den Wellenleiter 35' zu einer vordefinierten Auskopplungsposition zu lenken, ist es auch möglich, über diesen gesonderten Wellenleiter einen von einer außerhalb angeordneten Laserdiode 3 emittierten Laserstrahl einzukoppeln und über einen Umlenkspiegel 33' zur Photodiode 4 zu richten, wobei wiederum zwecks aktiver Strukturierung nach dem vorstehend ausführlich beschriebenen Prinzip Messmittel 20 mit der Photodiode 4 verbunden sind. Es sei hier noch erwähnt, dass es sich bei dem Sender-Bauelement 3 nicht nur um eine Laserdiode, sondern ganz allgemein um eine Lichtquelle - eine externe Lichtquelle - handeln kann, wobei beispielsweise auch eine einfache Messung der Intensität des Lichts im Betrieb des Leiterplattenelements 1 die Aufgabe sein kann.

Gemäß Fig. 15A und 15B können an der Auskoppelstelle 36, wo der zweite gesonderte Wellenleiter 35' an der Oberfläche der optischen Schicht 7 endet, auch Linsen 37 bzw. 38 zwecks Fokussierung eingebaut werden. Die Fokussierungs-Linse 37 gemäß Fig. 15A wird dabei beispielsweise ebenfalls durch Mehrphotonenabsorption, durch Photopolymerisation des Materials der optischen Schicht 7, hergestellt; die Linse 38 gemäß Fig. 15B kann andererseits durch Laserablation oder durch einen Stempelprozess hergestellt sein, wie dies an sich bekannt ist, vgl. AT 503 585 B.

In Fig. 16 ist weiters in einer Darstellung ähnlich jener von Fig. 10 eine Anordnung mit einem Sender-Array 41 und einem Empfänger-Array 42 sowie vier dazwischen strukturierten Wellenleitern 8.1 bis 8.4 gezeigt, wobei in Abwandlung der Ausführung gemäß Fig. 10 nunmehr eine Überkreuzungsstelle 39 schematisch veranschaulicht ist, an der der Wellenleiter 8.2 den Wellenleiter 8.1 über- (oder unter-) kreuzt; demgemäß führt der Wellenleiter 8.1 vom Sender-

element bzw. Startpunkt 9.1 zum Endpunkt 10.2, wogegen der Wellenleiter 8.2 vom Startpunkt 9.2 zum Endpunkt 10.1 führt. Mit Hilfe von derartigen Wellenleiter-Kreuzungen, die ebenfalls mit Hilfe der vorliegenden aktiven Strukturierung erzeugt werden können, können die verschiedensten Verbindungen zwischen den optoelektronischen Bauelementen erzeugt werden, so dass

5 eine große Designfreiheit erzielt wird. Denkbar ist es dabei weiters, dass die Wellenleiter, z.B. 8.1, 8.2, nicht nur einander in einem Abstand kreuzen, sondern dass diese Wellenleiter auch einander durchdringen können, also beispielsweise in der gleichen Höhe (auf der selben z-Koordinate) liegen können.

10 In der vorliegenden Zeichnung wurden die verschiedenen Wellenleiter der Einfachheit halber immer durch Linien dargestellt, auch wenn sie einen gewissen Querschnitt aufweisen und so eher als „röhrenartig“ anzusehen und darzustellen wären. Der besseren Übersichtlichkeit wurde jedoch die schematische Darstellung mit bloß einer einfachen Linie gewählt.

15 Wenn die Erfindung vorstehend anhand von besonderen, vorteilhaften Ausführungsbeispielen erläutert wurde, so sind doch selbstverständlich weitere Abwandlungen und Modifikationen im Rahmen der Erfindung möglich. So ist es in Abwandlung der Ausführungsform von Fig. 11 auch möglich, mehr als zwei gesonderte Photodioden 4A, 4B über gesplittete Wellenleiter-Arme 8A, 8B usw. mit einer gemeinsamen Laserdiode oder allgemein mit einem gemeinsamen Sender-

20 Bauelement 3 optisch zu koppeln. Selbstverständlich ist es dabei auch möglich, die Wellenleiter-Arme je nach Anordnung und Ausbildung der Photodioden bzw. der Empfänger-Bauelemente 4A, 4B usw., auch in unterschiedlichen z-Höhen (siehe Fig. 4) verlaufen zu lassen, und dies gilt selbstverständlich auch für die Ausführungsform gemäß Fig. 10. Weiters sollte klar sein, dass die Ausführungen in der Zeichnung nur sehr einfach und schematisch dargestellt

25 sind, und dass z.B. auch andere Bauelemente in den Leiterplattenelementen untergebracht sein können. Insbesondere können in einem Leiterplattenelement auch mehrere Sender- und Empfänger-Bauelemente, mit unterschiedlichen optischen Wellenleiter-Verbindungen, vorgesehen sein, und die Leiterplattenelemente können ferner selbstverständlich auch mit zusätzlichen elektronischen Bauelementen, abgesehen von den optoelektronischen Bauelementen, bestückt

30 sein. Ferner können die Leiterplattenelemente in Form von so genannten Multilayer-Leiterplatten mit optischen und/oder elektronischen Verbindungen in mehreren Ebenen übereinander vorliegen, wie dies an sich ebenfalls bekannt ist. Weiters ist es auch denkbar, die Wellenleiter 8 nicht nur bis direkt an die optoelektronischen Bauelemente heranzuführen, sondern auch, sie in Abständen vor deren aktiven Flächen 9, 10 enden zu lassen, z.B. nachdem

35 ein bestimmter Sollwert der Stärke des empfangenen Photostroms erreicht wurde.

## Patentansprüche:

- 40 1. Verfahren zum Erzeugen wenigstens eines Licht-Wellenleiters (8) in einem optischen, photopolymerisierbaren, schichtförmigen Material eines Leiterplattenelements (1) zur Herstellung einer optischen Verbindung zwischen wenigstens einem optoelektronischen Sender-Bauelement (3) und wenigstens einem optoelektronischen Empfänger-Bauelement (4), wobei ein Photonenstrahl (15), vorzugsweise Laserstrahl, auf die Stelle des zu erzeugenden Wellenleiters (8) gerichtet und fokussiert wird und der Wellenleiter durch Mehrphotonenabsorption im optischen Material strukturiert wird, *dadurch gekennzeichnet*, dass während der Strukturierung des Wellenleiters (8) ein Photostrom zwischen den optoelektronischen Bauelementen (3, 4) erzeugt wird, der am Empfänger-Bauelement (4) erfasst wird, und dass die Fokusposition (16) des Photonenstrahls (15) abhängig von der Amplitude des
- 45 Photostroms gesteuert wird.
- 50
2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Fokusposition (16) des Photonenstrahls (15) laufend mit kleinen Abweichungen quer zur Strukturierungsrichtung (x) geführt wird, um die vom Photostrom abhängige optimale Fokusposition (16) festzustellen.
- 55

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass mehrere Wellenleiter-Abschnitte (8', 8''; 8a, 8b) ausgehend von einem der optoelektronischen Bauelemente, insbesondere vom Sender-Bauelement (3), erzeugt werden.
- 5 4. Verfahren nach Anspruch 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass nach Erzeugung der Wellenleiter-Abschnitte (8', 8'') jener Wellenleiter-Abschnitt, der einen maximalen oder minimalen Photostrom ergibt, als Startabschnitt für den endgültigen Wellenleiter (8) gewählt wird.
- 10 5. Verfahren nach Anspruch 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass die mehreren Wellenleiter-Abschnitte (8a, 8b) nach Strukturierung eines durchgehenden Wellenleiters (8) ausgehend vom Sender-Bauelement (3) strukturiert werden, um den Verlauf des Wellenleiters (8) in seinem Startabschnitt im Hinblick auf den gewünschten Photostrom zu optimieren.
- 15 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Wellenleiter (8) ausgehend von einem der optoelektronischen Bauelemente, insbesondere vom Sender-Bauelement (3), bis zum zugehörigen anderen optoelektronischen Bauelement, insbesondere zum Empfänger-Bauelement (4), strukturiert wird, wonach der Verlauf (31) des Wellenleiters (8) in einer Rückwärts-Strukturierung, zum einen optoelektronischen Bauelement (3) hin, auf Basis der Erfassung des Photostroms optimiert wird.
- 20 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass vorab zumindest ein Sondierungs-Wellenleiter (31, 32) von einem der optoelektronischen Bauelemente (3) zum anderen (4) auf der Basis des erfassten Photostroms strukturiert wird, wonach der endgültige Wellenleiter (8) unter Überschreiben des Sondierungs-Wellenleiters (31, 32) strukturiert wird.
- 25 8. Verfahren nach Anspruch 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass der endgültige Wellenleiter (8) mit einem größeren Querschnitt als der Sondierungs-Wellenleiter (31, 32) strukturiert wird.
- 30 9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Sondierungs-Wellenleiter (31, 32) mit einer geringeren Photonenstrahl-Leistung als der endgültige Wellenleiter (8) strukturiert wird.
- 35 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass bei Vorliegen von optoelektronischen Bauelementen in Form von Sender- und Empfängerarrays (41, 42) ein diesen Arrays zugehöriges Wellenleiterarray (40) mit einzelnen Wellenleiter-Kanälen (8.1-8.4) strukturiert wird, bei deren Erzeugung der jeweilige Verlauf entsprechend einem maximalen Photostrom am zugehörigen Empfänger und einem minimalen Strom entsprechend einem minimalen Überschreiken zwischen dem Wellenleiter an den anderen Empfängern gesteuert wird.
- 40 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine Verzweigungs-Wellenleiteranordnung, mit einem sich in mehrere Arme (8A, 8B) aufteilenden Wellenleiter (8), strukturiert wird, wobei die Wellenleiter-Arme (8A, 8B) gemäß einem vorgegebenen Photostrom-Verhältnis, z.B. mit gleich großen Photostrom-Anteilen, strukturiert werden.
- 45 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, *dadurch gekennzeichnet*, dass zumindest zwei gesonderte Wellenleiter (8, 35; 35') zur Herstellung einer optischen Verbindung über zumindest eine passive Komponente, vorzugsweise einen Umlenkspiegel (33; 33'), strukturiert werden.
- 50 13. Verfahren nach Anspruch 12, *dadurch gekennzeichnet*, dass zumindest einer der gesonderten Wellenleiter (35') zu einer Licht- Ein- bzw. Auskopplungsposition (36) an der Oberfläche des optischen schichtförmigen Materials führt, wobei eines der optoelektronischen
- 55

Bauelemente (4 bzw. 3) außerhalb des optischen schichtförmigen Materials (7) angeordnet ist.

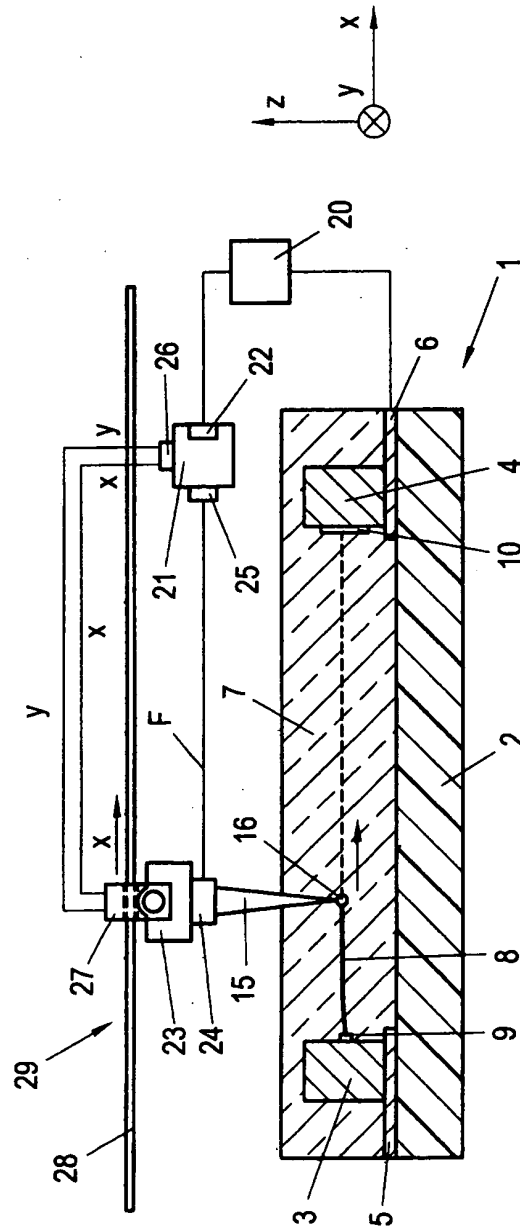
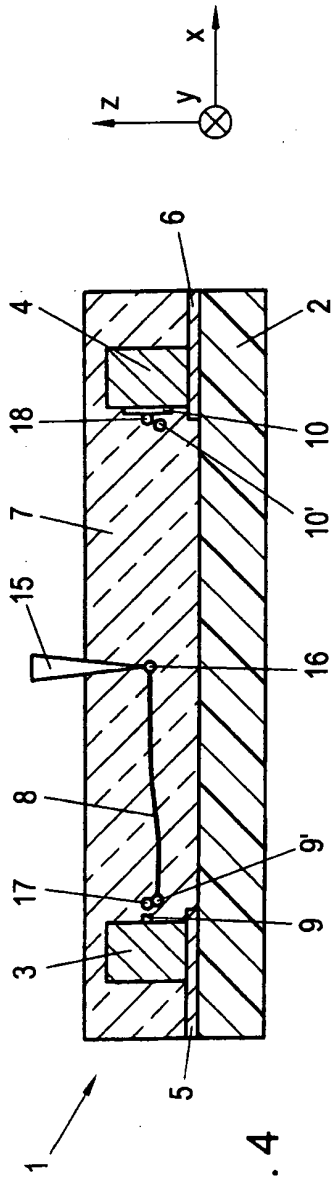
- 5 14. Verfahren nach Anspruch 13, *dadurch gekennzeichnet*, dass der eine gesonderte Wellenleiter (35') mit einer Linse (37, 38) gekoppelt wird, die vorzugsweise ebenfalls durch Mehrphotonenabsorption strukturiert wird.
- 10 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Umlenkspiegel (35; 35') durch Mehrphotonenabsorption strukturiert wird.
- 15 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, *dadurch gekennzeichnet*, dass zumindest zwei einander schneidende Wellenleiter durch Mehrphotonenabsorption strukturiert werden.
- 20 17. Vorrichtung zum Erzeugen wenigstens eines Licht-Wellenleiters (8) in einem optischen, photopolymerisierbaren, schichtförmigen Material eines Leiterplattenelements (1) zur Herstellung einer optischen Verbindung zwischen wenigstens einem optoelektronischen Sender-Bauelement (3) und wenigstens einem optoelektronischen Empfänger-Bauelement (4), mit einer Photonenstrahleinheit (23), enthaltend eine Fokussier- bzw. Optikeinheit (24), zum Abgeben und Fokussieren eines Photonenstrahls (15) im optischen Material, mit Führungsmitteln (29) zur Herbeiführung einer Relativbewegung zwischen der Fokusposition (16) des Photonenstrahls (15) und dem Leiterplattenelement (1), und mit einer Steuereinheit (21) zum Ansteuern der Führungsmittel (29) zwecks Führung der Fokusposition (16) des Photonenstrahls (15) relativ zur optischen Schicht (7), *dadurch gekennzeichnet*, dass die Steuereinheit (21) mit einer zum Erfassen des im Betrieb zwischen dem optoelektronischen Sender-Bauelement (3) und dem optoelektronischen Empfänger-Bauelement (4) erzeugten Photostroms am Empfänger-Bauelement (4) vorgesehenen Messeinheit (20) verbunden ist und Auswertmittel (22) aufweist, die abhängig vom von der Messeinheit (20) erfassten Photostrom die optimale Fokusposition (16) des Photonenstrahls (15) relativ zum optischen Material (7) ermitteln und zugehörige Nachführsignale für die Strahlführungsmittel (29) zur Verfügung stellen.
- 30 18. Vorrichtung nach Anspruch 17, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Photonenstrahleinheit (23) durch eine Lasereinheit gebildet ist.
- 35 19. Vorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Messeinheit (20) mehrere Eingänge (20.i.), zum Messen mehrerer Photoströme an einem optoelektronischen Empfänger-Array (42), aufweist und die Auswertmittel (22) zum Auswerten mehrerer Photostrom-Informationen bei der Ermittlung der optimalen Fokusposition eingerichtet sind.
- 40 20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 19, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Führungsmittel (29) eine Antriebseinrichtung (27) zum Herbeiführen einer Relativbewegung zwischen der Photonenstrahleinheit (23) und dem Leiterplattenelement (1) in zwei zueinander rechtwinkligen Richtungen (x, y) in einer zum Leiterplattenelement (1) parallelen Ebene (x/y) sowie die Fokussier- bzw. Optikeinheit (24) umfassen, die zum Verstellen der Fokusposition zumindest in einer zum Leiterplattenelement (1) senkrechten Richtung eingerichtet ist.

50

**Hiezu 6 Blatt Zeichnungen**

55





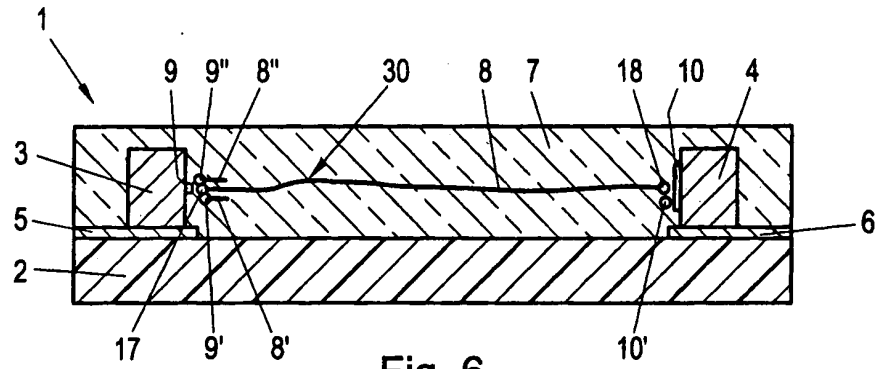


Fig. 6

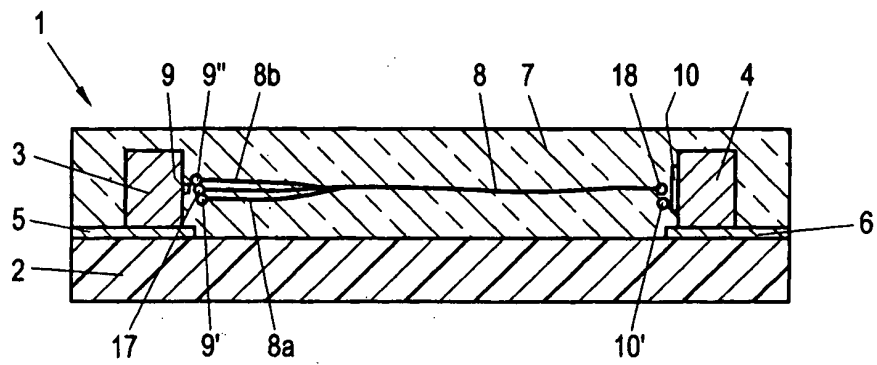


Fig. 7

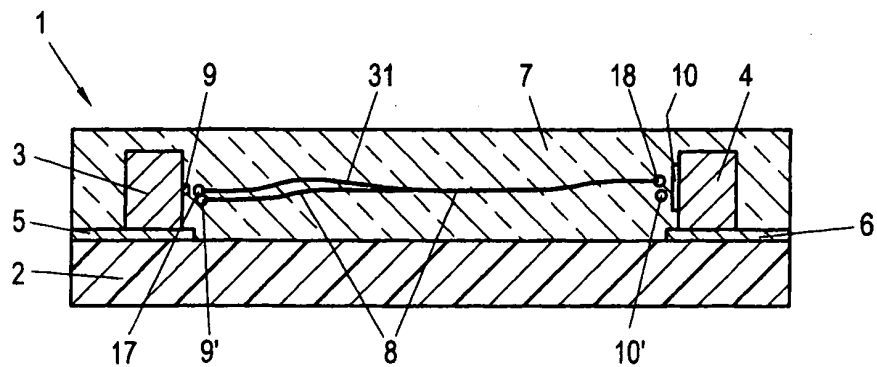


Fig. 8

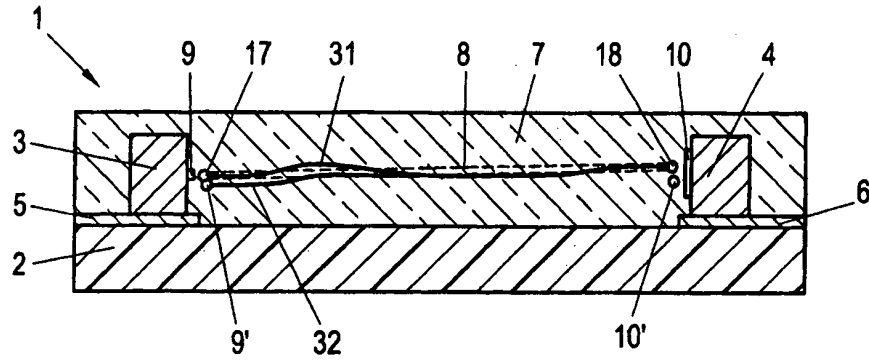


Fig. 9

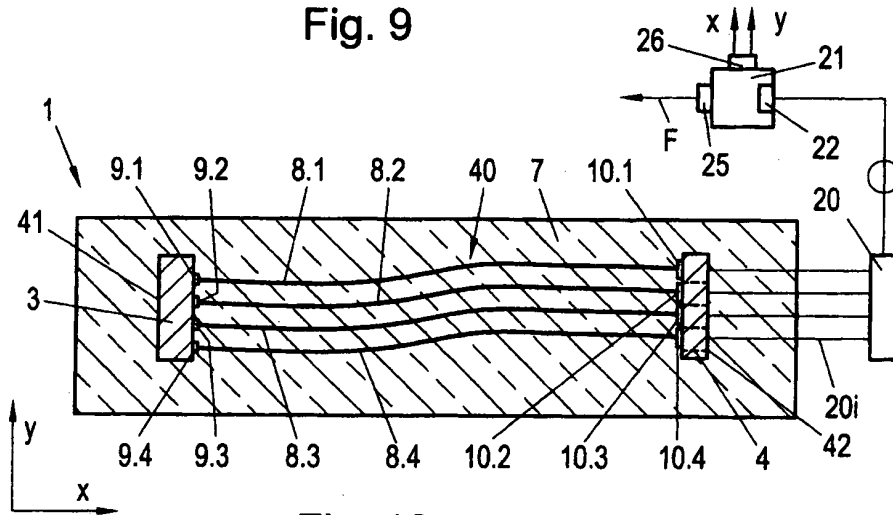


Fig. 10

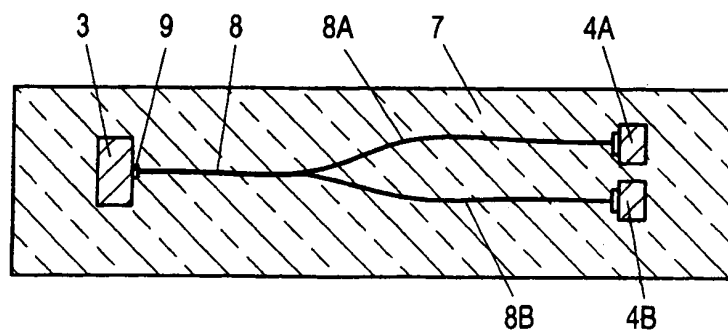


Fig. 11

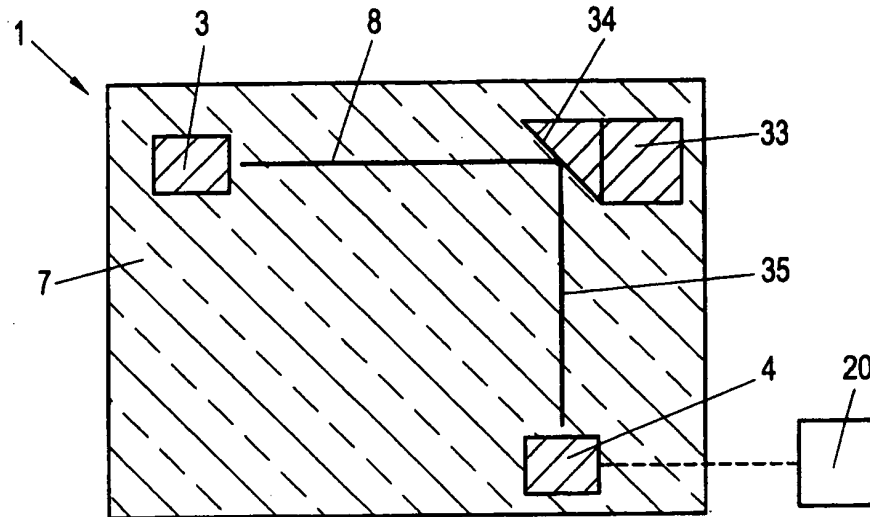


Fig. 12

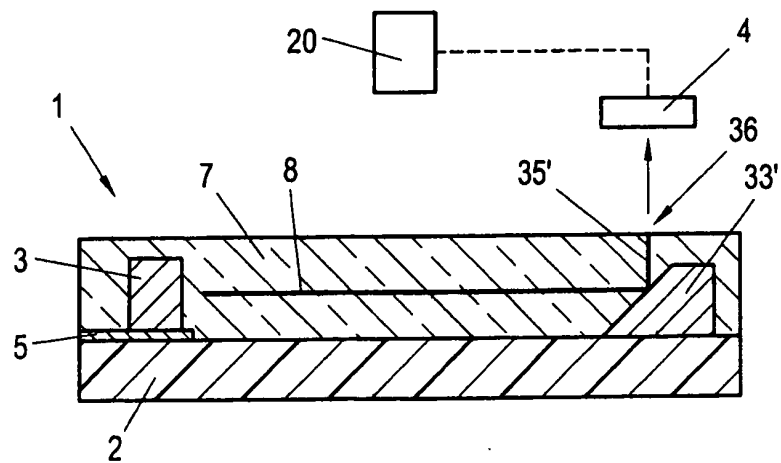


Fig. 13

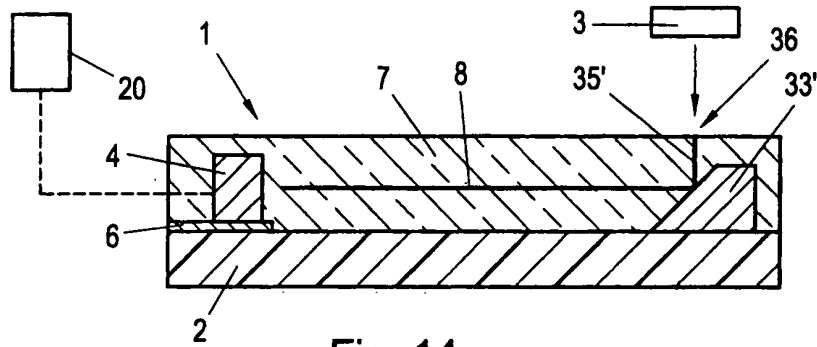


Fig. 14

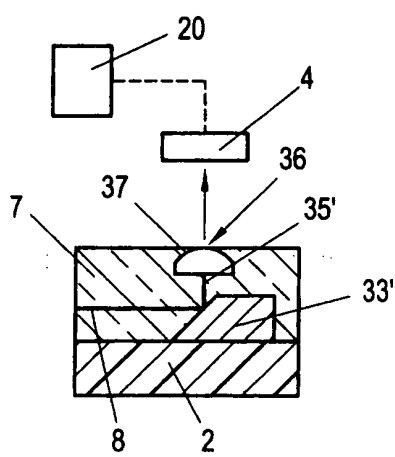


Fig. 15A

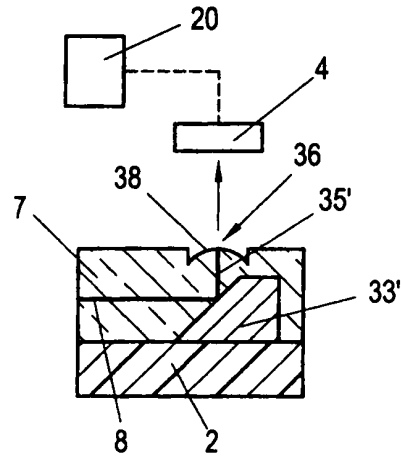


Fig. 15B

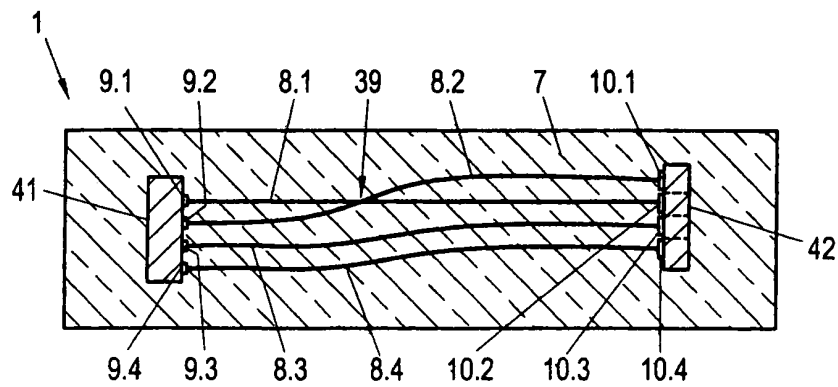


Fig. 16