



(10) **DE 10 2018 108 114 B3** 2019.06.27

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 108 114.6**  
(22) Anmeldetag: **05.04.2018**  
(43) Offenlegungstag: –  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **27.06.2019**

(51) Int Cl.: **H01S 5/026 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Forschungsverbund Berlin e.V., 12489 Berlin, DE**

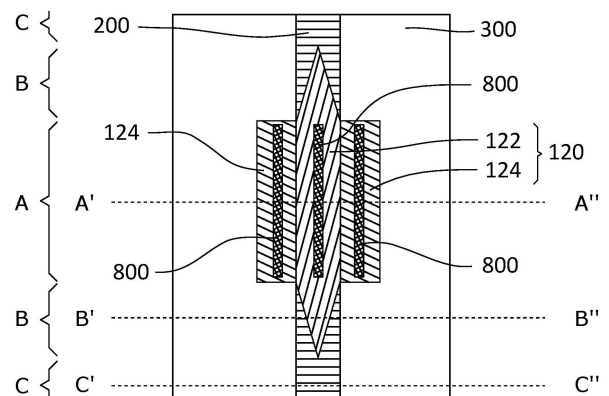
(72) Erfinder:  
**Thies, Andreas, Dr., 14167 Berlin, DE; Schlegel, Jan, 10117 Berlin, DE; Wicht, Andreas, Dr., 12459 Berlin, DE; Ramelow, Sven, 14552 Michendorf, DE**

(74) Vertreter:  
**Gulde & Partner Patent- und  
Rechtsanwaltskanzlei mbB, 10179 Berlin, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:  
**US 2017 / 0 077 677 A1**

(54) Bezeichnung: **Struktursystem zum Aufbau photonischer integrierter Schaltkreise und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Struktursystem zum Aufbau photonischer integrierter Schaltkreise (PICs) und ein Verfahren zu deren Herstellung. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung ein zur effizienten Kopplung einer Lichtquelle an einem Wellenleiter ausgebildetes Festkörperstruktursystem zum Aufbau von PICs. Ein erfindungsgemäßes Struktursystem bestehend aus einem optisch aktiven Bereich (A), einem Übergangsbereich (B) und einem Wellenleiterbereich (C), strukturiert auf einem Schichtsystem, wobei das Schichtsystem umfasst: ein Trägersubstrat (500); eine Pufferschicht (300), wobei die Pufferschicht (300) auf dem Trägersubstrat (500) angeordnet ist; eine Wellenleiterschicht (200), wobei die Wellenleiterschicht (200) auf der Pufferschicht (300) aufliegend angeordnet ist; und einen optisch aktiven Schichtstapel (120), wobei der aktive Schichtstapel (120) auf der Wellenleiterschicht (200) aufliegend angeordnet ist; wobei die Pufferschicht (300) mit dem Trägersubstrat (500) über eine zwischenliegende Verbindungsschicht (400) fest verbunden ist. Ein erfindungsgemäßes Verfahren kann zur Herstellung eines entsprechenden Struktursystems genutzt werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Struktursystem zum Aufbau photonischer integrierter Schaltkreise (PICs) und ein Verfahren zu dessen Herstellung. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung ein zur effizienten Kopplung einer Lichtquelle an einen Wellenleiter ausgebildetes Festkörperstruktursystem zum Aufbau von PICs.

### Stand der Technik

**[0002]** Die Fähigkeit, komplexe gekoppelte Systeme von Lichtquellen mit Wellenleitern mit Methoden der Halbleitertechnik bauen zu können, ist von erheblicher technologischer Bedeutung für zahlreiche Anwendungen. Das Licht, das von einer Quelle erzeugt wird, muss möglichst effizient in einen Wellenleiter eingekoppelt werden können, z.B. für Anwendungen in der Telekommunikationstechnik (Laserlicht in Glasfaserkabel). Aber auch zur Massenproduktion z.B. von schmalbandigen ECDL (external cavity diode laser), bei der ein Mikroresonanzsystem zur spektralen Einengung eingesetzt wird, ist eine solche Technologie von entscheidender Bedeutung. Zurzeit werden Lichtquellen und mikrooptische Komponenten separat aufgebaut und dann in einem Hybridansatz zu einem gemeinsamen System integriert. Dies erfordert einen erheblichen Aufwand bei der Herstellung, da die einzelnen Komponenten in der Montage exakt zueinander ausgerichtet und fixiert werden müssen. Solche hybriden Systeme sind wegen des hohen Aufwandes bei der Integration sehr teuer und auch nicht in großer Stückzahl produzierbar. Zudem ist bei komplexen Systemen die Gewährleistung der nötigen Langzeitstabilität sowie einer wirtschaftlichen Produktionsausbeute sehr schwierig.

**[0003]** In der Siliziummikroelektronik ist deshalb schon vor Jahrzehnten der Weg der Hochintegration gewählt worden, der es prinzipiell ermöglicht, komplexe Systeme mit Millionen von Komponenten, z.B. Speicherbausteine oder Prozessoren, fehlerfrei herzustellen. Dieses Niveau der Integration ist in der Optoelektronik außerhalb der InP-Technologie (Wellenlängenbereich zwischen 1250 nm bis 1600 nm) bisher nicht erreicht worden. Sollen jedoch komplexe Systeme bestehend aus Lichtquellen und Wellenleitern in großer Stückzahl in guter Ausbeute zu marktgängigen Preisen für den Wellenlängenbereich von 630 nm bis 1180 nm hergestellt werden, werden die in der Siliziumhalbleitertechnik erarbeiteten Prinzipien auf die III/V-Halbleitermaterialien übertragen werden müssen. Nur so werden sich Systeme erzeugen lassen, die klein, leicht und preiswert sind und damit auch im portablen Einsatz verwendbar sein werden.

**[0004]** Eine massenproduktionstaugliche Herstellung von miniaturisierten gekoppelten Wellenleiter-

Lichtquellen-Systemen ist eine komplexe Herausforderung. Sie besteht darin, eine Lichtquelle möglichst verlustfrei an einen Wellenleiter zu koppeln, der die gekoppelte Strahlung anschließend ebenfalls möglichst verlustfrei leiten und gegebenenfalls auch wieder möglichst verlustfrei zielgerichtet abgeben kann.

**[0005]** III/V-Halbleiter (z.B. GaAs oder InP und ihre Derivate) zeigen einen direkten Bandübergang und sind damit im Allgemeinen zur Lichterzeugung hervorragend geeignet. Ein Verfahren zur Bereitstellung von GaN-basierten Laserdioden kann beispielsweise der US 2017/0077677 A1 entnommen werden. Allerdings sind ihre Verbindungen zur Ausformung von Wellenleitern hingegen nicht geeignet, da diese in dem häufig interessanten Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1500 nm zumeist eine starke Absorption aufweisen.

**[0006]** Silizium hat keinen direkten Bandübergang und ist somit ungeeignet für die Lichterzeugung. Siliziumoxide und Nitride zeigen jedoch keine oder nur sehr geringe Absorption in dem häufig interessanten Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1500 nm und lassen sich mit den Methoden der Siliziumhalbleitertechnologie prozesstechnisch sehr preiswert bearbeiten.

**[0007]** Für die Bereitstellung von PICs, insbesondere bestehend aus miteinander gekoppelten Laser- und Wellenleiterstrukturen, ist daher eine heterogene Materialbasis auf Grundlage von III/V-Halbleitern für die Laser und einer Siliziumbasierten Wellenleitertechnologie besonders vorteilhaft. Zur potentiell massenproduktionstauglichen Herstellung von gekoppelten Wellenleiter-Lichtquellen-Systemen als Kombination von Siliziumhalbleitertechnologie und III/V-Halbleitertechnologie werden in der Literatur verschiedene Ansätze genannt.

**[0008]** Rogers et al (Appl. Phys. Lett. 84: 5398 (2004); doi: 10.1063/1.1767591) verfolgen einen Ansatz, den sie Mikrotransferdruck nennen. Dabei werden auf einem III/V-Substrat Objekte auf einer Ablöseschicht („Release Layer“) hergestellt. Die Ablöseschicht stellt eine prozesstechnisch stabile Verbindung zwischen dem III/V-Substrat und dem Objekt dar. Nach Abschluss der Strukturierung des Objekts wird dann eine Haftschrift aufgebracht, die stabil genug ist, nach dem selektivem Ablösen der Ablöseschicht die Objekte solange zu fixieren, bis sie durch einen Transferbondprozess auf einen weiteren Wafer übertragen worden sind. Bei oder nach diesem Bondprozess wird die Haftschrift zerstört und entfernt.

**[0009]** Mit diesem Ansatz gelingt es, prozessierte III/V-Komponenten auf einen SOI-Siliziumwafer (silicon-on-insulator) zu übertragen. Gezeigt wird dies z.B. in Dhoore et. al (Opt. Exp. 24(12): pp. 12976-12990 (2016); doi: 10.1364/OE.24.012976). Bei die-

sem Ansatz wird eine Bondschicht aus Benzocyclobuten (BCB) zwischen dem Siliziumwafer und dem III/V-Substrat zu einem Teil des optischen Systems. Die Ausrichtgenauigkeit des Transferprozesses liegt dabei in der Größenordnung von 1  $\mu\text{m}$ . Dieser Ansatz ist für Wellenlängen um 1500 nm gut geeignet. In den beschriebenen Anwendungen erfolgt die Übertragung einer Welle aus der Lichtquelle abschnittsweise durch die Bondschicht in den Wellenleiter. Die Bondschicht darf damit bei der verwendeten Wellenlänge nicht absorbieren. Dünne Bondschichten, erforderlich bei Einsatz kürzerer Wellenlängen, sind eine technologische Herausforderung, da die Anforderungen an die Planarität der Bondpartner ansteigen.

**[0010]** Hjort (J. Cryst. Growth 268(3-4): pp. 346-358 (2004); doi: 10.1016/j.jcrysgro.2004.04.053) beschrieb schon 2004 ein Integrationsschemata für III/V-Halbleiter mit Silizium. Auch dabei werden einerseits BCB-basierte Bondprozesse bei Temperaturen um 250°C eingesetzt, andererseits wird zum Verbinden der Wafer das Fusionsbonds vorgeschlagen oder verwendet. Geschildert wird der Bau von Photodioden, pin-Dioden oder auch QW-Lasern (quantum well laser) in den Materialsystemen InP oder GaAs, die auf einen Siliziumwafer gebondet werden. Da aus Gründen der Kostenreduktion wiederum ganze Wafer miteinander verbunden werden, kommt es jedoch zu makroskopischen Verspannungen innerhalb des Verbundsystems, die eine Weiterprozessierung und Vereinzelung erschweren. Auch bei diesen Ansätzen wird die Bondfuge zu einem Teil des optischen Systems, welche daher beim Systemdesign stets mit berücksichtigt werden muss.

**[0011]** Diese grundlegenden Ideen wurden z.B. von Stankovic et al. (Electrochem. Solid-State Lett. 14(8): H326-H329 (2011); doi: 10.1149/1.3592267) zur Herstellung von mit BCB gebondeten InP-Lichtquellen auf SOI-Wafern verwendet. Dabei ist auch hier das BCB der Bondfuge Bestandteil des optischen Systems. Die Wellenleitung wird in Silizium, das sich auf einer Oxidschicht befindet, übernommen (SOI-Wafer).

**[0012]** Wang et al. (J. Electrochem. Soc. 159(5): A579-A583 (2012); doi: 10.1149/2.071205jes) bonden InP-Substrate mittels Siliziumnitrid bei einer Temperatur von 200°C und einem Druck von 0.3 MPa während einer Zeitspanne von 10 Stunden auf Silizium. Auch hierbei ist die Bondfuge Bestandteil des optischen Systems, das somit auch hier empfindlich gegen Bondprozessschwankungen wird.

**[0013]** Neben BCB-basierten Bondprozessen und dem Fusionbonds ist in den letzten Jahren das Metallbonds entwickelt worden. Bei diesem Bondverfahren wird die Verbindung zwischen zwei Substraten durch eine Metallschicht, die zuvor auf beide Werk-

stücke aufgebracht worden ist, hergestellt. Mit dieser Technik gelang Peytavit (Appl. Phys. Lett. 95: 161102 (2009); doi: 10.1063/1.3251071) die Herstellung eines vertikalen integrierten Photomixers, bei dem ein 2 Zoll GaAs-Wafer auf einen 2 Zoll Si-Wafer gebondet wurde.

**[0014]** Auch für das eigentliche Koppeln zwischen Lichtquelle und Wellenleiter werden verschiedene Methoden vorgeschlagen. Gröblacher et al. (Appl. Phys. Lett. 103, 181104 (2013); doi: 10.1063/1.4826924) koppeln einen Siliziumwellenleiter an einen Siliziumoxidwellenleiter, indem sie die Breite des Siliziumwellenleiters so weit reduzieren, dass sein effektiver Brechungsindex unter den Brechungsindex des Siliziumoxidwellenleiters sinkt. So gelingt auf einer Strecke von einigen 10  $\mu\text{m}$  ein verlustfreies Überkoppeln der Wellen aus dem stark gedämpften Silizium in das wenig dämpfende Siliziumoxid.

**[0015]** Studenkov et al. (IEEE Photon. Tech. Lett. 11(9): pp. 1096 - 1098 (1999); doi: 10.1109/68.784167) übertragen eine in einem aktiven InP-Substrat erzeugte Lichtwelle wiederum durch laterale Breitenreduktion in einen Wellenleiter aus InGaAsP. Diese Strukturen sind dabei durch epitaktisches Lagenwachstum mit anschließender lateraler Strukturierung mittels Lithografie und Ätzen hergestellt worden. Dabei ist der Wellenleiter materialbedingt gedämpft und somit aufgrund der Dämpfung zur Ausführung längerer Übertragungstrecken nicht geeignet.

**[0016]** Duan et al. (IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron. 20(4): 61002013 (2014); doi: 10.1109/JSTQE.2013.2296752) prozessieren integrierte InP/SOI-Laser und Transmitter über einen Integrationsprozess für III/V-Materialien auf Silizium, wobei das III/V-Substrat mittels BCB auf Silizium gebondet wird.

**[0017]** In all diesen Ansätzen ist die Bondfuge jedoch Bestandteil des optischen Systems. Zudem bedingt die geringe Wärmeleitfähigkeit von Polymeren eine verminderte Wärmeabfuhr aus dem lichterzeugenden System über die Bondfuge.

**[0018]** Struk & Pustelny (Bull. Pol. Acad. Sci. Tech. Sei. 58(4): pp. 509-512 (2010); doi: 10.2478/v10175-010-0050-2) schlagen vor, Wellenleiter und Lichtquelle mittels eines prozesstechnisch komplex zu erzeugenden Oberflächengitters, das in das Material der Lichtquelle geätzt wird und dann mit dem wellenleitendem Material überzogen wird, zu koppeln.

**[0019]** Die geschilderten Verfahren erfordern typischerweise eine Kombination von Lichtquelle und Wellenleiter mit Ausrichtgenauigkeiten besser als 0, 25  $\mu\text{m}$ , die mit dem üblichen Verfahren des Mikrotransferdrucks nicht erzielt werden können und voraussichtlich auch zukünftig nicht massenproduktions-tauglich erreichbar sind. Die transferierten Strukturen

sind filigran und mechanisch empfindlich, eine hohe Ausbeute des Transferprozesses in der Praxis ist somit eine deutliche Herausforderung. Die von Rogers et al (Appl. Phys. Lett. 84: 5398 (2004); doi: 10.1063/1.1767591) vorgeschlagenen Strukturen sind zudem so dimensioniert, dass sie für den Einsatz bei 1200 nm bis 1550 nm an der Grenze der Prozessierbarkeit liegen, ohne die Abmessungen im interessierenden Wellenlängenbereich von 400 nm bis zu 1200 nm zu erreichen, die für zukünftig angestrebte PIC-Anwendungen nötig sind.

**[0020]** Alle von Hjort (J. Cryst. Growth 268(3-4): pp. 346-358 (2004); doi: 10.1016/j.jcrysgro.2004.04.053) beschriebenen und von späteren Autoren verwendeten Verfahren machen die Fuge des Transferprozesses (z.B. BCB-Bonden oder Fusionsbonden) zu einem integralen Bestandteil des optischen Systems. Das Gesamtsystem wird somit empfindlich gegen Wärmebelastung, die beispielsweise durch die Lichtquelle erzeugt werden kann, oder auch gegen hohe Lichtintensitäten (hohe elektrische Felder) durch eine Hochleistungslichtquelle. Imperfektionen im Bondprozess, z.B. durch Partikel oder durch geringfügige Prozessschwankungen, gestatten keine vorhersehbare Einstellung der späteren optischen Eigenschaften des Systems.

**[0021]** Damit sind alle diese Verfahren zwar geeignet für die Herstellung von einzelnen funktionsfähigen Demonstratoren, die durch optisches Vermessen aus einer größeren Stückzahl ausgewählt werden können, jedoch inhärent nicht massenproduktionstauglich. Bei der Verwendung der beschriebenen Ansätze tritt zudem das Problem auf, dass BCB Bestandteil der Bondfuge ist und somit in das Design des optischen Systems mit einbezogen werden muss. Bei abnehmender Wellenlänge (z.B. von 1500 nm zu 800 nm) muss zudem die Schichtdicke des BCB reduziert werden, was die Anforderungen an die Planarität der Wafer vor dem Bondprozess noch einmal erheblich steigert.

#### Offenbarung der Erfindung

**[0022]** Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Struktursystem zum Aufbau photonischer integrierter Schaltkreise (PICs) und ein Verfahren zu dessen Herstellung anzugeben, welche die beschriebenen Nachteile des Standes der Technik überwindet. Insbesondere sollen bei einem erfindungsgemäßen Struktursystem Verbesserungen im Hinblick auf die Präzision der Ausrichtung von lichterzeugendem System und Wellenleiter zueinander, die Wärmetransporteigenschaften des Systems, sowie die Anforderungen an die Planarität der Substrate und die Widerstandsfähigkeit gegenüber hohen elektrischen Feldern erreicht werden. Es soll ein möglichst verlustfreier Übergang aus einer Lichtquelle in einen verlustarmen Wellenleiter konstruiert wer-

den, bei dem die Lichtquelle aus einem geeigneten III/V-Material besteht und der Wellenleiter aus einem Material, welches bei den von der Lichtquelle emittierten Wellenlängen nur eine geringe Absorption besitzt. Wellenleiter und Lichtquelle sollen mit einer hohen Genauigkeit zueinander ausgerichtet werden können, um einen verlustarmen (d. h. reflexions-, streu- und absorptionsarmen) Übergang der Welle aus dem erzeugenden Material in das Wellenleitermaterial zu ermöglichen.

**[0023]** Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche 1 und 10 gelöst. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den jeweiligen Unteransprüchen enthalten.

**[0024]** Ein erfindungsgemäßes Struktursystem besteht in Ausbreitungsrichtung aus einem optisch aktiven Bereich, einem Übergangsbereich und einem Wellenleiterbereich, strukturiert auf einem vertikalen Schichtsystem. Dabei umfasst das Schichtsystem ein Trägersubstrat; eine Pufferschicht, wobei die Pufferschicht auf dem Trägersubstrat angeordnet ist; eine Wellenleiterschicht, wobei die Wellenleiterschicht auf der Pufferschicht aufliegend angeordnet ist; und einen optisch aktiven Schichtstapel, wobei der aktive Schichtstapel auf der Wellenleiterschicht aufliegend angeordnet ist; wobei die Pufferschicht mit dem Trägersubstrat über eine zwischenliegende Verbindungsschicht fest verbunden ist.

**[0025]** Unter einem Struktursystem wird im Rahmen dieser Beschreibung insbesondere die Kombination eines bestimmten halbleitertechnischen Materialsystems mit einem internen Schichtaufbau aus unterschiedlichen Materialien (Schichtsystem) in Kombination mit einer spezifischen Strukturierung dieses Schichtsystems zur Realisierung eines möglichst verlustfreien Übergangs aus einer Lichtquelle in einen verlustarmen Wellenleiter (funktionale Strukturierung) verstanden.

**[0026]** Ein erfindungsgemäßes Struktursystem weist in Ausbreitungsrichtung einen optisch aktiven Bereich, einen Übergangsbereich und einen Wellenleiterbereich auf. Dabei wird unter einem optisch aktiven Bereich insbesondere ein zur elektrischen Anregung und Emission von Laserstrahlung ausgebildeter Bereich des Schichtsystems (sog. Halbleiterlaser) verstanden. Im Wellenleiterbereich findet vorzugsweise eine Leitung der von der Lichtquelle im aktiven Bereich erzeugten Strahlung mit Hilfe eines Wellenleiters statt. Der Übergangsbereich ist schließlich dazu ausgebildet, einen möglichst adiabatischen Übergang zwischen einem Strahlungsfeld im aktiven Bereich und dem Wellenleiterbereich zu ermöglichen (Kopplungsbereich). Der Übergangsbereich soll insbesondere eine zumindest annähernd verlustfreie

Kopplung zwischen den beiden anderen Bereichen ermöglichen.

**[0027]** Ein zugrundeliegendes erfindungsgemäßes Schichtsystem weist ein Substrat als Trägerschicht auf. Darauf sind eine Pufferschicht (kann auch als Mantelschicht bezeichnet werden) und eine Wellenleiterschicht (kann als Kernschicht bezeichnet werden) angeordnet. Die Pufferschicht und die Wellenleiterschicht sind direkter Teil des optischen Systems (d.h. in unmittelbarer Wechselwirkung mit einer geführten Welle), daher sind diese Schichten erfindungsgemäß besonders transparent und streuungsarm für eine im aktiven Bereich erzeugte Strahlung auszulegen.

**[0028]** Die Pufferschicht kann analog zu Glasfasern auch als Mantelbereich bezeichnet werden. Die Wellenleiterschicht entspricht in dieser Analogie dem Kernbereich einer Glasfaser. Vorzugsweise weist daher der Wellenleiterbereich einen höheren makroskopischen Brechungsindex (für die von der Lichtquelle emittierten Nutzwellenlängen) als die Pufferschicht auf. Weiterhin ist besonders bevorzugt, dass der Pufferschicht eine Dicke aufweist, die eine ausreichende Trennung des in die Pufferschicht eindringenden evaneszenten Anteils des in der Wellenleiterschicht geführten elektromagnetischen Wellenfeldes von der Bondfuge gewährleistet. Die Schichtdicke hängt dabei insbesondere von der Dicke der Wellenleiterschicht, der Wellenlänge der geführten Strahlung sowie dem jeweiligen Brechungsindexkontrast zwischen den beiden Schichten ab. Bei Wellenlängen im Bereich zwischen 500 nm und 1500 nm beträgt die Dicke der Pufferschicht vorzugsweise mindestens 2 µm, bevorzugter mindestens 5 µm. Vorzugsweise ist besagte Dicke kleiner als 1000 µm. Die Wellenleiterschicht hat vorzugsweise eine Dicke von 500 nm bis 1500 nm, bevorzugter eine Dicke von 500 nm bis 1000 nm. Eine typische Dicke einer Wellenleiterschicht aus Siliziumnitrid richtet sich nach der zu führenden Wellenlänge und liegt in der Größenordnung dieser Wellenlänge; bei rotem Licht daher vorzugsweise um (800 ± 100) nm.

**[0029]** Oberhalb der Wellenleiterschicht ist ein optisch aktiver Schichtstapel angeordnet. Optisch aktiv bedeutet hierbei, dass innerhalb dieses Schichtstapels durch eine entsprechende elektrische Bestromung oder durch einen sonstigen Energieeintrag eine Lichterzeugung erfolgen kann. Hierbei kommt es jedoch nicht darauf an, ob in einem Teilabschnitt eine solche Lichterzeugung auch tatsächlich stattfindet. Jedoch kann insbesondere innerhalb des optisch aktiven Bereichs eines erfindungsgemäßen Struktursystems zumindest abschnittsweise eine Lichterzeugung erfolgen. Der aktive Schichtstapel kann jedoch beispielsweise auch außerhalb des aktiven Bereichs als passives Element, z.B. in einer strukturellen Ausgestaltung als reine Wellenleiterstruktur ohne Ver-

stärkungswirkung, vorliegen. Insbesondere kann im Übergangsbereich der optisch aktive Schichtstapel als reine Wellenleiterstruktur ausgeführt sein.

**[0030]** Eine Bestromung des aktiven Schichtstapels kann über auf den aktiven Schichtstapel lokal aufgebrauchte elektrische Kontakte (Kontaktflächen), vorzugsweise über eine metallisierte Kontaktstruktur, erfolgen. Durch eine entsprechende Strukturierung der einzelnen Kontakte kann der Stromfluss durch den optisch aktiven Bereich gesteuert werden. Der Energieeintrag in den aktiven Schichtstapel kann auch optisch erfolgen.

**[0031]** Erfindungsgemäß ist der aktive Schichtstapel auf der Wellenleiterschicht aufliegend angeordnet, wobei die Wellenleiterschicht über die Pufferschicht mit dem Trägersubstrat über eine zwischenliegende Verbindungsschicht fest verbunden ist. Die Verbindungsschicht hat dabei die Aufgabe, eine feste, mechanisch stabile, permanente Verbindung zwischen der Pufferschicht und dem Trägersubstrat zu ermöglichen, ohne Bestandteil des optischen Systems zu sein.

**[0032]** Vorzugsweise sind Trägersubstrat, Verbindungsschicht, Pufferschicht, Wellenleiterschicht und aktiver Schichtstapel unmittelbar übereinanderliegend, d.h. ohne zusätzliche Zwischenschichten, angeordnet. Hierdurch wird ein besonders einfacher und leicht zu fertigender Aufbau zur Realisierung eines erfindungsgemäßen Struktursystems ermöglicht.

**[0033]** Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass für eine massenproduktionstaugliche Herstellung von PICs eine Integration von Lichtquellen in III/V-Technologie mit Wellenleitern auf Basis von Siliziumverbindungen besonders vorteilhaft ist. Bei einem erfindungsgemäßen Struktursystem kann durch die Erzeugung unterschiedlicher Bereiche eine Integration mit hervorragenden Überkopplungseigenschaften zwischen Lichtquelle und Wellenleiter erreicht werden. Grundlage hierfür ist ein hybrider Kombinationsansatz für die unterschiedlichen Materialsysteme, insbesondere mittels eines Bondansatzes, wobei die erzeugte Bondfuge (im Bereich der Verbindungsschicht) im Gegensatz zum Stand der Technik außerhalb des optischen Systems, d.h. zwischen Pufferschicht und Trägersubstrat, angeordnet ist. Hierdurch können die im Stand der Technik bei solchen hybriden Kombinationsansätzen üblicherweise auftretenden Nachteile weitestgehend vermieden werden.

**[0034]** Vorzugsweise ist der aktive Bereich zur Erzeugung einer elektromagnetischen Welle innerhalb des optisch aktiven Schichtstapels ausgebildet, wobei der aktive Schichtstapel als erster Wellenleiter ausgebildet ist. Eine Erzeugung von elektromagnetischen Wellen findet daher innerhalb des ersten Wellenleiters im aktiven Bereich statt (sog. aktiver Wel-

lenleiter). Bei dem ersten Wellenleiter kann es sich bevorzugt um einen Rippenwellenleiter oder einen Streifenwellenleiter handeln.

**[0035]** Vorzugsweise umfasst der aktive Bereich einen zur Lichtemission eingerichteten Abschnitt, besonderes bevorzugt einen laseraktiven Abschnitt.

**[0036]** Vorzugsweise schließt sich der Übergangsbereich an den aktiven Bereich an, wobei die Wellenleiterschicht im Übergangsbereich als zweiter Wellenleiter ausgebildet ist, wobei der Übergangsbereich zur Kopplung einer elektromagnetischen Welle aus dem ersten Wellenleiter des aktiven Schichtstapels im aktiven Bereich in den darunterliegend angeordneten zweiten Wellenleiter der Wellenleiterschicht im Übergangsbereich ausgebildet ist. Der Anschluss der Bereiche kann vorzugsweise unmittelbar, d.h. direkt via Stoß- oder Freiluftkopplung (bzw. -verbindung), oder mittelbar, z.B. mittels eines passiven Wellenleiterstücks, insbesondere eines passiven Abschnitts des ersten Wellenleiters, erfolgen. Die genannten Anschlussformen dienen ausschließlich zur Beschreibung des Übergangs zwischen den einzelnen Bereichen und legen insbesondere keine bevorzugte Art der Herstellung dieses Übergangs fest. Ein Anschluss kann beispielsweise rein monolithisch über die Ausführung entsprechender Strukturierungsschritte beim Herstellungsprozess auf einem Substratwafer erfolgen.

**[0037]** Eine Kopplung zwischen dem ersten und zweiten Wellenleiter kann vorzugsweise evaneszent durch eine entsprechende übereinanderliegende Anordnung der beiden Wellenleiter erfolgen. Ebenfalls möglich ist eine Indexanpassung zwischen dem ersten und dem zweiten Wellenleiter im Grenzbereich zwischen beiden optischen Elementen. Bei dem zweiten Wellenleiter kann es sich bevorzugt um einen Streifenwellenleiter oder einen Rippenwellenleiter handeln.

**[0038]** Vorzugsweise verringert sich zur Kopplung einer elektromagnetischen Welle aus dem ersten Wellenleiter des aktiven Schichtstapels im aktiven Bereich in den darunter angeordneten zweiten Wellenleiter der Wellenleiterschicht im Übergangsbereich die Breite und/oder die Höhe des ersten Wellenleiters des aktiven Schichtstapels im Übergangsbereich mit zunehmendem Abstand vom aktiven Bereich. Das heißt, dass sich zur Kopplung einer elektromagnetischen Welle aus dem ersten Wellenleiter des aktiven Schichtstapels im aktiven Bereich in den darunter angeordneten zweiten Wellenleiter der Wellenleiterschicht im Übergangsbereich der Querschnitt nach Breite oder nach Höhe oder nach Höhe und Breite des ersten Wellenleiters des aktiven Schichtstapels im Übergangsbereich mit zunehmendem Abstand vom aktiven Bereich verringert. Vorzugsweise erfolgt diese Verringerung linear mit dem Abstand

vom aktiven Bereich. Ebenfalls bevorzugt ist eine quadratische, allgemein potenzielle oder exponentielle Verringerung des Querschnitts mit dem Abstand vom aktiven Bereich.

**[0039]** Durch die Verringerung des Querschnittes des ersten Wellenleiters wird die Modenausdehnung der geführten Moden in diesem Bereich verringert. Weiterhin kommt es hierdurch in diesem Bereich zu einer Verringerung der effektiven Brechungsindizes geführter Moden, so dass diese geometrisch in den zweiten Wellenleiter „hinuntergedrückt“ werden. Die Steilheit der Verringerung ist dabei vorzugsweise derart gewählt, dass ein adiabatischer Modentransfer zwischen den geführten bzw. übergekoppelten Moden erfolgen kann. Durch die Berücksichtigung einer entsprechenden Adiabazitätsbedingung für den Modentransfer kann sichergestellt werden, dass der Übergang im Wesentlichen ohne die Anregung von verlustbehafteten Abstrahlungsmoden erfolgt. Die Verringerung des Querschnittes des Wellenleiters kann hierbei entweder durch eine Verringerung seiner Breite oder einer Verringerung seiner Höhe oder durch eine Kombination von Verringerung der Höhe und der Verringerung der Breite erfolgen, wobei sich Breite und Höhe auch simultan ändern können.

**[0040]** Vorzugsweise schließt der Wellenleiterbereich sich an den Übergangsbereich an, wobei die Wellenleiterschicht im Wellenleiterbereich als dritter Wellenleiter zur Weiterleitung einer im zweiten Wellenleiter im Übergangsbereich geführten elektromagnetischen Welle ausgebildet ist, wobei der dritte Wellenleiter des Wellenleiterbereichs vom optisch aktiven Schichtstapel vollständig befreit ist. Bei dem dritten Wellenleiter kann es sich bevorzugt um einen Streifenwellenleiter oder einen Rippenwellenleiter handeln. Der Anschluss der Bereiche bzw. die Kopplung der Wellenleiter kann vorzugsweise unmittelbar, d.h. direkt via Stoß- oder Freiluftkopplung (bzw. -verbindung), oder mittelbar, z.B. mittels eines weiteren Wellenleiterabschnitts, welcher als Modenkonverter bzw. Modenfilter ausgebildet ist, oder ein anderweitiges (insbesondere spektrales) Filterelement, erfolgen. Die genannten Anschlussformen dienen ausschließlich zur Beschreibung des Übergangs zwischen den einzelnen Bereichen und legen insbesondere keine bevorzugte Art der Herstellung dieses Übergangs fest. Ein Anschluss kann beispielsweise rein monolithisch über die Ausführung entsprechender Strukturierungsschritte beim Herstellungsprozess auf einem Substratwafer erfolgen.

**[0041]** Vorzugsweise besteht die Wellenleiterschicht aus einem Siliziumnitrid oder Diamant. Weiterhin ist bevorzugt, dass die Wellenleiterschicht aus einem Material besteht, welches im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 1500 nm wenigstens ein transparentes Fenster aufweist. Die Pufferschicht kann aus einem Material bestehen, dessen Brechungsindex ge-

ringer ist als der Brechungsindex der wellenleitenden Schicht. Vorzugsweise besteht die Pufferschicht aus einem Siliziumoxid.

**[0042]** Vorzugsweise umfasst der aktive Schichtstapel einen III/V-Verbindungshalbleiter. Besonders bevorzugt als Basismaterial für den aktiven Schichtstapel ist GaAs. Insbesondere kann der aktive Schichtstapel aus einer p-leitenden Schicht aus GaAs und einer n-leitenden Schicht aus GaAs aufgebaut sein. Vorzugsweise liegt die n-leitende Schicht aus GaAs unmittelbar auf der Wellenleiterschicht auf, wobei p-leitende Schicht aus GaAs auf der n-leitenden Schicht aus GaAs aufliegt.

**[0043]** Die Verbindungsschicht kann aus einem Polymer, z.B. BCB, ausgeführt werden. Die Verbindungsschicht ist vorzugsweise aus einem Material mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit ausgeführt. Besonders bevorzugt sind Materialien mit einem Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten von größer als 20 W/mK.

**[0044]** Besonders bevorzugt ist, dass die Verbindungsschicht ein Metall oder einen Metallstapel umfasst. Das Material der Verbindungsschicht ist vorzugsweise ein für die Durchführung von Bondprozessen bei niedrigen Bondtemperaturen geeignetes Material. Besonders bevorzugt ist eine Verbindungsschicht mit einem Metallstapel umfassend Ti und Au.

**[0045]** Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Struktursystems, wobei die folgenden Schritte umfasst sind:

- Bereitstellen eines Trägersubstrats mit einem ersten Teilbereich einer Verbindungsschicht;
- Bereitstellen eines Substrats mit einer darauf aufliegenden Stoppschicht und einem darauf aufliegenden optisch aktiven Schichtstapel, wobei der aktive Schichtstapel zur Erzeugung elektromagnetischer Wellen ausgelegt ist;
- Aufbringen einer Wellenleiterschicht auf den aktiven Schichtstapel, wobei die Wellenleiterschicht zur Führung einer im aktiven Schichtstapel erzeugten elektromagnetischen Welle eingerichtet wird;
- Aufbringen einer Pufferschicht auf die Wellenleiterschicht;
- Aufbringen eines zweiten Teilbereichs einer Verbindungsschicht auf die Pufferschicht; Verbinden des zweiten Teilbereichs der Verbindungsschicht mit dem ersten Teilbereich der Verbindungsschicht des Trägersubstrats

zur Ausbildung einer einheitlichen Verbindungsschicht;

- Entfernen des Substrats bis zur Stoppschicht;
- Entfernen der Stoppschicht.

**[0046]** Ein Verbinden des zweiten Teilbereichs der Verbindungsschicht mit dem ersten Teilbereich der Verbindungsschicht des Trägersubstrats zur Ausbildung einer einheitlichen Verbindungsschicht erfolgt vorzugsweise mittels eines Bondprozesses. Als Material zur Ausbildung einer Verbindungsschicht können insbesondere Polymere (z.B. BCB), Metalle (z.B. Au) oder Metallstapel (z.B. Ti/Au) eingesetzt werden.

**[0047]** Ein erfindungsgemäßes Verfahren ist insbesondere dazu geeignet, ein in diesem Dokument beschriebenes erfindungsgemäßes Struktursystem zu erzeugen. Insbesondere können alle Ausführungsformen bzw. alle als bevorzugt angegebenen Ausgestaltungen eines erfindungsgemäßen Struktursystems über das erfindungsgemäße Verfahren hergestellt werden. Bei dem Substratmaterial handelt es sich vorzugsweise um GaAs. Die Stoppschicht wird bevorzugt aus GaInP ausgebildet. Der aktive Schichtstapel wird vorzugsweise aus GaAs mit unterschiedlichen Dotierungen aufgebaut. Insbesondere kann der aktive Schichtstapel aus einer p-leitenden Schicht aus p-GaAs und einer n-leitenden Schicht aus n-GaAs aufgebaut werden.

**[0048]** Ein erfindungsgemäßes Verfahren umfasst vorzugsweise weiterhin das Strukturieren des aktiven Schichtstapels als erster Wellenleiter zur Ausbildung eines aktiven Bereichs. Bevorzugt umfasst das Verfahren weiterhin das Strukturieren der Wellenleiterschicht als zweiter Wellenleiter zur Ausbildung eines Übergangsbereichs. Ebenfalls bevorzugt ist, dass das Verfahren weiterhin das Strukturieren der Wellenleiterschicht als dritter Wellenleiter zur Ausbildung eines Wellenleiterbereichs umfasst.

**[0049]** Die mit einem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren erzielbare Genauigkeit hängt nicht vom Verbindungsprozess ab, sondern wird ausschließlich über die eingesetzten lithografischen Verfahren festgelegt. Mit optischer Projektionslithografie sind somit massenproduktionstauglich Ausrichtgenauigkeiten von 40 nm erzielbar, bei Elektronenstrahlolithografie kann die Genauigkeit auf Werte um 20 nm verbessert werden.

**[0050]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens können (zur Bereitstellen eines Substrats mit einer darauf aufliegenden Stoppschicht und einem darauf aufliegenden optisch aktiven Schichtstapel) auf einem III/V-Substrat zunächst die Schichten erzeugt werden, welche zur späteren Herstellung der Lichtquelle dienen sollen. Auf eine laterale Strukturierung des ent-

sprechenden lichterzeugenden optischen Elements wird zunächst verzichtet. Im nächsten Schritt wird dann die zur Ausbildung des zweiten und dritten Wellenleiters benötigte Schicht (Wellenleiterschicht) wiederum ganzflächig auf das Substrat abgeschieden. Das Schichtsystem wird so bemessen (z.B. bei der Dicke der einzelnen Schichten), dass der darauf aufgebrauchte zweite Teilbereich der Verbindungsschicht nicht Bestandteil des optischen Systems wird.

**[0051]** Da die Abmessungen der Lichtquelle i.d.R. kleiner als die Abmessungen der Wellenleiter sein müssen und das aktive Schichtsystem zur Realisierung der Lichtquelle zum Zeitpunkt der lateralen Strukturierung daher unmittelbar zugänglich sein sollte, kann ein Transfer des erzeugten Schichtstapels von dem Substrat auf ein zusätzliches Trägersubstrat vorgenommen werden.

**[0052]** Ebenso bedingen die physikalischen Struktureigenschaften (d.h. die kristallographischen Eigenschaften der eingesetzten Materialien), dass die epitaktische Abscheidung des Materialsystems für die Lichtquelle vor der Abscheidung geeigneter Materialsysteme für die Ausführung von Wellenleitern (z.B. Siliziumnitride, Siliziumoxide, ...) ausgeführt wird.

**[0053]** Nach Vorbereitung des Schichtstapels kann der zweite Teilbereich der Verbindungsschicht auf das III/V-Substrat aufgebracht werden. Der erste Teil der Verbindungsschicht kann auf dem Trägersubstrat angeordnet werden. Die Verbindungsschicht ist vorzugsweise aus einem Material mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit ausgeführt. Ein einfaches, in der Produktion gut zu handhabendes System ist z.B. eine Ti/Au-Schicht, bei der ca. 50 nm Ti und ca. 250 nm Au auf Substrat und Trägersubstrat aufgebracht sind bzw. werden und diese dann in einem thermischen Bondprozess bei 250°C und einem Bonddruck von ca. 10 N/cm<sup>2</sup> für ca. 100 min zur Ausbildung einer einheitlichen Verbindungsschicht ausgesetzt werden. Dadurch entsteht eine innige und feste mechanische und thermische stabile Verbindung zwischen Substrat und Trägersubstrat (genauer zwischen Pufferschicht und Trägersubstrat). Das III/V-Substrat kann nun bis zur optisch aktiven Schicht abgedünnt werden, wobei vorzugsweise eine Kombination von mechanischen und chemischen Abtragsverfahren eingesetzt werden kann, wobei vorzugsweise das Stoppen des Prozesses über die Selektivität der Stoppschicht in einem chemischen Ätzprozess eingestellt wird. Anschließend liegt die optisch aktive Schicht an der Oberseite frei und die Strukturierung der Lichtquelle im aktiven Bereich und der Wellenleiterstrukturen im Übergangsbereich bzw. im Wellenleiterbereich kann erfolgen.

## Figurenliste

**[0054]** Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnung erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung der Aufsicht einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Struktursystems,

**Fig. 2a** eine Schnittdarstellung einer Ausführungsform nach **Fig. 1** im aktiven Bereich entlang der Achse **A'-A''**,

**Fig. 2b** eine Schnittdarstellung einer Ausführungsform nach **Fig. 1** im Übergangsbereich entlang der Achse **B'-B''**,

**Fig. 2c** eine Schnittdarstellung einer Ausführungsform nach **Fig. 1** im Wellenleiterbereich entlang der Achse **C'-C''**,

**Fig. 3a-h** eine schematische Darstellung der Verfahrensschritte bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Struktursystems, und

**Fig. 4** eine Schnittdarstellung einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Struktursystems im aktiven Bereich.

## Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

**[0055]** **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung der Aufsicht einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Struktursystems. Das gezeigte Struktursystem bestehend aus einem optisch aktiven Bereich **A**, einem Übergangsbereich **B** und einem Wellenleiterbereich **C**, welche auf einem Schichtsystem strukturiert sind, wobei das Schichtsystem umfasst: ein Trägersubstrat **500**; eine Pufferschicht **300**, wobei die Pufferschicht **300** auf dem Trägersubstrat **500** angeordnet ist; eine Wellenleiterschicht **200**, wobei die Wellenleiterschicht **200** auf der Pufferschicht **300** aufliegend angeordnet ist; und einen optisch aktiven Schichtstapel **120**, wobei der aktive Schichtstapel **120** auf der Wellenleiterschicht **200** aufliegend angeordnet ist; wobei die Pufferschicht **300** mit dem Trägersubstrat **500** über eine zwischenliegende Verbindungsschicht **400** fest verbunden ist. Insbesondere kann der aktive Schichtstapel **120** wie in der Darstellung aus einer p-leitenden Schicht **122** und einer n-leitenden Schicht **124** aufgebaut sein, wobei die p-leitende Schicht **122** vorzugsweise auf bzw. oberhalb der n-leitenden Schicht **124** abgeordnet ist. Auf dem aktiven Schichtstapel **120** sind zusätzlich elektrische Kontakte **800** für eine Bestromung des aktiven Schichtstapels **120** aufgebracht.

**[0056]** Der aktive Bereich **A** ist zur Erzeugung einer elektromagnetischen Welle innerhalb des optisch aktiven Schichtstapels **120** (bzw. innerhalb des Stapels aus p-leitender Schicht **122** und n-leitender Schicht



**124**) ausgebildet, wobei der aktive Schichtstapel **120** als erster Wellenleiter ausgebildet ist. Insbesondere ist gezeigt, dass die p-leitende Schicht **122** schmaler ausgeführt ist als die darunter befindliche n-leitende Schicht **124**, wobei die p-leitende Schicht **122** eine lokal strukturierte Brechungsindexerhöhung gegenüber der unmittelbaren Umgebung an der Oberseite der n-leitenden Schicht **124** eine Wellenführung innerhalb des optisch aktiven Schichtstapels **120** ermöglicht.

**[0057]** Der Übergangsbereich **B** schließt sich direkt an den aktiven Bereich **A** an (Stoßkopplung bzw. -verbindung), wobei die Wellenleiterschicht **200** im Übergangsbereich **B** als zweiter Wellenleiter ausgebildet ist, wobei der Übergangsbereich **B** zur Kopplung einer elektromagnetischen Welle aus dem ersten Wellenleiter des aktiven Schichtstapels **120** im aktiven Bereich **A** in den darunterliegend angeordneten zweiten Wellenleiter der Wellenleiterschicht **200** im Übergangsbereich **B** ausgebildet ist (d.h. Kopplung in die gezeigte Aufsichtsebene hinein in Richtung des Wellenleiterbereichs **C**).

**[0058]** Zur Kopplung einer elektromagnetischen Welle aus dem ersten Wellenleiter des aktiven Schichtstapels **120** im aktiven Bereich **A** in den darunter angeordneten zweiten Wellenleiter der Wellenleiterschicht **200** im Übergangsbereich **B** verringert sich die Breite des ersten Wellenleiters des aktiven Schichtstapels **120** im Übergangsbereich **B** mit zunehmendem Abstand vom aktiven Bereich **A** (sog. Taperübergang). Dies dient einer möglichst verlustfreien Überkopplung zwischen den beiden Wellenleiterstrukturen im Übergangsbereich **B**.

**[0059]** Der Wellenleiterbereich **C** schließt sich direkt an den Übergangsbereich **B** an (Stoßkopplung bzw. -verbindung), wobei die Wellenleiterschicht **200** im Wellenleiterbereich **C** als dritter Wellenleiter zur Weiterleitung einer im zweiten Wellenleiter im Übergangsbereich **B** geführten elektromagnetischen Welle ausgebildet ist, wobei der dritte Wellenleiter des Wellenleiterbereichs **C** vom optisch aktiven Schichtstapel **120** befreit ist. Insbesondere ist bei der gezeigten Ausführungsform der dritte Wellenleiter im Wellenleiterbereich **C** als unmittelbare Fortführung des zweiten Wellenleiters im Übergangsbereich **B** ausgebildet.

**[0060]** Fig. 2a zeigt eine Schnittdarstellung einer Ausführungsform nach Fig. 1 im aktiven Bereich entlang der Achse **A'-A''**. Das gezeigte Struktursystem ist strukturiert auf einem Schichtsystem, wobei das Schichtsystem umfasst: ein Trägersubstrat **500**; eine Pufferschicht **300**, wobei die Pufferschicht **300** auf dem Trägersubstrat **500** angeordnet ist; eine Wellenleiterschicht **200**, wobei die Wellenleiterschicht **200** auf der Pufferschicht **300** aufliegend angeordnet ist; und einen optisch aktiven Schichtstapel **120**, wobei

der aktive Schichtstapel **120** auf der Wellenleiterschicht **200** aufliegend angeordnet ist (es handelt sich analog zur Fig. 1 um einen aktiven Schichtstapel **120**, der aus einer p-leitenden Schicht **122** und einer n-leitenden Schicht **124** aufgebaut ist); wobei die Pufferschicht **300** mit dem Trägersubstrat **500** über eine zwischenliegende Verbindungsschicht **400** fest verbunden ist. Auf dem aktiven Schichtstapel **120** sind zusätzlich elektrische Kontakte **800** für eine Bestromung des aktiven Schichtstapels **120** aufgebracht. Der gezeigte aktive Bereich **A** ist zur Erzeugung einer elektromagnetischen Welle innerhalb des optisch aktiven Schichtstapels **120** ausgebildet, wobei der aktive Schichtstapel **120** als erster Wellenleiter, vorliegend als Rippenwellenleiter, ausgebildet ist. Die Position der im aktiven Schichtstapel **120** erzeugten optischen Mode **900** ist ebenfalls mit eingezeichnet.

**[0061]** Fig. 2b zeigt eine Schnittdarstellung einer Ausführungsform nach Fig. 1 im Übergangsbereich entlang der Achse **B'-B''**. Der grundsätzliche Schichtaufbau entspricht weitestgehend dem unter Fig. 2a beschriebenen Aufbau. Die jeweiligen Bezugszeichen und deren Zuordnung gelten entsprechend. Die Wellenleiterschicht **200** ist im Übergangsbereich **B** als zweiter Wellenleiter, vorliegend als Streifenwellenleiter, ausgebildet, wobei der Übergangsbereich **B** zur Kopplung einer elektromagnetischen Welle aus dem ersten Wellenleiter des aktiven Schichtstapels **120** im aktiven Bereich **A** in den darunterliegend angeordneten zweiten Wellenleiter der Wellenleiterschicht **200** im Übergangsbereich **B** ausgebildet ist. Insbesondere verringert sich zur Kopplung einer elektromagnetischen Welle aus dem ersten Wellenleiter des aktiven Schichtstapels **120** im aktiven Bereich **A** in den darunter angeordneten zweiten Wellenleiter der Wellenleiterschicht **200** im Übergangsbereich **B** die Breite des ersten Wellenleiters des aktiven Schichtstapels **120** im Übergangsbereich **B** mit zunehmendem Abstand vom aktiven Bereich **A**. Die eingezeichnete optische Mode wandert im Vergleich zur Fig. 1 zunehmend nach unten in die Wellenleiterschicht **200**. Elektrische Kontakte **800** für eine Bestromung des aktiven Schichtstapels **120** sind in diesem Bereich nicht vorhanden.

**[0062]** Fig. 2c zeigt eine Schnittdarstellung einer Ausführungsform nach Fig. 1 im Wellenleiterbereich entlang der Achse **C'-C''**. Der grundsätzliche Schichtaufbau entspricht weitestgehend dem unter den Fig. 2a bzw. Fig. 2b beschriebenen Aufbau. Die jeweiligen Bezugszeichen und deren Zuordnung gelten entsprechend. Die Wellenleiterschicht **200** ist im Wellenleiterbereich **C** als dritter Wellenleiter zur Weiterleitung einer im zweiten Wellenleiter im Übergangsbereich **B** geführten elektromagnetischen Welle ausgebildet ist, wobei der dritte Wellenleiter des Wellenleiterbereichs **C** vom aktiven Schichtstapel **120** vollständig befreit ist. Die optische Mode **900** wird im dritten Wellenleiter geführt. Deren evaneszente Feldan-

teile können bis in die Pufferschicht reichen. Vorzugsweise reichen die evaneszenten Feldanteile durch eine ausreichende Dicke der Pufferschicht **300** nicht bis in die darunterliegende Verbindungsschicht **400** oder das Trägersubstrat **500**. Dadurch ist die Verbindungsschicht **400** nicht Teil des optischen Systems.

**[0063]** Fig. 3a-h zeigen eine schematische Darstellung der Verfahrensschritte bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Struktursystems. In Fig. 3a ist ein Substrat **100** mit einer darauf aufliegenden Stoppschicht **110** und einem darauf aufliegenden optisch aktiven Schichtstapel **120** (z.B. bestehend aus einer p-leitenden Schicht **122** und einer n-leitenden Schicht **124**) gezeigt, wobei der aktive Schichtstapel **120** zur Erzeugung elektromagnetischer Wellen eingerichtet ist. In Fig. 3b ist auf dem aktiven Schichtstapel **120** eine Wellenleiterschicht **200** aufgebracht, wobei die Wellenleiterschicht **200** zur Führung einer vom aktiven Schichtstapel **120** erzeugten elektromagnetischen Welle eingerichtet ist. Weiterhin ist auf die Wellenleiterschicht **200** eine Pufferschicht **300** aufgebracht. Auf die Pufferschicht **300** ist wiederum ein zweiter Teilbereich einer Verbindungsschicht **400''** aufgebracht. In Fig. 3c ist das zusätzliche Bereitstellen eines Trägersubstrats **500** mit einem aufgebrachtten ersten Teilbereich einer Verbindungsschicht **400'** dargestellt. Der erste Teilbereich der Verbindungsschicht **400'** und der zweite Teilbereich der Verbindungsschicht **400''** sind einander zugewandt. In Fig. 3d ist der zweite Teilbereich der Verbindungsschicht **400''** mit dem ersten Teilbereich der Verbindungsschicht **400'** des Trägersubstrats **500** zur Ausbildung einer einheitlichen Verbindungsschicht **400** miteinander verbunden worden (vorzugsweise mittels eines Bondprozesses). In Fig. 3e ist die Struktur nach Ablösen des Substrats **100** bis zur Stoppschicht **110** gezeigt. Die Fig. 3f zeigt schließlich ein vollständig auf dem Trägersubstrat **500** angeordnetes erfindungsgemäßes Schichtsystem.

**[0064]** Anschließend können sich entsprechende Strukturierungsschritte zur Ausbildung der Strukturmerkmale in den einzelnen Bereichen anschließen. In Fig. 3g ist beispielhaft eine Schnittdarstellung durch den aktiven Bereich eines erfindungsgemäßen Struktursystems dargestellt. Insbesondere ist der aktive Schichtstapel **120** als erster Wellenleiter (Rippenwellenleiter) ausgebildet. In Fig. 3h sind zusätzlich elektrische Kontakte **800** für eine Bestromung des aktiven Schichtstapels **120** auf das Struktursystem aufgebracht.

**[0065]** In einem konkreten Ausführungsbeispiel wird auf einem GaAs-Wafer als Substrat **100** eine Stoppschicht **110** aus GaInP abgeschieden, auf die eine Diodenstruktur aus p- und n-dotierten GaAs-Schichten (mit einer p-leitenden Schicht **122** und einer n-

leitenden Schicht **124**) als optisch aktiver Schichtstapel **120** abgeschieden wird. Auf diesen aktiven Schichtstapel **120** wird mittels PECVD eine Pufferschicht **200** von Siliziumnitrid mit einer Dicke von 800 nm abgeschieden, gefolgt von einer Abscheidung einer Wellenleiterschicht **300** von 2000 nm Siliziumoxid sowie ein zweiter Teilbereich einer Verbindungsschicht **400''**, bestehend aus 30 nm Titan und 250 nm Gold. Auf einem Trägerwafer als Trägersubstrat **500** wird ein erster Teilbereich einer Verbindungsschicht **400'** abgeschieden. Die beiden Wafer werden anschließend in einem Bondprozess mit einer Dauer von 150 min bei einer Temperatur von 300°C und einem Druck von 50 N/cm<sup>2</sup> zur Ausbildung einer einheitlichen Verbindungsschicht **400** miteinander verbunden.

**[0066]** Es folgt ein mechanisches Abdünnen des Substrats **100** bis eine Restschichtdicke von ca. 50 µm verbleibt, gefolgt von einem Nassätzschritt mit Schwefelsäure und Peroxid zum Ablösen des Substrats **100** bis zur Stoppschicht **110**. Diese wird nun zum Entfernen der Stoppschicht **110** ebenfalls selektiv rückgeätzt.

**[0067]** Mittels einer Kombination aus Photolithographie und Ätzung kann anschließend eine wellenleitende Rippe in dem aktiven Schichtstapel **120** zur Ausbildung des Wellenleiters des aktiven Bereichs **A** erzeugt werden. Die Länge des Übergangsbereichs **B** beträgt ca. 30 µm, in der die Breite der Rippe von 2000 nm auf ca. 200 nm reduziert wird. In einem folgenden Schritt kann nun die Wellenleiterschicht **200** im Übergangsbereich **B** und im Wellenleiterbereich **C** strukturiert werden.

**[0068]** Fig. 4 zeigt eine Schnittdarstellung einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Struktursystems im aktiven Bereich **A**. Der grundsätzliche Schichtaufbau entspricht weitestgehend dem unter Fig. 2a beschriebenen Aufbau. Die jeweiligen Bezugszeichen und deren Zuordnung gelten entsprechend. Im Unterschied zur Fig. 2a sind die elektrischen Kontakte **800** hierbei jedoch im Seitenbereich nicht als einzelne Streifen aufgebracht. Stattdessen sind die Kontakte **800** als leitende Flächen von der Oberfläche eines Teilbereichs des aktiven Schichtstapels **120** an den Außenkanten der Struktur bis auf die Verbindungsschicht **400** heruntergeführt. Eine Ausbildung dieser Kontaktform kann insbesondere verfahrenstechnisch durch einen finalen Metallisierungsschritt zur Ausbildung von Kontaktbahnen erfolgen. Der Vorteil einer solchen Kontaktform ist, dass im Falle einer metallischen Verbindungsschicht **400** diese als eine Art Masseanschluss für den aktiven Bereich **A** dienen kann, wodurch im Gegensatz zu anderen Ausführungsformen, insbesondere einer Ausführungsform nach Fig. 1, auf eine Einzelkontaktierung der Kontakte **800**, z.B. mittels Bonddrähten, verzichtet werden kann.

## Bezugszeichenliste

100	Substrat
110	Stoppschicht
120	aktiver Schichtstapel
122	p-leitende Schicht
124	n-leitende Schicht
200	Wellenleiterschicht
300	Pufferschicht
400	Verbindungsschicht
400'	Verbindungsschicht (erster Teilbereich)
400''	Verbindungsschicht (zweiter Teilbereich)
500	Trägersubstrat
800	Kontakte
900	optische Mode
A	aktiver Bereich
B	Übergangsbereich
C	Wellenleiterbereich

## Patentansprüche

1. Struktursystem bestehend aus einem optisch aktiven Bereich (A), einem Übergangsbereich (B) und einem Wellenleiterbereich (C), strukturiert auf einem Schichtsystem, wobei das Schichtsystem umfasst:

- ein Trägersubstrat (500);
- eine Pufferschicht (300), wobei die Pufferschicht (300) auf dem Trägersubstrat (500) angeordnet ist;
- eine Wellenleiterschicht (200), wobei die Wellenleiterschicht (200) auf der Pufferschicht (300) aufliegend angeordnet ist; und
- einen optisch aktiven Schichtstapel (120), wobei der aktive Schichtstapel (120) auf der Wellenleiterschicht (200) aufliegend angeordnet ist; **dadurch gekennzeichnet**, dass
- die Pufferschicht (300) mit dem Trägersubstrat (500) über eine zwischenliegende Verbindungsschicht (400) fest verbunden ist.

2. Struktursystem nach Anspruch 1, wobei der aktive Bereich (A) zur Erzeugung einer elektromagnetischen Welle innerhalb des optisch aktiven Schichtstapels (120) ausgebildet ist, wobei der aktive Schichtstapel (120) als erster Wellenleiter ausgebildet ist.

3. Struktursystem nach Anspruch 2, wobei der Übergangsbereich (B) sich an den aktiven Bereich (A) anschließt, wobei die Wellenleiterschicht (200) im Übergangsbereich (B) als zweiter Wellenleiter ausgebildet ist, wobei der Übergangsbereich (B) zur Kopplung einer elektromagnetischen Welle aus dem ersten Wellenleiter des aktiven Schichtstapels (120) im

aktiven Bereich (A) in den darunterliegend angeordneten zweiten Wellenleiter der Wellenleiterschicht (200) im Übergangsbereich (B) ausgebildet ist.

4. Struktursystem nach Anspruch 3, wobei zur Kopplung einer elektromagnetischen Welle aus dem ersten Wellenleiter des aktiven Schichtstapels (120) im aktiven Bereich (A) in den darunter angeordneten zweiten Wellenleiter der Wellenleiterschicht (200) im Übergangsbereich (B) sich die Breite und/oder die Höhe des ersten Wellenleiters des aktiven Schichtstapels (120) im Übergangsbereich (B) mit zunehmendem Abstand vom aktiven Bereich (A) verringern.

5. Struktursystem nach Anspruch 3 oder 4, wobei der Wellenleiterbereich (C) sich an den Übergangsbereich (B) anschließt, wobei die Wellenleiterschicht (200) im Wellenleiterbereich (C) als dritter Wellenleiter zur Weiterleitung einer im zweiten Wellenleiter im Übergangsbereich (B) geführten elektromagnetischen Welle ausgebildet ist, wobei der dritte Wellenleiter des Wellenleiterbereichs (C) vom optisch aktiven Schichtstapel (120) befreit ist.

6. Struktursystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Wellenleiterschicht (200) aus einem Siliziumnitrid oder Diamant besteht.

7. Struktursystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Pufferschicht (300) aus einem Siliziumoxid besteht.

8. Struktursystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Verbindungsschicht (400) aus einem Polymer besteht.

9. Struktursystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Verbindungsschicht (400) ein Metall oder einen Metallstapel umfasst.

10. Verfahren zur Herstellung eines Struktursystems nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die folgenden Schritte umfassend:

- Bereitstellen eines Trägersubstrats (500) mit einem ersten Teilbereich einer Verbindungsschicht (400');
- Bereitstellen eines Substrats (100) mit einer darauf aufliegenden Stoppschicht (110) und einem darauf aufliegenden optisch aktiven Schichtstapel (120), wobei der aktive Schichtstapel (120) zur Erzeugung elektromagnetischer Wellen eingerichtet ist;
- Aufbringen einer Wellenleiterschicht (200) auf den aktiven Schichtstapel (120), wobei die Wellenleiterschicht (200) zur Führung einer im aktiven Schichtstapel (120) erzeugten elektromagnetischen Welle eingerichtet wird;
- Aufbringen einer Pufferschicht (300) auf die Wellenleiterschicht (200);

- e) Aufbringen eines zweiten Teilbereichs einer Verbindungsschicht (400") auf die Pufferschicht (300);
- f) Verbinden des zweiten Teilbereichs der Verbindungsschicht (400") mit dem ersten Teilbereich der Verbindungsschicht (400') des Trägersubstrats (500) zur Ausbildung einer einheitlichen Verbindungsschicht (400);
- g) Entfernen des Substrats (100) bis zur Stoppschicht (110);
- h) Entfernen der Stoppschicht (110).

11. Verfahren nach Anspruch 10, weiterhin umfassend das Strukturieren des aktiven Schichtstapels (120) als erster Wellenleiter zur Ausbildung eines aktiven Bereichs (A).

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, weiterhin umfassend das Strukturieren der Wellenleiterschicht (200) als zweiter Wellenleiter zur Ausbildung eines Übergangsbereichs (B).

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, weiterhin umfassend das Strukturieren der Wellenleiterschicht (200) als dritter Wellenleiter zur Ausbildung eines Wellenleiterbereichs (C).

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

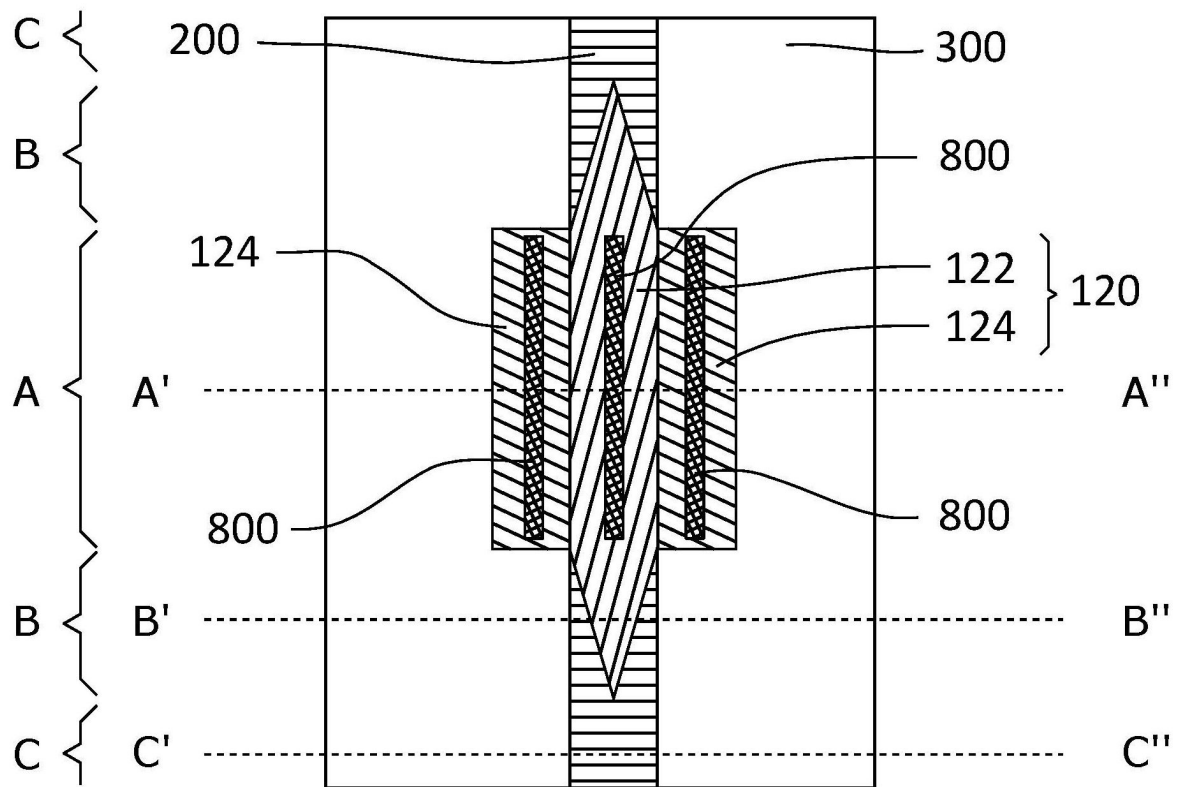


Fig. 1

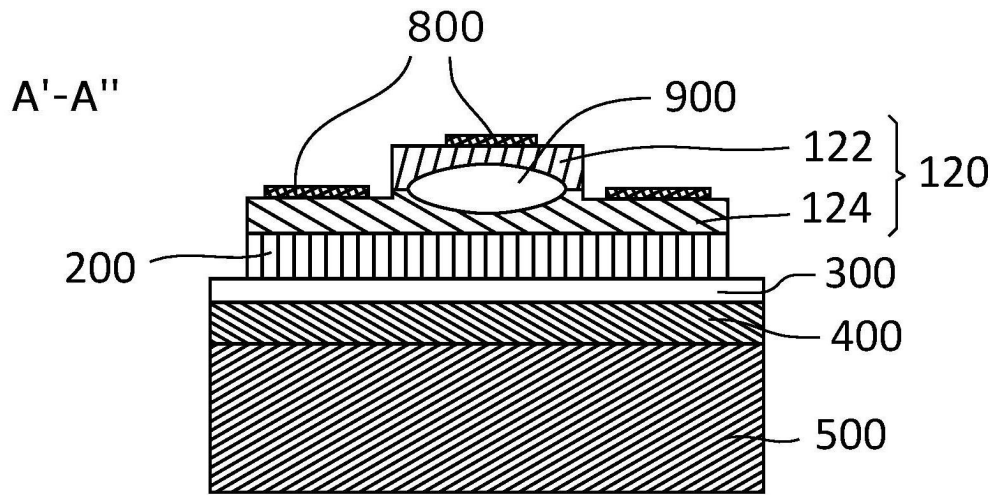


Fig. 2a

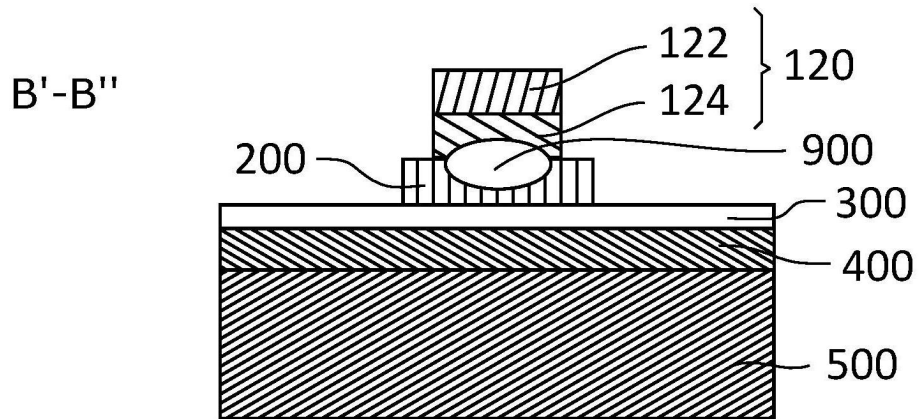


Fig. 2b

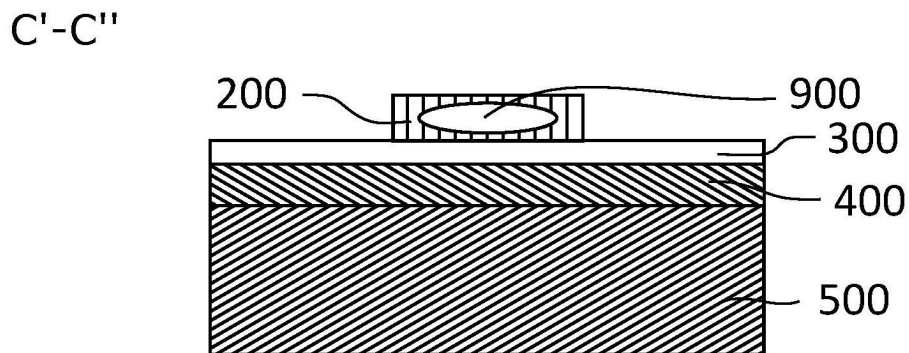


Fig. 2c

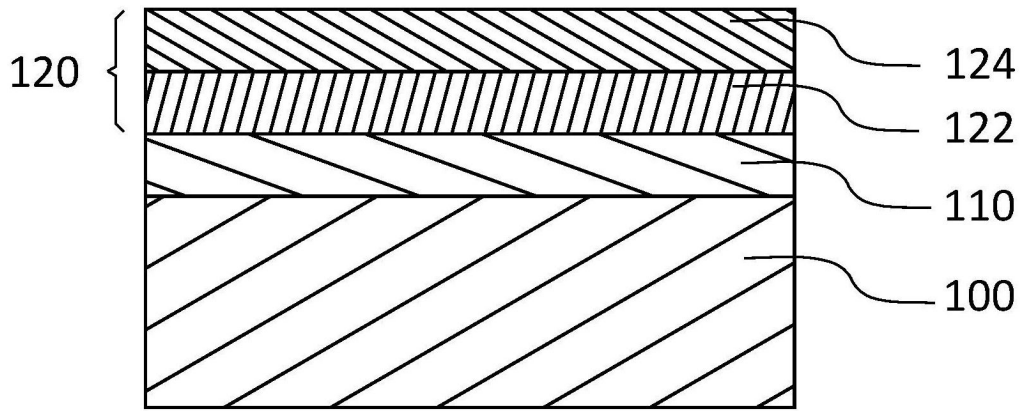


Fig. 3a

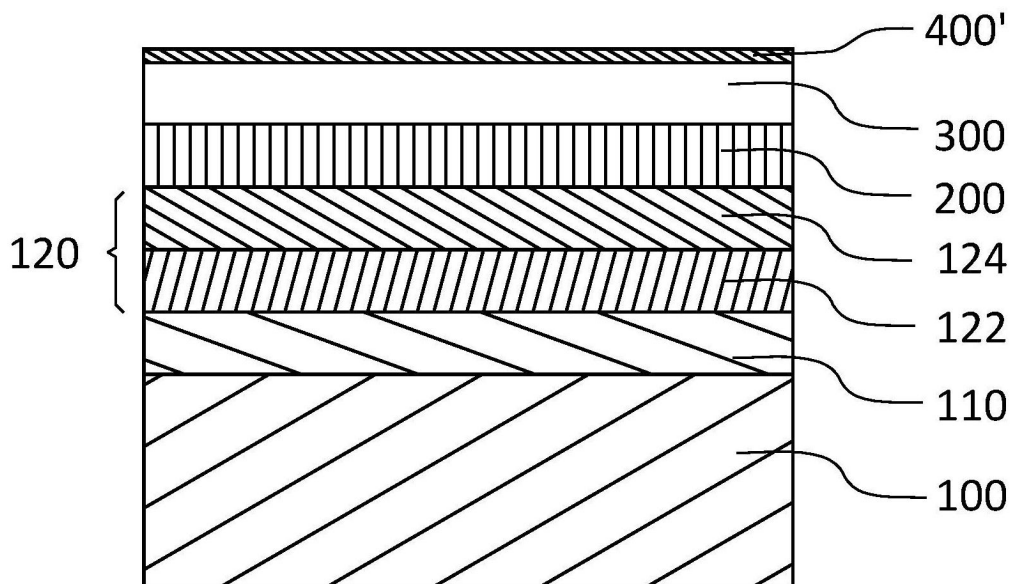


Fig. 3b

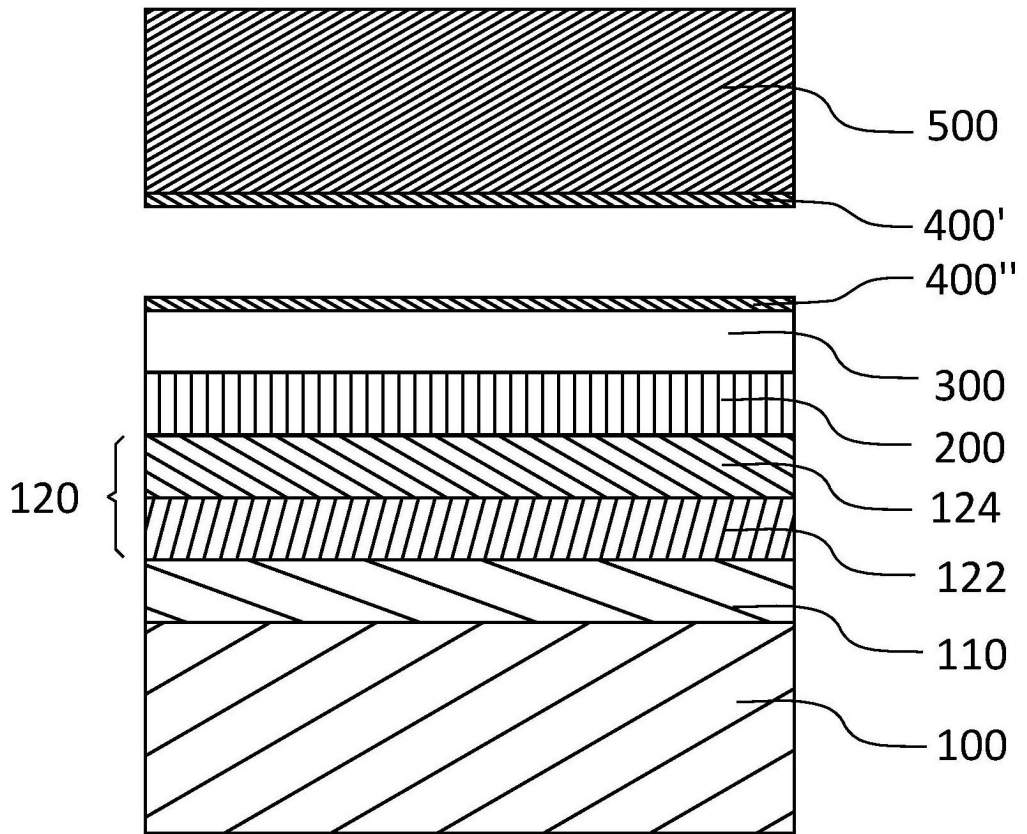


Fig. 3c

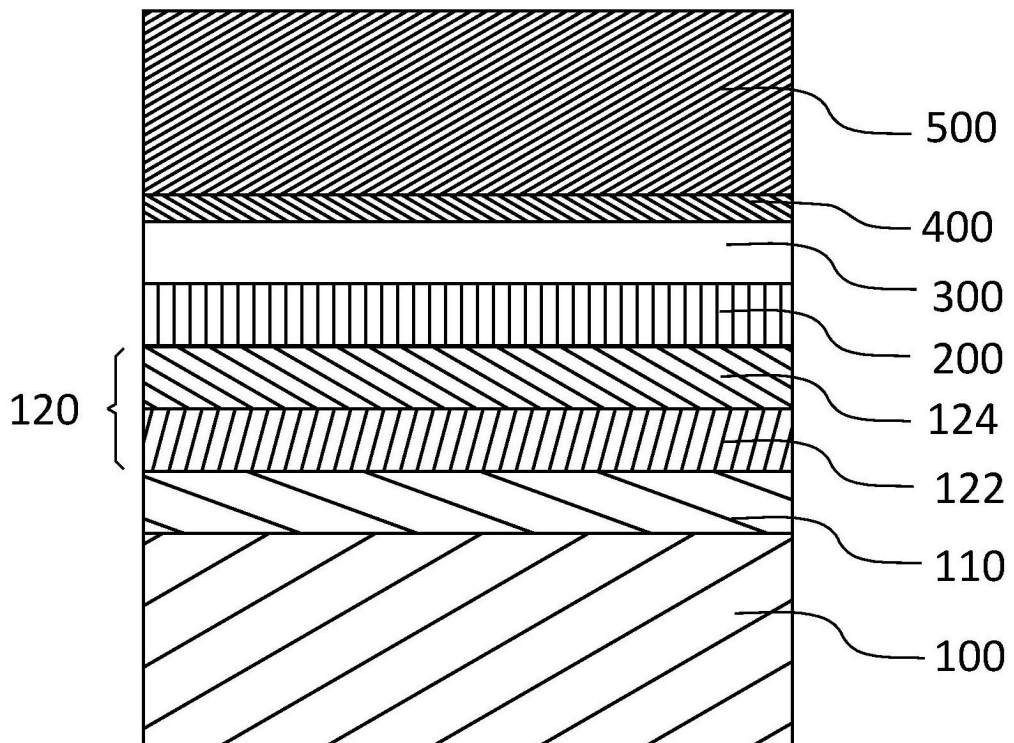


Fig. 3d



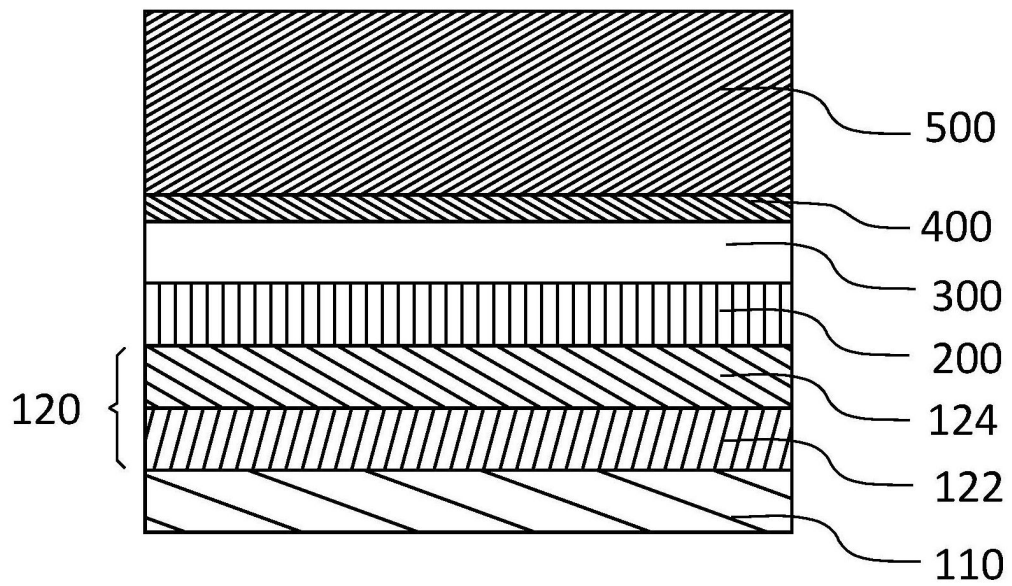


Fig. 3e

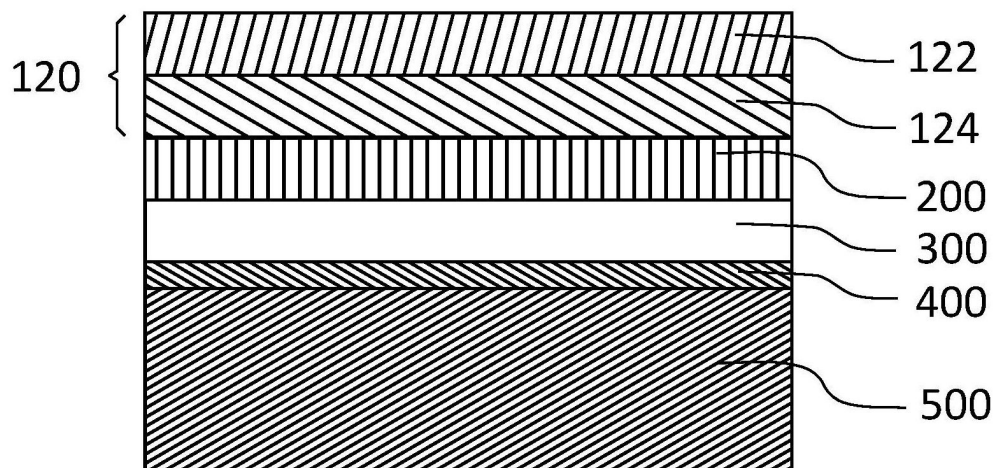


Fig. 3f

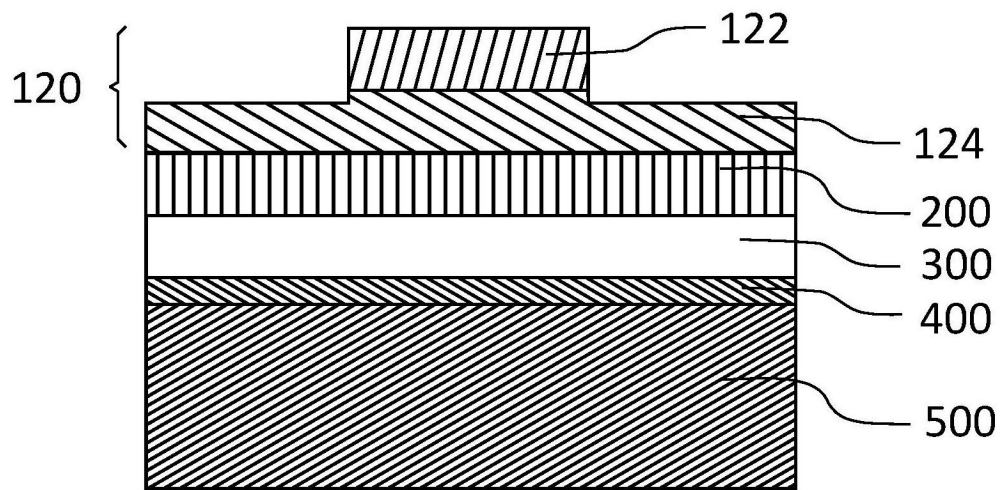


Fig. 3g

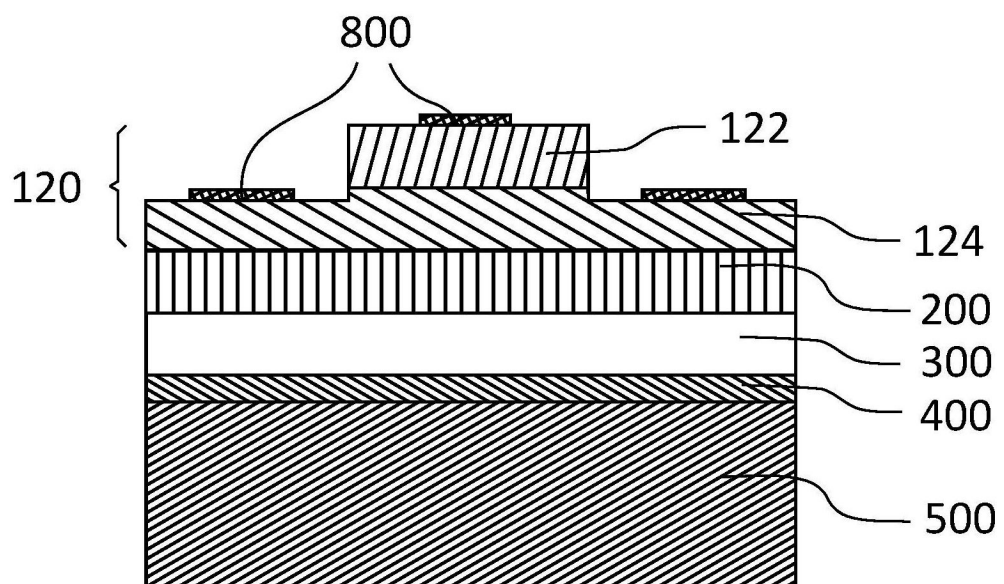


Fig. 3h

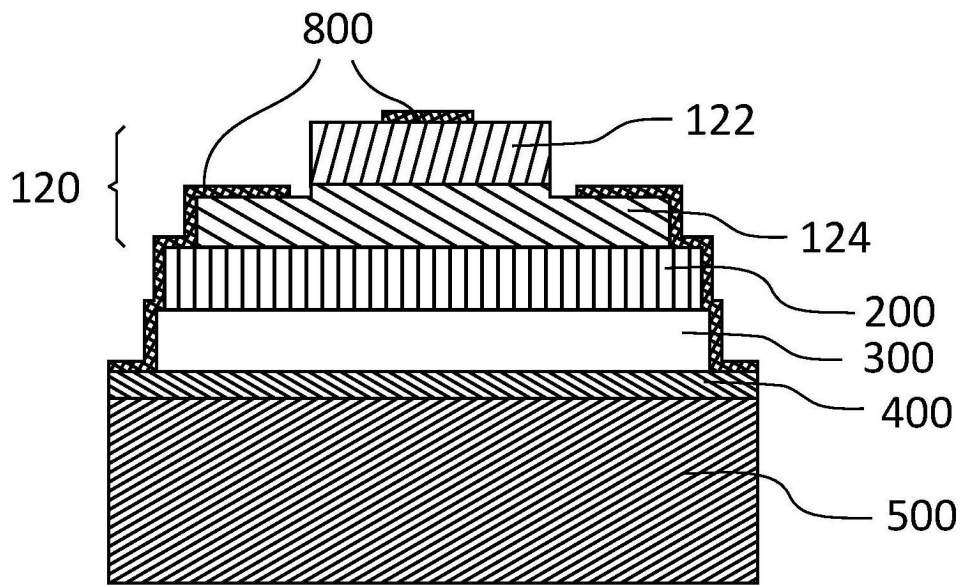


Fig. 4