



(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2008 003 845.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2008/062791**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2009/136913**
(86) PCT-Anmeldetag: **06.05.2008**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **12.11.2009**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **07.04.2011**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **09.02.2017**

(51) Int Cl.: **H01S 3/083 (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:
**Hewlett Packard Enterprise Development LP,
Houston, Tex., US**

(72) Erfinder:
**Xu, Qianfan, Palo Alto, Calif., US; Fiorentino,
Marco, Palo Alto, Calif., US; Beausoleil, Raymond
G., Redmond, Wash., US**

(74) Vertreter:
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler,
Schenk & Partner mbB Patentanwälte, 81373
München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **System und Verfahren für einen Mikroringlaser**

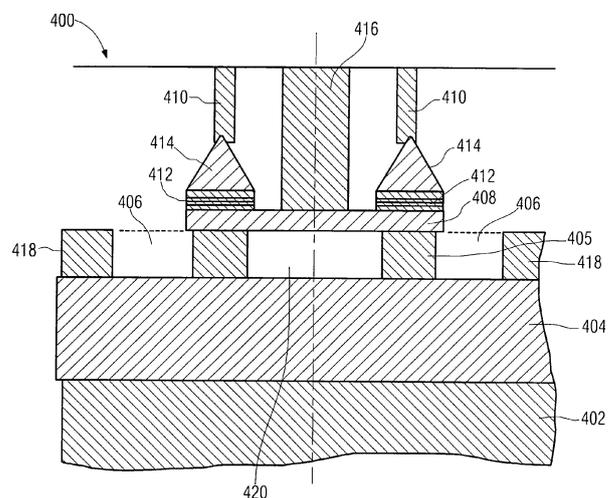
(57) Hauptanspruch: Ein elektrisch gepumptes Hybrid-III-V-Gruppe-und-Silizium-Lasersystem, das Folgendes umfasst:

einen Silizium-Mikroringresonator (405);
eine Quantenmulde (412), die aus einem Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet und mit dem Silizium-Mikroringresonator (405) optisch gekoppelt ist, um eine optische Verstärkung zu liefern;

einen trapezförmigen Puffer (414), der aus einem Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet ist, das mit einem ersten Trägertyp dotiert ist, wobei der trapezförmige Puffer (414) mit der Quantenmulde (412) optisch gekoppelt ist;
eine mit dem trapezförmigen Puffer (414) gekoppelte Ringelektrode (410), wobei der trapezförmige Puffer (414) ermöglicht, dass die Ringelektrode (410) von einer optischen Mode des Mikroringresonators (405) im Wesentlichen isoliert ist;

einen zweiten Puffer (408), der aus einem Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet ist, das mit einem zweiten Trägertyp dotiert ist, der eine zu dem ersten Trägertyp entgegengesetzte Ladung aufweist, wobei der zweite Puffer (408) zwischen der Quantenmulde (412) und dem Silizium-Mikroringresonator (405) angeordnet ist; und
eine Mittelelektrode (416), die mit dem zweiten Puffer (408) gekoppelt ist, um zu ermöglichen, dass Träger in die Quantenmulde (412) injiziert werden, indem zwischen der Mittelelektrode (416) und der Ringelektrode (405) ein Vorspannungspotential angelegt wird,

wobei die Quantenmulde (412), der trapezförmige Puffer (414) und die Ringelektrode (410) einen Ring auf der von dem Silizium-Mikroringresonators (405) abgewandten Seite des zweiten Puffers (408) bilden, wobei sich die Mittelelektrode (416) durch den Ring zu dem zweiten Puffer (408) erstreckt und in Draufsicht auf den Silizium-Mikroringresonator (405) innerhalb eines inneren Rands des Silizium-Mikroringresonators (405) angeordnet und von dem inneren Rand beabstandet ist.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2004 / 0 114 930	A1
US	2006 / 0 180 762	A1
US	5 878 070	A
US	6 052 495	A
US	6 044 098	A

Beschreibung

HINTERGRUND

[0001] Da die Rechenleistung und Datenspeicherkapazitäten in den letzten Jahrzehnten exponentiell zugenommen haben, ist auch eine entsprechende Menge an gespeicherten Daten exponentiell gewachsen. Computer, die einst die Domäne von Textdateien und einigen wenigen Bildern geringer Auflösung waren, werden nun oft dazu verwendet, Tausende von hochauflösenden Bildern und Videoaufnahmen von mehreren Stunden zu speichern. Fernseher werden ausgerüstet, um hochauflösendes Video zu zeigen. Neue Generationen optischer Platten wurden entwickelt, um das hochauflösende Video zu fassen. Die Platten können auf jeder Seite ganze 50 Gigabytes fassen. Dies reicht aus, um mehrere Stunden Video in einem hochauflösenden Format zu speichern. Es werden immer dichtere Speicherformate entwickelt, um die zunehmenden Mengen an Informationen zu speichern.

[0002] Es wird schwieriger, die riesigen Mengen an digitalen Informationen zu bewegen und zu übertragen. Jedes Jahr stehen mehr elektronische Vorrichtungen zur Verfügung, die mit anderen Vorrichtungen digital kommunizieren können. Elektronik, einschließlich Computern, hochauflösenden Fernsehens, hochauflösenden Funks, digitaler Musikabspielgeräte, tragbarer Computer und vieler anderer Arten von Vorrichtungen, wurde dahin gehend entworfen, große Mengen an Informationen zu senden und zu empfangen. Heutzutage empfangen viele Computer Breitband-Internet, das im gesamten Privatbereich gesendet wird. Fernseher empfangen Mehrfach-Hochauflösung-Signale von Kabel- und Faseroptik.

[0003] Um die in Computern gespeicherten riesigen Datenmengen zu übertragen und an Fernseher und andere Elektronikvorrichtungen rundzusenden, werden die Daten mit immer höheren Geschwindigkeiten übertragen. Jedoch halten die Übertragungsraten mit der Explosion an Daten nicht Schritt. Um beispielsweise einen typischen hochauflösenden Film von 15 Gigabyte von einer optischen Platte an ein Heimunterhaltungssystem zu übertragen, müssen zwanzig Minuten lang 100 Megabits pro Sekunde übertragen werden. Für viele Nutzer kann es lästig sein, zum Übertragen eines Films 20 Minuten zu brauchen.

[0004] Desgleichen ist zwischen Prozessoren, Speicher, sonstigen Chips und Computerkarten in einem Computersystem eine Kommunikation höherer Bandbreite erforderlich. Eine Möglichkeit, die zum Bewegen großer Mengen digitaler Informationen zwischen Computerchips benötigte Zeit zu reduzieren, besteht darin, die Informationen mit höheren Geschwindigkeiten zu senden. Übertragungsgeschwindigkeiten,

die große Datenvolumina in angemessener Zeit bewegen können, sind bisher jedoch zu teuer, um in der Unterhaltungselektronik umfassend eingesetzt zu werden.

[0005] Die US 2006/0180762 A1 offenbart eine Strahlungsquelle, die einen Scheibenresonator aufweist, der für breitbandige Strahlung mit einem ersten planaren Wellenleiter gekoppelt ist. Ein zweiter planarer Wellenleiter ist für schmalbandige Strahlung mit dem Scheibenresonator gekoppelt.

[0006] Die US 2004/0114930 A1 offenbart einen wellenlängenselektiven Router für optische Signale, der wellenlängenselektive optische Filter und Multiplexer aufweist.

[0007] Die US 6052495 A zeigt einen Resonatormodulator, der einen rückgekoppelten optischen Resonator verwendet, der einen dielektrischen Hohlraum aufweist, dessen primäre Aufgabe darin besteht, optische Energie zu speichern.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0008] Fig. 1 veranschaulicht eine Querschnittsansicht eines elektrisch gepumpten Hybrid-III-V-Silizium-Mikroringlasersystems gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0009] Fig. 2 veranschaulicht eine Querschnittsansicht einer simulierten optischen Mode unter Verwendung der in Fig. 1 veranschaulichten Struktur gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0010] Fig. 3 veranschaulicht eine Draufsicht eines elektrisch gepumpten Mikroringlasersystems, das mit einem optischen Wellenleiter evaneszent gekoppelt ist, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0011] Fig. 4 veranschaulicht eine Querschnittsansicht eines elektrisch gepumpten Mikroringlasersystems, das einen trapezförmigen Puffer aufweist, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0012] Fig. 5 veranschaulicht eine Querschnittsansicht einer simulierten optischen Mode unter Verwendung der in Fig. 4 veranschaulichten Struktur gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; und

[0013] Fig. 6 veranschaulicht ein Flussdiagramm, das ein Verfahren zum Bilden eines elektrisch gepumpten Lasers zum Stimulieren von Licht einer ausgewählten Wellenlänge zeigt, gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG
EXEMPLARISCHER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

[0014] Optoelektronische Integration auf Silizium ist eine Technologie, die zum Bauen optischer Verbindungssysteme und anderer umfassender photonischer Systeme auf einem Chip verwendet wird. Integrierte photonische Systeme verwenden üblicherweise eine kostengünstigere und leicht zu integrierende elektrisch gepumpte Laserquelle. Jedoch ist Silizium durch seine grundlegenden Materialeigenschaften eingeschränkt und kann somit die beim Laserbetrieb verwendete elektrisch gepumpte optische Verstärkung nicht auf effiziente Weise bereitstellen. Deshalb kann eine Hybridintegration von Verstärkungsmaterial, z. B. auf einer Siliziumplattform befindlichen Halbleitern der Gruppe III–V, dazu verwendet werden, einen chipinternen elektrisch gepumpten Laser zu bauen.

[0015] Damit die integrierte elektrisch gepumpte Laserquelle vermarktet ist, muss der Vorgang des Integrierens des Verstärkungsmaterials der Gruppe III–V auf das Silizium relativ kostengünstig und einfach zu implementieren sein. Bei einem Ausführungsbeispiel liefert die vorliegende Erfindung ein System und Verfahren zum Herstellen eines Mikroringresonators, der als relativ kleine chipinterne Laserquelle verwendet werden kann, die bei Geschwindigkeiten von mehr als einem Gigahertz direkt moduliert werden kann. Eine einen Ringmodulator verwendende elektrisch gepumpte Laserquelle kann dazu verwendet werden, Informationen über einen Chip und anschließend chipextern an Wellenleiter und benachbarte elektronische Vorrichtungen zu senden. Die einen Ringmodulator verwendende elektrisch gepumpte Laserquelle kann relativ kostengünstig implementiert werden, da sie sich auf Waferbonding stützt, das keine kritische Ausrichtung bei dem Bondingschritt erfordert, wie dies üblicherweise beim Chipbonden erforderlich ist.

[0016] Fig. 1 veranschaulicht eine Querschnittsansicht eines elektrisch gepumpten Hybrid-III-V-Silizium-Mikroringlasersystems **100**. Bei diesem Beispiel ist ein Siliziumsubstrat **102** dahin gehend veranschaulicht, das Lasersystem zu halten. Andere Arten von Substraten, die bei Halbleiterherstellungsprozessen verwendet werden, werden als in dem Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung enthalten angesehen. Eine untere Ummantelung **104** kann auf dem Siliziumsubstrat gebildet sein. Ein Silizium-Mikroringresonator **105** kann auf der Oberfläche der unteren Ummantelung aufgebaut sein. Die untere Ummantelung wird dazu verwendet, Licht in dem Silizium-Mikroringresonator im Wesentlichen einzuschränken.

[0017] Die untere Ummantelung kann aus einem Material aufgebaut sein, das einen Brechungsindex aufweist, der geringer ist als der Brechungsindex des

Silizium-Mikroringresonators, und das bei der Wellenlänge von in den Resonator eingekoppeltem Licht im Wesentlichen transparent ist. Beispielsweise kann die untere Ummantelung unter Verwendung von Siliziumdioxid gebildet werden. Alternativ dazu kann die untere Ummantelung aus einem Material wie z. B. Siliziumnitrid oder einem anderen Material, das die obigen Anforderungen erfüllt, gebildet sein. Der Bereich innerhalb **120** und außerhalb **106** des Mikroringresonators kann ebenfalls aus einem Material gebildet sein, das einen Brechungsindex aufweist, der geringer ist als der Brechungsindex des Resonators, und das bei der Wellenlänge von in den Resonator eingekoppeltem Licht im Wesentlichen transparent ist. Bei einem Ausführungsbeispiel kann der Bereich innerhalb und außerhalb des Mikroringresonators aus Luft oder einem Vakuum gebildet sein. Alternativ dazu kann eine andere Substanz wie z. B. Siliziumdioxid oder Siliziumnitrid verwendet werden.

[0018] Der Silizium-Mikroringresonator **105** kann einen Radius aufweisen, der ungefähr proportional zu einer oder etwas kleiner als eine Wellenlänge des Lichts ist, das seitens des Mikroringresonators getragen wird. Alternativ dazu kann der Radius des Silizium-Mikroringresonators größer sein als die Wellenlänge des Lichts. Beispielsweise kann die Wellenlänge des Lichts 1,54 Mikrometer betragen, und der Radius des zum Tragen des Lichts konfigurierten Mikroringresonators kann etwa 3 Mikrometer betragen. Übliche Abmessungen für den Silizium-Mikroringresonator können von 2,5 Mikrometer bis zu mehreren zehn Mikrometern variieren, je nach der Wellenlänge des Lichts und anderen Entwurfsüberlegungen. Andere Wellenlängen von Licht können ebenfalls verwendet werden, z. B. die in der Telekommunikation gebräuchliche Wellenlänge von 1,31 Mikrometern. Der Silizium-Mikroringresonator kann dahin gehend entworfen sein, Wellenlängen von Licht zu führen, das von tiefem Infrarot bis zu ultraviolettem Licht reicht.

[0019] Ein PN-Übergang kann über eine Quantenmulde **112**, die mit dem Mikroringresonator **105** optisch gekoppelt ist, hinweg gebaut sein. Eine Quantenmulde ist eine Potentialmulde, die Träger, die sich ursprünglich in drei Dimensionen frei bewegen konnten, auf zwei Dimensionen beschränkt, wodurch sie sie zwingt, eine planare Region zu belegen. Aufgrund ihrer quasi zweidimensionalen Beschaffenheit weisen Elektronen in Quantenmulden eine schärfere Zustandsdichte auf als Vollmaterialien. Die Quantenmuldenstruktur wird dazu verwendet, die Zustandsdichte des Halbleiters zu verändern, und führt zu einem verbesserten Halbleiterlaser, der weniger Träger (Elektronen und Löcher) erfordert, um eine Laserschwelle zu erreichen, als andere Arten von Strukturen, beispielsweise eine herkömmliche Doppelheterostruktur. Die Quantenmulde kann aus einem Material der Gruppe III–V gebildet sein, beispielsweise

Indiumphosphid, Indiumgalliumarsenidphosphid und dergleichen. Bei den offenbarten Ausführungsbeispielen kann bzw. können eine einzelne oder mehrere Quantenmulden verwendet werden, wie einleuchten wird. Die Quantenmulde **112** kann mit einer Pufferschicht **108** wafergebondet sein. Ein Waferbonden der Quantenmulde mit der Pufferschicht kann für niedrigere Toleranzen bei der Hersteller der Vorrichtung sorgen, wie zuvor erörtert wurde.

[0020] Der durch die zwei Kontakte **108**, **114** gebildete PN-Übergang kann auch aus einem Material der Gruppe III-V gebildet sein, wobei das Material mit einem Träger dotiert ist. Bei einem Ausführungsbeispiel kann ein n-dotierter Kontakt **108** direkt auf dem Silizium-Mikroringresonator **105** platziert werden. Halter **118** können dazu verwendet werden, den n-dotierten Kontakt zu tragen. Die Quantenmulde **112** kann auf dem n-dotierten Kontakt platziert und kollinear mit dem Mikroringresonator ausgerichtet werden, um zu ermöglichen, dass die Quantenmulde mit dem Mikroringresonator optisch gekoppelt wird. Ein p-dotierter Kontakt **114** kann auf der dem n-dotierten Kontakt gegenüberliegenden Seite der Quantenmulde platziert werden, um einen PN-Übergang zu bilden. Bei einem Ausführungsbeispiel kann die Quantenmulde als intrinsische Schicht angesehen werden. Der p-Kontakt, der n-Kontakt und die Quantenmulde können dann als PIN-Übergang angesehen werden.

[0021] Elektroden **116** und **110** können gemäß der Darstellung in **Fig. 1** positioniert werden, um den PN-Übergang in Durchlassrichtung vorzuspannen, um Träger in der Quantenmulde **112** zu liefern. Bei einem Ausführungsbeispiel können die Elektroden aus einem metallischen Material gebildet sein. Alternativ dazu kann ein im Wesentlichen leitfähiges, nicht-metallisches Material oder ein Verbundwerkstoff dazu verwendet werden, Strom in die Quantenmulde zu injizieren. Die Mittelelektrode **116** kann mit dem p-Kontakt **114** gekoppelt und coaxial mit der Quantenmulde und Mikroringresonator **105** positioniert sein. Ein Abstand **117** zwischen dem Außenrand der Mittelelektrode und dem Innenrand des Mikroringresonators kann etwa 0,3 bis 1,0 Mikrometer betragen. Eine Außenelektrode **110** kann sich außerhalb des Mikroringresonators befinden. Die Außenelektrode kann einen Abstand **113** von 0,5 bis 1,0 Mikrometer von der Quantenmulde aufweisen. Die kombinierte Dicke **115** des n-Kontakts **108**, der Quantenmulde **112** und des p-Kontakts kann ungefähr 0,2 bis 0,4 Mikrometer betragen. Die Elektroden können dazu verwendet werden, den PN-Übergang in Durchlassrichtung vorzuspannen und Strom in die Quantenmulde zu injizieren. Natürlich können der n- und der p-dotierte Kontakt umgeschaltet werden, und die Vorspannung kann umgekehrt werden, um dasselbe Ergebnis zu erzielen.

[0022] Bei früheren elektrisch gepumpten Diodenlasern weisen die Elektroden, die das Halbleitermaterial berühren, hohe optische Verluste auf. Deshalb sind die Elektroden üblicherweise von der optischen Mode des Resonators isoliert. Dies bedeutet, dass die Elektroden mehrere Mikrometer von der Mitte des optischen Resonators entfernt platziert werden müssen. Bei dem in **Fig. 1** veranschaulichten elektrisch gepumpten Lasersystem **100** ist das Quantenmulde **112**-Verstärkungsmedium auf dem siliziumbasierten Mikroringresonator **105** gebondet.

[0023] Eine Modenisolierung von einer oberen Elektrode verwendet üblicherweise eine relativ dicke Pufferschicht zwischen der Quantenmulde und der Mittelelektrode. Diese Pufferschicht weist einen Brechungsindex auf, der nahe bei dem von Silizium liegt. Das Vorliegen dieser dicken Pufferschicht kann die Fähigkeit, Licht in einem Mikroringresonator zu beschränken, beträchtlich einschränken, da sich die optische Mode in diese Pufferschicht hinein ausbreitet, statt dem stark gebogenen Pfad des Mikroringresonators zu folgen. Frühere Versuche, dieses Problem zu überwinden, beinhalteten ein Bauen eines Ringresonators mit einem Umfang von über 2 Millimetern. Ein Ringresonator dieser Größe ist für eine Integration in einen Mikrochip ziemlich groß. Außerdem kann ein großer Ringresonator üblicherweise nicht bei einer ausreichend hoher Geschwindigkeit moduliert werden, die für chipinterne und -externe Kommunikationen benötigt wird.

[0024] Die in **Fig. 1** veranschaulichte Struktur befähigt die Mittelelektrode **116**, von der Quantenmulde **112** isoliert zu werden, indem die Elektroden in der horizontalen Richtung verschoben werden. Eine der Kontaktelektroden (die p-Elektrode **116** in **Fig. 1**) wird in den Siliziumring platziert. Die andere Elektrode wird außerhalb des Rings platziert, wie zuvor erörtert wurde. Beide Elektroden sind in einem Abstand von ungefähr 0,3 bis 1,0 Mikrometern von dem Siliziumring **105**, wo die optische Mode geführt wird, angeordnet. Dies ermöglicht, dass eine relativ dünne Schicht aus einem Material der Gruppe III-V auf dem Siliziumring angeordnet ist, um sich mit der optischen Mode zu überlappen und um die optische Verstärkung zu liefern, die zum Erzielen eines Lasers nötig ist. Diese dünne Verstärkungsschicht beeinflusst die Fähigkeit der optischen Mode, sich zu biegen und in Mikroringhohlräumen eingeschlossen zu bleiben, nicht beträchtlich. Modellbildung und Simulation haben gezeigt, dass der Mikroringresonator mit der in **Fig. 1** veranschaulichten Struktur einen Radius von 2,5 Mikrometern oder weniger aufweisen kann.

[0025] **Fig. 2** veranschaulicht eine Querschnittsansicht einer simulierten optischen Mode unter Verwendung der in **Fig. 1** veranschaulichten Struktur. Eine erste Seite des Silizium-Mikroringresonators **105** ist dahin gehend gezeigt, dass die optische Mode **202**

im Wesentlichen in dem Silizium-Mikroringresonator getragen wird. Die tatsächliche Größe der optischen Mode hängt von der Art der Mode, die durch den Mikroringresonator gehalten wird, und von der Wellenlänge des Lichts in dem Resonator ab. Ein Teil der optischen Mode kann sich durch den n-Kontakt **108** und in die Quantenmulde **112** hinein erstrecken. Wie zuvor erörtert wurde, kann die Quantenmulde eine Einzel- oder Mehrfach-Quantenmuldenkonfiguration sein. Der Teil der optischen Mode, der sich in die Quantenmulde hinein erstreckt, kann verstärkt werden, während der PN-Übergang in Durchlassrichtung vorgespannt wird, um Strom in die Quantenmulde zu leiten und den Teil der optischen Mode, der mit der Quantenmulde gekoppelt ist, elektrisch zu pumpen. Das Licht in der Quantenmulde wird verstärkt und zu dem Resonator zurückgeleitet. Die optische Mode kann mit der Quantenmulde evaneszent gekoppelt werden.

[0026] Fig. 3 veranschaulicht eine Draufsicht auf das elektrisch gepumpte Hybrid-III-V-Silizium-Mikroringlasersystem **100**. Die Mittelelektrode **116** ist in der Mitte des Mikroringresonators **105** gezeigt. Ein Teil des n-Kontakts **108** ist zwischen der Mittelelektrode **116** und der Außenelektrode **110** gezeigt. Ein optischer Wellenleiter **302** kann in der Nähe des Lasersystems angeordnet sein, um dem verstärkten Licht in dem Mikroringresonator zu ermöglichen, evaneszent in den Wellenleiter eingekoppelt zu werden. Bei einem Ausführungsbeispiel kann ein Umwicklungswellenleiter dazu verwendet werden, die Menge an Licht, das sich von dem Lasersystem in den Wellenleiter evaneszent einkoppelt, zu erhöhen. Der Wellenleiter kann in einem Abstand **306** von weniger als einem Drittel der Wellenlänge des Lichts platziert sein. Bei einem Ausführungsbeispiel kann der Wellenleiter in einem Abstand von 0,200 Mikrometer (200 Nanometer) von dem Mikroringresonator **105** platziert sein. Die Breite **304** des Wellenleiters kann in der Größenordnung von 0,450 bis 0,500 Mikrometern liegen. Der Wellenleiter kann dazu verwendet werden, Licht weg **308** von dem Laserresonator zu anderen Teilen einer integrierten Schaltung oder zu nahegelegenen Chips oder anderen Komponenten auf einer Schaltungsplatine zu tragen.

[0027] Die Struktur des elektrisch gepumpten Hybrid-III-V-Silizium-Mikroringlasersystems **100** liefert mehrere Vorteile gegenüber früheren Hybridlasersystemen. Erstens ermöglicht die kompakte Größe des Lasers eine umfassende Integration einer großen Anzahl der Laser-auf-Chip-Systeme, ohne dass sehr viel Platz auf dem Chip eingenommen wird. Zweitens kann der Silizium-Mikroringresonator **105** unter Verwendung von CMOS-kompatiblen Techniken der Industriennorm hergestellt werden. Drittens ermöglicht das geringe Volumen des Mikroringresonators eine leistungsarme, direkte Modulation des Lasers mit hoher Geschwindigkeit (> 1 GHz), indem ein modulier-

tes Signal an den die Quantenmulde umgebenden PN-Übergang angelegt wird. Dadurch können Daten auf kostengünstige Weise mit relativ hohen Raten übertragen werden, wodurch Bandbreitenengpässe, die bei integrierten elektrischen Systemen auftreten, verringert oder eliminiert werden. Viertens liefert der Mikroringresonator **105** eine viel größere Longitudinalmode-Beabstandung als andere Hybridsiliziumlaserkonfigurationen wie z. B. die Rennbahnkonfiguration. Die Longitudinalmodenbeabstandung ist umgekehrt proportional zu der Länge des Mikroringresonators. Die größere Modenbeabstandung kann ein Einfach-Longitudinalmode-Lasern ermöglichen, was zu einer viel höheren Qualität des aus dem Mikroringresonator ausgehenden Laserlichts führt.

[0028] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel ist in Fig. 4 eine zusätzliche Struktur für ein elektrisch gepumptes Hybrid-III-V-Silizium-Mikroringlasersystem **400** veranschaulicht. Das bei der Querschnittsveranschaulichung der Fig. 4 veranschaulichte Ausführungsbeispiel umfasst ein Substrat **402**, das mit einer unteren Ummantelung **404** gekoppelt ist, die mit einem Silizium-Mikroringresonator **405** optisch gekoppelt ist. Die untere Ummantelungsschicht ist aus einem Material gebildet, das einen Brechungsindex aufweist, der geringer ist als der Brechungsindex des Silizium-Mikroringresonators, und das bei einer Wellenlänge von Laserlicht in dem Mikroringresonator im Wesentlichen optisch transparent ist. Bezüglich des Resonators sind ein innerer Zwischenraum **420** und ein äußerer Zwischenraum **406** gezeigt. Der innere und der äußere Zwischenraum können aus einem Material gebildet sein, das einen Brechungsindex aufweist, der geringer ist als der Brechungsindex des Silizium-Mikroringresonators, und das bei einer Wellenlänge von Laserlicht in dem Resonanzhohlraum im Wesentlichen optisch transparent ist, z. B. Luft, Vakuum, Siliziumdioxid, Siliziumnitrid und dergleichen.

[0029] Es ist ein trapezförmiger Puffer **414** gezeigt, der aus einem Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet und mit einem ersten Trägertyp dotiert ist. Der Träger kann entweder ein Träger vom n-Typ oder ein Träger vom p-Typ sein. Der trapezförmige Puffer **414** ist mit der Quantenmulde **412** optisch gekoppelt. Ein aus einem Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildeter und mit einem zweiten Träger, der eine zu dem ersten Träger entgegengesetzte Ladung aufweist, dotierter zweiter Puffer **408** ist zwischen einer Quantenmulde **412** und dem Silizium-Mikroringresonator **405** angeordnet. Der zweite Puffer weist eine ausreichende Länge auf, um mit beiden Seiten des Silizium-Mikroringresonators eine Schnittstelle zu bilden.

[0030] Der trapezförmige Puffer **414** und der zweite Puffer **408** sind dazu konfiguriert, einen PN-Übergang zu bilden, wobei die Quantenmulde **412** zwi-

schen dem trapezförmigen Puffer und dem zweiten Puffer angeordnet ist. Der PN-Übergang liefert Träger, die in die Quantenmulde injiziert werden sollen, um für Licht in dem Silizium-Mikroringresonator **405** eine optische Verstärkung zu liefern.

[0031] Eine Ringelektrode **410** ist mit einem schmalen Ende des trapezförmigen Puffers **414** elektrisch gekoppelt. Die Ringelektrode kann aus Metall oder einem sonstigen äußerst leitfähigen Material oder Verbundwerkstoff gebildet sein. Das breite Ende des trapezförmigen Puffers befindet sich in direktem Kontakt mit der Quantenmulde **412**. Die Quantenmulde, der trapezförmige Puffer und die Ringelektrode bilden allesamt einen Ring oberhalb des Silizium-Mikroringresonators **405**. Eine Mittelelektrode **416** ist in der Nähe einer Mitte des Mikroringresonators platziert und berührt den oben auf dem Resonator befindlichen zweiten Puffer **408**. Die Position der Mittelelektrode ermöglicht, dass Träger in die Quantenmulde injiziert werden, indem zwischen der Mittelelektrode und der Ringelektrode ein Vorspannungspotential angelegt wird.

[0032] Der trapezförmige Puffer **414** kann eine Trapez- oder Dreiecksform aufweisen. Der Puffer kann unter Verwendung beispielsweise eines schwach anisotropen Ätzzvorgangs gebildet werden. Bei einem Ausführungsbeispiel kann der Puffer geätzt werden, um eine Mehrzahl von Ebenen zu bilden, wobei jede ansteigende Ebene eine abnehmende Länge aufweist, um einen pyramidenförmigen Puffer zu bilden.

[0033] Fig. 5 veranschaulicht eine Querschnittsansicht einer simulierten optischen Mode unter Verwendung der in Fig. 4 veranschaulichten Struktur. Eine Seite des Silizium-Mikroringresonators **405** ist dahin gehend dargestellt, dass ein Teil der optischen Mode **502** in dem Silizium-Mikroringresonator getragen wird. Die tatsächliche Größe der optischen Mode hängt von der Art der Mode, die durch den Mikroringresonator gehalten wird, und der Wellenlänge des Lichts in dem Resonator ab. Ein Teil der optischen Mode kann sich durch den n-Kontakt **408** hindurch in die Quantenmulde **412** und in den trapezförmigen Puffer **414** hinein erstrecken. Man sollte beachten, dass der trapezförmige Puffer unter Verwendung einer Mehrzahl geätzter Stufen erzeugt werden kann, um einen pyramidenförmigen Puffer zu bilden.

[0034] Wie in Fig. 5 veranschaulicht ist, liefert das in Fig. 4 gezeigte System bezüglich der Menge der optischen Mode **502**, die sich in der Quantenmulde **412** befindet, eine beträchtliche Verbesserung gegenüber dem in Fig. 1 gezeigten System. Die Dicke des Mikroringresonators **405**, des zweiten Puffers **408** und der Quantenmulde **412** zusammen mit der Höhe und der Form des trapezförmigen Puffers **414** können ermöglichen, dass der Bereich der optischen Mode, der die größte Menge an elektromagnetischer Ener-

gie aufweist, in der Quantenmulde positioniert wird. Ein Aufbau des Systems derart, dass die höchste Dichte der optischen Mode in der Quantenmulde angeordnet ist, liefert eine beträchtliche Verbesserung der Effizienz des Lasers. Der Beschränkungsfaktor der Fundamentalmode in der Quantenmulde liegt bei etwa 35%, beträchtlich höher als bei anderen Arten von Gruppe-III-V-Silizium-Hybridlasersystemen. Die Form der in Fig. 5 veranschaulichten Struktur ermöglicht, dass die optische Mode direkt mit der Quantenmulde **412** und dem trapezförmigen Puffer **414** gekoppelt wird. Die direkte optische Kopplung liefert eine optische Mode mit wesentlich höherer Leistung, als sie mittels einer evaneszenten Kopplung zwischen dem Silizium-Mikroringresonator **405** und der Quantenmulde erzielt werden kann.

[0035] Die Form des trapezförmigen Puffers **414** kann dahin gehend ausgewählt werden, den Beschränkungsfaktor der optischen Mode zu maximieren. Ein trapezförmiger Puffer mit einem schmaleren oberen Ende bewegt die Fundamentalmode nach unten. Umgekehrt ermöglicht ein trapezförmiger Puffer mit einem breiteren oberen Ende, dass die Fundamentalmode innerhalb des trapezförmigen Puffers höher positioniert wird. Außerdem liefert die in Fig. 5 veranschaulichte Struktur lediglich eine einzelne verlustarme Mode, die transversal-elektrische Fundamentalmode (TE-Fundamentalmode). Aufgrund der Form des trapezförmigen Puffers geht an dem Puffer-Elektrode-Übergang eine beträchtlich verringerte Menge an Licht verloren. Tests haben gezeigt, dass ein Verlust bei einer Mittelelektrode **410** aus Aluminium etwa 0,4 dB/cm beträgt.

[0036] Die TE-Polarisierung weist eine hohe optische Verstärkung aus der Quantenmulde auf. Die transversal-magnetische(TM-)Mode und Moden höherer Ordnung weisen Verluste auf, die zwei Größenordnungen höher sind als bei der TE-Fundamentalmode. Deshalb lasert nur die TE-Fundamentalmode. Im Wesentlichen der gesamte Quantenmuldenbereich weist eine effektive Interaktion mit der optischen Mode auf. Deshalb wird eine beträchtliche Menge des in die Quantenmulde injizierten Pumpstroms dazu verwendet, Photonen zu stimulieren, was zu einer im Wesentlichen hohen Pumpeffizienz führt. Der Beschränkungsfaktor der optischen Mode **502** in der Quantenmulde **412** kann mehr als 35 Prozent betragen. Üblichere Beschränkungspegel können von 20 Prozent bis nahe 40 Prozent variieren. Stimuliertes Licht von dem in Fig. 4 und Fig. 5 veranschaulichten Silizium-Mikroringresonator kann durch evaneszentes Koppeln mit einem Wellenleiter gekoppelt werden, wie zuvor in Fig. 3 erörtert und gezeigt wurde.

[0037] Bei einem anderen Ausführungsbeispiel ist ein Verfahren **600** zum Bilden eines elektrisch gepumpten Lasers zum Stimulieren von Licht einer aus-

gewählten Wellenlänge offenbart, wie in **Fig. 6** gezeigt ist. Das Verfahren umfasst den Vorgang des Bildens **610** eines Silizium-Mikroringresonators auf einer unteren Ummantelung, die einen Brechungsindex aufweist, der geringer ist als ein Brechungsindex des Silizium-Mikroringresonators. Das Verfahren umfasst ferner den Vorgang des Aneinanderfügens **620** einer ersten Pufferschicht und des Silizium-Mikroringresonators. Die erste Pufferschicht wird aus einem mit einem ersten Trägertyp dotierten Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet. Ein zusätzlicher Vorgang beinhaltet ein Befestigen **630** einer Quantenmulde an der ersten Pufferschicht, wobei die Quantenmulde mit dem Silizium-Mikroringresonator optisch gekoppelt ist.

[0038] Das Verfahren **600** beinhaltet ferner ein Verbinden **640** einer zweiten Pufferschicht mit der Quantenmulde. Die zweite Pufferschicht kann aus einem Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet sein, das mit einem zweiten Trägertyp dotiert ist, der eine zu dem ersten Trägertyp entgegengesetzte Ladung aufweist. Die zweite Pufferschicht kann eine trapezförmige Form aufweisen, die einen mit der Quantenmulde gekoppelten breiten Bereich und einen dem breiten Bereich gegenüberliegenden schmalen Bereich aufweist. Das Verfahren umfasst ferner ein Aneinanderfügen **650** einer Ringelektrode und des schmalen Bereichs der trapezförmigen zweiten Pufferschicht. Ein zusätzlicher Vorgang sieht ein Aufnehmen **660** einer Mittelelektrode um eine Mitte des Silizium-Mikroringresonators vor, um zu ermöglichen, dass Träger in die Quantenmulde zwischen der Mittelelektrode und der Ringelektrode injiziert werden, um eine Verstärkung des Lichts der ausgewählten Wellenlänge zu liefern.

[0039] Obwohl die vorstehenden Beispiele die Prinzipien der vorliegenden Erfindung bei einer oder mehreren bestimmten Anwendungen veranschaulichen, wird Fachleuten einleuchten, dass ohne die Ausübung einer erfinderischen Fähigkeit und ohne von den Prinzipien, und Konzepten der Erfindung abzuweichen, zahlreiche Modifikationen bezüglich Form, Nutzung und Einzelheiten der Implementierung vorgenommen werden können. Demgemäß ist nicht beabsichtigt, dass die Erfindung auf andere Weise eingeschränkt werde als durch die nachstehend dargelegten Patentansprüche.

Patentansprüche

1. Ein elektrisch gepumptes Hybrid-III-V-Gruppe- und-Silizium-Lasersystem, das Folgendes umfasst: einen Silizium-Mikroringresonator (**405**); eine Quanten-Mulde (**412**), die aus einem Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet und mit dem Silizium-Mikroringresonator (**405**) optisch gekoppelt ist, um eine optische Verstärkung zu liefern;

einen trapezförmigen Puffer (**414**), der aus einem Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet ist, das mit einem ersten Trägertyp dotiert ist, wobei der trapezförmige Puffer (**414**) mit der Quantenmulde (**412**) optisch gekoppelt ist;

eine mit dem trapezförmigen Puffer (**414**) gekoppelte Ringelektrode (**410**), wobei der trapezförmige Puffer (**414**) ermöglicht, dass die Ringelektrode (**410**) von einer optischen Mode des Mikroringresonators (**405**) im Wesentlichen isoliert ist;

einen zweiten Puffer (**408**), der aus einem Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet ist, das mit einem zweiten Trägertyp dotiert ist, der eine zu dem ersten Trägertyp entgegengesetzte Ladung aufweist, wobei der zweite Puffer (**408**) zwischen der Quantenmulde (**412**) und dem Silizium-Mikroringresonator (**405**) angeordnet ist; und

eine Mittelelektrode (**416**), die mit dem zweiten Puffer (**408**) gekoppelt ist, um zu ermöglichen, dass Träger in die Quantenmulde (**412**) injiziert werden, indem zwischen der Mittelelektrode (**416**) und der Ringelektrode (**405**) ein Vorspannungspotential angelegt wird, wobei die Quantenmulde (**412**), der trapezförmige Puffer (**414**) und die Ringelektrode (**410**) einen Ring auf der von dem Silizium-Mikroringresonator (**405**) abgewandten Seite des zweiten Puffers (**408**) bilden, wobei sich die Mittelelektrode (**416**) durch den Ring zu dem zweiten Puffer (**408**) erstreckt und in Draufsicht auf den Silizium-Mikroringresonator (**405**) innerhalb eines inneren Rands des Silizium-Mikroringresonators (**405**) angeordnet und von dem inneren Rand beabstandet ist.

2. Das System gemäß Anspruch 1, bei dem eine Höhe des Silizium-Mikroringresonators (**405**), des zweiten Puffers (**408**), der Quantenmulde (**412**) und des trapezförmigen Puffers (**414**) dahin gehend ausgewählt ist, zu ermöglichen, dass sich eine einzelne transversal-elektrische (TE-)Fundamentalmode eines Laserlichts in dem Resonator (**405**) ausbreitet, wobei sich eine maximale Menge an elektromagnetischer Energie in der TE-Mode in der Quantenmulde (**412**) befindet, um eine erhöhte Verstärkung von Laserlicht in der Quantenmulde (**412**) zu liefern.

3. Das System gemäß Anspruch 1, bei dem der trapezförmige Puffer (**414**) aus einer Mehrzahl von Ebenen gebildet ist, wobei jede ansteigende Ebene eine abnehmende Länge aufweist, um einen pyramidenförmigen Puffer zu bilden.

4. Das System gemäß Anspruch 3, bei dem der pyramidenförmigen Puffer durch Ätzen einer Mehrzahl von Stufen gebildet wird, um die Mehrzahl von Ebenen zu bilden.

5. Das System gemäß Anspruch 1, das ferner eine unter dem Silizium-Mikroringresonator (**405**) angeordnete untere Ummantelungsschicht (**404**) umfasst, wobei die untere Ummantelungsschicht (**404**) aus ei-

nem Material gebildet ist, das einen Brechungsindex aufweist, der geringer ist als der Brechungsindex des Silizium-Mikroringresonators (405), und das bei einer Wellenlänge von Laserlicht in dem Mikroringresonator (405) im Wesentlichen optisch transparent ist.

6. Das System gemäß Anspruch 1, das ferner einen optischen Wellenleiter (302) umfasst, der nahe genug bei dem Silizium-Mikroringresonator (405) angeordnet ist, um zu ermöglichen, dass Laserlicht aus dem Mikroringresonator (405) evaneszent mit dem optischen Wellenleiter (302) gekoppelt wird.

7. Ein Verfahren zum Bilden eines elektrisch gepumpten Hybrid-III-V-Gruppe-und-Silizium-Lasers zum Stimulieren von Licht einer ausgewählten Wellenlänge, umfassend:

Bilden eines Silizium-Mikroringresonators (405) auf einer unteren Ummantelung (404), die einen Brechungsindex aufweist, der geringer ist als ein Brechungsindex des Silizium-Mikroringresonators (405); Aneinanderfügen einer ersten Pufferschicht (408) und des Silizium-Mikroringresonators (405), wobei die erste Pufferschicht (408) aus einem mit einem ersten Trägertyp dotierten Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet ist;

Befestigen einer Quantenmulde (412) an der ersten Pufferschicht (408), wobei die Quantenmulde mit dem Silizium-Mikroringresonator (405) optisch gekoppelt ist;

Verbinden einer zweiten Pufferschicht (414) mit der Quantenmulde (412), wobei die zweite Pufferschicht (414) aus einem Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet ist, das mit einem zweiten Trägertyp dotiert ist, der eine zu dem ersten Trägertyp entgegengesetzte Ladung aufweist, und die zweite Pufferschicht (414) eine Trapezform aufweist, die einen mit der Quantenmulde (412) gekoppelten breiten Bereich und einen schmalen Bereich aufweist;

Aneinanderfügen einer Ringelektrode (410) und des schmalen Bereichs der trapezförmigen zweiten Pufferschicht (414); und

Aufnehmen einer Mittelelektrode (416) in der Nähe einer Mitte des Silizium-Mikroringresonators (405), um zu ermöglichen, dass Träger in die Quantenmulde (412) zwischen der Mittelelektrode (416) und der Ringelektrode (410) injiziert werden, um eine Verstärkung des Lichts der ausgewählten Wellenlänge zu liefern,

wobei die Quantenmulde (412), die zweite Pufferschicht (414) und die Ringelektrode (410) einen Ring auf der von dem Silizium-Mikroringresonators (405) abgewandten Seite des zweiten Puffers (408) bilden, wobei sich die Mittelelektrode (416) durch den Ring zu dem zweiten Puffer (408) erstreckt und in Draufsicht auf den Silizium-Mikroringresonator (405) innerhalb eines inneren Rands des Silizium-Mikroringresonators (405) angeordnet und von dem inneren Rand beabstandet ist.

8. Ein Verfahren gemäß Anspruch 7, das ferner ein Bilden der Trapezform der zweiten Pufferschicht (414) durch Ätzen einer Mehrzahl von Ebenen umfasst, wobei jede ansteigende Ebene eine abnehmende Länge aufweist, um einen pyramidenförmigen Puffer zu bilden.

9. Ein Verfahren gemäß Anspruch 7, das ferner ein Bilden der Trapezform der zweiten Pufferschicht (414) umfasst, die mit einem schmaleren oberen Abschnitt gebildet ist, um eine einzelne TE-Fundamentalmode derart zu leiten, dass sich die maximale Menge elektromagnetischer Energie in der einzelnen TE-Fundamentalmode in der Quantenmulde (412) befindet, um eine erhöhte Verstärkung des Lichts in der Quantenmulde (412) zu liefern.

10. Ein Verfahren gemäß Anspruch 7, das ferner ein Positionieren eines optischen Wellenleiters (302) nahe genug bei dem Silizium-Mikroringresonator (405) umfasst, um zu ermöglichen, dass das Licht in dem Silizium-Mikroringresonator (405) evaneszent mit dem optischen Wellenleiter (302) gekoppelt wird, um zu ermöglichen, dass Laserlicht aus dem Silizium-Mikroringresonator (405) geleitet wird.

11. Ein elektrisch gepumptes Hybrid-III-V-Gruppe-und-Silizium-Lasersystem, das Folgendes umfasst: einen Silizium-Mikroringresonator (105);

eine Quantenmulde (112), die aus einem Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet und mit dem Silizium-Mikroringresonator (105) optisch gekoppelt ist, um eine optische Verstärkung zu liefern;

einen ersten Puffer (114), der aus einem mit einem ersten Trägertyp dotierten Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet ist, wobei der erste Puffer (114) mit der Quantenmulde (112) gekoppelt ist;

einen zweiten Puffer (108), der aus einem mit einem zweiten Trägertyp dotierten Halbleitermaterial der Gruppe III-V gebildet ist, wobei sich der zweite Puffer (108) zwischen der Quantenmulde (112) und dem Silizium-Mikroringresonator (105) befindet;

eine Mittelelektrode (116), die sich an einer Mitte des Silizium-Mikroringresonators (105) befindet und an einer von dem Silizium-Mikroringresonator (105) abgewandten Seite mit dem ersten Puffer (114) gekoppelt ist, wobei der erste Puffer (114) ermöglicht, dass die Mittelelektrode (116) von einer optischen Mode des Mikroringresonators (105) im Wesentlichen isoliert ist,

wobei die Mittelelektrode (116) in Draufsicht auf den Silizium-Mikroringresonator (105) innerhalb eines inneren Rands des Silizium-Mikroringresonators (105) angeordnet und von dem inneren Rand beabstandet ist.

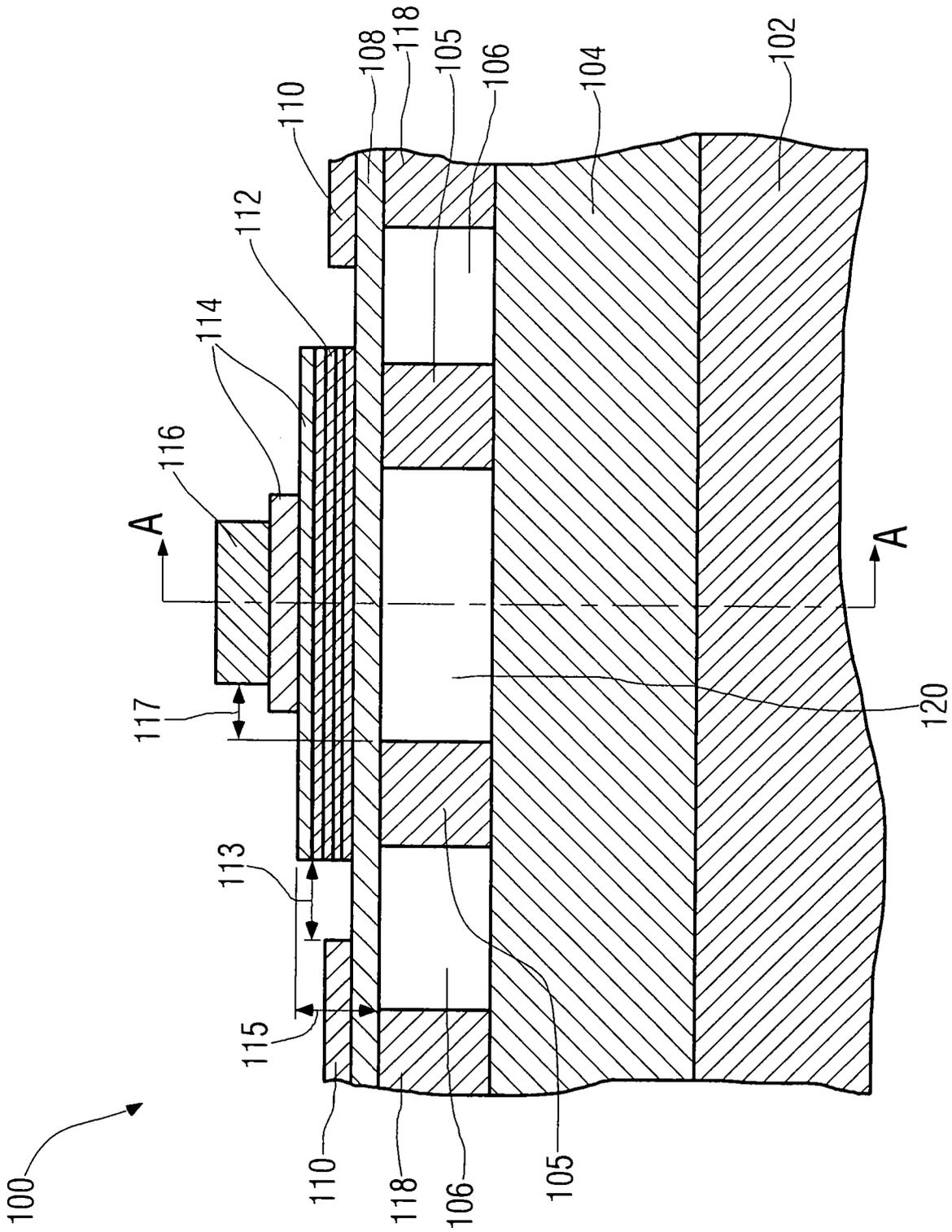
12. Das System gemäß Anspruch 11, das ferner eine Außenelektrode (110) umfasst, die mit dem zweiten Puffer (108) gekoppelt ist und in einem ausge-

wählten Abstand von dem Mikroringresonator (**105**) angeordnet ist.

13. Das System gemäß Anspruch 11, das ferner einen optischen Wellenleiter (**302**) umfasst, der nahe genug bei dem Silizium-Mikroringresonator (**105**) angeordnet ist, um zu ermöglichen, dass Laserlicht aus dem Mikroringresonator (**105**) evaneszent mit dem optischen Wellenleiter (**302**) gekoppelt wird.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



FIGUR 1

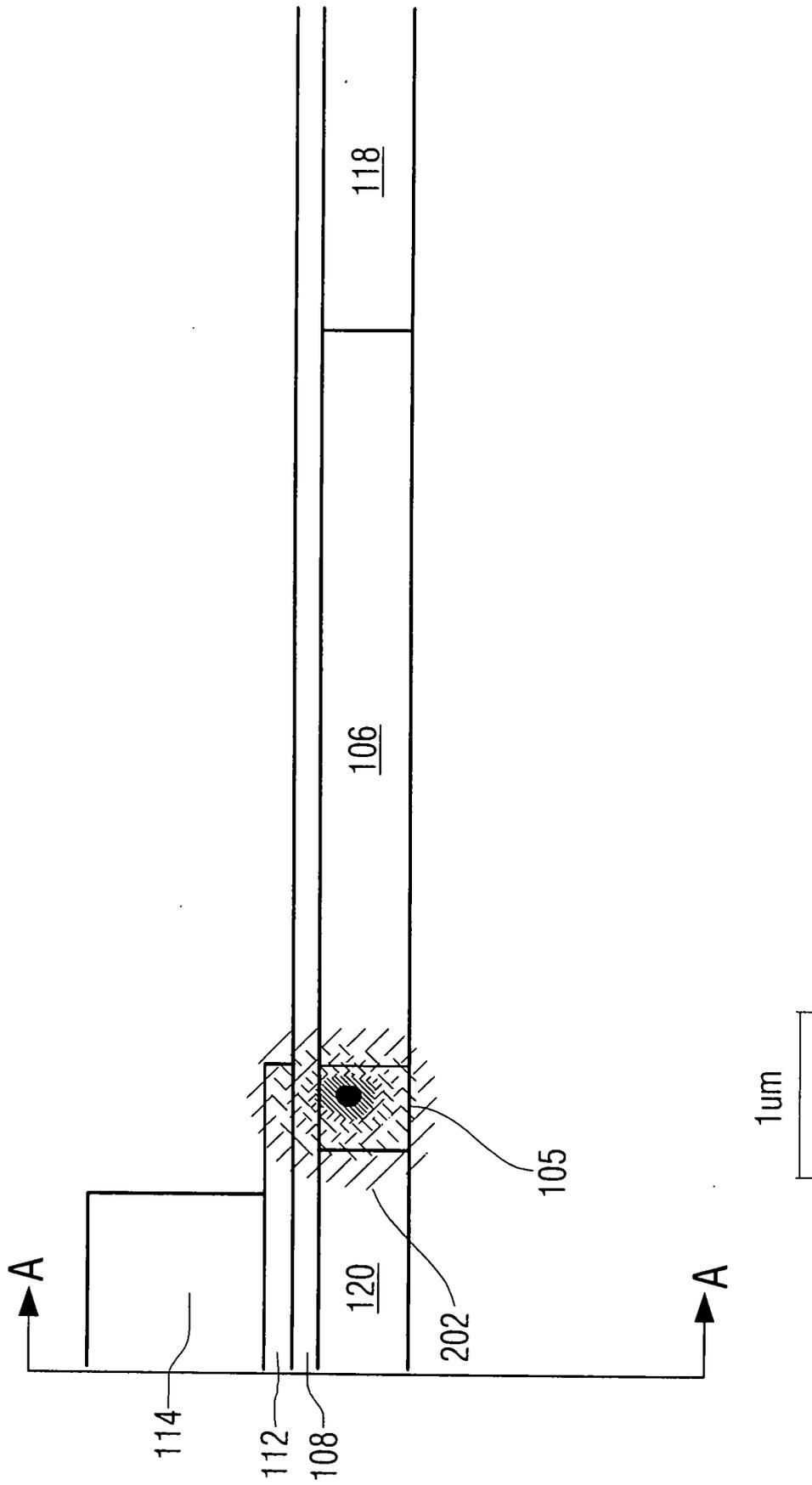
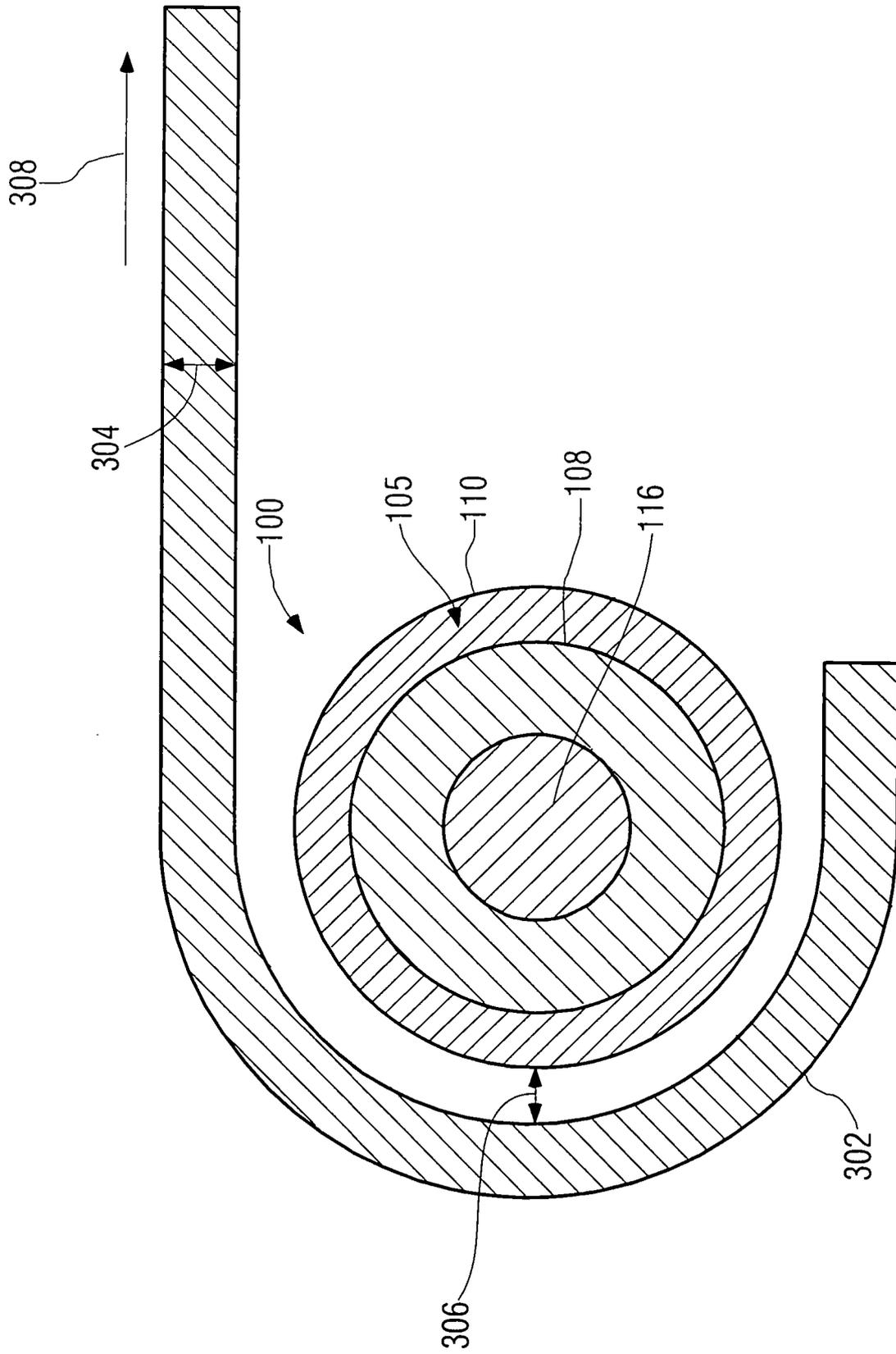
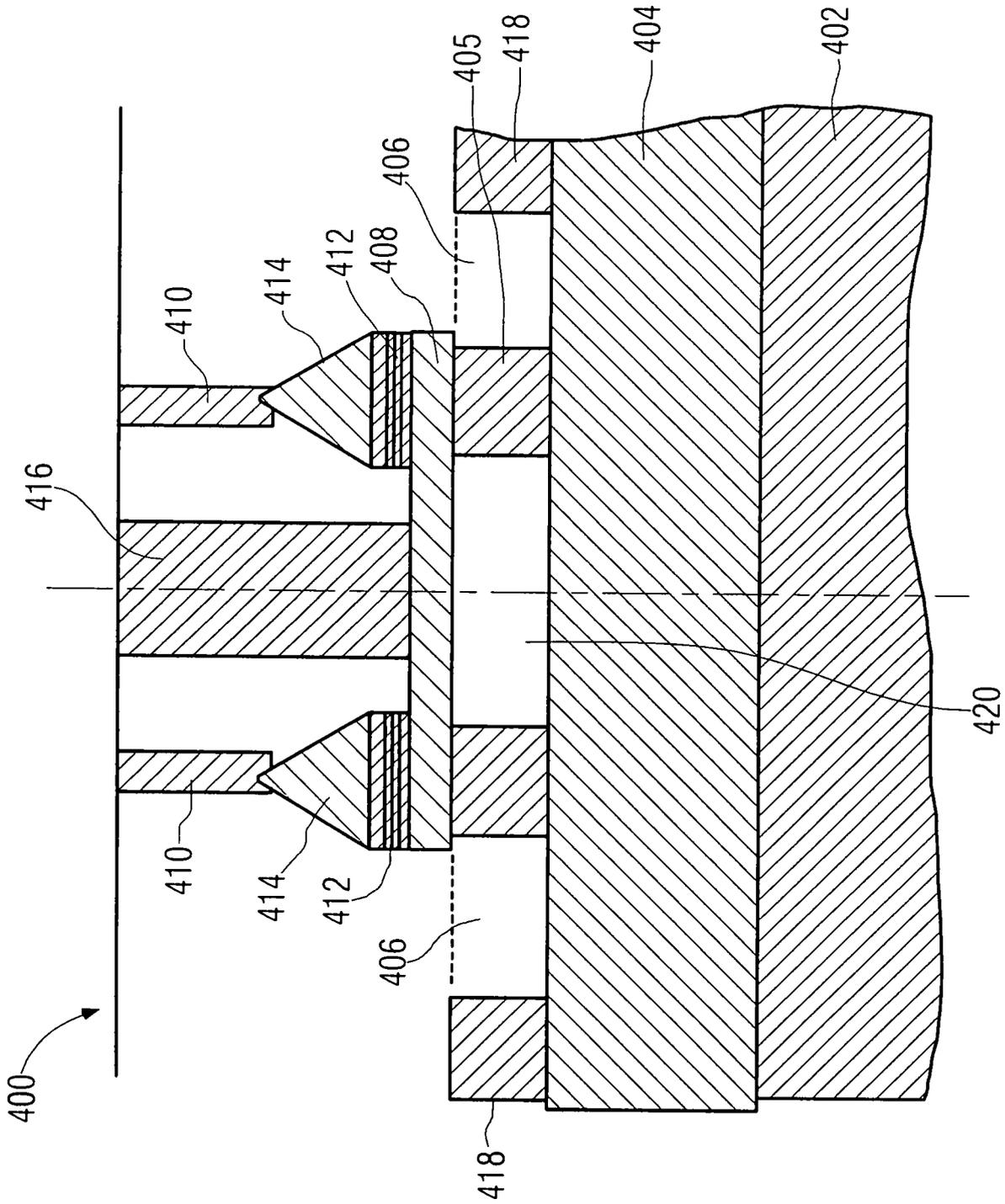


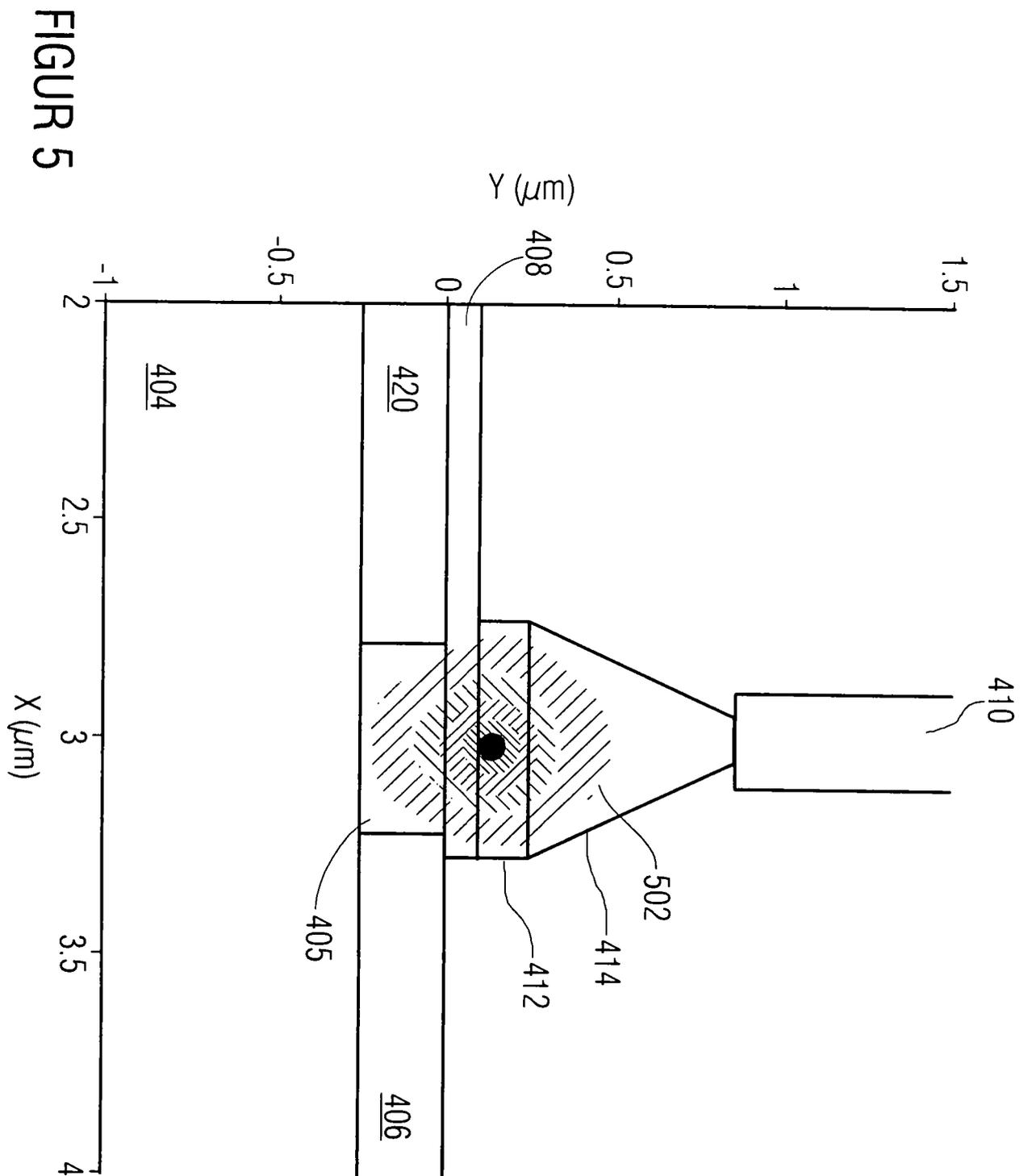
FIGURE 2



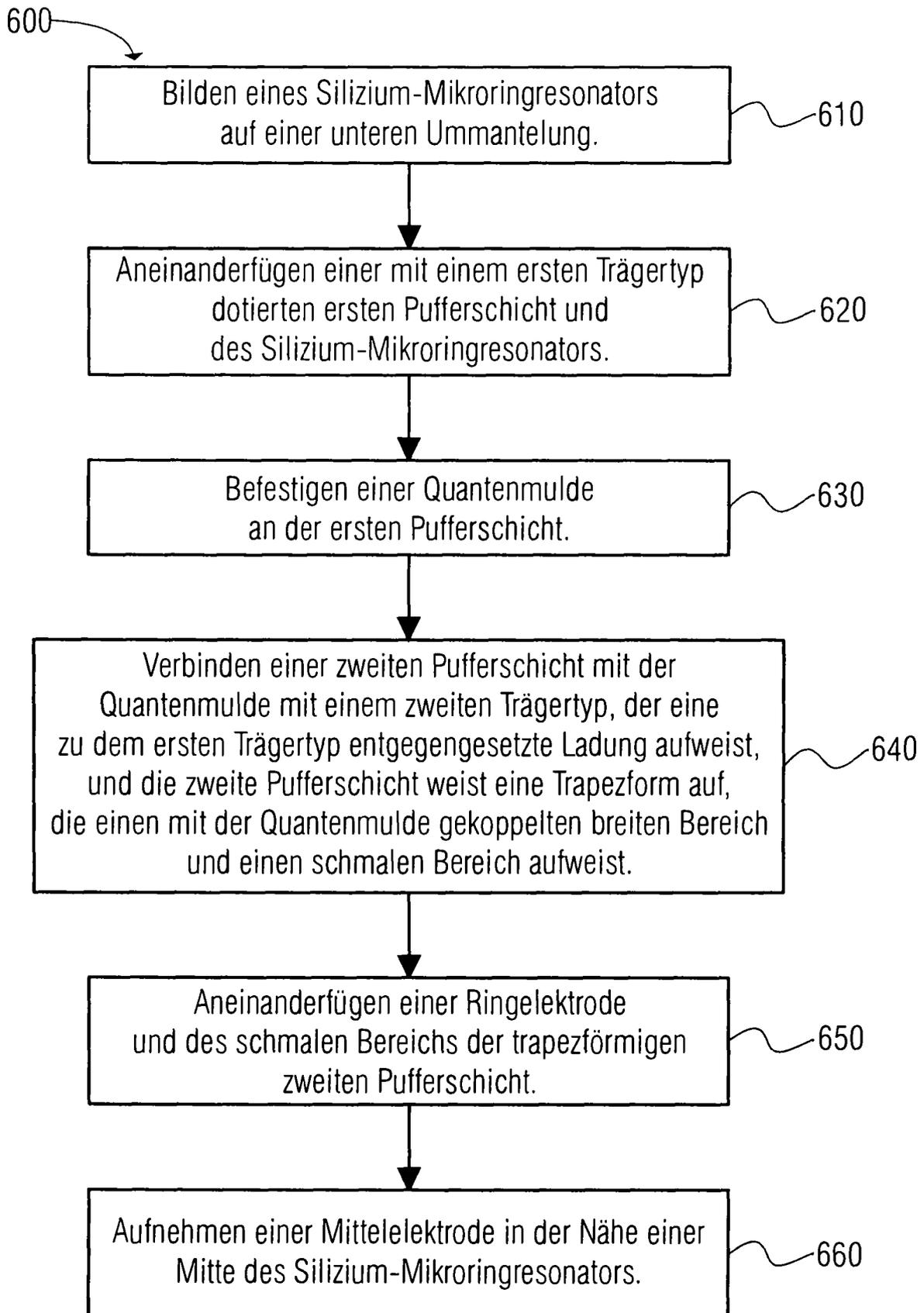
FIGUR 3



FIGUR 4



FIGUR 5



FIGUR 6