



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 54 909 B4 2004.10.07**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 54 909.5**
 (22) Anmeldetag: **25.11.2002**
 (43) Offenlegungstag: **17.06.2004**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **07.10.2004**

(51) Int Cl.7: **H01S 5/187**
H01S 5/34

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE

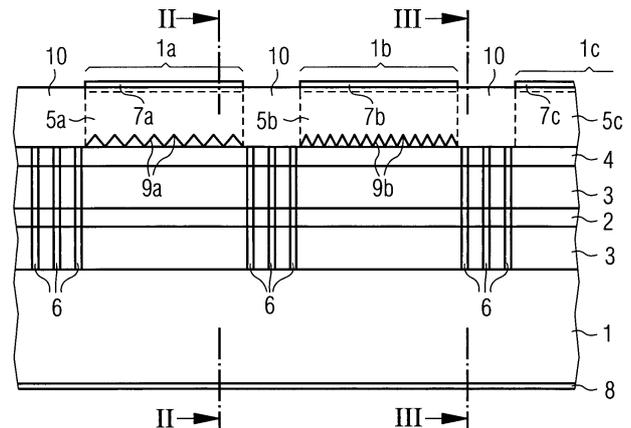
(74) Vertreter:
Epping Hermann Fischer,
Patentanwaltsgesellschaft mbH, 80339 München

(72) Erfinder:
März, Reinhard, Dr., 81477 München, DE;
Mahnkopf, Sven, 97236 Randersacker, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
US 61 41 370 A
US 56 84 817 A
US 48 96 325

(54) Bezeichnung: **Abstimmbarer Halbleiterlaser und Herstellungsverfahren**

(57) Hauptanspruch: Abstimmbarer Halbleiterlaser mit einer Resonatorstruktur, die eine für Strahlungserzeugung vorgesehene aktive Schicht (2) sowie eine transversale und laterale Wellenführung aufweist, longitudinal in mindestens zwei Abschnitte (1a, 1b, 1c) unterteilt ist und Resonatorendspiegel und/oder Gitter (9a, 9b) aufweist, mit denen das Auftreten einer vorgesehenen Anzahl diskreter Moden in den Abschnitten (1a, 1b, 1c) bewirkt wird, wobei für mindestens zwei der Abschnitte (1a, 1b, 1c) Mittel (7a, 7b, 8) zur getrennten Strominjektion in die aktive Schicht (2) vorgesehen sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Moden voneinander Abstände aufweisen, die sich in mindestens zwei der Abschnitte (1a, 1b, 1c) der Resonatorstruktur unterscheiden, und zumindest an longitudinalen Enden der Abschnitte der Resonatorstruktur photonische Kristalle (6) angeordnet sind, die als Bandlücke, in der keine Wellenleitung stattfindet, einen Wellenlängenbereich aufweisen, in dem eine hauptsächliche Wellenlänge des Lasers liegt oder ein maximaler Gewinn des Lasers auftritt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen abstimmbaren Halbleiterlaser, der in mindestens zwei Abschnitte der aktiven Schichtstruktur unterteilt ist.

Stand der Technik

[0002] In der US 4,896,325 ist ein abstimmbarer Halbleiterlaser mit einer Unterteilung der Resonatorstruktur in mehrere Abschnitte beschrieben. Die Spiegel an den Resonatorenflächen sind mit mehreren Elementen nach Art eines Fabry-Perot-Interferometers ausgebildet und lassen sich durch Anlegen geeigneter Spannungen auf unterschiedliche Reflexionsmaxima einstellen. Ein weiterer Abschnitt des Resonators, der zur Erzielung eines hohen Lasergewinnes vorgesehen ist, und ein weiterer Abschnitt, der als Phasenschieber vorgesehen ist, werden ebenfalls über geeignete Spannungen angesteuert.

[0003] In der US 5,365,541 A ist die Verwendung eines photonischen Kristalls als Resonatorenspiegel eines Lasers beschrieben. In der Spalte 5 dieser Schrift ist auch die Funktion der photonischen Kristalle näher erläutert. In Anlehnung an die Ausbildung von Valenz- und Leitungsband in Festkörpern mit gitterartiger periodischer Anordnung der Atome sind bei photonischen Kristallen periodisch variierende Bereiche wechselnden Brechungsindex vorhanden. Dadurch werden für die sich in dem photonischen Kristall ausbreitende Strahlung in Analogie zum Festkörper Bandlücken der Wellenlänge erzeugt, in denen eine Wellenleitung nicht möglich ist. Derartige photonische Kristalle können daher für die betreffenden Wellenlängenbereiche als Spiegel eingesetzt werden.

[0004] In der US 5,684,817 A ist ein Halbleiterlaser beschrieben, bei dem in dem Bauelement Bereiche photonischer Kristalle integriert sind, die jeweilige Resonatorenspiegel einer aktiven Laserstruktur bilden.

[0005] In der WO 94/16345 A1 ist ein integriertes optoelektronisches Bauelement beschrieben, bei dem eine Wellenführung durch photonische Kristalle bewirkt wird. Die photonischen Kristalle sind in das Bauelement integriert, indem zylindrische Bereiche mit dielektrischem Material gefüllt sind.

[0006] In der US 6,141,370 A ist ein binary superimposed Grating (BSG) beschrieben, bei dem Bereiche gleicher Länge und jeweils eines von zwei möglichen Werten des Brechungsindex vorhanden sind. Diese Bereiche wechseln in periodischer Folge ab, wobei allerdings eine ebenfalls periodische Phasenverschiebung überlagert wird. Es ist auf Anwendungen derartiger BSGs in abstimmbaren Halbleiterlasern hingewiesen.

Aufgabenstellung

[0007] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es,

einen verbesserten und einfacher herstellbaren abstimmbaren Halbleiterlaser anzugeben.

[0008] Diese Aufgabe wird mit dem abstimmbaren Halbleiterlaser mit den Merkmalen des Anspruches 1 beziehungsweise mit dem Verfahren zur Herstellung eines solchen Halbleiterlasers mit den Merkmalen des Anspruches 8 gelöst. Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0009] Der Halbleiterlaser verfügt über eine aktive Schicht in einer Resonatorstruktur mit einer Längsrichtung, die zur Wellenleitung und Modenselektion vorgesehen ist. Eine transversale Wellenführung wird bevorzugt durch Indexführung in einer Separate-Confinement-Hetero-Structure (SCH), eine laterale Wellenführung bevorzugt durch einen Rippenwellenleiter bewirkt, was an sich bekannt ist. Die Resonatorstruktur umfasst Resonatorenspiegel an den longitudinalen Enden und/oder mindestens ein Gitter, womit das Auftreten einer vorgesehenen Anzahl diskreter Moden erreicht wird.

[0010] Die Resonatorstruktur ist in mindestens zwei Abschnitte unterteilt, die mit Mitteln, insbesondere an dem Bauelement angebrachte Kontakte, für Strominjektion, vorzugsweise in jeden Abschnitt getrennt, versehen sind. Diese Abschnitte sind durch unterschiedliche Abmessungen in der Längsrichtung oder durch die Ausbildung der daran angeordneten Gitterstrukturen so ausgebildet, dass die Abstände der darin jeweils auftretenden Moden in den Abschnitten voneinander verschieden sind.

[0011] Zumindest an den äußeren longitudinalen Enden der Resonatorstruktur, vorzugsweise an allen longitudinalen Enden der Abschnitte sind Begrenzungen aus photonischen Kristallen angeordnet. Der Wellenlängenbereich der Bandlücke der photonischen Kristalle umfasst einen Bereich maximalen Gewinns des Lasers oder enthält eine hauptsächliche Wellenlänge des Lasers; die hauptsächliche Laserwellenlänge liegt vorzugsweise etwa in der Mitte der Bandlücke der photonischen Kristalle. Die Abweichung der Modenabstände in den Abschnitten kann durch die unterschiedliche Länge der Abschnitte zwischen den jeweiligen Begrenzungen durch photonische Kristalle oder durch angebrachte Gitterstrukturen erzeugt werden. Als Gitter werden bevorzugt BSGs eingesetzt.

Ausführungsbeispiel

[0012] Es folgt eine genauere Beschreibung von Beispielen des abstimmbaren Halbleiterlasers anhand der **Fig. 1** bis 5.

[0013] Die **Fig. 1** zeigt einen abstimmbaren Halbleiterlaser mit Gittern in einem Längsschnitt.

[0014] Die **Fig. 2** zeigt den Halbleiterlaser der **Fig. 1** in einem Querschnitt.

[0015] Die **Fig. 3** zeigt den Halbleiterlaser der **Fig. 1** in einem zu der **Fig. 2** parallelen Querschnitt.

[0016] Die **Fig. 4** zeigt eine schematisierte Draufsicht auf die Resonatorstruktur des Halbleiterlasers

der **Fig. 1**.

[0017] Die **Fig. 5** zeigt eine schematisierte Draufsicht auf die Resonatorstruktur eines weiteren Ausführungsbeispiels.

[0018] In der **Fig. 1** ist ein erstes Ausführungsbeispiel in einem Längsschnitt, das heißt, in einem Querschnitt des Bauelementes in der Längsrichtung der Resonatorstruktur, dargestellt. Die Schichtstruktur kann z. B. mittels Molekularstrahlepitaxie im Materialsystem von InGaAsP auf ein Substrat **1** aufgewachsen werden. Die Resonatorstruktur ist in mindestens zwei Abschnitte unterteilt, die z. B. je 400 µm lang sind. Die Anzahl dieser Abschnitte ist nicht festgelegt. In dem in den **Fig. 1** bis **4** dargestellten Ausführungsbeispiel sind drei Abschnitte **1a**, **1b**, **1c** eingezeichnet.

[0019] Über und unter der für Strahlungserzeugung vorgesehenen aktiven Schicht **2** befinden sich Confinementschichten **3** für transversale Wellenführung. Es können auch getrennte Schichten für optisches und elektrisches Confinement vorgesehen sein. Die Schichten über und unter der aktiven Schicht **2** sind zum Zweck der Strominjektion für elektrische Leitung einander entgegengesetzter Leitfähigkeitstypen dotiert. Die Mantelschicht oder Deckschicht **4** aus Halbleitermaterial ist in einen oberseitigen Steg strukturiert, der in der Längsrichtung unterbrochen ist, so dass die den Abschnitten **1a**, **1b**, **1c** zugeordneten Teilstege **5a**, **5b**, **5c** gebildet sind.

[0020] Als Resonatorendspiegel und als Begrenzungen der Teilresonatorstrukturen entsprechend den Abschnitten **1a**, **1b**, **1c** sind photonische Kristalle **6** vorgesehen. Es genügt, wenn die photonischen Kristalle **6** in der transversalen Richtung auf die Schichtlage der aktiven Schicht **2** begrenzt sind; die photonischen Kristalle **6** werden jedoch vorzugsweise erst nach dem Aufwachsen aller Halbleiterschichten hergestellt und umfassen dann wie eingezeichnet auch die Confinementschichten **3** und die Deckschicht **4**.

[0021] Auf der Oberseite der Teilstege **5a**, **5b**, **5c** befinden sich Kontakte **7a**, **7b**, **7c** für eine getrennte Strominjektion in zumindest zwei der Abschnitte **1a**, **1b**, so dass der Laser betrieben und abgestimmt werden kann. Ein weiterer Kontakt **8** befindet sich auf der Unterseite des Substrates **1**; dieser Kontakt **8** kann statt dessen auf der Oberseite des Bauelementes seitlich zu der streifenförmigen Resonatorstruktur angeordnet sein und mit der Unterseite der aktiven Schicht **2** über in dem Halbleitermaterial ausgebildete dotierte Bereich elektrisch leitend verbunden sein.

[0022] Die bei diesem Ausführungsbeispiel vorgesehenen Gitter **9a**, **9b** sind vorzugsweise lateral zu den Teilstegen **5a**, **5b** angeordnet und können als BSGs mittels Elektronenstrahl-Lithographie hergestellt werden. Die Gitter **9a**, **9b** sind vorzugsweise ebenso lang wie die zugehörigen Abschnitte **1a**, **1b** der Resonatorstruktur. Die Gitter **9a**, **9b** sind z. B. so ausgestaltet, dass sich in jedem Abschnitt **1a**, **1b** eine vorgesehene Anzahl, zum Beispiel zehn, Refle-

xionsmaxima ausbilden, wobei eine zentrale Mode im Bereich des Verstärkungsmaximums des Halbleitermaterials der aktiven Schicht (Gewinnmaximum) liegt und die Modenabstände im Verhältnis zu der Anzahl Moden so gewählt sind, dass Monomodigkeit erreicht ist. Ferner müssen sich die Abstände der Moden in den Abschnitten zumindest um etwa die Halbwertsbreite der Moden, das heißt der Reflexionspeaks, unterscheiden.

[0023] In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel mit jeweils etwa zehn Moden ist das der Fall bei Modenabständen im Bereich von 3 nm bis 10 nm, typisch etwa 5 nm, die sich in den beiden Abschnitten vorzugsweise um etwa 7 bis 10% unterscheiden. Die Abstimmung kann durch eine geeignete Variation der in die Abschnitte injizierten Ströme sowohl (quasi) kontinuierlich als auch mit einer Einbeziehung von Modensprüngen vorgenommen werden. Es können auch mehrere Abschnitte mit unterschiedlichen Modenabständen vorhanden sein.

[0024] Ein Reflektorendspiegel wird mit möglichst guter Reflexion, das heißt, mit einem Reflexionsfaktor nahe 1 ausgebildet, indem die photonischen Kristalle **6** dort hochreflektierend angeordnet werden. Der für Strahlungsaustritt vorgesehene andere Reflektorendspiegel kann zur Lichtauskopplung gespalten sein, was an sich bekannt ist. Die Oberseite des Bauelementes kann mit einer Planarisierungsschicht **10**, z. B. aus BCB, eingeebnet sein. Die Konturen der Teilstege **5a**, **5b**, **5c** sind daher in der **Fig. 1** als von der Planarisierungsschicht **10** verdeckte Konturen gestrichelt eingezeichnet. Das Abstimmen des Lasers erfolgt durch geeignete Variationen der in die Abschnitte injizierten Ströme.

[0025] Die **Fig. 2** zeigt den in der **Fig. 1** durch eine strichpunktierte Linie angegebenen Querschnitt durch einen Teilsteg **5a**. Die Bezugszeichen entsprechen denen der **Fig. 1** und brauchen nicht gesondert erläutert zu werden. In der **Fig. 2** ist insbesondere erkennbar, dass die Gitter **9a** seitlich des Steges angeordnet sind. In diesem Bereich des Lasers brauchen keine photonischen Kristalle vorhanden zu sein. Die Position des Querschnitts der **Fig. 1** ist in der **Fig. 2** durch die strichpunktierte Linie angegeben.

[0026] In der **Fig. 3** ist ein zu dem Querschnitt gemäß der **Fig. 2** koplanarer Querschnitt im Bereich zwischen zwei Teilstegen **5b**, **5c** dargestellt, dessen Position in der **Fig. 1** ebenfalls markiert ist. Die photonischen Kristalle **6** sind in diesem Beispiel auch in den zu dem Steg lateralen Bereichen zwischen den Teilstegen vorhanden. Zur Orientierung ist der in der Blickrichtung nächste Teilsteg **5c** eingezeichnet, und zwar gestrichelt als von der Planarisierungsschicht **10** verdeckte Kontur.

[0027] In der Draufsicht der **Fig. 4** sind die Abschnitte **1a**, **1b**, **1c** mit den Kontakten **7a**, **7b**, **7c** erkennbar, die in diesem Beispiel die Oberseiten der Teilstege **5a**, **5b**, **5c** jeweils vollständig bedecken. Die Struktur der Gitter **9a**, **9b** und der photonischen Kristalle **6** ist schematisiert eingezeichnet. Es ist erkennbar, dass

die photonischen Kristalle üblicherweise ein hexagonales Raster bilden. Im Anschluss an die rechts eingezeichnete Bruchlinie können weitere integrierte elektronische oder optoelektronische Bauelemente folgen. Der dritte Teilsteg **5c** kann zum Zweck einer besseren Lichtauskopplung zu einem Auskoppelbereich hin gebogen ausgestaltet sein. Der dritte Teilsteg **5c** kann beispielsweise auch als Verstärker vorgesehen sein, der über die Kontakte **7c** und **8** betrieben wird.

[0028] Es brauchen nicht alle Abschnitte mit einem jeweiligen Gitter versehen zu sein. Die Resonatorstruktur kann zwei oder mehr Abschnitte aufweisen, die jeweils durch die Länge und/oder angebrachte Gitterstrukturen voneinander verschieden sind.

[0029] Die in den **Fig. 1** bis **4** dargestellte Struktur kann hergestellt werden, indem zunächst die Halbleiterschichten ganzflächig aufgewachsen und in der vorgesehenen Weise dotiert werden. Unter Verwendung einer Maske werden die Teilstege geätzt. Eine Maskenschicht, vorzugsweise eine SiO₂-Schicht, wird aufgebracht und mit einer Fotolackmaske entsprechend den herzustellenden photonischen Kristallen strukturiert. Der Fotolack wird entfernt. In den für die photonischen Kristalle vorgesehenen regelmäßigen Abständen werden unter Verwendung der strukturierten Maskenschicht Löcher in das Halbleitermaterial geätzt, vorzugsweise bis in die untere Confinementschicht hinein. Das Material der Maskenschicht wird entfernt.

[0030] Unter Verwendung einer weiteren Fotolackmaske, die die für die Gitter vorgesehenen Bereiche frei lässt, wird eine Metallschicht abgeschieden und strukturiert, womit insbesondere ein jeweiliges BSG hergestellt wird. Nach dem Entfernen des Fotolacks wird ein dielektrisches Material, vorzugsweise BCB, aufgebracht, mit dem die für die photonischen Kristalle vorgesehenen Löcher gefüllt und die Oberseite planarisiert wird. Es werden schließlich die Kontakte aufgebracht.

[0031] Ein weiteres Ausführungsbeispiel verzichtet auf die Gitter, so dass die Resonatorstruktur allein durch die reflektierenden Begrenzungen der photonischen Kristalle **6** gebildet ist. In der **Fig. 5** ist eine schematisierte Draufsicht auf eine solche Resonatorstruktur dargestellt, in der die Abschnitte **1a**, **1b**, **1c** ausgebildet sind. Diese Abschnitte **1a**, **1b**, **1c** sind lateral und longitudinal von photonischen Kristallen **6** begrenzt, die außer der longitudinalen Reflexion auch die laterale Wellenführung bewirken.

[0032] Die Längen der Abschnitte **1a**, **1b**, **1c** sind unterschiedlich gewählt, so dass sich die Modenabstände in den Abschnitten unterscheiden, vorzugsweise zumindest um etwa die Halbwertsbreite der Moden, das heißt der Reflexionspeaks. Aufgrund der Verstärkungseigenschaft des Halbleitermaterials der aktiven Schicht ist es möglich, eine vorgesehene Anzahl von Moden einzustellen. Um Monomodigkeit zu erreichen, werden die Modenabstände und die Modenanzahlen aufeinander abgestimmt. Auch bei die-

sem Ausführungsbeispiel können sich die Modenabstände in den Abschnitten um etwa 7 bis 10% unterscheiden und typisch im Bereich von 3 nm bis 10 nm liegen.

[0033] Bei diesem Ausführungsbeispiel erfolgt eine Grobabstimmung des Lasers durch eine geeignete Variation der in die Abschnitte injizierten Ströme; eine Feinabstimmung ist durch eine Veränderung der Temperatur möglich. Der Auskoppelbereich **11** befindet sich in diesem Beispiel an einem Ende der Resonatorstruktur, an dem die Begrenzung durch photonische Kristalle **6** ausreichend dünn ist, um einen Lichtaustritt zu ermöglichen. Auch bei diesem Ausführungsbeispiel können weitere integrierte elektronische oder optoelektronische Bauelemente vorhanden sein. Der letzte, zur Lichtauskopplung vorgesehene Abschnitt **1c** der Resonatorstruktur kann hier ebenfalls gebogen zur Kante des Bauelementes geführt sein. Die Anzahl der Abschnitte ist nicht festgelegt; es genügen zur Abstimmbarkeit des Lasers zwei Abschnitte, in denen sich die Modenabstände in der vorgesehenen Weise unterscheiden.

[0034] Gegenüber bisherigen Ausgestaltungen abstimmbarer Halbleiterlaser bietet die erfindungsgemäße Lösung den Vorteil, dass die photonischen Kristalle einfach mittels Standard-Lithographieverfahren hergestellt werden können und so ohne großen Aufwand die Reflektivitäten und Kopplungsstärken der Abschnitte der Resonatorstruktur eingestellt werden können. Die durch die photonischen Kristalle realisierbaren hohen Indexsprünge ermöglichen die Herstellung neuartiger Resonatorgeometrien, die in der herkömmlichen Technik nicht möglich sind.

Bezugszeichenliste

1	Substrat
1a	Abschnitt
1b	Abschnitt
1c	Abschnitt
2	aktive Schicht
3	Confinementschicht
4	Deckschicht
5a	Teilsteg
5b	Teilsteg
5c	Teilsteg
6	photonischer Kristall
7a	Kontakt
7b	Kontakt
7c	Kontakt
8	weiterer Kontakt
9a	Gitter
9b	Gitter
10	Planarisierungsschicht
11	Auskoppelbereich

Patentansprüche

1. Abstimmbarer Halbleiterlaser mit einer Resonatorstruktur, die

eine für Strahlungserzeugung vorgesehene aktive Schicht (2) sowie eine transversale und laterale Wellenführung aufweist, longitudinal in mindestens zwei Abschnitte (1a, 1b, 1c) unterteilt ist und Resonatorspiegel und/oder Gitter (9a, 9b) aufweist, mit denen das Auftreten einer vorgesehenen Anzahl diskreter Moden in den Abschnitten (1a, 1b, 1c) bewirkt wird, wobei für mindestens zwei der Abschnitte (1a, 1b, 1c) Mittel (7a, 7b, 8) zur getrennten Strominjektion in die aktive Schicht (2) vorgesehen sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Moden voneinander Abstände aufweisen, die sich in mindestens zwei der Abschnitte (1a, 1b, 1c) der Resonatorstruktur unterscheiden, und zumindest an longitudinalen Enden der Abschnitte der Resonatorstruktur photonische Kristalle (6) angeordnet sind, die als Bandlücke, in der keine Wellenleitung stattfindet, einen Wellenlängenbereich aufweisen, in dem eine hauptsächliche Wellenlänge des Lasers liegt oder ein maximaler Gewinn des Lasers auftritt.

2. Halbleiterlaser nach Anspruch 1, bei dem die Abstände der Moden sich in mindestens zwei der Abschnitte (1a, 1b) der Resonatorstruktur zumindest um etwa die Halbwertsbreite der Moden unterscheiden.

3. Halbleiterlaser nach Anspruch 1 oder 2, bei dem mehrere Abschnitte (1a, 1b, 1c) mit unterschiedlichen Modenabständen vorhanden sind.

4. Halbleiterlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die Abschnitte (1a, 1b, 1c) der Resonatorstruktur unterschiedliche longitudinale Abmessungen aufweisen.

5. Halbleiterlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem zumindest ein Abschnitt (1a, 1b) der Resonatorstruktur mit einem Gitter (9a, 9b) versehen ist, das zur Modenselektion vorgesehen ist.

6. Halbleiterlaser nach Anspruch 5, bei dem das Gitter ein BSG ist.

7. Halbleiterlaser nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem die Modenabstände im Bereich von 3 nm bis 10 nm liegen.

8. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterlasers nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem eine Halbleiterschichtstruktur, die mindestens eine für Strahlungserzeugung vorgesehene aktive Schicht (2) zwischen Confinementschichten (3) umfasst, aufgewachsen und in einer vorgesehenen Weise dotiert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass unter Verwendung einer Maske Teilstege (5a, 5b, 5c) in die Halbleiterschichtstruktur geätzt werden,

eine Maskenschicht aufgebracht und mit einer Fotolackmaske entsprechend herzustellenden photonischen Kristallen strukturiert wird, unter Verwendung der strukturierten Maskenschicht Löcher in das Halbleitermaterial geätzt werden, die Maskenschicht entfernt wird, unter Verwendung einer weiteren Maske, die Bereiche frei lässt, die für herzustellende Gitter vorgesehen sind, eine Metallschicht abgeschieden und zu mindestens einem Gitter strukturiert wird, ein dielektrisches Material aufgebracht wird, mit dem die für die photonischen Kristalle vorgesehenen Löcher gefüllt werden, und Kontakte aufgebracht werden.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG 1

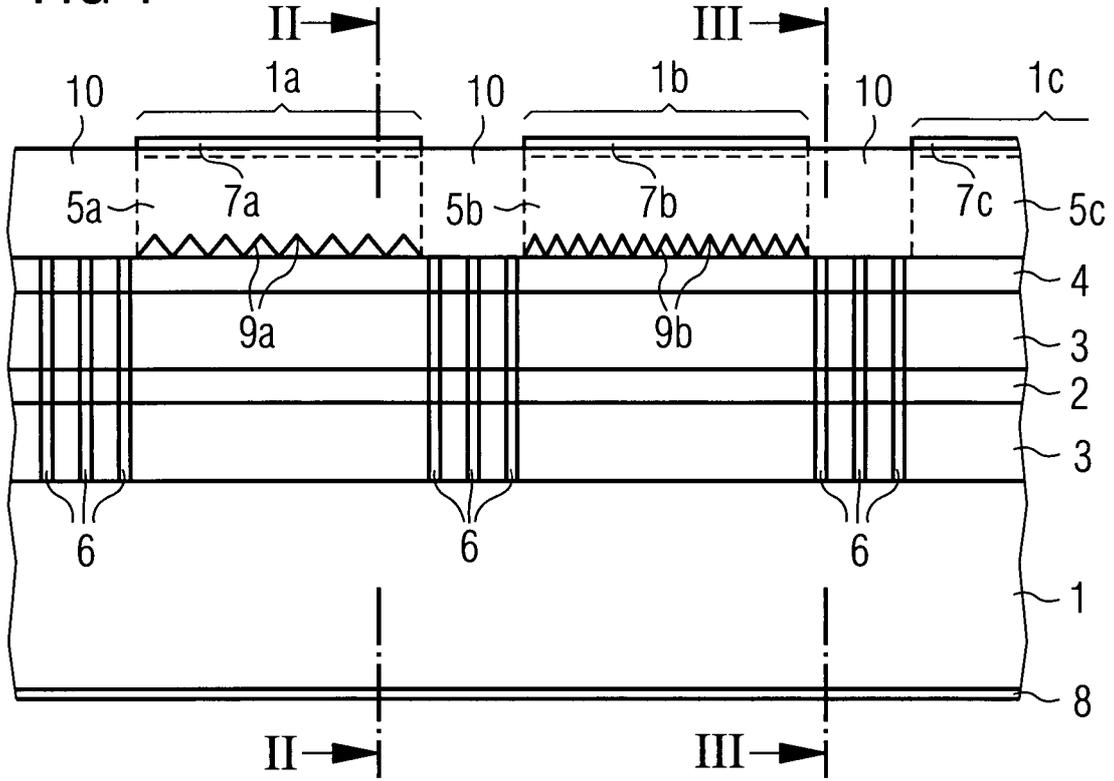


FIG 2

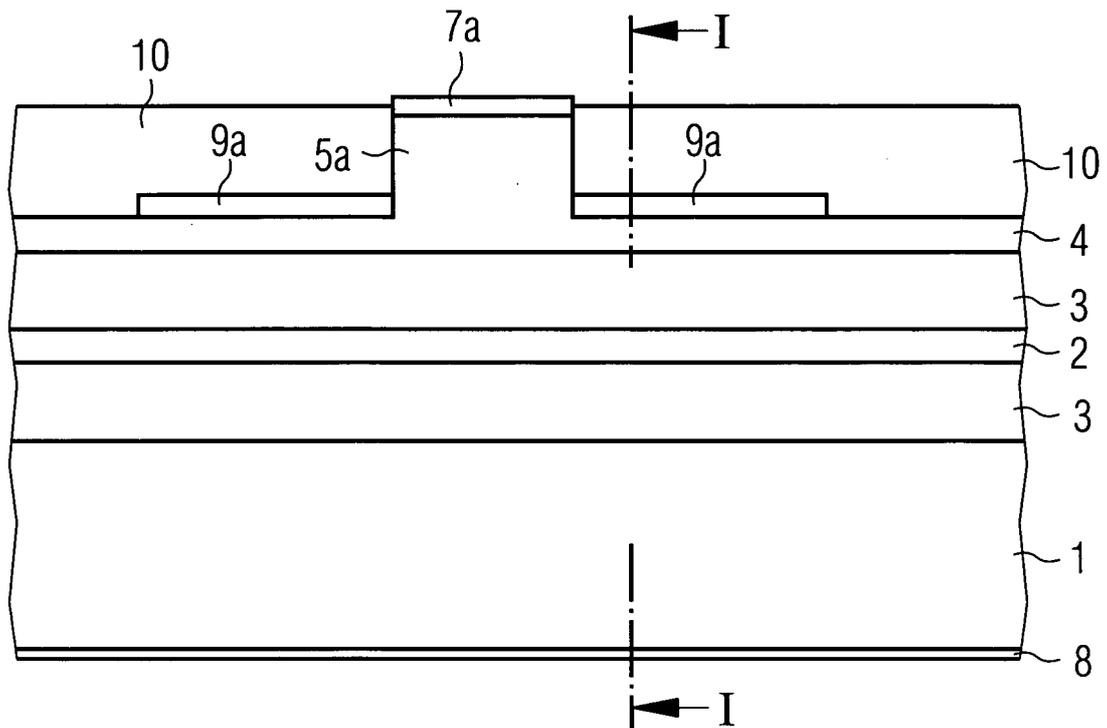


FIG 3

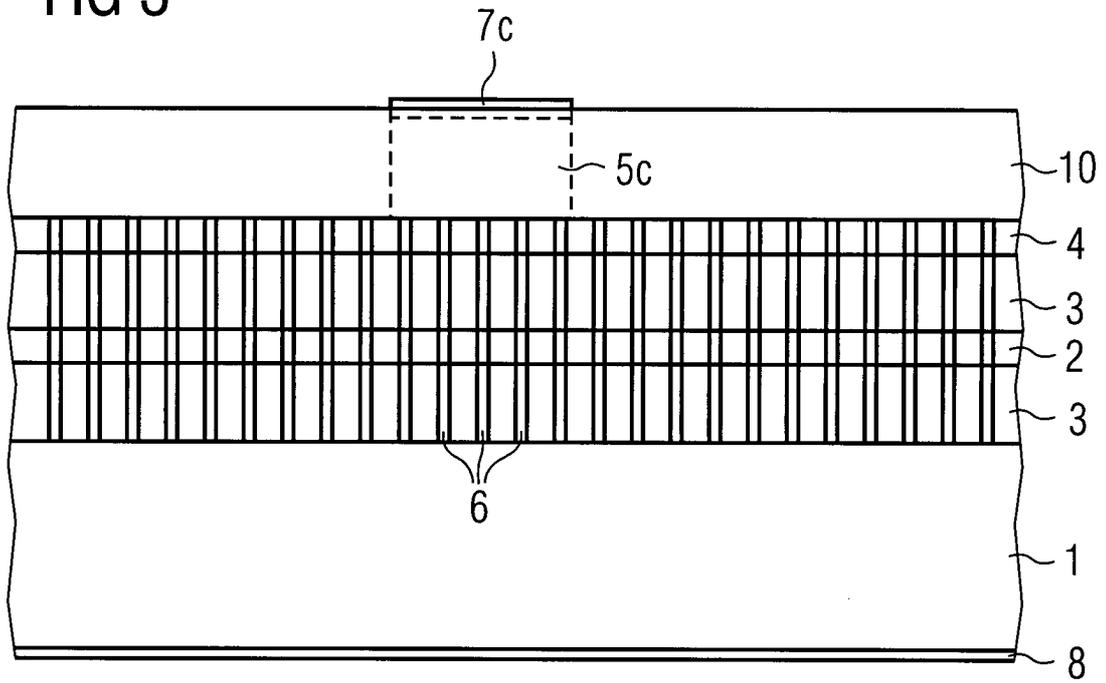


FIG 4

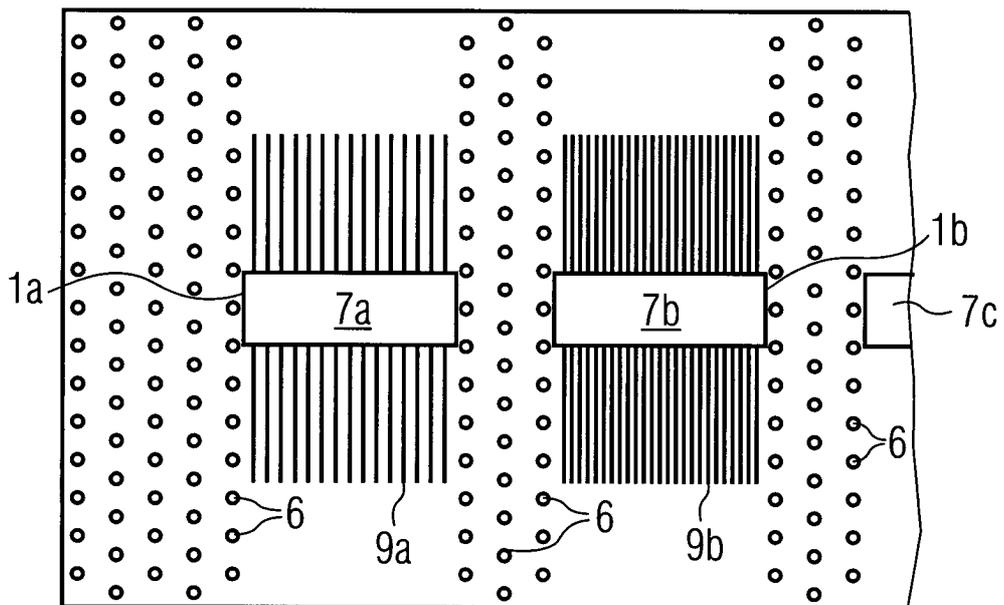


FIG 5

