



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 102 00 360 B4 2004.01.08

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 00 360.2**
(22) Anmeldetag: **08.01.2002**
(43) Offenlegungstag: **31.07.2003**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **08.01.2004**

(51) Int Cl.⁷: **H01S 5/187**

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

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

(74) Vertreter:
**Anwaltskanzlei Gulde Hengelhaupt Ziebig &
Schneider, 10117 Berlin**

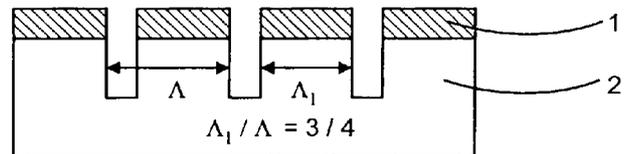
(72) Erfinder:
**Braun, Matthias, 10439 Berlin, DE; Wenzel, Hans,
Dr., 12355 Berlin, DE; Erbert, Götz, Dr., 12555
Berlin, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 43 22 164 A1
DE 691 17 488 T2

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Bragg'schen Gitters in einer Halbleiterschichtenfolge mittels Ätzen und Halbleiterbauelement**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines Bragg'schen Gitters in einer Halbleiterschichtenfolge eines Halbleiterkörpers mittels Ätzen, dadurch gekennzeichnet, dass

- in eine kristalline Halbleiterschicht der Schichtenfolge des Halbleiterkörpers, in der das Bragg'sche Gitter hergestellt werden soll, mindestens eine zusätzliche Halbleiterschicht (23) definierter Dicke (d_{23}) als Zwischenschicht mit einem zu den angrenzenden Schichten (22, 24) unterschiedlichen Brechungsindex (n_{23}) eingebracht wird,
- danach das Bragg'sche Gitter geätzt wird, indem ein auf die Schichtenfolge (24, 23, 22) aufgebrachte Maskierungsschicht (1) mit einem Tastverhältnis von etwa 1/2 strukturiert und die unter der Maskierungsschicht (1) liegenden Schichten (24, 23, 22) bis mindestens einschließlich der zusätzlichen Halbleiterschicht (23) oder zusätzlichen Halbleiterschichten geätzt werden,
- wobei ein Ätzprozess gewählt wird, bei dem sich zusammen mit der Kristallorientierung des verwendeten Materials ein Winkel α ergibt und
- nach Entfernen der Maskierungsschicht (1) abschließend eine Halbleiterschicht (25) mit einem Brechungsindex, welcher den Brechungsindices der die zusätzliche Schicht (23) umgebenden Schichten (24, 22) entspricht, aufgebracht wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Bragg'schen Gitters in einer Halbleiterschichtenfolge mittels Ätzen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Halbleiter-Bauelement mit Bragg'schem Gitter gemäß Anspruch 5.

[0002] Üblicherweise erfolgt die Herstellung von Bragg'schen Gittern in Halbleitern durch Erzeugen einer Maskierungsschicht mit der entsprechenden Gitterperiode und nachfolgendem Übertragen der Struktur in die darunter liegenden Halbleiterschichten mittels geeigneten Ätzverfahren.

[0003] Die Herstellung dieser periodischen Strukturen, auch Korngationen genannt, kann durch trocken- oder nasschemisches Ätzen geschehen.

[0004] Die Maskierungsschicht wird üblicherweise durch einen Photolack gebildet, der durch Belichtung und nachfolgendes Entwickeln entsprechend strukturiert wurde. Zur Belichtung der Lackstrukturen wird die Elektronenstrahlbelichtung oder die holografische Belichtung eingesetzt.

[0005] Bei der holografischen Belichtung wird durch Beugung von kohärentem (Laser-) Licht an einem Raumfrequenzfilter eine Kugelwelle erzeugt. Durch Überlagerung zweier Teilstrahlen dieser Kugelwelle kommt das Licht zur Interferenz. Durch geeignete Wahl der Laserwellenlänge und Anordnung eines Wafers im Strahlengang entsteht auf dessen Waferoberfläche ein Interferenzmuster des Lichts mit der gewünschten Periodenlänge. Die Periodenlänge lässt sich also relativ leicht durch den Neigungswinkel des Wafers zum Strahlengang festlegen.

[0006] Um Bragg'sche Gitter für Laserwellenlängen im nahen infraroten, sichtbaren und ultravioletten Bereich herzustellen, wird kurzwelliges Laserlicht für die Belichtung benötigt. Die für diese Zwecke auf dem Markt verfügbaren Laser mit ausreichender Strahlqualität besitzen eine kürzeste Wellenlänge von typischerweise 270 nm. Damit lässt sich eine minimale Gitterperiode von ca. 135 nm erzeugen. Mit einem typischen effektiven Brechungsindex von ca. 3,3 (für III-V Halbleiter) lassen sich also Bragg'sche Gitter 1. Ordnung für eine Wellenlänge von minimal 900 nm herstellen. Für kürzere Laserwellenlängen müssen also Bragg'sche Gitter höherer Ordnung verwendet werden. Im Gegensatz zu Gittern 1. Ordnung wird für einen maximalen Koppelkoeffizienten bei Gittern höherer Ordnung ein von 1/2 abweichendes Tastverhältnis benötigt. Z.B. wird für ein Gitter 2. Ordnung der Koppelkoeffizient bei einem Tastverhältnis von 1/4 bzw. 3/4 maximal.

[0007] Die Herstellung eines Bragg'schen Gitters in einer Halbleiterschicht S_1 (Dicke d_1 und Brechungsindex n_1) mit deutlich von 1/2 verschiedenem Tastverhältnis wird nach dem Stand der Technik mittels einer entsprechenden Struktur der Maskierungsschicht hergestellt, die dann durch ein geeignetes Ätzverfahren in die darunter liegende Halbleiterschicht übertragen wird. Durch Überwachsen mit einer zweiten Schicht eines geeigneten Materials mit einem zum Material der ersten Schicht unterschiedlichem Brechungsindex ergibt sich in lateraler Richtung die gewünschte periodische Änderung des Brechungsindex.

[0008] In der Praxis zeigt sich aber gerade für sehr kleine Gitterperioden im Bereich von unter ca. 350 nm, dass die zur Herstellung eines Bragg'schen Gitters mit einem deutlich von 1/2 verschiedenen Tastverhältnisses entsprechenden Maskierungsschichten nur schwer realisierbar sind. Dies liegt daran, dass sich die notwendigen asymmetrischen Maskierungsschichten erfahrungsgemäß nur schwer reproduzierbar herstellen lassen, was durch geringe Kontrastverhältnisse der beiden interferierenden Teilstrahlen zusätzlich erschwert wird.

Stand der Technik

[0009] In DE 43 22 164 A1 wird beschrieben, wie ein Bragg'sches Gitter in eine Halbleiterschichtenfolge mittels Ätzen eingebracht wird. Die konkrete Methode zur Herstellung wird jedoch nicht näher ausgeführt. Weiterhin wird das Tastverhältnis des Gitters als gegeben angenommen, das heißt, es werden keinerlei Angaben über die Art und Weise der Einstellung eines konkreten Tastverhältnisses gemacht.

[0010] In der Veröffentlichung „1.3- μ m Distributed Feedback Laser Diode with a Grating Accurately Controlled by a New Fabrication Technique“ von A. Takemoto u.a., Journal of Lightwave Technology, Vol. 7, Nr.12, S. 2072-2076 (1989) werden zwei Methoden zur Herstellung von Bragg'schen Gittern beschrieben.

[0011] Bei der in der Publikation als „konventionell“ beschriebenen Struktur wird das Bragg'sche Gitter in eine Halbleiterschicht geätzt, ohne diese durchzuätzen, wobei der Kopplungskoeffizient im wesentlichen durch die Ätztiefe bestimmt wird.

[0012] Bei der in der Publikation als „neu“ bezeichneten Struktur wird das Bragg'sche Gitter durch komplettes Durchätzen einer Halbleiterschicht erzeugt, wodurch der Kopplungskoeffizient nicht mehr von der Ätztiefe bestimmt wird, sondern durch die Dicke der Halbleiterschichten, welche sehr genau eingestellt werden können.

[0013] Beide Methoden erlauben keine genaue Kontrolle des Tastverhältnisses des Bragg'schen Gitters.

[0014] In der Veröffentlichung „Electron beam defined surface gratings in AlGaAs with precisely controlled duty cycle using a multiple exposure technique“ von N. Eriksson u.a., Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 41, Nr. 1, S. 184.186 (1996) werden verschiedene Methoden beschrieben, wie das Tastverhältnis ("duty cycle") von Bragg'schen Gittern mit Hilfe der Elektronenstrahlbelichtung gezielt eingestellt werden kann.

[0015] Dies wird durch eine Veränderung der Parameter der Elektronenstrahlbelichtung erreicht. Die Elektronenstrahlbelichtung ist jedoch wesentlich langwieriger und aufwendiger als die holografische Belichtung. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Gitterperioden nur in Stufen einstellbar sind.

Aufgabenstellung

[0016] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und ein Bauelement aufzuzeigen, mit dem Bragg'sche Gitter mit Tastverhältnissen, die deutlich von 1/2 verschieden sind, mittels holografischer Belichtung hergestellt werden können, ohne dass die Maskierungsschicht im gleichen Tastverhältnis strukturiert ist wie das Bragg'sche Gitter, und mit dem eine genaue Einstellung und Kontrolle des Tastverhältnisses des Bragg'schen Gitters ohne die Verwendung bzw. Veränderung einer Elektronenstrahlbelichtung gewährleistet wird.

[0017] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Verfahrens gemäß Anspruch 1 und durch ein Halbleiter-Bauelement mit den Merkmalen nach Anspruch 5 gelöst.

[0018] Das Verfahren zur Herstellung eines Bragg'schen Gitters in einer Halbleiterschichtenfolge eines Halbleiterkörpers mit den zugehörigen Schichtdicken und Brechungsindices mittels Ätzen ist dadurch gekennzeichnet, dass

- in eine kristalline Halbleiterschicht der Schichtenfolge des Halbleiterkörpers, in der das Bragg'sche Gitter hergestellt werden soll, mindestens eine zusätzliche Halbleiterschicht definierter Dicke als Zwischenschicht mit einem zu den angrenzenden Schichten unterschiedlichen Brechungsindex (n_{23}) eingebracht wird,
- danach das Bragg'sche Gitter geätzt wird, indem ein auf die Schichtenfolge aufgebraachte Maskierungsschicht mit einem Tastverhältnis von etwa 1/2 strukturiert und die unter der Maskierungsschicht liegenden Schichten bis mindestens einschließlich der zusätzlichen Halbleiterschicht oder zusätzlichen Halbleiterschichten geätzt werden,
- wobei ein Ätzprozess gewählt wird, bei dem sich zusammen mit der Kristallorientierung des verwendeten Materials ein Winkel α ergibt und
- nach Entfernen der Maskierungsschicht abschließend eine Halbleiterschicht mit einem Brechungsindex, welcher den Brechungsindices der die zusätzliche Schicht umgebenden Schichten entspricht, aufgebracht wird.

[0019] Das Halbleiter-Bauelement mit geätzter Bragg'scher Gitterstruktur nach der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass in die kristalline Halbleiterschicht, in der sich das Bragg'sche Gitter befindet, mindestens eine zusätzliche Halbleiterschicht definierter Dicke und unterschiedlichem Brechungsindex zu den angrenzenden Schichten eingebracht ist, wobei die Gitterstruktur des Bragg'schen Gitters mit einem Winkel α bis mindestens einschließlich der zusätzlichen Halbleiterschicht oder zusätzlichen Halbleiterschichten herausgeätzt ist.

[0020] In bevorzugter Weise ist die Gitterstruktur in oberen Wellenleiterschichten aus AlGaAs, InGaP, GaAsP, InGaP in einem Halbleiterkörper in vertikaler Folge ausgebildet.

[0021] Bevorzugt werden die Dicken der unter der Maskierungsschicht liegenden Schichten so gewählt, dass die zusätzlich eingebrachte Schicht in Verbindung mit dem Winkel α , der sich aus dem Ätzprozess und der Kristallorientierung der zu ätzenden Materialien bestimmt, so geätzt wird, dass die zusätzlich eingebrachte Schicht im gewünschten Tastverhältnis strukturiert wird.

[0022] Der Unterschied zwischen dem aus dem Stand der Technik bekannten Herstellungsverfahren und der vorliegenden Patentanmeldung liegt darin, dass nicht nur eine Schicht, sondern mindestens zwei Schichten durchgeätzt werden.

[0023] Zur Herstellung von Bragg'schen Gittern wird eine holografische Belichtung verwendet, und das Tastverhältnis wird durch eine geeignete Anordnung von Halbleiterschichten eingestellt.

[0024] Zweckmäßige Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Ausführungsbeispiel

[0025] Die Erfindung wird in einem allgemeinen Ausführungsbeispiel des Verfahrens nach der Erfindung und in einer Anwendung bei einer Laserstruktur näher erläutert. In der zugehörigen Zeichnung zeigen:

[0026] **Fig. 1:** die schematische Darstellung eines strukturierten Halbleiterkörpers mit einer Maskierungsschicht zur Erläuterung des Tastverhältnisses,

[0027] **Fig. 2a) bis 2c):** die schematische Darstellung der Herstellung eines Bragg'schen Gitters nach dem bekannten Stand der Technik ,

[0028] **Fig. 3a) bis 3c):** die schematische Darstellung der Herstellung eines Bragg'schen Gitters nach der Erfindung und

[0029] **Fig. 4:** die schematische Darstellung des Schichtaufbaus einer vertikalen Laserstruktur mit Gitterschichten, hergestellt nach dem Verfahren nach der Erfindung.

[0030] Es ist bekannt, dass ein Material, dessen Brechzahl sich entlang einer Raumrichtung periodisch ändert

(sogenanntes Braggsches Gitter), als wellenlängenselektiver Reflektor wirkt: Lichtwellen, die sich in Richtung der periodischen Änderung ausbreiten und deren Wellenlängen λ die Beziehung

$$\lambda = 2n\Lambda/m \quad (1)$$

erfüllen, wobei n die mittlere Brechzahl des Materials, Λ die Periode der Brechzahländerung und m die sogenannte Ordnung des Braggschen Gitters ist ($m = 1, 2, 3, \dots$).

[0031] Die Stärke der Wechselwirkung des Braggschen Gitters mit den Lichtwellen wird durch den sogenannten Kopplungskoeffizienten κ beschrieben. Für sprunghafte Änderungen der Brechzahl (d.h. für eine Schichtenfolge $n_1 n_2 n_1 n_2 n_1 \dots$) kann er durch die Beziehung

$$\kappa = \frac{2 \cdot \Delta n \cdot \sin(m \cdot \pi \cdot \Lambda_1 / \Lambda)}{m \cdot \lambda} \quad (2)$$

berechnet werden, solange $\Delta n/n$ nicht zu groß ist (typischerweise kleiner 0,01). Dabei ist $\Delta n = n_1 - n_2$ die Differenz der Brechzahlen und Λ_1 die Dicke der Schicht mit der Brechzahl n_1 .

[0032] Aus der Gleichung (2) geht hervor, dass die Größe des Kopplungskoeffizienten proportional zur Differenz der Brechzahlen ist und vom Verhältnis Λ_1/Λ , dem sogenannten Tastverhältnis des Braggschen Gitters, abhängt (**Fig. 1**).

[0033] In Gleichung (2) können die Brechzahlen auch einen Imaginärteil besitzen. Der Imaginärteil der Brechzahl beschreibt eine Dämpfung oder Verstärkung der Lichtwelle. Falls die Imaginärteile der Brechzahlen der Schichten unterschiedlich sind, erhält man eine periodische Änderung der Dämpfung oder der Verstärkung, und der Kopplungskoeffizient erhält ebenfalls einen Imaginärteil.

[0034] Falls das Braggsche Gitter im wesentlichen durch die periodische Änderung des Realteils der Brechzahl zustande kommt, spricht man von Indexkopplung, andernfalls von Verlust- oder Verstärkungskopplung.

[0035] In Verbindungshalbleiterbauelementen kann eine periodische Änderung der Brechzahl auf zweierlei Art erreicht werden:

Erstens, durch Abscheidung vieler Paare von zwei Verbindungshalbleitern mit unterschiedlicher Brechzahl, z.B. mit metallorganischer Gasphasenepitaxie (MOVPE) oder Molekularstrahlepitaxie (MBE). Die Ausbreitung und Reflexion der Lichtwellen erfolgt senkrecht zu den Schichten. Dieses Wirkungsprinzip wird z.B. in oberflächenemittierenden Halbleiterlasern (sogenannten VCSELn) ausgenutzt.

[0036] Zweitens, in dem in die Oberfläche einer Verbindungshalbleiterschicht eine Korrugation geätzt wird, die in einer Raumrichtung eine periodische Struktur aufweist. Wird auf die so strukturierte Oberfläche ein Verbindungshalbleiter mit einer anderen Brechzahl abgeschieden, z.B. mit MOVPE oder MBE, so ändert sich die effektive Brechzahl von Lichtwellen, welche sich parallel zu den Verbindungshalbleiterschichten, aber senkrecht zu der periodischen Struktur ausbreiten, ebenfalls periodisch und man erhält wiederum ein Braggsches Gitter. Dieses Wirkungsprinzip wird z.B. in kantenemittierenden Halbleiterlasern mit verteilter Rückkopplung und Braggschen Reflektoren (sogenannten DFB- und DBR-Lasern) ausgenutzt. Die Gleichungen (1) und (2) bleiben näherungsweise weiter gültig, wobei die Brechzahl n durch eine effektive Brechzahl n_{eff} ersetzt werden muss. Die Differenz der effektiven Brechzahlen $\Delta n_{\text{eff}} = n_{\text{eff},1} - n_{\text{eff},2}$ wird jetzt nicht nur durch die Differenz der Brechzahlen der beteiligten Verbindungshalbleiter bestimmt, sondern im allgemeinen auch durch die Tiefe der Korrugation und durch die Stärke der Intensität des Lichtfeldes im Bereich der Korrugation. Die Ausbreitung der Lichtwellen parallel zu den Schichten wird dadurch erzwungen, dass eine Schichtenfolge von Verbindungshalbleitern so abgeschieden wird, dass ein sogenannter Wellenleiter gebildet wird, bei dem die Brechzahl der zentralen Schichten (sogenannte Wellenleiterschichten) größer ist als die diese Schichten begrenzenden Schichten (sogenannte Mantelschichten). In einem kantenemittierenden Halbleiterlaser bildet die optisch aktive Schicht allein oder in Kombination mit angrenzenden Schichten den Wellenleiter.

[0037] Die vorliegende Patentanmeldung bezieht sich auf die unter zweitens beschriebene Art von Verbindungshalbleiterbauelementen. Aufgrund der Herstellung des Braggschen Gitters mittels Ätzverfahren ist es schwierig, einen definierten Kopplungskoeffizienten nach Gleichung (2) zu erhalten. Insbesondere die Einstellung des Tastverhältnisses Λ_1/Λ bereitet Probleme. Auf der anderen Seite muss aber z.B. bei Braggschen Gittern 2. Ordnung ($m = 2$) das Tastverhältnis Λ_1/Λ möglichst genau $1/4$ oder $3/4$ sein, um nach Gleichung (2) einen maximalen Kopplungskoeffizienten zu erhalten.

[0038] Braggsche Gitter 2. Ordnung haben den Vorteil, dass ihre Gitterperiode Λ nach Gleichung (1) zweimal so groß wie die bei einem Braggschen Gitter 1. Ordnung ist und sich somit wesentlich einfacher herstellen lassen. Z. B. beträgt bei einer Wellenlänge $\lambda = 1 \mu\text{m}$ die Periode eines Gitter 1. Ordnung ungefähr $\Lambda = 150 \text{ nm}$, während die Periode eines Gitters 2. Ordnung $\Lambda = 300 \text{ nm}$ beträgt.

[0039] Die vorliegende Patentanmeldung beschreibt ein Verfahren zur Einstellung einer definierten Differenz der effektiven Brechzahlen Δn_{eff} und eines definierten Tastverhältnisses Λ_1/Λ , das deutlich von $1/2$ verschieden ist.

[0040] Die **Fig. 2** und **3** zeigen in schematischer Darstellung die Unterschiede des Schichtaufbaus bei der

Herstellung eines Bragg'schen Gitters nach dem bekannten Stand der Technik (**Fig. 2a**) bis **2c**) und nach der Erfindung ((**Fig. 3a**) bis **3c**)).

[0041] Entsprechend den **Fig. 2a** bis **2c** wird nach dem Stand der Technik in einen Halbleiterkörper **2** mit einer strukturierten Maskierungsschicht **1** (**Fig. 2a**) mittels Ätzen eine Gitterstruktur hergestellt (**Fig. 2b**), die mit einer Halbleiterschicht **3** überwachsen wird (**Fig. 2c**).

[0042] Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird gemäß der Darstellung in der **Fig. 3a** in einen Halbleiterkörper mit den Halbleiterschichten **21**, **22**, **24** und der strukturierten Maskierungsschicht **1**, in die Schicht, in der ein Bragg'sches Gitter hergestellt werden soll, eine zusätzliche Halbleiterschicht **23** eingebracht. Dies erfolgt im Rahmen der üblichen Herstellung der Vertikalstruktur mittels eines Epitaxieverfahrens.

[0043] Diese Schicht **23** besitzt im allgemeinsten Fall einen von den angrenzenden Schichten **24** und **22** unterschiedlichen Brechungsindex n_{23} .

$$n_{23} \neq n_{24} \approx n_{22} \quad (3)$$

[0044] Der Brechungsindexsprung wird so gewählt, dass die Koppelkonstante des Gitters den angestrebten Wert erreicht.

[0045] Anschließend wird das Bragg'sche Gitter geätzt (**Fig. 3b**). Dazu wird die Maskierungsschicht **1** bildende Photolack mit einem Tastverhältnis von etwa 1/2 strukturiert. Anschließend werden die darunter liegenden Schichten **24**, **23**, **22** trocken- oder nasschemisch geätzt. Die Dicke d_{24} der Schicht **24** wird nun so gewählt, dass die Schichten **22**, **23** und **24** in Verbindung mit dem Winkel α so geätzt werden, dass die Mitte dieser Schicht **23** im gewünschten Tastverhältnis strukturiert wird. Der Winkel α wird durch den Ätzprozess in Verbindung mit der Kristallorientierung bestimmt.

[0046] Das Tastverhältnis für die geätzte Struktur ergibt sich aus dem Winkel α , der Dicke d_{24} der Schicht **24** und der Dicke d_{23} der Schicht **23** näherungsweise wie folgt:

$$\frac{\Lambda_1}{\Lambda} = \frac{1}{2} + \frac{2(d_{24} + \frac{d_{23}}{2})}{\Lambda \tan \alpha} \quad (5)$$

[0047] Das Tastverhältnis lässt sich also für ein gegebenes Material im wesentlichen durch die Dicke d_{24} der Schicht **24**, einstellen. Anschließend wird eine Verbindungshalbleiterschicht **25** abgeschieden (**Fig. 3c**), für deren Brechzahl gilt

$$n_{25} \approx n_{22} \approx n_{24} \quad (6)$$

[0048] Es kann sich um den gleichen Verbindungshalbleiter wie den der Schichten **24** und **22** handeln, aber auch einen anderen, solange nur die Beziehung (6) erfüllt ist. Das Überwachsen mit dem gleichen Verbindungshalbleiter ist für ein gutes Anwachsen bzw. eine gute Schichtmorphologie der 2. Epitaxie von Vorteil.

[0049] Die Größe des Kopplungskoeffizienten wird im wesentlichen durch die Differenz $n_{25} - n_{23}$, die Dicke d_{23} der Schicht **23** und deren Abstand von der Mitte des Wellenleiters bestimmt.

[0050] In der **Fig. 4** ist als eine Ausführungsform des Verfahrens der vertikale Schichtaufbau einer Laserstruktur für eine Wellenlänge von 860 nm schematisch dargestellt.

[0051] Die Gitterschichten **21** bis **24** sind analog zu den Schichten in der **Fig. 3** obere Wellenleiterschichten.

[0052] Zur Herstellung eines entsprechenden Bragg'schen Gitters für diese Wellenlänge wäre ein Gitter erster Ordnung mit ca. $\Lambda = 130$ nm Periode notwendig. Diese Wellenlänge kann mit keinem der bekannten und verfügbaren He-Cd, Argon-Ionen oder Neodym-dotierten Festkörper-Laser holografisch erzeugt werden. Daher muss ein Gitter höherer Ordnung verwendet werden.

[0053] Ein Gitter 2. Ordnung müsste also eine Gitterperiode von $\Lambda = 260$ nm aufweisen, das sich mit einem der herkömmlichen Laser herstellen lässt.

[0054] Gemäß der Vertikalstruktur des Lasers soll das Gitter in eine InGaP-Schicht ($n_{22} = n_{24}: 3,27$) eingebracht werden. Um einen möglichst großen Koppelkoeffizienten zu erhalten, muss das Gitter mit einem Tastverhältnis von 1/4 bzw. 3/4 strukturiert werden. Um dies erfindungsgemäß durch Ätzung über eine Maskierungsschicht mit Tastverhältnis von 1/2 zu erreichen, wird eine zusätzliche Schicht **23** aus GaAsP ($n_{23}: 3,52$) mit der Dicke $d_{23} = 20$ nm in die InGaP-Schicht **22**, **24** eingebettet. Durch Verwendung einer bromhaltigen Ätzlösung ergibt sich in 0–11 orientiertem InGaP ein Ätzwinkel von $\alpha = 54^\circ$.

[0055] Gemäß Relation (5) ergibt sich für die Dicke der Schicht **24** ein Wert von ca. 35 nm, um die GaAsP-Schicht **23** im Verhältnis 1/4 zu strukturieren. Eine vergleichbare Ätzrate, wie sie für diese Ätzlösung beobachtet wird, ist hierfür Voraussetzung.

[0056] Insgesamt ergibt sich nach **Fig. 4** ein beispielhafter Schichtenaufbau wie folgt

- Kontaktschicht **26** aus GaAs
- Obere Mantelschicht **25** aus AlGaAs
- Obere Wellenleiterschicht **24** aus InGaP

- Obere Wellenleiterschicht **23** aus GaAsP
- Obere Wellenleiterschicht **22** InGaP
- Obere Wellenleiterschicht **21** aus AlGaAs
- Aktive Zone **27** aus GaAsP/InGaAsP
- Untere Wellenleiterschicht **28** aus AlGaAs
- Untere Mantelschicht **29** aus AlGaAs
- Substrat **30** aus GaAs

Bezugszeichenliste

1	Maskierungsschicht
2	Halbleiterkörper
3	Halbleiterschicht
21	obere Wellenleiterschicht
22	obere Wellenleiterschicht
23	obere Wellenleiterschicht
24	obere Wellenleiterschicht
25	obere Mantelschicht
26	Kontaktschicht
27	Aktive Zone
28	untere Wellenleiterschicht
29	untere Wellenleiterschicht
30	Substrat
d	Schichtdicke
n	Brechungsindex
α	Ätzwinkel

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Braggschen Gitters in einer Halbleiterschichtenfolge eines Halbleiterkörpers mittels Ätzen,

dadurch gekennzeichnet, dass

– in eine kristalline Halbleiterschicht der Schichtenfolge des Halbleiterkörpers, in der das Braggsche Gitter hergestellt werden soll, mindestens eine zusätzliche Halbleiterschicht (**23**) definierter Dicke (d_{23}) als Zwischenschicht mit einem zu den angrenzenden Schichten (**22**, **24**) unterschiedlichen Brechungsindex (n_{23}) eingebracht wird,

– danach das Braggsche Gitter geätzt wird, indem ein auf die Schichtenfolge (**24**, **23**, **22**) aufgebrachte Maskierungsschicht (**1**) mit einem Tastverhältnis von etwa 1/2 strukturiert und die unter der Maskierungsschicht (**1**) liegenden Schichten (**24**, **23**, **22**) bis mindestens einschließlich der zusätzlichen Halbleiterschicht (**23**) oder zusätzlichen Halbleiterschichten geätzt werden,

– wobei ein Ätzprozess gewählt wird, bei dem sich zusammen mit der Kristallorientierung des verwendeten Materials ein Winkel α ergibt und

– nach Entfernen der Maskierungsschicht (**1**) abschließend eine Halbleiterschicht (**25**) mit einem Brechungsindex, welcher den Brechungsindices der die zusätzliche Schicht (**23**) umgebenden Schichten (**24**, **22**) entspricht, aufgebracht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicken (d_{24} , d_{23}) der unter der Maskierungsschicht (**1**) liegenden Schichten (**24**, **23**) so gewählt werden, dass die zusätzlich eingebrachte Schicht (**23**) in Verbindung mit dem Winkel α im gewünschten Tastverhältnis strukturiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Gitterstruktur naß- und/oder trockenchemisch geätzt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die zusätzliche Schicht (**23**) aus einer Halbleiterschichtenfolge besteht.

5. Halbleiter-Bauelement mit einer Folge von Halbleiterschichten und einem mittels Ätzen und Wiederauffüllen mit Halbleitermaterial hergestellten Braggschen Gitter, nach dem Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in die kristalline Halbleiterschicht, in der sich das Braggsche Gitter befindet, mindestens eine zusätzliche Halbleiterschicht (**23**) definierter Dicke (d_{23}) und unterschied-

lichem Brechungsindex (n_{23}) zu den angrenzenden Schichten (**22**, **24**) eingebracht ist, wobei die Gitterstruktur des Braggschen Gitters mit einem Winkel α bis mindestens einschließlich der zusätzlichen Halbleiterschicht (**23**) oder zusätzlichen Halbleiterschichten herausgeätzt ist.

6. Halbleiter-Bauelement nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Gitterstruktur für kantene-mittierende Laser mit verteilter Rückkopplung und/oder Braggscher Reflektoren in oberen Wellenleiterschich-ten aus AlGaAs (**21**), InGaP (**22**), GaAsP (**23**), InGaP (**24**) in einem Halbleiterkörper in vertikaler Folge ausge-bildet ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

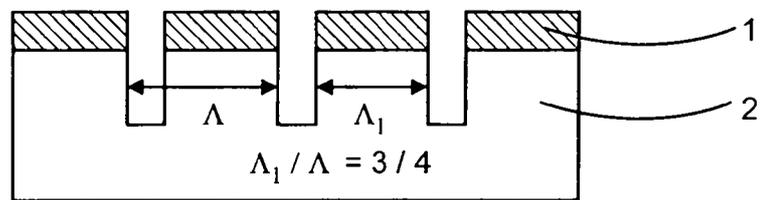


Fig. 1

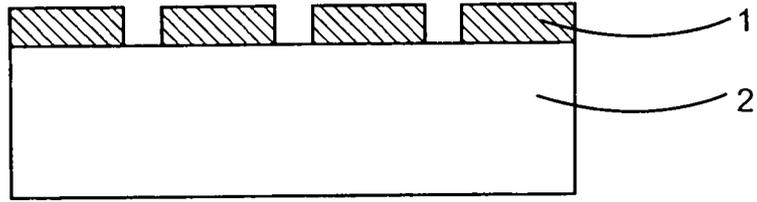


Fig. 2a

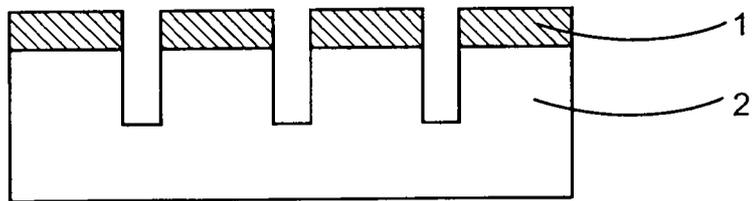


Fig. 2b

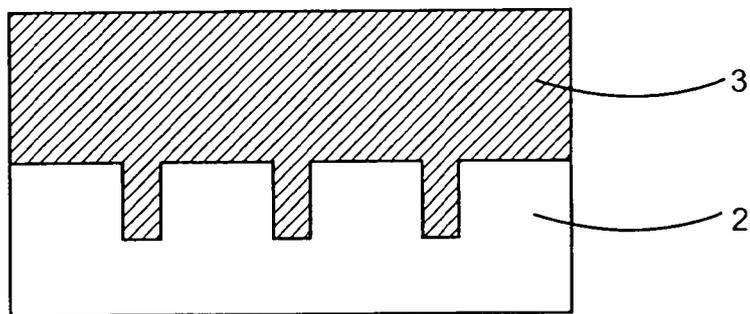


Fig. 2c

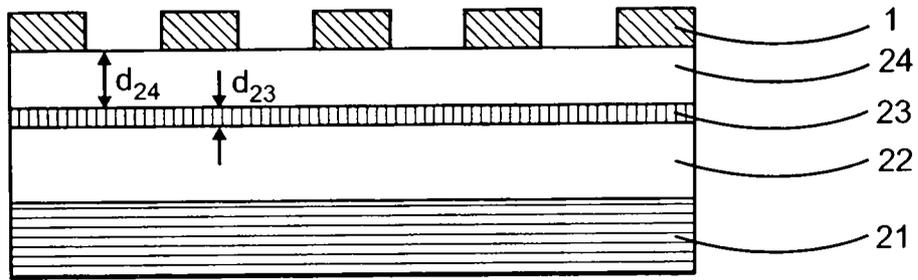


Fig. 3a

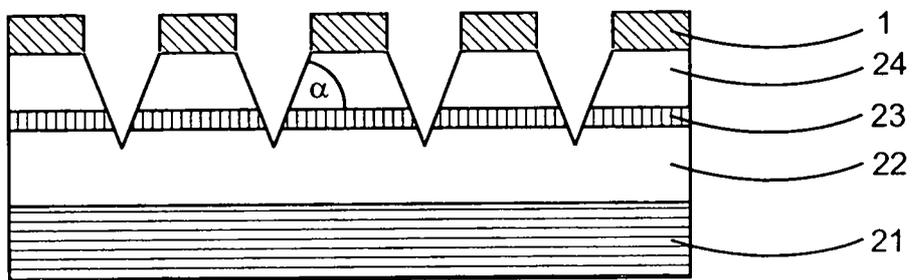


Fig. 3b

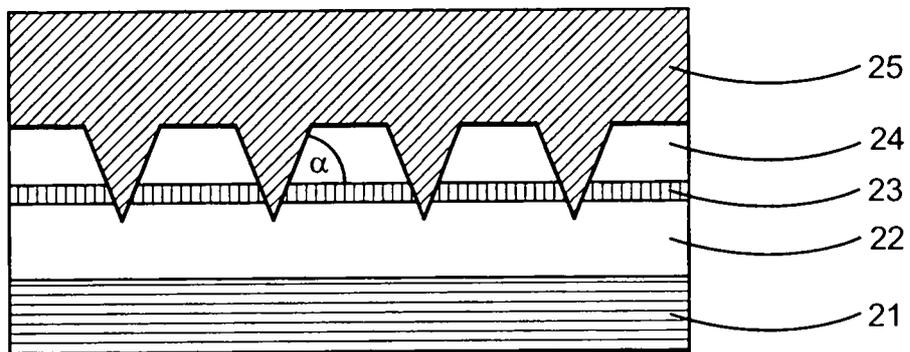


Fig. 3c

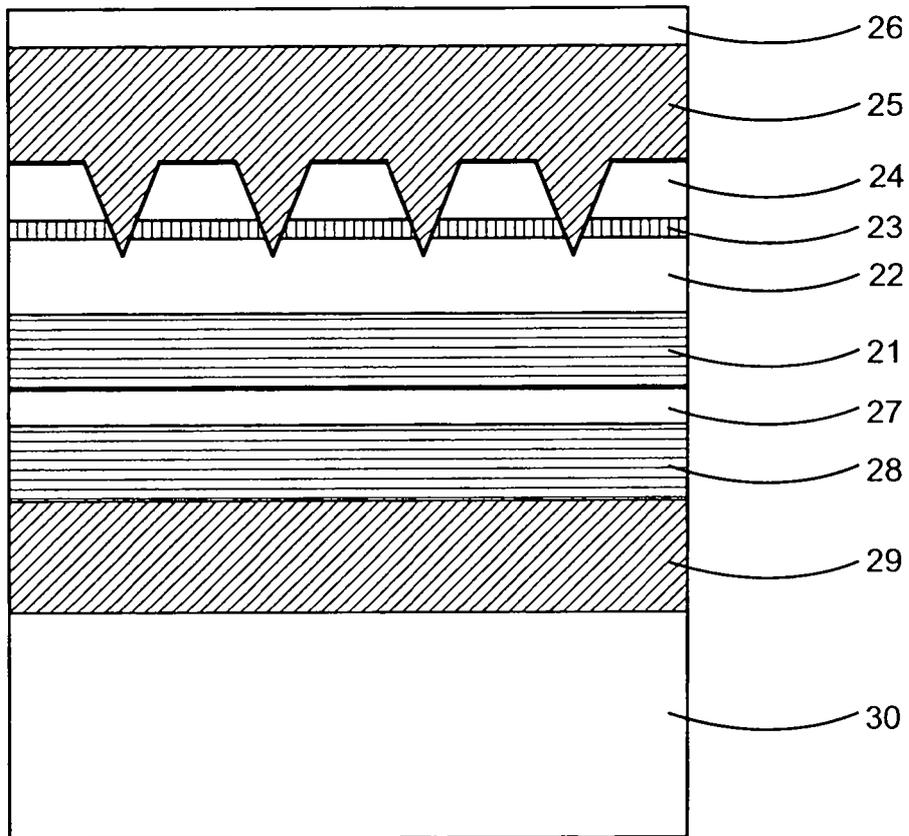


Fig. 4