



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 20 430 T2** 2008.01.24

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 436 867 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 20 430.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IL02/00718**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 765 307.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2003/021726**

(86) PCT-Anmeldetag: **29.08.2002**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **13.03.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **14.07.2004**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **30.05.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **24.01.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01S 5/00** (2006.01)  
**H01S 5/10** (2006.01)

(30) Unionspriorität:  
**946016**                      **04.09.2001**                      **US**

(73) Patentinhaber:  
**PBC Lasers Ltd., Doar Na Misgav, IL**

(74) Vertreter:  
**derzeit kein Vertreter bestellt**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR**

(72) Erfinder:  
**SHCHUKIN, Vitaly, 10717 Berlin, DE; LEDENSTOV,  
Nikolai, 10717 Berlin, DE**

(54) Bezeichnung: **HALBLEITERLASER AUF DER BASIS DES EFFEKTS DER KRISTALLVERMITTELTEN PHOTO-  
NENBANDFILTRATION HÖHERER MODEN DER LASERSTRAHLUNG UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTEL-  
LUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

GEBIET DER ERFINDUNG

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Halbleitergeräte. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf einen Halbleiterlaser mit einer niedrigen Strahldivergenz.

BESCHREIBUNG DER ZUGEHÖRIGEN TECHNIK

**[0002]** Hochleistungshalbleiterlaser spielen eine wichtige Rolle in Telekommunikationssystemen und dienen als Pumpen, Faserverstärker und werden in anderen Anwendungen eingesetzt.

**[0003]** Um eine niedrige Energiedichte pro Facette und eine niedrige Strahldivergenz für einen Kantenstrahler-Laser zu erhalten, wird im Allgemeinen ein erweiterter Wellenleiter verwendet. Jedoch wird eine signifikante Verengung des Fernfeldprofils durch eine Multi-Mode-Laserstrahlung eingeschränkt.

**[0004]** Der Stand der Technik auf dem Gebiet der Kantenstrahler-Laser mit einer niedrigen Strahldivergenz schließt das Konzept eines Leckwellendiodenlasers ein, der grundsätzlich eine niedrige Strahldivergenz erreicht. Ein Beispiel für diesen Stand der Technik ist das US-Patent Nr. 4,328,469, das am 4. Mai 1982 veröffentlicht wurde und den Titel „HIGH OUTPUT POWER INJECTION LASERS“ trägt. Dieses Patent offenbart einen Heterostruktur-Injektionslaser mit einer aktiven Schicht, die sich zwischen einem Paar von Schichten mit einem mittleren Index befindet. Eine Schicht mit einem sehr dünnen, niedrigen Brechungsindex und einer hohen Bandlücke kann zwischen einer aktiven Schicht und einer Zwischenschicht angeordnet sein. Die dünne Schicht kann in verschiedenen Kombinationen aufgebracht sein, um Grundschrwingungs-Leitungseffekte zu erzeugen.

**[0005]** Der Hautnachteil derartiger Geräte ist ein extrem niedriger Einschlussfaktor (confinement factor) der Grundschrwingung. Es ist nicht möglich, einen auf diesem Effekt basierenden Hochleistungslaser herzustellen. Aus diesem Grund besteht in der Technik ein Bedarf an einem Laser, der sowohl über die Eigenschaft einer niedrigen Strahldivergenz als auch über die einer hohen Leistung verfügt.

**[0006]** WO 00/36664A offenbart ein Gitter in der Richtung der Lichtausbreitung, das eine Modulation des Brechungsindex in der Richtung der Lichtausbreitung impliziert. Es wird ferner ein Gitter in Form eines Kristalls mit einer photonischen Bandlücke mit einer Modulation des Brechungsindex offenbart, welche in die Richtung der Lichtausbreitung stattfindet, wobei dieser Kristall mit der Bandlücke eine Störstelle aufweist. Das Licht wird mit Wellenlängen-Selektivität bereitgestellt.

**[0007]** EP 1 039 561 A offenbart eine lichtemittierende Vorrichtung, welche eine zweidimensionale photonische Bandlücke verwendet.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0008]** Ein Halbleiterlaser gemäß Anspruch 1, 45 und 81 wird offenbart. Der Laser schließt wenigstens einen Wellenleiter, der eine aktive, durch die Injektion eines Stromes eine optische Verstärkung erzeugende Schicht, einen Kristall mit einer photonischen Bandlücke mit einer Modulation des Brechungsindex in der zu der Ausbreitung des emittierten Lichts senkrechten Richtung und wenigstens eine Störstelle umfasst, ein. Die aktive Schicht ist bevorzugt innerhalb der Störstelle angeordnet. Der Kristall mit der photonischen Bandlücke und die Störstelle sind derart optimiert, dass die Grundschrwingung der Laserstrahlung an der Störstelle angeordnet ist und entfernt von der Störstelle abnimmt, während die anderen optischen Schwingungen sich über den Kristall mit der photonischen Bandlücke ausbreiten. Die Anordnung der Grundschrwingung an der Störstelle führt zu der relativen Verstärkung der Amplitude der Schwingung in Bezug zu den anderen Schwingungen. Aus diesem Grund ist der Einschlussfaktor der Grundschrwingung höher als die Einschlussfaktoren der anderen Schwingungen. Dies ermöglicht einen effizienten Single-Mode-Betrieb des Lasers mit dem erweiterten Wellenleiter.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0009]** **Fig. 1** zeigt ein schematisches Diagramm einer Ausführungsform eines Lasers der vorliegenden Erfindung, in welcher der Wellenleiter in der Laserstruktur einen Kristall mit einer photonischen Bandlücke aufweist,

der durch eine periodische Abfolge von Schichten mit abwechselnd hohem und niedrigem Brechungsindex und einer Störstelle, die Photonen lokalisiert, realisiert wird. Das Brechungsindexprofil für die gezeigte Ausführungsform wird ebenfalls gezeigt. Das Profil der Legierungszusammensetzung wird für eine besondere Ausführungsform gezeigt, in der die Modulation des Brechungsindex durch die Modulation der Zusammensetzung der Legierung  $x$  in einer Legierung aus  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  realisiert wird.

[0010] [Fig. 2](#) zeigt ein schematisches Diagramm einer Ausführungsform eines Lasers der vorliegenden Erfindung, in der eine einzelne Schicht mit einem hohen Brechungsindex in der Störstelle enthalten ist, wobei die Dicke dieser Schicht die Dicke der Schichten in dem Kristall mit der photonischen Bandlücke mit dem hohen Brechungsindex übersteigt.

[0011] [Fig. 3](#) zeigt ein schematisches Diagramm einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, in der eine einzelne Schicht mit einem höheren Brechungsindex als dem der Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke Teil der lokalisierenden Störstelle ist.

[0012] [Fig. 4](#) zeigt ein schematisches Diagramm einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, in der eine einzelne Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex zwei nebeneinander liegende Schichten mit einem hohen Brechungsindex voneinander trennt, wobei die trennende Schicht dünner als die anderen Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke mit einem niedrigen Brechungsindex ist.

[0013] [Fig. 5](#) zeigt ein schematisches Diagramm einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, in der eine einzelne Schicht mit einem mittleren Brechungsindex zwei anliegende Schichten mit einem hohen Brechungsindex voneinander trennt.

[0014] [Fig. 6](#) zeigt die relative elektrische Feldstärke in der transversalen elektrischen Grundschiwingung (TE) und der TE-Schwingung erster Ordnung sowie den Brechungsindex für den in [Fig. 2](#) gezeigten Laser.

[0015] [Fig. 7](#) zeigt ein schematisches Diagramm einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, in der eine Absorptionsschicht in einer der Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke angeordnet ist.

[0016] [Fig. 8](#) zeigt ein schematisches Diagramm einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, in der Schichten mit einem hohen Brechungsindex und Schichten mit einem niedrigen Brechungsindex durch Schichten mit Gradientenindex getrennt sind.

[0017] [Fig. 9](#) zeigt ein schematisches Diagramm einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, in der eine Absorptionsschicht in einer der Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke angeordnet ist und Schichten mit Gradientenindex Schichten mit einem hohen Brechungsindex von Schichten mit einem niedrigen Brechungsindex trennen.

[0018] [Fig. 10](#) zeigt ein Brechungsindexprofil und die elektrische Feldstärke der TE-Grundschiwingung und der TE-Schwingung erster Ordnung, wobei das elektrische Feld der Grundschiwingung an dem Absorber im Vergleich zu dem elektrischen Feld der Schwingung erster Ordnung in einem in [Fig. 9](#) gezeigten Ausführungsbeispiel signifikant unterdrückt wird.

[0019] [Fig. 11](#) zeigt ein Brechungsindexprofil und den Vergleich der elektrischen Feldstärke der Grundschiwingung mit der elektrischen Feldstärke der TE-Schwingungen erster, zweiter, dritter, und vierter Ordnung in einem in [Fig. 9](#) gezeigten Ausführungsbeispiel.

[0020] [Fig. 12](#) zeigt ein Fernfeldprofil des Lasers in einem in [Fig. 9](#) gezeigten Ausführungsbeispiel.

[0021] [Fig. 13](#) zeigt ein schematisches Diagramm einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, bei der das aktive Gebiet von dünnen Begrenzungen umgeben ist.

[0022] [Fig. 14](#) zeigt ein schematisches Diagramm einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, in der eine Absorptionsschicht in einer der Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke angeordnet ist und der aktive Bereich mit dünnen Begrenzungen umgeben ist.

[0023] [Fig. 15](#) zeigt ein schematisches Diagramm einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, in der Schichten mit einem hohen Brechungsindex und Schichten mit einem niedrigen Brechungsindex

durch Schichten mit Gradientenindex getrennt sind und der aktive Bereich mit dünnen Begrenzungen umgeben ist.

**[0024]** [Fig. 16](#) zeigt ein schematisches Diagramm einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, die eine in einer der Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke angeordnete Absorptionsschicht, Schicht mit Gradientenindex, die Schichten mit einem hohen Brechungsindex und Schichten mit einem niedrigen Brechungsindex voneinander trennen, sowie dünne Begrenzungen, die den aktiven Bereich umgeben, einschließt.

**[0025]** [Fig. 17](#) zeigt ein schematisches Diagramm einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, in welcher der aktive Bereich in einer der Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke angeordnet ist, und die Photonen lokalisierende Störstelle nur passive Elemente aufweist.

**[0026]** [Fig. 18](#) zeigt ein schematisches Diagramm einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei ein Kristall mit einer photonischen Bandlücke mit einer Modulation des Brechungsindex in der lateralen Ebene in einen oberflächenemittierenden Laser (vertical-cavity surface emitting laser, VCSEL) eingebracht wird.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0027]** Ein Gegenstand der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser der vorliegenden Erfindung ist es, ein enges Fernfeldprofil der Strahlung zu erhalten. Diese Aufgabe wird für gewöhnlich durch die Verwendung eines erweiterten Wellenleiters gelöst. Der Hauptnachteil der gängigen Wellenleiter ist die Tatsache, dass Laserstrahlung für gewöhnlich mehrere Schwingungen aufweist, was zu einem komplexen Fernfeldprofil und einer hohen Strahldivergenz führt. Um die höheren Schwingungen zu unterdrücken und gleichzeitig einen angemessenen Einschlussfaktor der Grundschwingung bereitzustellen, ist eine besondere Ausgestaltung des Wellenleiters erforderlich.

**[0028]** Die vorliegende Erfindung lehrt die Verwendung eines Kristalls mit einer photonischen Bandlücke in einer Geometrie, bei der sich das erzeugte Licht senkrecht zu der Richtung der Modulation des Brechungsindex ausbreitet. Insbesondere ist bei einem Halbleiter-Kantenstrahler-Laser der vorliegenden Erfindung der Kristall mit der photonischen Bandlücke eine eindimensionale periodische Schichtstruktur, in welcher der Brechungsindex  $n$  in vertikaler Richtung  $z$ ,  $n = n(z)$  moduliert ist. Dann kann die elektrische Feldstärke, zum Beispiel bei den TE-Schwingungen wie folgt beschrieben werden:

$$E_y(x,z,t) = E_y(z)\exp[i(\beta x - \omega t)], \quad (1)$$

wobei  $\exp[i(\beta x)]$  die Ausbreitung entlang des Wellenleiters in der  $x$ -Richtung darstellt und die Amplitude  $E_y(z)$  die Veränderung der elektrischen Feldstärke am Wellenleiter entlang zeigt. Letztere gehorcht der Wellengleichung (siehe z.B. H. C. Casey, Jr. und M. B. Panish, *Semiconductor Lasers*, Teil A, Academic Press, N. Y., 1978, S. 32-43 und 70-79):

$$-\frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} + \left[ \beta^2 - \frac{\omega^2}{c^2} n(z) \right] E_y = 0. \quad (2)$$

**[0029]** In einem unendlichen, absolut periodischen Kristall mit photonischer Bandlücke umfasst das Spektrum erlaubte Bänder in der Frequenz  $\omega$  und der Konstante  $\beta$ , für welche die elektromagnetischen Wellen periodische Wellen sind, die sich durch den Kristall hindurch ausbreiten, und verbotene Lücken, für die keine Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle möglich ist. In jedem beliebigen realen System wird eine absolute Periodizität entweder durch Beenden einer Abfolge von Schichten oder eine beliebige Art von Störstelle, welche das periodische Profil des Brechungsindex stört, durchbrochen. Eine derartige Störstelle kann sich entweder lokalisierend oder delokalisierend auf elektromagnetische Wellen in der  $z$ -Richtung auswirken. Im Falle der lokalisierenden Störstelle sind zwei Arten von elektromagnetischen Wellen möglich. Dies sind a) Wellen, die durch die Störstelle in der  $z$ -Richtung lokalisiert sind und sich entlang des Wellenleiters in der  $x$ -Richtung ausbreiten und b) Wellen, die sich über den Kristall mit der photonischen Bandlücke in der  $z$ -Richtung erweitert sind und sich entlang des Wellenleiters in der  $x$ -Richtung ausbreiten.

**[0030]** Somit schließt der Kantenstrahler-Laser der vorliegenden Erfindung zwei primäre Elemente ein: 1) einen Kristall mit einer photonischen Bandlücke mit der Modulation des Brechungsindex in einer vertikalen Richtung und 2) eine Störstelle, in welcher der aktive Bereich des Lasers bevorzugt angeordnet ist. Der Kristall mit

der photonischen Bandlücke und seine Störstelle sind derart ausgestaltet, dass lediglich eine Schwingung der Laserstrahlung von der Störstelle lokalisiert wird und ausgehend der Störstelle in z-Richtung abnimmt, während sich die anderen Schwingungen in der z-Richtung über den Kristall mit der photonischen Bandlücke erstrecken.

**[0031]** Die Fähigkeit der Störstelle, Schwingungen der Laserstrahlung zu lokalisieren, wird durch zwei Parameter bestimmt. Der erste Parameter ist die Differenz zwischen den Brechungsindizes der Störstelle und der Vergleichsschicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke,  $\Delta n$ . Der zweite Parameter ist das Volumen der Störstelle. Für die Laser der vorliegenden Erfindung, bei denen der Brechungsindex in nur einer Richtung moduliert ist,  $n = n(z)$ , ist der zweite Parameter die Dicke der Störstelle. Im Allgemeinen erhöht sich mit steigendem Wert von  $\Delta n$  bei festgelegter Dicke der Störstelle auch die Anzahl der von der Störstelle lokalisierten Schwingungen. Bei steigender Dicke der Störstelle bei festgelegtem  $\Delta n$  erhöht sich auch die Anzahl der von der Störstelle lokalisierten Schwingungen. Die Ausgestaltung der Laser der vorliegenden Erfindung wählt diese beiden Parameter  $\Delta n$  und die Dicke der Störstelle, so dass lediglich eine Schwingung der Laserstrahlung von der Störstelle lokalisiert wird. Die anderen Schwingungen sind erweiterte Schwingungen in der z-Richtung über den Kristall mit der photonischen Bandlücke.

**[0032]** Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung stellt einen Laser mit einem in dem Störstellenbereich angeordneten aktiven Bereich des Wellenleiters bereit, in welcher die Grundschiwingung der Laserstrahlung lokalisiert ist. Die erforderliche Lokalisierungslänge der Grundschiwingung wird durch das Zusammenspiel zweier Tendenzen bestimmt. Einerseits muss die Lokalisierungslänge groß genug sein, um eine niedrige Fernfeldstrahldivergenz bereitzustellen. Andererseits sollte die Lokalisierungslänge in ausreichender Weise kürzer sein als die Länge des Kristalls mit der photonischen Bandlücke. Dies stellt eine effiziente Lokalisierung der Grundschiwingung auf der Skala der Gesamtdicke des Kristalls mit der photonischen Bandlücke bereit und somit eine signifikante Verstärkung der elektrischen Feldstärke in der Grundschiwingung im Vergleich zu den anderen Schwingungen. Eine besondere Ausführungsform des Lasers der vorliegenden Erfindung erreicht eine Strahldivergenz von  $4^\circ$ , während der Einschlussfaktor bei 0,1 des Faktors in einem Standard-Laser mit doppelter Heterostruktur mit einer GaAs-Kavität von  $0,8 \mu\text{m}$  und umgebenden Schichten aus  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  liegt, wobei  $x = 0,3$ .

**[0033]** Unter besonderer Bezugnahme auf [Fig. 1](#) wird ein erstes Beispiel eines neuartigen Halbleiter-Kantenstrahler-Lasers (**100**) gezeigt, der auf einem Kristall mit einer photonischen Bandlücke basierendes Filtern von höheren Schwingungen der Laserstrahlung gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet. Die Struktur wächst epitaktisch auf dem Substrat (**102**), gefolgt von einer n-dotierten Pufferschicht (**103**).

**[0034]** Das Substrat (**102**) wird bevorzugt aus einem beliebigen Halbleitermaterial aus den Gruppen III-V oder einer Halbleiterlegierung aus den Gruppen III-V, z.B. GaAs, InP, GaSb oder anderen, gebildet. GaAs ist das bevorzugte Substrat (**102**) für die vorliegende Erfindung. Der n-Emitter (**103**) wird bevorzugt aus einem Material mit gitterförmiger oder annähernd gitterförmiger Struktur auf dem Substrat gebildet, ist für das erzeugte Licht durchlässig und mit Donor-Verunreinigungen dotiert. In einer bevorzugten Ausführungsform besteht der n-Emitter (**103**) aus demselben Material wie das Substrat, z.B. GaAs. Mögliche Donor-Verunreinigungen für diese Schicht (**103**) schließen folgende ein, sind aber nicht beschränkt auf S, Se, Te, oder amphotere Verunreinigungen wie Si, Ge und Sn. Die letztgenannte Gruppe von Verunreinigungen wird unter solchen technologischen Randbedingungen durchgeführt, dass sie hauptsächlich in das Kationen-Subgitter inkorporiert werden und als Donor-Verunreinigungen dienen. Zum Beispiel sind GaAs oder GaAlAs n-dotierte Schichten, die durch molekulare Strahlepitaxie gezüchtet und mit Si-Verunreinigungen in der Konzentration von  $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  dotiert werden, n<sup>+</sup>-dotierte Schicht (**103**) ist eine durch molekulare Strahlepitaxie gezüchtete GaAlAs-Schicht und mit Si-Verunreinigungen mit der Konzentration  $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  dotiert. In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die n-dotierte Schicht (**103**) mehr als eine Schicht, z.B. eine n<sup>+</sup>-n-Struktur, etc.

**[0035]** Auf diese Schichten folgt ein Kristall mit einer photonischen Bandlücke (**120**), der n Perioden einschließt. Jede Periode schließt eine n-dotierte Schicht (**104**) mit einem niedrigen Brechungsindex und eine n-dotierte Schicht (**105**) mit einem hohen Brechungsindex ein. Somit schließt der Kristall mit der photonischen Bandlücke (**120**) n Perioden ein, die jeweils eine Schicht (**104**) und eine Schicht (**105**) enthalten. Der Kristall mit der photonischen Bandlücke (**120**) wird bevorzugt aus einem Material mit gitterförmiger oder annähernd gitterförmiger Struktur auf dem Substrat (**102**) gebildet und ist für das emittierte Licht durchlässig. In dem Beispiel einer Vorrichtung auf einem GaAs-Substrat ist die bevorzugte Ausführungsform die Legierung  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  mit einer modulierten Aluminiumzusammensetzung x. Sämtliche Schichten (**104**) und (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**) müssen n-dotiert sein. Die Anzahl der Perioden, die Dicke jeder Schicht und die Legierungszusammensetzung in jeder Schicht werden ausgewählt, um die Lokalisierung von lediglich einer



Schwingung der Laserstrahlung in der z-Richtung bereitzustellen.

**[0036]** Der Kristall mit der photonischen Bandlücke (120) wird an einer Seite von einer Schicht (104) mit einem niedrigen Brechungsindex und von der anderen Seite von der Störstelle (121) umgeben. An die periodische Abfolge der Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (120) schließt sich eine spezifisch ausgestaltete Störstelle (121) an, die eine dicke n-dotierte Schicht (106), eine relativ dünne, schwach n-dotierte oder nicht dotierte Schicht (107), einen aktiven Bereich (108), eine schwach p-dotierte oder nicht dotierte Schicht (109) und eine dicke p-dotierte Schicht (110) einschließt. Die Störstelle (121) lokalisiert Photonen. Der aktive Bereich (108) oder die Licht erzeugende Schicht ist bevorzugt innerhalb der Störstelle (121) angeordnet. Jedoch kann der aktive Bereich (108) wie in [Fig. 17](#) gezeigt, auch außerhalb der Störstelle (121) angeordnet sein. Die Schichten (106) und (110) sind bevorzugt aus einem Material mit gitterförmiger oder annähernd gitterförmiger Struktur auf dem Substrat (102) gebildet und für das emittierte Licht durchlässig. In dem Beispiel der Vorrichtung auf einem GaAs-Substrat (102) sind bevorzugte Materialien für Schichten (106) und (110) GaAs oder  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ . Bevorzugte Materialien für schwach dotierte oder nicht dotierte Schichten (107) und (109) schließen GaAs oder  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  ein.

**[0037]** Der aktive Bereich (108) wird bevorzugt durch eine beliebige Insertion gebildet, deren Energie-Bandlücke enger als die des Substrats (102) ist. Mögliche aktive Bereiche (108) schließen ein, sind jedoch nicht beschränkt auf, eine einzelne Schicht oder ein Mehrschichtsystem aus Quantentöpfen, Quantendrähten, Quantenpunkten oder eine beliebige Kombination davon. In dem Beispiel der Vorrichtung auf einem GaAs-Substrat schließen bevorzugte Ausführungsformen des aktiven Elements ein System von Insertionen von  $\text{InAs}$ ,  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ ,  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{As}$ ,  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$  oder ähnlichen Materialien ein, ohne auf diese beschränkt zu sein. Licht (122) wird von der Kante des Lasers (100) emittiert. Das Licht (122) breitet sich senkrecht zu der Ebene von [Fig. 1](#) aus.

**[0038]** An die Störstelle (121) schließt sich eine p-dotierte Schicht (111) mit einem niedrigen Brechungsindex, eine p-dotierte Schicht (112) mit einem mittleren Brechungsindex, eine dicke p-dotierte Schicht (113) mit einem niedrigen Brechungsindex und eine dicke p-dotierte Pufferschicht (114), an. Die Schichten (111), (112) und (113) sind p-dotiert und sind bevorzugt aus einem Material mit gitterförmiger oder annähernd gitterförmiger Struktur auf dem Substrat (102) gebildet und für das emittierte Licht durchlässig. In dem Beispiel einer Vorrichtung auf einem GaAs-Substrat ist das bevorzugte Material für diese Schichten die Legierung  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  mit der modulierten Aluminiumzusammensetzung x. Die Schicht (111) weist bevorzugt einen niedrigen Brechungsindex auf, die Schicht (112) weist bevorzugt einen mittleren oder hohen Brechungsindex auf, und die Schicht (113) weist bevorzugt einen niedrigen Brechungsindex auf.

**[0039]** Die p-dotierte Kontaktschicht (114) ist bevorzugt aus einem Material mit gitterförmiger oder annähernd gitterförmiger Struktur auf dem Substrat (102) gebildet, für das erzeugte Licht durchlässig und mit einer Akzeptor-Verunreinigung dotiert. In einer bevorzugten Ausführungsform besteht diese Schicht (114) aus demselben Material wie das Substrat, z.B. GaAs. Mögliche Akzeptor-Verunreinigungen schließen folgende ein, ohne jedoch auf diese beschränkt zu sein: Be, Mg, Zn, Cd, Pb, Mn oder amphotere Verunreinigungen wie Si, Ge und Sn. Die letztgenannte Gruppe von Verunreinigungen wird unter solchen technologischen Randbedingungen eingebracht, dass sie hauptsächlich in das Anionen-Subgitter inkorporiert werden und als Akzeptor-Verunreinigungen dienen. Zum Beispiel sind GaAs oder GaAlAs p-dotierte Schichten, die durch molekulare Strahlepitaxie gezüchtet und mit Be-Verunreinigungen in der Konzentration von  $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  dotiert werden, eine p<sup>+</sup>-dotierte Schicht ist eine durch molekulare Strahlepitaxie gezüchtete GaAlAs-Schicht, die mit Be-Verunreinigungen mit der Konzentration  $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  dotiert ist. In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die p-dotierte Schicht (114) mehr als eine Schicht, z.B. eine p-p<sup>+</sup>-Schichtstruktur, etc. Bevorzugte numerische Werte für die Brechungsindizes verschiedener Schichten werden unten in der Beschreibung von [Fig. 6](#) angegeben.

**[0040]** Die gesamte Struktur ist zwischen einem n-Kontakt (101) und einem p-Kontakt (115) angeordnet. Die Kontaktschichten (101) und (115) sind bevorzugt aus Metallstrukturen mit mehreren Schichten gebildet. Der n-Kontakt (101) wird bevorzugt aus Materialien gebildet, welche die dreischichtige Struktur Ni-Au-Ge einschließen, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein. Der p-Kontakt (115) kann bevorzugt aus Materialien gebildet sein, welche die dreischichtige Struktur Ti-Pt-Au einschließen, ohne jedoch darauf beschränkt zu sein.

**[0041]** Der Wellenleiter des Lasers (100) schließt bevorzugt den Kristall mit der photonischen Bandlücke (120), die Störstelle (121), die Schicht (111) mit dem niedrigen Brechungsindex und die Schicht (112) mit einem mittleren Brechungsindex ein. Die Schicht (104) über dem n-Emitter (103) und die Schicht (113) dienen als umgebende Schichten für den Laser (100). Der Kristall mit der photonischen Bandlücke (120), die Anzahl der Perioden, die Periode, die Dicke und der Brechungsindex jeder Schicht innerhalb der Periode des Kristalls mit der

photonischen Bandlücke (120) sowie die Struktur der Störstelle (121) sind allesamt in einer Weise ausgebildet, dass lediglich eine TE-Schwingung der Laserstrahlung an der Störstelle (121) lokalisiert ist, während sämtliche anderen Schwingungen sich über den Kristall mit der photonischen Bandlücke (120) erstrecken. Eine asymmetrische Ausgestaltung des Lasers (100) wird gewählt, um die Gesamtbreite der p-dotierten Bereiche (111), (112), (113) und (114) zu verringern und somit den Gesamtwiderstand der Struktur zu verringern. Aus diesem Grund ist die Störstelle (121), an welcher der aktive Bereich (108) bevorzugt angeordnet ist, in Richtung des p-Kontakts (115) verschoben. Die dicke p-dotierte Schicht (113) wird verwendet, um die Ausbreitung der Grundschiwingung auf die absorbierende p-dotierte Kontaktschicht (114) in der Nähe des p-Kontakts (115) oder auf den p-Kontakt (115) selbst zu verhindern. Die zusätzliche Schicht (112) mit einem mittleren Brechungsindex wird verwendet, um den Einfluss der Schicht (113) auf die Laserschwingung in dem Bereich der Störstelle (121) zu verringern und um somit eine hohe elektrische Feldstärke in der Grundschiwingung in dem aktiven Bereich (108) aufrecht zu erhalten. Im Allgemeinen sind Schichten (111) und (112) keine zwingend notwendigen Teile des Lasers der vorliegenden Erfindung.

[0042] Das gewünschte Brechungsindexprofil über die gesamte Struktur hinweg wird wie folgt berechnet. Eine Modellstruktur wird eingeführt. Die TE-Grundschiwingung und die TE-Schwingungen höherer Ordnung werden anhand der Lösung des Eigenvektorproblems für Gleichung (2) erhalten. Zur Berechnung der fundamentalen Schwingung wird das Fernfeldprofil unter Verwendung des z.B. in H. C. Casey, Jr. und M. B. Panish, Semiconductor Lasers, Teil A, Academic Press, N. Y., 1978, Kapitel 2 angegebenen Verfahrens berechnet. Die gewünschte Struktur wird als ein Ergebnis der Optimierung unter Bereitstellung des bevorzugten Zusammenspiels zwischen der niedrigsten Strahldivergenz, der maximalen Amplitude der Grundschiwingung in dem aktiven Medium, und dem niedrigsten Verhältnis der Amplituden der Schwingungen höherer Ordnung an dem aktiven Medium zu dem der Grundschiwingung erhalten.

[0043] Fig. 2 zeigt eine besondere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei die Störstelle (121) Schichten (106), (107), (108), (109) und (110) einschließt. Zusammen weisen die Schichten (106), (107), (109), und (110) der Störstelle (121) bevorzugt denselben hohen Brechungsindex wie jede Schicht (105) auf und sind dicker als die Schichten (105) sind. Sämtliche in der Ausführungsform von Fig. 2 gezeigte Schichten (105) weisen dieselbe Dicke auf. Eine Schicht (105) wird in Fig. 2 sowie in den Fig. 3-Fig. 5 gezeigt, um verschiedene mögliche Ausführungsformen des Lasers der vorliegenden Erfindung zu demonstrieren. Aufgrund der Lokalisierung der Grundschiwingung der Störstelle (121) ist die elektrische Feldstärke in der Grundschiwingung in dem aktiven Bereich wesentlich höher als in anderen Schwingungen. Ein Vergleich mit der TE-Schwingung erster Ordnung wird in Fig. 6 gezeigt. Die Verstärkung lediglich einer Schwingung in dem aktiven Bereich ermöglicht ein effizientes Filtern der Schwingung und eine Realisierung eines Single-Mode-Lasers.

[0044] Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei die Störstelle (121) Schichten (106), (107), (108), (109) und (110) einschließt. Der Brechungsindex in den Schichten (106), (107), (109) und (110) haben zusammen dieselbe Dicke wie jede Schicht (105) und einen Brechungsindex, der höher ist als der Brechungsindex in jeder Schicht (105). Da der Störstellenbereich (121) einen derart hohen Brechungsindex aufweist, ist er derart ausgestaltet, dass er die Grundschiwingung der Laserstrahlung lokalisiert.

[0045] Fig. 4 zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung (den Laser (400)), wobei die Störstelle (421) eine Schicht (401) mit einem niedrigen Brechungsindex einschließt. Schicht (401) ist dünner als Schicht (104) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (420). Im Gegensatz zu den in Fig. 1-Fig. 3 gezeigten Ausführungsformen ist die Schicht (401) mit einer unterschiedlichen Dicke im Vergleich zu den anderen Schichten (104) nicht mehr Teil des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (420), sondern gehört zu der Störstelle (421). Der Brechungsindex von Schicht (401) ist derselbe wie der von Schichten (104). Aufgrund einer geringeren Dicke der Schicht (401) wird der Tunneleffekt der elektromagnetischen Wellen zwischen den benachbarten, die Schicht (401) umgebenden Schichten verstärkt. Aus diesem Grund tendieren die neben der Schicht (401) liegende Schicht (105) und die Störstelle (421) dazu, elektromagnetische Wellen zu lokalisieren. Die Schicht (401) ist bevorzugt aus einem Material mit gitterförmiger oder annähernd gitterförmiger Struktur auf dem Substrat (102) gebildet und für das emittierte Licht durchlässig. In einer bevorzugten Ausführungsform besteht Schicht (401) aus demselben Material wie die Schichten (104).

[0046] Fig. 5 zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung (den Laser (500)), wobei die Schicht (501) zwei Schichten (105) und (106) mit hohen Brechungsindizes voneinander trennt. Schicht (501) weist einen mittleren Brechungsindex zwischen dem Brechungsindex der Schichten (104) und (105) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (520) auf. Aufgrund des mittleren Brechungsindex der Schicht (501) wird der Tunneleffekt der elektromagnetischen Wellen zwischen den benachbarten, die Schicht (501) umgebenden Schichten verstärkt. Aus diesem Grund tendieren die neben der Schicht (501) liegende Schicht (105) und die

Störstelle (521) dazu, elektromagnetische Wellen zu lokalisieren. Die Schicht (501) ist bevorzugt aus einem Material mit gitterförmiger oder annähernd gitterförmiger Struktur auf dem Substrat gebildet und für das emittierte Licht durchlässig. In einer bevorzugten Ausführungsform besteht Schicht (501) aus  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$  mit dem Aluminiumgehalt  $x$  zwischen dem Aluminiumgehalt für Schichten (104) und Schichten (105).

[0047] Fig. 6 zeigt ein Profil der TE-Grundschiwingung und der TE-Schiwingung erster Ordnung in der z-Richtung für eine besondere Ausführung eines Lasers der vorliegenden Erfindung. Insbesondere stellt diese Figur den Laser (100) der Ausführungsform von Fig. 2 dar. Der Kristall mit der photonischen Bandlücke (120) umfasst 28 Perioden, die jeweils eine einzelne Schicht (104) mit einem niedrigen Brechungsindex und eine einzelne Schicht (105) mit einem hohen Brechungsindex umfassen. Eine Störstelle (121) wird durch eine Schicht mit einem hohen Brechungsindex und einer Dicke, welche die Dicke der Schichten (105) übersteigt, realisiert. In diesem Beispiel haben Schichten (104) und Schicht (111) jeweils eine bevorzugte Dicke von 90 nm und bestehen aus  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ , wobei  $x = 0,55$ . Schichten (105) weisen eine bevorzugte Dicke von 900 nm auf und bestehen aus GaAs. Die Störstelle (121) weist eine bevorzugte Dicke von 1,0  $\mu\text{m}$  auf. Die Schicht (112) weist die Dicke von 400 nm auf und besteht aus  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ , wobei  $x = 0,05$ . Für den Laser in dieser besonderen Ausführungsform ist der Brechungsindex der Schichten (105), (106) und (110) bevorzugt 3,590, der Brechungsindex der Schichten (104) und (111) ist bevorzugt gleich 3,227, der Brechungsindex der Schichten (103) und (112) ist bevorzugt 3,555 und der Brechungsindex der Schicht (113) ist bevorzugt 3,080. Fig. 6 zeigt, dass die elektrische Feldstärke in der TE-Grundschiwingung in dem aktiven Bereich ungefähr zweimal so hoch ist wie die der TE-Grundschiwingung erster Ordnung. Sie gilt für sämtliche Schwingungen höherer Ordnung. Eine derartige Ausführungsform ermöglicht Single-Mode-Lasern mit einer Fernfeldstrahldivergenz von 1,70.

[0048] Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung schließen Strukturen ein, in denen eine lokalisierende Störstelle durch das Kombinieren von einigen oder allen in Fig. 2 bis Fig. 5 gezeigten Variationen erreicht wird. In zusätzlichen Ausführungsformen wird eine lokalisierende Störstelle über mehr als eine Periode des Kristalls mit der photonischen Bandlücke verteilt. Noch weitere Ausführungsformen lokalisieren die TE-Grundschiwingung durch eine aperiodische Modulation des Brechungsindex. Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung schließen Strukturen ein, in denen Kristalle mit einer photonischen Bandlücke sich auf beiden Seiten der lokalisierenden Störstelle erstrecken.

[0049] Fig. 7 zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung (den Laser (700)), welche die Verwendung einer Absorptionsschicht (701) für das Unterdrücken von Schwingungen der Laserstrahlung höherer Ordnung lehrt. Die Absorptionsschicht (701) ist eine Schicht mit einem hohen Absorptionskoeffizienten für das emittierte Licht. Die Absorptionsschicht (701) ist bevorzugt in Schicht (105) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (720) angeordnet, die einen hohen Brechungsindex aufweist und auf der der den aktiven Bereich (108) enthaltenden Störstelle (721) gegenüberliegenden Seite des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (720) angeordnet ist. Die Verwendung einer Absorptionsschicht (701) stellt die folgenden Vorteile bereit. Die elektrische Feldstärke in der Grundschiwingung nimmt entfernt von der Störstelle (721) ab. Diese Abnahme folgt im Allgemeinen einer abnehmenden Exponentialkurve, die durch einen oszillierenden Faktor moduliert ist. In anderen Worten nimmt der maximale Wert der elektrischen Feldstärke innerhalb einer gegebenen Periode des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (720) entfernt von der Störstelle (721) exponentiell ab. Andererseits weisen keine der Schwingungen höherer Ordnung eine Abnahme auf. Aufgrund dieses Phänomens ist das elektrische Feld in der Grundschiwingung entfernt von der Störstelle (721) signifikant, z.B. um eine Größenordnung oder mehr, schwächer als bei den anderen Schwingungen. Das Anordnen einer Absorptionsschicht (701) mit einem hohen Absorptionskoeffizienten für das emittierte Licht in dem Kristall mit der photonischen Bandlücke (720) stellt an dieser Stelle eine effiziente Unterdrückung der Schwingungen höherer Ordnung bereit, wobei die Grundschiwingung nicht beeinflusst wird. Dieser Effekt ermöglicht die Unterdrückung von Laserstrahlung mit Schwingungen höherer Ordnung und realisiert ein Single-Mode-Lasern. Es gilt zu beachten, dass sowohl der aktive Bereich (108) als auch der Absorber (701) eine typische Dicke von ungefähr 10 nm aufweisen, welche das Profil der Schwingungen der Laserstrahlung nicht signifikant beeinflussen. Aus diesem Grund wird die Schicht (105) in welcher der Absorber (701) angeordnet ist, als ein Teil des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (720) betrachtet.

[0050] In alternativen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist die Absorptionsschicht (701) nicht innerhalb der ersten Schicht (105) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (720) angeordnet, sondern in einer der nächsten Schichten (105). Weitere Ausführungsformen schließen mehr als eine Absorptionsschicht (701) ein, die in mehreren Perioden des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (720) angeordnet ist.

[0051] Fig. 8 zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung (den Laser (800)). Diese Ausführungsform ähnelt dem in Fig. 1 gezeigten Laser, außer dass noch Schichten mit Gradientenindex (801) zwi-



schon jeder Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex und einer benachbarten Schicht mit einem hohen Brechungsindex eingeführt werden. Die Verwendung von Schichten mit Gradientenindex (801) ist eine Standardverwendung für auf GaAs/Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As-Heterostrukturen basierende Halbleiterlaser. Die Schichten mit Gradientenindex (801) stellen eine kontinuierliche Veränderung des Brechungsindex bereit. Ein Gradientenindex wird durch einen abgestuften Aluminiumgehalt x in den Schichten (801) realisiert und dient für die Verringerung des Widerstands der Heterostruktur. Die Dicke der Schichten mit Gradientenindex (801) übersteigt bevorzugt den Debye-Radius der Elektronen, der bei einem typischen Dotierungsniveau in Halbleiterlasern bei ungefähr 100 Å liegt.

[0052] [Fig. 9](#) zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung (den Laser (900)), der ähnlich der in [Fig. 7](#) gezeigten Ausführungsform ist. Zusätzlich zu der Absorptionsschicht (701) werden Schichten mit Gradientenindex (801) zwischen jede Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex und einer benachbarten Schicht mit einem hohen Brechungsindex eingeführt. Die Absorptionsschichten (701) unterdrücken erweiterte Schwingungen, während die Schichten mit Gradientenindex (801) eine kontinuierliche Veränderung des Brechungsindex bereitstellen. Zum Beispiel enthalten in einem auf einer GaAs/Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As-Heterostruktur basierenden Halbleiterlaser (900) die Indexschichten (801) einen abgestuften Aluminiumgehalt x. Um die Leistung eines realistischen Kantenstrahlerlasers der vorliegenden Erfindung zu veranschaulichen, wird die besondere in [Fig. 9](#) gezeigte, auf einer abgestuften GaAs/Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As-Heterostruktur basierende und eine Absorptionsschicht (701) enthaltende Ausführungsform als Beispiel verwendet. Die Schwingungen werden für die besondere Struktur mit dem in [Fig. 10](#) unten gezeigten Brechungsindexprofil berechnet. Der Kristall mit der photonischen Bandlücke (920) von [Fig. 9](#) enthält n = 13 Perioden. Die Schichten (105) mit einem hohen Brechungsindex sind bevorzugt aus GaAs gebildet und weisen eine Dicke von ungefähr 0,8 µm auf. Die Störstelle (921), die Schichten (106), (107), (108), (109) und (110) einschließt, weist eine Dicke von ungefähr 0,9 µm auf. Der aktive Bereich (108) ist in der Mitte der Störstelle (921) angeordnet. Die Schichten (104) mit einem niedrigen Brechungsindex werden aus Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As gebildet, wobei x = 0,55, und weisen bevorzugt eine Dicke von ungefähr 600 Å auf. Die Schichten mit Gradientenindex (801) weisen bevorzugt eine Dicke von ungefähr 400 Å auf. Die Schicht (112), die verwendet wird, um die Abschwächung der Grundschiwingung vor der p-Kontaktschicht (114) bereitzustellen, ist ungefähr 0,3 µm dick und besteht bevorzugt aus Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As, wobei x = 0,05. Schicht (113) weist einen Aluminiumgehalt von 0,8 und eine Dicke von ungefähr 0,3 µm auf. Die Absorptionsschicht (701) wird auf der ersten Periode des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (920) von der Substratseite (102) aus angeordnet. Die Absorptionsschicht (701) wird in der Schicht (105) asymmetrisch näher an der Schichtgrenze von der Substratseite (102) aus angeordnet. Ihre Entfernung von der Schichtgrenze beträgt bevorzugt 0,1 µm. Die besondere Ausführung des Wellenleiters wird für die emittierte Wellenlänge 0,98 µm berechnet. Der Wellenleiter des Lasers der Ausführungsform von [Fig. 9](#) schließt die Schicht mit Gradientenindex (801), n Perioden des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (920), die Störstelle (921), die Schicht mit Gradientenindex (801), die Schicht (111) mit dem niedrigen Brechungsindex, die Schicht mit Gradientenindex (801), die Schicht (112) mit dem mittleren Brechungsindex und die Schicht mit Gradientenindex (801) ein. Die Dicke sämtlicher den Wellenleiter bildenden Schichten, außer der Dicke der aktiven Schicht und der Absorptionsschicht, sind proportional zu der emittierten Wellenlänge. Bei dem Laser in der Ausführungsform von [Fig. 9](#) beträgt der Brechungsindex der Schichten (105), (106) und (110) bevorzugt 3,590, der Brechungsindex der Schichten (104) und (111) beträgt bevorzugt 3,227, der Brechungsindex der Schichten (103) und (112) beträgt bevorzugt 3,555 und der Brechungsindex der Schichten (113) betragt bevorzugt 3,080. Der Brechungsindex jeder Schicht mit Gradientenindex (801) ändert sich schrittweise zwischen den Werten der Brechungsindizes der benachbarten Schichten.

[0053] [Fig. 10](#) zeigt die TE-Grundschiwingung und die TE-Schwingungen erster Ordnung des Lasers (900) in der Ausführungsform von [Fig. 9](#). Der berechnete Einschlussfaktor der Grundschiwingung überschreitet den der Schwingung erster Ordnung um einen Faktor 1,5. Jedoch ist aufgrund der schnellen Abnahme der lokalisierten Grundschiwingung in der Tiefe des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (920) die Absorption an dem Absorber ungefähr 20-mal niedriger als die Absorption der TE-Schwingung erster Ordnung.

[0054] [Fig. 11](#) vergleicht die TE-Grundschiwingung mit den TE-Schwingungen erster Ordnung, zweiter Ordnung, dritter Ordnung und vierter Ordnung für den Laser (900) in der Ausführungsform von [Fig. 9](#). [Fig. 11](#) zeigt große Amplituden aller TE-Schwingungen höherer Ordnung an dem Absorber. Die Schwingungen „höherer Ordnung“ sind sämtliche Schwingungen außer der Grundschiwingung. Dies zeigt eine signifikante Unterdrückung der Grundschiwingung an der Absorptionsschicht (701) verglichen mit den anderen Schwingungen. Der Absorptionskoeffizient von jeder Schwingung höherer Ordnung überschreitet den der Grundschiwingung um einen Faktor 20 (für die Schwingung erster Ordnung) und um einen Faktor 100 und mehr für die anderen Schwingungen. Dies beweist eine effiziente Trennung der Grundschiwingung von den Schwingungen höherer Ordnung.

**[0055]** Die Gesamtdicke des n-dotierten Bereichs, welche die Schichten (103), (801), (104) und (801), n Perioden des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (920) und die Schicht (106) in Laser (900) umfasst, beträgt ungefähr 12  $\mu\text{m}$ . Die Dicke des p-dotierten Bereichs, welcher die Schichten (110), (801), (111), (801), (112), (801), (113), (801) und (114) umfasst, beträgt ungefähr 1  $\mu\text{m}$ . In Laser (900) sind die umgebenden Schichten die am weitesten links angeordnete Schicht (104) mit einem niedrigen Brechungsindex und die Schicht (113) mit einem niedrigen Brechungsindex, und die Breite des Wellenleiters ist bevorzugt gleich 13,16  $\mu\text{m}$ . Bei der Beschreibung des Einschlussfaktors der Grundschiwingung des in [Fig. 9](#) gezeigten Lasers bietet es sich an, diesen mit dem Einschlussfaktor eines Vergleichslasers zu vergleichen. Bei dem Vergleichslaser handelt es sich um einen Laser mit doppelter Heterostruktur mit einem 0,8  $\mu\text{m}$  breiten GaAs-Wellenleiter und umgebenden Schichten aus  $\text{Ga}_{0,7}\text{Al}_{0,3}\text{As}$ . Aus diesem Grund ist der Einschlussfaktor der Grundschiwingung des in [Fig. 9](#) gezeigten Lasers etwa 0,1-mal der Einschlussfaktor des Vergleichslasers. Der Einschlussfaktor des Lasers der vorliegenden Erfindung kann ohne Beeinträchtigung des Profils der Schwingungen unter Verwendung eines doppelten Quantentopfs als aktiven Bereich (108) verdoppelt werden. Dies macht es möglich, ein Lasern mit einer angemessen niedrigen Schwellstromdichte zu erreichen.

**[0056]** [Fig. 12](#) zeigt ein Fernfelddiagramm der TE-Grundschiwingung dieser Ausführungsform. Die volle Breite bei dem halben Maximum des Fernfelddiagramms ist gleich  $4^\circ$ . Somit ermöglichen die für eine Musterlaserstruktur durchgeführten Berechnungen die Herstellung eines Lasers, der effektiv ein Single-Mode-Laser ist, eine enge ( $4^\circ$ ) Strahldivergenz sowie einen angemessenen Einschlussfaktor der TE-Grundschiwingung aufweist.

**[0057]** [Fig. 13](#) zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei der Laser (1300) ähnlich dem in [Fig. 1](#) gezeigten ist, mit zwei zusätzlichen Schichten (1301). Diese dünnen Schichten (1301) umgeben den aktiven Bereich (108). Diese Schichten (1301) sind aus einem Material gebildet, das Potenzialschwellen für Ladungsträger erzeugt. Diese Schichten (1301) verhindern die Verdampfung von Ladungsträgern aus dem aktiven Bereich und stellen somit eine hohe Temperaturstabilität des Lasers (1300) bereit. Diese Schichten (1301) müssen einerseits dünn genug sein, um den Tunneleffekt der Elektronen von der n-dotierten Schicht (106) zu dem aktiven Bereich (108) sowie den Tunneleffekt der Löcher von der p-dotierten Schicht (110) zu dem aktiven Bereich (108) zu fördern. Andererseits müssen diese Schichten (1301) ausreichend sein, um eine Verdampfung der Ladungsträger von dem aktiven Bereich (108) bei höheren Temperaturen zu verhindern und somit die thermische Stabilität des Lasers (1300) zu erhöhen. In einem Beispiel sind diese Laser (1301) bevorzugt aus einer  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ -Legierung mit einem hohen Aluminiumgehalt x gebildet. Die Dicke und der Aluminiumgehalt in den Schichten (1301) werden derart optimiert, dass sie einen effizienten Tunneleffekt von Ladungsträgern zu dem aktiven Bereich (108) ermöglichen, ohne den Widerstand der Laserstruktur zu sehr zu erhöhen und gleichzeitig die Verdampfung der Ladungsträger aus dem aktiven Bereich (108) verhindern. Eine typische Dicke der Schicht (1301) beträgt weniger als 5 nm, und ein typischer Aluminiumgehalt liegt höher als 0,4.

**[0058]** [Fig. 14](#) zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei der Laser (1400) ähnlich dem in [Fig. 7](#) gezeigten Laser (700) ist, mit zwei zusätzlichen Schichten (1301), welche die Verdampfung von Ladungsträgern aus dem aktiven Bereich (108) verhindern. Der Kristall mit der photonischen Bandlücke (1420) und eine Störstelle (1421) sind ebenfalls in dem Laser (1400) enthalten. Die Absorptionsschicht (701) unterdrückt effizient erweiterte Schwingungen. Ein Umgeben des aktiven Bereichs (108) mit den dünnen Begrenzungen (1301) verhindert die Verdampfung von Ladungsträgern aus dem aktiven Bereich und stellt somit eine hohe Temperaturstabilität des Lasers (1400) bereit.

**[0059]** [Fig. 15](#) zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei der Laser (1500) ähnlich dem in [Fig. 8](#) gezeigten Laser (800) ist, mit zwei zusätzlichen Schichten (1301), welche die Verdampfung von Ladungsträgern aus dem aktiven Bereich (108) verhindern. Der Kristall mit der photonischen Bandlücke (1520) und eine Störstelle (1521) sind ebenfalls in dem Laser (1500) enthalten. Schichten mit Gradientenindex (801) stellen eine kontinuierliche Veränderung des Brechungsindex bereit. Die dünnen Begrenzungen (1301), die den aktiven Bereich (108) umgeben, verhindern die Verdampfung von Ladungsträgern aus dem aktiven Bereich (108) und stellen somit eine hohe Temperaturstabilität des Lasers bereit.

**[0060]** [Fig. 16](#) zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei der Laser (1600) ähnlich dem in [Fig. 9](#) gezeigten Laser (900) ist, mit zwei zusätzlichen Schichten (1301), welche die Verdampfung von Ladungsträgern aus dem aktiven Bereich (108) verhindern. Der Kristall mit der photonischen Bandlücke (1620) und eine Störstelle (1621) sind ebenfalls in dem Laser (1600) enthalten. Eine Absorptionsschicht (701) unterdrückt effizient erweiterte Schwingungen. Schichten mit Gradientenindex (801) stellen eine kontinuierliche Veränderung des Brechungsindex bereit. Die dünnen Begrenzungen (1301), die den aktiven Bereich (108)

umgeben, verhindern die Verdampfung von Ladungsträgern aus dem aktiven Bereich (108) und stellen somit eine hohe Temperaturstabilität des Lasers bereit.

**[0061]** [Fig. 17](#) zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung (den Laser (1700)), wobei der aktive Bereich in einer der Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (1720) angeordnet ist und die Störstelle (1721) nur passive Elemente aufweist. In der besonderen Ausführungsform von [Fig. 17](#) sind eine n-dotierte Schicht (1706), eine schwach n-dotierte Schicht oder eine nicht dotierte Schicht (1707), der aktive Bereich (1708), eine schwach p-dotierte oder nicht dotierte Schicht (1709) und eine p-dotierte Schicht (1710) in der am meisten rechts angeordneten Periode des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (1720) angeordnet. Die Schichten (1706), (1707), (1708), (1709), und (1710) sind bevorzugt aus denselben Materialien gebildet wie die Schichten (106), (107), (108), (109), und (110) in den anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung. Die Schicht (1704) ist eine p-dotierte Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex. Sie sollte aus einem Material mit gitterförmiger oder annähernd gitterförmiger Struktur auf dem Substrat (102) gebildet, für das emittierte Licht durchlässig sowie p-dotiert sein. In der bevorzugten Ausführungsform besteht die Schicht (1704) aus demselben Material wie die Schichten (104), ist jedoch p-dotiert. Die in [Fig. 17](#) gezeigte Störstelle (1721) schließt eine einzelne p-dotierte Schicht (1722) mit einem hohen Brechungsindex ein. Der Effekt der Lokalisierung der Grundschiwingung der Laserstrahlung wird auf dieselbe Weise realisiert wie in der Ausführungsform von [Fig. 2](#) beschrieben. Die Störstelle (1721) weist denselben Brechungsindex wie die anderen Schichten (105) mit einem hohen Brechungsindex auf, ist jedoch dicker als die Schichten (105).

**[0062]** Alternative Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind ähnlich denen in den oben beschriebenen Figuren, die aktive Schicht ist jedoch außerhalb der Störstelle angeordnet. Zum Beispiel kann die Störstelle durch eine einzelne Schicht mit einem Brechungsindex, der über dem der Schichten (105) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke liegt, realisiert werden, ähnlich der Ausführungsform von [Fig. 3](#).

**[0063]** Alternativ kann die Störstelle zwei Schichten mit einem hohen Brechungsindex, welche eine Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex umgeben, einschließen, wobei die Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex dünner ist als die Schichten (104) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke, ähnlich der Ausführungsform von [Fig. 4](#). Noch eine weitere Ausführungsform definiert die Störstelle über zwei Schichten mit einem hohen Brechungsindex, welche eine Schicht mit einem Brechungsindex zwischen dem Brechungsindex der Schichten (104) und (105) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke umgeben, ähnlich der Ausführungsform von [Fig. 5](#).

**[0064]** Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung schließen Strukturen ein, in denen die aktive Schicht sich außerhalb der lokalisierenden Störstelle befindet, und eine lokalisierende Störstelle selbst wird durch das Kombinieren von einigen oder allen in [Fig. 2](#) bis [Fig. 5](#) gezeigten Variationen realisiert. In zusätzlichen Ausführungsformen ist eine lokalisierende Störstelle über mehr als eine Periode des Kristalls mit der photonischen Bandlücke verteilt. Noch weitere Ausführungsformen lokalisieren die TE-Grundschiwingung über eine Art aperiodische Modulation des Brechungsindex. Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung schließen Strukturen ein, in denen Kristalle mit einer photonischen Bandlücke sich auf beiden Seiten der lokalisierenden Störstelle erstrecken.

**[0065]** Eine weitere Ausführungsform schließt Strukturen ein, wobei Absorptionsschichten ähnlich der Ausführungsform von [Fig. 7](#) eingeführt werden, die aktive Schicht jedoch ist außerhalb der lokalisierenden Störstelle angeordnet. Eine zusätzliche Ausführungsform schließt Strukturen ein, bei denen die aktive Schicht außerhalb der lokalisierenden Störstelle angeordnet ist und Schichten mit Gradientenindex werden zwischen jeder Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex und einer benachbarten Schicht mit einem hohen Brechungsindex eingefügt, ähnlich der Ausführungsform von [Fig. 8](#). Noch eine weitere Ausführungsform, in der die aktive Schicht außerhalb der lokalisierenden Störstelle angeordnet ist, schließt dünne Tunnelbegrenzungen für Ladungsträger ein, welche die aktive Schicht umgeben, ähnlich der Ausführungsform von [Fig. 13](#). Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind möglich, in denen die aktive Schicht außerhalb der lokalisierenden Störstelle angeordnet ist, und einige oder alle Elemente, wie Absorptionsschichten, Schichten mit Gradientenindex und dünne Tunnelbegrenzungen für Ladungsträger, welche die aktiven Schichten umgeben, sind eingeschlossen. Weitere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung schließen Strukturen ein, in denen die Störstelle entweder auf der n-Seite oder der p-Seite des aktiven Elements angeordnet ist.

**[0066]** In alternativen Ausführungsformen der vorliegenden Ausführungsform ist nur ein Teil der Laserstruktur auf einem Kristall mit einer photonischen Bandlücke gebildet und der Kristall mit der photonischen Bandlücke stellt ein effizientes Filtern der Schwingungen höherer Ordnung der Laserstrahlung bereit. Zusätzliche Ausführungsformen, in denen das aktive Medium und der Kristall mit der photonischen Bandlücke räumlich getrennt

sind und in unterschiedlichen Teilen der Laserstruktur angeordnet sind, sind ebenfalls in der vorliegenden Erfindung eingeschlossen. In weiteren Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ist ein Kristall mit einer photonischen Bandlücke auf einer Facette eines Kantenstrahlerlasers angebracht und fördert so ein wirksames Filtern der Schwingungen höherer Ordnung der Laserstrahlung und stellt ein wirksames Single-Mode-Lasern bereit.

**[0067]** Eine zusätzliche Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Wellenleiter, z.B. eine optische Faser, in welcher der Brechungsindex in den Richtungen senkrecht zu der Richtung der Lichtausbreitung moduliert wird, so dass eine einzige Schwingung der Lichtausbreitung in dem Störstellenbereich mit einem hohen Brechungsindex lokalisiert wird und in der Querschnittsebene entfernt von dem Störstellenbereich abnimmt, während sämtliche anderen Schwingungen über den gesamten Querschnitt des Wellenleiters verbreitet sind. Dies ermöglicht die Anwendung von Absorbern und Scatterern, welche die Ausbreitung aller Schwingungen außer einer verhindern und die Ausbreitung der einzelnen Lichtschwingung nicht verändern. Diese Ausführungsform realisiert einen effektiven Single-Mode-Wellenleiter, z.B. eine optische Faser, auch im Falle einer dicken Faser.

**[0068]** Zusätzliche Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung schließen einen Kristall mit einer photonischen Bandlücke mit einer Modulation des Brechungsindex, die senkrecht zu der Lichtausbreitung ist, wie in sämtlichen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, ein, das Licht jedoch breitet sich senkrecht zu der Ebene des p-n-Übergangs aus. Diese Ausführungsform ist bevorzugt ein oberflächenemittierender Laser (VCSEL, vertical cavity surface emitting laser).

**[0069]** Unter besonderer Bezugnahme auf [Fig. 18](#) wird ein Beispiel eines VCSEL (**1800**) gezeigt, der einen Kristall mit einer photonischen Bandlücke (**1820**) in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung verwendet. [Fig. 18](#) zeigt eine spezifische Ausführung eines Kristalls mit einer photonischen Bandlücke mit einer Modulation des Brechungsindex senkrecht zu der Richtung der Lichtausbreitung. Die Struktur wächst epitaktisch auf dem Substrat (**102**). Das Substrat (**102**) wird bevorzugt aus einem beliebigen Halbleitermaterial aus den Gruppen III-V oder einer Halbleiterlegierung aus den Gruppen III-V, z.B. GaAs, InP, GaSb oder anderen, wie in anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, gebildet. In einer bevorzugten Ausführungsform wird GaAs verwendet. Bragg-Reflektoren werden bevorzugt für den unteren Spiegel (**1801**) verwendet. Der Rest des VCSEL (**1800**) schließt zwei primäre Elemente ein: 1) ein aktives Element über dem unteren Spiegel (**1801**) und 2) einen Bereich über dem aktiven Bereich, der zwei Kristalle mit photonischer Bandlücke (**1820**) und die Störstelle (**1821**) einschließt. Der Kristall mit der photonischen Bandlücke (**1820**) schließt die Schicht (**1811**) in der vertikale Säulen (**1810**) mit einem unterschiedlichen Brechungsindex eingefügt sind, ein.

**[0070]** Für die Bildung des aktiven Elements (**1806**) trennt eine Stromapertur (**1804**) eine n-dotierte, stromverteilende Schicht (**1802**) mit einem ersten Metallkontakt (**1803**) von den schwach dotierten Schichten (**1805**) und (**1807**), die das aktive Element (**1806**) umgeben. Eine zweite Stromapertur (**1804**) trennt die schwach dotierte Schicht (**1807**) mit einem zweiten Metallkontakt (**1809**) von einer p-dotierten stromverteilenden Schicht (**1808**). Jede Schicht wird von der benachbarten Schicht durch eine Stromapertur (**1804**) getrennt, die als stromblockierende Schicht dient und bevorzugt aus einer Al(Ga)O-Schicht oder einer Protonen-Bombardierungsschicht gebildet ist.

**[0071]** Das aktive Element (**1806**) wird bevorzugt durch eine beliebige Insertion gebildet, deren Energiebandlücke enger ist als die des Substrats (**102**). Mögliche aktive Elemente schließen die folgenden ein, ohne jedoch auf diese beschränkt zu sein: eine einfache Schicht oder ein System aus mehreren Schichten, Quantentöpfen, Quantendrähten, Quantenpunkten oder deren Kombination. In dem Falle der Vorrichtung auf einem GaAs-Substrat schließen bevorzugte Materialien für das aktiven Element die folgenden ein, ohne jedoch auf diese beschränkt zu sein: ein System von Insertionen von InAs,  $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}$ ,  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{Al}_y\text{As}$ ,  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_{1-y}\text{N}_y$  oder ähnliche Materialien.

**[0072]** Die n-dotierte Schicht (**1802**) ist bevorzugt aus einem Material mit gitterförmiger oder annähernd gitterförmiger Struktur auf dem Substrat (**102**) gebildet, für das erzeugte Licht durchlässig und mit Donor-Verunreinigungen dotiert. Sie besteht bevorzugt aus demselben Material wie der n-Emitter (**103**) in den anderen Ausführungsformen. Die p-dotierte Schicht (**1808**) ist bevorzugt aus einem Material mit gitterförmiger oder annähernd gitterförmiger Struktur auf dem Substrat gebildet, für das erzeugte Licht durchlässig und mit Akzeptor-Verunreinigungen dotiert. Sie besteht bevorzugt aus demselben Material wie der p-Emitter (**114**) in den anderen Ausführungsformen. Der n-Kontakt (**1803**) ist bevorzugt aus demselben Material wie der n-Kontakt (**101**) in den anderen Ausführungsformen gebildet. Der p-Kontakt (**1809**) ist bevorzugt aus demselben Material wie der p-Kontakt (**115**) in den anderen Ausführungsformen gebildet.



**[0073]** Die n-dotierte stromverteilende Schicht (**1802**) ist direkt auf dem unteren Spiegel (**1801**) angeordnet. Die Schicht (**1811**) wird einem selektiven Ätzen gefolgt von einem anschließenden heteroepitaktischen Überwachsen unter Ausbildung vertikaler Säulen (**1810**) aus einem anderen Material unterzogen. Der Bereich (**1821**) ist eine Störstelle, welche die seitliche Grundschiwingung der Laserstrahlung lokalisiert.

**[0074]** Verteilte Bragg-Reflektoren können auch für einen oberen Spiegel (**1813**) verwendet werden, der über dem Bereich liegt, der den Kristall mit der photonischen Bandlücke (**1820**) und der Störstelle (**1821**) einschließt. Das aktive Element (**1806**) funktioniert mit Vorwärtsspannung (**1814**), wie sie typisch für VCSELs ist. Das Licht (**1815**) tritt aus dem oberen Spiegel (**1813**) aus.

**[0075]** Unterschiedliche Ausführungen des unteren Spiegels (**1801**) und des oberen Spiegels (**1813**) können verwendet werden, wie zum Beispiel in D. G. Deppe, Optoelectronic Properties of Semiconductors and Superlattices, Bd. 10, Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers: Technology and Applications, herausgegeben von J. Cheng and N. K. Dutts, Gordon and Breach Science Publishers, 2000, S. 1-61 beschrieben. Die bevorzugte Ausführungsform ist ein mehrschichtiger dielektrischer GaAs/AlGaO-Spiegel.

**[0076]** Eine besondere Ausführungsform des Kristalls mit der photonischen Bandlücke umfasst alternierende Säulen (**1810**) und (**1811**) und die Störstelle (**1821**) sowie Stromaperturen (**1804**). Diese Ausführung sollte derart optimiert werden, dass nur die seitliche Grundschiwingung der Laserstrahlung, die durch die Störstelle (**1821**) lokalisiert ist, eine signifikant größere Überlappung mit dem aktiven Bereich aufweist als sämtliche andere Schwingungen höherer Ordnung, die sich über die gesamte laterale Ebene erstrecken. Eine derartige Ausführung fördert ein effizientes Single-Mode-Lasern. Die besondere Ausführungsform wird berechnet durch das Lösen eines dreidimensionalen Problems der Lichtausbreitung in einem inhomogenen Medium zum Beispiel unter Verwendung eines in R. D. Meade et al. Accurate theoretical analysis of photonic band-gap materials, Phys. Rev. B 48:11, S. 8434-8437 (1993) entwickelten Verfahrens.

**[0077]** In weiteren Ausführungsformen des VCSEL wird der Kristall mit der photonischen Bandlücke durch selektives Ätzen ohne Überwachsen, durch dielektrisches oder metallisches Beschichten der Oberfläche oder weitere Aufbringungstechniken gebildet. Jede Art der Aufbringung, die in diesen Ausführungsformen verwendet wurde, muss eine Lokalisierung der seitlichen Grundschiwingung der Laserstrahlung an der Störstelle fördern und somit ein signifikantes Überlappungsintegral des aktiven Medium mit einer einzigen Schwingung erreichen. Alle diese Ansätze ermöglichen ein effektives Single-Mode-Lasern.

**[0078]** Obwohl die Erfindung unter Bezugnahme auf exemplarische Ausführungsformen derselben veranschaulicht und beschrieben wurde, ist Fachleuten ersichtlich, dass die vorangehend beschriebenen sowie weitere Veränderungen, Auslassungen und Hinzufügungen daran vorgenommen werden können, ohne dass von dem Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung abgewichen wird. Aus diesem Grund sollte die vorliegende Erfindung nicht als auf die spezifischen oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt verstanden werden, sondern soll alle möglichen Ausführungsformen innerhalb des Schutzzumfangs sowie Äquivalente im Hinblick auf das in den angehängten Ansprüchen dargelegte Merkmal einschließen.

### Patentansprüche

1. Ein Halbleiter-Kantenstrahler-Laser (**100**), der folgendes umfasst:

- a) einen n-dotierten Bereich, von dem wenigstens ein Teil einen Kristall mit einer photonischen Bandlücke (**120**) umfasst, der eine Schicht-Struktur einschließt, wobei jede Schicht (**104**, **105**) mit einer Verunreinigung vom N-Typ dotiert ist, wobei die Schicht-Struktur einen periodisch modulierten Brechungsindex aufweist, wobei der periodisch modulierte Brechungsindex in der zu einer Richtung der Lichtausbreitung senkrechten Richtung moduliert wird;
- b) eine Störstelle (**121**), die an den Kristall mit der photonischen Bandlücke (**120**) angrenzt, die folgendes umfasst:
  - i) eine Licht erzeugende Schicht (**108**), die bei Anlegen einer Vorwärtsspannung Licht emittiert, wenn sie einem Injektionsstrom ausgesetzt wird;
  - c) eine p-dotierte Schicht-Struktur (**111**, **112**, **113**), wobei jede Schicht mit einer Verunreinigung des p-Typs dotiert ist, und wobei die p-dotierte Schicht-Struktur auf einer Seite der Störstelle (**121**) gegenüber dem n-dotierten Bereich angeordnet ist, wobei die p-dotierte Schicht-Struktur einen variablen Brechungsindex aufweist, der eine Ausbreitung einer Grundschiwingung auf wenigstens eine dotierte Schicht innerhalb der p-dotierten Schicht-Struktur und auf einen p-Kontakt verhindert;



wobei die Grundschiwingung der Laserstrahlung durch die Störstelle lokalisiert wird, während alle anderen Schwingungen sich über den Kristall mit der photonischen Bandlücke erstrecken;  
wobei eine Gesamtdicke des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und der Störstelle eine niedrige Strahldivergenz bereitstellt.

2. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 1, der ferner folgendes umfasst:

- d) einen n-Emitter (**103**), der entfernt von der Störstelle (**121**) an den Kristall mit der photonischen Bandlücke (**120**) angrenzt;
- e) ein Substrat (**102**), das entfernt von der Störstelle (**121**) an den n-Emitter (**103**) angrenzt; und
- f) ein n-Kontakt (**101**), der entfernt von der Störstelle (**121**) an das Substrat (**102**) angrenzt.

3. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 2, der ferner folgendes umfasst:

- g) einen p-Emitter (**114**), der entfernt von der Störstelle an die p-dotierte Schicht-Struktur (**111**, **112**, **113**) angrenzt; und h) der p-Kontakt (**115**), der entfernt von der Störstelle (**121**) an den p-Emitter (**114**) angrenzt.

4. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 1, wobei die Störstelle ferner folgendes umfasst:

- ii) eine erste Schicht mit einem aktiven Element (**107**), die auf einer n-Seite der Licht erzeugenden Schicht (**108**) angeordnet ist;
- iii) eine zweite Schicht mit einem aktiven Element (**109**), die auf einer p-Seite der Licht erzeugenden Schicht (**108**) angeordnet ist;
- iv) eine dicke n-dotierte Schicht (**106**), die entfernt von der Licht erzeugenden Schicht (**108**) an der ersten Schicht mit dem aktiven Element (**107**) angrenzt; und
- v) eine dicke n-dotierte Schicht (**110**), die entfernt von der Licht erzeugenden Schicht (**108**) an der zweiten Schicht des aktiven Elements (**109**) angrenzt.

5. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 4, wobei die erste Schicht mit dem aktiven Element (**107**) aus einem Material besteht, das aus der Gruppe ausgewählt wird, die aus einer schwach dotierten n-Schicht und einer nicht dotierten Schicht besteht.

6. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 4, wobei die zweite Schicht mit dem aktiven Element (**110**) aus einem Material besteht, das aus der Gruppe ausgewählt wird, die aus einer schwach dotierten p-Schicht und einer nicht dotierten Schicht besteht.

7. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 1, wobei die Schicht-Struktur des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**) einen periodischen Wechsel zwischen einer ersten Schicht (**105**) mit einem hohen Brechungsindex und einer zweiten Schicht (**104**) mit einem niedrigen Brechungsindex umfasst.

8. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 7, wobei die Störstelle ferner einen Bereich (**106**, **107**; **109**, **110**) umfasst, der zu beiden Seiten an der Licht erzeugenden Schicht (**108**) angrenzt, wobei der Bereich einen Brechungsindex aufweist, der gleich dem Brechungsindex der ersten Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**) ist und der Bereich dicker als jede der ersten Schichten (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**) ist.

9. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 7, wobei die Störstelle (**121**) ferner einen Bereich umfasst (**106**, **107**; **109**, **110**), der zu beiden Seiten an der Licht erzeugenden Schicht (**108**) angrenzt, wobei der Bereich eine gleiche Dicke wie die erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**) und einen Brechungsindex, der höher als die erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**) und die zweite Schicht (**104**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**) ist, aufweist.

10. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 7, wobei die Störstelle ferner die erste, an der Störstelle (**421**) angrenzende Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**420**), angrenzend an die erste Schicht (**105**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke (**420**) eine dritte Schicht (**401**) mit einem niedrigen Brechungsindex und angrenzend an die dritte Schicht (**401**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine vierte Schicht (**106**) mit einem hohen Brechungsindex umfasst, wobei die vierte Schicht (**106**) dünner als die zweiten Schichten (**104**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke ist.

11. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 7, wobei die Störstelle ferner angrenzend an die Störstelle (**521**) die erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**520**), angrenzend an die erste Schicht (**105**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine dritte Schicht (**501**) mit einem Brechungsindex zwischen dem der ersten Schicht (**105**) und der zweiten Schicht (**104**) des Kristalls mit

der photonischen Bandlücke (**520**) und angrenzend an die dritte Schicht (**501**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine vierte Schicht (**106**) mit einem ersten Brechungsindex umfasst.

12. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 1, wobei die Störstelle (**121**) sich über mehrere Perioden des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**) erstreckt.

13. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 1, wobei der Kristall mit der Photonenbandlücke (**120**) eine aperiodische Modulation des Brechungsindex einschließt.

14. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 1, der ferner wenigstens eine Absorptionsschicht (**701**) umfasst, die Licht absorbiert und innerhalb einer der ersten Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**720**) angeordnet ist.

15. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 14, wobei es eine Vielzahl von Absorptionsschichten gibt (**701**), sodass jede Absorptionsschicht innerhalb einer anderen Periode des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**720**) angeordnet ist.

16. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 14, wobei die Schicht-Struktur des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**) einen periodischen Wechsel zwischen einer ersten Schicht (**105**) mit einem hohen Brechungsindex und einer zweiten Schicht (**104**) mit einem niedrigen Brechungsindex umfasst.

17. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 16, wobei die Störstelle (**121**) ferner einen Bereich (**106, 107, 109, 110**) umfasst, der zu beiden Seiten an die Licht erzeugende Schicht (**108**) angrenzt, wobei der Bereich (**106, 107, 109, 110**) einen Brechungsindex aufweist, der gleich dem Brechungsindex der ersten Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**) und der Bereich (**106, 107, 109, 110**) dicker als jede der ersten Schichten (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**) ist.

18. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 16, wobei die Störstelle (**121**) ferner einen Bereich (**106, 107, 109, 110**) umfasst, der zu beiden Seiten an die Licht erzeugende Schicht (**108**) angrenzt, wobei der Bereich (**106, 107, 109, 110**) eine gleiche Dicke wie die erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und einen Brechungsindex aufweist, der höher als die erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und die zweite Schicht (**104**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**) ist.

19. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 17, wobei die Störstelle (**421**) ferner angrenzend an die Störstelle die erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**420**), angrenzend an die erste Schicht (**105**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke (**420**) eine dritte Schicht (**401**) mit einem niedrigen Brechungsindex und angrenzend an die dritte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine vierte Schicht (**106**) mit einem hohen Brechungsindex umfasst, wobei die vierte Schicht dünner als die zweiten Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke ist.

20. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 17, wobei die Störstelle (**521**) ferner angrenzend an die Störstelle die erste Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**520**), angrenzend an die erste Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine dritte Schicht (**501**) mit einem Brechungsindex zwischen dem der ersten Schicht (**105**) und der zweiten Schicht (**104**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**520**), und angrenzend an die dritte Schicht (**501**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine vierte Schicht (**106**) mit einem hohen Brechungsindex umfasst.

21. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 14, wobei die Störstelle (**121**) sich über mehrere Perioden des Kristalls mit der photonischen Bandlücke erstreckt.

22. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 14, wobei der Kristall mit der photonischen Bandlücke (**120**) durch eine aperiodische Modulation des Brechungsindex realisiert wird.

23. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 14, wobei die Schicht-Struktur des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**820**) einen periodischen Wechsel zwischen der ersten Schicht (**105**) mit einem hohen Brechungsindex, einer Schicht mit Gradientenindex (**801**) und einer zweiten Schicht (**104**) mit einem niedrigen Brechungsindex sowie einer weiteren Schicht mit Gradientenindex (**801**) aufweist.

24. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 23, wobei alle Heteroübergänge in dotierten Be-

reichen durch abgestufte Schichten (**801**) erzielt werden.

25. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 24, wobei die Störstelle ferner einen Bereich (**106, 107, 109, 110**) umfasst, der zu beiden Seiten an die Licht erzeugende Schicht (**108**) angrenzt, wobei der Bereich (**106, 107, 109, 110**) einen Brechungsindex aufweist, der gleich dem Brechungsindex der ersten Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke ist und der Bereich (**106, 107, 109, 110**) dicker als jede der ersten Schichten (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke ist.

26. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 24, wobei die Störstelle ferner einen Bereich umfasst (**106, 107, 109, 110**), der zu beiden Seiten an die Licht erzeugende Schicht (**108**) angrenzt, wobei der Bereich eine gleiche Dicke wie die erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke aufweist und einen Brechungsindex, der über dem der ersten Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und der zweiten Schicht (**104**) des Kristalls der photonischen Bandlücke liegt.

27. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 24, wobei die Störstelle (**421**) ferner angrenzend an die Störstelle (**421**) die erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**420**), angrenzend an die erste Schicht (**105**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine dritte Schicht (**401**) mit einem niedrigen Brechungsindex und angrenzend an die dritte Schicht (**401**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke (**420**) eine vierte Schicht (**106**) mit einem hohen Brechungsindex umfasst, wobei die vierte Schicht (**106**) dünner als die zweiten Schichten (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke ist.

28. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 24, wobei die Störstelle (**521**) ferner angrenzend an die Störstelle die erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**520**), angrenzend an die erste Schicht (**105**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine dritte Schicht (**501**) mit einem Brechungsindex zwischen dem der ersten Schicht (**105**) und der zweiten Schicht (**104**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**520**) und angrenzend an die dritte Schicht (**501**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke (**520**) eine vierte Schicht (**106**) mit einem hohen Brechungsindex umfasst.

29. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser von Anspruch 24, wobei die Störstelle sich über mehrere Perioden des Kristalls mit der photonischen Bandlücke erstreckt.

30. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 24, wobei der Kristall mit der photonischen Bandlücke über eine aperiodische Modulation des Brechungsindex realisiert wird.

31. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 1, wobei die Schicht-Struktur des Kristalls der photonischen Bandlücke einen periodischen Wechsel zwischen einer ersten Schicht (**105**) mit einem hohen Brechungsindex, einer Schicht mit Gradientenindex (**801**), einer zweiten Schicht (**104**) mit einem niedrigen Brechungsindex und einer weiteren Schicht mit einem Gradientenindex umfasst.

32. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 31, wobei sämtliche Heteroübergänge in dotierten Bereichen über Gradientenschichten realisiert werden.

33. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 32, wobei die Störstelle ferner einen Bereich (**106, 107, 109, 110**) umfasst, der zu beiden Seiten an die Licht erzeugende Schicht (**108**) angrenzt, wobei der Bereich (**106, 107, 109, 110**) einen Brechungsindex aufweist, der gleich dem Brechungsindex der ersten Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke ist und der Bereich dicker ist als jede erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke.

34. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 32, wobei die Störstelle (**121**) ferner einen Bereich (**106, 107, 109, 110**) umfasst, der zu beiden Seiten an die Licht erzeugende Schicht (**108**) angrenzt, wobei der Bereich eine gleiche Dicke wie die erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**) sowie einen Brechungsindex, der höher ist als die erste Schicht (**105**) des Kristalls der photonischen Bandlücke (**120**) und der zweiten Schicht (**104**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**120**), aufweist.

35. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 32, wobei die Störstelle (**421**) ferner angrenzend an die Störstelle die erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**420**), angrenzend an die erste Schicht (**105**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine dritte Schicht (**401**) mit einem niedrigen Brechungsindex und angrenzend an die dritte Schicht (**401**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine vierte Schicht (**106**) mit einem hohen Brechungsindex umfasst, wobei die vierte

Schicht (**106**) dünner als die zweiten Schichten (**104**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke ist.

36. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 32, wobei die Störstelle (**521**) ferner angrenzend an die Störstelle (**521**) die erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**520**), angrenzend an die erste Schicht (**105**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke (**520**) eine dritte Schicht (**501**) mit einem Brechungsindex zwischen dem der ersten Schicht (**105**) und der zweiten Schicht (**104**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**520**) und angrenzend an die dritte Schicht (**501**) entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine vierte Schicht (**106**) mit einem hohen Brechungsindex umfasst.

37. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 32, wobei die Störstelle sich über mehrere Perioden des Kristalls mit der photonischen Bandlücke erstreckt.

38. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 32, wobei der Kristall mit der photonischen Bandlücke über eine aperiodische Modulation des Brechungsindex realisiert wird.

39. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 1, der ferner folgendes umfasst:

- ii) eine erste, auf einer n-Seite der Licht erzeugenden Schicht (**108**) angeordnete dünne Tunnel-Sperrschicht (**1301**) für Elektronen, wobei die erste dünne Tunnel-Sperrschicht aus einem Material besteht, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus einer schwach dotierten n-Schicht und einer undotierten Schicht besteht;
- iii) eine zweite, auf einer p-Seite der Licht erzeugenden Schicht (**108**) angeordnete dünne Tunnel-Sperrschicht (**1301**) für Löcher, wobei die zweite Tunnel-Sperrschicht aus einem Material besteht, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus einer schwach dotierten p-Schicht und einer undotierten Schicht besteht;
- iv) zwei Schichten (**107**), welche die erste dünne Tunnel-Sperrschicht (**1301**) in der Mitte einfassen; und
- v) zwei Schichten (**109**), welche die zweite dünne Tunnel-Sperrschicht (**1301**) in der Mitte einfassen.

40. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 39, der ferner folgendes umfasst:

- d) einen n-Emitter (**103**), der an den Kristall mit der photonischen Bandlücke (**1320, 1420, 1520, 1620**) entfernt von der Störstelle (**1321, 1421, 1521, 1621**) angrenzt;
- e) ein Substrat (**102**), das entfernt von der Störstelle (**1321, 1421, 1521, 1621**) an den n-Emitter (**103**) angrenzt; und
- f) einen n-Kontakt (**101**), der entfernt von der Störstelle (**1321, 1421, 1521, 1621**) an das Substrat (**102**) angrenzt.

41. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 40, der ferner folgendes umfasst:

- g) einen p-Emitter (**114**), der entfernt von der Störstelle an die p-dotierte Schicht-Struktur (**111, 112, 113**) angrenzt; und
- h) der p-Kontakt (**115**), der entfernt von der Störstelle an den p-Emitter (**114**) angrenzt.

42. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 39, wobei die Störstelle ferner folgendes umfasst:

- vi) eine dicke n-dotierte Schicht (**106**), die an die Schicht (**107**) angrenzt, welche die erste dünne Tunnel-Sperrschicht (**1301**) entfernt von der Licht erzeugenden Schicht (**108**) in der Mitte einfasst; und
- vii) eine dicke p-dotierte Schicht (**110**), die an die Schicht (**109**) angrenzt, welche die zweite dünne Tunnel-Sperrschicht (**1301**) entfernt von der Licht erzeugenden Schicht (**108**) in der Mitte einfasst.

43. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 39, wobei wenigstens eine der Schichten (**107**), welche die erste dünne Tunnel-Sperrschicht (**1301**) in der Mitte einfassen, aus einem Material besteht, das aus der Gruppe ausgewählt wird, die aus einer schwach dotierten n-Schicht und einer undotierten Schicht besteht.

44. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 39, wobei wenigstens eine der Schichten (**109**), welche die zweite dünne Tunnel-Sperrschicht (**1301**) in der Mitte einfassen, aus einem Material besteht, das aus einer schwach dotierten p-Schicht und einer undotierten Schicht besteht.

45. Ein Halbleiter-Kantenstrahler-Laser, der folgendes umfasst:

- a) einen n-dotierten Bereich, von dem wenigstens ein Teil einen Kristall mit einer photonischen Bandlücke (**1720**) umfasst, wobei der Kristall mit der photonischen Bandlücke folgendes umfasst:
  - i) eine Schicht-Struktur mit einem periodisch modulierten Brechungsindex, wobei der periodisch modulierte Brechungsindex in einer zu einer Richtung der Lichtausbreitung senkrechten Richtung moduliert wird; und
  - ii) ein aktives Element, das eine Licht erzeugende Schicht (**1708**) umfasst, die bei Anlegen einer Vorspannung

Licht emittiert, wenn sie einem Injektionsstrom ausgesetzt wird;

b) eine Störstelle (**1721**), die an den Kristall mit der photonischen Bandlücke angrenzt;

c) eine p-dotierte Schicht-Struktur,

wobei jede Schicht mit einer p-dotierten Verunreinigung dotiert ist und wobei die p-dotierte Schicht-Struktur einen variablen Brechungsindex aufweist, der eine Ausbreitung einer Grundschiwingung auf wenigstens eine dotierte Schicht innerhalb der p-dotierten Schicht-Struktur und auf einen p-Kontakt verhindert;

wobei die Grundschiwingung der Laserstrahlung durch die Störstelle lokalisiert wird, während sich alle weiteren Schwingungen über den Kristall mit der photonischen Bandlücke erstrecken;

wobei eine Gesamtdicke des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und der Störstelle eine niedrige Strahldivergenz bereitstellt.

46. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser von Anspruch 45, der ferner folgendes umfasst:

d) einen n-Emitter (**103**), der entfernt von der Störstelle (**1721**) an den Kristall mit der photonischen Bandlücke (**1720**) angrenzt;

e) ein Substrat (**102**), das entfernt von der Störstelle (**1721**) an den n-Emitter (**103**) angrenzt, und

f) einen n-Kontakt (**101**), der entfernt von der Störstelle (**1721**) an das Substrat (**102**) angrenzt.

47. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 46, der ferner folgendes umfasst:

g) einen p-Emitter (**114**), der entfernt von der Störstelle an die p-dotierte Schicht-Struktur (**111**, **112**, **113**) angrenzt; und

h) der p-Kontakt (**115**), der entfernt von der Störstelle an den p-Emitter (**114**) angrenzt.

48. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 45, wobei das aktive Element ferner folgendes umfasst:

ii) eine erste Schicht mit einem aktiven Element (**1707**), die auf einer n-Seite der Licht erzeugenden Schicht (**1708**) angeordnet ist;

iii) eine zweite Schicht mit einem aktiven Element (**1709**), die auf einer p-Seite der Licht erzeugenden Schicht (**1708**) angeordnet ist;

iv) eine dicke n-dotierte Schicht (**1706**), die an der ersten Schicht mit dem aktiven Element (**1707**) entfernt von der Licht erzeugenden Schicht (**1708**) angrenzt; und

v) eine dicke p-dotierte Schicht (**1710**), die an der zweiten Schicht mit dem aktiven Element (**1709**) entfernt von der Licht erzeugenden Schicht (**1708**) angrenzt.

49. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 45, wobei die Schicht-Struktur des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**1720**) einen periodischen Wechsel zwischen einer ersten Schicht (**105**) mit einem hohen Brechungsindex und einer zweiten Schicht (**104**) mit einem niedrigen Brechungsindex umfasst.

50. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 49, wobei die Störstelle (**1721**) angrenzend an den Kristall mit der photonischen Bandlücke entfernt von einem Substrat eine Schicht umfasst, wobei die Schicht der Störstelle einen Brechungsindex aufweist, der gleich dem Brechungsindex der ersten Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke ist, und die Schicht dicker ist als jede der ersten Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke.

51. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 49, wobei die Störstelle (**1721**) eine Schicht (**1721**) umfasst, die entfernt von einem Substrat an den Kristall mit der photonischen Bandlücke (**1720**) angrenzt, wobei die Schicht (**1722**) eine gleiche Dicke wie die erste Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**1720**) aufweist und einen Brechungsindex, der über dem der ersten Schicht (**105**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und der zweiten Schicht (**104**) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke liegt.

52. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 49, wobei die Störstelle (**1721**) an den Kristall mit der photonischen Bandlücke angrenzend entfernt von einem Substrat eine dritte Schicht mit einem hohen Brechungsindex, angrenzend an die dritte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine vierte Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex und an der vierten Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke angrenzend eine fünfte Schicht mit einem hohen Brechungsindex umfasst, wobei die vierte Schicht dünner ist als die zweiten Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (**1720**).

53. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 49, wobei die Störstelle (**1721**) an den Kristall mit der photonischen Bandlücke angrenzend entfernt von einem Substrat eine dritte Schicht mit einem hohen Brechungsindex, an die dritte Schicht angrenzend entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine



vierte Schicht mit einem Brechungsindex zwischen dem der ersten Schicht und der zweiten Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und angrenzend an die vierte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke (1720) eine fünfte Schicht mit einem hohen Brechungsindex umfasst.

54. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 45, wobei die Störstelle (1721) sich über mehrere Perioden des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (1720) erstreckt.

55. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 45, wobei der Kristall mit der photonischen Bandlücke (1720) über eine aperiodische Modulation des Brechungsindex realisiert wird.

56. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 49, der ferner wenigstens eine Absorptionsschicht umfasst, die Licht absorbiert und innerhalb einer der ersten Schichten (105) des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (1720) angeordnet ist.

57. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 56, wobei eine Vielzahl von Absorptionslasern vorhanden ist, so dass jeder Absorptionslaser innerhalb einer anderen Periode des Kristalls mit der photonischen Bandlücke angeordnet ist.

58. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 56, wobei die Schicht-Struktur des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (1720) einen periodischen Wechsel zwischen einer ersten Schicht mit einem hohen Brechungsindex und einer zweiten Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex umfasst.

59. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 58, wobei die Störstelle (1721) angrenzend an den Kristall mit der photonischen Bandlücke (1720) entfernt von einem Substrat eine Schicht (1722) umfasst, wobei die Schicht der Störstelle einen Brechungsindex aufweist, der gleich dem Brechungsindex der ersten Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke ist und die Schicht dicker als jede der ersten Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (1720) ist.

60. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 58, wobei die Störstelle (1721) an den Kristall mit der photonischen Bandlücke angrenzend entfernt von einem Substrat eine Schicht (1722) umfasst, wobei die Schicht eine gleiche Dicke wie die erste Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und einen Brechungsindex, der über dem der ersten Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und der zweiten Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (1720) liegt, aufweist.

61. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 58, wobei die Störstelle (1721) angrenzend an den Kristall mit der photonischen Bandlücke entfernt von einem Substrat eine dritte Schicht mit einem hohen Brechungsindex, angrenzend an die dritte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine vierte Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex und angrenzend an die vierte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine fünfte Schicht mit einem hohen Brechungsindex umfasst, wobei die vierte Schicht dünner ist als die zweiten Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (1720) ist.

62. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 58, wobei die Störstelle (1721) angrenzend an den Kristall mit der photonischen Bandlücke entfernt von einem Substrat eine dritte Schicht mit einem hohen Brechungsindex, angrenzend an die dritte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine vierte Schicht mit einem Brechungsindex zwischen dem der ersten Schicht und der zweiten Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und angrenzend an die vierte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke (1720) eine fünfte Schicht mit einem hohen Brechungsindex umfasst.

63. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 56, wobei die Störstelle (1721) sich über mehrere Perioden des Kristalls mit der photonischen Bandlücke erstreckt (1720).

64. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 56, wobei der Kristall mit der photonischen Bandlücke (1720) durch eine aperiodische Modulation des Brechungsindex realisiert wird.

65. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 45, wobei die Schicht-Struktur des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (1720) einen periodischen Wechsel zwischen einer ersten Schicht mit einem hohen Brechungsindex, einer Schicht mit einem Gradientenindex, einer zweiten Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex und einer weiteren Schicht mit einem Gradientenindex umfasst.

66. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 65, wobei sämtliche Heteroübergänge in dotier-

ten Bereichen in Gradientenschichten realisiert werden.

67. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 66, wobei die Störstelle angrenzend an den Kristall mit der photonischen Bandlücke entfernt von einem Substrat eine Schicht (1722) umfasst, wobei die Schicht der Störstelle einen Brechungsindex aufweist, der gleich dem Brechungsindex der ersten Schicht des Kristalls der photonischen Bandlücke ist, und die Schicht dicker als jede der ersten Schichten des Kristalls der photonischen Bandlücke ist.

68. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 66, wobei die Störstelle (1721) angrenzend an den Kristall der photonischen Bandlücke entfernt von einem Substrat eine Schicht (1722) umfasst, wobei die Schicht eine gleiche Dicke wie die erste Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und einen Brechungsindex aufweist, der über dem der ersten Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und der zweiten Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (1720) liegt.

69. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 66, wobei die Störstelle (1721) angrenzend an den Kristall mit der photonischen Bandlücke entfernt von einem Substrat eine dritte Schicht mit einem hohen Brechungsindex, angrenzend an die dritte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine vierte Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex und angrenzend an die vierte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine fünfte Schicht mit einem hohen Brechungsindex umfasst, wobei die vierte Schicht dünner ist als die zweiten Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (1720) ist.

70. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 66, wobei die Störstelle (1721) angrenzend an den Kristall mit der photonischen Bandlücke entfernt von einem Substrat eine dritte Schicht mit einem hohen Brechungsindex, angrenzend an die dritte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine vierte Schicht mit einem Brechungsindex zwischen dem der ersten Schicht und der zweiten Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und angrenzend an die vierte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke (1720) eine fünfte Schicht mit einem hohen Brechungsindex umfasst.

71. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 66, wobei die Störstelle (1721) sich über mehrere Perioden des Kristalls mit der photonischen Bandlücke erstreckt.

72. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 66, wobei der Kristall mit der photonischen Bandlücke (1720) über eine aperiodische Modulation des Brechungsindex realisiert wird.

73. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 56, wobei die Schicht-Struktur des Kristalls mit der photonischen Bandlücke (1720) einen periodischen Wechsel zwischen einer ersten Schicht mit einem hohen Brechungsindex, einer Schicht mit einem Gradientenindex, einer zweiten Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex und einer weiteren Schicht mit einem Gradientenindex umfasst.

74. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 73, wobei alle Heteroübergänge in dotierten Bereichen durch Gradientenschichten realisiert werden.

75. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 74, wobei die Störstelle (1721) eine an den Kristall mit der photonischen Bandlücke angrenzende und von einem Substrat entfernt liegende Schicht umfasst, wobei die Schicht der Störstelle einen Brechungsindex aufweist, der gleich dem Brechungsindex der ersten Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke ist, und die Schicht dicker als jede der ersten Schichten des Kristalls mit der photonischen Bandlücke ist.

76. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 74, wobei die Störstelle (1721) eine an den Kristall mit der photonischen Bandlücke angrenzende, von einem Substrat entfernt liegenden Schicht umfasst, wobei die Schicht eine gleiche Dicke wie die erste Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke aufweist und einen Brechungsindex, der über dem der ersten Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und der zweiten Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke liegt.

77. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 74, wobei die Störstelle (1721) angrenzend an den Kristall mit der photonischen Bandlücke entfernt von einem Substrat eine dritte Schicht mit einem hohen Brechungsindex, angrenzend an die dritte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine vierte Schicht mit einem niedrigen Brechungsindex und angrenzend an die vierte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine fünfte Schicht mit einem hohen Brechungsindex umfasst, wobei die vierte Schicht dünner ist als die zweiten Schichten der photonischen Bandlücke.

78. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 74, wobei die Störstelle (**1721**) angrenzend an den Kristall mit der photonischen Bandlücke entfernt von einem Substrat eine dritte Schicht mit einem hohen Brechungsindex, angrenzend an die dritte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine vierte Schicht mit einem Brechungsindex zwischen dem der ersten Schicht und der zweiten Schicht des Kristalls mit der photonischen Bandlücke und angrenzend an die vierte Schicht entfernt von dem Kristall mit der photonischen Bandlücke eine fünfte Schicht mit einem hohen Brechungsindex umfasst.

79. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 74, wobei die Störstelle (**121**) sich über mehrere Perioden des Kristalls mit der photonischen Bandlücke erstreckt.

80. Der Halbleiter-Kantenstrahler-Laser gemäß Anspruch 74, wobei der Kristall mit der photonischen Bandlücke (**120**) über eine aperiodische Modulation des Brechungsindex realisiert wird.

81. Ein Halbleiter-Laser, der es ermöglicht, dass sich Licht in eine Richtung senkrecht zu einem p-n-Übergang ausbreitet, der folgendes umfasst:

- a) ein Substrat (**102**);
- b) einen unteren Spiegel, der durch einen Bragg-Reflektorbereich gebildet wird, der über dem Substrat (**1801**) angeordnet ist;
- c) ein aktives Element (**1806**), das über dem unteren Spiegel (**1801**) angeordnet ist, das folgendes umfasst:
  - i) eine Licht erzeugende Schicht, die bei Anlegen einer Vorspannung Licht emittiert, wenn sie einem Injektionsstrom ausgesetzt wird;
  - ii) ein n-dotierter Stromverbreitungsbereich (**1802**), der über dem Substrat (**102**) und unter der Licht erzeugenden Schicht angeordnet ist;
  - iii) ein p-dotierter Stromverbreitungsbereich (**1808**), der über der Licht erzeugenden Schicht angeordnet ist;
  - iv) Stromöffnungen (**1804**), die zwischen jedem an das aktive Element (**1806**) angrenzenden Bereich angeordnet sind; und
  - v) eine Vorrichtung für das Steuern der Vorspannung des aktiven Elements, die zwischen dem n-dotierten Stromverbreitungsbereich (**1802**) und dem p-dotierten Stromverbreitungsbereich (**1808**) angeordnet ist, so dass für das Erzeugen von Licht Strom in die Licht erzeugende Schicht injiziert werden kann;
- d) ein Element, das einen Kristall mit einer photonischen Bandlücke (**1820**) darstellt, das über dem aktiven Element (**1806**) angeordnet ist, das folgendes umfasst:
  - i) einen Bereich (**1810, 1811**), in dem ein Brechungsindex in der seitlichen Ebene moduliert ist, wobei die Richtung der Lichtausbreitung senkrecht zu jeder Richtung der Modulation des Brechungsindex ist; und
  - ii) eine Störstelle (**1821**) in einer Mitte dieses Bereichs (**1810, 1811**), wobei die Störstelle eine seitliche Grundschwingung der Laserstrahlung lokalisiert; und
- e) einen oberen Spiegel (**1813**), der durch einen Bragg-Reflektorbereich, der über dem Kristall mit der photonischen Bandlücke (**1820**) angeordnet ist, gebildet wird.

Es folgen 18 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

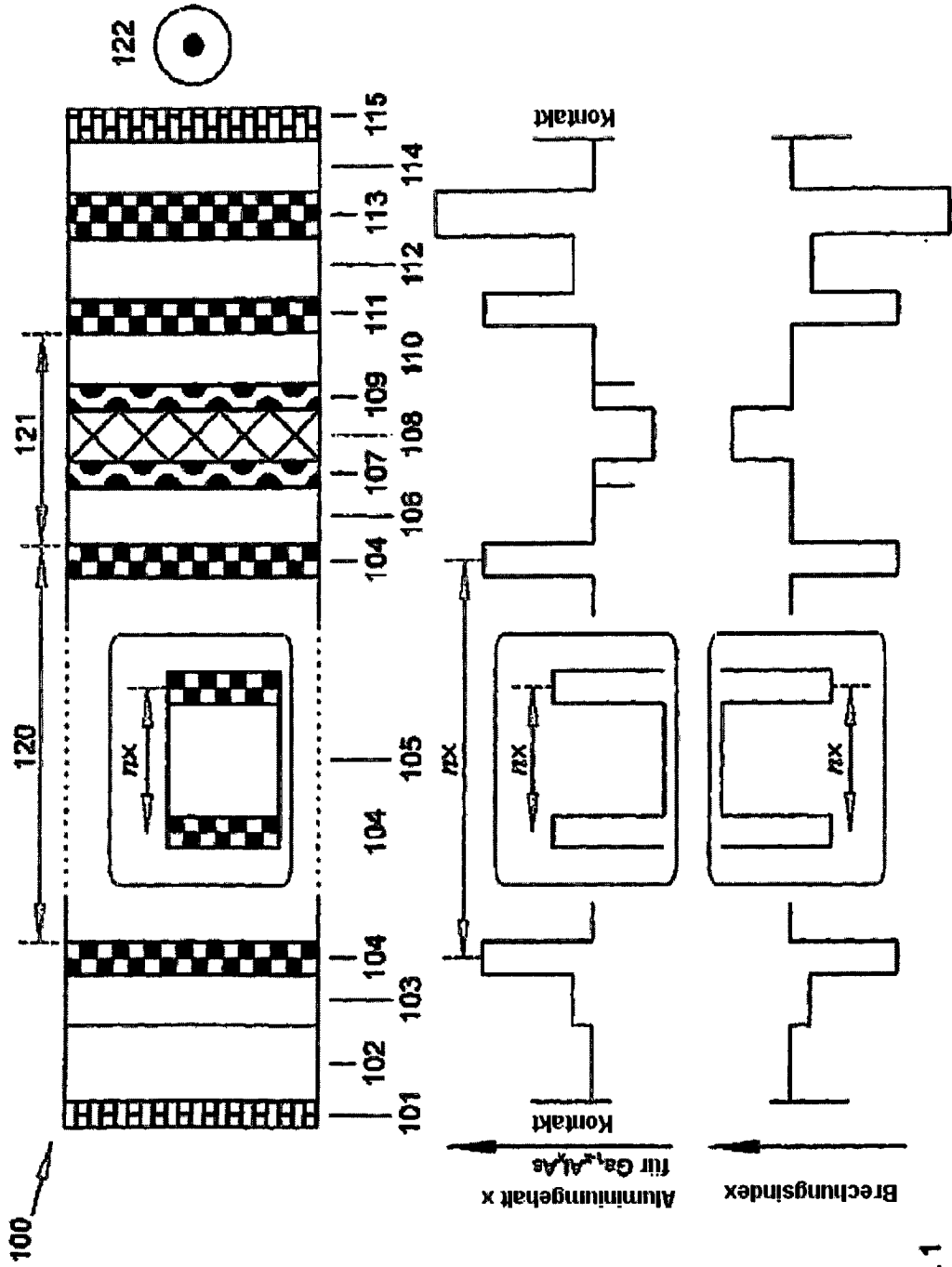


Fig. 1

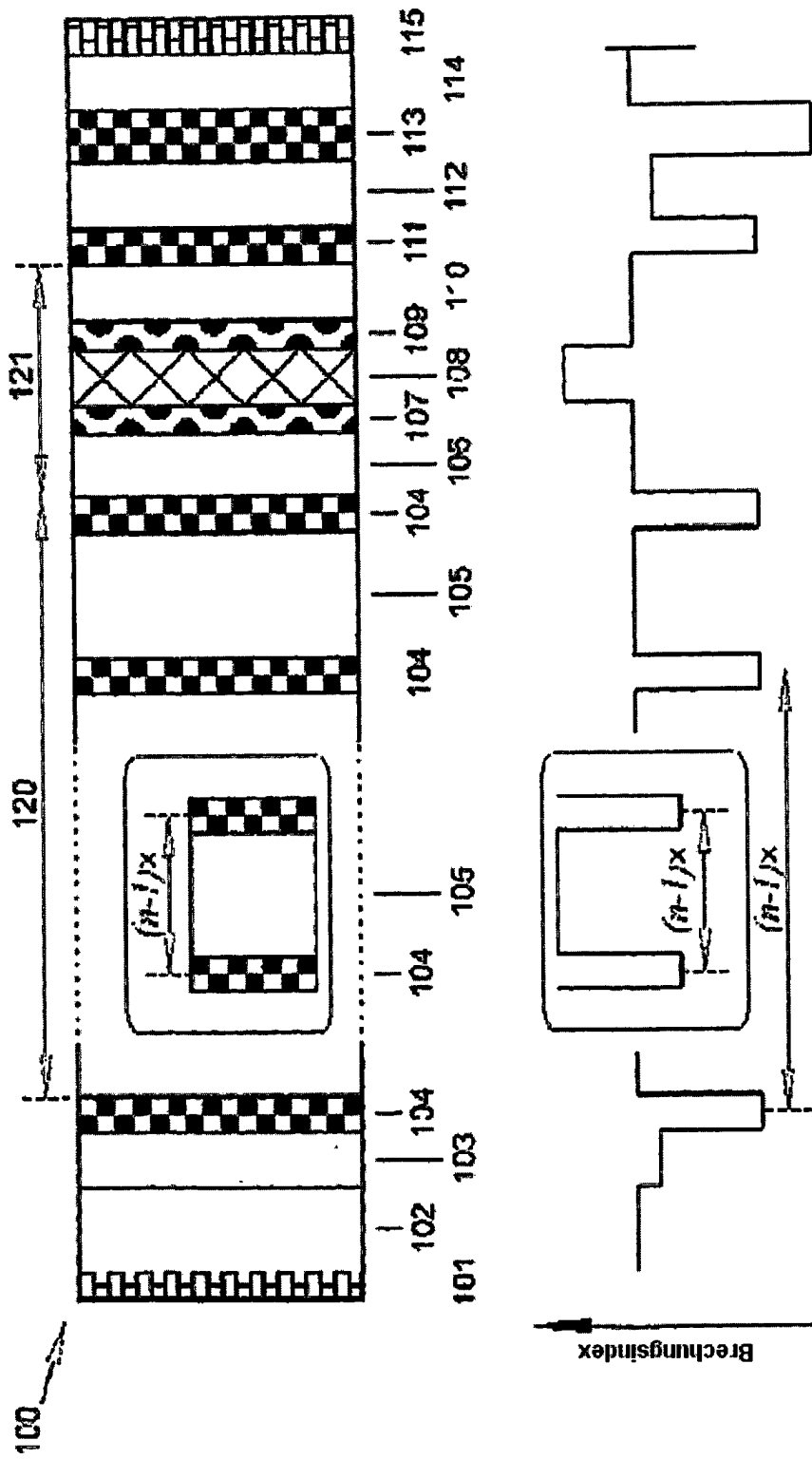


Fig. 2



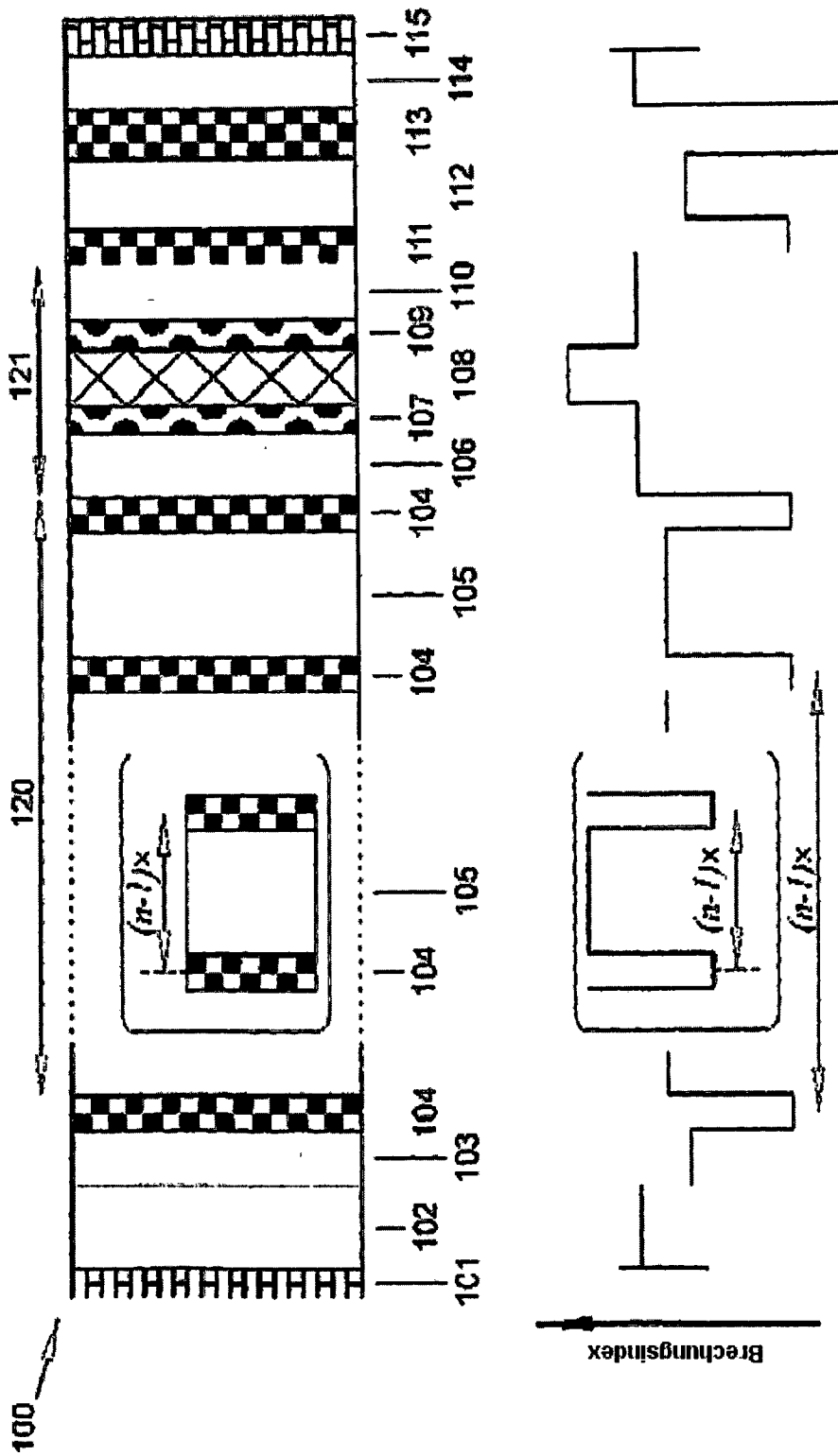
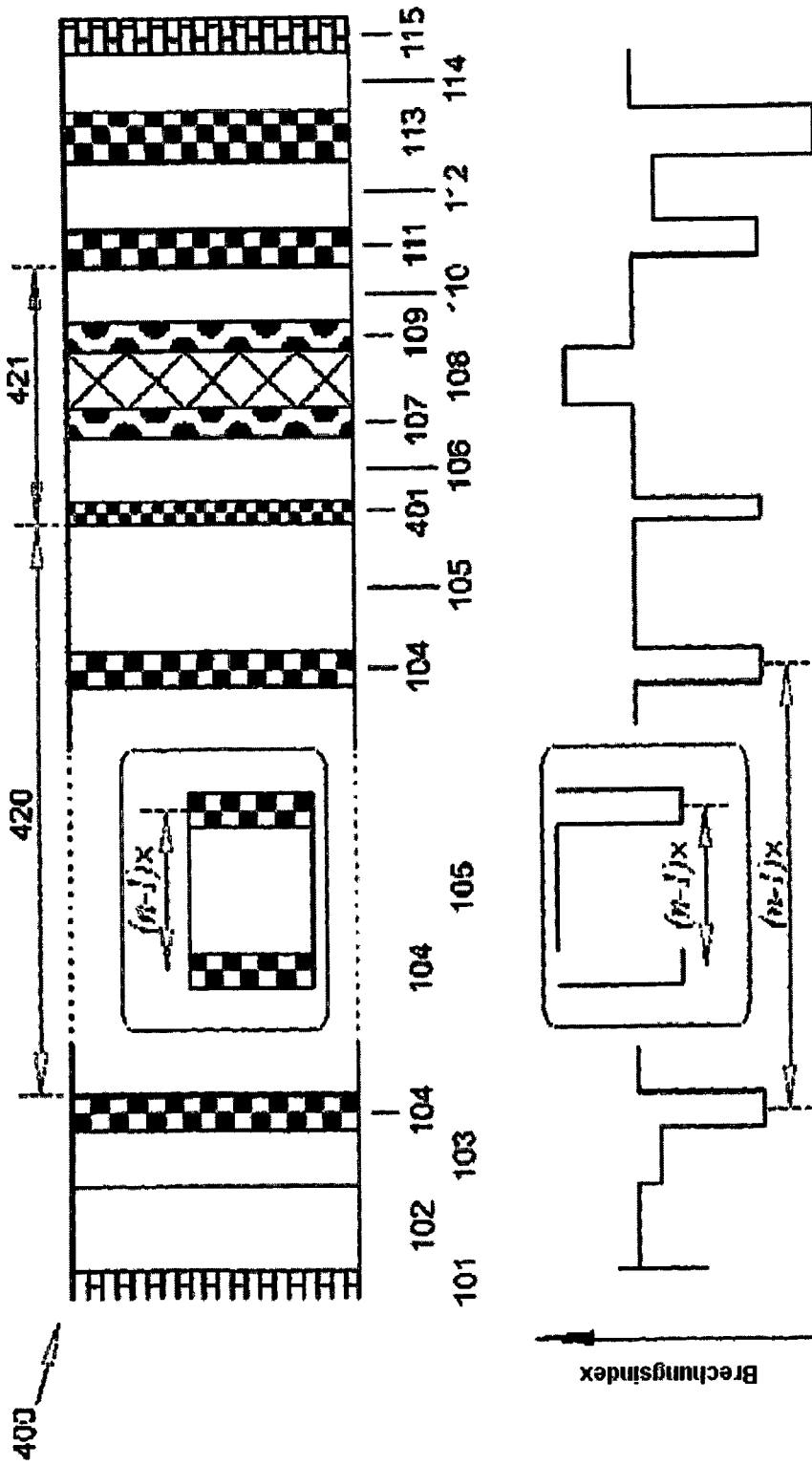


Fig. 3



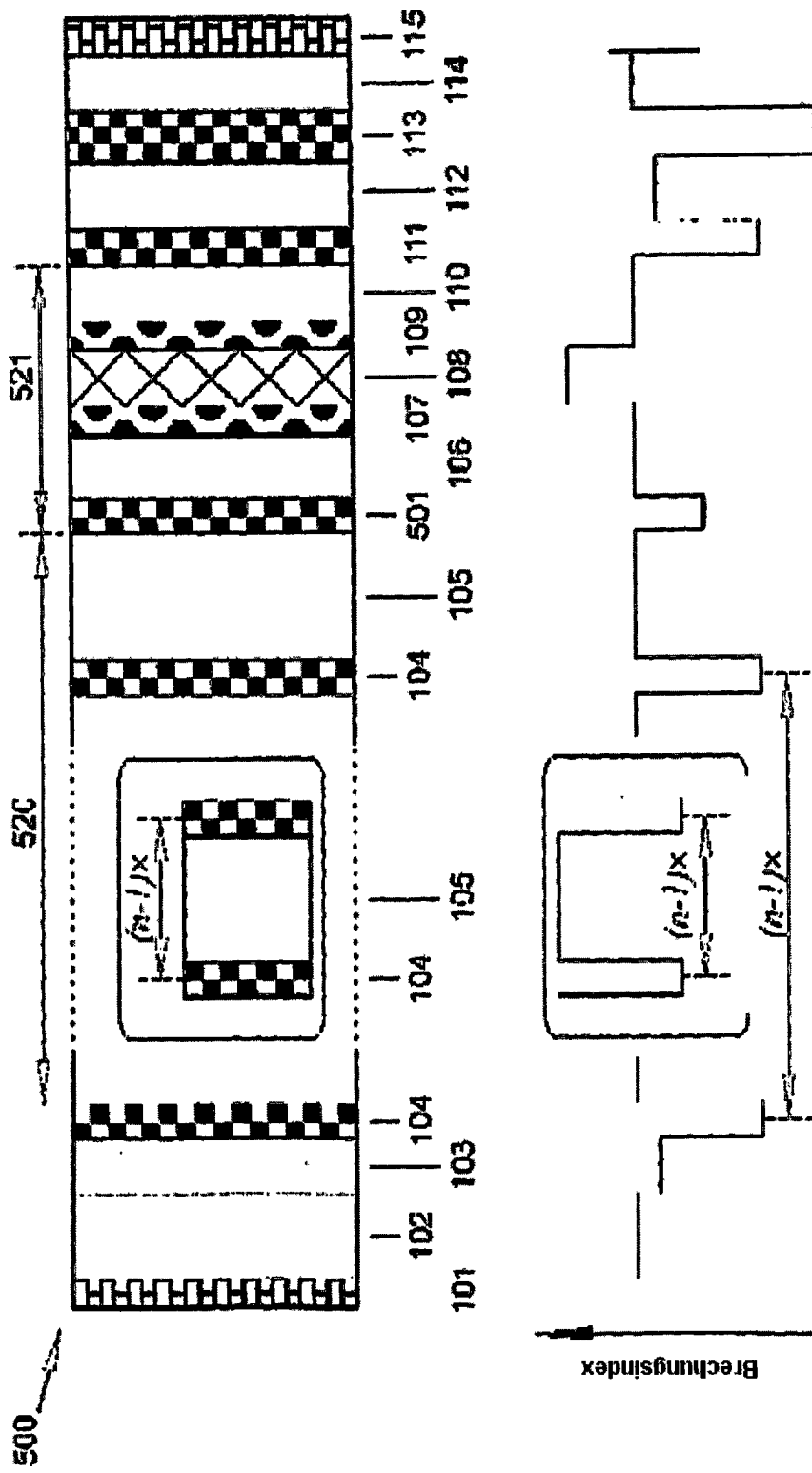


Fig. 5

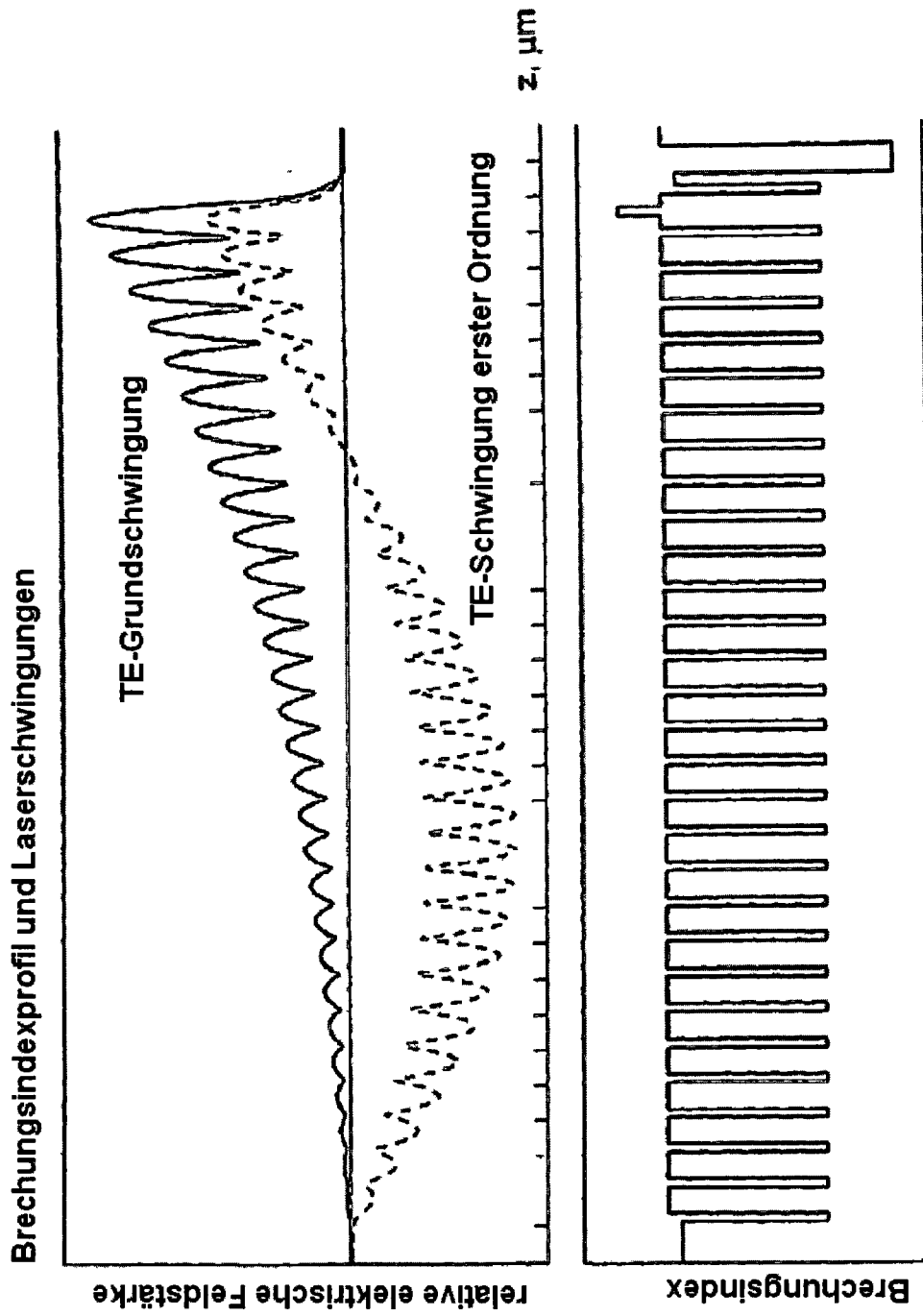


Fig. 6

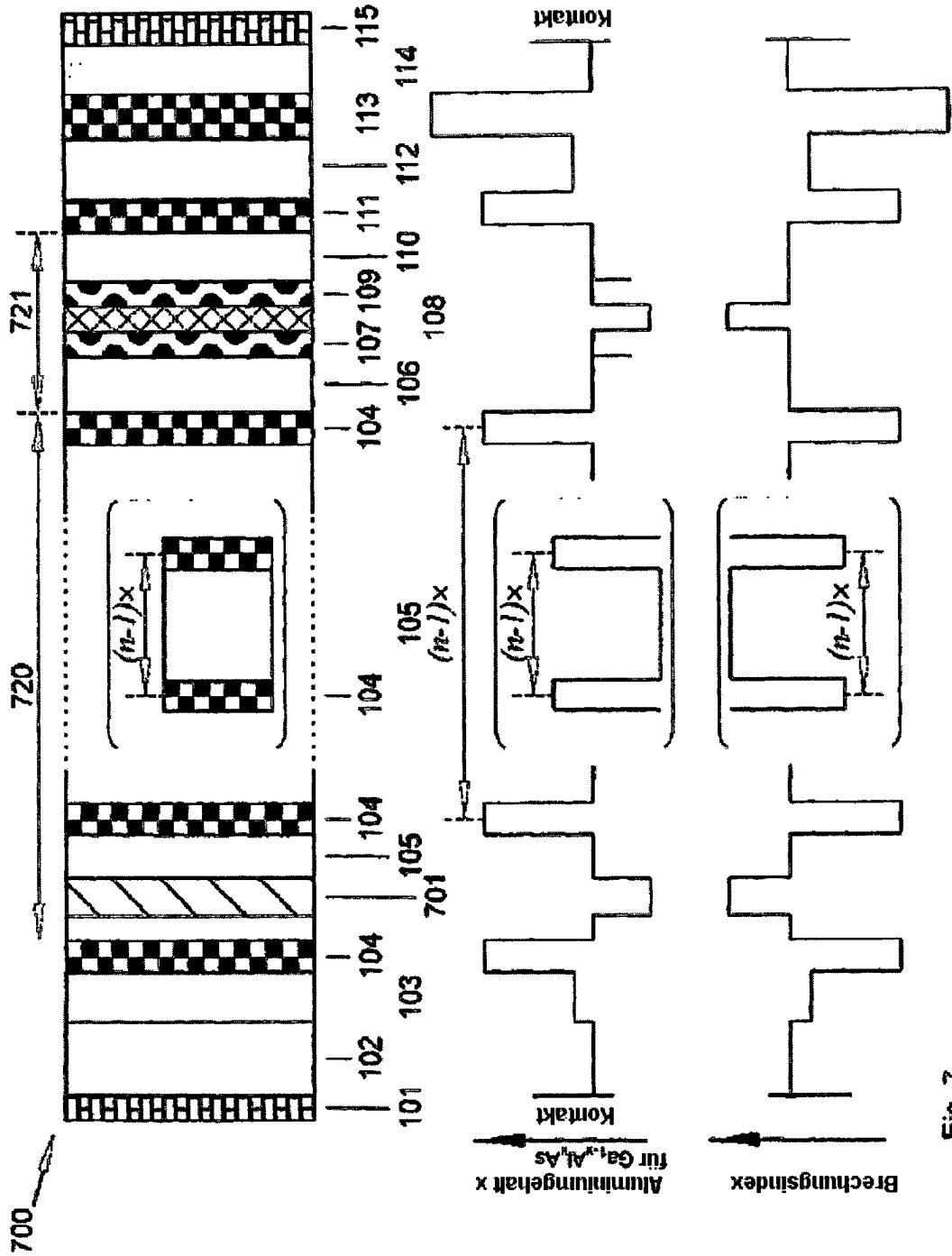


Fig. 7

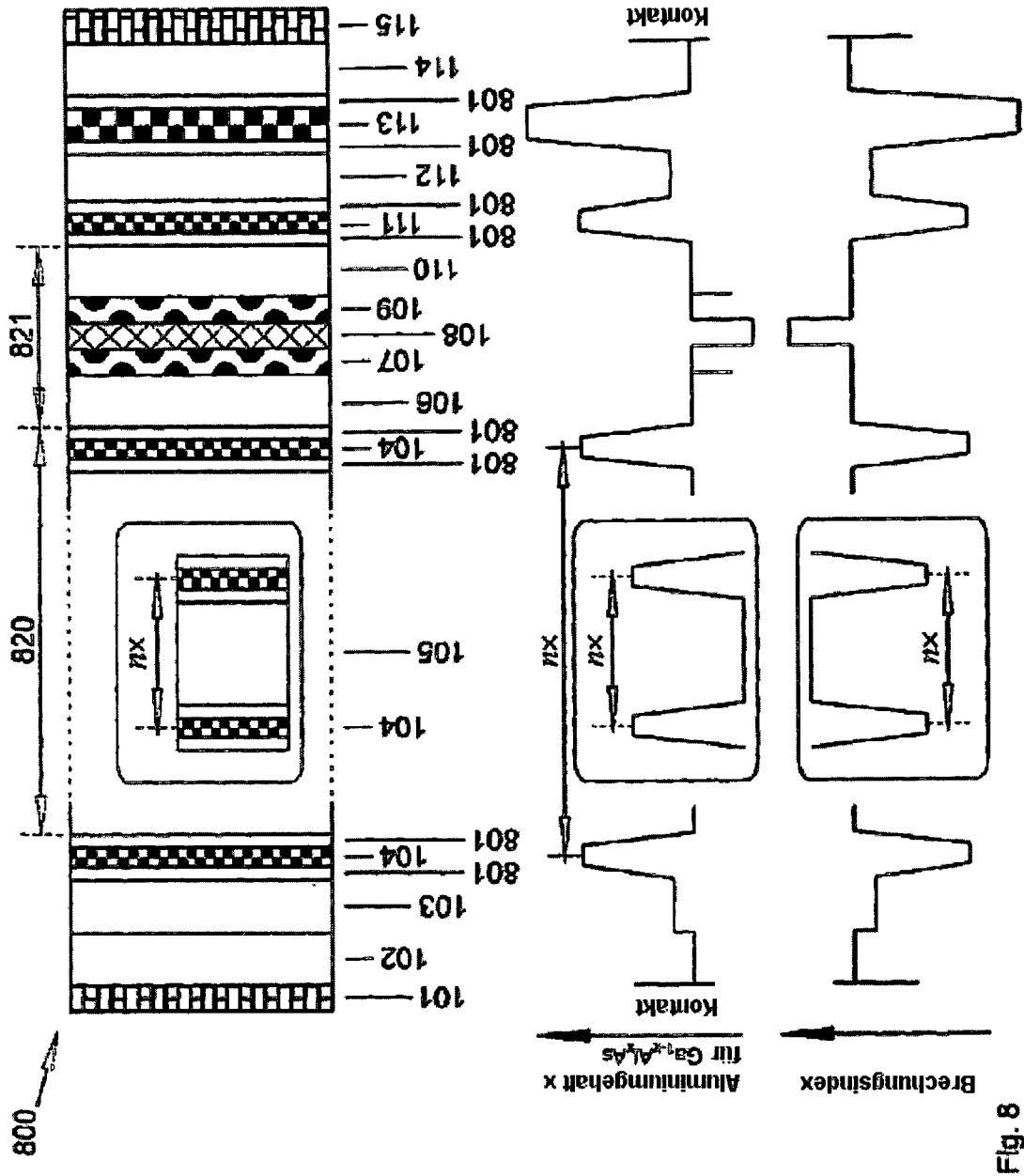


Fig. 8

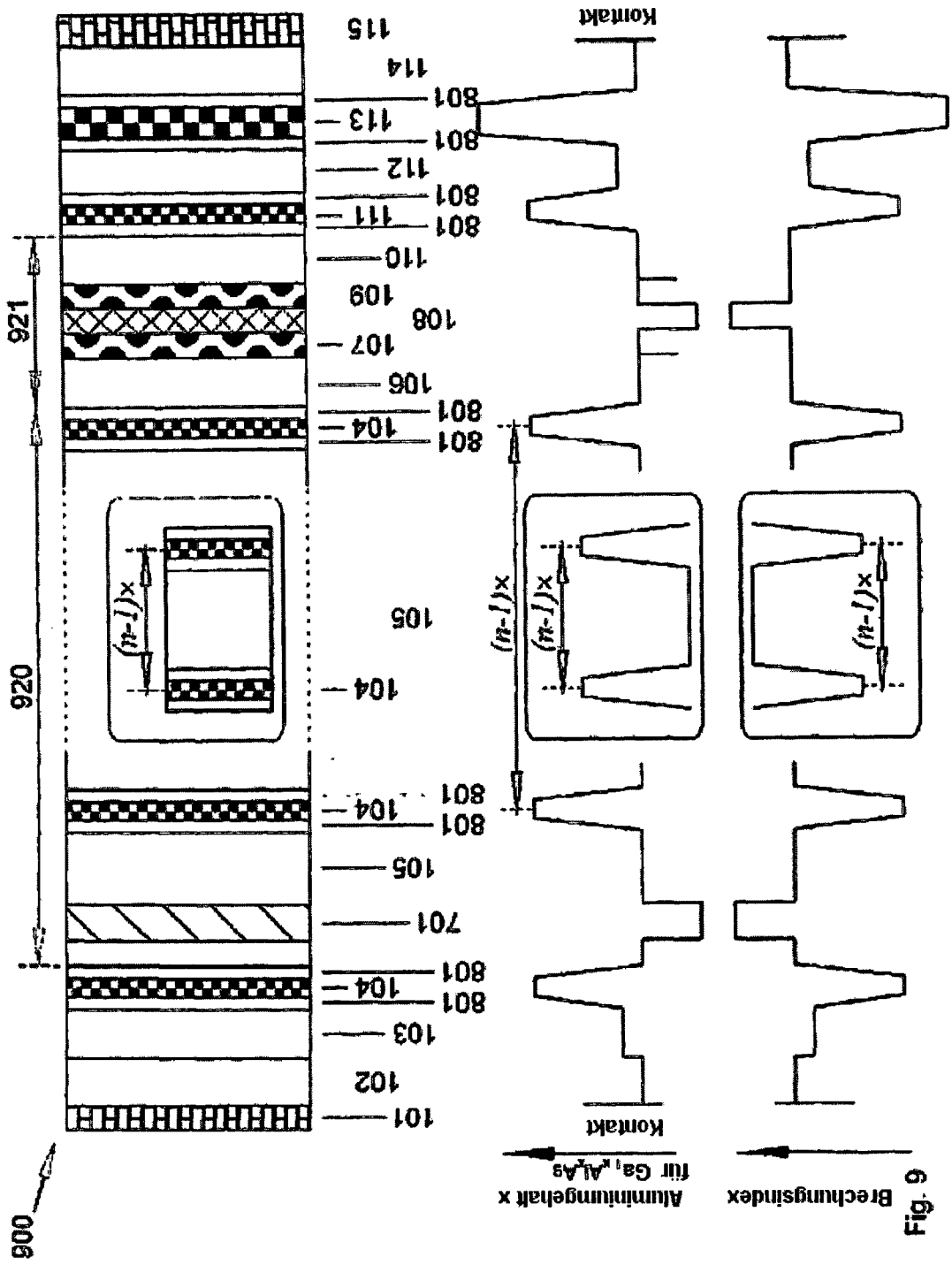


Fig. 9



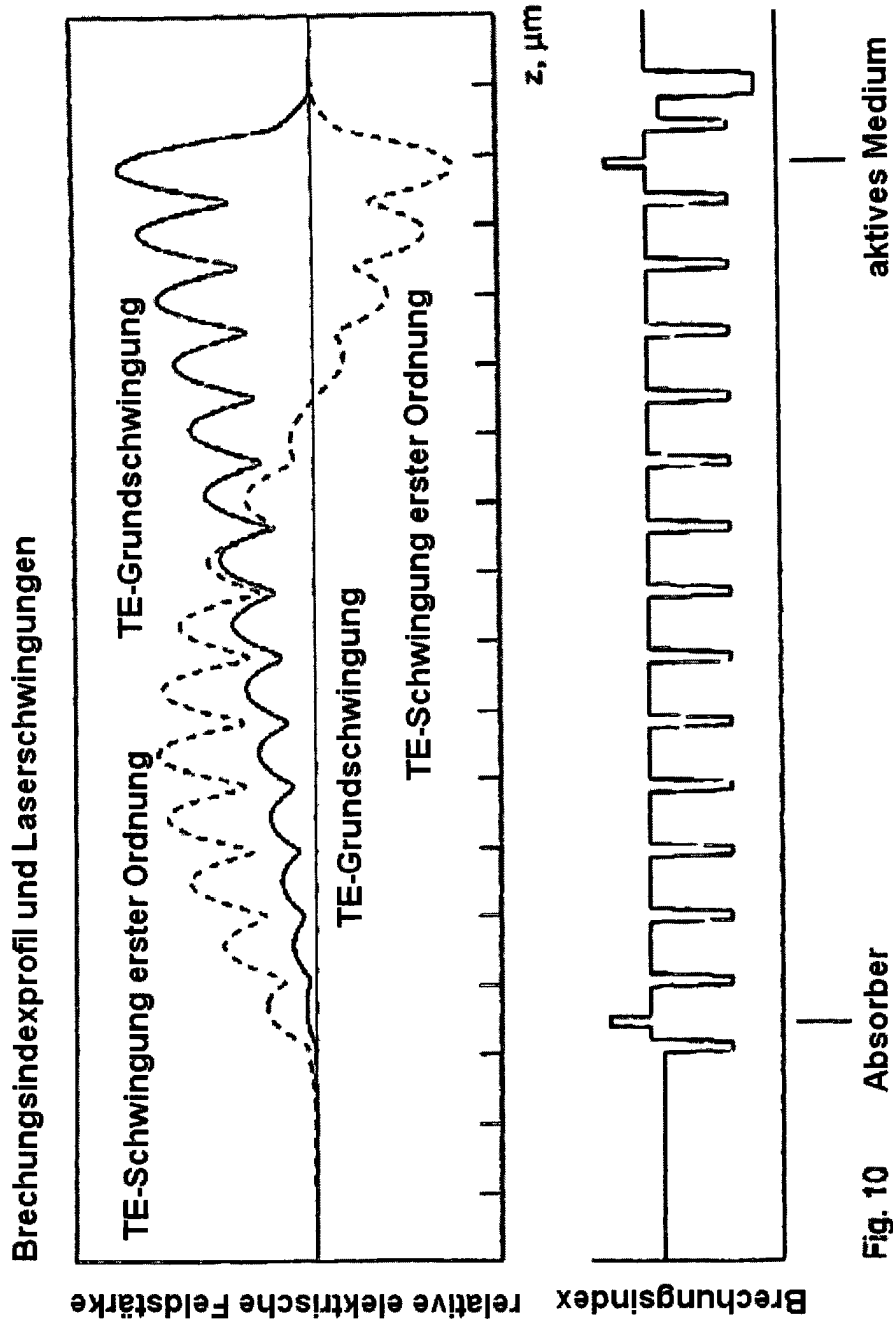


Fig. 10

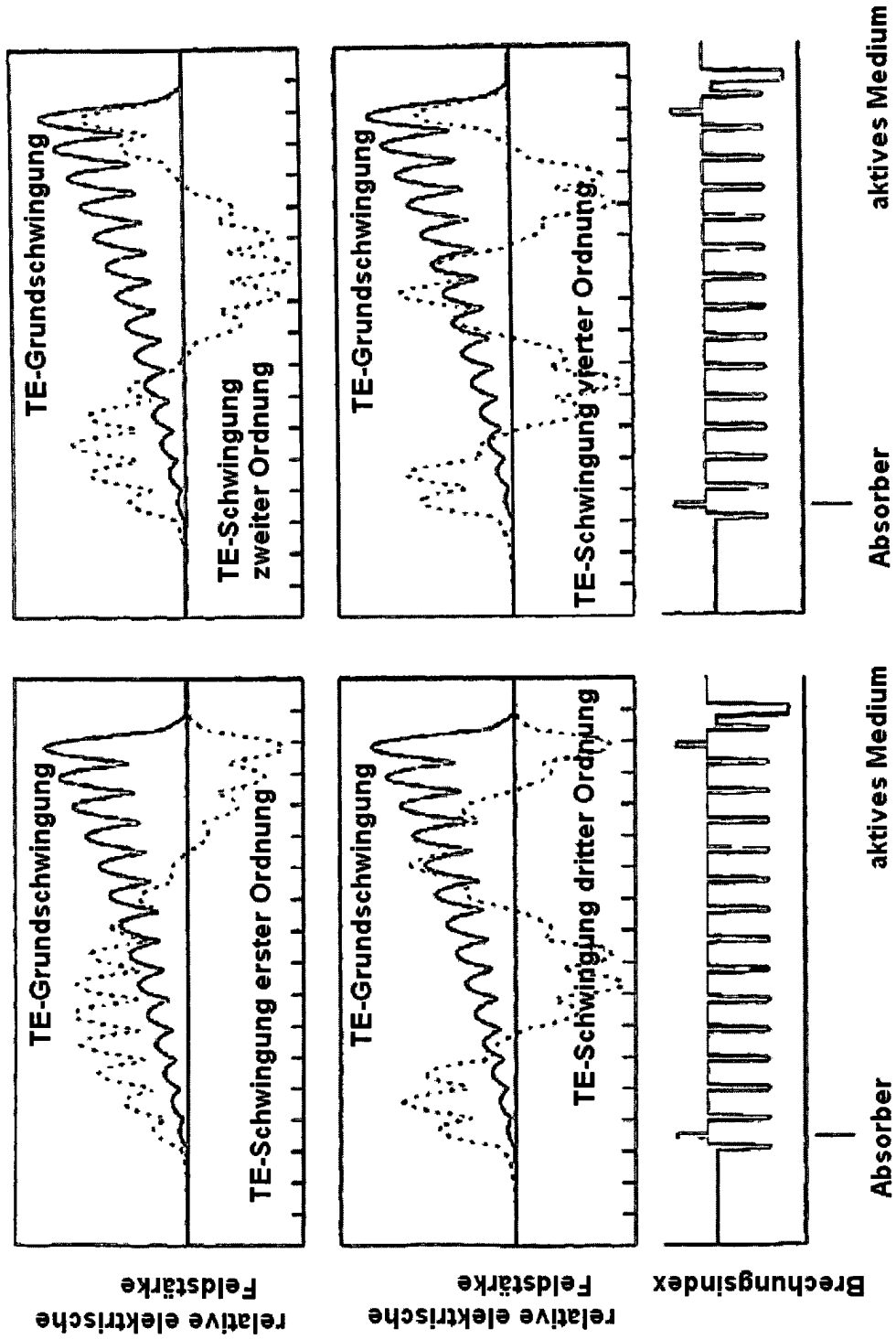


Fig. 11

**Fernfeldintensität der Grundschwingung der  
Laserstrahlung**

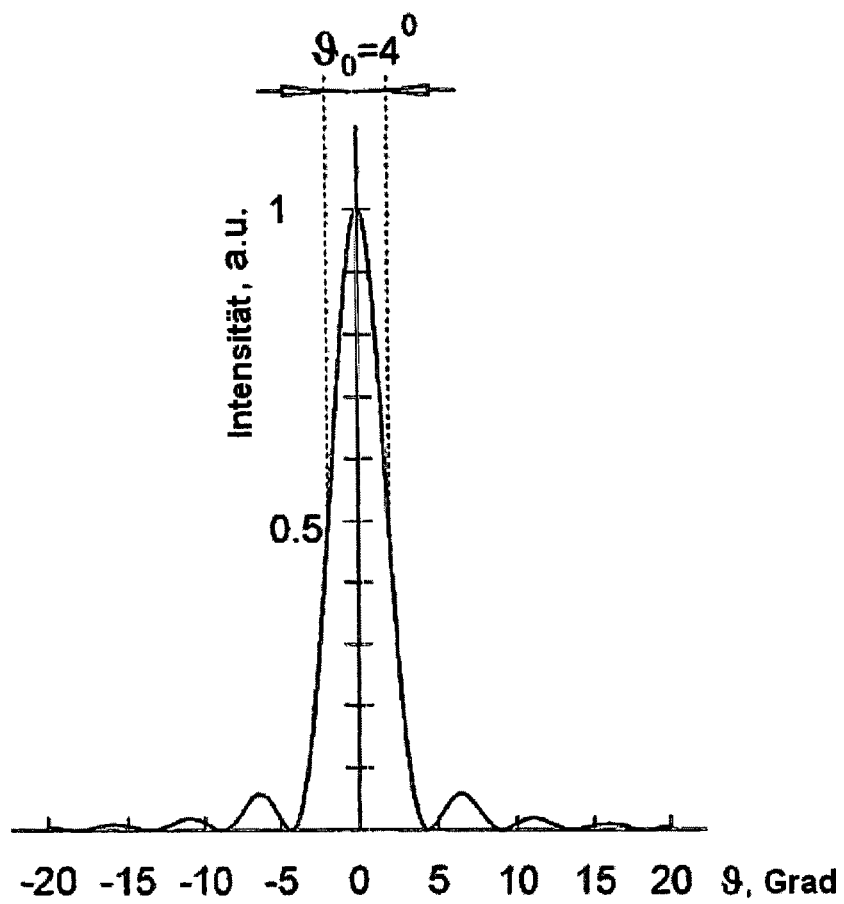


Fig. 12

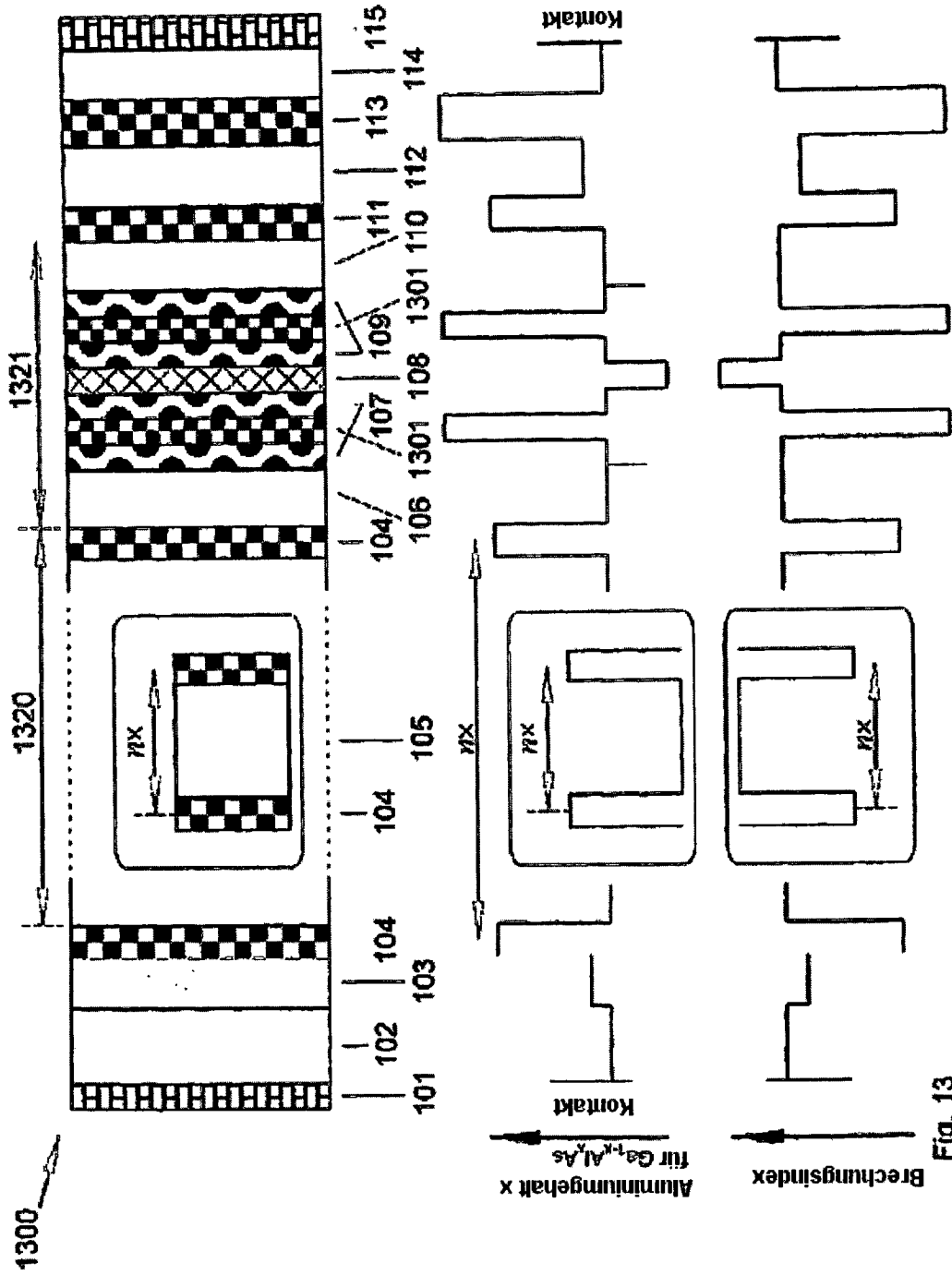


Fig. 13

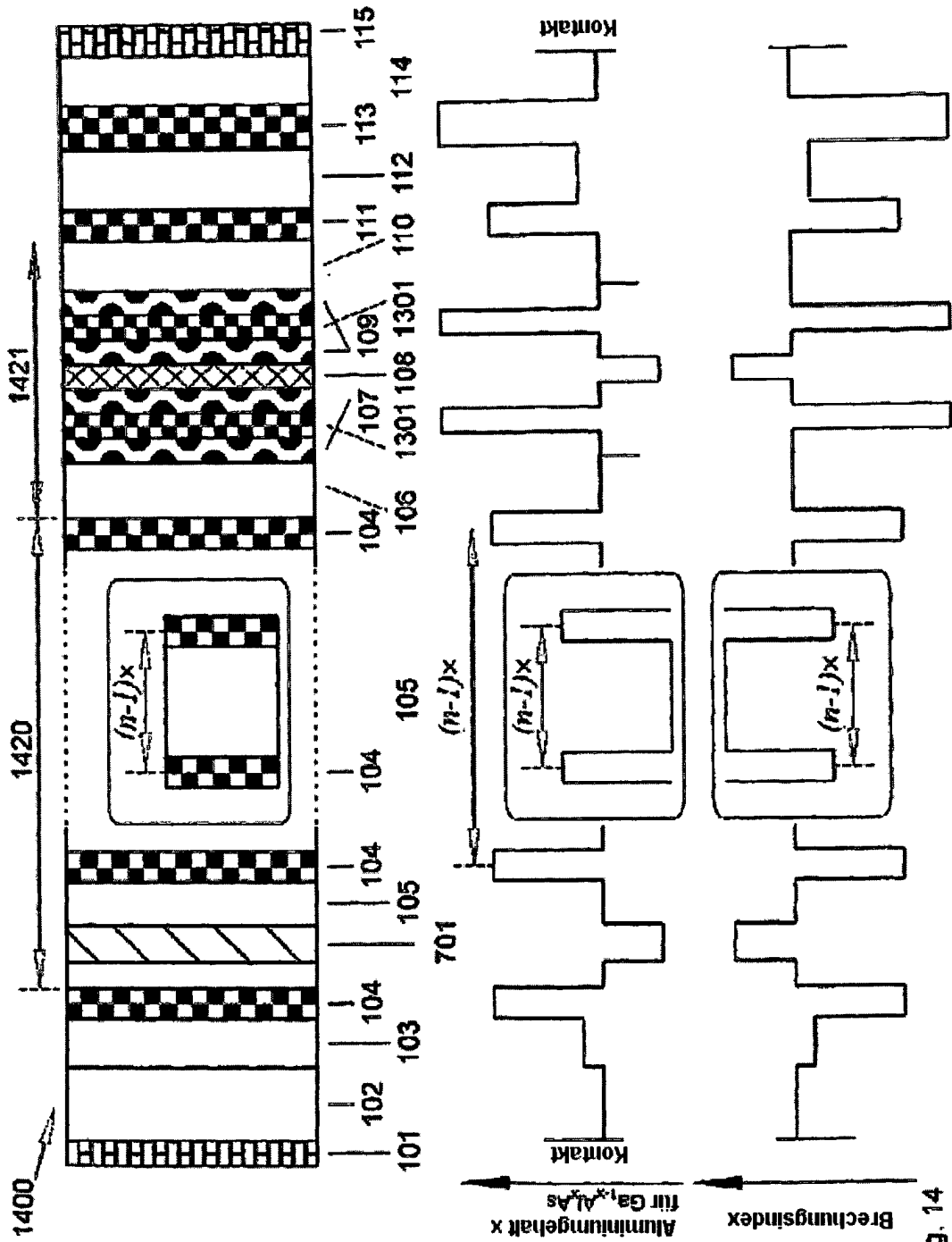


Fig. 14

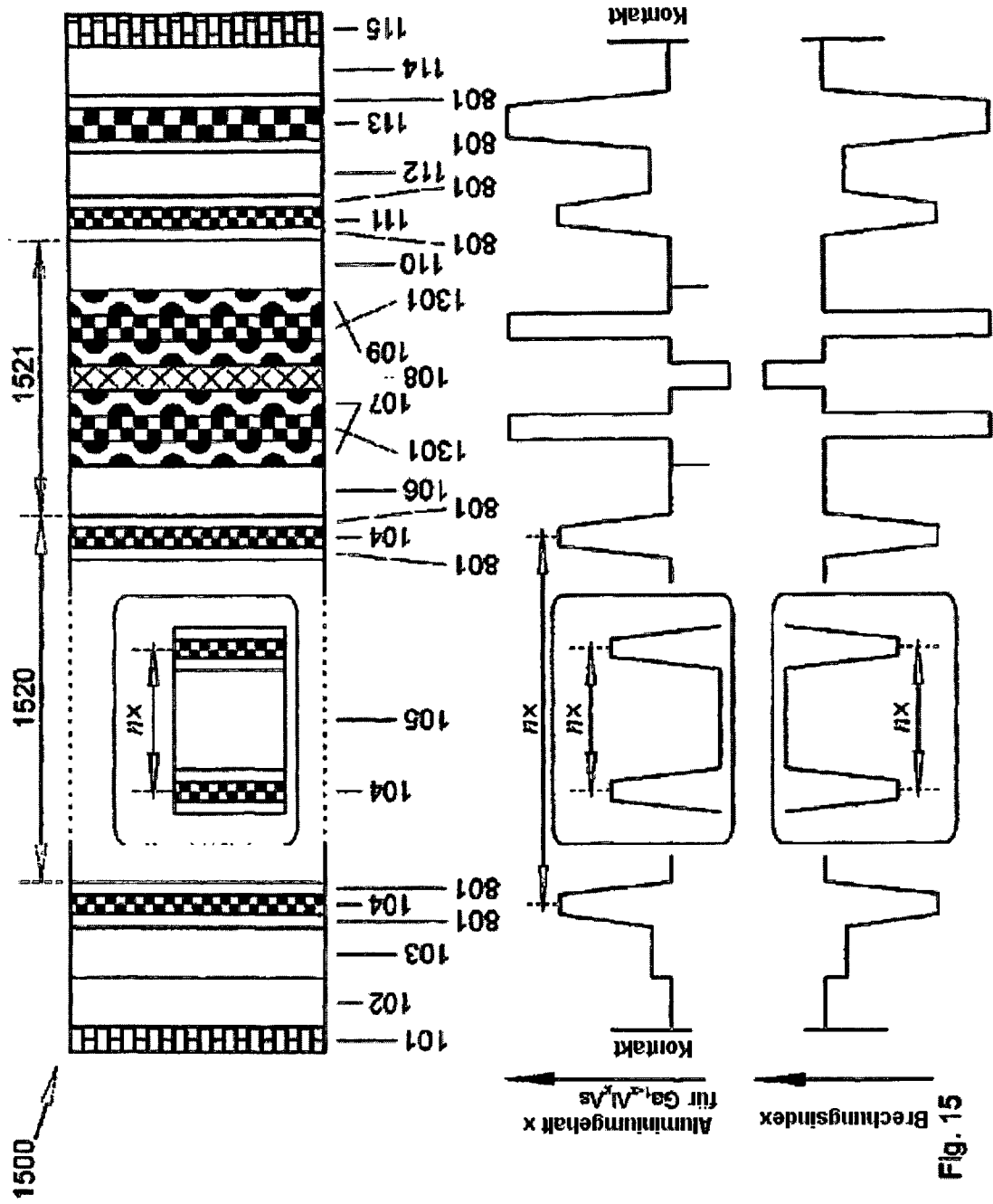


Fig. 15







