



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 60 2004 008 096 T2** 2008.04.24

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 676 347 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **60 2004 008 096.9**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB2004/003959**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **04 768 505.2**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2005/043702**

(86) PCT-Anmeldetag: **16.09.2004**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **12.05.2005**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **05.07.2006**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **08.08.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **24.04.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01S 5/20** (2006.01)

**G02B 6/10** (2006.01)

**H01S 5/343** (2006.01)

**G02B 6/42** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**0323905 11.10.2003 GB**

(73) Patentinhaber:

**Intense Ltd., Glasgow, GB**

(74) Vertreter:

**Andrae Flach Haug, 83022 Rosenheim**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GR,  
HU, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR**

(72) Erfinder:

**QIU, Bocang Intense Phot, High Blantyre,  
Glasgow G72 0BN, GB**

(54) Bezeichnung: **STEUERUNG DER AUSGANGSSTRAHL DIVERGENZ IN EINEM HALBLEITERWELLENLEITER-  
BAUELEMENT**

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**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft Halbleiter-Wellenleitervorrichtungen und insbesondere Verfahren zur Kontrollieren der Divergenz des optischen Ausgangsstrahls aus denselben.

**[0002]** Die Erfindung wird besonders, obwohl nicht ausschließlich, bei der Herstellung von Halbleiterlasern, Verstärkern, Modulatoren und anderen Wellenleitern verwendet, die sich zur Verwendung in der Telekommunikation und Druckanwendungen eignen, wo ein niedriger Kopplungsverlust zu anderen optischen Komponenten (wie zum Beispiel Lichtwellenleitern) und hoher knickfreier Leistungsabgabe erforderlich ist. Spezieller gesagt, wird die Erfindung besonders, obwohl nicht ausschließlich, bei der Herstellung von 980 nm-Pumplasern für Telekommunikationsanwendungen und bei der Herstellung von 830 nm-Hochleistungslasern für Druckanwendungen verwendet.

**[0003]** Herkömmliche Halbleiterlaser liefern im allgemeinen einen Lichtausgangsstrahl von im wesentlichen elliptischem Querschnitt. Mit Bezug auf [Fig. 1](#) umfassen solche herkömmlichen Laser normalerweise eine Folge von Schichten, die auf einem Substrat **10** gebildet ist und eine untere Mantelschicht **11**, einen optisch aktiven Kernbereich **12** und eine obere Mantelschicht **13** umfaßt. In einem herkömmlichen Laser vom Stegtyp wird die seitliche optische Begrenzung durch einen Stegwellenleiter **14** bewirkt, auf dem geeignetes elektrisches Kontaktmaterial **15** angeordnet werden kann, mit dem die elektrische Injektion für den Lasermodus bereitgestellt wird. Der sich ergebende Ausgangslichtstrahl **16** tritt aus dem Ausgabeeende **17** entlang der Längs- oder z-Achse aus, wie gezeigt.

**[0004]** Der Kernbereich **12** umfaßt normalerweise mehrere Schichten, wie zum Beispiel eine Mittelschicht **12a**, die die Quantenquelle definiert, und zwei oder mehr Außenschichten **12b**, **12c** mit einer Zusammensetzung, die als Funktion der Tiefe innerhalb der Schicht variiert, um einen sogenannten Kernbereich **12** mit separater Heterostruktur (GRINSCH) und Gradientenindex bereitzustellen.

**[0005]** Die Struktur von [Fig. 1](#) liefert ein Leistungsband-Kantenprofil, wie in [Fig. 2](#) gezeigt, in dem der Mantelbereich **20** der unteren Mantelschicht **11** entspricht; der Mantelbereich **24** entspricht der oberen Mantelschicht **13**; der Quantenquellenbereich **22** entspricht der Mittelschicht **12a**, und die Gradientenindexbereiche **21** und **23** entsprechen den Außenschichten **12b** bzw. **12c**.

**[0006]** Der Ausgangsstrahl **16** ([Fig. 1](#)) aus dieser Struktur hat normalerweise eine Strahldivergenz in vertikaler Richtung (die in der Figur als y-Richtung gezeigt wird) in der Größenordnung von 30 bis 40 Grad, was zu einem großen vertikalen Fernfeld führt. Die vertikale Richtung ist im allgemeinen als die Waferwachstumsrichtung definiert, d.h. die Richtung, die orthogonal zur Ebene des Substrats ist, wie gezeigt. Im Gegensatz dazu ist die Strahldivergenz in horizontaler oder seitlicher Richtung (die in der Figur als x-Richtung gezeigt wird) normalerweise in der Größenordnung von 5 bis 10 Grad.

**[0007]** Das sehr große Fernfeld und die Asymmetrie der Fernfelder in vertikaler und horizontaler Richtung verursachen eine Reihe von Problemen, wie zum Beispiel hoher Kopplungsverlust zu optischen Komponenten hinter der Laserausgabe **17** (wie zum Beispiel Lichtleiterfasern) und besonders niedrige Kopplungstoleranz zwischen dem Laser und einer Einmodenfaser (die ein kreisförmiges Strahlprofil erfordert).

**[0008]** Es ist eine Reihe von Verfahren vorgeschlagen worden, um das Fernfeld oder die Strahldivergenz in vertikaler Richtung zu reduzieren und somit die Asymmetrie in der Fernfeldausgabe zu verringern. Das vertikale Fernfeld kann bis zu einem gewissen Grad einfach durch Verringern der Dicke des Kernbereichs **12** reduziert werden. In diesem Fall ist jedoch die optische Überlappung mit der Quantenquelle **12a** ebenfalls reduziert, was wiederum den Laserschwelldstrom erhöht, und ein Resonatorverlust tritt durch Verluste auf, die mit der Intervallenzbandabsorption verbunden sind. Außerdem wird es auf Grund des Auftretens des Laserns mit höherem Modus bei den Hochstrominjektionsniveaus schwieriger, eine hohe knickfreie Emissionsleistung zu erreichen.

**[0009]** Es ist eine Reihe von unterschiedlichen Vorschlägen gemacht worden, um 'modusformende' Schichten, die das Fernfeld reduzieren, für die Halbleiterlaserstruktur bereitzustellen.

**[0010]** Das US-Patent US 5,815,521 zum Beispiel beschreibt eine Laservorrichtung, bei der eine 'modusformende' Schicht in jede der Mantelschichten eingeführt wird. Jede der modusformenden Schichten umfaßt eine Schicht mit einem erhöhten Brechungsindex relativ zum Rest der jeweiligen Mantelschicht, um ein Leistungsband-Kantenprofil zu bilden, wie in [Fig. 1](#) des 521er US-Patentes gezeigt. Es wird erwähnt, daß die modusfor-

menden Schichten jeweils eine lokalisierte stufenförmige Änderung im Bandenergieniveau umfaßt.

**[0011]** US 6 02 28 877 und WO 02 25787 beschreiben ein ähnliches Verfahren. US 5,923,689 beschreibt ein weiteres Verfahren, bei dem ein Paar von passiven Wellenleitern mit reduziertem Brechungsindex auf jeder Seite der Quantenquellenstruktur, von derselben durch eine Sperrschicht getrennt, bereitgestellt wird. Eine ähnliche Struktur, dieses Mal in Verbindung mit einer Begrenzungsstruktur mit Gradientenindex, wird auch in "Semiconductor lasers with unconventional cladding structures for small beam divergence and low threshold current [Halbleiterlaser mit unkonventionellen Mantelstrukturen für kleine Strahldivergenz und niedrigen Schwellwertstrom]" von Shun-Tung Yen et al, Optical and Quantum Electronics 28 (1996), S. 1229-1238, beschrieben. Beide Dokumente befürworten eine schrittweise lokale Verringerung des Brechungsindex innerhalb der Mantelschichten.

**[0012]** "Design and fabrication of 980nm InGaAs/AlGaAs quantum well lasers with low beam divergence" von Guowen Yang et al, SPIE Vol. 2886 (1996), S. 258-263 beschreibt das Einführen von zwei Schichten mit niedrigem Brechungsindex, die zwischen dem Mantel und den Gradientenindexschichten liegen, um die Strahldivergenz in vertikaler Richtung zu verringern.

**[0013]** "980 nm InGaAs/AlGaAs quantum well lasers with extremely low beam divergence" von Shun-Tung Yen et al, Proceedings of Semiconductor Laser Conference (1996), 15<sup>th</sup> IEEE International, S. 13-14, beschreibt auch die Einführung zwei Schichten mit niedrigem Brechungsindex relativ zu den benachbarten Gradientenindexschichten, um ebenfalls die vertikale Fernfeldverteilung zu reduzieren.

**[0014]** US 6,141,363 erwägt die Reduzierung der Strahldivergenz mittels mehrerer Schichten von abwechselndem hohem und niedrigem Brechungsindex innerhalb des Kernbereichs.

**[0015]** Es ist ein Ziel der vorliegenden Erfindung, eine Halbleiter-Wellenleitervorrichtung mit reduzierter Strahldivergenz in der vertikalen Richtung bereitzustellen.

**[0016]** Gemäß einer Erscheinungsform stellt die vorliegende Erfindung eine Halbleiter-Lichtwellenleitervorrichtung gemäß Anspruch 1 bereit.

**[0017]** Gemäß einer weiteren Erscheinungsform stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Bildung einer Halbleiter-Lichtwellenleitervorrichtung gemäß Anspruch 16 bereit.

**[0018]** Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nun durch Beispiele und unter Verweis auf die begleitenden Zeichnungen beschrieben.

**[0019]** [Fig. 1](#) illustriert eine herkömmliche Halbleiterlaservorrichtung mit einem Stegwellenleiter.

**[0020]** [Fig. 2](#) ist ein schematisches Diagramm der Leitungsbandkante der Halbleitervorrichtung von [Fig. 1](#).

**[0021]** [Fig. 3](#) illustriert eine Halbleiterlaservorrichtung, die eine Fernfeldreduzierungsschicht gemäß einer gegenwärtig bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hat.

**[0022]** [Fig. 4](#) ist ein schematisches Diagramm der Leitungsbandkante der Vorrichtung von [Fig. 3](#).

**[0023]** [Fig. 5](#) ist ein Diagramm, das einen Vergleich der Nahfeld-Lichtintensitätsverteilungen der jeweiligen optischen Ausgaben der Laservorrichtungen der [Fig. 1](#) und [Fig. 3](#) als Funktion der y-Position zeigt.

**[0024]** [Fig. 6](#) ist ein Diagramm, das einen Vergleich der Fernfeld-Lichtintensitätsverteilungen der jeweiligen optischen Ausgaben der Laservorrichtungen der [Fig. 1](#) und [Fig. 3](#) als Funktion der y-Position zeigt.

**[0025]** [Fig. 7](#) ist ein Diagramm, das die grundlegende Transversalmodus-Lichtstärkenausgabe als Funktion des Ansteuerungsstroms für den Laser von [Fig. 3](#) zeigt.

**[0026]** [Fig. 8](#) ist ein Diagramm, das die Lichtstärkenausgabe des Transversalmodus zweiter Ordnung als Funktion des Ansteuerungsstroms für den Laser von [Fig. 3](#) zeigt.

**[0027]** [Fig. 9](#) ist ein Diagramm, das die grundlegende Transversalmodus-Lichtstärkenausgabe als Funktion des Ansteuerungsstroms für den Laser von [Fig. 1](#) zeigt.

- [0028] [Fig. 10](#) ist ein Diagramm, das die Lichtstärkenausgabe des Transversalmodus zweiter Ordnung als Funktion des Ansteuerungsstroms für den Laser von [Fig. 1](#) zeigt.
- [0029] [Fig. 11](#) ist ein schematisches Diagramm des Brechungsindexprofils als Funktion der Tiefe (y-Richtung) in einer ersten Konfiguration der Vorrichtung von [Fig. 3](#) zeigt.
- [0030] [Fig. 12](#) ist ein schematisches Diagramm des Brechungsindexprofils als Vergleichsfunktion der Tiefe in einem Vergleichsbeispiel zeigt.
- [0031] [Fig. 13](#) ist ein schematisches Diagramm des Brechungsindexprofils als Funktion der Tiefe in einer dritten Konfiguration der Vorrichtung von [Fig. 3](#).
- [0032] [Fig. 14](#) ist ein schematisches Diagramm des Brechungsindexprofils als Funktion der Tiefe in einer vierten Konfiguration der Vorrichtung von [Fig. 3](#).
- [0033] [Fig. 15](#) ist ein schematisches Diagramm des Brechungsindexprofils als Funktion der Tiefe in einer fünften Konfiguration der Vorrichtung von [Fig. 3](#).
- [0034] [Fig. 16](#) ist ein schematisches Diagramm des Brechungsindexprofils als Funktion der Tiefe (y-Richtung) in einer sechsten Konfiguration der Vorrichtung von [Fig. 3](#).
- [0035] [Fig. 17](#) ist ein schematisches Diagramm des Brechungsindexprofils als Funktion der Tiefe in einer siebenten Konfiguration der Vorrichtung von [Fig. 3](#).
- [0036] [Fig. 18](#) ist ein schematisches Diagramm, das bei der Erläuterung der Prinzipien des Variierens des Brechungsindex in einem Halbleitermaterial unter Verwendung von Supergitterstrukturen anwendbar ist.
- [0037] Mit Bezug auf [Fig. 3](#) wird eine bevorzugte Konfiguration einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung schematisch gezeigt. Ein Substrat **30** stützt eine untere Mantelschicht **31**, einen optisch aktiven Kernbereich **32** und eine obere Mantelschicht **33**. In der bevorzugten Anordnung sorgt ein Stegwellenleiter **34** für laterale optische Begrenzung. Ein geeignetes elektrisches Kontaktmaterial **35** kann auf dem Steg **34** abgelagert werden, mit dem für eine elektrische Injektion gesorgt wird, um den Lasermodus anzusteuern.
- [0038] Es wird erwähnt, daß die Prinzipien der vorliegenden Erfindung auf Laserdioden angewendet werden können, die andere Strukturformen haben, welche für eine laterale optische Begrenzung sorgen, wie zum Beispiel ein BH-Laser. Es wird auch erwähnt, daß die Prinzipien der vorliegenden Erfindung auch allgemein auf eine andere Halbleiter-Wellenleiterstruktur als eine Laserdiode angewendet werden können. Allgemeiner gesagt, können die Prinzipien in aktiven und passiven optischen Vorrichtungen mit lateral begrenzenden Wellenleiterstrukturen angewendet werden. Dazu gehören Verstärker, Modulatoren und passive Wellenleiter, wie zum Beispiel die, die in ein einzelnes Substrat integriert sind, um eine integrierte optische Vorrichtung zu bilden.
- [0039] Der sich ergebende Ausgangslichtstrahl **36** tritt aus dem Ausgabeende **37** entlang der Längs- oder z-Achse aus, wie gezeigt.
- [0040] Der Kernbereich **32** umfaßt vorzugsweise mehrere Schichten, wie zum Beispiel eine Mittelschicht **32a**, die die Quantenquelle definiert, und zwei oder mehr Außenschichten **32b**, **32c**, bei denen die Zusammensetzung als Funktion der Tiefe innerhalb der Schicht variiert, um einen Kernbereich **32** mit separater Begrenzungsheterostruktur (GRINSCH) und Gradientenindex bereitzustellen. Es versteht sich jedoch, daß die Erfindung auf Laservorrichtungen anwendbar ist, die keinen Kernbereich mit Gradientenindex nutzen.
- [0041] Die untere Mantelschicht **31** enthält eine Fernfeldreduzierungsschicht ('FRL') oder eine Strahlkontrollschicht **38**. Zu diesem Zweck umfaßt die untere Mantelschicht zwei Teilschichten **31a**, **31b**, zwischen denen die Strahlkontrollschicht **38** gebildet ist. Die Strahlkontrollschicht **38** umfaßt mindestens zwei Teilschichten **38a**, **38b**, von denen jede aus Halbleitermaterial gebildet ist, dessen Eigenschaften sich allmählich durch die Dicke desselben in einer Weise ändern, die detaillierter hierin nachstehend beschrieben wird.
- [0042] Die Struktur von [Fig. 3](#) stellt eine Leitungsbandkante bereit, wie in [Fig. 4](#) gezeigt. Der untere Mantelbereich **40** bis **43** entspricht der unteren Mantelschicht **31**. Genauer gesagt, entspricht der Bereich **40** der unteren Mantelteilschicht **31a**; der Bereich **43** entspricht der unteren Mantelteilschicht **31b**; der Bereich **41** entspricht der unteren Strahlkontrollteilschicht **38a**, und der Bereich **42** entspricht der oberen Strahlkontrollteil-

schicht **38b**. Der Mantelbereich **47** entspricht der oberen Mantelschicht **33**; der Quantenquellenbereich **45** entspricht der Mittelschicht **32a**, und die Gradientenindexbereiche **44** und **46** entsprechen den äußeren Schichten **32b** bzw. **32c**.

**[0043]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform eines 830 nm-Lasers ist die Schichtenstruktur der Laservorrichtung wie unten angeführt:

Schicht Nr.	Ref., Figuren 3 und 4	Material (x, y)	Zusammensetzung	Dicke ( $\mu\text{m}$ )	Typ	Dotierungsmittel
15	<b>39</b>	GaAs		0,100	p	Zn
14	<b>33, 47</b>	Al(x)GaAs	$0,35 > 0,05$	0,120	p	Zn
13	<b>33, 47</b>	Al(x)GaAs	0,35	1,700	p	Zn
12	<b>33, 47</b>	Al(x)GaAs	0,35	0,200	p	Zn
11	<b>32c, 46</b>	Al(x)GaAs	$0,22 > 0,35$	0,120		U/D
10	<b>32a, 45</b>	(Al <sub>x</sub> -Ga) <sub>y</sub> In(y)As	$x = 0,14, y = 0,14$	0,008		U/D
9	<b>32b, 44</b>	Al(x)GaAs	$0,30 > 0,22$	0,070		U/D
8	<b>32b, 44</b>	Al(x)GaAs	$0,33 > 0,30$	0,030	n	Si
7	<b>32b, 44</b>	Al(x)GaAs	$0,35 > 0,33$	0,020	n	Si
6	<b>31b, 43</b>	Al(x)GaAs	0,35	0,625	n	Si
5	<b>38b, 42</b>	Al(x)GaAs	$0,27 > 0,35$	0,320	n	Si
4	<b>38a, 41</b>	Al(x)GaAs	$0,35 > 0,27$	0,320	n	Si
3	<b>31a, 40</b>	Al(x)GaAs	0,35	1,400	n	Si
2	<b>31a</b>	Al(x)GaAs	$0,05 > 0,35$	0,210	n	Si
1	<b>30</b>	GaAs		0,500	n	Si

**[0044]** Die jeweiligen Schichten der [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) werden in Spalte 2 der obigen Tabelle angeführt.

**[0045]** Die Struktur wird auf einem GaAs-Substrat (erste Schicht) mit einer 8 nm dicken druckbeanspruchten InGaAlAs-Quantenquelle (zehnte Schicht) für 830 nm-Laseranwendungen unter Verwendung von MOCVD- oder MBE-Ablagerungsverfahren gezogen. Die Quantenquelle **32a, 45** ist auf beiden Seiten von 120 nm-Gradientenindex-Heterostrukturschichten mit separater Begrenzung **32b, 32c, 44, 46** (7. bis 9. Schicht und 11. Schicht) umgeben. Die 3. und die 6. Schicht sind die unteren Mantelteilschichten **31a, 31b**, und die 12. und 13. Schicht sind die oberen Mantelschichten **33, 47**. Die 4. und 5. Schicht sind die Strahlkontrollteilschichten zur Fernfeldreduzierung. Diese Schichten werden auch zum Unterdrücken des Laserns mit höherem Modus und daher zum Verstärken der knickfreien Leistung verwendet.

**[0046]** Die Dicken der 4., 5. und 6. Schicht sowie der Molenbruch von Al am Mittelpunkt der 4. und 5. Schicht sind in dieser Ausführungsform so optimiert, daß alle folgenden Kriterien erfüllt werden:

- i) Die volle Breite beim halben Maximum (FWHM) des vertikalen Fernfeldes beträgt etwa 21 Grad.
- ii) Die optische Überlappungsreduktion auf Grund der Strahlkontrollschicht ist ganz unbedeutend.
- iii) Ausgezeichnetes Vorrichtungsverhalten für Waferwachstumstoleranz von  $\pm 10$  der Schichtdicke und  $\pm 1$  % des Schichtenmolenbruchs.
- iv) Beträchtliche Unterdrückung des Laserns bei höherem Modus.

**[0047]** Die Vorrichtung kann unter Verwendung herkömmlicher fotolithografischer Verfahren und Trocken- oder Naßätzung hergestellt werden, gefolgt vom Waferdünnätzen und Ablagerung des Metallkontakts.

**[0048]** Die [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) zeigen eine simulierte Nahfeldintensitätsverteilung und Fernfeldintensitätsverteilung für die Grundswingungsmoden eines 2,5 mm breiten Steglasers als Funktion der y-Position mit und ohne die Strahlkontrollschichten **38a, 38b, 41, 42**.

**[0049]** In [Fig. 5](#) repräsentiert die gepunktete Linie die Nahfeldintensitätsverteilung ohne Strahlkontrollschicht, und die durchgehende Linie repräsentiert die Nahfeldintensitätsverteilung mit Strahlkontrollschicht. Es ist zu erkennen, daß die Strahlkontrollschicht wenig Einfluß auf die Nahfeldintensitätsverteilung hat. In [Fig. 6](#) reprä-

sentiert jedoch die gepunktete Linie die Fernfeldintensitätsverteilung ohne Strahlkontrollschicht, und die durchgehende Linie repräsentiert die Fernfeldintensitätsverteilung mit Strahlkontrollschicht. Es ist zu erkennen, daß die Strahlkontrollschicht einen wesentlichen Einfluß auf die Intensitätsverteilung hat, indem sie für einen viel schmalen Peak mit beträchtlich größerem Intensitätsmaximum sorgt.

**[0050]** Das Ätzen von Steg **34** der Laservorrichtung spielt eine wichtige Rolle für die knickfreie Leistung und die Elliptizität des Ausgangsstrahls, da Lasern mit höherem Modus und das horizontale Fernfeld stark vom Ätzschritt abhängen.

**[0051]** Es kann ein Vergleich zwischen Vorrichtungen, die unter Verwendung der Strahlkontrollschicht oder ohne dieselbe verarbeitet wurden, angestellt werden. Um den Vergleich bedeutungsvoller zu machen, werden Kriterien für dasselbe horizontale Fernfeld verwendet. In diesem Fall müssen Vorrichtungen, die auf der Struktur mit Moduskontrolle verarbeitet werden, bis zu einer Tiefe geätzt werden, die 50 nm größer ist als die, welche ohne die Moduskontrollschichten verarbeitet werden. Die Vergleiche werden für eine Vorrichtung angeführt, die einen 2,2 mm breiten Steg und eine 1,2 mm lange Höhlung haben.

**[0052]** [Fig. 7](#) zeigt die Laserleistung als Funktion des Ansteuerungsstroms für die (erste) Grundschwingungs-mode in einer Vorrichtung mit Strahlkontrollschicht **38a**, **38b**. [Fig. 9](#) zeigt die Laserleistung als Funktion des Ansteuerungsstroms für die Grundschwingungs-mode in einer entsprechenden Vorrichtung ohne Strahlkontrollschicht. Es ist zu erkennen, daß es im wesentlichen keinen Unterschied gibt.

**[0053]** [Fig. 8](#) zeigt aber die Laserleistung als Funktion des Ansteuerungsstroms für die höhere (zweite) Mode in einer Vorrichtung mit Strahlkontrollschicht **38a**, **38b**. [Fig. 10](#) zeigt die Laserleistung als Funktion des Ansteuerungsstroms für die höhere Mode in einer entsprechenden Vorrichtung ohne Strahlkontrollschicht. Es ist zu erkennen, daß es einen riesigen Unterschied in der Vorrichtungsleistung hinsichtlich des Laserns bei höherem Modus gibt. Spezieller gesagt, wird für die Vorrichtungsstruktur mit Strahlkontrollschicht kein Leistungsknick für den Injektionsstrom bis zu 600 mA beobachtet, während im Fall der Vorrichtungsstruktur ohne Strahlkontrollschichten der Leistungsknick auftritt, wenn der Injektionsstrom nur 175 mA erreicht.

**[0054]** Der Stand der Technik schlägt im allgemeinen Moduskontrollschichten vor, die eine stufenförmige Stoßstelle im Brechungsindex der Mantelschichten umfassen. In der vorliegenden Erfindung wurde entdeckt, daß die Verwendung einer Gradientenstrahlkontrollschicht und insbesondere die Verwendung einer Strahlkontrollschicht mit V-Profil für wesentliche Verbesserungen in der Leistung der Vorrichtung sorgt. Ein weiterer Vorteil ist, daß bei der Gradientenstrahlkontrollschicht der vorliegenden Erfindung eine viel weniger strenge Kontrolle der Wachstumsbedingungen erforderlich ist, um die gewünschte Modenkontrolle zu erreichen.

**[0055]** Dies wird in der folgenden Tabelle demonstriert, die die Variationen im vertikalen Fernfeld und der optischen Überlappung als Funktion von 1 % Änderungen im Molenbruch von Al für beide Vorrichtungen ohne und mit Strahlkontrollschichten zeigt. Variationen im vertikalen Fernfeld und in der optischen Überlappung werden in der vorliegenden Erfindung viel enger kontrolliert.

Mit Modenkontroll			Ohne Modenkontroll		
Molenbruch von Al	Vertikales Fernfeld (°)	Optische Überlappung (%)	Molenbruch von Al	Vertikales Fernfeld (°)	Optische Überlappung (%)
26 %	19,4	1,86	30 %	17,3	1,58
27 %	21,4	2,26	31 %	21,4	2,36
28 %	23,6	2,38	32 %	25,7	2,46

**[0056]** Ein weiterer Vorteil der Strahlkontrollschicht mit V-Profil ist, daß sie mögliche Probleme mit dem Trägereinfang in der Strahlkontrollschicht beseitigen kann, was zu einem besseren Trägertransport und verbesserter L-I (Lichtstärke als Funktion des Ansteuerungsstroms)-Steigungseffizienz führt.

**[0057]** Die Ausführungsform, die oben beschrieben wird, illustriert die Verwendung einer Strahlkontrollschicht **38**, bei der die erste (untere) Mantelschicht **31** zwei Strahlkontrollteilschichten **38a**, **38b** enthält, in denen eine physikalische Eigenschaft (das stöchiometrische Verhältnis) des Halbleitermaterials als Funktion der Tiefe (y) durch jede der Teilschichten **38a**, **38b** variiert, um so eine elektronische Eigenschaft (die Leitungsbandkante) und eine optische Eigenschaft (den Brechungsindex) der jeweiligen Teilschicht zu variieren.



**[0058]** Genauer gesagt, variiert die physikalische Eigenschaft der Strahlkontrollteilschichten **38a**, **38b**, um so für eine im wesentlichen lineare Verringerung, dann Erhöhung in der Leitungsbandkante **41**, **42** in der Strahlkontrollschicht **38** zu sorgen, um so ein im wesentlichen 'V'-förmiges Profil bereitzustellen. Es versteht sich jedoch, daß das Profil abgewandelt werden kann.

**[0059]** Eine nicht erschöpfende Auswahl des möglichen Brechungsindex als Funktion von Tiefenprofilen für Strahlkontrollschichten wird in den [Fig. 11](#) und [Fig. 13](#) bis [Fig. 17](#) gezeigt. In

**[0060]** [Fig. 11](#) entspricht das Brechungsindexprofil im wesentlichen dem Leitungsbandkantenprofil, das in [Fig. 4](#) illustriert ist, umfassend: (I) eine untere Mantelschicht **110** mit niedrigem Brechungsindex; (II) einen Bereich **111** der unteren Strahlkontrollteilschicht, der einen sich linear erhöhenden Brechungsindex als Funktion von  $y$  hat; (III) einen Bereich **112** der unteren Strahlkontrollteilschicht, der einen sich linear verringernden Brechungsindex als Funktion von  $y$  hat; einen unteren Mantelbereich **113** mit niedrigem Brechungsindex; Gradientenindex-Begrenzungsbereiche **114** und **116**; Quantenquellenbereich **115**; und oberer Mantelbereich **117**.

**[0061]** Allgemeiner gesagt, umfaßt die Strahlkontrollschicht eine erste Teilschicht **38a**, in der die physikalische Eigenschaft sich allmählich von einem ersten Niveau zu einem zweiten Niveau wandelt, und eine zweite Teilschicht **38b**, in der die physikalische Eigenschaft sich allmählich von einem zweiten Niveau zu einem dritten Niveau wandelt, wie durch eines der Brechungsindexprofile der [Fig. 11](#) bis [Fig. 17](#) an einem Beispiel dargestellt.

**[0062]** Das dritte Niveau kann dasselbe wie das erste Niveau sein, derart daß die unteren Mantelteilschichten **31a** und **31b** im wesentlichen dieselben physikalischen Eigenschaften haben, wie in den [Fig. 11](#) bis [Fig. 15](#) und [Fig. 17](#). Alternativ kann ein Teil des Mantelbereichs (z.B. **110**) einen anderen Brechungsindexwert als der andere Teil des Mantelbereichs (z.B. **113**) haben. Genauer gesagt, kann der untere (oder äußerste) Teil des Mantelbereichs (z.B. **110**) einen niedrigeren Brechungsindexwert als der andere Teil des Mantelbereichs (z.B. **113**) haben, wie in [Fig. 16](#) gezeigt.

**[0063]** Die physikalische Eigenschaft kann nichtlinear variieren, um für eine nichtlineare Variation der Leitungsbandkante und/oder des Brechungsindex als Funktion der Tiefe durch die erste und zweite Teilschicht zu sorgen. Solch eine Anordnung wird in [Fig. 13](#) gezeigt, wo die erste Teilschicht **131** der Strahlkontrollschicht einen sich allmählich erhöhenden Brechungsindex hat, bei dem der Anstieg nichtlinear ist. Analog hat die zweite Teilschicht **132** der Strahlkontrollschicht einen sich allmählich verringernden Brechungsindex hat, bei dem der Abfall nichtlinear ist.

**[0064]** Die Strahlkontrollteilschichten **38a** und **38b** sind benachbart, d.h. ohne weitere Teilschichten dazwischen, wie in den [Fig. 11](#) und [Fig. 13](#) bis [Fig. 17](#). In einem Vergleichsbeispiel können jedoch die Strahlkontrollteilschichten **38a**, **38b** durch eine weitere Teilschicht getrennt sein, um zum Beispiel ein V-Profil mit flachem Boden in der Leitungsbandkante oder ein umgekehrtes V-Profil mit flachem Deckel im Brechungsindex bereitzustellen, wie in [Fig. 12](#) gezeigt. In [Fig. 12](#) stellt die Strahlkontrollschicht eine untere Strahlkontrollteilschicht **121** mit einem sich allmählich erhöhenden Brechungsindex, eine obere Strahlkontrollteilschicht **123** mit einem sich allmählich verringernden Brechungsindex und eine Zwischenstrahlkontrollteilschicht **122** mit im wesentlichen konstantem Brechungsindex bereit.

**[0065]** Die Strahlkontrollschicht **38** kann innerhalb der unteren Mantelschicht **31**, der oberen Mantelschicht **33** bereitgestellt werden, oder die Strahlkontrollschichten können sowohl in der unteren als auch in der oberen Mantelschicht bereitgestellt werden. Dieses letztere Beispiel wird durch das Brechungsindexprofil in [Fig. 14](#) illustriert. [Fig. 14](#) zeigt eine erste Strahlkontrollschicht, die die Teilschichten **141**, **142** innerhalb der unteren Mantelschicht **140**, **143** umfaßt, und eine zweite Strahlkontrollschicht, die die Teilschichten **145**, **146** innerhalb der oberen Mantelschicht **144**, **147** umfaßt.

**[0066]** Die Strahlkontrollschicht kann sich in der Mantelschicht unmittelbar neben der Quantenquellenstruktur oder GRINSCH-Struktur befinden, wie in [Fig. 17](#) illustriert. In [Fig. 17](#) befinden sich die Strahlkontrollteilbereiche **171**, **172** zwischen dem unteren Mantelbereich **170** und dem GRINSCH-Bereich **173**.

**[0067]** Wie vorher erwähnt, braucht die laterale optische Begrenzungsstruktur, z.B. der Quantenquellenbereich **115**, nicht sandwichartig zwischen den Gradientenindex-Begrenzungsbereichen **114**, **116** zu liegen (z.B. [Fig. 11](#)). Wie in [Fig. 15](#) gezeigt, kann der Quantenquellenbereich **115** sandwichartig zwischen den Begrenzungsbereichen **154**, **156** mit stufenförmigem Index liegen.

**[0068]** Die Strahlkontrollschicht kann im allgemeinen entweder in p-Mantelschichten oder n-Mantelschichten eingesetzt werden, obwohl n-Mantelschichten bevorzugt werden, da sie den Mantelätzprozeß nicht beeinträchtigen.

**[0069]** Ein wichtiger Aspekt der vorliegenden Erfindung ist die Verwendung einer Strahlkontrollschicht in der Mantelschicht, die eine sich allmählich ändernde Eigenschaft statt einer einzelnen großen stufenförmigen Änderung aufweist. Die allmähliche Änderung tritt über die Dicke von mindestens 50 nm in der Strahlkontrollschicht auf. Besser ist es, wenn die allmähliche Änderung in der Eigenschaft in einer ersten Richtung über eine Strahlkontrollteilschicht von mindestens 100 nm Dicke und dann in einer zweiten Richtung entgegen der ersten Richtung über eine Strahlkontrollteilschicht von mindestens 100 nm Dicke auftritt.

**[0070]** Es wird erwähnt, daß diese 'allmähliche Änderung effektiv relativ zur Wellenlänge des Lichts, das durchläuft, definiert ist. Es ist auch möglich, eine solche allmähliche Änderung im Brechungsindex in einer Halbleiterschicht durch Aufbauen einer Struktur vom Typ Supergitter oder eine numerische Legierung zu erzeugen, in der abwechselnde Schichten von Materialien mit niedrigem und hohem Brechungsindex mit einem lokalisierten Durchschnittsdickenverhältnis gebildet werden, das den effektiven Brechungsindex über eine Abmessung in der Größenordnung von einer Wellenlänge des Lichts oder weniger definiert. Das Prinzip dafür wird in [Fig. 18](#) illustriert.

**[0071]** Eine Folge von stufenförmigen Änderungen **180** zwischen Teilschichten von Material **182** mit niedrigem Brechungsindex und Material **181** mit hohem Brechungsindex, bei der jede Teilschicht eine Dicke hat, die beträchtlich kleiner als die Wellenlänge von Licht ist, kann eine allmähliche Änderung im Brechungsindex bewirken, indem das Verhältnis von großen zu kleinen Teilschichtdicken variiert wird, wie durch die Teilschichten **183**, **184** angegeben. Der Nettoeffekt ist eine entsprechende allmähliche Änderung im Brechungsindex **185**, wie am Licht zu erkennen ist, das sich in der Schicht ausbreitet.

**[0072]** Es versteht sich auch, daß die allmähliche Änderung im allgemeinen durch eine 'treppenartige' Folge von kleinen stufenförmigen Zuwächsen oder Verringerungen in der Materialeigenschaft (z.B. Brechungsindex) bewirkt werden kann, um die Strahlkontrollschicht zu bilden, wobei jeder aufeinanderfolgende Schritt von einer Dicke ist, die wesentlich kleiner als die Wellenlänge des Lichtes ist, das sich in der Schicht ausbreitet.

**[0073]** In den gegenwärtig bevorzugten Ausführungsformen führt die allmähliche Änderung im Brechungsindex zu einer Änderung im Brechungsindex von mindestens 0,1 % in einer Strahlkontrollteilschicht über mindestens 100 nm Dicke.

**[0074]** In den bevorzugten Ausführungsformen stehen die entsprechenden Änderungen im Bandlückenprofil und in der Zusammensetzung des Halbleitermaterials über den Bereich der gewünschten Änderungen im Brechungsindex in einer im wesentlichen linearen Weise im Zusammenhang damit.

**[0075]** Die Erfindung ist auf einen weiten Bereich von Systemen von Halbleitermaterialien anwendbar, insbesondere, obwohl nicht ausschließlich, auf die in der Tabelle unten aufgeführten.

Quantenquellenmaterial	Sperrschichtmaterial	Mantelmaterial	Substrat
InGaAs	AlGaAs	AlGaAs	GaAs
GaAs	AlGaAs	AlGaAs	GaAs
InGaAlAs	AlGaAs	AlGaAs	GaAs
InGaAs	InGaP	InGaAsP	GaAs
InGaAs	GaAs	InGaP	GaAs
InGaAs	InGaAsP	InGaP	GaAs
InGaAsN	AlGaAs	AlGaAs	GaAs
InGaAsP	InGaAsP	InP	InP
InGaAlAs	InGaAlAs	InP	InP

**[0076]** Andere Ausführungsformen liegen bewußt innerhalb des Geltungsbereichs der angehängten Ansprüche.



**Patentansprüche**

1. Optische Halbleiter-Wellenleitvorrichtung, umfassend:  
eine erste Mantelschicht;  
eine zweite Mantelschicht; und  
eine Wellenleitschicht, die zwischen der ersten und zweiten Mantelschicht angeordnet ist und einen wesentlich höheren Brechungsindex als die erste und zweite Mantelschicht hat;  
wobei mindestens eine aus der ersten und zweiten Mantelschicht eine Strahlführungsschicht umfasst, in der der Brechungsindex des Halbleitermaterials als Funktion der Tiefe in der Schicht variiert, wobei die Strahlführungsschicht eine erste Teilschicht, in der der Brechungsindex sich allmählich von einem ersten Niveau zu einem zweiten Niveau ändert, und eine zweite Teilschicht umfasst, in der der Brechungsindex sich vom zweiten Niveau auf ein drittes Niveau ändert, wobei die erste und zweite Teilschicht aneinander grenzen, **dadurch gekennzeichnet**, dass das dritte Niveau im Wesentlichen gleich dem ersten Niveau ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Brechungsindex sich als Funktion des Zusammensetzungsverhältnisses des Materials ändert.
3. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die erste Teilschicht eine allmählich abfallende Leitungsbandkante bereitstellt und die zweite Teilschicht eine allmählich ansteigende Leitungsbandkante bereitstellt.
4. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die erste Teilschicht einen allmählich ansteigenden Brechungsindex bereitstellt und die zweite Teilschicht einen allmählich abfallenden Brechungsindex bereitstellt.
5. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das erste Niveau im Wesentlichen gleich dem Niveau des Brechungsindex der benachbarten Mantelschicht ist.
6. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das dritte Niveau im Wesentlichen gleich dem Niveau des Brechungsindex der benachbarten Mantelschicht ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Brechungsindex der ersten Teilschicht zwischen dem ersten Niveau und dem zweiten Niveau sich im Wesentlichen linear ändert.
8. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Brechungsindex der zweiten Teilschicht zwischen dem zweiten Niveau und dem dritten Niveau sich im Wesentlichen linear ändert.
9. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die erste und zweite Mantelschicht aus einem System auf der Basis von GaAs oder InP gebildet sind.
10. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Wellenführungsschicht eine Quantenwellschicht ist.
11. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, die ferner ein Substrat umfasst, wobei die erste Mantelschicht eine Schicht ist, die dem Substrat am nächsten liegt, wobei die Strahlführungsschicht innerhalb der ersten Mantelschicht bereitgestellt ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, wobei das Substrat GaAs umfasst, die erste Mantelschicht und die Strahlführungsschicht AlGaAs von n-Typ umfassen und die zweite Mantelschicht p-dotiertes AlGaAs umfasst.
13. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, die einen Stegwellenleiter umfasst.
14. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei der Brechungsindex in der ersten und zweiten Strahlführungsteilschicht durch allmähliche Änderung der Dicke der wechselnden Teilschichten mit verschiedenem Brechungsindex variiert, wobei jede wechselnde Teilschicht eine Dicke hat, die im Wesentlichen kleiner als eine Lichtwellenlänge ist.
15. Vorrichtung nach Anspruch 12, die ein oder mehrere aus einem Laser, einem optischen Modulator oder einem optischen Verstärker umfasst.

16. Verfahren zum Bilden einer optischen Halbleiter-Wellenleitvorrichtung, die die folgenden Schritte umfasst:

Bilden einer ersten Mantelschicht auf einem Substrat;

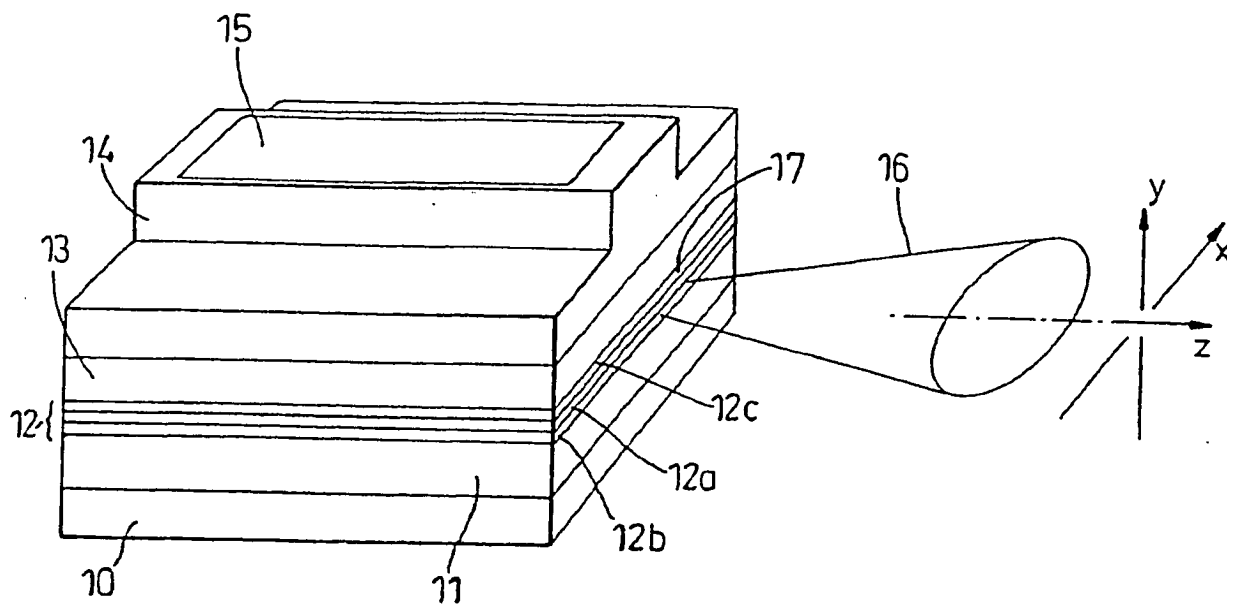
Bilden einer Wellenleitschicht auf der ersten Mantelschicht, wobei die Wellenleitschicht einen Brechungsindex hat, der wesentlich größer als der der ersten Mantelschicht ist;

Bilden einer zweiten Mantelschicht auf der Wellenleitschicht, wobei die zweite Mantelschicht einen Brechungsindex hat, der wesentlich kleiner als der der Wellenleitschicht ist; und

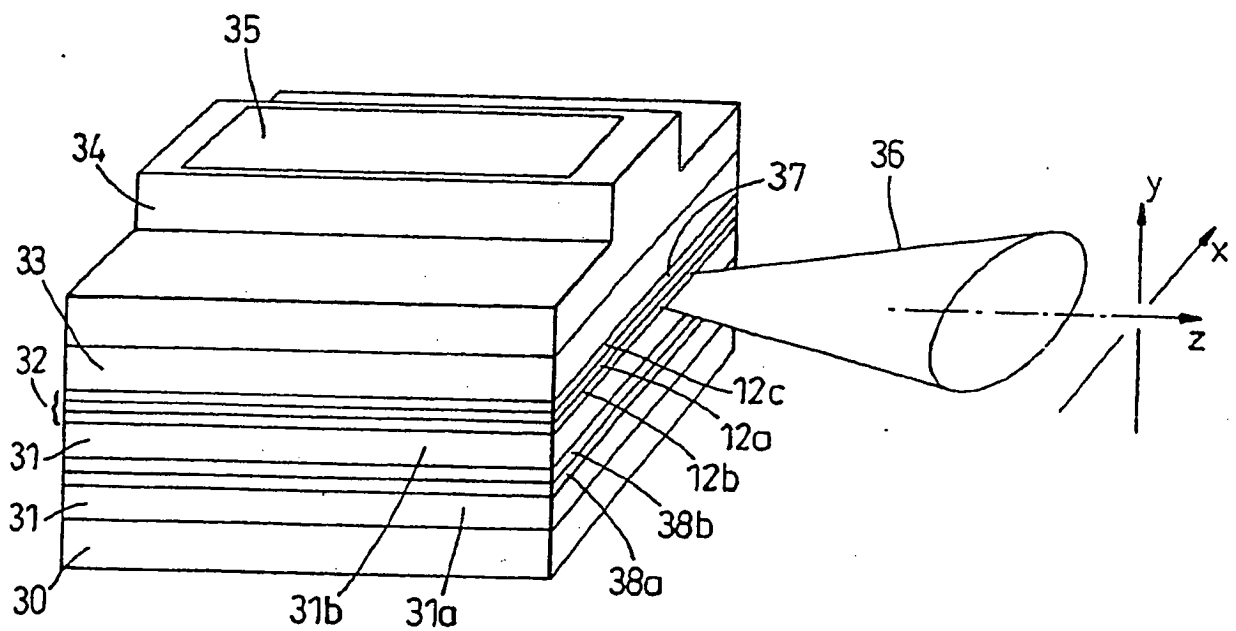
während des Schritts des Bildens der ersten Mantelschicht, Bilden einer Strahlführungsschicht darin durch allmähliches Ändern der Abscheidungsbedingungen, um so den Brechungsindex des Halbleitermaterials als Funktion der Tiefe in der Strahlführungsschicht zu variieren, wobei der Brechungsindex sich allmählich von einem ersten Niveau zu einem zweiten Niveau ändert, und einer zweiten Teilschicht, in der der Brechungsindex sich allmählich vom zweiten Niveau zu einem dritten Niveau ändert, wobei die erste und zweite Teilschicht aneinander grenzen, dadurch gekennzeichnet, dass das dritte Niveau im Wesentlichen gleich dem ersten Niveau ist.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

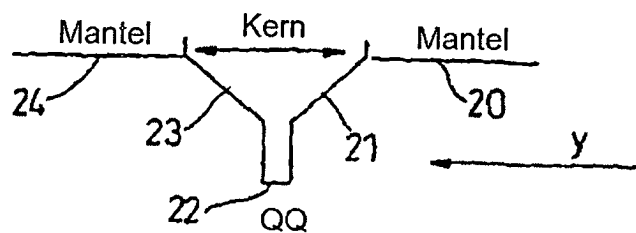
Anhängende Zeichnungen



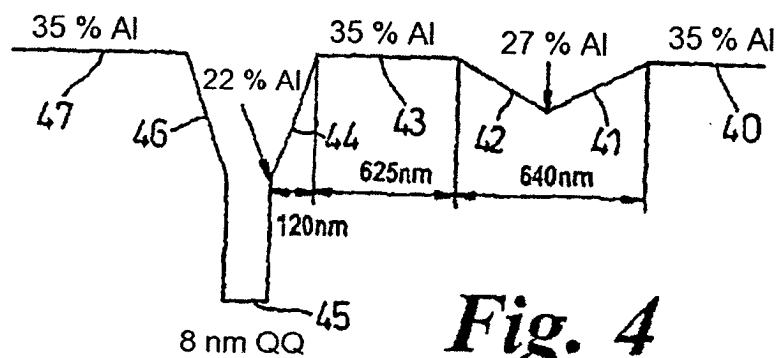
**Fig. 1**



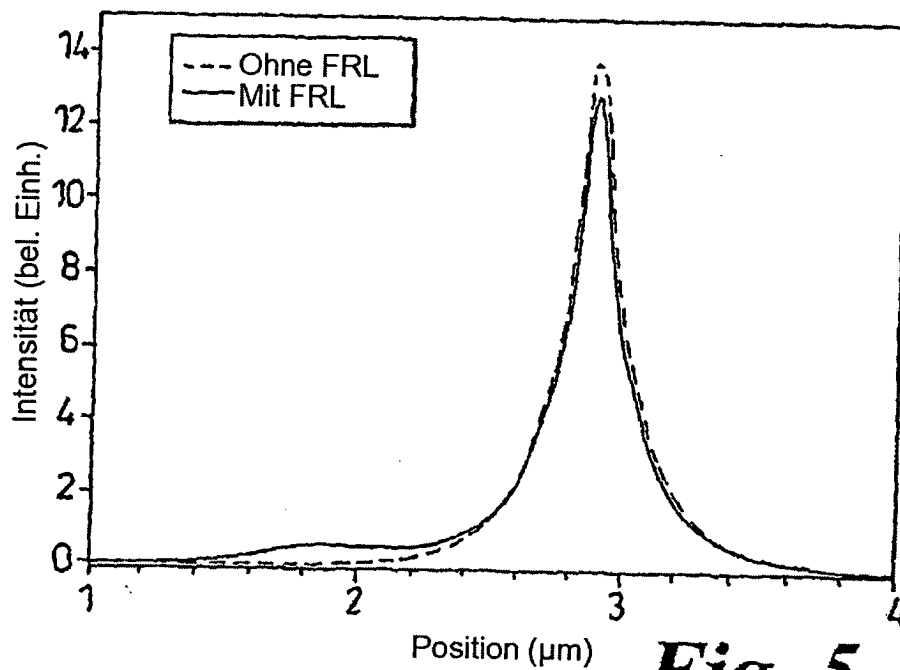
**Fig. 3**



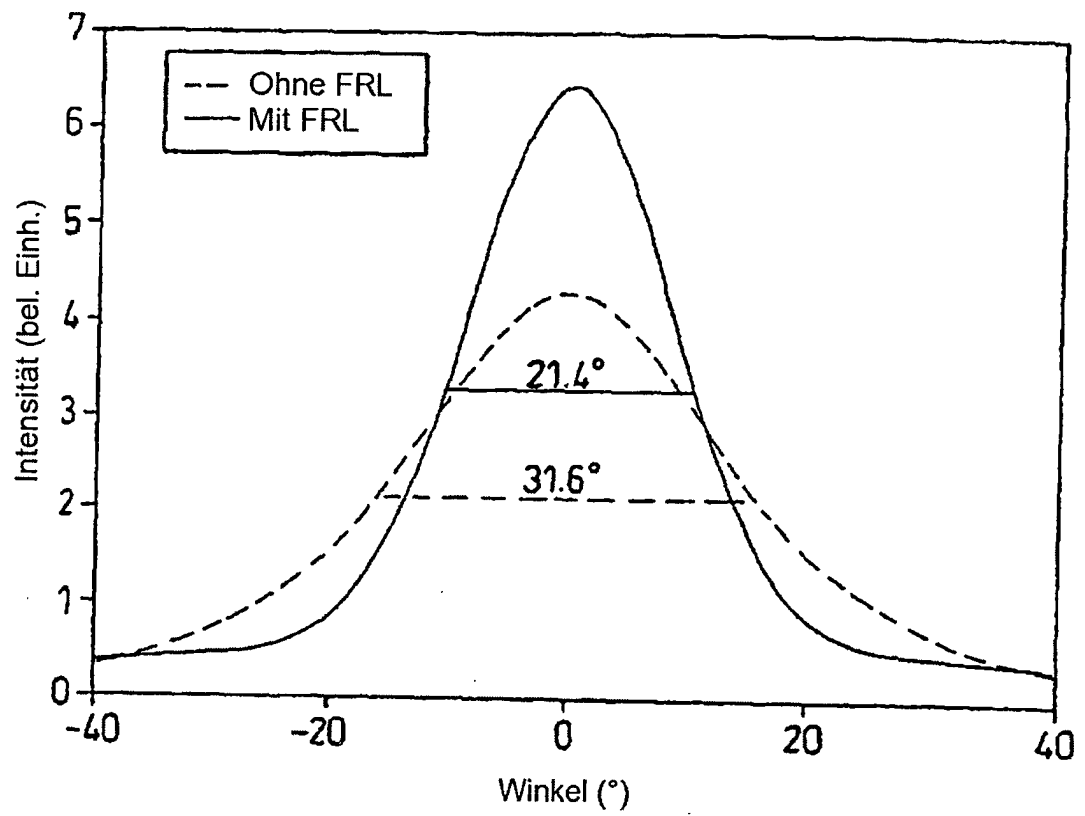
**Fig. 2**



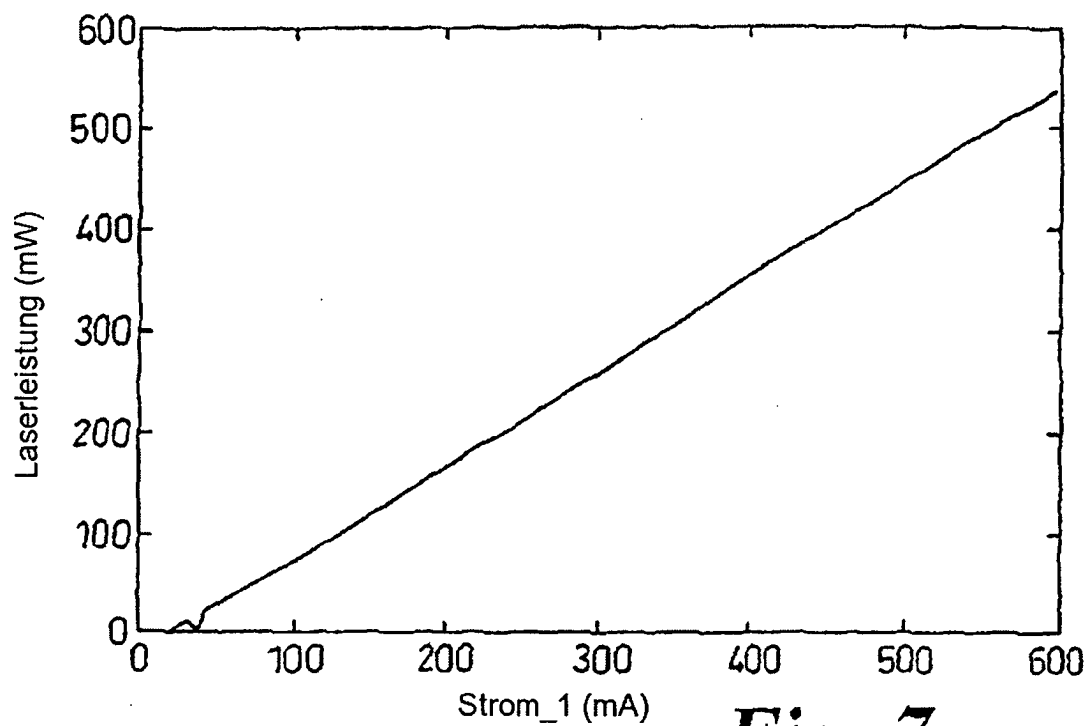
**Fig. 4**



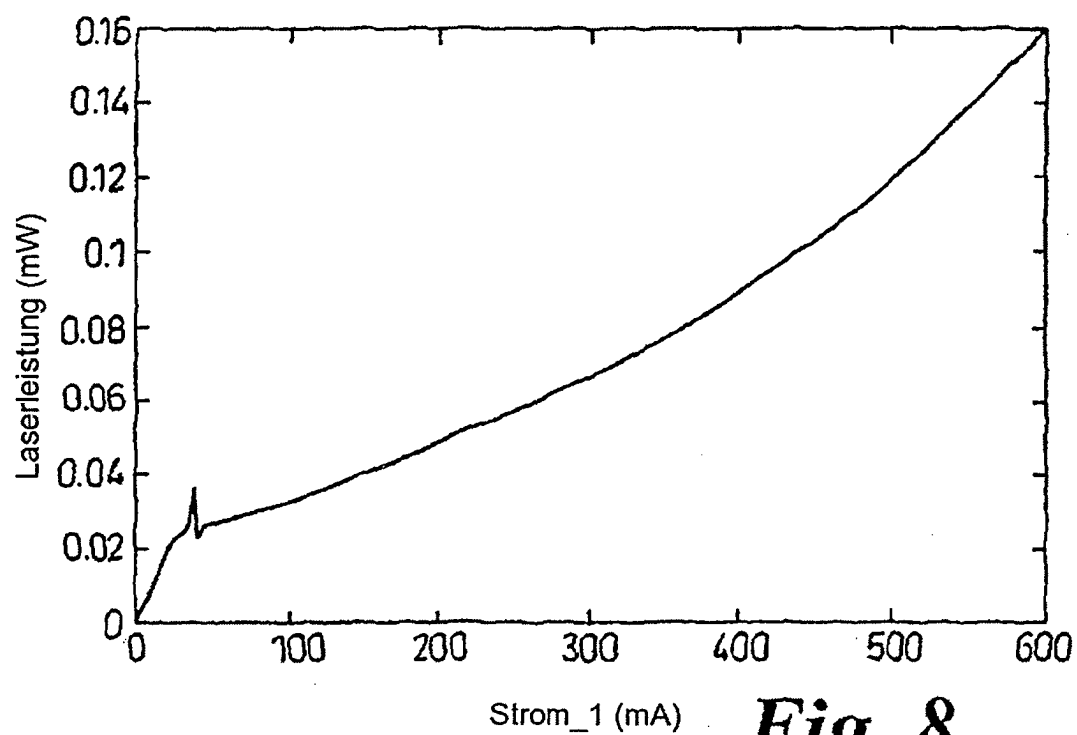
**Fig. 5**



***Fig. 6***

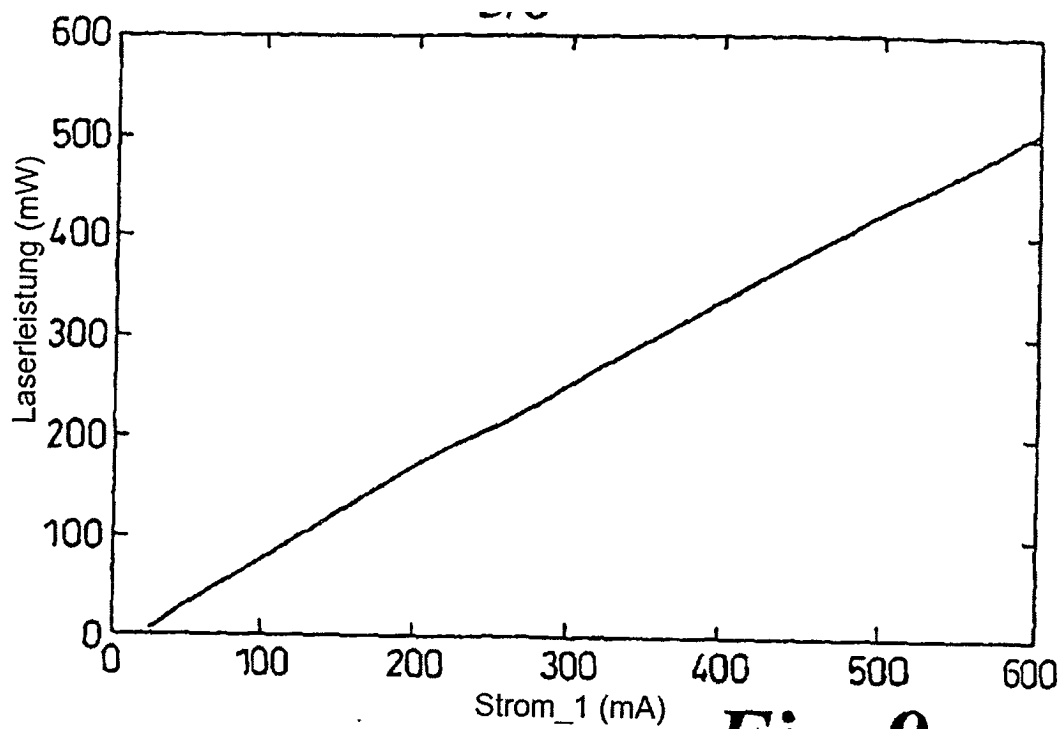


***Fig. 7***

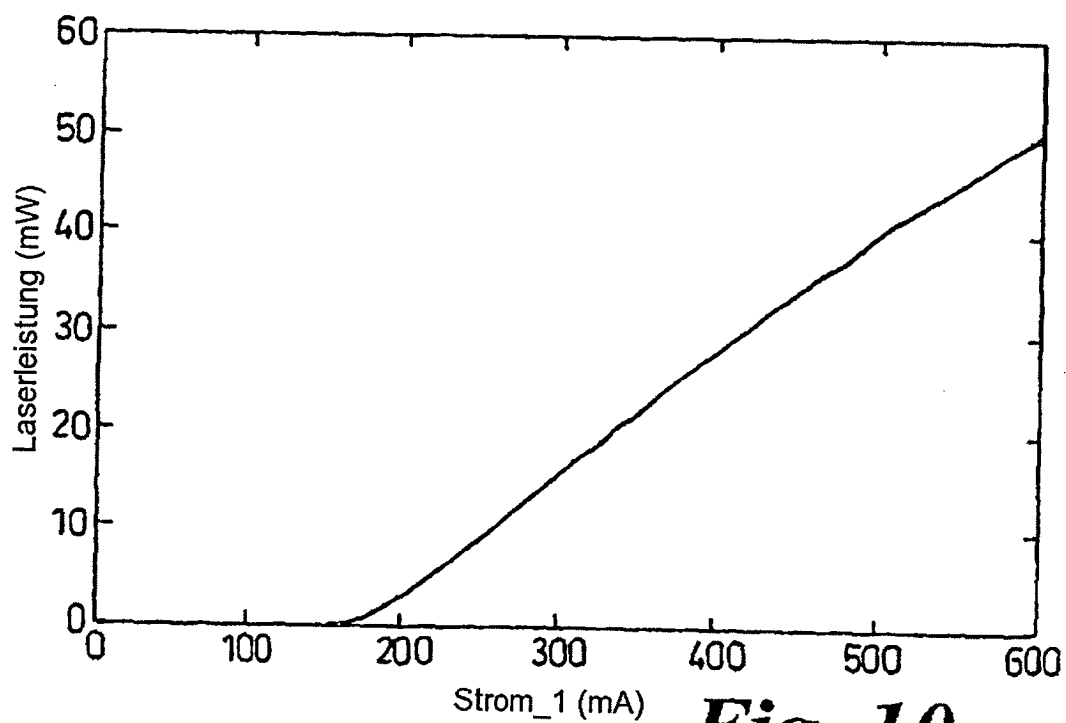


***Fig. 8***

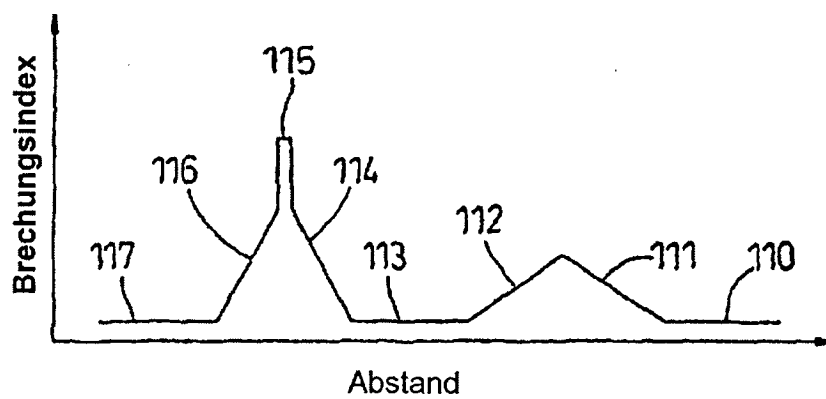




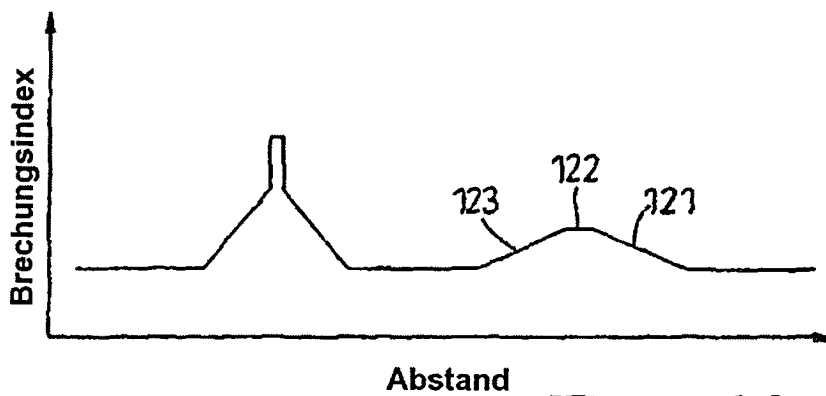
***Fig. 9***



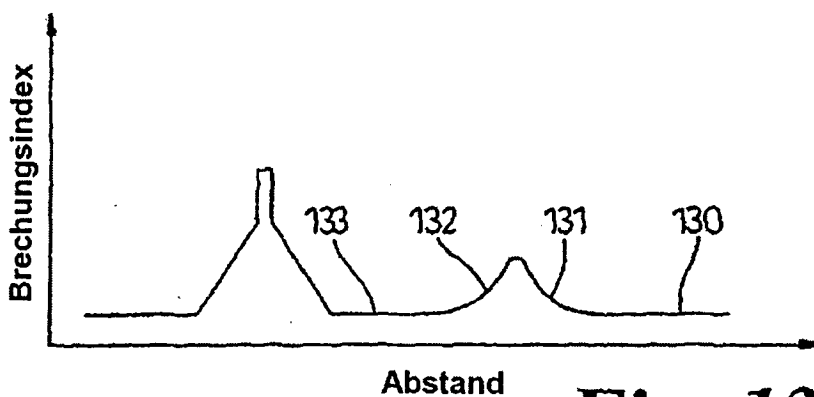
***Fig. 10***



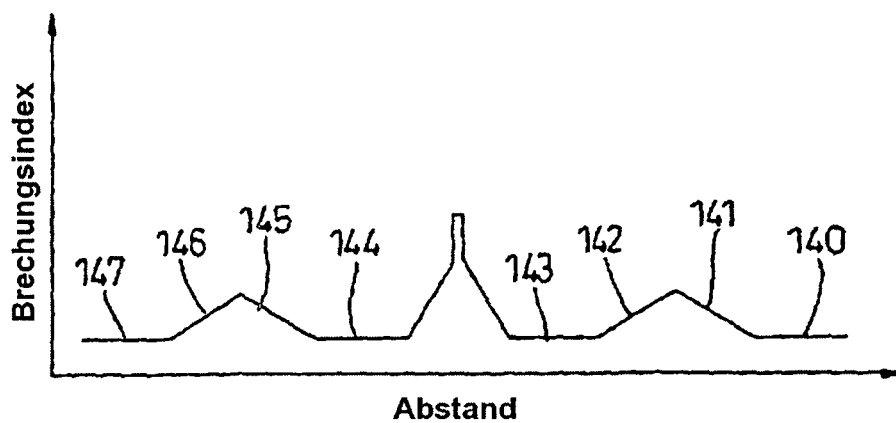
**Fig. 11**



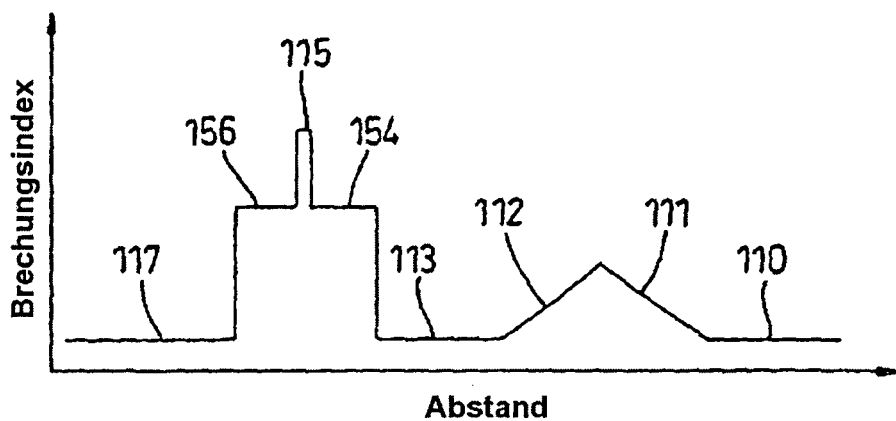
**Fig. 12**



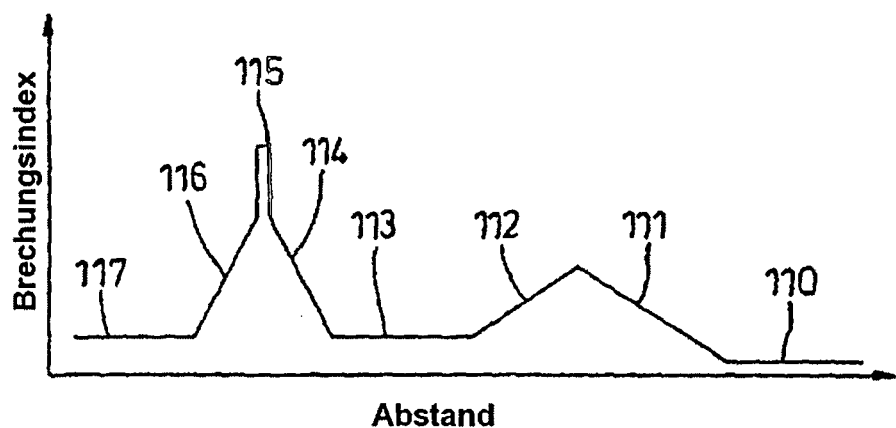
**Fig. 13**



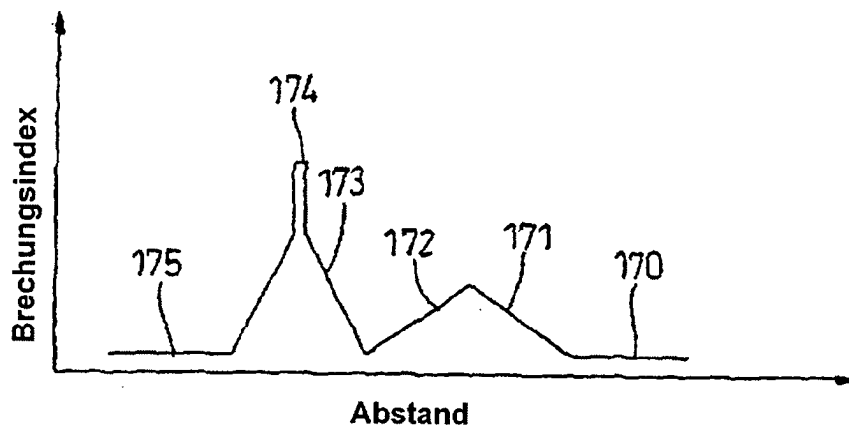
**Fig. 14**



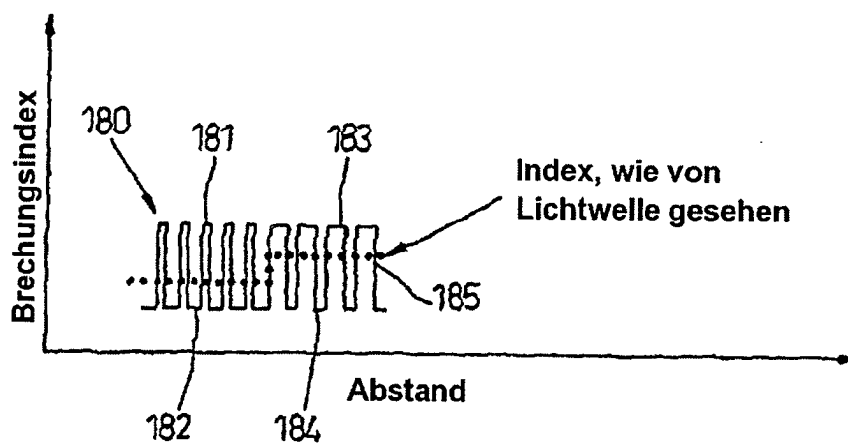
**Fig. 15**



**Fig. 16**



*Fig. 17*



*Fig. 18*