



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 041 728 B4 2010.04.08**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 041 728.3**
 (22) Anmeldetag: **01.09.2006**
 (43) Offenlegungstag: **13.03.2008**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **08.04.2010**

(51) Int Cl.⁸: **H01S 5/20 (2006.01)**
H01S 4/00 (2006.01)
H01S 5/065 (2006.01)
H01S 5/026 (2006.01)
H01S 5/30 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

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

(74) Vertreter:
Anwaltskanzlei Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider, 10179 Berlin

(72) Erfinder:
Tränkle, Günther, Prof. Dr., 12557 Berlin, DE;
Erbert, Götz, Dr., 12557 Berlin, DE; Klehr, Andreas, Dr., 13156 Berlin, DE; Hofmann, Martin, Prof. Dr., 44797 Bochum, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

US 2005/02 42 287 A1
EP 10 87 478 A1
WO 2006/0 82 408 A2
WO 2006/0 11 668 A1

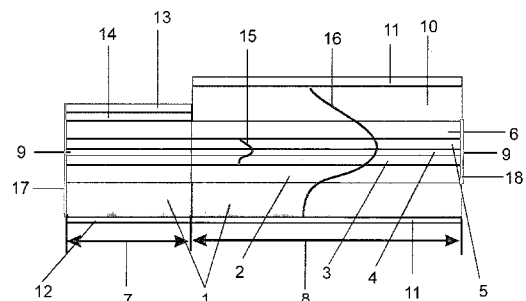
Hoffmann, S., u.a.: Four-wave mixing and direct terahertz emission with two-color semiconductor lasers. In: Appl. Phys. Lett., Vol. 84, No. 18, 2004, S. 3585-3587

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung von kohärenter Terahertz-Strahlung**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur Erzeugung von elektromagnetischer Strahlung (16) im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz durch Differenzfrequenzerzeugung von zwei longitudinalen Lasermoden aufweisend:

ein Substrat (1), eine auf dem Substrat (1) angeordnete, erste Mantelschicht (2), eine auf der ersten Mantelschicht (2) angeordnete, erste Wellenleiterschicht (3), eine auf der ersten Wellenleiterschicht (3) angeordnete Schicht (4) eines aktiven Mediums, eine auf der Schicht (4) des aktiven Mediums angeordnete, zweite Wellenleiterschicht (5), eine auf der zweiten Wellenleiterschicht (5) angeordnete, zweite Mantelschicht (6), sowie einen ersten Kontakt (12) und einen zweiten Kontakt (13) zur Injektion von Ladungsträgern,

dadurch gekennzeichnet, dass die aktive Schicht (4) zwischen einer Frontfacette (17) und einer Rückfacette (18) angeordnet ist und die Frontfacette (17) und die Rückfacette (18) direkt kontaktiert, wobei sich der erste Kontakt (12) und der zweite Kontakt (13) über einen ersten Teilbereich (7) entlang der Längsachse (9) der Wellenleiterschichten (3, 5) zwischen Frontfacette (17) und...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung von elektromagnetischer Strahlung im Infrarotbereich mit den im Anspruch 1 genannten Merkmalen, insbesondere betrifft die Erfindung eine Strahlungsquelle für einen Frequenzbereich zwischen 0,1 THz und etwa 10 THz (Terahertz) basierend auf einer Halbleiterlaserstruktur.

[0002] Es ist grundsätzlich bekannt, dass kohärente Strahlung bei bestimmten Frequenzen im fernen Infrarotbereich zum Beispiel durch Moleküllaser, die mit CO₂-Lasern gepumpt werden, erzeugt werden kann. Im Wellenlängenbereich von 3 mm bis 30 µm (von 100 GHz bis 10 THz) liegen viele der für die Spektroskopie von Molekülen und Festkörpern interessierenden Frequenzen und Wellenlängen. Der Einsatz einer auf einem Halbleiterchip eines Wafers realisierten Strahlungsquelle für diesen Bereich der THz-Strahlung mit ausreichender Ausgangsleistung im Bereich zwischen 1 µW und 1 W ist von hoher technischer Bedeutung für spektroskopische Anwendungen in allen Fragen des Umweltschutzes, der Analytik und Materialcharakterisierung in Medizin und Biologie sowie der Chemie und Physik.

[0003] Weitere Anwendungsgebiete vorgenannter Strahlungsquellen sind die biomedizinische Bildgebung, die Metrologie sowie die Kommunikationstechnik und die Sicherheitstechnik.

[0004] Zur Generierung breitbandiger THz-Strahlung ist es beispielsweise aus P. R. Smith, D. H. Auston, and M. C. Nuss, *IEEE J. Quantum Electron.* 24, 255 (1998); A. Leitenstorfer, S. Hunsche, J. Shah, M. C. Nuss, and W. H. Knox, *Phys. Rev. B* 61, 16642 (2000) und S. Hunsche, M. Koch I. Brener, and M. C. Nuss, *Optics Commun.* 150, 22 (1998) bekannt, Kurzpuls-Titan-Saphir Laser in Verbindung mit optischer Gleichrichtung in nichtlinearen Kristallen, photoleitenden Antennen oder PIN-Dioden zu verwenden. Aufgrund ihrer enormen Komplexität werden diese Verfahren zurzeit nur in Forschungslaboratorien genutzt; eine Massenanwendung kommt daher nicht in Betracht.

[0005] Weiterhin ist es aus R. Köhler, A. Tredicucci, F. Beltram, H. E. Beere, E. H. Linfield, A. G. Davies, and D. A. Ritchie, *Opt. Lett.* 28, 810 (2003) und C. Sirtori, C. Gmachl, F. Capasso, J. Faist, D. L. Sivco, A. L. Hutchinson, and A. Y. Cho, *Opt. Lett.* 23, 366 (1998) bekannt, Quanten-Kaskadenlaser zu verwenden, bei denen eine spezielle Wellenleiter-Geometrie, z. B. unter Einbeziehung von Oberflächen-Plasmonen benutzt wird. Darüber hinaus ist zur Erzeugung von THz-Strahlung die Verwendung von Germanium Lasern aus E. Bründermann, D. R. Chamberlin, and E. E. Haller, *Appl. Phys. Lett.* 76, 2991 (2000) bekannt. Diese Applikationen sind zwar kom-

pakter als die breitbandigen THz-Strahlungsquellen mit KurzpulsLasern, jedoch ist zur Generation entsprechender THz-Leistungen (im mW-Bereich) eine kryogene Kühlung erforderlich.

[0006] Weiterhin ist die Erzeugung von THz-Strahlung mittels Differenzfrequenzerzeugung mit zwei kontinuierlichen Laserquellen mit passendem Frequenzabstand mittels Photomischern aus K. J. Siebert, H. Quast, R. Leonhardt, T. Löffler, M. Thomson, T. Bauer, H. Roskos, and S. Czasch, *Appl. Phys. Lett.* 80, 3003 (2002) und A. Nahata, J. T. Yardley, and T. F. Heinz, *Appl. Phys. Lett.* 81, 963 (2002); S. Vergheze, K. A. McIntosh, S. Calawa, W. F. Dinatale, E. K. Duerr, and K. A. Molvar, *Appl. Phys. Lett.* 73, 3824 (1998) bekannt. Als Ausgangs-Lichtquellen hierfür können Faserlaser, kontinuierliche Festkörperlaser oder auch Diodenlaser eingesetzt werden. Nachteilhafterweise ist der Aufwand für solche Anordnungen relativ hoch aufgrund des Erfordernisses der Stabilisierung der beiden Laser zueinander.

[0007] Weiterhin ist die Erzeugung von THz-Strahlung mittels Differenzfrequenzerzeugung bei Zweifarben-Diodenlasern aus M. Tani, P. Gu, M. Hyodo, K. Sakai, T. Hidaka, *Optical and Quantum Electron.* 32, 503 (2000) und C.-L. Wang and C.-L. Pan, *Opt. Lett.* 20, 1292 (1995); P. Gu, F. Chang, M. Tani, K. Sakai, and C.-L. Pan, *Jap. J. Appl. Phys.* 38, 11246 (1999) bekannt. Diese Systeme verwenden Resonatoren, die eine Rückkopplung auf zwei Wellenlängen liefern. Diese Resonatoren können entweder durch zwei monolithisch integrierte Bragg-Gitter oder auch durch spezielle externe Resonatoren realisiert werden. Die Konzepte zur THz-Erzeugung über Photomischung mit zwei separaten Lasern oder mit Zweifarbenlasern liefern jedoch im Vergleich zu Quantenkaskadenlasern und zum p-Germanium-Laser deutlich niedrigere Ausgangsleistungen und sind – abgesehen von der nicht erforderlichen kryogenen Kühlung – prinzipiell komplexer aufgebaut.

[0008] Aus A. A. Belyanin et al., *Nanotechnology* 12, 450 (2001) ist bekannt, dass parametrische Verstärkung von THz-Strahlung in Halbleiterstrukturen möglich ist, die elektronische Übergänge (z. B. Inter-subbandübergänge in Quantenfilmen) in Resonanz mit der THz-Strahlung aufweisen.

[0009] Weiterhin ist aus S. Hoffmann, M. Hofmann, E. Bründermann, M. Havenith, M. Matus, J. V. Moloney, A. S. Moskalenko, M. Kira, S. W. Koch, S. Saito and K. Sakai, *Appl. Phys. Lett.* 84, 3585 (2004) bekannt, dass die Erzeugung von THz-Strahlung bei Zweifarben-Diodenlasern auch mittels Differenzfrequenzerzeugung in der Laserdiode selbst erfolgen kann, allerdings aufgrund der starken Absorption des dotierten Substrats herkömmlicher Laserdioden nur mit ganz geringen Leistungen im Bereich unter einem nW.

[0010] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Strahlungsquelle für den THz-Bereich anzugeben, die ausreichende hohe Leistungen trotz eines kompakten und preiswert herzustellenden Aufbaus liefert. Weiterhin soll die erfindungsgemäße, kohärente Strahlungsquelle keine Kühlung benötigen.

[0011] Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.

[0012] Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist ein Substrat, eine auf dem Substrat angeordnete, erste Mantelschicht, eine auf der ersten Mantelschicht angeordnete, erste Wellenleiterschicht, eine auf der ersten Wellenleiterschicht angeordnete Schicht eines aktiven Mediums, eine auf der Schicht des aktiven Mediums angeordnete, zweite Wellenleiterschicht, eine auf der zweiten Wellenleiterschicht angeordnete, zweite Mantelschicht, sowie einen ersten Kontakt und einen zweiten Kontakt zur Injektion von Ladungsträgern auf, wobei die aktive Schicht zwischen einer Frontfacette und einer Rückfacette angeordnet ist und die Frontfacette und die Rückfacette direkt kontaktiert, wobei sich der erste Kontakt und der zweite Kontakt über einen ersten Teilbereich entlang der Längsachse der Wellenleiterschichten zwischen Frontfacette und Rückfacette erstrecken, und wobei das Substrat im ersten Teilbereich aus einem ersten, semiisolierenden Substratmaterial mit einer Dämpfung geringer als 90% für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz und in einem zweiten, zum ersten Teilbereich komplementären Teilbereich aus einem zweiten Substratmaterial mit einer Dämpfung geringer als 40% entlang der Längsachse der Wellenleiterschichten für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz besteht, wobei sich der erste Teilbereich und der zweite Teilbereich über den gesamten Bereich zwischen Frontfacette und Rückfacette erstrecken, und wobei auf der zweiten Mantelschicht lediglich im zweiten Teilbereich des Substrats eine Zusatzschicht aus einem dritten Material mit einer Dämpfung geringer als 40% für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz angeordnet ist, und sowohl die der zweiten Mantelschicht abgewandte Seite der Zusatzschicht als auch die der ersten Mantelschicht abgewandte Seite des Substrats eine reflektierende Schicht aufweist.

[0013] Durch die Ausbildung einer Struktur, die sowohl eine Wellenleiterschicht für eine optische Welle als auch eine Wellenleiterschicht für eine elektromagnetische Welle im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz aufweist, kann eine Strahlungsquelle für Terahertz-Strahlung, die auf dem Prinzip der Differenzfrequenzerzeugung basiert, besonders kompakt ausgebildet werden.

[0014] Weiterhin ist es vorgesehen, dass das Substrat (ebenfalls mit einer geringen Dämpfung für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz) in einem zweiten Bereich als Wellenleiter für die Terahertz-Strahlung fungiert, wobei durch Anordnung eines dritten Materials (ebenfalls mit einer geringen Dämpfung für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz) auf der vom Substrat abgewandten Seite der Wellenleiterschichten für die optische Welle und entsprechender, reflektierender Schichten ein Verstärker bzw. Resonator für die Terahertz-Strahlung ausgebildet wird.

[0015] Erfindungsgemäß wird die Terahertz-Strahlung durch Differenzfrequenzerzeugung von zwei longitudinalen Moden im ersten Bereich generiert und im zweiten Bereich weiter geführt und verstärkt und schließlich ausgekoppelt. Die zwei longitudinalen Moden können zur Differenzfrequenzerzeugung sowohl intern in der Laserstruktur (beispielsweise durch frequenzselektive Elemente wie Gitter) als auch durch externe Rückkopplung angeregt und verstärkt werden. Vorzugsweise weist die Vorrichtung zwei (interne oder externe) frequenzselektive Elemente (vorzugsweise Gitter) auf, die zur Anregung von zwei unterschiedlichen Moden mit einem Wellenlängenabstand von 0,00001 nm bis 100 nm (bevorzugt von 0,5 nm–30 nm, besonders bevorzugt von 1 nm–10 nm) geeignet sind.

[0016] Um eine effiziente parametrische Verstärkung der erzeugten elektromagnetischen Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz zu erzielen, kann die aktive Schicht vorzugsweise aus einem Material (z. B. Halbleiter-Quantenfilme, -Quantendrähte oder -Quantenpunkte) bestehen, das sich dadurch auszeichnet, dass es in ihm elektronische Übergänge zwischen quantisierten Niveaus gibt, die mit der zu erzeugenden Differenzfrequenz resonant sind.

[0017] Die Wellenleitergeometrie im zweiten Bereich wird so ausgelegt, dass sie eine Phasenanpassung zwischen den longitudinalen Moden und der elektromagnetischen Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz gewährleistet, d. h., dass erstere und letztere mit der gleichen Ausbreitungsgeschwindigkeit durch den zweiten Bereich propagieren. Dazu wird die optische Dicke des Wellenleiters durch Anpassung von Geometrie/Brechungsindex eingestellt.

[0018] Vorzugsweise weist das erste Substratmaterial Galliumarsenid, Indiumphosphid und/oder Galliumnitrid auf. Vorzugsweise ist die Dämpfung des ersten Substratmaterials für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz geringer als 70%. Vorzugsweise ist die Dämpfung des zweiten Substratmaterials für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz geringer als 10%.

[0019] Vorzugsweise ist das dritte Material (das auf

der dem Substrat abgewandten Seite des Wellenleiters angeordnet ist) lediglich im zweiten Bereich, jedoch nicht im ersten Bereich vorhanden. Ebenso ist vorzugsweise die reflektierende Schicht (die auf der zweiten Mantelschicht abgewandten Seite der Schicht aus dem dritten Material und auf der ersten Mantelschicht abgewandten Seite des zweiten Substratmaterials angeordnet ist) lediglich im zweiten Bereich, jedoch nicht im ersten Bereich vorhanden.

[0020] Vorzugsweise ist/sind das Substrat, mindestens eine Mantelschicht, mindestens eine Wellenleiterschicht und/oder die Schicht des aktiven Mediums (aktives Medium) planar ausgebildet. Vorzugsweise ist/sind das Substrat, mindestens eine Mantelschicht, mindestens eine Wellenleiterschicht und/oder die Schicht des aktiven Mediums (aktives Medium) streifenförmig ausgebildet. Vorzugsweise wird/werden das Substrat, mindestens eine Mantelschicht, mindestens eine Wellenleiterschicht und/oder die Schicht des aktiven Mediums (aktives Medium) kontinuierlich über den ersten Bereich und über den zweiten Bereich aufgebracht.

[0021] Vorzugsweise weist die reflektierende Schicht eine Reflektivität von größer 60%, besonders bevorzugt größer 80% für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz auf. Vorzugsweise ist die reflektierende Schicht aus Gold oder aus Aluminium ausgebildet.

[0022] Vorzugsweise ist der erste Kontakt auf der Unterseite des Substrats im ersten Bereich und der zweite Kontakt auf der zweiten Mantelschicht im ersten Bereich angeordnet. Vorzugsweise ist zwischen zweiter Mantelschicht und zweitem Kontakt eine Kontaktschicht angeordnet.

[0023] Vorzugsweise ist die erste Mantelschicht eine n-Mantelschicht, die erste Wellenleiterschicht eine n-Wellenleiterschicht, die zweite Mantelschicht eine p-Mantelschicht und die zweite Wellenleiterschicht eine p-Wellenleiterschicht. Vorzugsweise ist der erste Kontakt ein n-Kontakt, der zweite Kontakt ein p-Kontakt und die Kontaktschicht eine p-Kontaktschicht. Alternativ ist es vorgesehen, dass die erste Mantelschicht eine p-Mantelschicht, die erste Wellenleiterschicht eine p-Wellenleiterschicht, die zweite Mantelschicht eine n-Mantelschicht und die zweite Wellenleiterschicht eine n-Wellenleiterschicht ist, wobei der erste Kontakt ein p-Kontakt, der zweite Kontakt ein n-Kontakt und die Kontaktschicht eine n-Kontaktschicht ist.

[0024] Vorzugsweise weist der erste Bereich des Substrats eine Ausdehnung entlang der Längsachse zwischen 200 μm und 1000 μm und der zweite Bereich des Substrats eine Ausdehnung entlang der Längsachse zwischen 1000 μm und 3000 μm auf.

[0025] Vorzugsweise entspricht die Schichtdicke des ersten Substratmaterials der Schichtdicke des zweiten Substratmaterials. Vorzugsweise entspricht die Schichtdicke des zweiten Substratmaterials der Schichtdicke des dritten Materials. Vorzugsweise beträgt die Dicke des ersten Substratmaterials, des zweiten Substratmaterials und des dritten Materials zwischen 80 und 160 μm (besonders bevorzugt 120 μm).

[0026] Vorzugsweise weisen das vom zweiten Bereich abgewandte Ende des ersten Bereiches des Substrats eine senkrecht zur Längsachse angeordnete Frontfacette und das vom ersten Bereich abgewandte Ende des zweiten Bereiches des Substrats eine senkrecht zur Längsachse angeordnete Rückfacette auf. Vorzugsweise weisen die Frontfacette eine Reflektivität kleiner als 1%, besonders bevorzugt kleiner als 0,1% und die Rückfacette eine Reflektivität größer als 95%, besonders bevorzugt größer als 99% für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz auf.

[0027] Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. Es zeigen:

[0028] **Fig. 1:** Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzeugung von Laserstrahlung in schematischer, geschnittener Darstellung;

[0029] **Fig. 2:** weitere erfindungsgemäße Resonatorkonfigurationen (intra/extra-cavity + Verstärker); und

[0030] **Fig. 3:** das Transmissionsverhalten eines herkömmlichen n-Substrats im Vergleich zu einem Si-Substrat für THz-Strahlung.

[0031] **Fig. 1** zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzeugung von THz-Strahlung in schematischer, geschnittener Darstellung.

[0032] Die Vorrichtung weist ein Substrat **1** auf, welches im ersten axialen Abschnitt **7** aus einem semisolierenden Material, beispielsweise Galliumarsenid, Indiumphosphid oder Galliumnitrid, mit einer geringen Dämpfung für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz und im zweiten axialen Abschnitt **8** ebenfalls aus einem (nicht notwendigerweise leitenden) Material mit einer geringen Dämpfung für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz besteht. In den bekannten Halbleiterstrukturen nach dem Stand der Technik, in denen THz-Strahlung erzeugt wird, tritt starke Absorption im Substrat auf und der räumliche Bereich der Verstärkung der optischen Welle und das Maximum der THz-Welle stimmen nicht überein (geringer Gewinn für die THz-Welle).

[0033] Weiterhin weist die erfindungsgemäße Vorrichtung die Wellenleiterschichten **3**, **5**, die Mantelschichten **2**, **6** sowie die aktive Schicht **4** auf, wobei im ersten axialen Abschnitt **7** mittels der Kontakte **12**, **13** Ladungsträger injizierbar sind und damit der erste Bereich eine Laserdiode ausbildet. Mindestens zwei separate longitudinale Lasermoden werden im ersten axialen Abschnitt **7** (beispielsweise durch Gitter) angeregt und verstärkt, wobei Terahertz-Strahlung durch Differenzfrequenzerzeugung der mindestens zwei longitudinalen Moden generiert werden kann. Die Anregung der mindestens zwei separaten longitudinalen Lasermoden kann alternativ auch durch externe Resonatoren erfolgen.

[0034] So kann beispielsweise zur Erzeugung einer Strahlung von 1 THz eine optische Welle **15** bei 840 nm (darauf muss die aktive Schicht **4** ausgelegt sein) angeregt werden. Um eine Welle **16** mit 1,0 THz mittels Differenzfrequenzerzeugung zu erzeugen, muss der Abstand der longitudinalen Lasermoden 2.355 nm betragen. Im Ausführungsbeispiel handelt es sich hier um einen Laser mit internen Gittern, die 2 Moden erzeugen. Werden zur Anregung der longitudinalen Lasermoden frequenzselektive Gitter 2. Ordnung verwendet, betragen die Gitterperioden 254 nm und 256 nm. Diese Werte können je nach Zielstellung (THz-Welle **16** zwischen 0,1 und 10 THz) und verwendeter aktiver Schicht **4** und verwendeter Anregung der longitudinalen Lasermoden (intra-cavity oder extra-cavity) entsprechend umgerechnet werden. Dabei kann aus der Anregung der aktiven Schicht **4** (optische Welle **15**) bei vorgegebener Frequenz für die THz-Welle der Abstand der longitudinalen Lasermoden berechnet werden. Aus dem Abstand der longitudinalen Lasermoden lassen sich dann die entsprechenden intra-cavity/extra-cavity-Parameter berechnen.

[0035] In der erfindungsgemäßen Struktur ist der Wellenleiter so gestaltet, dass neben der optischen Welle **15** auch eine THz-Welle **16** geführt und verstärkt wird. Das Gewinnmedium **4** ist dabei in der günstigsten Ausführungsform so beschaffen, dass es elektronische Übergänge beinhaltet, die in Resonanz mit der THz-Welle **16** sind und diese parametrisch verstärken. Die verlustarme Wellenführung der THz-Welle wird durch das Substrat **1** sowie die Schicht **10**, welche eine geringe Dämpfung für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz aufweisen, realisiert. Die reflektiven Schichten **11** verhindern ein Auskoppeln der THz-Welle **16** über den Wellenleiter **1**, **10**. Der Wellenleiter gewährleistet zudem die Phasen Anpassung zwischen der optischen Welle **15** und der THz-Welle **16**.

[0036] Im ersten axialen Abschnitt **7** stimmt das Maximum der THz-Welle **16** nicht mit dem Gewinn-Medium überein. Deshalb ist der zweite axiale Abschnitt **8** so gestaltet, dass eine Resonatorstruktur realisiert

wird, in der das Maximum der THz-Welle **16** mit dem Gain-Medium **4** übereinstimmt und der Resonator für die THz-Welle angepasst ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der optische Wellenleiter **3**, **5** bevorzugt (bzw. möglichst) zentral im THz-Wellenleiter **1**, **10** positioniert ist, um einen hohen THz-Confinement-Faktor bzw. eine gute Kopplung zwischen optischer und THz-Mode zu realisieren.

[0037] Zur Herstellung der Struktur werden zunächst alle funktionellen Schichten (**1–6** und **12–14**) über die Länge des ersten Abschnitts **7** und des zweiten Abschnitts **8** kontinuierlich ausgebildet, und nachfolgend werden das Substrat **1** und die Kontaktschichten **12**, **13** und **14** im zweiten axialen Abschnitt **8** weggeätzt und durch THz Wellenführungsschichten (zweites Substratmaterial **1** und Schicht **10**) ersetzt. Die THz-Resonatoren **11** werden dann auf die THz Wellenführungsschichten **1**, **10** aufgebracht. Vorteil dieser Struktur ist, dass das Maximum der THz-Welle **16** mit dem Gain-Medium **4** übereinstimmt.

[0038] Die Struktur weist weiterhin eine Frontfacette **17** mit einer geringen Reflektivität für die THz-Welle **16** und eine Rückfacette **18** mit einer hohen Reflektivität für die THz-Welle **16** auf. Hierdurch wird die THz-Welle **16** über die Frontfacette **17** ausgekoppelt.

[0039] Fig. 2 zeigt bevorzugte Resonatorkonfigurationen zur Erzeugung kohärenter Terahertz-Strahlung nach der vorliegenden Erfindung. Fig. 2a) zeigt dabei die Standardkonfiguration (korrespondiert mit Fig. 1), in der die zwei Moden der optischen Welle **15** (also zwei Wellen mit definiertem Wellenlängenabstand zwischen von 0,00001 nm bis 100 nm) im ersten Abschnitt **7** (der als Laser fungiert) erzeugt werden. Die THz-Welle **16** wird dabei durch Differenzfrequenzerzeugung der zwei Moden im ersten Abschnitt **7** erzeugt und im zweiten Abschnitt **8** (der als THz-Wellenleiter mit geringer Dämpfung fungiert) verstärkt.

[0040] Fig. 2b) zeigt einen erfindungsgemäßen THz-Wellenleiter (weist alle Merkmale des zweiten Abschnitts **8** der erfindungsgemäßen Vorrichtung auf – es fehlt also der erste axiale Bereich **7**), der mit einer Laserdiode (erster Abschnitt **7**) zur Erzeugung kohärenter Terahertz-Strahlung gekoppelt werden kann. Der erfindungsgemäße THz-Wellenleiter weist sowohl einen inneren Wellenleiter für eine optische Welle (300 nm–1500 nm) als auch einen äußeren Wellenleiter für eine THz-Welle auf.

[0041] Eine Modenselektion kann durch externe (Fig. 2c) oder interne frequenzselektive Elemente erfolgen. Anstatt zweier frequenzselektiver Elemente kann auch ein einzelnes frequenzselektives Element verwendet werden, das beide Moden anregt, beispielsweise ein Gitter mit zwei unterschiedlichen,

überlagerten Gitterkonstanten.

[0042] **Fig. 2d**) zeigt eine alternative, erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzeugung kohärenter Terahertz-Strahlung, bei der die zwei optischen Wellen mit definiertem Wellenlängenabstand zwischen 0,00001 nm bis 100 nm nicht durch frequenzselektive(s) Element(e), sondern durch zwei hintereinander geschaltete Laser realisiert werden, die Laserstrahlung mit einem definiertem Wellenlängenabstand zwischen 0,00001 nm bis 100 nm generieren.

[0043] **Fig. 2e**) zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzeugung kohärenter Terahertz-Strahlung, bei der zwischen dem ersten Bereich und dem zweiten Bereich ein Verstärker angeordnet ist.

[0044] In **Fig. 3** ist das Transmissionsverhalten von THz-Strahlung in einem n-dotierten GaAs-Substrat (wie es in Vorrichtungen nach dem Stand der Technik verwendet wird) und in einem semiisolierenden GaAs-Substrat dargestellt. Es zeigt sich, dass die Absorption im n-dotierten GaAs-Substrat viel stärker ist, weshalb die erfindungsgemäße Anordnung eines semiisolierenden GaAs-Substrats im ersten axialen Abschnitt **7** zu einer höheren Effizienz führt.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung von elektromagnetischer Strahlung (**16**) im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz durch Differenzfrequenzerzeugung von zwei longitudinalen Lasermode aufweisend:
ein Substrat (**1**), eine auf dem Substrat (**1**) angeordnete, erste Mantelschicht (**2**), eine auf der ersten Mantelschicht (**2**) angeordnete, erste Wellenleiterschicht (**3**), eine auf der ersten Wellenleiterschicht (**3**) angeordnete Schicht (**4**) eines aktiven Mediums, eine auf der Schicht (**4**) des aktiven Mediums angeordnete, zweite Wellenleiterschicht (**5**), eine auf der zweiten Wellenleiterschicht (**5**) angeordnete, zweite Mantelschicht (**6**), sowie einen ersten Kontakt (**12**) und einen zweiten Kontakt (**13**) zur Injektion von Ladungsträgern,
dadurch gekennzeichnet, dass die aktive Schicht (**4**) zwischen einer Frontfacette (**17**) und einer Rückfacette (**18**) angeordnet ist und die Frontfacette (**17**) und die Rückfacette (**18**) direkt kontaktiert, wobei sich der erste Kontakt (**12**) und der zweite Kontakt (**13**) über einen ersten Teilbereich (**7**) entlang der Längsachse (**9**) der Wellenleiterschichten (**3, 5**) zwischen Frontfacette (**17**) und Rückfacette (**18**) erstrecken, und wobei das Substrat (**1**) im ersten Teilbereich (**7**) aus einem ersten, semiisolierenden Substratmaterial mit einer Dämpfung geringer als 90% für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz und in einem zweiten, zum ersten Teilbereich (**7**) komplementären Teilbereich (**8**) aus einem zweiten Substratmaterial mit einer Dämpfung geringer als

40% entlang der Längsachse (**9**) der Wellenleiterschichten (**3, 5**) für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz besteht, wobei sich der erste Teilbereich (**7**) und der zweite Teilbereich (**8**) über den gesamten Bereich zwischen Frontfacette (**17**) und Rückfacette (**18**) erstrecken, und wobei auf der zweiten Mantelschicht (**6**) lediglich im zweiten Teilbereich (**8**) des Substrats (**1**) eine Zusatzschicht (**10**) aus einem dritten Material mit einer Dämpfung geringer als 40% für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz angeordnet ist, und sowohl die der zweiten Mantelschicht (**6**) abgewandte Seite der Zusatzschicht (**10**) als auch die der ersten Mantelschicht (**2**) abgewandte Seite des Substrats (**1**) eine reflektierende Schicht (**11**) aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtdicke des Substrats (**1**) im ersten Teilbereich (**7**) identisch mit der Schichtdicke des Substrats (**1**) im zweiten Teilbereich (**8**) ist.

3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtdicke des Substrats (**1**) im zweiten Teilbereich (**8**) identisch mit der Dicke der Zusatzschicht (**10**) ist.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichtdicke des Substrats (**1**) im ersten Teilbereich (**7**), die Schichtdicke des Substrats (**1**) im zweiten Teilbereich (**8**) und die Dicke der Zusatzschicht (**10**) zwischen 80 µm und 160 µm betragen.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Frontfacette (**17**) eine Reflektivität kleiner als 1% und/oder die Rückfacette (**18**) eine Reflektivität größer als 95% für elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz aufweisen.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Wellenleiter (**2, 3, 5, 6**) im zweiten Teilbereich (**8**) so gestaltet ist, dass elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,1 THz bis 10 THz (**16**) und optische Strahlung (**15**) dieselbe Ausbreitungsgeschwindigkeit entlang der Längsachse (**9**) der Wellenleiterschichten (**3, 5**) aufweisen.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung zwei frequenzselektive Elemente aufweist, die zur Anregung von zwei unterschiedlichen Moden mit einem Wellenlängenabstand von 0,00001 nm bis 100 nm geeignet sind.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

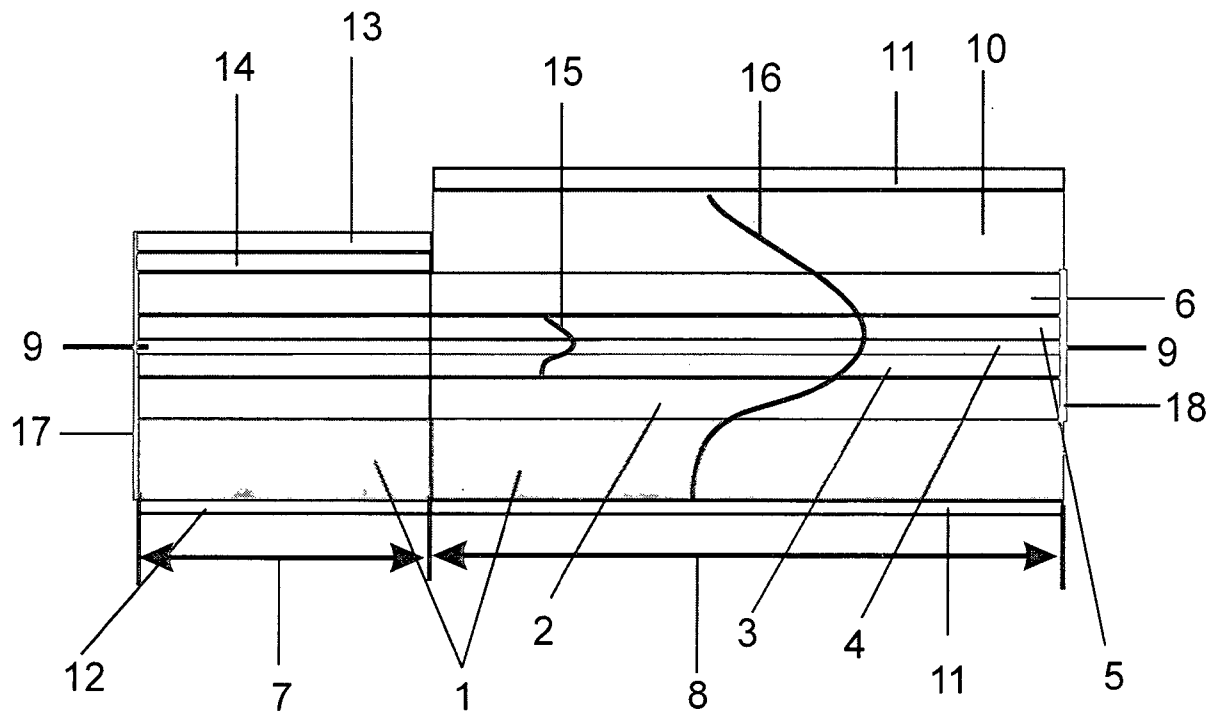


Fig. 1

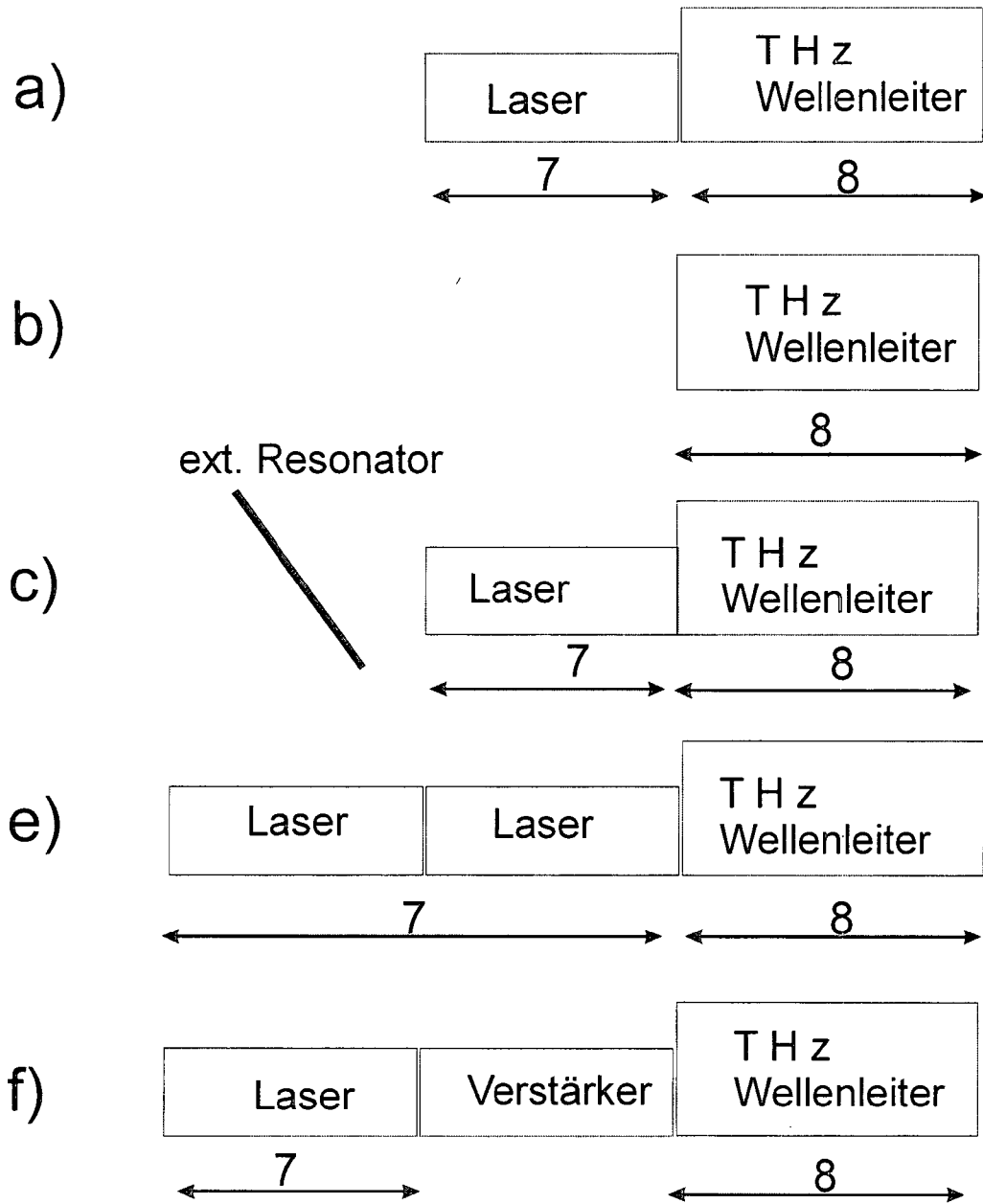


Fig. 2

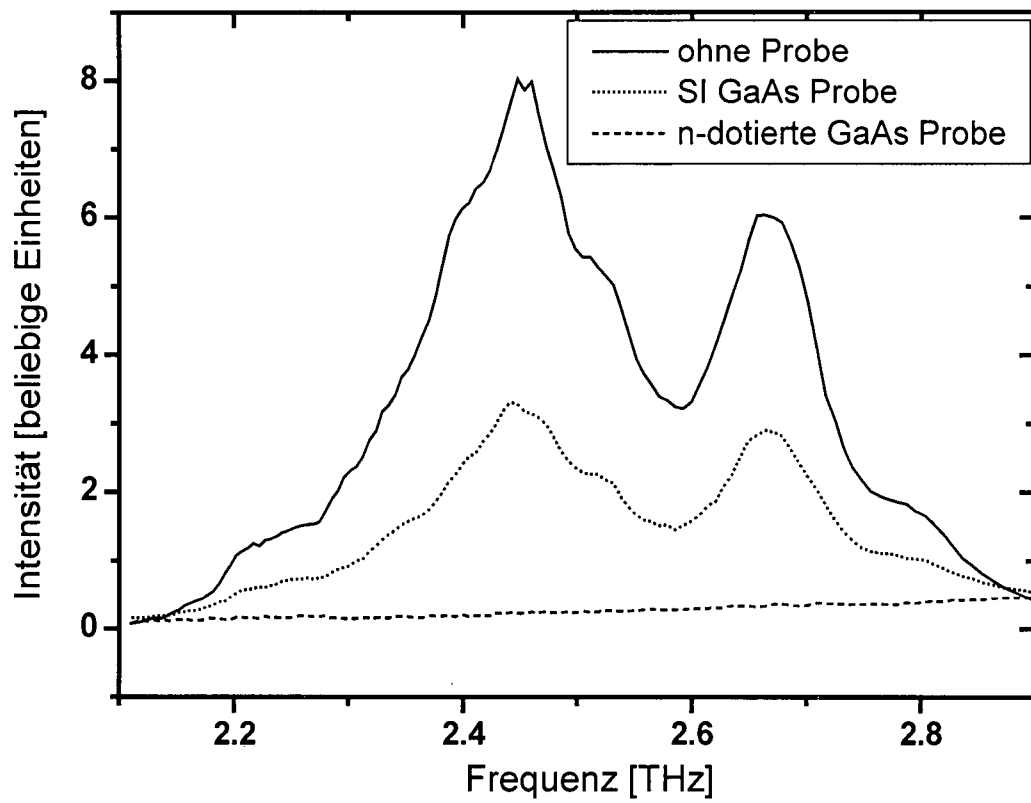


Fig. 3