

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特 許 公 報(B2)

(11)特許番号
特許第7905462号
(P7905462)

(45)発行日 令和8年8月14日(2026.8.14)

(24)登録日 令和8年8月5日(2026.8.5)

(51)Int. Cl.

H 0 1 S 5/30 (2006.01)

F I

H O I S 5/30

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21)出願番号	特願2024-566515(P2024-566515)	(73)特許権者	521338765
(86)(22)出願日	令和5年5月11日(2023.5.11)		フェルディナント・ブラウン・インスティ
(65)公表番号	特表2025-515785(P2025-515785A)		ツット ゲーゲーエムベーハー、 ライプ
(43)公表日	令和7年5月20日(2025.5.20)		ニッツ・インスティツット フューー、ヘー
(86)国際出願番号	PCT/EP2023/062685		ヒストフレクエンツテヒニク
(87)国際公開番号	W02023/218005		F E R D I N A N D - B R A U N - I N S
(87)国際公開日	令和5年11月16日(2023.11.16)		T I T U T G G M B H , L E I B N I
審査請求日	令和6年12月19日(2024.12.19)		Z - I N S T I T U T F U R H O C H
(31)優先権主張番号	102022111977.7		S T F R E Q U E N Z T E C H N I K
(32)優先日	令和4年5月12日(2022.5.12)		ドイツ 1 2 4 8 9 ベルリン グスタフ
(33)優先権主張国・地域又は機関	ドイツ(DE)		ーキルヒホフ・シュトラッセ 4
			G u s t a v - K i r c h h o f f - S t
			r a s s e 4 1 2 4 8 9 B e r l i
			n (D E)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 統合型 p-n トンネル接合を含む広域ダイオードレーザー

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーザーダイオードであって、
n ドープ半導体材料と p ドープ半導体材料との間に形成された活性層を含み、前記活性層は、長手方向軸に沿って、電磁放射を生成するための活性ゾーンを形成し、
少なくとも 1 つの n ドープ中間層が、その上の p 側金属コンタクトと前記 p ドープ半導体材料との間に配置され、前記活性ゾーンの上方の領域内の前記少なくとも 1 つの n ドープ中間層には、前記 p ドープ半導体材料に直接隣接する p-n トンネル接合が形成され、
前記 p-n トンネル接合が層として形成され、
前記レーザーダイオードのストライプ幅が、前記 p ドープ半導体材料に導入された n 電流シールドの開口部の横幅 W に対して規定される、レーザーダイオード。

10

【請求項 2】

レーザーダイオードであって、
n ドープ半導体材料と p ドープ半導体材料との間に形成された活性層を含み、前記活性層は、長手方向軸に沿って、電磁放射を生成するための活性ゾーンを形成し、
少なくとも 1 つの n ドープ中間層が、その上の p 側金属コンタクトと前記 p ドープ半導体材料との間に配置され、前記活性ゾーンの上方の領域内の前記少なくとも 1 つの n ドープ中間層には、前記 p ドープ半導体材料に直接隣接する p-n トンネル接合が形成され、
前記 p-n トンネル接合が層として形成され、
前記レーザーダイオードのストライプ幅が、2 つの隣接する深部注入領域間の領域の横幅

20

Wに対して規定される、レーザーダイオード。

【請求項3】

前記p-nトンネル接合は、前記pドープ半導体材料上に配置されたp⁺トンネル層と、その上に配置されたn⁺トンネル層とを含む、請求項1又は請求項2に記載のレーザーダイオード。

【請求項4】

前記p-nトンネル接合が、前記pドープ半導体材料のpドープサブコンタクト層上に配置される、請求項1又は請求項2に記載のレーザーダイオード。

【請求項5】

前記p-nトンネル接合が、前記pドープ半導体材料のpドープカバー層上に配置される、請求項1又は請求項2に記載のレーザーダイオード。 10

【請求項6】

前記p-nトンネル接合上にnドープカバー層が配置される、請求項1又は請求項2に記載のレーザーダイオード。

【請求項7】

前記半導体材料がGaAsベースである、請求項1又は請求項2に記載のレーザーダイオード。

【請求項8】

前記活性層と前記p-nトンネル接合との間の最小距離が1.3μm未満である、請求項1又は請求項2に記載のレーザーダイオード。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、統合型p-nトンネル接合を含む広域ダイオードレーザー（BAL）に関する。特に、本発明は、ビームの質を改善し、熱抵抗を低減するために、逆方向にバイアスされたp-nトンネル接合がダイオードレーザーの層システムに統合された高性能広域ダイオードレーザーに関する。

【背景技術】

【0002】

広域ダイオードレーザーは、特に高い効率と輝度を有することができる。これらのエミッターを使用して、>15Wの出力を確実に得ることができる。BALは近赤外線（NIR）の最も効率的な光源であるため、固体レーザーやファイバーレーザーのポンピング光源として一般的である。これらはまた、高変換効率の材料処理のために高放射密度を有するビームを提供するように構成されたファイバー結合レーザーシステムの重要な要素である。これらのシステムの出力を高め、コストを削減するためには、特に低速軸のビームの質を向上させることが重要である。これにより、より多くのエミッターが低開口数（NA）ファイバーに結合されることが可能になるからである。 30

【0003】

しかし、高光出力および関連する動作電流では、一般にビームの質がかなり低下し、特にファイバーの結合に悪影響を及ぼす。動作電流の増加時にビームの質が低下する主な原因は、低速軸における熱レンズ効果（キャリアまたはゲイン誘導によるガイド効果ではなく）であることが実証された（Bai, J. G. et al., Mitigation of Thermal Lensing Effect as a Brightness Limitation of High-Power Broad Area Diode Lasers, Proc. SPIE 7953, 79531F (2011) & Crump, P. et al., Experimental Studies Into the Beam Parameter Product of GaAs High-Power Diode Lasers, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., vol. 28, no. 1 (2022)）。したがって、高出力時のビームの質の低下を抑えるには、レー 40 50

ザーストライプの下の中央領域の温度上昇に基づいて横方向の温度勾配を構成することが重要である。その結果、屈折率が局所的に増加し、さらに横波が誘導され、結果として発散角が大きくなる。

【0004】

特に、GaAsベースの広域ダイオードレーザーに関する以前の研究（例：Rieprich, J. et al., Thermal boundary resistance between GaAs and p-side metal as limit to high power diode lasers, IEEE High Power Diode Lasers and Systems Conf. (Coventry, UK), pp. 35-36 (2019)）は、高pドープGaAsコンタクト層とその上に堆積された金属コンタクト間の境界にかなりの熱障壁が形成されることを実証した。この障壁により熱放散が減少すると、結果として生じる熱レンズ効果が強まり、その結果、ビームの質が低下し、熱抵抗が増加する。しかし、この種の熱障壁は、コンポーネント内の他の半導体-金属境界、すなわちnドープGaAsと金属の間では観察できなかった。

10

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の開示

【0006】

20

したがって、本発明の目的は、ビームの質を改善し、熱抵抗を低減するために、高pドープコンタクト層とその上に堆積された金属コンタクト層との間に生じる熱障壁を低減または完全に防止する広域ダイオードレーザーを提供することである。

【0007】

これらの目的は、本発明に従って、独立請求項1の特徴によって達成される。本発明の好都合な構成は、従属請求項に見出される。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【発明を実施するための形態】

【0009】

30

本発明は、nドープ半導体材料とpドープ半導体材料との間に形成された活性層を含むレーザーダイオードであって、活性層は、長手方向軸に沿って、電磁放射を生成するための活性ゾーンを形成し、少なくとも1つのnドープ中間層が、その上のp側金属コンタクトとpドープ半導体材料との間に配置され、活性領域の上方の領域内の前記少なくとも1つのnドープ中間層には、pドープ半導体材料に直接隣接するp-nトンネル接合が形成される、レーザーダイオードに関する。少なくとも1つのnドープ中間層は、好ましくはp側nコンタクト層を含む。p側金属コンタクトは、p側nコンタクト層上に配置することができる。

【0010】

ここで、nドープ半導体材料は、典型的には、nドープ基板（n基板と呼ばれる）、n基板上に配置されたn側nカバー層、およびn側nカバー層上に配置されたn導波層を含む。pドープ半導体材料は、通常、p導波層と、p導波層上に配置されたpカバー層とを含む。従来技術では、通常、pコンタクト層はpカバー層上に配置される。光生成用に構成される活性層は、2つの異なるドーピングされた半導体材料の間に位置する。この場合、活性ゾーンは、キャリア注入によるレーザーダイオードの動作中に実際に光生成が行われる活性層の部分である。長手方向軸は長手方向を指し、レーザーの共振器軸に対応することが好ましい。

40

【0011】

キャリアは通常、n側ではn基板に対して、p側ではその上の金属コンタクトに対して供給され、このp側金属コンタクトは、その下のpコンタクト層と半導体-金属境界を形成

50

する。すでに上記したように、この境界はかなりの熱障壁を構成する。n側半導体－金属境界では、この種の熱障壁は観察できなかったため、本発明によれば、少なくとも1つのnドープ中間層が、その上のp側金属コンタクトとその下のpドープ半導体材料との間に配置される。さらに、キャリア注入をさらに可能にするために、活性ゾーンの上方の領域にある少なくとも1つのnドープ中間層に、pドープ半導体材料に直接隣接するp－nトンネル接合が形成される。したがって、好ましいと考えられる境界は、p側でn半導体材料と金属の間に、すなわち、かなりの熱障壁を形成することなく、生成することもできる。p－nトンネル接合は、好ましくは、100nm未満の合計厚さを有する。

【0012】

本発明は、BALの両側にnドープ半導体を含む半導体－金属境界が特に有利であるという知見に基づく。これを実現するために、BALのp側コンタクト層は、pドープではなくnドープとなるように形成することができる。しかし、これによりp－n接合が逆方向にバイアスされ、電力カットオフとして機能する。これを回避するために、このp－n境界に逆バイアスされたp－nトンネル接合、すなわち、略してトンネル接合(TJ)が形成される。この接合は、例えば非常に高ドープの半導体層からなり、キャリアが対応するp側nコンタクト層と他のp側半導体層との間をトンネルすることを可能にする。この種の設計では、トンネル接合のスイッチオン電圧が非常に低く、中間抵抗が非常に低いことが重要であり、これはBALの変換効率が損なわれないことを意味する。本発明によるBALは、TJ－BALとも呼ばれる。

【0013】

このアプローチは、p側半導体－金属境界に形成される熱障壁を低減または回避することに加えて、さらに多くの利点を提供する。高ドープnコンタクト層とTJ層の高い電気伝導性は、特に極限三重非対称構造(ETAS)設計などの薄いp側導波路およびカバー層を有する垂直構造において、活性ゾーンとエピ側コンタクト間の中間抵抗を非常に低くすることができる。低い中間抵抗により、特により高い電流強度において、変換効率がより高いという結果になる(Crump, P. et al., Efficient High-Power Laser Diodes, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., vol. 19, no. 4 (2013))。さらに、平面TJ層は高ドープであるため、等電位になる傾向がある。これは、レーザーチップの異なる領域間で発生する電圧の差は維持できず、すぐに等しくなることを意味する。低いエピ側抵抗と等電位性の存在は、空間的ホールバーニングを減少させ、高次の横モードを抑制するという利点を有し、その結果、ビームの質、出力、および変換効率がさらに向上する(Zeghuzi, A. et al., Traveling wave analysis of non-thermal far-field blooming in high-power broad-area lasers, IEEE J. Quantum Electron., vol. 55, no. 2 (2019) & Zeghuzi, A. et al., Influence of nonlinear effects on the properties of pulsed high-power broad-area distribution Bragg reflector lasers, Opt. Quant. Electron., vol. 50, no. 88 (2018))。

【0014】

高nドープp側半導体層の非常に低い比抵抗と等電位性の別の利点は、p－nトンネル接合上に成長するp側nコンタクト層の厚さを、電気抵抗を大幅に低下させることなくかなり増加できることである。その結果、薄いp側を有する構造では、活性ゾーンをプロセス関連および設計関連の機械的ストレスから保護することができる。機械的ストレスは、コンポーネントの偏光純度、出力、および耐用年数を損ない、望ましくない導波となり、ビームの質を低下させる可能性がある。

【0015】

p－nトンネル接合は、好ましくは、pドープ半導体材料上に配置されたp⁺トンネル層

10

20

30

40

50

と、その上に配置された n^+ トンネル層とを含む。 $p-n$ トンネル接合の2つのトンネル層の高ドーピングにより、キャリアは、少なくとも1つの p 側 n ドープ中間層と p ドープ半導体材料との間の境界に形成された逆バイアス $p-n$ 接合をトンネルすることができ、その結果、キャリア注入中に電気抵抗は依然として低いままである。 $p-n$ トンネル接合の n ドープ層および p ドープ層のドーピング濃度は、好ましくは $N_{D,A} \geq 1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である（環境の通常のドーピング濃度は、約 $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ までである）。

【0016】

$p-n$ トンネル接合は、好ましくは、 p ドープ半導体材料の p ドープサブコンタクト層（ p サブコンタクト層）上に配置される。 p サブコンタクト層は、従来技術の p コンタクト層に実質的に対応する。しかし、本発明によれば、金属コンタクトは p サブコンタクト層上に配置されず、代わりに少なくとも1つの n ドープ中間層によって p サブコンタクト層から分離される。 p サブコンタクト層は、半導体材料またはその組成のため、または層境界における屈折率／屈折率勾配の進行の不連続性のため、その下に配置された p カバー層と異なることができる。

10

【0017】

$p-n$ トンネル接合は、好ましくは、 p ドープ半導体材料の p ドープカバー層上に配置される。この場合、 p ドープカバー層と $p-n$ トンネル接合の間には p サブコンタクト層は配置されない。 n ドープカバー層は、 $p-n$ トンネル接合上に配置されることが好ましい。これは、 p 側カバー層が p ドープ領域と n ドープ領域とを含み、その間に $p-n$ トンネル接合が配置されることを意味する。導波層で誘導される光モードもカバー層まで延びるため、これは、光モードが p 側の $p-n$ トンネル接合を越えて p 側 n ドープカバー層まで延び得ることを意味する。これに隣接する可能性のあるコンタクト層は、導波において実質的な役割を果たさない。

20

【0018】

ダイオードレーザーストライプ幅は、 $p-n$ トンネル接合の横幅 W に対して規定されることが好ましい。 $p-n$ トンネル接合の外側の至る所に生じる逆 $p-n$ 接合によって、注入領域は、 $p-n$ トンネル接合の幾何学的定義によって定義できる。したがって、 $p-n$ トンネル接合のサイズと形状によって電流経路を規定できる。

【0019】

代わりに、 $p-n$ トンネル接合を層として形成することができ、ダイオードレーザーストライプ幅は、 p ドープ半導体材料に導入された n 電流シールドの開口部の横幅 W に対して規定される。この場合、 $p-n$ トンネル接合は逆 $p-n$ 接合の効果を広い範囲で打ち消し、個々のストライプの構造化を別の方法で行う必要がある。提案された n 電流シールドは、電流の流れを制限するための従来技術からよく知られている。したがって、電流経路は、上記の実施形態と完全に同じ方法で、 n 電流シールドの開口部（シールド開口部）のサイズと形状によって規定することができる。 $p-n$ トンネル接合は、好ましくは 100 nm 未満の合計厚さを有し、 n 電流シールドのドーピング濃度は、好ましくは $N_D \geq 1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

30

【0020】

$p-n$ トンネル接合が層として形成される場合、ダイオードレーザーストライプ幅は、代わりに、 n 電流シールドおよび2つの隣接する（例えば、イオン注入による）深部注入領域間の領域の横幅 W に対して規定することができる。深い注入により、処理された領域の抵抗を非常に高くすることができ、深く注入されていない領域にのみ電流の流れが実効的に存在するようになる。ここで、深い注入は、金属コンタクトから p カバー層まで達することが好ましい。深部注入領域の中間抵抗は、周囲の領域の中間抵抗の少なくとも2倍であることが好ましい。

40

【0021】

半導体材料は、好ましくは GaAs ベースである。例えば、 n 基板 GaAs は、 n 側 n カバー層 AlGaAs 、 n 導波層 AlGaAs 、 p 導波層 AlGaAs 、および p カバー層 AlGaAs を含むことができる。 p サブコンタクト層は GaAs を含むことができる。

50

p-nトンネル接合は、p⁺トンネル層としてp⁺GaAsを、n⁺トンネル層としてn⁺GaAsを含むことができる。nコンタクト層はGaAsを含むことができる。p側nカバー層はAlGaAsを含むことができる。

【0022】

活性層とp-nトンネル接合との間の最小距離は、好ましくは1.3μm未満、好ましくは1μm未満、より好ましくは0.5μm未満である。活性層とp-nトンネル接合との間の距離を可能な限り小さくすることの利点は、中間抵抗と空間的ホールバーニングの減少であり、その結果、レーザー特性（例えば、ビームの質、出力、効率）が向上する。

【0023】

本発明に係るTJ-BALでは、電流をコンポーネントの中心（すなわち、レーザーストライプの下または活性ゾーンの上）に制限するために、さまざまな横方向構造化技術を実装することができる。結果として生じる電流制限により、ストライプ端での損失が制限され、横方向の電流拡散および横方向キャリア蓄積(LCA)によるビームの質への悪影響が制限される。これらのTJ-BALでは、正孔と比較して電子の移動度が大きいため、nコンタクト層での電流拡散がpコンタクト層よりも大幅に大きいため、電流制限は標準BALよりも顕著である。

【0024】

活性ゾーンと電流シールドとの間の残留層の厚さd_{res}は、好ましくは1μm未満である。不利な電流拡散は、可能な限り低い残留層の厚さd_{res}により低減することができる。この場合、残留層の厚さd_{res}は、一般に、活性層と、活性層に最も近い構造との間の最小距離を表し、ダイオードレーザーのストライプ幅を規定するために、レーザーダイオードの層構造の実際の基本構造に追加的に導入される。これは、例えば、本発明に係るp-nトンネル接合、n電流シールド、または対応する深部注入領域であってもよい。p-nトンネル接合部およびp側nコンタクト層を含むp側合計厚さd_{tot}は、好ましくは2μm超である。導波層の合計厚さd_{wl}は、好ましくは1μm超である。p側導波層d_{p-wl}の厚さは、好ましくは350nm未満である。ストライプ幅は、好ましくは50μm以上である。共振器長Lは、好ましくは3mm以上である。

【0025】

本発明のさらに好ましい構成は、それぞれの従属請求項に記載された特徴から明らかである。

【0026】

本出願に記載された本発明の種々の実施形態は、特定の例において特に明記されていない限り、互いに有利に組み合わせることができる。

【0027】

図面の簡単な説明

【0028】

以下、例示的な実施形態を参照し、関連する図面に基づいて、本発明を説明する。

【0029】

図1は、本発明に係るレーザーダイオードの第1実施形態の例示的な概略図である。

【0030】

図2は、本発明に係るレーザーダイオードの第2実施形態の例示的な概略図である。

【0031】

図3は、本発明に係るレーザーダイオードの第3実施形態の例示的な概略図である。

【0032】

図4は、本発明に係るレーザーダイオードの第4実施形態の例示的な概略図である。

【0033】

図5は、本発明に係るレーザーダイオードの第5実施形態の例示的な概略図である。

【0034】

図6は、本発明に係るレーザーダイオードの第6実施形態の例示的な概略図である。

【0035】

10

20

30

40

50

図面の詳細な説明

【0036】

図1は、本発明に係るレーザーダイオードの第1実施形態の例示的な概略図である。図示のレーザーダイオードは、 n ドープ半導体材料（ n 基板10、 n 側 n カバー層12、 n 導波層14）と p ドープ半導体材料（ p 導波層30、 p カバー層32、 p サブコンタクト層34）との間に形成された活性層20を含み、活性層20は、長手方向軸に沿って、電磁放射を生成するための活性ゾーンを形成し、 n コンタクト層50は、その上の p 側金属コンタクト52と p ドープ半導体材料（ p 導波層30、 p カバー層32、 p サブコンタクト層34）との間に配置され、活性ゾーンの上方の領域内の n コンタクト層50において、 p ドープ半導体材料（ p 導波層30、 p カバー層32、 p サブコンタクト層34）に直接隣接する p - n トンネル接合40が形成されている。図示の p - n トンネル接合40は、 p ドープ半導体材料（ p 導波層30、 p カバー層32、 p サブコンタクト層34）上に配置された p^+ トンネル層42と、その上に配置された n^+ トンネル層44とを含む。本実施形態では、 p - n トンネル接合40は、 p ドープ半導体材料（ p 導波層30、 p カバー層32、 p サブコンタクト層34）の p ドープサブコンタクト層34上に配置される。ダイオードレーザーのストライプ幅は、 p - n トンネル接合40の横幅 W に対して規定される。本実施形態では、残留層の厚さ d_{res} は、活性層20と p - n トンネル接合40との間の最小距離として定義される。

10

【0037】

本発明の本実施形態は、2段階のエピタキシープロセスによって提供することができ、エピタキシープロセスは、これらの2段階の間にエッチングステップを有する。第1成長ステップでは、構造を p - n トンネル接合40まで成長させることができる。次に、トンネル接合層（42、44）をストライプの外側で選択的にエッチングすることができる。その後の n コンタクト層50のエピタキシャル成長に続いて、構造の外側領域に逆方向に p - n 接合が生成され、中央の p - n トンネル接合40が電流の流れを促進する。これは、垂直共振器を有する面発光レーザー（VCSEL）における電流および光制限のための既知の方法である。

20

【0038】

図2は、本発明に係るレーザーダイオードの第2実施形態の例示的な概略図である。基本的な層構造は図1に示す配置に対応し、したがって、個々の参照符号およびそれらの各割り当てはそれに応じて適用される。ただし、そこに示す実施形態とは対照的に、この場合、 p - n トンネル接合40は層として形成することができ、ダイオードレーザーのストライプ幅は、 p ドープ半導体材料（ p 導波層30、 p カバー層32、 p サブコンタクト層34）に導入された n 電流シールド60の開口部の横幅 W に対して規定される。特に、図示の例では、 n 電流シールド60は p サブコンタクト層34内に配置される。本実施形態では、残留層の厚さ d_{res} は、活性層20と電流シールド60との間の最小距離として定義される。

30

【0039】

本発明の本実施形態では、電流の閉じ込めは、2つのステップ間にエッチングステップを有する2ステップのエピタキシープロセスによって同様に達成できる。この場合、コンポーネント端での電力カットオフは、いわゆる（強化された）自己整合横方向構造によって、トンネル接合とは独立して生成される。この目的のために、高 n ドープ層を p 側コンタクト層（すなわち p サブコンタクト層34）の下側近傍に統合することができ、その結果、逆バイアス p - n 接合が得られる。最初の成長ステップは、これらの層の成長後に終了する。次に、電流の流れに対応する開口部を作るために、これらを中央で選択的にエッチングすることができる。次に、 p サブコンタクト層34の残りの部分、並びに p - n トンネル接合40および n コンタクト層50を、構造化された n 電流シールド60上に成長させることができる。

40

【0040】

図3は、本発明に係るレーザーダイオードの第3実施形態の例示的な概略図である。基本

50

的な層構造は図2に示す配置に対応し、したがって、個々の参照符号とそれらの各割り当てはそれに応じて適用される。p-nトンネル接合40は、ここでも層として同様に形成される。そこに示されている実施形態とは対照的に、ダイオードレーザーのストライプ幅は、隣接する2つの深部注入領域70間の領域の横幅Wに対して規定される。特に、図示の例では、2つの周辺深部注入領域70が金属コンタクト52からpカバー層32まで達する。電流の流れのための開口部は、同様に、深部注入領域70によっても作ることができるため、n電流シールド60の追加的な統合は不要である。本実施形態では、残留層の厚さ d_{res} は、活性層20と深部注入領域70の下側との間の最小距離として定義される。

【0041】

10

上記の例示的な実施形態とは対照的に、本実施形態は1段階のエピタキシャル成長によって製造することができ、これにより製造プロセスの複雑さが削減され、したがってコストも削減される。電流制限は、例えば、コンポーネント端での高エネルギーの深いイオン注入によって行われる。これは、中間抵抗を増加させ、キャリアが急速に再結合する点欠陥を導入することにより、電流の流れを防ぐことができる。活性ゾーンを通した深い注入が電流の拡散とLCAを効果的に防止し、その結果、ビームの質が大幅に向上し得るが、電力と効率が大幅に損なわれる。したがって、総電力に関しては、活性ゾーンの上（例えば、pカバー層内）で終了するように寸法決めされた注入プロファイルが好ましい。

【0042】

図4は、本発明に係るレーザダイオードの第4実施形態の例示的な概略図である。図示のレーザダイオードは、nドープ半導体材料（n基板10、n側nカバー層12、n導波層14）とpドープ半導体材料（p導波層30、pカバー層32）との間に形成された活性層20を含み、活性層20は、長手方向軸に沿って、電磁放射を生成するための活性ゾーンを形成し、nコンタクト層50およびp側nカバー層54は、その上のp側金属コンタクト52とpドープ半導体材料（p導波層30、pカバー層32）の間に配置され、活性ゾーンの上方の領域のp側nコンタクト層54には、pドープ半導体材料（p導波層30、pカバー層32）に直接隣接するp-nトンネル接合40が形成されている。図示のp-nトンネル接合40は、pドープ半導体材料（p導波層30、pカバー層32）上に配置されたp⁺トンネル層42と、その上に配置されたn⁺トンネル層44を含む。本実施形態では、p-nトンネル接合40は、pドープ半導体材料（p導波層30、pカバー層32）のpドープカバー層32上に配置される。さらに、p-nトンネル接合40上にnドープカバー層54が配置される。ダイオードレーザーのストライプ幅は、p-nトンネル接合40の横幅Wに対して規定される。本実施形態では、残留層の厚さ d_{res} は、活性層20とp-nトンネル接合40との間の最小距離として定義される。

20

30

【0043】

したがって、図1に示す実施形態との大きな違いは、p-nトンネル接合40がpドープカバー層32上に配置されており、活性ゾーンにより近いことである。追加のpサブコンタクト層34の統合は省略することができる。p-nトンネル接合40を活性ゾーンに近づけることで、製造は技術的に複雑になるが（特に2段階のエピタキシャル成長を有する変形例の場合）、かなりの電力上の利点を達成することができる。

40

【0044】

図5は、本発明に係るレーザダイオードの第5実施形態の例示的な概略図である。基本的な層構造は図4に示す配置に対応し、したがって、個々の参照符号とそれらの各割り当てはそれに応じて適用される。ただし、実際の動作原理と可能な製造方法は、図2に示されている。本実施形態は、トンネル接合40の位置とpサブコンタクト層34がない点だけが、図2に示されている実施形態と異なる。

【0045】

図6は、本発明に係るレーザダイオードの第6実施形態の例示的な概略図である。基本的な層構造は図5に示す配置に対応し、したがって、個々の参照符号とそれらの各割り当てはそれに応じて適用される。ただし、実際の動作原理と可能な製造方法は図3に示され

50

ている。本実施形態も同様に、トンネル接合 4 0 の位置と p サブコンタクト層 3 4 がない点だけが、図 3 に示す実施形態と異なる。

【符号の説明】

【0 0 4 6】

1 0	n-基板 (例: GaAs)	
1 2	n-カバー層 (n側、例: AlGaAs)	
1 4	n-導波層 (例: AlGaAs)	
2 0	活性層 (活性ゾーンを含む)	
3 0	p-導波層 (例: AlGaAs)	
3 2	p-カバー層 (例: AlGaAs)	10
3 4	p-サブコンタクト層 (例: GaAs)	
4 0	p-n トンネル接合	
4 2	p ⁺ トンネル層 (例: p ⁺ GaAs)	
4 4	n ⁺ トンネル層 (例: n ⁺ GaAs)	
5 0	n- (サブ) コンタクト層 (p側、例: GaAs)	
5 2	金属コンタクト (p側)	
5 4	n-カバー層 (p側、例: AlGaAs)	
6 0	n-電流シールド	
7 0	深部注入領域	
W	横幅	20
d _{res}	残留層の厚さ	

30

40

50

【図1】

図1

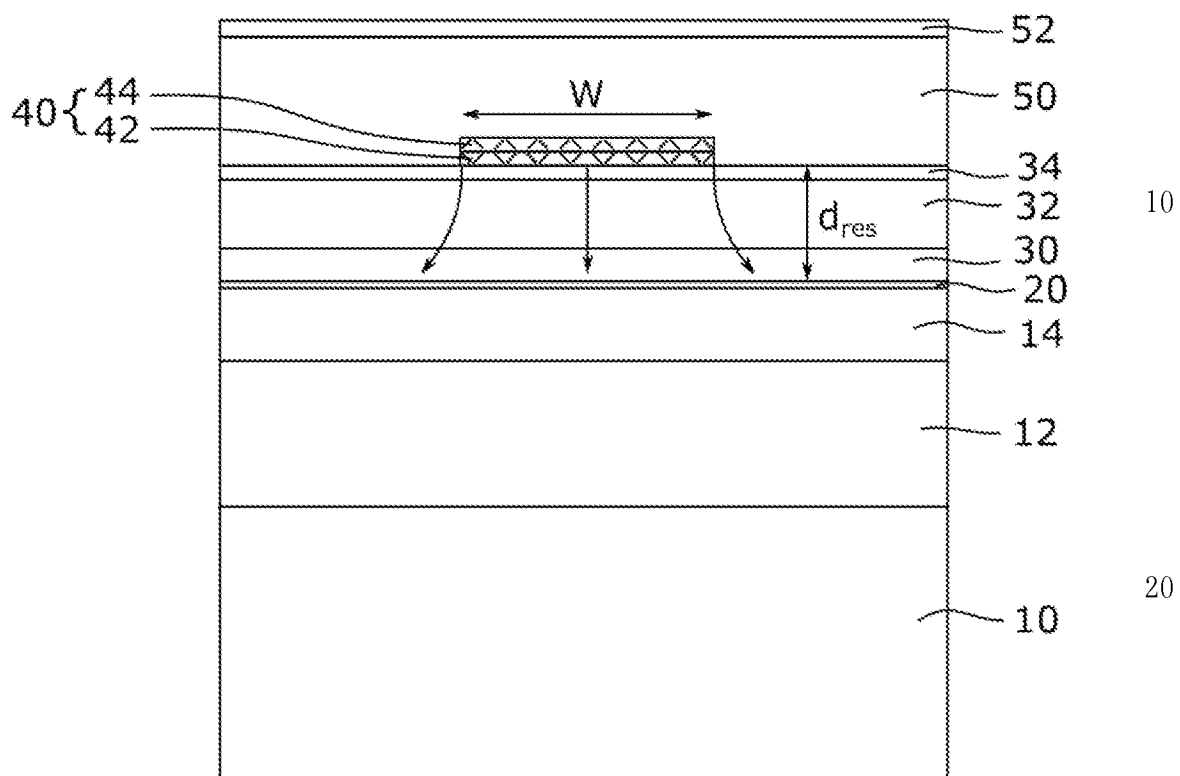


FIG. 1

【図2】

図2

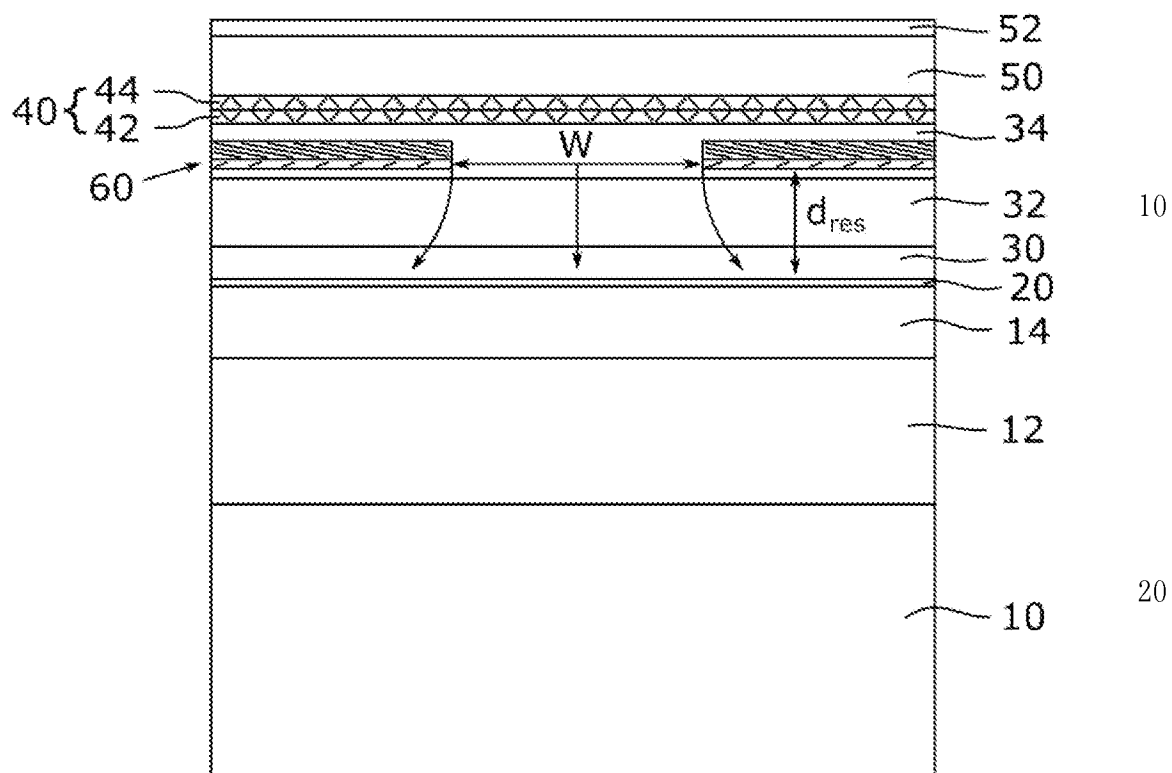


FIG. 2

【図3】

図3

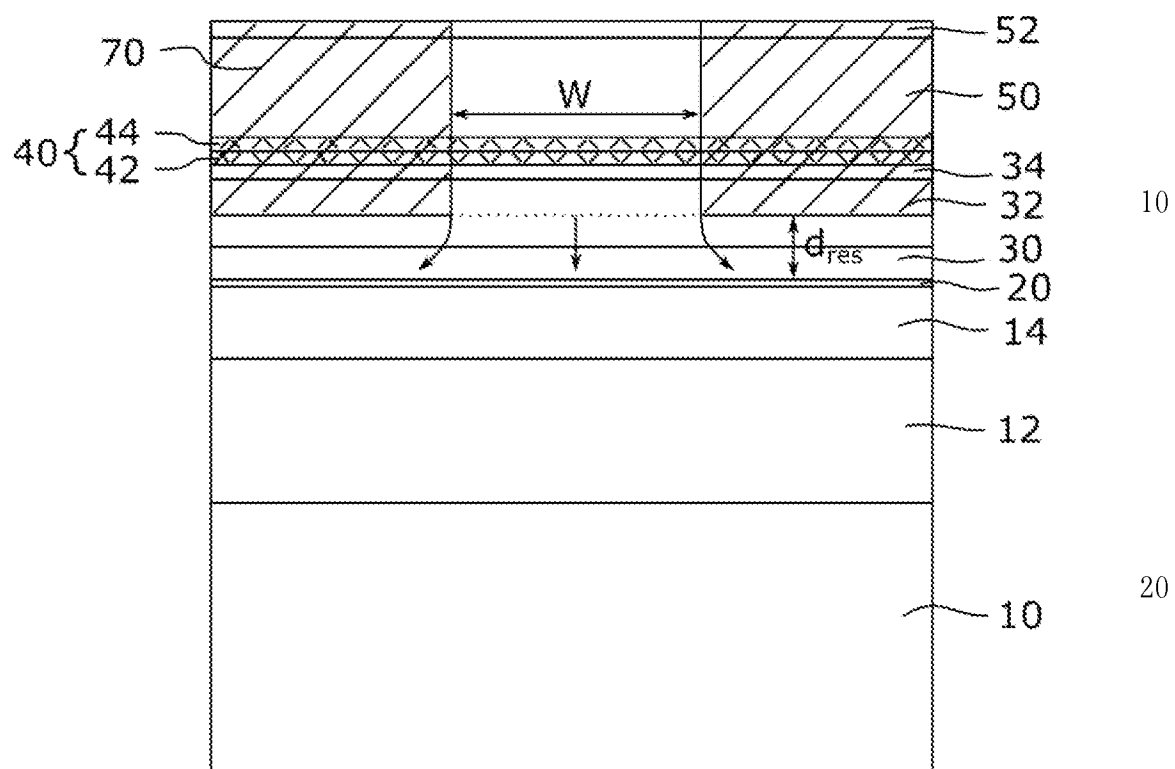


FIG. 3

【図4】

図4

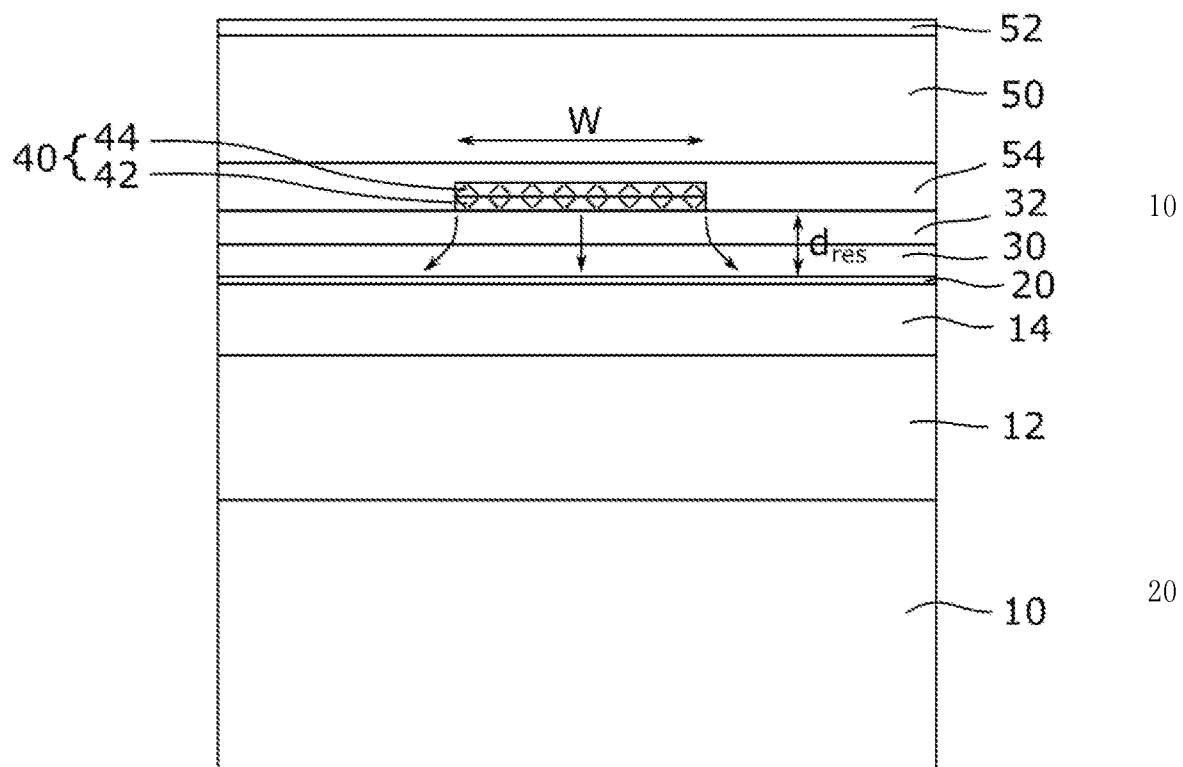


FIG. 4

30

40

50

【図5】

図5

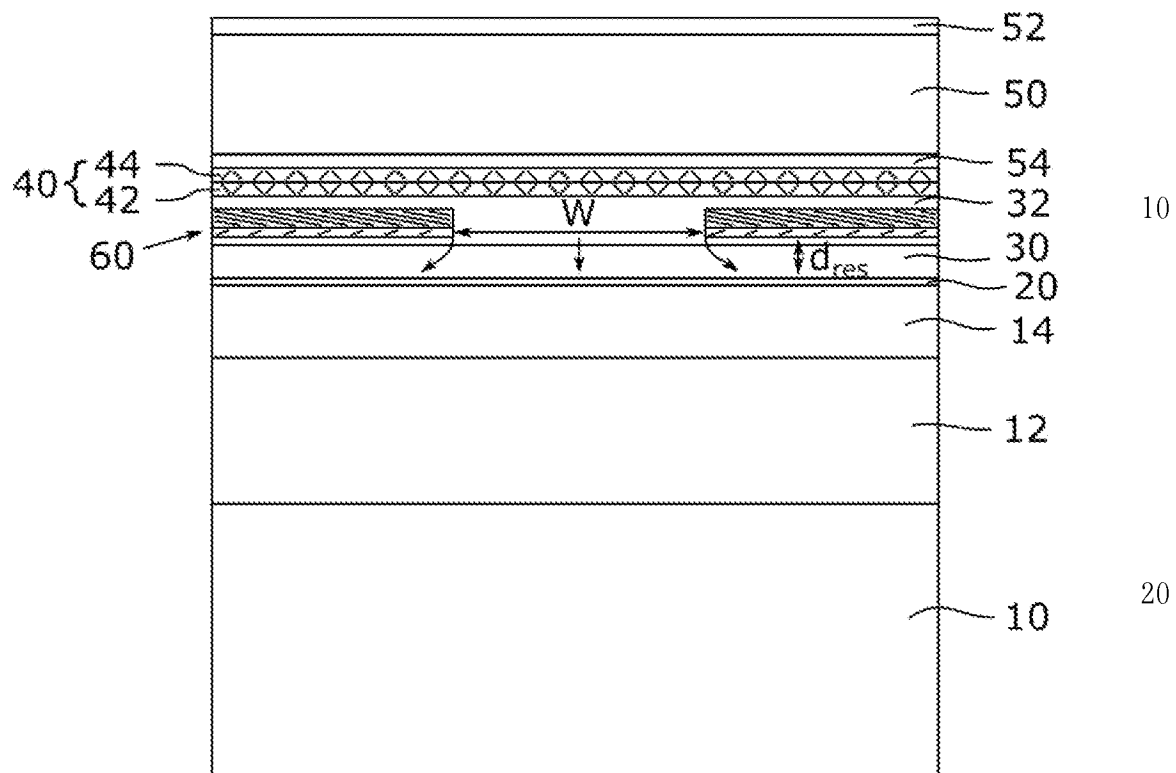


FIG. 5

【図6】

図6

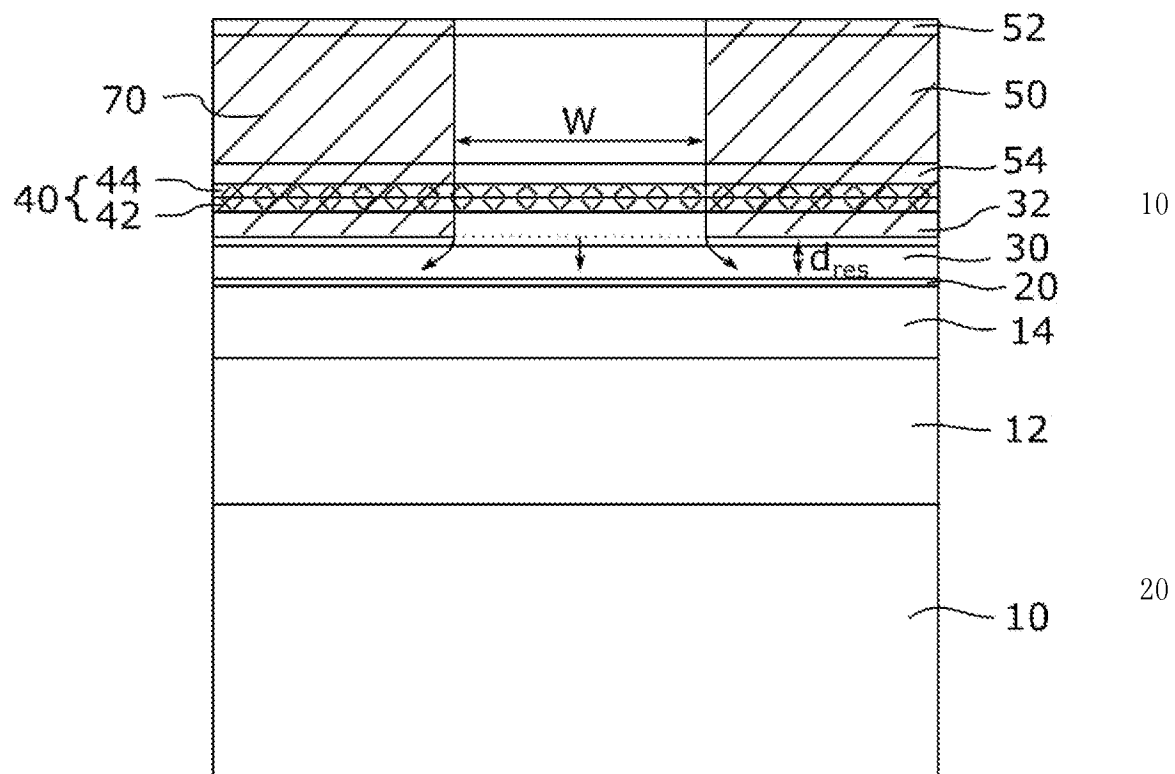


FIG. 6

フロントページの続き

- (74)代理人 110001139
S K弁理士法人
- (74)代理人 100130328
弁理士 奥野 彰彦
- (74)代理人 100130672
弁理士 伊藤 寛之
- (72)発明者 クランプ, ポール
ドイツ 1 0 2 4 5 ベルリン ヘルマーディングストラーセ 5
- (72)発明者 ウェンゼル, ハンス
ドイツ 1 2 3 5 5 ベルリン ヘレーネーヴェーバーストラーセ 1 6 アー
- (72)発明者 エラッター, モハメッド
ドイツ 1 2 4 8 9 ベルリン ドルプフェルト通り 5 番地
- (72)発明者 マースドルフ, アンドレ
ドイツ 1 0 4 3 7 ベルリン リヒェナー ストラーセ 7 4
- (72)発明者 マーティン, ドミニク
ドイツ 1 0 8 2 5 ベルリン アポステルパウルス通り 1 9 番地
- (72)発明者 ブロックス, オラフ
ドイツ 1 4 0 5 7 ベルリン レオンハルト通り 1 3 番地

審査官 村井 友和

- (56)参考文献 特開2012-119409 (JP, A)
米国特許出願公開第2018/0337513 (US, A1)
特表2001-511604 (JP, A)
米国特許出願公開第2021/0013699 (US, A1)
特開2000-277853 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H 0 1 S 5 / 0 0 - 5 / 5 0