

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公 開 特 許 公 報(A)

(11)特許出願公開番号
特開2023-815
(P2023-815A)

(43)公開日
令和5年1月4日(2023.1.4)

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 S 5/14 (2006.01)	H 0 1 S 5/14	5 F 1 7 3
H 0 1 S 5/10 (2021.01)	H 0 1 S 5/10	
H 0 1 S 5/40 (2006.01)	H 0 1 S 5/40	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 36 頁)

(21)出願番号 (22)出願日 (出願人による申告) 令和2年度、環境省、革新的な省CO2実現のための部材や素材の社会実装・普及展開加速化事業委託業務、産業技術力強化法第17条の適用を受ける特許出願	特願2021-101848(P2021-101848) 令和3年6月18日(2021.6.18)	(71)出願人 000005821 パナソニックホールディングス株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地 (74)代理人 110002952 弁理士法人鷺田国際特許事務所 (72)発明者 岡本 貴敏 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内 Fターム(参考) 5F173 AA08 AB34 AD06 AH22 AK02 AL04 AL05 AL13 AP05 MD64 ME44 MF02 MF13 MF28
--	---	---

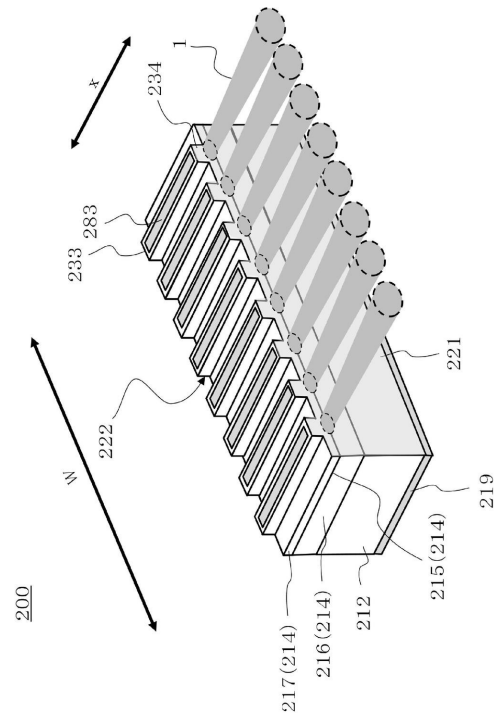
(54)【発明の名称】半導体レーザー素子、半導体レーザーアレイ及び加工装置

(57)【要約】

【課題】レーザー加工装置の高出力化を図ることができる半導体レーザー素子を提供する。

【解決手段】半導体レーザー素子は、外部共振ミラーを有する波長ビーム結合型の加工装置に配置される半導体レーザー素子であって、レーザー光を発光する発光層を有する共振器構造と、共振器構造の非出射端面及び出射端面にそれぞれ設けられ、レーザー光を反射させる第1の反射膜及び第2の反射膜と、を備え、共振器構造がレーザー発振する最低電力である閾値電力の最小値の1.4倍の電力で共振器構造がレーザー発振するときの第2の反射膜の反射率をR1、外部共振ミラーの反射率をR(Oc)、及び、共振器構造内に外部共振ミラーからの反射光が入射する割合であるカップリング効率をCとしたとき、半導体レーザー素子の利得波長における第2の反射膜の反射率Rは、 $R1 \leq R \leq R(Oc) \times C$ で示される関係式を満たす。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

外部共振ミラーを有する波長ビーム結合型の加工装置に配置される半導体レーザー素子であって、

レーザー光を発光する発光層を有する共振器構造と、

前記共振器構造の非出射端面及び出射端面にそれぞれ設けられ、前記レーザー光を反射させる第 1 の反射膜及び第 2 の反射膜と、

を備え、

前記共振器構造がレーザー発振する最低電力である閾値電力の最小値の 1 . 4 倍の電力で前記共振器構造がレーザー発振するときの前記第 2 の反射膜の反射率を R_1 、前記外部共振ミラーの反射率を $R(Oc)$ 、及び、前記共振器構造内に前記外部共振ミラーからの反射光が入射する割合であるカップリング効率を C としたとき、前記半導体レーザー素子の利得波長における前記第 2 の反射膜の反射率 R は、

$$R_1 \leq R \leq R(Oc) \times C$$

で示される関係式を満たす、半導体レーザー素子。

【請求項 2】

前記共振器構造の長さである共振器長は、 $1200 \mu m$ 以上、かつ、 $3000 \mu m$ 以下であり、

前記共振器長を x としたとき、前記半導体レーザー素子の利得波長における前記第 2 の反射膜の反射率 R は、

$$R \leq 0.3568 e^{-0.001x}$$

で示される関係式を満たす、

請求項 1 に記載の半導体レーザー素子。

【請求項 3】

前記反射率 R は、さらに、

$$0.8613 e^{-0.003x} \leq R$$

で示される関係式を満たす、

請求項 2 に記載の半導体レーザー素子。

【請求項 4】

外部共振ミラーを有する波長ビーム結合型の加工装置に配置される半導体レーザー素子であって、

レーザー光を発光する発光層を有する共振器構造と、

前記共振器構造の非出射端面及び出射端面にそれぞれ設けられ、前記レーザー光を反射させる第 1 の反射膜及び第 2 の反射膜と、

を備え、

前記共振器構造がレーザー発振する最低電力である閾値電力の最小値の 1 . 4 倍の電力で前記共振器構造がレーザー発振するときの前記第 2 の反射膜の反射率を R_1 、前記外部共振ミラーの反射率を $R(Oc)$ 、及び、前記共振器構造内に前記外部共振ミラーからの反射光が入射する割合であるカップリング効率を C としたとき、前記半導体レーザー素子の利得波長における前記第 2 の反射膜の反射率 R は、

$$R_1 \leq R \leq 2 \times R(Oc) \times C$$

で示される関係式を満たす、半導体レーザー素子。

【請求項 5】

外部共振ミラーを有する波長ビーム結合型の加工装置に配置される半導体レーザー素子であって、

レーザー光を発光する発光層を有する共振器構造と、

前記共振器構造の非出射端面及び出射端面にそれぞれ設けられ、前記レーザー光を反射させる第 1 の反射膜及び第 2 の反射膜と、

を備え、

前記共振器構造がレーザー発振する最低電力である閾値電力の最小値の 1 . 4 倍の電力

10

20

30

40

50

で前記共振器構造がレーザー発振するときの前記第2の反射膜の反射率を R_1 、前記外部共振ミラーの反射率を $R(Oc)$ 、及び、前記共振器構造内に前記外部共振ミラーからの反射光が入射する割合であるカップリング効率を C としたとき、前記半導体レーザー素子の利得波長における前記第2の反射膜の反射率 R は、

$$R_1 = R_3 \times R(Oc) \times C$$

で示される関係式を満たす、半導体レーザー素子。

【請求項6】

請求項1から5のいずれかに記載の半導体レーザー素子を備える、波長ビーム結合型の加工装置。

【請求項7】

請求項1から5のいずれかに記載の半導体レーザー素子を複数有する、半導体レーザーアレイ。

【請求項8】

請求項7に記載の半導体レーザーアレイを備える、波長ビーム結合型の加工装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、半導体レーザー素子、半導体レーザーアレイ及び加工装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、銅、金、樹脂などの種々の材料に対するレーザー加工に期待が寄せられている。例えば、自動車産業では、電動化、小型化、高剛性化、デザイン自由度向上、及び生産性向上などが求められており、レーザー加工への期待が高い。

【0003】

特に、電気自動車用のモーターやバッテリーの製造において、レーザー光を用いて銅などの金属加工を行う場合、光吸収効率が高い青紫色～青色（波長350nm以上450nm以下）のレーザー光を出力することができるレーザー光源を使用する必要がある。また、生産性の高いレーザー加工を実現するためには、高出力かつ集光性の高いビーム品質を備えたレーザー光源が必要となる。

【0004】

このため、複数のレーザー光を集光することで、高出力、かつ、高いビーム品質のレーザー光を出力するレーザー加工装置の開発が求められている。例えば、特許文献1には、一次元的に並ぶ複数のビームエミッタから出力されるレーザー光を集光する波長ビーム結合（WBC：Wavelength Beam Combining）システムが開示されている。WBC型のレーザー加工装置には、例えば、モノリシック型の半導体レーザーアレイが用いられている。

【0005】

モノリシック型半導体レーザーアレイは、レーザー光を出力する複数のエミッター部を有している。このため、WBC型の加工装置の光出力値は、複数のエミッター部から出力されるレーザー光の出力値の総和に相当する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2015-106707号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

従来のWBC型の加工装置が有する半導体レーザーアレイには、その出射端面に反射膜が設けられている。この反射膜の半導体レーザーアレイが有する利得波長での、反射率（

10

20

30

40

50

以降は、「利得波長での反射率」を、単に「反射率」と表記することもある。)の値によっては、加工装置から十分な出力値が得られない可能性がある。

【 0 0 0 8 】

本開示は、レーザー加工装置の高出力化を図ることができる半導体レーザー素子、半導体レーザーアレイ及び加工装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

本開示の半導体レーザー素子は、

外部共振ミラーを有する波長ビーム結合型の加工装置に配置される半導体レーザー素子であって、

レーザー光を発光する発光層を有する共振器構造と、

前記共振器構造の非出射端面及び出射端面にそれぞれ設けられ、前記レーザー光を反射させる第1の反射膜及び第2の反射膜と、

を備え、

前記共振器構造がレーザー発振する最低電力である閾値電力の最小値の1.4倍の電力で前記共振器構造がレーザー発振するときの前記第2の反射膜の反射率を R_1 、前記外部共振ミラーの反射率を $R(oc)$ 、及び、前記共振器構造内に前記外部共振ミラーからの反射光が入射する割合であるカップリング効率を C としたとき、前記半導体レーザー素子の利得波長における前記第2の反射膜の反射率 R は、

$$R_1 \leq R \leq R(oc) \times C$$

で示される関係式を満たす。

【 0 0 1 0 】

本開示の半導体レーザー素子は、

外部共振ミラーを有する波長ビーム結合型の加工装置に配置される半導体レーザー素子であって、

レーザー光を発光する発光層を有する共振器構造と、

前記共振器構造の非出射端面及び出射端面にそれぞれ設けられ、前記レーザー光を反射させる第1の反射膜及び第2の反射膜と、

を備え、

前記共振器構造がレーザー発振する最低電力である閾値電力の最小値の1.4倍の電力で前記共振器構造がレーザー発振するときの前記第2の反射膜の反射率を R_1 、前記外部共振ミラーの反射率を $R(oc)$ 、及び、前記共振器構造内に前記外部共振ミラーからの反射光が入射する割合であるカップリング効率を C としたとき、前記半導体レーザー素子の利得波長における前記第2の反射膜の反射率 R は、

$$R_1 \leq R \leq 2 \times R(oc) \times C$$

で示される関係式を満たす。

【 0 0 1 1 】

本開示の半導体レーザー素子は、

外部共振ミラーを有する波長ビーム結合型の加工装置に配置される半導体レーザー素子であって、

レーザー光を発光する発光層を有する共振器構造と、

前記共振器構造の非出射端面及び出射端面にそれぞれ設けられ、前記レーザー光を反射させる第1の反射膜及び第2の反射膜と、

を備え、

前記共振器構造がレーザー発振する最低電力である閾値電力の最小値の1.4倍の電力で前記共振器構造がレーザー発振するときの前記第2の反射膜の反射率を R_1 、前記外部共振ミラーの反射率を $R(oc)$ 、及び、前記共振器構造内に前記外部共振ミラーからの反射光が入射する割合であるカップリング効率を C としたとき、前記半導体レーザー素子の利得波長における前記第2の反射膜の反射率 R は、

$$R_1 \leq R \leq 3 \times R(oc) \times C$$

で示される関係式を満たす。

【 0 0 1 2 】

本開示の半導体レーザーアレイは、
上述のいずれかの半導体レーザー素子を複数有する。

【 0 0 1 3 】

本開示の波長ビーム結合型の加工装置は、
上述のいずれかの半導体レーザー素子を備える。

【 0 0 1 4 】

本開示の波長ビーム結合型の加工装置は、
上述の半導体レーザーアレイを備える。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 5 】

本開示によれば、レーザー加工装置の高出力化を図ることができる半導体レーザー素子、半導体レーザーアレイ及び加工装置を提供することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 6 】

【 図 1 】 図 1 は、実施形態に係る W B C 型の加工装置に用いられる高出力レーザー発振器の概念図を示す図である。

【 図 2 】 図 2 は、実施形態に係る半導体レーザーアレイを示す図である。

【 図 3 】 図 3 は、実施形態に係る半導体レーザーアレイと回折格子との関係を示す図である。

【 図 4 】 図 4 A 及び図 4 B は、互いに異なる膜厚条件が満たされた出射端面の反射膜の反射率の波長依存性を示すプロファイルの一例である。

【 図 5 】 図 5 は、特定の膜厚条件が満たされた非出射端面の反射膜の反射率の波長依存性を示すプロファイルの一例である。

【 図 6 】 図 6 は、閾値電力と出射端面の反射膜の反射率との関係を示すグラフである。

【 図 7 】 図 7 は、実施形態に係る半導体レーザー素子を示す図である。

【 図 8 】 図 8 は、実施形態に係る半導体レーザーアレイの製造工程を示す図である。

【 図 9 】 図 9 A 及び図 9 B は、それぞれレーザーモジュールの斜視図及び分解斜視図である。

【 図 1 0 】 図 1 0 は、実施形態に係る加工装置に用いられる高出力レーザー発振器を示す図である。

【 図 1 1 】 図 1 1 は、実施例に係る半導体レーザーアレイの出射端面の反射膜の反射率と、加工装置に用いられる高出力レーザー発振器の光出力との関係を示す図である。

【 図 1 2 】 図 1 2 は、実施例に係る半導体レーザーアレイのエミッター部を n 側電極側から見た時の図であり、出射端面近傍を示す図である。

【 図 1 3 】 図 1 3 は、実施例に係る半導体レーザーアレイにおける、閾値電力と出射端面の反射膜の反射率の関係を示す図である。

【 図 1 4 】 図 1 4 A 及び図 1 4 B は、互いに異なる条件下で、実施例に係る加工装置に用いられる高出力レーザー発振器から外部共振によって出力されたレーザー光の波長スペクトルを示す図である。

【 図 1 5 】 図 1 5 は、出射端面の反射膜の反射率の上限及び下限と共振器長との関係性を示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 7 】

まず、図 1 から 3 を参照しつつ、本開示に係る半導体レーザー素子、半導体レーザーアレイ及び加工装置に至った経緯を説明する。

【 0 0 1 8 】

図 1 は、本実施形態に係る W B C 型の加工装置に用いられる高出力レーザー発振器（以下、単に「レーザー発振器」と称す。）10 の概念図を示す図である。図 2 は、本実施形

10

20

30

40

50

態に係る半導体レーザーアレイ 200 を示す図である。図 3 は、本実施形態に係る半導体レーザーアレイ 200 と回折格子 208 との関係を示す図である。

【0019】

レーザー発振器 10 は、複数の半導体レーザーアレイ 201 ~ 205、複数のビームツイスターユニット 206、回折格子 208、及び、外部共振ミラー 210 を備えている。なお、以下の説明において、レーザー発振器 10 に設けられた複数の半導体レーザーアレイ 201 ~ 205 を区別しない場合は、半導体レーザーアレイ 200 と称して説明する。

【0020】

半導体レーザーアレイ 200 は、共振器構造 214 を備えている。共振器構造 214 は、第 1 の半導体層 216、発光層 215、及び第 2 の半導体層 217 が積層された動作層である。さらに、半導体レーザーアレイ 200 は、リッジストライプ構造を有し、共振器構造 214 には、レーザー光 1 を出射する複数のエミッター部 234 がストライプ状に形成されている。共振器構造 214 において、凸部 233 の直下の部分が、個々のエミッター部 234 を形成する。

10

【0021】

共振器構造 214 において、エミッター部 234 の一方の端面からレーザー光 1 が出射される。以下、半導体レーザーアレイ 200 のレーザー光 1 が出射される端面を「出射端面」と称し、出射端面とは反対側に位置し、レーザー光 1 が出射されない端面を非出射端面と称する。

【0022】

半導体レーザーアレイ 200 の出射端面には反射膜 221 が設けられており、非出射端面には、反射膜 222 が設けられている。

20

【0023】

複数のビームツイスターユニット 206 は、半導体レーザーアレイ 201 ~ 205 の出射端面側にそれぞれ配置されている。ビームツイスターユニット 206 は、半導体レーザーアレイ 201 ~ 205 から出射された複数のレーザー光 1 をそれぞれ 90° 回転させる。これにより、互いに近い波長を有する複数のレーザー光 1 が相互に干渉することを防いでいる。ビームツイスターユニット 206 によって回転されたレーザー光 1 は、回折格子 208 に入射する。

【0024】

回折格子 208 は、透過型又は反射型の回折格子である。図 1 には、回折格子 208 が透過型の回折格子であることが示されている。このように、回折格子 208 が透過型の回折格子である場合、回折格子 208 は、入射したレーザー光 1 を、レーザー光 1 の波長に応じて出射角（回折角）で回折し、外部共振光 2 として出射する。回折格子 208 から出射された外部共振光 2 は、外部共振ミラー 210 に入射する。

30

【0025】

外部共振ミラー 210 は、部分透過型ミラーである。外部共振ミラー 210 によって外部共振光 2 の一部の光 4 が回折格子 208 に向けて垂直反射される。これにより、所定のロック波長を有するレーザー光が、非出射端面の反射膜 222 と外部共振ミラー 210 との間で外部共振を起こし、外部共振ミラー 210 からレーザー光 3 として出力される。ここで、ロック波長は、エミッター部 234 と回折格子 208 と外部共振ミラー 210 との位置関係で一意に決定される。

40

【0026】

（ロック波長）

半導体レーザーアレイ 201 ~ 205 のロック波長について説明する。

【0027】

半導体レーザーアレイ 201 ~ 205 の各エミッター部 234 から出射されるレーザー光 1 のうち、回折格子 208 の回折条件を満たし、かつ、外部共振ミラー 210 により垂直反射される光 4 のみが、出射元のエミッター部 234 に帰還し、非出射端面の反射膜 222 と外部共振ミラー 210 とにより、外部共振する。そして、外部共振に起因するレー

50

ザー発振が生じる。

【0028】

半導体レーザーアレイ200において、電流の注入領域に対応する各エミッター部234のロック波長を λ 、回折格子208の周期を d 、回折格子208に対するレーザー光1の入射角を θ_i 、外部共振光2の出射角を θ_o 、次数を m （整数）とすると、ロック波長 λ は、関係式(0)に基づいて計算される。

【0029】

$$d(\sin \theta_i + \sin \theta_o) = m \lambda \quad (0)$$

【0030】

なお、次数 m は、回折格子208の配置位置に応じて異なる値を取り得る。例えば、 $m = 1$ となるように、回折格子208を配置すれば、計算が簡単になる。

10

【0031】

例えば、図1に示されているように、回折格子208に対するレーザー光1の入射角がそれぞれ 21.6 deg 、 22.4 deg 、 23.2 deg 、 24.0 deg 、 24.8 deg となるように、5個の半導体レーザーアレイ201～205が、レーザー発振器10に配置されているとする。

【0032】

この場合、各半導体レーザーアレイ201～205の中心に位置するエミッター部234のロック波長 λ_{CENTER} は、表1に示されているように、それぞれ 435.9 nm 、 440.3 nm 、 444.5 nm 、 448.8 nm 、 453.0 nm となる。すなわち、半導体レーザーアレイ201～205のロック波長 λ_{CENTER} は、約 4.3 nm ずつ変化している。

20

【0033】

【表 1】

項目	波長ビーム結合型加工装置に用いられる高出力レーザー発振器の構成						計算値		
	レーザー アレイ	回折格子 溝周期	回折格子 周期 d	出射角 β	入射角 α	次数 m	$\sin \beta$	$\sin \alpha$	レーザーアレイ 中心エミッタ ロック波長 λ_{L_center} nm
単位	符号	本/mm	μm	deg	deg	—	—	—	nm
	201	3000	0.333	70	21.6	1	0.940	0.368	435.9
	202	3000	0.333	70	22.4	1	0.940	0.381	440.3
	203	3000	0.333	70	23.2	1	0.940	0.394	444.5
	204	3000	0.333	70	24.0	1	0.940	0.407	448.8
	205	3000	0.333	70	24.8	1	0.940	0.419	453.0

【0034】

次に、半導体レーザーアレイ 200 のロック波長 L について、以下の素子条件 (A) ~ (B)、及び設置条件 (C) ~ (E) を満たす場合を例に挙げて説明する。

【 0 0 3 5 】

< 素子条件 >

- (A) 半導体レーザーアレイ 2 0 0 は、2 5 個のエミッター部 2 3 4 を有する。
(B) 半導体レーザーアレイ 2 0 0 におけるエミッター部 2 3 4 が並ぶ方向における長さ
(以下、「アレイ幅」と称す。) W が 1 0 m m である。

【 0 0 3 6 】

< 設置条件 >

- (C) 半導体レーザーアレイ 2 0 0 から出射されるレーザー光 1 は、波長が 4 0 0 n m 以上 5 0 0 n m 以下程度であり、回折格子 2 0 8 に対する入射角 が 2 1 . 1 ° である。
(D) 半導体レーザーアレイ 2 0 0 から回折格子 2 0 8 までの距離 L が 2 . 6 m である。
(E) 回折格子 2 0 8 は、3 0 0 0 本 / m m の溝周期を有する、つまり、回折格子 2 0 8 の周期 d が 0 . 3 3 3 μ m である。

【 0 0 3 7 】

上記素子条件 (A)、(B) 及び設置条件 (C) ~ (E) を満たす場合、半導体レーザーアレイ 2 0 0 の各エミッター部 2 3 4 におけるロック波長 λ は、表 2 の通りである。

【 0 0 3 8 】

【表 2】

項目	波長ビーム結合型加工装置に用いられる高出力レーザー発振器の構成										計算値		
	エミッター部	回折格子溝周期	回折格子周期 d	出射角 β	回折格子及び半導体レーザーアレイ間距離 L	バー長	間隔	中心からの位置	入射角 α	次数 m	$\sin \beta$	$\sin \alpha$	エミッター部のロック波長 λ_L
単位	番目	本/mm	μm	deg	m	mm	mm	mm	deg	-	-	-	nm
端	1	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	4.8	21.49	1	0.940	0.366	435.37
	2	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	4.4	21.50	1	0.940	0.367	435.41
	3	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	4.0	21.51	1	0.940	0.367	435.46
	4	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	3.6	21.52	1	0.940	0.367	435.51
	5	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	3.2	21.53	1	0.940	0.367	435.56
	6	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	2.8	21.54	1	0.940	0.367	435.61
	7	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	2.4	21.55	1	0.940	0.367	435.65
	8	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	2.0	21.56	1	0.940	0.367	435.70
	9	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	1.6	21.56	1	0.940	0.368	435.75
	10	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	1.2	21.57	1	0.940	0.368	435.80
	11	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	0.8	21.58	1	0.940	0.368	435.84
	12	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	0.4	21.59	1	0.940	0.368	435.89
中心	13	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	0.0	21.60	1	0.940	0.368	$\lambda_{L_CENTER} = 435.94$
	14	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	-0.4	21.61	1	0.940	0.368	435.99
	15	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	-0.8	21.62	1	0.940	0.368	436.03
	16	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	-1.2	21.63	1	0.940	0.369	436.08
	17	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	-1.6	21.64	1	0.940	0.369	436.13
	18	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	-2.0	21.64	1	0.940	0.369	436.18
	19	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	-2.4	21.65	1	0.940	0.369	436.23
	20	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	-2.8	21.66	1	0.940	0.369	436.27
	21	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	-3.2	21.67	1	0.940	0.369	436.32
	22	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	-3.6	21.68	1	0.940	0.369	436.37
	23	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	-4.0	21.69	1	0.940	0.370	436.42
	24	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	-4.4	21.70	1	0.940	0.370	436.46
端	25	3000	0.333	70	2.6	10	0.5	-4.8	21.71	1	0.940	0.370	436.51
$\Delta \lambda_{L_BAR} = 1.1\text{nm}$													

【0039】

表 2 におけるエミッター部 2 3 4 の番号は、2 5 個のエミッター部 2 3 4 にそれぞれ割

り振られた番号のことである。具体的には、図 3 において、複数のエミッター部 234 のうち、一端側（右端側）に位置するエミッター部から他端側（左端側）に位置するエミッター部にかけて、順番に、1～25の番号が割り当てられている。

【0040】

表 2 に示されているように、一端側（右端側）から 1 番目のエミッター部 234 のロック波長 L は、435.7 nm であり、25 番目のエミッター部 234 のロック波長 L が、436.51 nm である。他端側（左端側）に進むにつれて、ロック波長 L が約 0.05 nm ずつ長くなっており、半導体レーザーアレイ 200 の両端のエミッター部 234 のロック波長 L の差 L_{BAR} は約 1.1 nm である。

【0041】

半導体レーザーアレイ 201～205 の個々のエミッター部 234 は、それぞれ回折格子 208 に対する相対位置が異なっている。このため、エミッター部 234 において、異なる波長で外部共振が生じ、レーザー光 1 が発振することになる。しかし、多数のエミッター部 234 からのレーザー光 1 は、回折格子 208 において集光され、外部共振光 2 として外部共振ミラー 210 の入射面上の 1 点に集光される。なお、ロック波長と、半導体レーザーアレイ 201～205 の利得波長の一致性が高いほど、レーザー光 3 の出力値（レーザー発振器 10 の出力値）が高くなる。ひいては、レーザー発振器 10 を備える加工装置の出力値が高くなる。

【0042】

レーザー発振器 10 は、個々のエミッター部 234 から出射されるレーザー光 1 を集光するので、レーザー光 3 は高出力のレーザー光となる。レーザー光 3 の出力値は、個々のエミッター部 234 から出射されるレーザー光 1 の出力値の総和に相当する。

【0043】

以下、半導体レーザーアレイ 200 の出射端面の反射膜 221 の反射率について説明する。

【0044】

（反射膜 221 の反射率が高い場合）

半導体レーザーアレイ 201～205 の出射端面の反射膜 221 の反射率を 0% より大きくすると、理論上、出射端面の反射膜 221 と非出射端面の反射膜 222 との間で内部共振が起こる。

【0045】

レーザー光 3 が発振したときに、非出射端面の反射膜 222 と外部共振ミラー 210 との間での外部共振の影響に対して、上述の内部共振の影響が大きい場合、内部共振が外部共振によるレーザー発振の妨げになり、レーザー光 3 の出力値が低下する可能性がある。

【0046】

このため、内部共振の影響を小さくすることが望ましく、出射端面の反射膜 221 の反射率を 0% とすること、つまり、エミッター部 234 から出射されたレーザー光 1 が 100%、出射端面を透過することが望ましいと思われていた。

【0047】

（反射膜 221 の反射率が低い場合）

本発明者らは、出射端面の反射膜 221 の反射率が低いほど望ましいというわけではないことに気づいた。

【0048】

半導体レーザーアレイ 200 がレーザー発振器 10 に組み込まれる前に、半導体レーザーアレイ 200 の利得波長や諸特性の測定が行われる。

【0049】

レーザー発振器 10 を製造する際、レーザー光 3 の出力値を高めるためには、半導体レーザーアレイ 200 の利得波長とロック波長との一致性を極力高める必要がある。

【0050】

利得波長は、半導体レーザーアレイ 200 の特性によって決まり、ロック波長は、上述

10

20

30

40

50

したように、半導体レーザーアレイ 200（特に、エミッター部 234）と回折格子 208 と外部共振ミラー 210 との位置関係から決まる。

【0051】

このため、利得波長とロック波長とを一致させるためには、予め半導体レーザーアレイ 200 の利得波長を測定し、その測定結果に応じて、半導体レーザーアレイ 200（特に、エミッター部 234）と回折格子 208 と外部共振ミラー 210 の位置関係を調整する必要がある。

【0052】

また、諸特性の測定は、レーザー発振器 10 に組み込むのに適した半導体レーザーアレイを選別するために実行される。

【0053】

利得波長や諸特性は、半導体レーザーアレイ 200 で内部共振を発生させたときに出力されるレーザー光 1 に基づいて測定される。

【0054】

もし、出射端面の反射膜 221 の反射率が、例えば、0.005%（一般の反射率測定用機器の測定限界値に相当）に設定されていた場合、エミッター部 234 の光導波路部内に閉じ込められるレーザー光 1 の量が非常に小さく、内部共振が起こりにくい。

【0055】

すなわち、出射端面の反射膜 221 の反射率を小さくすればするほど、半導体レーザーアレイ 200 を内部共振によりレーザー発振させるために必要な電力（以下、「閾値電力」と称す。）が大きくなる。

【0056】

レーザー発振されない間、半導体レーザーアレイ 200 に供給されている電力（電流）のエネルギーは、光エネルギーには変換されず、熱エネルギーに変換される。熱エネルギーが大きい場合、半導体レーザーアレイ 200 の内部に欠陥（例えば、結晶欠陥）が発生し、発光層 215 やエミッター部 234 が破壊されるおそれがある。

【0057】

特に、エミッター部 234 の発光層 215 に相当する箇所に結晶欠陥が発生し、破壊されていた場合、エミッター部 234 から出射されるレーザー光 1 の出力値が低下する。ひいては、半導体レーザーアレイ 200 の出力値、さらには、外部共振に基づくレーザー発振器 10 の出力値も低下する。ひいては、レーザー発振器 10 を備える加工装置の出力値も低下する。

【0058】

結晶欠陥や被破壊箇所などの異常箇所を、測定や解析により事前に発見することは困難である。また、半導体レーザーアレイ 200 をレーザー発振器 10 に組み込んだ後に、半導体レーザーアレイ 200 の内部で異常箇所を起点に異常領域が増殖し、レーザー発振器 10 のレーザー出力値がさらに低下することもある。すなわち、レーザー発振器 10 の出力値が不安定となるおそれがある。ひいては、レーザー発振器 10 を備える加工装置の出力値の低下及び不安定化を招くおそれがある。

【0059】

以上、まとめると、レーザー発振器 10 を備える加工装置を被加工物の加工に用いる際に、半導体レーザーアレイ 200 で発生する内部共振は、レーザー発振器 10 のレーザー出力値の低下の一因となる。一方、レーザー発振器 10 のレーザー出力値を高めるためには、半導体レーザーアレイ 200 をレーザー発振器 10 に組み込む前に、内部共振によるレーザー発振を発生させ、利得波長や諸特性を測定しておく必要がある。以下、このような測定を「事前測定」と称することもある。

【0060】

なお、上述の問題は、半導体レーザーアレイ 200 だけでなく、エミッター部 234 を 1 つのみ有する半導体レーザー素子 100（図 7 参照）についても同様に成立する。

【0061】

10

20

30

40

50

そして、本発明者は、半導体レーザーアレイ 200 の内部共振について鋭意検討を行った結果、半導体レーザーアレイ 200 の出射端面側の反射膜 221 の反射率を適切な値に調整することで、以下の（効果 1）及び（効果 2）が得られることを見出した。

（効果 1）半導体レーザーアレイ 200 内部に結晶欠陥が生じる可能性を低減しつつ内部共振を伴う事前測定を実行できる。ひいては、レーザー発振器 10 の外部共振によるレーザー出力値の低下を抑制できる。

（効果 2）外部共振によりレーザー発振器 10 からレーザー出力するときの内部共振の影響を小さくし、レーザー発振器 10 のレーザー出力値の低下を抑制できる。

【0062】

以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら説明する。なお、以下に説明する実施形態は、数値、形状、材料、構成要素、及び、構成要素の配置位置や、接続形態、並びに、工程（ステップ）および工程の順序などは、一例であって、本開示を限定する主旨はない。よって、以下の実施形態における構成要素のうち、本開示の最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。

【0063】

また、各図は、模式図であり、厳密に図示されたものではない。したがって、各図における縮尺などは、必ずしも一致しているとはかぎらない。各図において、実質的に同一の構成に対して、同一の符号を付しており、重複する説明は省略、または簡略化する。

【0064】

[実施形態]

（半導体レーザーアレイの構成）

図 2、図 4 A、図 4 B、図 5、及び、図 6 を参照しつつ、本実施形態に係る半導体レーザーアレイ 200 について詳細に説明する。図 4 A 及び図 4 B は、出射端面の反射膜 221 の反射率の波長依存性を示すプロファイルの一例であり、互いに異なる膜厚条件を満たす場合について示している。図 5 は、特定の膜厚条件が満たされた非出射端面の反射膜 222 の反射率の波長依存性を示すプロファイルの一例である。図 6 は、閾値電力と出射端面の反射膜 221 の反射率との関係を示すグラフである。

【0065】

本実施形態に係る半導体レーザーアレイ 200 は、405 nm 以上 450 nm 以下の波長帯のレーザー光 1 を出射する GaN 系半導体レーザーアレイであるとして説明する。

【0066】

半導体レーザーアレイ 200 は、基板 212 及び共振器構造 214 を備える。半導体レーザーアレイ 200 は、単一の基板 212 に、複数のエミッター部 234 が形成されたモノリシック型の半導体レーザーアレイである。また、上述したように、半導体レーザーアレイ 200 の出射端面及び非出射端面には、反射膜 221、及び、反射膜 222 が設けられている。さらに、基板 212 の裏面に n 側電極 219 が形成され、共振器構造 214 の表面に p 側電極 283 が形成されている。

【0067】

本実施形態では、基板 212 は、単結晶の窒化ガリウム（GaN）で形成されている単結晶基板であり、例えば、n 型六方晶 GaN 基板である。

【0068】

共振器構造 214 の第 1 の半導体層 216 は、例えば、AlGaIn 等の n 型半導体で形成されている第 1 のクラッド層である。

【0069】

発光層 215 は、レーザー光 1 を発光する層であり、多重量子井戸層をガイド層で挟んだ構造を有する。多重量子井戸層は、例えば、アンドープ InGaIn で形成されている。ガイド層は、例えば、アンドープ GaN で形成されている。

【0070】

共振器構造 214 の発光層 215 の組成比率は、利得波長に応じて調整される。本実施形態に係る加工装置が備えるレーザー発振器 10 が、上述したように 5 個の半導体レーザ

10

20

30

40

50

ーアレイ 201 ~ 205 を有する場合、例えば、上述の表 1 に示されているように、ロック波長が 435.9 nm 以上 453.0 nm 以下のように幅を有する。よって、利得波長をロック波長に合わせる必要がある。

【0071】

利得波長は、発光層 215 の組成比率を調整することで調整できる。具体的には、発光層 215 における InGaIn からなる多重量子井戸層の In 組成比率を調整することによって、利得波長を調整することができる。例えば、In 組成比率を 17% に設定すると、半導体レーザーアレイ 200 の利得波長は平均 450 nm となる。なお、発光層 215 を形成するときの温度分布を調整して、エミッター部 234 毎に In 組成を調整し、異なる利得波長を有する半導体レーザーアレイを形成してもよい。

10

【0072】

共振器構造 214 の第 2 の半導体層 217 は、発光層 215 側から順に、電子オーバーフロー抑制層、第 2 のクラッド層、及び、コンタクト層が積層されて構成されている。電子オーバーフロー抑制層及びクラッド層は、例えば、AlGaIn 等の p 型半導体で形成され、コンタクト層は、例えば、GaIn 等の p 型半導体で形成されている。コンタクト層に、p 側電極 283 が配置される。

【0073】

次に、エミッター部 234 について説明する。

第 2 の半導体層 217 には、凸部 233 がストライプ状に複数形成されている。凸部 233 の下に、発光層 215 と第 1 の半導体層 216 の屈折率差、及び、発光層 215 と第 2 の半導体層 217 の屈折率差により、光を閉じ込める光導波路部が形成されている。

20

【0074】

凸部 233 の長さ x が、半導体レーザーアレイ 200 の共振器長と呼ばれている。本実施形態の半導体レーザーアレイ 200 は、共振器長 x は 2000 μ m、アレイ幅 W は 9000 μ m であり、225 μ m 幅のエミッター部 234 が 40 個形成されているとして説明する。凸部 233 の幅は、例えば、10 μ m 以上 40 μ m 以下であり、具体的には、15 μ m である。

【0075】

p 側電極 283 は、凸部 233 の上面、より詳しくは、コンタクト層の上面に形成されており、コンタクト層を介して光導波路部の上面と接続している。p 側電極 283 は、各光導波路部の上方において、コンタクト層とオーミック接触する電極である。p 側電極 283 は、例えば、Pd、Pt、又は Ni 等の金属材料で形成される。本実施形態の p 側電極 283 は、Pd の層及び Pt の層からなる 2 層構造を有する。

30

【0076】

p 側電極 283 の上面を除く共振器構造 214 の表面は、絶縁膜で被覆されている。具体的には、絶縁膜は、コンタクト層の上面のうちの p 側電極 283 が形成されていない領域を覆っている。絶縁膜は、例えば、SiO₂ を材料とする。

【0077】

また、半導体レーザーアレイ 200 は、共振器構造 214 の表面全体を覆うパッド電極（不図示）を有しており、このパッド電極により複数の p 側電極 283 が互いに接続されている。

40

【0078】

n 側電極 219 は、基板 212 の全面を覆うように形成されている。

【0079】

半導体レーザーアレイ 200 の出射端面の反射膜 221 は、その反射率が所定の範囲に設定されている。所定の範囲については、後述する。また、後述するように、反射膜 221 の反射率は 0 ではないので、反射膜 221 は、レーザー光 1 をわずかながら反射する。

【0080】

反射膜 221 は、二酸化ケイ素 (SiO₂) 層、及び、酸化アルミニウム (Al₂O₃) 層の組み合わせにより形成された誘電体の多層膜である。各層の厚さ、及び、各層の屈

50

折率を調整することで、反射膜 2 2 1 の反射率を変更できる。なお、レーザー光 1 に対する反射膜 2 2 1 の反射率は、レーザー光 1 の波長に依存する。

【 0 0 8 1 】

例えば、半導体レーザーアレイ 2 0 0 の利得波長が 4 5 0 n m であり、4 5 0 n m の波長に対して 0 . 0 1 % の反射率の反射膜 2 2 1 を得たい場合、第 1 の膜厚条件を満たすように、反射膜 2 2 1 の各層の厚さを調整すればよい。図 4 A には、第 1 の膜厚条件が満たされた反射膜 2 2 1 の反射率の波長依存性を示すプロファイルが示されている。

【 0 0 8 2 】

もし、半導体レーザーアレイ 2 0 0 の利得波長が 4 4 0 n m であり、4 4 0 n m の波長に対して 0 . 0 1 % の反射率の反射膜 2 2 1 を得たい場合、別の膜厚条件を満たすように、反射膜 2 2 1 の各層の厚さを調整すればよい。

【 0 0 8 3 】

また、例えば、半導体レーザーアレイ 2 0 0 の利得波長が 4 5 0 n m であり、波長が 4 5 0 n m のときに 0 . 5 % の反射率の反射膜 2 2 1 を得たい場合、第 2 の膜厚条件を満たすように、反射膜 2 2 1 の各層の厚さを調整すればよい。図 4 B には、第 2 の膜厚条件が満たされた反射膜 2 2 1 の反射率の波長依存性を示すプロファイルが示されている。

【 0 0 8 4 】

半導体レーザーアレイ 2 0 0 の非出射端面の反射膜 2 2 2 は、S i O₂ 層、及び、酸化アルミニウム (A l O N) 層の組み合わせにより形成された誘電体の多層膜である。反射膜 2 2 2 は、反射膜 2 2 1 と同様、各層の厚さ、及び、各層の屈折率を調整することで、その反射率を変更できる。なお、レーザー光 1 に対する反射膜 2 2 2 の反射率も、反射膜 2 2 1 の反射率と同様、レーザー光 1 の波長に依存する。

【 0 0 8 5 】

例えば、半導体レーザーアレイ 2 0 0 の利得波長が 4 5 0 n m であり、波長が 4 5 0 n m のときに 9 8 . 7 % の反射率の反射膜 2 2 2 を得たい場合、第 3 の膜厚条件を満たすように、反射膜 2 2 2 の各層の厚さを調整すればよい。図 5 には、第 3 の膜厚条件が満たされた反射膜 2 2 2 の反射率の波長依存性を示すプロファイルが示されている。

【 0 0 8 6 】

< 半導体レーザーアレイの出力 >

本実施形態に係る半導体レーザーアレイ 2 0 0 に 6 0 A の電流を注入すると、エミッター部 2 3 4 からのレーザー光 1 の総和が 7 0 W 以上 8 8 W 以下となるレーザー出力を得ることができる。

【 0 0 8 7 】

半導体レーザーアレイ 2 0 0 は 4 0 個のエミッター部 2 3 4 を有するので、1 つのエミッター部 2 3 4 に 1 . 5 A (つまり、6 0 A ÷ 4 0 個) の電流を注入すると、1 つのエミッター部 2 3 4 から最大で 2 . 2 W (8 8 W ÷ 4 0 個) の高いレーザー出力値が得られる。

【 0 0 8 8 】

< 出射端面の反射膜の反射率 >

出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率について説明する。本実施形態では、半導体レーザーアレイ 2 0 0 の利得波長における出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率 R は、関係式 (1) を満たす。

$$R_1 = R(R_{oc}) \times C \quad (1)$$

【 0 0 8 9 】

関係式 (1) において、R₁ は、電力 P₁₄ で発光層 2 1 5 がレーザー発振するときの出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率である。電力 P₁₄ は、図 6 に示すように、発光層 2 1 5 がレーザー発振する閾値電力の最小値である最小閾値電力 P_{tm} の 1 . 4 倍の電力である。R (O c) は、外部共振ミラー 2 1 0 の反射率である。C は、外部共振ミラー 2 1 0 で反射され、半導体レーザーアレイ 2 0 0 に帰還する光 4 のうち半導体レーザーアレイ 2 0 0 の光導波路部内に入射する光の割合 (以下、「カップリング効率」と称す。) である

。

【 0 0 9 0 】

(半 導 体 レーザー 素 子)

図 7 を参照しつつ、本実施形態に係る半導体レーザー素子 1 0 0 について説明する。図 7 は、本実施形態に係る半導体レーザー素子 1 0 0 を示す図である。

【 0 0 9 1 】

半導体レーザー素子 1 0 0 は、半導体レーザーアレイ 2 0 0 と同様、n 側電極 2 1 9、基板 2 1 2、共振器構造 2 1 4、p 側電極 2 8 3、反射膜 2 2 1、及び、反射膜 2 2 2 を備えている。半導体レーザー素子 1 0 0 の共振器構造 2 1 4 には、凸部 2 3 3、つまり、エミッター部 2 3 4 が 1 つのみ形成されている。半導体レーザー素子 1 0 0 のその他の構成の特徴は、半導体レーザーアレイ 2 0 0 と同じである。

10

【 0 0 9 2 】

なお、半導体レーザーアレイ 2 0 0 は、1 つのエミッター部 2 3 4 を有する半導体レーザー素子 1 0 0 を複数個有しているということもできる。

【 0 0 9 3 】

(半 導 体 レーザー アレイ の 製 造 方 法)

次に、図 8 を参照しつつ、半導体レーザーアレイ 2 0 0 の製造方法について説明する。図 8 は、実施形態に係る半導体レーザーアレイ 2 0 0 の製造工程を示す図である。

【 0 0 9 4 】

< 工 程 S 1 >

まず、主面が (0 0 0 1) 面である n 型六方晶 G a N 基板 (基板 2 1 2) を形成する。ここで、基板 2 1 2 の厚さは、例えば、4 0 0 μ m である。

20

【 0 0 9 5 】

< 工 程 S 2 >

次に、基板 2 1 2 上に共振器構造 2 1 4 を形成する。工程 S 2 は、工程 S 2 1、及び、工程 S 2 2 を含む。

< < 工 程 S 2 1 > >

まず、有機金属気相成長 (M O C V D : Metalorganic Chemical Vapor Deposition) 法で結晶成長させることで、基板 2 1 2 上に多重層 4 0 0 を形成する。具体的には、第 1 のクラッド層である第 1 の半導体層 2 1 6 と、発光層 2 1 5 と、第 2 の半導体層 2 1 7 とを形成する。

30

【 0 0 9 6 】

なお、発光層 2 1 5 を I n G a N で形成する場合、工程 S 2 1 において、I n 組成を 1 0 % 以上 1 7 % 以下程度とすることで、4 0 0 n m 以上 4 5 0 n m 以下の範囲において、エミッター部 2 3 4 ごとに異なる利得波長を有する半導体レーザーアレイ 2 0 0 を得ることができる。

【 0 0 9 7 】

< < 工 程 S 2 2 > >

次に、通常のリソグラフィを用いて、多重層 4 0 0 の表面に 1 5 μ m の幅を有するエッチングマスクをストライプ状に形成する。そして、多重層 4 0 0 のうちの第 2 の半導体層 2 1 7 に対して、塩素系ガスを用いたドライエッチングを行う。このエッチングにおいて、エッチング対象は、コンタクト層 (第 2 の半導体層 2 1 7 の最上部層)、及び、クラッド層 (コンタクト層の直下の層) であり、エッチングの深さは、コンタクト層の最上面からコンタクト層の最下面にわたる膜厚に相当する。これにより、多重層 4 0 0 に多数の凸部 2 3 3 が形成される。

40

【 0 0 9 8 】

よって、基板 2 1 2 の表面に共振器構造 2 1 4 が形成される。この共振器構造 2 1 4 は、凸部 2 3 3 の幅が 1 5 μ m、共振器長が 2 0 0 0 μ m であるエミッター部 2 3 4 を 2 0 個有する。

【 0 0 9 9 】

50

< 工程 S 3 >

共振器構造 2 1 4 の表面に、C V D 法などを用いて、絶縁膜を形成する。この絶縁膜は、二酸化ケイ素 (SiO_2) 層である。次いで、通常のリソグラフィを実行し、凸部 2 3 3 の所定領域の絶縁膜を除去する。

【 0 1 0 0 】

凸部 2 3 3 の絶縁膜が除去された領域に、Pd 及び Pt を材料として用いて p 側電極 2 8 3 を形成する。さらに、複数の p 側電極 2 8 3 を接続するように、パッド電極を形成する。

【 0 1 0 1 】

次に、基板 2 1 2 を厚さが $100\text{ }\mu\text{m}$ 程度となるように (0 0 0 - 1) 面 (基板 2 1 2 の裏面) から研磨、又はエッチングする。基板 2 1 2 を薄くすることで、最終的に完成する半導体レーザーアレイ 2 0 0 の放熱性を向上させることができる。

【 0 1 0 2 】

次に、基板 2 1 2 の裏面に、チタン及び金を蒸着し、アロイ処理を行うことにより、n 側電極 2 1 9 を形成する。

【 0 1 0 3 】

< 工程 S 4 >

次に、基板 2 1 2 の m 面の劈開性を利用して、基板 2 1 2 を劈開し、基板 2 1 2、共振器構造 2 1 4、p 側電極 2 8 3、及び、n 側電極 2 1 9 からなるアレイ本体部 1 9 9 を複数個切り出す。本実施形態では、共振器長 x が $2000\text{ }\mu\text{m}$ 、アレイ幅 W が $9000\text{ }\mu\text{m}$ であり、40 個の凸部 2 3 3 を有するアレイ本体部 1 9 9 が切り出される。

【 0 1 0 4 】

< 工程 S 5 >

次いで、アレイ本体部 1 9 9 の出射端面に SiO_2 層、及び、 Al_2O_3 層を積層することで、所定の範囲の反射率を有する反射膜 2 2 1 を形成する。

【 0 1 0 5 】

また、アレイ本体部 1 9 9 の非出射端面に、 SiO_2 層、及び、 AlON 層を積層することで、反射膜 2 2 2 を形成する。

【 0 1 0 6 】

以上、工程 S 1 ~ S 5 により、半導体レーザーアレイ 2 0 0 が形成される。

【 0 1 0 7 】

なお、半導体レーザー素子 1 0 0 は、アレイ本体部 1 9 9 を分割することで、エミッター部 2 3 4 を 1 つのみ有する素子本体部を形成し、素子本体部の出射端面に反射膜 2 2 1 を形成し、非出射端面に反射膜 2 2 2 を形成することで得られる。

【 0 1 0 8 】

(レーザーモジュールの構成)

以下、図 9 A 及び図 9 B を参照しつつ、本実施形態に係る半導体レーザーアレイ 2 0 0 が実装されたレーザーモジュール 9 0 0 について説明する。図 9 A は、レーザーモジュール 9 0 0 の斜視図であり、図 9 B は、レーザーモジュール 9 0 0 の分解斜視図である。

【 0 1 0 9 】

レーザーモジュール 9 0 0 は、レーザー発振器 1 0 (図 1 0 参照) に搭載される。

【 0 1 1 0 】

本実施形態では、半導体レーザーアレイ 2 0 0 は、上側金属ブロック 9 3 0、下側金属ブロック 9 4 0、熱伝導シート 9 6 0、及び、水冷架台 9 7 0 を備え、水冷による冷却を行う高放熱方式のモジュールとして構成されている。以下、詳細を説明する。

【 0 1 1 1 】

上側金属ブロック 9 3 0、及び、下側金属ブロック 9 4 0 は、放熱性が高い金属ブロックであり、例えば、銅で形成されている。上側金属ブロック 9 3 0、及び、下側金属ブロック 9 4 0 は、それぞれ、半導体レーザーアレイ 2 0 0 の上側及び下側に配置されている。熱伝導シート 9 6 0 は絶縁性を有する。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 2 】

レーザーモジュール 9 0 0 は、水冷架台 9 7 0 から熱伝導シート 9 6 0、及び、下側金属ブロック 9 4 0 を介して、半導体レーザーアレイ 2 0 0 が冷却可能な構造となっている。

【 0 1 1 3 】

レーザーモジュール 9 0 0 は、さらに、サブマウント 9 2 0 及び絶縁シート 9 5 0 を備えている。サブマウント 9 2 0 及び絶縁シート 9 5 0 は、半導体レーザーアレイ 2 0 0 とともに、上側金属ブロック 9 3 0、及び、下側金属ブロック 9 4 0 との間に配置されている。

【 0 1 1 4 】

半導体レーザーアレイ 2 0 0 は、エミッター部 2 3 4 を複数有しているので、レーザー発振するために必要な電力が数十 W 以上になることもある。よって、サブマウント 9 2 0 を導電性の材料で形成して、当該サブマウント 9 2 0 を電流経路として機能させてもよい。例えば、サブマウント 9 2 0 は、高放熱材料、例えば、シリコンカーバイドで形成されている。

【 0 1 1 5 】

サブマウント 9 2 0 は、絶縁性の材料で形成されていてもよい。この場合、半導体レーザーアレイ 2 0 0 と接続するサブマウント 9 2 0 の表面に金メッキ及び銅メッキなど、金属メッキを施し、導電性を確保してもよい。

【 0 1 1 6 】

なお、上側金属ブロック 9 3 0、及び、下側金属ブロック 9 4 0 は、それぞれ p 側電極 2 8 3 および n 側電極 2 1 9 を電源装置（不図示）の正電極及び負電極に接続する。

【 0 1 1 7 】

ビームツイスターユニット 2 0 6 は、半導体レーザーアレイ 2 0 0 の出射端面側に配置されている。ビームツイスターユニット 2 0 6 は、半導体レーザーアレイ 2 0 0 から出射された複数のレーザー光 1 をそれぞれ 9 0 ° 回転させ、近い波長を有する個々のレーザー光 1 の相互干渉を防いでいる。

【 0 1 1 8 】

本実施形態に係るレーザーモジュール 9 0 0 に、6 0 A のパルス電流を注入すると、6 0 W 以上 8 0 W 以下のレーザー光 1 を得ることができる。1 つのエミッター部 2 3 4 に 1 . 5 A の電流が注入されていることになる。その結果、1 つのエミッター部 2 3 4 から、最大で 2 . 0 W (8 0 W ÷ 4 0 個 (エミッター部 2 3 4 の数)) の光出力が得られる。

【 0 1 1 9 】

（レーザー発振器の構成）

本実施形態に係る加工装置は、レーザー発振器 1 0 を備えている。以下、図 1 0 を参照しつつ、本実施形態に係るレーザー発振器 1 0 について説明する。図 1 0 は、本実施形態に係る加工装置に用いられるレーザー発振器 1 0 を示す図である。なお、冷却水の経路及び電源装置については、図 1 0 から省略している。

【 0 1 2 0 】

レーザー発振器 1 0 は、5 つのレーザーモジュール 9 0 1 ~ 9 0 5 を備えている。それぞれのレーザーモジュール 9 0 1 ~ 9 0 5 に、上述したレーザーモジュール 9 0 0 が適用される。また、図 1 0 には、それぞれのレーザーモジュール 9 0 1 ~ 9 0 5 に、半導体レーザーアレイ 2 0 1 ~ 2 0 5 が搭載されていることが示されている。

【 0 1 2 1 】

レーザー発振器 1 0 は、さらに、筐体 1 1、複数のミラー 1 7、回折格子 2 0 8、及び、外部共振ミラー 2 1 0 を備えている。

【 0 1 2 2 】

筐体 1 1 は、例えば、ステンレス製であり、筐体 1 1 の内部には、レーザーモジュール 9 0 1 ~ 9 0 5 が配置されている。実際には、レーザーモジュール 9 0 1 ~ 9 0 5 は扇状に並んでいる。図 1 0 には、レーザーモジュール 9 0 1、レーザーモジュール 9 0 2、レ

10

20

30

40

50

ーザーモジュール 903、レーザーモジュール 904 及びレーザーモジュール 905 の順に並んでいることが示されている。レーザーモジュール 901 ~ 905 は、電源装置から直列に電流が注入され、レーザー光 1 を出射する。

【0123】

筐体 11 の内部には、複数のミラー 17、回折格子 208、及び、外部共振ミラー 210 が配置されている。

【0124】

レーザーモジュール 901 ~ 905 から出射されたレーザー光 1 は、複数のミラー 17 によって、回折格子 208 に集光される。本実施形態では、回折格子 208 は、透過型の回折格子であり、半導体レーザーアレイ 201 ~ 205 の出射端面から回折格子 208 までの距離（光路長）が 2.6 m となるように配置されている。

10

【0125】

回折格子 208 に対するレーザー光 1 の入射角 θ_1 は、レーザー光 1 の出射元のレーザーモジュールの位置によって異なる。レーザーモジュール 901、902、903、904、905 からのレーザー光 1 の入射角 θ_1 は、それぞれ 21.6° 、 22.4° 、 23.2° 、 24.0° 、 24.8° であり、 0.8° 刻みで変化している。回折格子 208 から出射される外部共振光 2 の出射角 θ_2 は 70° である。

【0126】

本実施形態に係るレーザー発振器 10 における半導体レーザーアレイ 201 ~ 205 のロック波長、並びに、回折格子の溝周期、及び、格子定数等の条件は、以下の表 3 に示されている。

20

【0127】

【表 3】

波長ビーム結合型加工装置に用いられる高出力レーザ発振器の構成		計算値									
項目	半導体レーザアレイ	回折格子溝周期	回折格子周期 d	出射角 β	入射角 α	次数 m	$\sin \beta$	$\sin \alpha$	半導体レーザアレイのロック波長		
									中心	左端	右端
単位	符号	本/mm	μ m	deg	deg	-	-	-	nm	nm	nm
	201	3000	0.333	70	21.6	1	0.940	0.368	435.9	435.4	436.4
	202	3000	0.333	70	22.4	1	0.940	0.381	440.3	439.8	440.8
	203	3000	0.333	70	23.2	1	0.940	0.394	444.5	444.0	445.0
	204	3000	0.333	70	24.0	1	0.940	0.407	448.8	448.3	449.3
	205	3000	0.333	70	24.8	1	0.940	0.419	453.0	452.5	453.5

レーザー発振器 10 は、外部共振ミラー 210 と半導体レーザーアレイ 201 ~ 205 の非出射端面の反射膜 222 との間で共振を起こし、一部をレーザー光 3 として出射させる。なお、外部共振ミラー 210 の反射率は、15% に設定されている。

【0129】

レーザー発振器 10 において、カップリング効率は、ミラー 17 及び光学部品（不図示）の光軸の調整を行うことで、15% 程度に設定されている。

【0130】

（レーザー発振器の製造方法）

上述のレーザー発振器 10 は以下のようにして組み立てられる。まず、複数のレーザーモジュール 900、回折格子 208、複数のミラー 17、及び、外部共振ミラー 210 を収容することができ、かつ、それらの配置位置を微調整することができる程度の容量を有する筐体 11 を準備する。

10

【0131】

次に、複数のミラー 17、回折格子 208、及び、外部共振ミラー 210 を配置する。このとき、複数のミラー 17、回折格子 208、及び、外部共振ミラー 210 の位置を調整するとともに、外部共振時に光軸ずれが発生しないようにするために光軸調整を行う。

【0132】

次いで、複数のレーザーモジュール 900 を準備する。そして、準備したレーザーモジュール 900 に含まれる半導体レーザーアレイ 200 に対して事前測定を行う。事前測定では、半導体レーザーアレイ 200 で内部共振を発生させ、レーザー発振させる。

20

【0133】

事前測定において、レーザー発振器 10 で使用する電流値における、半導体レーザーアレイ 200 の右端部（一端部）、左端部（他端部）、及び、中央部の各利得波長を測定しておくことが望ましい。電流が流れることで、エミッター部 234 が発熱し、半導体レーザーアレイ 200 の発光層 215 のバンドギャップ、つまり、利得波長が変化し、その結果、半導体レーザーアレイ 200 の位置によって利得波長がばらつくためである。

【0134】

また、半導体レーザーアレイ 200 の出来栄によって、出力値や諸特性が変化するため、一定電流値での光出力や、レーザー発振に必要な閾値電流、閾値電圧、すなわち、閾値電力を測定しておくことが望ましい。

30

【0135】

測定した利得波長の値から、レーザー発振器 10 のロック波長と合致する半導体レーザーアレイ 200 を有するレーザーモジュール 900 を選別する。このとき、内部共振で、光出力が効率的に得られる半導体レーザーアレイ 200 を有するレーザーモジュール 900 を選ぶことが望ましい。選別されたレーザーモジュール 900 が、レーザーモジュール 901 ~ 905 として使用される。

【0136】

次いで、筐体 11 内部の適切な位置にレーザーモジュール 901 ~ 905 を配置する。その後、散乱光が筐体 11 の外部に漏れないように、筐体 11 の蓋（不図示）を閉じる。

【0137】

以上により、レーザー発振器 10 が完成する。その後、レーザー発振器 10 の冷却機構を機能させた後、電源装置の電源を投入し、外部共振ミラー 210 から出射されるレーザー光 3 の出力値や品質を測定することで、レーザー発振器 10 の出来栄を評価する。

40

【0138】

なお、レーザーモジュール 900 が半導体レーザーアレイ 200（つまり、複数の半導体レーザー素子 100）を有しているとして説明したが、レーザーモジュール 900 が単一の半導体レーザー素子 100 を有していてもよい。すなわち、レーザー発振器 10 は、単一の半導体レーザー素子 100 を 1 つのみ有するレーザーモジュール 900 を複数個有していてもよい。

【0139】

50

[実施例]

次に、図 1 1 ~ 図 1 3、図 1 4 A 及び図 1 4 B を参照しつつ、実施例に基づいて関係式 (1) の根拠を説明する。

【 0 1 4 0 】

図 1 1 は、実施例に係る半導体レーザーアレイ 2 0 0 の出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率と、加工装置に用いられるレーザー発振器 1 0 の光出力との関係を示す図である。図 1 2 は、実施例に係る半導体レーザーアレイ 2 0 0 のエミッター部 2 3 4 を n 側電極 2 1 9 側から見た時の図であり、出射端面近傍を示している。図 1 3 は、実施例に係る半導体レーザーアレイ 2 0 0 における、閾値電力と出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率の関係を示す図である。図 1 3 の縦軸は、閾値電力の最小値 (つまり、 P_{tm}) を 1 0 0 % としたときの閾値電力の比率 (以下、「閾値電力比」と称す。) を示しており、図 1 3 の横軸は、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率を示している。図 1 4 A 及び図 1 4 B は、実施例に係る加工装置に用いられるレーザー発振器 1 0 から外部共振によって出力されたレーザー光の波長スペクトルを示す図である。図 1 4 A は、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率が 0 . 1 6 %、及び、利得波長が 4 4 0 nm という条件下において得られたスペクトルであり、図 1 4 B は、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率が 3 . 3 %、及び、利得波長が 4 3 8 nm という条件下において得られたスペクトルである。

10

【 0 1 4 1 】

本実施例では、上述の実施形態に沿って、半導体レーザーアレイ 2 0 0 をレーザーモジュール 9 0 0 に実装し、そのレーザーモジュール 9 0 0 を複数搭載したレーザー発振器 1 0 を製造した。

20

【 0 1 4 2 】

まず、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率が 0 . 0 7 %、0 . 1 6 %、0 . 2 5 %、0 . 3 5 %、0 . 4 6 %、0 . 5 5 %、0 . 6 6 %、0 . 7 5 %、0 . 8 5 %、0 . 9 5 %、1 . 0 %、2 . 2 %、3 . 3 %、4 . 0 %、及び、5 . 5 % にそれぞれ設定された半導体レーザーアレイ 2 0 0 を 1 0 個ずつ (計 1 5 0 個) 準備した。なお、反射膜 2 2 1 を構成する誘電体層の膜厚の構成を変更することで、反射膜 2 2 1 の反射率を変更し、1 5 水準の反射率となるように設定した。なお、同一の反射率を有する半導体レーザーアレイ 2 0 0 は、互いに略同一の特性を有し、かつ、上述の表 3 のロック波長に合致する。

【 0 1 4 3 】

30

次に、半導体レーザーアレイ 2 0 0 を 1 つずつレーザーモジュール 9 0 0 に実装し、1 5 0 個のレーザーモジュール 9 0 0 を形成した。そして、各半導体レーザーアレイ 2 0 0 を内部共振によりレーザー発振させた。さらに、各水準において、1 0 個のレーザーモジュール 9 0 0 の中から、ロック波長と利得波長が整合する半導体レーザーアレイ 2 0 0 を有するレーザーモジュール 9 0 0 を 5 個選別した。

【 0 1 4 4 】

そして、選別したレーザーモジュール 9 0 0 を用いて、1 5 水準毎にレーザー発振器 1 0 を製造した。なお、選別したレーザーモジュール 9 0 0 を配置する際、光軸調整を実行した。

【 0 1 4 5 】

40

その後、各レーザー発振器 1 0 において、冷却機構を機能させ、電源を入れ、外部共振ミラー 2 1 0 から出射されるレーザー光 3 の出力値を測定した。

【 0 1 4 6 】

図 1 1 に示されているように、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率が 0 . 3 5 % 以上、かつ、反射率 2 . 2 % 以下の範囲にあるときのレーザー発振器 1 0 の出力値に対して、反射率が 0 . 3 5 % 未満、及び、反射率 2 . 2 % よりも大きい範囲にあるときの出力値が小さくなっていることを確認した。この結果は、反射率が 0 . 3 5 % 未満、及び、反射率 2 . 2 % よりも大きい範囲において、レーザー発振器 1 0 の基本性能である光出力が減少していると言える。

【 0 1 4 7 】

50

発明者は、図 11 の結果について、反射率 0.35% を境に、反射率が小さくなるほど光出力値が減少する原因（以下、「原因 1」と称す。）、および、反射率 2.2% を境に反射率が大きくなるほど光出力が減少する原因（以下、「原因 2」と称す。）を解析した。

【0148】

< 原因 1 >

各レーザー発振器 10 からレーザーモジュール 900 を取り出し、内部共振にて、半導体レーザーアレイ 200 をレーザー発振させた。反射率が 0.07%、0.16%、及び、0.25% の反射膜 221 を有する半導体レーザーアレイ 200 において、40 個のエミッター部 234 のうち、複数のエミッター部 234 が発光していないことが判明した。

10

【0149】

さらに、当該レーザーモジュール 900 から、半導体レーザーアレイ 200 を取り出し、n 側電極 219 側から半導体レーザーアレイ 200 のエミッター部 234 を観察した。

【0150】

その結果、図 12 に示されているように、エミッター部 234 に対応する領域が観察された。図 12 には、エミッター部 234 が 5 個示されており、その中に非発光のエミッター部 234 は 3 個あった。また、その 3 個のエミッター部 234 の出射端面近傍には、結晶欠陥 600 が発生していることが確認された。

【0151】

なお、n 側電極 219 は、基板 212 の裏面におけるエミッター部 234 の直下の領域には配置されていないため、エミッター部 234 の発光強度や結晶欠陥 600 の有無を可視化できる。

20

【0152】

発明者は、図 12 の結果から以下の結論に達した。半導体レーザーアレイ 200 の出射端面の反射率が非常に小さい場合に、内部共振により半導体レーザーアレイ 200 をレーザー発振させるためには、エミッター部 234 に比較的大きな電力を注入する必要がある。その電力を注入することで、エミッター部 234 に比較的大きな熱負荷がかかり、結晶欠陥 600 が発生した。

【0153】

以下、上述の結論について詳細を説明する。

30

【0154】

レーザー発振器 10 を製造する際、準備したレーザーモジュール 900 に対して、事前測定により、利得波長、及び、諸特性（例えば、レーザー光 1 の出力値及び半導体特性等）を調べる必要がある。利得波長の測定は、レーザーモジュール 900 を選別する作業を行うために必要な測定である。

【0155】

事前測定の際に、少なくとも 1 回は、内部共振により、半導体レーザーアレイ 200 をレーザー発振させる必要がある。

【0156】

半導体レーザーアレイ 200 において内部共振させる場合において、注入電力が閾値電力に達するまでに供給されている電力のエネルギーは、すべて熱エネルギーに変換される。エミッター部 234 内部での熱負荷が大きくなると、共振器構造 214 やエミッター部 234 における応力がかかる部位に結晶欠陥 600 が発生しやすくなる。

40

【0157】

結晶欠陥 600 を含むエミッター部 234 を有する半導体レーザーアレイ 200 が搭載されたレーザー発振器 10 において、外部共振を発生させた場合、結晶欠陥 600 は、発光層 215 まで広がり、最終的には、発光層 215 を構成する結晶が破壊されてしまう。

【0158】

<< 結晶欠陥が生じ始める電力について >>

上述の結論から考えると、閾値電力が最も小さくなるように出射端面の反射膜 221 の

50

反射率を設定すればよいと思われる。

【 0 1 5 9 】

共振器長 x やエミッター部 2 3 4 の形状によって、最小の閾値電力（最小閾値電力 P_{tm} ）を示す出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率は異なる。共振器長が $2000\ \mu\text{m}$ である半導体レーザーアレイ 2 0 0 に、内部共振によりレーザー発振させる場合、閾値電力が最小となる反射膜 2 2 1 の反射率は 5 . 5 % である。

【 0 1 6 0 】

実際に、実施例では、共振器長が $2000\ \mu\text{m}$ である半導体レーザーアレイ 2 0 0 が製造されており、当該半導体レーザーアレイ 2 0 0 において、図 1 3 に示されているように、閾値電力は、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率が 5 . 5 % のときに最小値を示した。

10

【 0 1 6 1 】

しかしながら、図 1 1 に示されているように、反射膜 2 2 1 の反射率を 5 . 5 % とすると、レーザー発振器 1 0 の光出力値が小さくなってしまう。このため、本実施形態の半導体レーザーアレイ 2 0 0 の反射膜 2 2 1 は、5 . 5 % よりも小さくする必要があると言える。

【 0 1 6 2 】

図 1 3 に示されているように、反射率が 0 . 3 5 % 以下かつ 0 . 1 6 % 以上の範囲において、反射率が小さくなるほど、閾値電力比が大きくなる傾向があった。よって、レーザー発振器 1 0 の光出力が低下しはじめる反射率である 0 . 3 5 % を反射率の下限とするのがよい。その時の閾値電力は、エミッター部 2 3 4 に結晶欠陥 6 0 0 が生じない電力範囲のうちの最大値に相当すると言える。図 1 3 により、反射率が 0 . 3 5 % のときの閾値電力は、反射率が 5 . 5 % のときの閾値電力（最小閾値電力 P_{tm} ）の 1 . 4 倍であった。

20

【 0 1 6 3 】

以上説明したように、図 1 1 ~ 1 3 から、以下の結論を得た。半導体レーザーアレイ 2 0 0 に、最小閾値電力 P_{tm} の 1 . 4 倍を超える電力が供給されると、エミッター部 2 3 4 に結晶欠陥 6 0 0 を発生させてしまう。その結晶欠陥 6 0 0 が発光層 2 1 5 を破壊したため、レーザー発振器 1 0 の光出力が低下した。

【 0 1 6 4 】

また、共振器長が $2000\ \mu\text{m}$ のとき、反射率 R の下限を 0 . 3 5 % と決めるのがよい。より一般化すると、反射率 R の下限を、最小閾値電力 P_{tm} の 1 . 4 倍の電力で半導体レーザーアレイ 2 0 0 がレーザー発振するときの反射膜 2 2 1 の反射率と決めるのがよい。

30

【 0 1 6 5 】

< 原因 2 >

まず、反射率が 3 . 3 % の反射膜 2 2 1 を有する半導体レーザーアレイ 2 0 0 を搭載しているレーザーモジュール 9 0 0 が配置されたレーザー発振器 1 0 について、レーザー光 3 の波長スペクトルを調べた。ここで、レーザー発振器 1 0 の 5 個のレーザーモジュール 9 0 0 の 1 つを外部共振によりレーザー発振させ、分光器によって、レーザー発振器 1 0 から得られるレーザー光 3 の波長スペクトルを解析した（図 1 4 B 参照）。

【 0 1 6 6 】

40

また、比較のため、反射率が 0 . 1 6 % の反射膜 2 2 1 を有する半導体レーザーアレイ 2 0 0 を搭載しているレーザーモジュール 9 0 0 が配置されたレーザー発振器 1 0 について、同様にしてレーザー光 3 の波長スペクトルを調べた（図 1 4 A 参照）。

【 0 1 6 7 】

図 1 4 A 及び図 1 4 B の波長スペクトルは、レーザーモジュール 9 0 0 が有する利得波長から $\pm 3 . 0\ \text{nm}$ の範囲においてロック波長を変更して、各ロック波長においてレーザー光 3 を出力させ、当該レーザー光 3 の波長スペクトルを取得し、取得した波長スペクトルを並べることで生成されている。なお、ロック波長は、回折格子 2 0 8 に対するレーザーモジュール 9 0 0 の相対的な向きを変更することで調整した。

【 0 1 6 8 】

50

図 1 4 A に示されているように、反射率 0 . 1 6 % の波長スペクトルには、内部共振で得られる光のスペクトルピーク 7 0 1 (後述) が存在せず、外部共振で得られる光のスペクトルピーク 7 0 0 のみが存在しており、さらに、スペクトルピーク 7 0 0 がロック波長の変化とともに、高い波長側又は低波長側に推移していることが分かった。以下、このような特徴を「理想スペクトル特徴」と称す。また、図 1 4 A の波長スペクトルによれば、ロック波長が $\pm 3 . 0 \text{ nm}$ 変化したとしても、外部共振が発生していることが分かった。

【 0 1 6 9 】

W B C 型の加工装置に用いられるレーザー発振器 1 0 から得られる波長スペクトルは、上述の理想スペクトル特徴を有することが望ましい。

【 0 1 7 0 】

しかしながら、反射率が 3 . 3 % の波長スペクトルには、図 1 4 B に示されているように、ロック波長を $4 3 8 \text{ nm}$ から $\pm 1 . 5 \text{ nm}$ ずらしたところで、内部共振で得られる光のスペクトルピーク 7 0 1 が存在しているが分かった。

【 0 1 7 1 】

このように、内部共振に起因するスペクトルピーク 7 0 1 と外部共振に起因するスペクトルピーク 7 0 0 が混在する理由は、以下のように考えるのが妥当である。図 4 A に示されているように、 $4 3 8 \text{ nm}$ から所定の値 ($1 . 5 \text{ nm}$ よりも大きい値) 低波長側にずらした波長のときに、反射膜 2 2 1 の反射率が 2 . 2 % より大きくなる。そして、当該ずらした波長において、半導体レーザーアレイ 2 0 0 で内部共振が発生してしまう。

【 0 1 7 2 】

内部共振の影響が比較的大きい場合、その内部共振は、外部共振によるレーザー出力値の低下の要因となる。

【 0 1 7 3 】

したがって、反射膜 2 2 1 の反射率を特定の値よりも大きい値に設定された半導体レーザーアレイ 2 0 0 を用いてレーザー発振器 1 0 を製造する場合、以下の要因 1 ~ 3 が満たされると、当該半導体レーザーアレイ 2 0 0 の一部のエミッター部 2 3 4 が内部共振によりレーザー発振すると考えることができる。また、当該レーザー発振より発振されたレーザー光 1 は、外部共振に起因して発振されたものではないため、レーザー発振器 1 0 の光出力に寄与しない。むしろ、レーザー発振器 1 0 の光出力を低下させると考えることができる。

(要因 1) 半導体レーザーアレイ 2 0 0 のエミッター部 2 3 4 毎の利得波長のばらつきが一定値よりも大きい。

(要因 2) 反射膜 2 2 1 の反射率のばらつきが一定値よりも大きい。

(要因 3) 利得波長とロック波長のずれが一定値よりも大きい。

【 0 1 7 4 】

上述の特定の値とは、およそ 2 . 2 % より大きい値、つまり、外部共振ミラー 2 1 0 の反射率 1 5 % とカップリング効率 1 5 % の積である 2 . 2 2 5 % よりも大きい値である。

【 0 1 7 5 】

例えば、本実施例において、反射膜 2 2 1 の反射率が 5 . 5 % に設定された半導体レーザーアレイ 2 0 0 を有するレーザー発振器 1 0 では、外部共振によりレーザー光 3 を出力させているとき、光出力の低下量から見積もると (図 1 1 参照)、約 6 % ものエミッター部 2 3 4 が内部共振によりレーザー発振していると推定することができる。

【 0 1 7 6 】

上述した事項を踏まえて、発明者は、本実施例において、レーザー発振器 1 0 内の一部のエミッター部 2 3 4 において、内部共振の帰還率が外部共振の帰還率より大きくなり、光出力が減少していると結論付けた。また、発明者は、外部共振ミラー 2 1 0 の反射率とカップリング効率 C との積と一致する反射率が、レーザー発振器 1 0 の光出力値が低下しはじめる臨界点であり、その臨界点を上限に決定するとよいと結論づけた。これより、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率 R が関係式 (1) を満たすことにより、半導体レーザーアレイ 2 0 0 に結晶欠陥 6 0 0 を発生させることなく事前測定を実行できるとともに、外部

10

20

30

40

50

共振によりレーザー光 3 を発振させる際に、内部共振の影響を最小限に抑制できるので、レーザー出力値の低下を抑制できるという結論が導かれる。

【0177】

本実施例では、半導体レーザーアレイ 200 の実施形態に基づいて実施したが、半導体レーザー素子 100 が用いられる場合であっても、同様の結論が導かれる。

【0178】

以上説明した通り、実施形態に係る半導体レーザー素子 100 は、外部共振ミラー 210 を有する WBC の加工装置が備えるレーザー発振器 10 に配置される半導体レーザー素子 100 であって、レーザー光 1 を発光する発光層 215 を有する共振器構造 214 と、共振器構造 214 の非出射端面及び出射端面にそれぞれ設けられ、レーザー光 1 を反射させる反射膜 222 及び反射膜 221 と、を備えている。また、共振器構造 214 がレーザー発振する最低電力である閾値電力の最小値（最小閾値電力 P_{tm} ）の 1.4 倍の電力 P_{14} で共振器構造 214 がレーザー発振するときの反射膜 221 の反射率を R_1 、外部共振ミラー 210 の反射率を $R(oc)$ 、及び、共振器構造 214 内に外部共振ミラー 210 からの反射光が入射する割合であるカップリング効率を C としたとき、半導体レーザー素子 100 の利得波長における反射膜 221 の反射率 R は、上述の関係式 (1) を満たす。

【0179】

実施形態に係る加工装置が備えるレーザー発振器 10 は、単一の半導体レーザー素子 100 を含むレーザーモジュール 900 を備えている。

【0180】

実施例で説明したように、実施形態によれば、半導体レーザー素子 100 を用いてレーザー発振器 10 を製造する際、事前測定において、内部共振によりレーザー発振させたとしても、半導体レーザー素子 100 に結晶欠陥が生じない。よって、レーザー発振器 10 のレーザー出力値が低下しない。また、レーザー発振器 10 において外部共振によりレーザー光 3 を発振させる際、外部共振の光出力に対して内部共振が与える影響が小さいので、内部共振に起因するレーザー発振器 10 のレーザー出力値の低下が抑制される。よって、加工装置に用いられるレーザー発振器 10 に適したレーザー光 3 が得られる。

【0181】

したがって、レーザー発振器 10 の高出力化、ひいては、加工装置の高出力化を図ることができる。

【0182】

また、結晶欠陥を有する半導体レーザー素子 100 をレーザー発振器 10 に組み込まずに済むので、レーザー発振器 10、つまり、加工装置の出力値を安定させることができる。

【0183】

本実施形態に係る半導体レーザー素子 100 は、事前測定が実行されたとしても、各エミッター部 234 に結晶欠陥が発生しないので、結晶欠陥の存在を調べる特殊な測定及び解析が不要である。よって、レーザー出力値が安定したレーザー発振器 10 を簡便に製造できる。

【0184】

実施形態に係る半導体レーザーアレイ 200 は、上述の半導体レーザー素子 100 を複数有する。また、実施形態に係る加工装置が備えるレーザー発振器 10 は、半導体レーザーアレイ 200 を含むレーザーモジュール 900 を備える。よって、半導体レーザー素子 100 を用いてレーザー発振器 10 を製造する場合と同様の効果が得られる。

【0185】

また、事前測定の終了時から半導体レーザーアレイ 200 をレーザー発振器 10 に組み込むまでの間に、半導体レーザーアレイ 200 の各エミッター部 234 に存在する結晶欠陥を測定や解析により発見することは困難である。当然ながら、レーザー発振器 10 に組み込む前に、半導体レーザーアレイ 200 から結晶欠陥が発生したエミッター部 234 だ

けを選んで除去することも困難と言える。

【 0 1 8 6 】

上述したように、本実施形態に係る半導体レーザーアレイ 2 0 0 は、事前測定が実行されたとしても、各エミッター部 2 3 4 に結晶欠陥が発生しないので、結晶欠陥の存在を調べる特殊な測定及び解析が不要である。よって、レーザー出力値が安定したレーザー発振器 1 0 を簡便に製造できる。

【 0 1 8 7 】

実施形態に係る半導体レーザーアレイ 2 0 0 は、複数の半導体レーザー素子 1 0 0 を一組として構成された部品である。つまり、半導体レーザーアレイ 2 0 0 は、レーザー光源を複数有する部品である。よって、半導体レーザー素子 1 0 0 毎にレーザーモジュール 9 0 0 を製造して、当該レーザーモジュール 9 0 0 をレーザー発振器 1 0 に組み込む場合と比べて、レーザー発振器 1 0 に組み込むべきレーザーモジュール 9 0 0 の数を少なくすることができる。

10

【 0 1 8 8 】

[変形例 1]

以下、変形例 1 について、主に実施形態と異なる点を説明する。

【 0 1 8 9 】

変形例 1 に係る半導体レーザー素子 1 0 0 及び半導体レーザーアレイ 2 0 0 が有する反射膜 2 2 1 は、実施形態の反射膜 2 2 1 と比べて、反射率のばらつきが小さい。つまり、変形例 1 に係る反射膜 2 2 1 は、位置にかかわらず、一定の反射率を有する。また、変形例 1 に係る加工装置に用いられるレーザー発振器 1 0 における利得波長とロック波長のずれが、実施形態に係る加工装置に用いられるレーザー発振器 1 0 における利得波長とロック波長のずれよりも小さい。

20

【 0 1 9 0 】

変形例 1 では、反射膜 2 2 1 の反射率のばらつきを小さくするために、反射膜 2 2 1 を構成する各層（誘電体層）の厚さを精密に制御している。また、利得波長とロック波長のずれを小さくするために、レーザー発振器 1 0 に組み込むレーザーモジュール 9 0 0 を選別する際に、より利得波長とロック波長のずれが小さい半導体レーザー素子 1 0 0 又は半導体レーザーアレイ 2 0 0 を有するレーザーモジュール 9 0 0 を選別する。

【 0 1 9 1 】

変形例 1 に係る半導体レーザー素子 1 0 0 及び半導体レーザーアレイ 2 0 0 の利得波長における出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率 R は、関係式 (2) を満たす。すなわち、変形例 1 の反射率 R の上限は、実施形態の反射率 R の上限の 2 倍である。

30

$$R_1 \leq R_2 \times R(O_c) \times C \quad (2)$$

【 0 1 9 2 】

以下、関係式 (2) の根拠を説明する。

【 0 1 9 3 】

< 実施例における別の上限 (1) >

発明者は、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率の上限について、実施例の結果を踏まえてさらに鋭意検討を行った。以下、その詳細を説明する。

40

【 0 1 9 4 】

半導体レーザーアレイ 2 0 0 の出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率のばらつき、及び、利得波長とロック波長のずれが小さくなるようにしてレーザー発振器 1 0 を製造した。具体的には、反射膜 2 2 1 を構成する各層（誘電体層）の厚さを精密に制御することで、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率のばらつきを小さくした。また、ロック波長により近い利得波長を有する半導体レーザーアレイ 2 0 0 を選別することで、利得波長とロック波長のずれを小さくした。

【 0 1 9 5 】

その結果、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率が、レーザー発振器 1 0 の外部共振ミラー 2 1 0 の反射率とカップリング効率の積が、 $2.225\% (1.5\% \times 1.5\%)$ の 2 倍

50

と一致する値の反射率となるように設定した場合でも、レーザー発振器 10 の光出力値が低下しないことを確認した。

【0196】

すなわち、半導体レーザーアレイ 200 の出射端面の反射膜 221 の反射率のばらつき、及び、利得波長とロック波長のずれを小さくできれば、反射膜 221 の反射率を比較的大きくしても、レーザー発振器 10 の光出力値が低下しないことを確認した。

【0197】

上述した別の上限 (1) に関する鋭意検討結果は、半導体レーザー素子 100 が用いられる場合であっても、同じである。

【0198】

以上説明したように、変形例 1 によれば、出射端面の反射膜 221 の反射率を比較的大きい値に設定したとしても、出射端面の反射膜 221 の反射率 R が関係式 (2) を満たしているので、内部共振の影響を小さく抑えることができ、レーザー発振器 10 の出力値、すなわち、加工装置の出力値が低下しない。

【0199】

[変形例 2]

以下、変形例 2 について、主に変形例 1 と異なる点を説明する。

【0200】

変形例 2 に係る半導体レーザー素子 100 及び半導体レーザーアレイ 200 が有する出射端面の反射膜 221 は、変形例 1 の反射膜 221 と比べて、反射率のばらつきが小さい。また、変形例 2 に係る加工装置に用いられるレーザー発振器 10 における利得波長とロック波長のずれが、変形例 1 に係る加工装置に用いられるレーザー発振器 10 での利得波長とロック波長のずれよりも小さい。

【0201】

変形例 2 では、出射端面の反射膜 221 を構成する各層 (誘電体層) の厚さをより厳密に制御している。また、レーザー発振器 10 に組み込むレーザーモジュール 900 を選別する際に、ロック波長が一致する又はより一層近い利得波長を有する半導体レーザー素子 100 又は半導体レーザーアレイ 200 を有するレーザーモジュール 900 を選別する。

【0202】

さらに、共振器構造 214 の生成時、発光層 215 の成長温度の分布を抑制している。これにより、最終的に形成される複数のエミッター部 234 の利得波長のばらつきが小さくなる。また、複数のエミッター部 234 の利得波長がレーザー発振器 10 のロック波長と同じ又は比較的近い値になる。

【0203】

変形例 2 に係る半導体レーザー素子 100 及び半導体レーザーアレイ 200 の利得波長における出射端面の反射膜 221 の反射率 R は、関係式 (3) を満たす。すなわち、変形例 2 の出射端面の反射率 R の上限は、実施形態の反射率 R の上限の 3 倍である。

$$R_1 \leq R \leq 3 \times R(Oc) \times C \quad (3)$$

【0204】

以下、関係式 (3) の根拠を説明する。

【0205】

<実施例における別の上限 (2)>

発明者は、出射端面の反射膜 221 の反射率の上限について、実施例の結果、及び、上述の別の上限 (1) の結果を踏まえ、さらに鋭意検討を行った。以下、その詳細を説明する。

【0206】

半導体レーザーアレイ 200 の反射膜 221 の反射率のばらつき、及び、利得波長とロック波長のずれをより一層小さくするようにしてレーザー発振器 10 を製造した。

【0207】

具体的には、出射端面の反射膜 221 を構成する各層 (誘電体層) の厚さをより厳密に

10

20

30

40

50

制御することで、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率のばらつきを小さくした。また、利得波長がレーザー発振器 1 0 のロック波長と一致する又はより一層近い利得波長を有する半導体レーザーアレイ 2 0 0 を選別することで、利得波長とロック波長のずれをより一層小さくした。

【 0 2 0 8 】

さらに、半導体レーザーアレイ 2 0 0 の製造時、発光層 2 1 5 の成長温度の分布を抑制して、最終的に形成される複数のエミッター部 2 3 4 の利得波長のばらつきを小さくした。これにより、複数のエミッター部 2 3 4 の利得波長がレーザー発振器 1 0 のロック波長と同じ又は比較的近い値になった。

【 0 2 0 9 】

その結果、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率が、レーザー発振器 1 0 の外部共振ミラー 2 1 0 の反射率とカップリング効率の積が、 2.225% ($1.5\% \times 1.5\%$) の 3 倍と一致する値の反射率となるように設定した場合でもレーザー発振器 1 0 の光出力値が低下しないことを確認した。

【 0 2 1 0 】

すなわち、半導体レーザーアレイ 2 0 0 の出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率のばらつき、及び、利得波長とロック波長のずれをより一層小さくできれば、反射膜 2 2 1 の反射率を比較的大きくしても、レーザー発振器 1 0 の光出力値が低下しないことを確認した。

【 0 2 1 1 】

上述した別の上限 (2) に関する鋭意検討結果は、半導体レーザー素子 1 0 0 が用いられる場合であっても、同じである。

【 0 2 1 2 】

以上説明したように、変形例 2 によれば、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率をさらに大きい値に設定したとしても、出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率 R が関係式 (3) を満たしているので、内部共振の影響を小さく抑えることができ、レーザー発振器 1 0 の出力値、すなわち、加工装置の出力値が低下しない。

【 0 2 1 3 】

[変形例 3]

以下、変形例 3 について、主に実施形態と異なる点を説明する。

【 0 2 1 4 】

変形例 3 に係る半導体レーザー素子 1 0 0 及び半導体レーザーアレイ 2 0 0 の発光層 2 1 5 の利得波長は、 350 nm 以上 450 nm 以下の範囲にあり、共振器長は $1200\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $3000\text{ }\mu\text{m}$ 以下の範囲にある。

【 0 2 1 5 】

また、共振器長を x としたとき、半導体レーザー素子 1 0 0 又は半導体レーザーアレイ 2 0 0 の利得波長における出射端面の反射膜 2 2 1 の反射率 R は、関係式 (4) を満たす。

$$R = 0.3568 e^{-0.001x} \quad (4)$$

【 0 2 1 6 】

また、反射率 R は、さらに、関係式 (5) を満たす。

$$0.8613 e^{-0.003x} < R \quad (5)$$

【 0 2 1 7 】

関係式 (4) 及び (5) を満たす反射率 R の範囲は、反射膜 2 2 1 の製造上、実現可能な数値範囲である。よって、変形例 3 によれば、製造する半導体レーザー素子 1 0 0、又は、半導体レーザーアレイ 2 0 0、及びレーザー発振器 1 0 の構成 (特に、共振器長) を予め決めれば、共振器長に応じて、関係式 (4) 及び (5) を満たすように反射膜 2 2 1 の反射率 R を設定することで、実施形態と同様の効果が得られる。なお、共振器長が $1200\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $3000\text{ }\mu\text{m}$ 以下に設定されている限り、関係式 (4) に基づいて算出される上限値が、関係式 (5) に基づいて算出される下限値よりも小さくなることはない。

【 0 2 1 8 】

10

20

30

40

50

変形例 3 のように、半導体レーザー素子 100 及び半導体レーザーアレイ 200 が、窒化物半導体で形成され、かつ、利得波長が 350 nm 以上 480 nm 以下の発光層 215 を備える場合、共振器長が 1200 μ m 以上 3000 μ m 以下の範囲で高い光出力値が得られる。さらに、窒化物半導体で形成された発光層 215 には、GaAs や InP 等の他の材料で形成された発光層に比べて、事前測定の際に結晶欠陥が発生しやすい。

【0219】

すなわち、変形例 3 によれば、半導体レーザー素子 100 及び半導体レーザーアレイ 200 が、比較的結晶欠陥が発生しやすい材料で形成されていたとしても、関係式 (4) 及び (5) を満たすように反射膜 221 の反射率を設定することで、実施形態と同様の効果を確実に得ることができる。

【0220】

以下、変形例 3 により、上述の効果が得られる理由を説明する。

【0221】

発明者は、実施例の結果を踏まえて、共振器長が異なっており、かつ、他の構成は実施例の半導体レーザーアレイ 200 と同じ半導体レーザーアレイ 200 について、理想的な出射端面の反射膜 221 の反射率の上限及び下限について鋭意検討を行った。

【0222】

まず、発明者は、共振器長が 1200 μ m、1500 μ m、及び、3000 μ m のときの出射端面の反射膜 221 の反射率の上限及び下限を推定した。

【0223】

ここで、発明者は、下限として、内部共振によりレーザー発振させたとしても半導体レーザーアレイ 200 に結晶欠陥 600 が生じず、レーザー発振器 10 の光出力値が低下しない最小の反射率を、以下の (a) ~ (c) に基づいて推定した。

(a) 出射端面の反射膜 221 の反射率が比較的小さい範囲において、反射膜 221 の反射率を小さくするほど閾値電力が大きくなる傾向 (図 13 参照)

(b) 共振器長が 2000 μ m のときの下限 (実施例の結果)

(c) 共振器長と閾値電力の関係性

【0224】

また、発明者は、上限として、レーザー発振器 10 から外部共振によりレーザー光 3 を出力する際に、半導体レーザーアレイ 200 のエミッター部 234 において、内部共振が発生せず、レーザー発振器 10 の光出力値が低下しない反射率の最大値を以下の (d) ~ (e) に基づいて推定した。

(d) 共振器長が長いほど外部共振ミラー 210 の最適な反射率は小さくなる傾向

(e) 共振器長が 2000 μ m のときの外部共振ミラー 210 の最適な反射率 (5.6%)

【0225】

図 15 は、出射端面の反射膜 221 の反射率の上限及び下限と共振器長との関係性を示す図である。図 15 には、実施例で求められた上限及び下限 (いずれも、実験によって得られた値) に加えて、共振器長が 1200 μ m、1500 μ m、及び 3000 μ m のときの上限及び下限 (いずれも推定値) がプロットされている。

【0226】

図 15 の複数の上限のデータ及び複数の下限のデータをそれぞれフィッティングしたところ、上限関数は、共振器長を x としたとき、 $0.3568 e^{-0.001x}$ で表され、下限関数は、 $0.8613 e^{-0.003x}$ で表されることが分かった。

【0227】

すなわち、半導体レーザーアレイ 200 が少なくとも以下の条件 1 及び 2 を満たす場合、反射膜 221 の反射率を R としたときに、上述の関係式 (4) 及び (5) を満たすように反射膜 221 の反射率の値を設定することで、レーザー発振器 10 からより高出力のレーザー光 3 を出力させることができることが分かった。

(条件 1) 半導体レーザーアレイ 200 が、利得波長が 350 nm 以上 450 nm 以下の範囲となる発光層 215 を有する。

10

20

30

40

50

(条件2) 半導体レーザーアレイ200が、共振器長が1200 μm 以上かつ3000 μm 以下の範囲のエミッター部234を有する。

【0228】

出射端面の反射膜221の反射率Rが、上述の関係式(4)及び(5)を満たすことで、事前測定において内部共振によりレーザー発振させたとしても、半導体レーザーアレイ200に結晶欠陥600が生じにくく、結晶欠陥600に起因するレーザー発振器10のレーザー出力値の低下を防止できると言える。また、レーザー発振器10を外部共振によりレーザー発振させた際に、内部共振に起因するレーザー光3の出力値の低下を防止できると言える。

【0229】

さらに、半導体レーザーアレイ200に結晶欠陥600が生じにくいので、結晶欠陥600を含む半導体レーザーアレイ200をレーザー発振器10の製造に用いずに済むので、レーザー発振器10からのレーザー出力値が安定すると言える。

【0230】

なお、上述した出射端面の反射膜221の反射率の上限及び下限に関する鋭意検討結果は、半導体レーザー素子100が用いられる場合であっても、同じである。

【0231】

[その他変形例]

本実施形態、変形例1及び2に係る半導体レーザーアレイ200は、Ga₂N系化合物が材料として使用され、405 nm以上450 nm以下の波長帯のレーザー光1を出射するGa₂N系半導体レーザーアレイであるとして説明したが、材料や波長帯はこれに限られない。本実施形態、変形例1及び2に係る半導体レーザーアレイ200がGa₂N系半導体レーザーアレイを採用する場合であっても、例えば、350 nm以上405 nm以下(青紫色から紫外)の波長帯のレーザー光1を出射する半導体レーザーアレイであってもよい。

【0232】

また、本実施形態、及び変形例1～3に係る半導体レーザーアレイ200がGaAs又はInP等の他のIII-V族半導体材料を材料とする半導体レーザーアレイであってもよい。

【0233】

以上のその他変形例で説明した内容は、半導体レーザーアレイ200に対してだけでなく、本実施形態、及び変形例1～3に係る半導体レーザー素子100についても同様である。

【産業上の利用可能性】

【0234】

本開示に係る半導体レーザー素子、半導体レーザーアレイ及び加工装置は、波長ビーム結合型の加工装置に好適である。

【符号の説明】

【0235】

- 1 レーザー光
- 2 外部共振光
- 3 レーザー光
- 4 光
- 10 レーザー発振器
- 11 筐体
- 17 ミラー
- 100 半導体レーザー素子
- 199 アレイ本体部
- 200～205 半導体レーザーアレイ
- 206 ビームツイスターユニット
- 208 回折格子

10

20

30

40

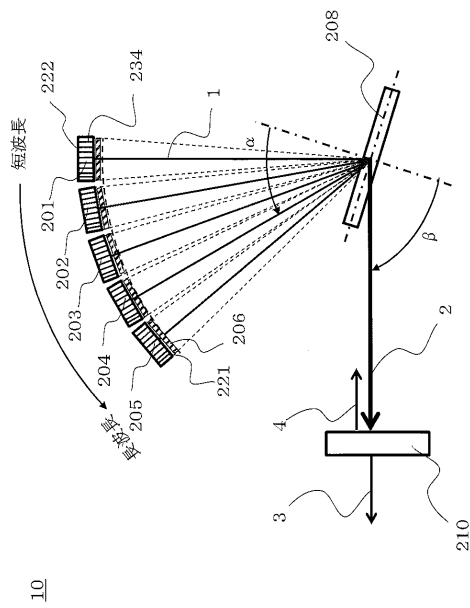
50

2 1 0 外部共振ミラー
2 1 2 基板
2 1 4 共振器構造
2 1 5 発光層
2 1 6 第 1 の半導体層
2 1 7 第 2 の半導体層
2 1 9 n 側電極
2 2 1 反射膜
2 2 2 反射膜
2 3 3 凸部
2 3 4 エミッター部
2 8 3 p 側電極
4 0 0 多重層
6 0 0 結晶欠陥
7 0 0 スペクトルピーク
7 0 1 スペクトルピーク
9 0 0 ~ 9 0 5 レーザーモジュール
9 2 0 サブマウント
9 3 0 上側金属ブロック
9 4 0 下側金属ブロック
9 5 0 絶縁シート
9 6 0 熱伝導シート
9 7 0 水冷架台
x 共振器長
L 距離
入射角
出射角

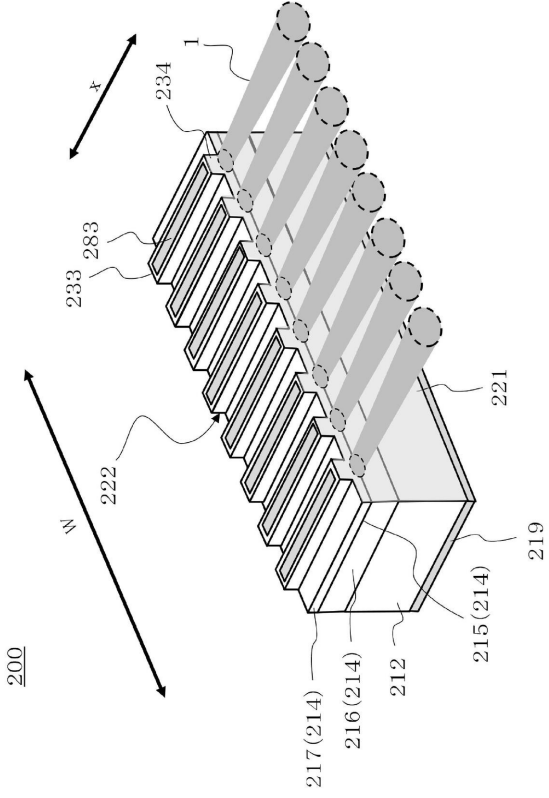
10

20

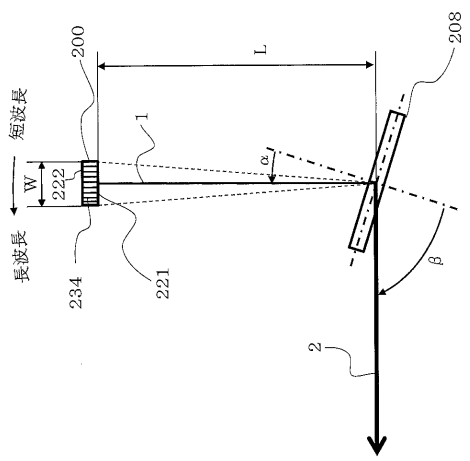
【図 1】



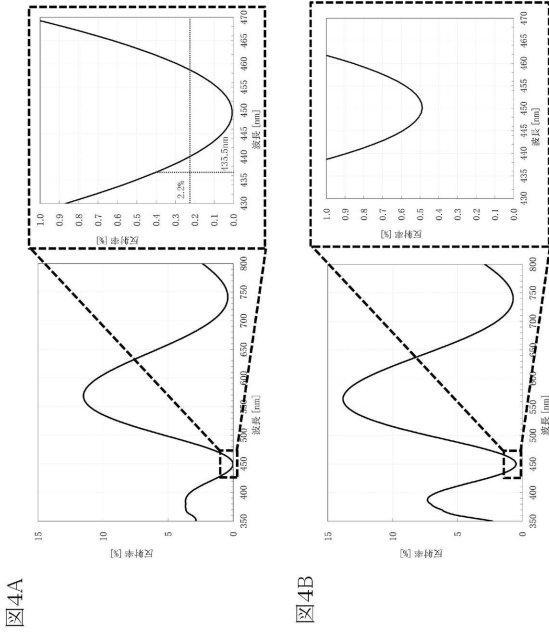
【図 2】



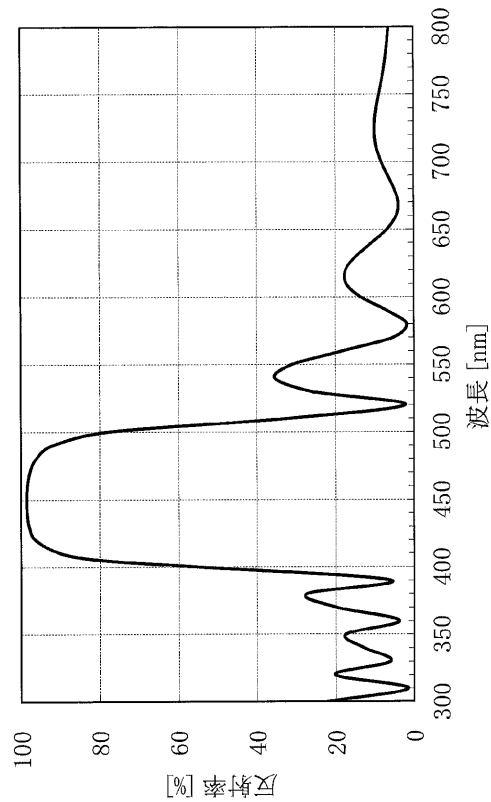
【図 3】



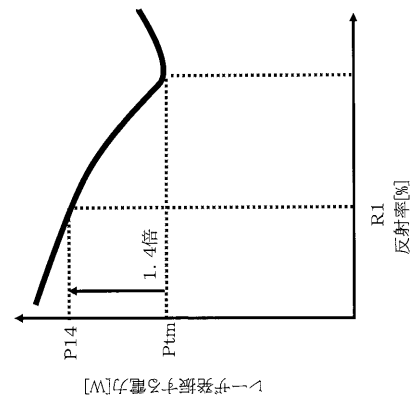
【図 4】



【図 5】

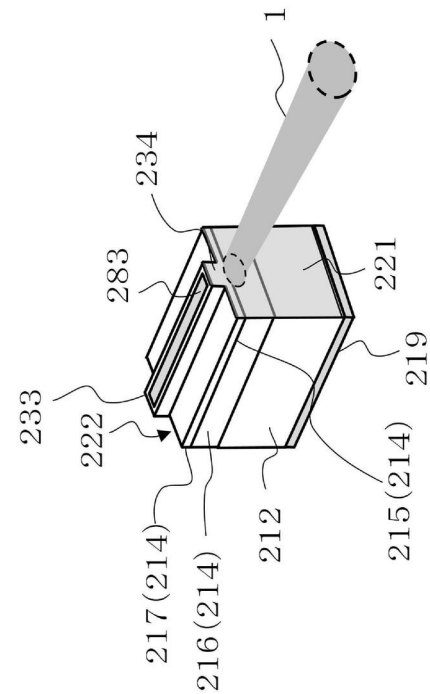


【図 6】

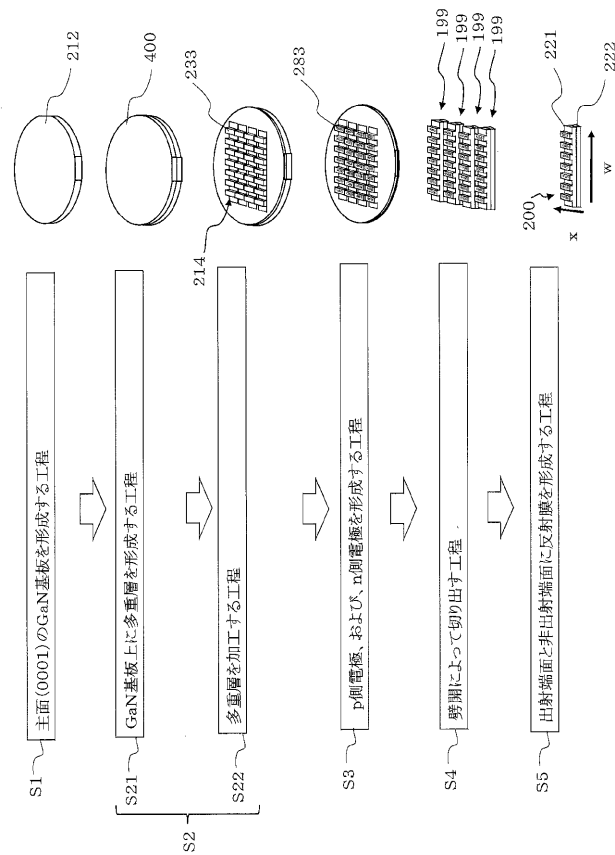


【図 7】

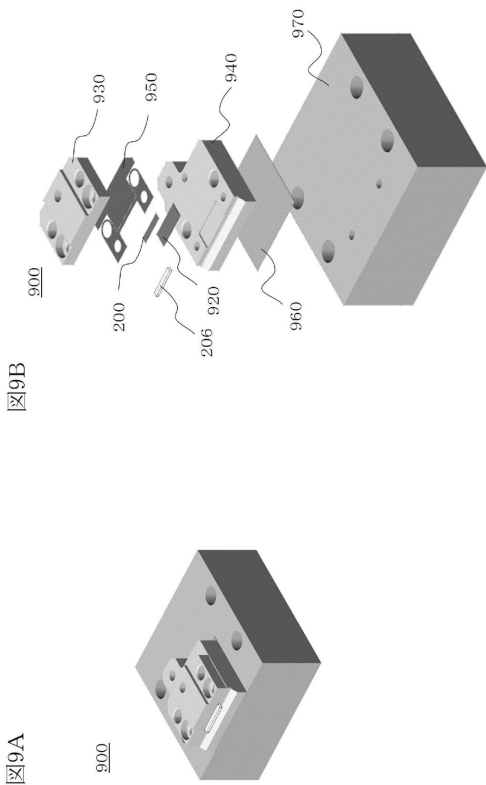
100



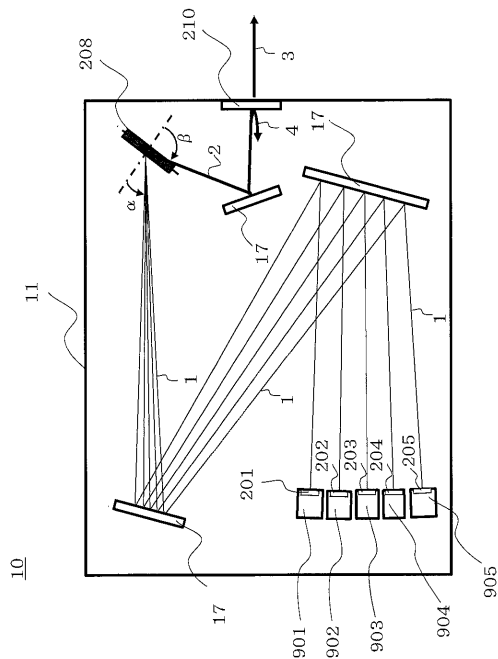
【図 8】



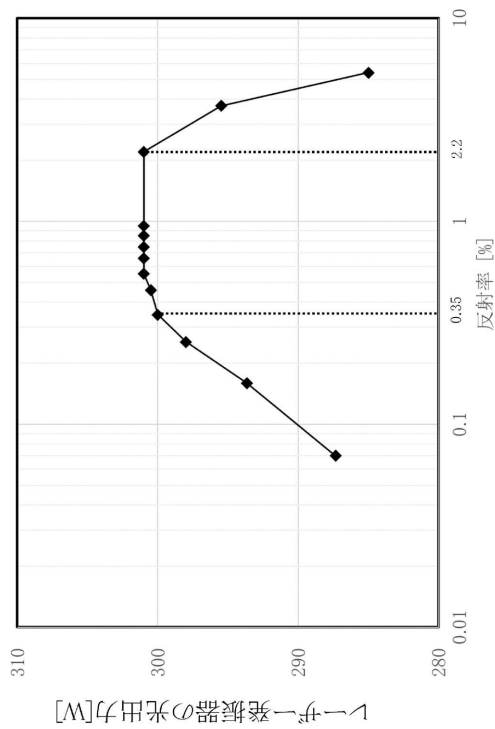
【図 9】



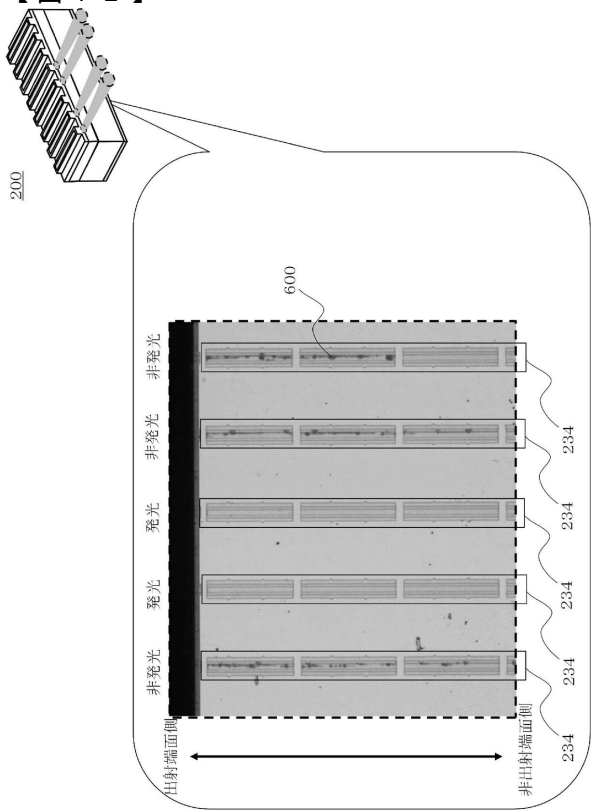
【図 10】



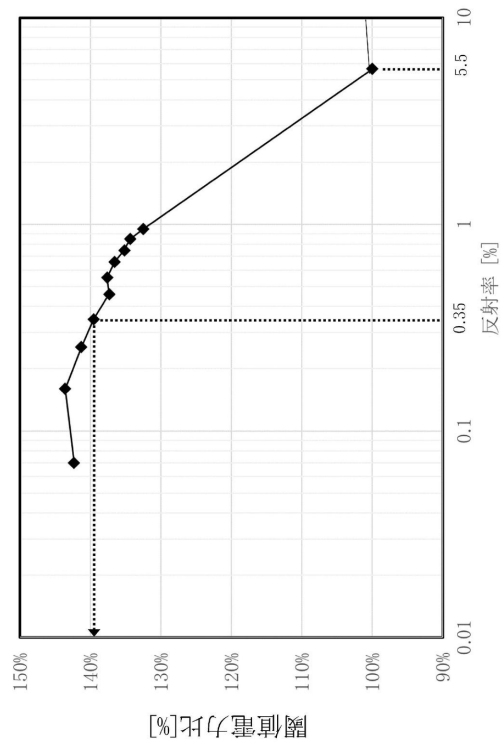
【図 11】



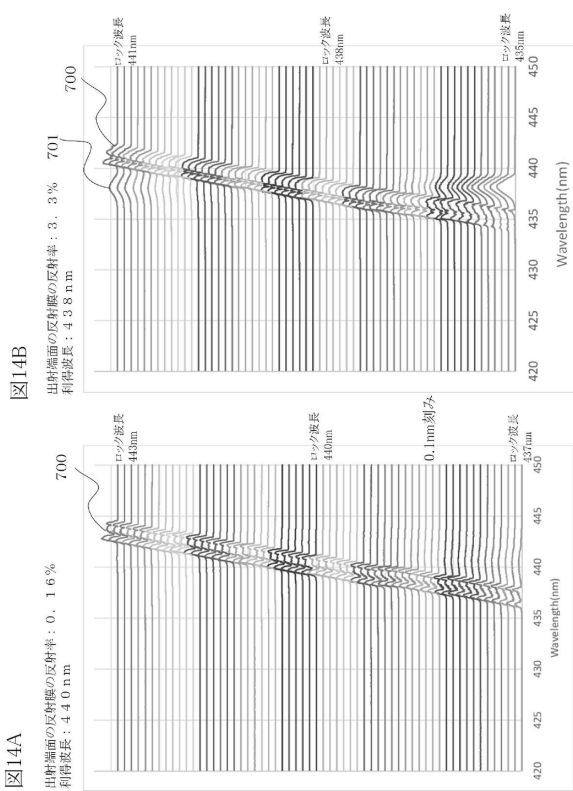
【図 12】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】

