

(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2004-96092

(P2004-96092A)

(43) 公開日 平成16年3月25日(2004.3.25)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

HO1S 5/40  
HO1S 3/06  
HO1S 3/094  
HO1S 5/22

F I

HO1S 5/40  
HO1S 3/06 B  
HO1S 5/22 610  
HO1S 3/094 S

テーマコード(参考)

5FO72  
5FO73

審査請求 未請求 請求項の数 68 O L (全 70 頁)

(21) 出願番号 特願2003-194913 (P2003-194913)  
(22) 出願日 平成15年7月10日(2003.7.10)  
(31) 優先権主張番号 特願2002-201644 (P2002-201644)  
(32) 優先日 平成14年7月10日(2002.7.10)  
(33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000006655  
新日本製鐵株式会社  
東京都千代田区大手町2丁目6番3号  
(74) 代理人 100099759  
弁理士 青木 篤  
(74) 代理人 100077517  
弁理士 石田 敬  
(74) 代理人 100087413  
弁理士 古賀 哲次  
(74) 代理人 100113918  
弁理士 亀松 宏  
(74) 代理人 100082898  
弁理士 西山 雅也

最終頁に続く

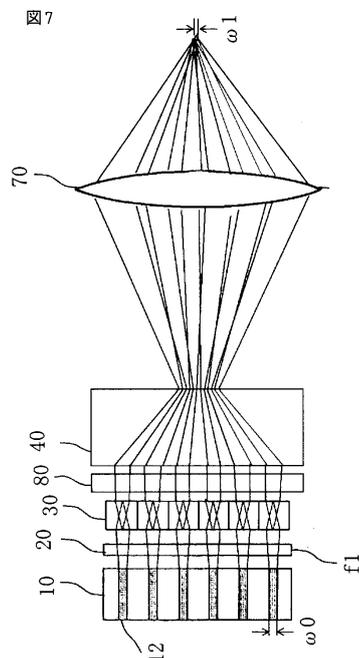
(54) 【発明の名称】 半導体レーザー装置およびそれを用いた固体レーザー装置

(57) 【要約】

【課題】焦点におけるエネルギー密度を高くした半導体レーザー装置およびそれを用いた半導体レーザー励起固体レーザー装置もしくは半導体レーザー励起ファイバレーザー装置を提供する。

【解決手段】点線状に直列したレーザービーム列をさらに並列した2次元アレイ状のレーザービーム群を放射するスタックアレイレーザー素子の前面に配設され、その点線の向きに対してほぼ垂直な方向に屈折してコリメートされた各レーザービーム列を受光し、各エミッタまたは各エミッタ群からのレーザービームの向きを直角に回転して放射することにより、実質的な梯子状に並列した複数列のレーザービーム列に変換し、このレーザービーム列の中心軸間隔を近づけて共通の物点から放射されたビーム群に変換してから集光することにより、全てのレーザービームを単一の像に収斂することを特徴とする半導体レーザー装置。

【選択図】 図7



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

レーザビームを放射する第 1 の方向に長い複数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が 2 次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 1 の集光器 ( 2 0 ) と、

前記第 1 の集光器 ( 2 0 ) の前面に配設され、前記第 2 の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) と、

前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) の前面に配設され、前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) から出力されたレーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートするとともに各々所定の量だけ中心軸をずらして用いることにより近似的に同一物点から放射されたビームに変換するように光軸の角度変化を発生する第 2 の集光器 ( 8 0 ) と、

前記第 2 の集光器 ( 8 0 ) から出力されたレーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第 1 の方向に延びる圧縮された実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第 1 のビーム圧縮器 ( 4 0 ) と、

前記第 1 のビーム圧縮器 ( 4 0 ) から出力されたレーザビーム群を集光させる第 3 の集光器 ( 7 0 ) と、

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

## 【請求項 2】

レーザビームを放射する第 1 の方向に長い複数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が 2 次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを放射する第 1 の方向に長い多数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に密集して並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 1 の集光器 ( 2 0 ) と、

前記第 1 の集光器の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を各列内に並列して備え、前記第 2 の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位とした前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) と、

前記第 1 のビーム変換器の前面に配設され、前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) からの出力レーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートするとともに各々所定の量だけ中心軸をずらして用いることにより近似的に同一物点から放射されたビームに変換するように光軸の角度変化を発生する第 2 の集光器 ( 8 0 ) と、

前記第 2 の集光器 ( 8 0 ) からの出力レーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第 1 のビーム圧縮器 ( 4 0 ) と、

前記第 1 のビーム圧縮器 ( 4 0 ) からの出力レーザビーム群を集光させる第 3 の集光器 ( 7 0 ) と、

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

## 【請求項 3】

10

20

30

40

50

レーザビームを放射する第 1 の方向に長い複数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が 2 次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 1 の集光器 ( 2 0 ) と、

前記第 1 の集光器 ( 2 0 ) の前面に配設され、前記第 2 の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) と、

前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) の前面に配設され、前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) から出力されたレーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 2 の集光器 ( 8 0 ) と、

前記第 2 の集光器 ( 8 0 ) からの出力レーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第 1 の方向に延びる圧縮された実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第 1 のビーム圧縮器 ( 4 0 ) と、

前記第 2 集光器 ( 8 0 ) または前記ビーム圧縮器 ( 4 0 ) の前面に配設され、複数列の前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群を受光して、各列毎に前記第 2 の方向にビーム群の中心光軸を変化させ実質的に同一の物点から出たビーム群とする角度変更器と、

前記中心光軸を変化させたレーザビーム群を集光させる第 3 の集光器 ( 7 0 ) と、  
を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

#### 【請求項 4】

レーザビームを放射する第 1 の方向に長い複数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が 2 次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを放射する第 1 の方向に長い多数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に密集して並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 1 の集光器 ( 2 0 ) と、

前記第 1 の集光器 ( 2 0 ) の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を各列内に並列して備え、前記第 2 の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位とした前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) と、

前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) の前面に配設され、前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) から出力されたレーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 2 の集光器 ( 8 0 ) と、

前記第 2 の集光器 ( 8 0 ) からの出力レーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第 1 のビーム圧縮器 ( 4 0 ) と、

前記第 2 集光器 ( 8 0 ) または前記ビーム圧縮器 ( 4 0 ) の前面に配設され、複数列の前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群を受光して、各列毎に前記第 2 の方向にビーム群の中心光軸を変化させ実質的に同一の物点から出たビーム群とする角度変更器と、

前記レーザビーム群を集光させる第 3 の集光器 ( 7 0 ) と、  
を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

#### 【請求項 5】

10

20

30

40

50

前記第2の集光器(80)または前記第1のビーム変換器(40)と前記角度変更器とを一体化したことを特徴とする請求項3または4に記載の半導体レーザ装置。

【請求項6】

レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム変換器(30)と、

前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)からの出力レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第2の集光器(80)と、

前記第2の集光器(80)からの出力レーザビーム群を受光し、結像させて各列間の距離を縮小する第3の集光器(70)と、

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項7】

レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを放射する第1の方向に長い多数のエミッタが、該第1の方向に直線的に密集して並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を各列内に並列して備え、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位とした前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第1のビーム変換器(30)と、

前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)からの出力レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第2の集光器(80)と、

前記レーザビーム群を受光し、結像させて各列間の距離を縮小する第3の集光器(70)と、

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項8】

レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム変換器(30)と、

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム変換器(30)と、

10

20

30

40

50

前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) の前面に配設され、前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) からの出力レーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 2 の集光器 ( 8 0 ) と、

前記第 2 の集光器 ( 8 0 ) の前面に配設され、複数列の前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群を受光して、結像させ、各列間の距離を縮小する第 4 の集光器 ( 7 1 ) と、

前記第 4 の集光器 ( 7 1 ) による結像をさらに縮小再結像する第 3 の集光器 ( 7 0 ) と、を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 9】

レーザビームを放射する第 1 の方向に長い複数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に並びように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が 2 次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを放射する第 1 の方向に長い多数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に密集して並びように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 1 の集光器 ( 2 0 ) と、

前記第 1 の集光器 ( 2 0 ) の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を各列内に並列して備え、前記第 2 の方向にコリメートされたレーザビーム群のそれぞれを受光して前記光学素子毎に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザビームを単位とした前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) と、

前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) の前面に配設され、前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) からの出力レーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 2 の集光器 ( 8 0 ) と、

前記第 2 の集光器 ( 8 0 ) の前面に配設され、複数列の前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群を受光して、結像させ、各列間の距離を縮小する第 4 の集光器 ( 7 1 ) と、

前記第 4 の集光器 ( 7 1 ) による結像をさらに縮小再結像する第 3 の集光器 ( 7 0 ) と、を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 10】

前記第 4 の集光器による結像面もしくはその近傍に配設され、各列毎に前記第 2 の方向にビーム群の中心光軸を変化させ実質的に同一の物点から出たビーム群とする角度変更器を備えることを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 11】

レーザビームを放射する第 1 の方向に長い複数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に並びように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が 2 次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 1 の集光器 ( 2 0 ) と、

前記第 1 の集光器 ( 2 0 ) の前面に配設され、前記第 2 の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) と、

前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) の前面に配設され、前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) から出力されたレーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 2 の集光器 ( 8 0 ) と、

前記第 2 の集光器 ( 8 0 ) からの出力レーザビーム群を受光し、複数列の前記第 1 の方向

に延びる圧縮された実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器(110, 111)と、

前記第1のビーム圧縮器(110, 111)の前面に配設され、前記第1のビーム圧縮器(110, 111)からの出力レーザビームを列の間隔が短縮された複数列の前記第2の方向に圧縮されたレーザビーム群に変換して放射する第2のビーム圧縮器(112, 113)と、

前記前記第2のビーム圧縮器(113)の出力ビームを受け、前記第1の方向のビーム発散角を前記第2の方向のビーム発散角に近づけるための第4の集光器(60)と、

前記第4の集光器(60)からの出力レーザビーム群を集光させる第3の集光器(70)と、

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

10

【請求項12】

レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを放射する第1の方向に長い多数のエミッタが、該第1の方向に直線的に密集して並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

20

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を各列内に並列して備え、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位とした前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第1のビーム変換器(30)と、

前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)から出力されたレーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第2の集光器(80)と、

30

前記第2の集光器(80)からのレーザビーム群を受光し、複数列の前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器(110, 111)と、

前記第1のビーム圧縮器(110, 111)の前面に配設され、前記第1のビーム圧縮器(110, 111)からの出力レーザビームを列の間隔が短縮された複数列の前記第2の方向に圧縮されたレーザビーム群に変換して放射する第2のビーム圧縮器(112, 113)と、

前記前記第2のビーム圧縮器(113)の出力ビームを受け、前記第1の方向のビーム発散角を前記第2の方向のビーム発散角に近づけるための第4の集光器(60)と、

前記第4の集光器(60)からのレーザビーム群を集光させる第3の集光器(70)と、

40

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項13】

レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

前記第1の集光器の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して

50

放射する第1のビーム変換器(30)と、  
 前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)からの出力レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第2の集光器(80)と、  
 前記第2集光器(80)からのレーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器(150, 151)と、  
 前記第1のビーム圧縮器(150, 151)の前面に配設され、列の間隔が短縮された複数列の前記第2の方向に延びる圧縮されたレーザビーム群に変換して放射する第2のビーム圧縮器(152, 153)と、  
 前記第1のビーム圧縮器(150, 151)および/または第2のビーム圧縮器(150, 151)の内部に設置した光軸角度を変化させる角度偏光器と、  
 前記レーザビーム群を集光させる第3の集光器(70)と、  
 を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

10

【請求項14】

レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを放射する第1の方向に長い多数のエミッタが、該第1の方向に直線的に密集して並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、  
 前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、  
 前記第1の集光器(20)の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を各列内に並列して備え、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位とした前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第1のビーム変換器(30)と、  
 前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)から出力されたレーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第2の集光器(80)と、  
 前記第2の集光器(80)からの出力レーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器(110, 111)と、  
 前記第1のビーム圧縮器(110, 111)の前面に配設され、列の間隔が短縮された複数列の前記第2の方向に延びる圧縮されたレーザビーム群に変換して放射する第2のビーム圧縮器(112, 113)と、  
 前記第1のビーム圧縮器(110, 111)および/または第2のビーム圧縮器(112, 113)の内部に設置した光軸角度を変化させる角度偏光器と、  
 前記レーザビーム群を集光させる第3の集光器(70)と、  
 を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

20

30

40

【請求項15】

前記ビーム圧縮器が第1のビーム圧縮器と第2のビーム圧縮器の機能を一体化した2次元のビーム圧縮器(140, 141)であることを特徴とする請求項13または14に記載の半導体レーザ装置。

【請求項16】

前記第1のビーム圧縮器と前記第2のビーム圧縮器との間に配設され、前記梯子の間隔が短縮された複数列の前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群を受光して、

50

各列ごとに前記第2の方向に延びる実質的な梯子状レーザービームに変換し、その結果、すべてのレーザービームが前記第2の方向に延びる1列の実質的な梯子状レーザービームに変換されて放射する第2のビーム変換器(50)を備えることを特徴とする請求項13または14に記載の半導体レーザー装置。

【請求項17】

前記第1のビーム圧縮器と前記第2のビーム圧縮器との間に配設され、前記梯子の間隔が短縮された複数列の前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザービーム群を受光して、各列ごとに前記第2の方向に延びる実質的な梯子状レーザービームに変換し、その結果、すべてのレーザービームが前記第2の方向に延びる1列の実質的な梯子状レーザービームに変換されて放射する第2のビーム変換器(50)と、

10

前記第2のビーム変換器(50)の前面に配設され、前記第2の方向にビーム群の中心光軸を変化させ実質的に同一の物点から出たビーム群とする角度変更器とを備えることを特徴とする請求項16に記載の半導体レーザー装置。

【請求項18】

前記第1のビーム圧縮器と前記第2のビーム変換器との間に配設され、前記梯子の間隔が短縮された複数列の前記第1の方向の延びる実質的な梯子状レーザービーム群を受光し、各列毎のレーザービームを第1の方向に屈折させてコリメートして放射する第5の集光器(154)を備えることを特徴とする請求項16または17に記載の半導体レーザー装置。

【請求項19】

前記第5の集光器(154)がシリンドリカルレンズであることを特徴とする請求項18

20

に記載の半導体レーザー装置。

【請求項20】

前記第1のビーム変換器と前記第2の集光器との間に配設され、各列ごとに前記第2の方向に光軸を平行シフトするシフターを備えることを特徴とする請求項1~19のいずれか1項に記載の半導体レーザー装置。

【請求項21】

前記第1の集光器と前記第1のビーム変換器との間に配設され、各列ごとに前記第2の方向に光軸を平行シフトするシフターを備えることを特徴とする請求項1~20のいずれか1項に記載の半導体レーザー装置。

【請求項22】

前記第2の集光器がシリンドリカルレンズの1次元アレイであることを特徴とする請求項1~21のいずれか1項に記載の半導体レーザー装置。

30

【請求項23】

レーザービームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザービーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザービーム群を放射するスタックアレイレーザーダイオードと、

前記スタックアレイレーザーダイオードの前面に配設され、前記レーザービーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザービーム群を受光して、前記第2の方向の光軸間隔が短縮されたレーザービーム群に変換して放射する第2のビーム圧縮器(112, 113)と、

40

前記第2のビーム圧縮器(112, 113)の前面に配設され、各列内のレーザービーム群を区分し、区分された複数のレーザービームのそれぞれを単位として、そのレーザービーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を並列して備え、前記第2の方向にコリメートされ、前記第2の方向の光軸間隔が短縮されたレーザービーム群を受光して前記光学素子毎に該レーザービーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザービームのそれぞれを単位とした前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザービーム群として放射する第1のビーム変換器50と、

前記第1のビーム変換器50の前面に配設され、前記第1の方向に圧縮されたレーザービ

50

ム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器(110, 111)と、  
 前記第1のビーム圧縮器(110, 111)の前面に配設され、前記第1の方向のビーム  
 発散角を前記第2の方向の発散角に近づけるための第2の集光器(60)と、  
 前記レーザビーム群を集光させる第3の集光器(70)と、  
 を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項24】

レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並  
 ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列し  
 たレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを  
 放射する第1の方向に長い多数のエミッタが、該第1の方向に直線的に密集して並ぶよう  
 に、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列  
 配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、  
 前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に  
 前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器  
 (20)と、

10

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザ  
 ビーム群を受光して、前記第2の方向の光軸間隔が短縮されたレーザビーム群に変換して  
 放射する第2のビーム圧縮器(112, 113)と、

前記第2のビーム圧縮器(112, 113)の前面に配設され、各列内のレーザビーム群  
 を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単  
 位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を並列して備え、前記第2の方向にコリメート  
 され、前記第2の方向の光軸間隔が短縮されたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎  
 に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザビームのそれぞ  
 れを単位とした前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第  
 1のビーム変換器50と、

20

前記第1のビーム変換器50の前面に配設され、前記第1の方向に圧縮されたレーザビ  
 ム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器(110, 111)と、

前記第2のビーム圧縮器(110, 111)の前面に配設され、前記第1の方向のビーム  
 発散角を前記第2の方向の発散角に近づけるための第2の集光器(60)と、

前記レーザビーム群を集光させる第3の集光器(70)と、

30

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項25】

前記第2のビーム圧縮器と前記第1のビーム変換器との間に配設され、前記第2の方向の  
 光軸間隔が短縮されたレーザビーム群を受光し、各列毎のレーザビームを、さらに、  
 前記第2の方向に屈折させてコリメートして放射する第5の集光器(155)を備えるこ  
 とを特徴とする請求項24に記載の半導体レーザ装置。

【請求項26】

前記第5の集光器(155)がシリンドリカルレンズであることを特徴とする請求項25  
 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項27】

前記第2のビーム圧縮器(110, 111)の前面にビーム群の中心光軸を変化させ実質  
 的に同一の物点から出たビーム群とする角度変更器とを備えることを特徴とする請求項2  
 5または26に記載の半導体レーザ装置。

40

【請求項28】

前記角度変更器が傾斜透明板またはウェッジプリズムのアレイであることを特徴とする請  
 求項3~5、10、13~14、17~22、および、27のいずれか1項に記載の半導  
 体レーザ装置。

【請求項29】

前記角度変更器がシリンドリカルレンズのアレイであることを特徴とする請求項3~5、  
 10、13~14、17~22、および、27~28のいずれか1項に記載の半導体レー

50

ザ装置。

【請求項 30】

前記角度変更器がセグメント式の反射鏡であることを特徴とする請求項 3 ~ 5、10、13 ~ 14、17 ~ 22、および、27 ~ 29 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザー装置。

【請求項 31】

前記ビーム圧縮器がアナモルフィックプリズムまたはアナモルフィックプリズムペアであることを特徴とする請求項 1 ~ 30 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザー装置。

【請求項 32】

前記ビーム圧縮器が 1 次元もしくは 2 次元のレンズによるテレスコープであることを特徴とする請求項 1 ~ 31 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザー装置。

10

【請求項 33】

前記ビーム圧縮器が 1 次元もしくは 2 次元のパラボリックミラーによるテレスコープであることを特徴とする請求項 1 ~ 32 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザー装置。

【請求項 34】

前記第 1 の集光器がシリンドリカルレンズの 1 次元アレイであることを特徴とする請求項 1 ~ 33 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザー装置。

【請求項 35】

前記第 1 の集光器の前面に、各列毎に、前記第 2 の方向に光軸角度を微調整する角度調整器を備えることを特徴とする請求項 1 ~ 34 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザー装置。

【請求項 36】

前記角度調整器は、少なくとも 2 個のウエッジ板を逆向きに組み合わせ、少なくとも 1 個のウエッジ板を回転可能に構成したものであることを特徴とする請求項 35 に記載の半導体レーザー装置。

20

【請求項 37】

光軸に垂直な断面が第 1 の軸を有する入射光線を受光するための受光部と、

前記光線断面の第 1 の軸をほぼ直角に旋回させる光学系と、

前記光学系を通過した出射光線を出射する出射部とを備える複数光学素子を、前記光学素子がレーザービームの光軸上に、該各光学素子の受光部と出射部とをそれぞれ同一面上に隣接させて 2 次元的に配列したビーム変換器をビーム変換器として用いたことを特徴とする請求項 1 ~ 36 のいずれか 1 項に記載の半導体レーザー装置。

30

【請求項 38】

前記光学素子が、反射面で画定された空間であって、鉛直でかつ入射光線に対してほぼ 45° 傾いた前記第 1 の反射面と、入射光線に対し平行で水平面に対してほぼ 45° 傾いた前記第 2 の反射面と、入射光線に平行な鉛直面に対し垂直でかつ前記第 1 の反射面と第 2 の反射面との交線と平行で水平面に対してはほぼ 45° 傾いた前記第 3 の反射面とを供する空間であることを特徴とする請求項 37 に記載の半導体レーザー装置。

【請求項 39】

前記光学素子が、第 1 の全反射面と第 2 の全反射面と第 3 の全反射面と入射面と出射面と接合面とからなるプリズムであり、第 1、第 2、第 3 の全反射面が互いに交差角 60° で交わり、互いに平行な入射面と出射面とが第 2 の全反射面と直交し、第 1 および第 3 の全反射面に対してはほぼ 45° 傾き、接合面が第 2 の全反射面と平行なプリズムであり、該プリズムが第 3 の全反射面と入射面と出射面とをそれぞれ同一面上に隣接させて隣り合うプリズムの接合面と第 2 の全反射面とを接合したプリズムの 1 次元アレイ、もしくは、プリズムの 1 次元アレイをさらに並列した 2 次元アレイをビーム変換器として用いたことを特徴とする請求項 37 に記載の半導体レーザー装置。

40

【請求項 40】

互いに平行な第 1 及び第 2 の平面と、前記第 1 の平面と 135° の挟角をもって交わる第 3 の平面と、前記第 1 の平面に対して  $\tan^{-1}(1/\sqrt{2})$  の角度で交差する方向に、その稜線並びに谷線が延在する折れ曲がり角が 60° をなす山と谷とが洗濯板状に連続形成された周期的屈曲面からなり、かつ、各稜線並びに角谷線が前記第 3 の平面と平行な第

50

4の面を有し、前記第1の平面を入射面とし、前記第2の平面を出射面とし、前記第4の面を構成する屈曲面のうち前記第1の平面と45°の挟角をもって交わる面を第1の反射面とし、他の面を第2の反射面とし、前記第3の平面を第3の反射面とした光学ガラス体、もしくは、該光学ガラス体をさらに並列した1次元アレイをビーム変換器として用いたことを特徴とする請求項37に記載の半導体レーザ装置。

【請求項41】

入射光軸に垂直な平面と135°の挟角をもって交わる第1の平面と前記入射光軸に垂直な平面に対して $\tan^{-1}(1/2)$ の角度で交差する方向に、その稜線並びに谷線が延在する折れ曲がり角が60°をなす山と谷とが洗濯板状に連続形成された周期的屈曲面からなり、かつ、各稜線並びに各谷線が前記第1の平面と平行な第2の面を有し、前記第1の平面および第2の面には鏡面処理が施され、前記第2の面を構成する屈曲面のうち前記入射光軸に垂直な平面と45°の挟角をもって交わる面を第1の反射面とし、他の面を第2の反射面とし、前記第1の平面を第3の反射面としたミラー構造体、もしくは、該ミラー構造体をさらに並列した1次元アレイをビーム変換器として用いたことを特徴とする請求項37に記載の半導体レーザ装置。

10

【請求項42】

前記光学素子が、軸をほぼ45°傾けた凸型のシリンダリカルレンズの対を所定の距離空間を挟んで対向配置したものであることを特徴とする請求項37に記載の半導体レーザ装置。

【請求項43】

前記ビーム変換器が、軸をほぼ45°傾けた凸型のシリンダリカルレンズの対を所定の距離空間を挟んで対向配置したものを複数配列したものの1次元アレイであることを特徴とする請求項37に記載の半導体レーザ装置。

20

【請求項44】

前記シリンダリカルレンズの対において、出射側レンズの曲率半径が、入射側レンズの曲率半径より小さいことを特徴とする請求項42または43に記載の半導体レーザ装置。

【請求項45】

前記光学素子が、側面の両端に凸型のレンズ部分を有するシリンダリカルレンズであり、該光学素子を複数、入射光線に対してほぼ45°傾けて接合させたものであることを特徴とする請求項37に記載の半導体レーザ装置。

30

【請求項46】

前記ビーム変換器が、側面の両端に凸型のレンズ部分を有するシリンダリカルレンズを複数、入射光線に対してほぼ45°傾けて接合させたものの1次元アレイであることを特徴とする請求項37に記載の半導体レーザ装置。

【請求項47】

前記凸型レンズにおいて、出射側レンズの曲率半径が、入射側レンズの曲率半径より小さいことを特徴とする請求項45または46に記載の半導体レーザ装置。

【請求項48】

前記ビーム変換器が、断面が長方形をなす光学ガラス製角柱の入射面と出射面とに同じ方向にほぼ45°傾いた円柱状表面を複数形成し、各円柱表面に入射した入射光線の断面がほぼ90°旋回して出射するようにしたことを特徴とする請求項37に記載の半導体レーザ装置。

40

【請求項49】

前記円柱状表面において、出射側表面の曲率半径が、入射側表面の曲率半径より小さいことを特徴とする請求項48に記載の半導体レーザ装置。

【請求項50】

前記光学素子が、断面が台形をなすダブルプリズムであり、該光学素子を複数、ほぼ45°傾けて配設したものであることを特徴とする請求項37に記載の半導体レーザ装置。

【請求項51】

前記光学素子が、回折により中心軸に垂直な方向にのみパワーが変化する2つの光学要素

50

を対向させ、中心軸をほぼ45°傾けて配設したものであることを特徴とする請求項37に記載の半導体レーザー装置。

【請求項52】

前記ビーム変換器が、入射側と出射側と1対のバイナリオプティクス素子を所定の距離空間を挟んで対向配置したものからなり、入射側バイナリオプティクス素子と出射側バイナリオプティクス素子の表面に、ほぼ45°傾いた中心軸に対して対称に、中心軸に垂直な方向にのみパワーが変化するように深さを変化させた軸対称な階段状表面を複数形成し、各軸対称な階段状表面に入射した入射光線の断面がほぼ90°旋回して出射するようにしたことを特徴とする請求項37に記載の半導体レーザー装置。

【請求項53】

前記光学素子が、屈折率が連続的に変化した構造からなり配設の向きと垂直な方向にのみパワーが変化する光学要素を水平面に対してほぼ45°傾けて配置したことを特徴とする請求項37に記載の半導体レーザー装置。

【請求項54】

前記ビーム変換器が、中央面で最も屈折率が高く側面に近づくほど屈折率が低くなる光学ガラス体からなる1次元分布屈折率レンズ要素を複数、前記中央面が水平面に対してほぼ45°傾けて接合させたものであることを特徴とする請求項37に記載の半導体レーザー装置。

【請求項55】

前記ビーム変換器が、光学ガラス板の両面に、同じ方向にそれぞれ対になるほぼ45°傾いた半円柱状の分布屈折率レンズ要素を対向配置したものからなり、半円の中心が最も屈折率が高く、外側になる程屈折率が低くなるレンズ要素を複数形成したものであることを特徴とする請求項37に記載の半導体レーザー装置。

【請求項56】

前記第1の集光器を前面に備えるスタックアレイレーザーダイオードを少なくとも2基備え、かつ、該第1の集光器の前面に、該集光器から出射する少なくとも2つのレーザービーム群を結合する光学機器を備えたことを特徴とする請求項1～55のいずれか1項に記載の半導体レーザー装置。

【請求項57】

前記スタックアレイレーザーダイオードを少なくとも2基備え、かつ、前記第3の集光器の後面に、該集光器に入射する少なくとも2つのレーザービーム群を波長結合する光学機器を備えたことを特徴とする請求項1～55のいずれか1項に記載の半導体レーザー装置。

【請求項58】

前記第1の集光器を前面に備えるスタックアレイレーザーダイオードを少なくとも3基備え、かつ、該第1の集光器の前面に、該集光器から出射する少なくとも2つのレーザービーム群を結合する光学機器を備え、かつ、前記第3の集光器の後面に、該集光器に入射する少なくとも2つのレーザービーム群を波長結合する光学機器を備えたことを特徴とする請求項1～55のいずれか1項に記載の半導体レーザー装置。

【請求項59】

前記光学機器が偏光素子であることを特徴とする請求項56または58に記載の半導体レーザー装置。

【請求項60】

前記光学機器が、前記スタックアレイレーザーダイオードのスタックピッチと同じピッチで透過窓を形成したミラーであることを特徴とする請求項56または58に記載の半導体レーザー装置。

【請求項61】

前記光学機器が、前記スタックアレイレーザーダイオードのスタックピッチと同じピッチで配置したミラーからなることを特徴とする請求項56または58に記載の半導体レーザー装置。

【請求項62】

10

20

30

40

50

前記光学機器が、前記スタックアレイレーザダイオードのスタックピッチと同じピッチで配置した直角プリズムからなることを特徴とする請求項56または58に記載の半導体レーザ装置。

【請求項63】

前記光学機器が、ダイクロイックミラーであることを特徴とする請求項57または58に記載の半導体レーザ装置。

【請求項64】

前記第3の集光器の焦点面に端面を有する光ファイバを備えることを特徴とする請求項1～63のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

【請求項65】

前記光ファイバがコアに希土類元素をドープした光ファイバであることを特徴とする請求項64に記載の半導体レーザ装置。

【請求項66】

請求項1～65のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置と、励起光受光面が、前記第3の集光器の焦点位置に整合された固体レーザ素子を備えることを特徴とする半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項67】

請求項64に記載の半導体レーザ装置と、請求項64に記載の光ファイバから出射する光をコリメートして焦点に収斂する光学系と、励起光受光面を有し、かつ、該励起光受光面が、該焦点の位置に整合された固体レーザ素子を備えることを特徴とする半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項68】

前記光ファイバがコアに希土類元素をドープした光ファイバであることを特徴とする請求項67に記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、スタックアレイレーザダイオードに用いるビーム変換器、および、ビーム変換器を用いたレーザ装置に関するものである。本発明は、さらに、半導体レーザ光を微小スポットに集光する半導体レーザ集光器、および、半導体レーザ光で固体レーザ素子を光励起する半導体レーザ励起固体レーザ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

現在、半導体レーザの活性層ストライプが一次元的に配列したリニアアレイの半導体レーザとしてCW（連続発振）出力50W程度のものが入手できる。リニアアレイ半導体レーザは、例えば、図1に示すように、幅が100 $\mu$ m～200 $\mu$ mの端部がエミッタとなっているストライプ10～数10本が、全幅1cmの平面内に一定間隔で配列している。

【0003】

このようなリニアアレイ半導体レーザをいくつか積み重ね、図2のように、2次元アレイとすることにより、容易に出力アップを図ることができる。このような2次元アレイ半導体レーザはスタックアレイ半導体レーザと呼ばれる。市中にてkWクラスの出力のものが入手できる。このスタックアレイレーザ光を光学系を用いて直接集光し、十分に細いスポットに絞ることができれば、レーザ加工をはじめ幅広い応用に供することができるはずである。

【0004】

1個のスタックアレイ半導体レーザ素子からは、スタック層の数をnとして、(10～数10)×n本のレーザ光が出射する、2次元アレイ状に線分が配列した光源を得ることができる。また、Quasi-CW半導体レーザのような高出力半導体レーザは、たくさんエミッタが密集して配列し、出射光が隣のエミッタからの出射光と出射直後に混じり合っ、ほぼ連続した直線状の光源がスタック層の数だけ並列した光源を与える。

10

20

30

40

50

## 【0005】

各ストライプ光は各々扁平な光源から発したものであり、ビーム発散角は活性層に対し垂直成分が大きく、約 $40^{\circ}$ ～ $50^{\circ}$ であり、平行成分は小さく、約 $10^{\circ}$ である。以下、発散角の大きい活性層に対して垂直な方向を速軸と呼び、発散角の小さい活性層に対して平行な方向を遅軸と呼ぶ。発光源の幅は速軸側が狭く $1\mu\text{m}$ 以下であり、遅軸側は広く上述のように $100\mu\text{m}$ ～ $200\mu\text{m}$ である。

## 【0006】

例えば、スタックアレイLD(Laser Diode)として、厚さ $1\mu\text{m}$ 、幅 $200\mu\text{m}$ のストライプ12本がピッチ $800\mu\text{m}$ で配列し、このリニアアレイが、さらに数層スタックしたものを考える。ストライプ光の遅軸成分はビーム発散角 $10^{\circ}$ を有するので、ストライプの出射端から $3.4\text{mm}$ のところまで隣同士のストライプ光が重なり合う。その重合の後にレンズを置いたときは、一部の光はレンズの軸に対して角度を持つ光線となり、フォーカシングレンズの焦点と異なる点に集束するため、システムの効率を低下させる。

10

## 【0007】

このため、マイクロシリンドリカルレンズアレイを用いて前記各ストライプ列からの放射光を各々コリメートするためには、 $3.4\text{mm}$ 以内の接近した位置にレンズ(焦点距離 $f_1=3.4\text{mm}$ )を置く必要がある。コリメート光を集束する集光レンズの焦点距離 $f_2$ との組み合わせで決まる倍率( $f_2/f_1$ )をストライプの幅に掛けて集束スポット径を求めると大きくならざるを得ない。

20

## 【0008】

このように従来、2次元アレイ状に線分が配列した光源を与えるスタックアレイLDの出射レーザ光を小さい面積に高密度に集中させることは困難であった。スタックアレイ半導体レーザを、レーザの産業応用として主要な部分を占めるレーザ加工や医療用目的に利用するためには、狭い領域に高水準の光エネルギーを集中する特別の工夫が必要である。

## 【0009】

また、スタックアレイ半導体レーザを固体レーザの励起光源として用いようとする、上記したようにアレイの幅は長さ $1\text{cm}$ 程に亘るので、通常のレンズ系を用いて複数ビームを1つのスポット状に絞り込めず、励起効率の良い端面励起方式が採用できないことから側面励起方式にしか適用できなかった。一方、固体レーザの光軸方向から光励起する端面励起方式によると、固体レーザ発振のモード空間に半導体レーザ出力光による励起空間をマッチングさせることによって高効率な単一基本横モード発振を実現し得る。

30

## 【0010】

さらに、端面励起固体レーザの発展形とも考えられるダブルクラッドファイバーレーザにおいても励起空間のマッチングが重要である。ダブルクラッドファイバーレーザは高効率の輝度圧縮装置とみなすこともできるが、励起光の入力開口が $600\mu\text{m}\times 240\mu\text{m}$ 程度と狭いので高出力化のために高水準の半導体レーザ光を集中する特別の工夫を必要としていた。

## 【0011】

## 【発明が解決しようとする課題】

上述した問題に鑑み、本発明の目的は、スタックアレイ半導体レーザを用いた半導体レーザ装置を用いて、半導体レーザ装置の焦点を極めて小さくしてエネルギー密度を高くすることを可能にするための新規なビーム変換器を提供することとともに、このビーム変換器を用いてスタックアレイ半導体レーザを用いた半導体レーザ装置の焦点におけるエネルギー密度を高くした半導体レーザ装置を提供することにある。

40

## 【0012】

本発明の更に別の目的は、上記半導体レーザ装置を用いた、強力な半導体レーザ励起固体レーザ装置を提供することにある。

## 【0013】

## 【課題を解決するための手段】

50

本発明は上記課題を解決したもので、その要旨とするところは、以下の通りである。なお、本発明の記述では、前面とは集光点側を意味するものとする。また、理解を容易にするために、実施例の符号を（数字）にて示してある。

【0014】

[1] レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器（20）と、

10

前記第1の集光器（20）の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム変換器（30）と、

前記第1のビーム変換器（30）の前面に配設され、前記第1のビーム変換器（30）から出力されたレーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートするとともに各々所定の量だけ中心軸をずらして用いることにより近似的に同一物点から放射されたビームに変換するように光軸の角度変化を発生する第2の集光器（80）と、

前記第2の集光器（80）から出力されたレーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第1の方向に延びる圧縮された実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器（40）と、

20

前記第1のビーム圧縮器（40）から出力されたレーザビーム群を集光させる第3の集光器（70）と、

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0015】

[2] レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを放射する第1の方向に長い多数のエミッタが、該第1の方向に直線的に密集して並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

30

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器（20）と、

前記第1の集光器の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を各列内に並列して備え、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位とした前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第1のビーム変換器（30）と、

40

前記第1のビーム変換器の前面に配設され、前記第1のビーム変換器（30）からの出力レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートするとともに各々所定の量だけ中心軸をずらして用いることにより近似的に同一物点から放射されたビームに変換するように光軸の角度変化を発生する第2の集光器（80）と、

前記第2の集光器（80）からの出力レーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器（40）と、

前記第1のビーム圧縮器（40）からの出力レーザビーム群を集光させる第3の集光器（70）と、

50

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0016】

[3] レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第1の方向に伸びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム変換器(30)と、

前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)から出力されたレーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第2の集光器(80)と、

前記第2の集光器(80)からの出力レーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第1の方向に伸びる圧縮された実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器(40)と、

前記第2集光器(80)または前記ビーム圧縮器(40)の前面に配設され、複数列の前記第1の方向に伸びる実質的な梯子状レーザビーム群を受光して、各列毎に前記第2の方向にビーム群の中心光軸を変化させ実質的に同一の物点から出たビーム群とする角度変更器と、

前記中心光軸を変化させたレーザビーム群を集光させる第3の集光器(70)と、  
を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0017】

[4] レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを放射する第1の方向に長い多数のエミッタが、該第1の方向に直線的に密集して並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を各列内に並列して備え、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位とした前記第1の方向に伸びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第1のビーム変換器(30)と、

前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)から出力されたレーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第2の集光器(80)と、

前記第2の集光器(80)からの出力レーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第1の方向に伸びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器(40)と、

前記第2集光器(80)または前記ビーム圧縮器(40)の前面に配設され、複数列の前記第1の方向に伸びる実質的な梯子状レーザビーム群を受光して、各列毎に前記第2の方向にビーム群の中心光軸を変化させ実質的に同一の物点から出たビーム群とする角度変更器と、

前記レーザビーム群を集光させる第3の集光器(70)と、

10

20

30

40

50

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0018】

[5] 前記第2の集光器(80)または前記第1のビーム変換器(40)と前記角度変更器とを一体化したことを特徴とする前記[3]または[4]に記載の半導体レーザ装置。

【0019】

[6] レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、  
前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

10

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム変換器(30)と、

前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)からの出力レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第2の集光器(80)と、

前記第2の集光器(80)からの出力レーザビーム群を受光し、結像させて各列間の距離を縮小する第3の集光器(70)と、

20

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0020】

[7] レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを放射する第1の方向に長い多数のエミッタが、該第1の方向に直線的に密集して並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

30

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を各列内に並列して備え、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位とした前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第1のビーム変換器(30)と、

前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)からの出力レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第2の集光器(80)と、

40

前記レーザビーム群を受光し、結像させて各列間の距離を縮小する第3の集光器(70)と、

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0021】

[8] レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

50

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム変換器(30)と、

前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)からの出力レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第2の集光器(80)と、

前記第2の集光器(80)の前面に配設され、複数列の前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群を受光して、結像させ、各列間の距離を縮小する第4の集光器(71)と、

前記第4の集光器(71)による結像をさらに縮小再結像する第3の集光器(70)と、  
を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。 10

【0022】

[9] レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを放射する第1の方向に長い多数のエミッタが、該第1の方向に直線的に密集して並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、 20

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を各列内に並列して備え、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群のそれぞれを受光して前記光学素子毎に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザビームを単位とした前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第1のビーム変換器(30)と、

前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)からの出力レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第2の集光器(80)と、 30

前記第2の集光器(80)の前面に配設され、複数列の前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群を受光して、結像させ、各列間の距離を縮小する第4の集光器(71)と、

前記第4の集光器(71)による結像をさらに縮小再結像する第3の集光器(70)と、  
を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0023】

[10] 前記第4の集光器による結像面もしくはその近傍に配設され、各列毎に前記第2の方向にビーム群の中心光軸を変化させ実質的に同一の物点から出たビーム群とする角度変更器を備えることを特徴とする前記[8]または[9]に記載の半導体レーザ装置。

【0024】

[11] レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム変換器(30)と、

前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)か 40 50

ら出力されたレーザービーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 2 の集光器 ( 8 0 ) と、

前記第 2 の集光器 ( 8 0 ) からの出力レーザービーム群を受光し、複数列の前記第 1 の方向に延びる圧縮された実質的な梯子状レーザービーム群に変換して放射する第 1 のビーム圧縮器 ( 1 1 0 , 1 1 1 ) と、

前記第 1 のビーム圧縮器 ( 1 1 0 , 1 1 1 ) の前面に配設され、前記第 1 のビーム圧縮器 ( 1 1 0 , 1 1 1 ) からの出力レーザービームを列の間隔が短縮された複数列の前記第 2 の方向に圧縮されたレーザービーム群に変換して放射する第 2 のビーム圧縮器 ( 1 1 2 , 1 1 3 ) と、

前記前記第 2 のビーム圧縮器 ( 1 1 3 ) の出力ビームを受け、前記第 1 の方向のビーム発散角を前記第 2 の方向のビーム発散角に近づけるための第 4 の集光器 ( 6 0 ) と、

前記第 4 の集光器 ( 6 0 ) からの出力レーザービーム群を集光させる第 3 の集光器 ( 7 0 ) と、

を備えることを特徴とする半導体レーザー装置。

#### 【 0 0 2 5 】

[ 1 2 ] レーザービームを放射する第 1 の方向に長い複数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザービーム要素が 2 次元アレイ状に配列したレーザービーム群を放射するスタックアレイレーザーダイオード、または、レーザービームを放射する第 1 の方向に長い多数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に密集して並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザービームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザービーム群を放射するスタックアレイレーザーダイオードと、前記スタックアレイレーザーダイオードの前面に配設され、前記レーザービーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 1 の集光器 ( 2 0 ) と、

前記第 1 の集光器 ( 2 0 ) の前面に配設され、各列内のレーザービーム群を区分し、区分された複数のレーザービームのそれぞれを単位として、そのレーザービーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を各列内に並列して備え、前記第 2 の方向にコリメートされたレーザービーム群を受光して前記光学素子毎に該レーザービーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザービームのそれぞれを単位とした前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザービーム群として放射する第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) と、

前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) の前面に配設され、前記第 1 のビーム変換器 ( 3 0 ) から出力されたレーザービーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 2 の集光器 ( 8 0 ) と、

前記第 2 の集光器 ( 8 0 ) からのレーザービーム群を受光し、複数列の前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザービーム群に変換して放射する第 1 のビーム圧縮器 ( 1 1 0 , 1 1 1 ) と、

前記第 1 のビーム圧縮器 ( 1 1 0 , 1 1 1 ) の前面に配設され、前記第 1 のビーム圧縮器 ( 1 1 0 , 1 1 1 ) からの出力レーザービームを列の間隔が短縮された複数列の前記第 2 の方向に圧縮されたレーザービーム群に変換して放射する第 2 のビーム圧縮器 ( 1 1 2 , 1 1 3 ) と、

前記前記第 2 のビーム圧縮器 ( 1 1 3 ) の出力ビームを受け、前記第 1 の方向のビーム発散角を前記第 2 の方向のビーム発散角に近づけるための第 4 の集光器 ( 6 0 ) と、

前記第 4 の集光器 ( 6 0 ) からのレーザービーム群を集光させる第 3 の集光器 ( 7 0 ) と、を備えることを特徴とする半導体レーザー装置。

#### 【 0 0 2 6 】

[ 1 3 ] レーザービームを放射する第 1 の方向に長い複数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザービーム要素が 2 次元アレイ状に配列したレーザービーム群を放射するスタックアレイレーザーダイオードと、

前記スタックアレイレーザーダイオードの前面に配設され、前記レーザービーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 1 の集光器

(20)と、

前記第1の集光器の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、各列毎に前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム変換器(30)と、

前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)からの出力レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第2の集光器(80)と、

前記第2集光器(80)からのレーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器(150, 151)と、

前記第1のビーム圧縮器(150, 151)の前面に配設され、列の間隔が短縮された複数列の前記第2の方向に延びる圧縮されたレーザビーム群に変換して放射する第2のビーム圧縮器(152, 153)と、

前記第1のビーム圧縮器(150, 151)および/または第2のビーム圧縮器(150, 151)の内部に設置した光軸角度を変化させる角度偏光器と、

前記レーザビーム群を集光させる第3の集光器(70)と、

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0027】

[14] レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを放射する第1の方向に長い多数のエミッタが、該第1の方向に直線的に密集して並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、

前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を各列内に並列して備え、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎に該レーザビーム単位の断面の軸を回転して、該区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位とした前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第1のビーム変換器(30)と、

前記第1のビーム変換器(30)の前面に配設され、前記第1のビーム変換器(30)から出力されたレーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第2の集光器(80)と、

前記第2の集光器(80)からの出力レーザビーム群を受光し、梯子の間隔が短縮された複数列の前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器(110, 111)と、

前記第1のビーム圧縮器(110, 111)の前面に配設され、列の間隔が短縮された複数列の前記第2の方向に延びる圧縮されたレーザビーム群に変換して放射する第2のビーム圧縮器(112, 113)と、

前記第1のビーム圧縮器(110, 111)および/または第2のビーム圧縮器(112, 113)の内部に設置した光軸角度を変化させる角度偏光器と、

前記レーザビーム群を集光させる第3の集光器(70)と、

を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0028】

[15] 前記ビーム圧縮器が第1のビーム圧縮器と第2のビーム圧縮器の機能を一体化した2次元のビーム圧縮器(140, 141)であることを特徴とする前記[13]または[14]に記載の半導体レーザ装置。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 9 】

[ 1 6 ] 前記第 1 のビーム圧縮器と前記第 2 のビーム圧縮器との間に配設され、前記梯子の間隔が短縮された複数列の前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群を受光して、各列ごとに前記第 2 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビームに変換し、その結果、すべてのレーザビームが前記第 2 の方向に延びる 1 列の実質的な梯子状レーザビームに変換されて放射する第 2 のビーム変換器 ( 5 0 ) を備えることを特徴とする前記 [ 1 3 ] または [ 1 4 ] に記載の半導体レーザ装置。

## 【 0 0 3 0 】

[ 1 7 ] 前記第 1 のビーム圧縮器と前記第 2 のビーム圧縮器との間に配設され、前記梯子の間隔が短縮された複数列の前記第 1 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群を受光して、各列ごとに前記第 2 の方向に延びる実質的な梯子状レーザビームに変換し、その結果、すべてのレーザビームが前記第 2 の方向に延びる 1 列の実質的な梯子状レーザビームに変換されて放射する第 2 のビーム変換器 ( 5 0 ) と、前記第 2 のビーム変換器 ( 5 0 ) の前面に配設され、前記第 2 の方向にビーム群の中心光軸を変化させ実質的に同一の物点から出たビーム群とする角度変更器とを備えることを特徴とする前記 [ 1 6 ] に記載の半導体レーザ装置。

10

## 【 0 0 3 1 】

[ 1 8 ] 前記第 1 のビーム圧縮器と前記第 2 のビーム変換器との間に配設され、前記梯子の間隔が短縮された複数列の前記第 1 の方向の延びる実質的な梯子状レーザービーム群を受光し、各列毎のレーザービームを第 1 の方向に屈折させてコリメートして放射する第 5 の集光器 ( 1 5 4 ) を備えることを特徴とする前記 [ 1 6 ] または [ 1 7 ] に記載の半導体レーザ装置。

20

## 【 0 0 3 2 】

[ 1 9 ] 前記第 5 の集光器 ( 1 5 4 ) がシリンドリカルレンズであることを特徴とする前記 [ 1 8 ] に記載の半導体レーザ装置。

## 【 0 0 3 3 】

[ 2 0 ] 前記第 1 のビーム変換器と前記第 2 の集光器との間に配設され、各列ごとに前記第 2 の方向に光軸を平行シフトするシフターを備えることを特徴とする前記 [ 1 ] ~ [ 1 9 ] のいずれかに記載の半導体レーザ装置。

## 【 0 0 3 4 】

[ 2 1 ] 前記第 1 の集光器と前記第 1 のビーム変換器との間に配設され、各列ごとに前記第 2 の方向に光軸を平行シフトするシフターを備えることを特徴とする前記 [ 1 ] ~ [ 2 0 ] のいずれかに記載の半導体レーザ装置。

30

## 【 0 0 3 5 】

[ 2 2 ] 前記第 2 の集光器がシリンドリカルレンズの 1 次元アレイであることを特徴とする前記 [ 1 ] ~ [ 2 1 ] のいずれかに記載の半導体レーザ装置。

## 【 0 0 3 6 】

[ 2 3 ] レーザビームを放射する第 1 の方向に長い複数のエミッタが、該第 1 の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が 2 次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第 1 の方向に対してほぼ直角な第 2 の方向に屈折させてコリメートする第 1 の集光器 ( 2 0 ) と、

40

前記第 1 の集光器 ( 2 0 ) の前面に配設され、前記第 2 の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、前記第 2 の方向の光軸間隔が短縮されたレーザビーム群に変換して放射する第 2 のビーム圧縮器 ( 1 1 2 , 1 1 3 ) と、

前記第 2 のビーム圧縮器 ( 1 1 2 , 1 1 3 ) の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を並列して備え、前記第 2 の方向にコリメートされ、前記第 2 の方向の光軸間隔が短縮されたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎

50

に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位とした前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第1のビーム変換器50と、  
 前記第1のビーム変換器50の前面に配設され、前記第1の方向に圧縮されたレーザビーム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器(110, 111)と、  
 前記第1のビーム圧縮器(110, 111)の前面に配設され、前記第1の方向のビーム発散角を前記第2の方向の発散角に近づけるための第2の集光器(60)と、  
 前記レーザビーム群を集光させる第3の集光器(70)と、  
 を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0037】

[24] レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビーム要素が2次元アレイ状に配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオード、または、レーザビームを放射する第1の方向に長い多数のエミッタが、該第1の方向に直線的に密集して並ぶように、しかも複数列配列して設けられ、レーザビームが直線状にほぼ連続したものが複数列配列したレーザビーム群を放射するスタックアレイレーザダイオードと、  
 前記スタックアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を各列毎に前記第1の方向に対してほぼ直角な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器(20)と、

前記第1の集光器(20)の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して、前記第2の方向の光軸間隔が短縮されたレーザビーム群に変換して放射する第2のビーム圧縮器(112, 113)と、

前記第2のビーム圧縮器(112, 113)の前面に配設され、各列内のレーザビーム群を区分し、区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位として、そのレーザビーム単位の断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を並列して備え、前記第2の方向にコリメートされ、前記第2の方向の光軸間隔が短縮されたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎に該レーザビーム単位の断面の軸を旋回して、該区分された複数のレーザビームのそれぞれを単位とした前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第1のビーム変換器50と、

前記第1のビーム変換器50の前面に配設され、前記第1の方向に圧縮されたレーザビーム群に変換して放射する第1のビーム圧縮器(110, 111)と、  
 前記第2のビーム圧縮器(110, 111)の前面に配設され、前記第1の方向のビーム発散角を前記第2の方向の発散角に近づけるための第2の集光器(60)と、  
 前記レーザビーム群を集光させる第3の集光器(70)と、  
 を備えることを特徴とする半導体レーザ装置。

【0038】

[25] 前記第2のビーム圧縮器と前記第1のビーム変換器との間に配設され、前記第2の方向の光軸間隔が短縮されたレーザビーム群を受光し、各列毎のレーザビームを、さらに、前記第2の方向に屈折させてコリメートして放射する第5の集光器(155)を備えることを特徴とする前記[24]に記載の半導体レーザ装置。

【0039】

[26] 前記第5の集光器(155)がシリンドリカルレンズであることを特徴とする前記[25]に記載の半導体レーザ装置。

【0040】

[27] 前記第2のビーム圧縮器の前面にビーム群の中心光軸を変化させ実質的に同一の物点から出たビーム群とする角度変更器とを備えることを特徴とする前記[25]または[26]に記載の半導体レーザ装置。

【0041】

[28] 前記角度変更器が傾斜透明板またはウェッジプリズムのアレイであることを特徴とする前記[3]~[5]、[10]、[13]~[14]、[17]~[22]、お

10

20

30

40

50

よび、[ 27 ]のいずれかに記載の半導体レーザ装置。

【 0042 】

[ 29 ] 前記角度変更器がシリンドリカルレンズのアレイであることを特徴とする前記 [ 3 ] ~ [ 5 ]、[ 10 ]、[ 13 ] ~ [ 14 ]、[ 17 ] ~ [ 22 ]、および、[ 27 ] ~ [ 28 ]のいずれかに記載の半導体レーザ装置。

【 0043 】

[ 30 ] 前記角度変更器がセグメント式の反射鏡であることを特徴とする前記 [ 3 ] ~ [ 5 ]、[ 10 ]、[ 13 ] ~ [ 14 ]、[ 17 ] ~ [ 22 ]、および、[ 27 ] ~ [ 29 ]のいずれか1項に記載の半導体レーザ装置。

【 0044 】

[ 31 ] 前記ビーム圧縮器がアナモルフィックプリズムまたはアナモルフィックプリズムペアであることを特徴とする前記 [ 1 ] ~ [ 30 ]のいずれかに記載の半導体レーザ装置。

10

【 0045 】

[ 32 ] 前記ビーム圧縮器が1次元もしくは2次元のレンズによるテレスコープであることを特徴とする前記 [ 1 ] ~ [ 31 ]のいずれかに記載の半導体レーザ装置。

【 0046 】

[ 33 ] 前記ビーム圧縮器が1次元もしくは2次元のパラボリックミラーによるテレスコープであることを特徴とする前記 [ 1 ] ~ [ 32 ]のいずれかに記載の半導体レーザ装置。

20

【 0047 】

[ 34 ] 前記第1の集光器がシリンドリカルレンズの1次元アレイであることを特徴とする前記 [ 1 ] ~ [ 33 ]のいずれかに記載の半導体レーザ装置。

【 0048 】

[ 35 ] 前記第1の集光器の前面に、各列毎に、前記第2の方向に光軸角度を微調整する角度調整器を備えることを特徴とする前記 [ 1 ] ~ [ 34 ]のいずれかに記載の半導体レーザ装置。

【 0049 】

[ 36 ] 前記角度調整器は、少なくとも2個のウエッジ板を逆向きに組み合わせ、少なくとも1個のウエッジ板を回転可能に構成したものであることを特徴とする前記 [ 35 ]

30

【 0050 】

[ 37 ] 光軸に垂直な断面が第1の軸を有する入射光線を受光するための受光部と、前記光線断面の第1の軸をほぼ直角に回転させる光学系と、前記光学系を通過した出射光線を出射する出射部とを備える複数光学素子を、前記光学素子がレーザビームの光軸上に、該各光学素子の受光部と出射部とをそれぞれ同一面上に隣接させて2次元的に配列したビーム変換器をビーム変換器として用いたことを特徴とする前記 [ 1 ] ~ [ 36 ]のいずれかに記載の半導体レーザ装置。

【 0051 】

[ 38 ] 前記光学素子が、反射面で画定された空間であって、鉛直でかつ入射光線に対してほぼ45°傾いた前記第1の反射面と、入射光線に対し平行で水平面に対してほぼ45°傾いた前記第2の反射面と、入射光線に平行な鉛直面に対し垂直でかつ前記第1の反射面と第2の反射面との交線と平行で水平面に対してはほぼ45°傾いた前記第3の反射面とを供する空間であることを特徴とする前記 [ 37 ]に記載の半導体レーザ装置。

40

【 0052 】

[ 39 ] 前記光学素子が、第1の全反射面と第2の全反射面と第3の全反射面と入射面と出射面と接合面とからなるプリズムであり、第1、第2、第3の全反射面が互いに交差角60°で交わり、互いに平行な入射面と出射面とが第2の全反射面と直交し、第1および第3の全反射面に対してはほぼ45°傾き、接合面が第2の全反射面と平行なプリズムであり、該プリズムが第3の全反射面と入射面と出射面とをそれぞれ同一面上に隣接させて

50

隣り合うプリズムの接合面と第2の全反射面とを接合したプリズムの1次元アレイ、もしくは、プリズムの1次元アレイをさらに並列した2次元アレイをビーム変換器として用いたことを特徴とする前記[37]に記載の半導体レーザ装置。

【0053】

[40] 互いに平行な第1及び第2の平面と、前記第1の平面と $135^\circ$ の挟角をもって交わる第3の平面と、前記第1の平面に対して $\tan^{-1}(1/2)$ の角度で交差する方向に、その稜線並びに谷線が延在する折れ曲がり角が $60^\circ$ をなす山と谷とが洗濯板状に連続形成された周期的屈曲面からなり、かつ、各稜線並びに角谷線が前記第3の平面と平行な第4の面を有し、前記第1の平面を入射面とし、前記第2の平面を出射面とし、前記第4の面を構成する屈曲面のうち前記第1の平面と $45^\circ$ の挟角をもって交わる面を第1の反射面とし、他の面を第2の反射面とし、前記第3の平面を第3の反射面とした光学ガラス体、もしくは、該光学ガラス体をさらに並列した1次元アレイをビーム変換器として用いたことを特徴とする前記[37]に記載の半導体レーザ装置。

10

【0054】

[41] 入射光軸に垂直な平面と $135^\circ$ の挟角をもって交わる第1の平面と前記入射光軸に垂直な平面に対して $\tan^{-1}(1/2)$ の角度で交差する方向に、その稜線並びに谷線が延在する折れ曲がり角が $60^\circ$ をなす山と谷とが洗濯板状に連続形成された周期的屈曲面からなり、かつ、各稜線並びに各谷線が前記第1の平面と平行な第2の面を有し、前記第1の平面および第2の面には鏡面処理が施され、前記第2の面を構成する屈曲面のうち前記入射光軸に垂直な平面と $45^\circ$ の挟角をもって交わる面を第1の反射面とし、他の面を第2の反射面とし、前記第1の平面を第3の反射面としたミラー構造体、もしくは、該ミラー構造体をさらに並列した1次元アレイをビーム変換器として用いたことを特徴とする前記[37]に記載の半導体レーザ装置。

20

【0055】

[42] 前記光学素子が、軸をほぼ $45^\circ$ 傾けた凸型のシリンダリカルレンズの対を所定の距離空間を挟んで対向配置したものであることを特徴とする前記[37]に記載の半導体レーザ装置。

【0056】

[43] 前記ビーム変換器が、軸をほぼ $45^\circ$ 傾けた凸型のシリンダリカルレンズの対を所定の距離空間を挟んで対向配置したものを複数配列したものの1次元アレイであることを特徴とする前記[37]に記載の半導体レーザ装置。

30

【0057】

[44] 前記シリンダリカルレンズの対において、出射側レンズの曲率半径が、入射側レンズの曲率半径より小さいことを特徴とする前記[42]または[43]に記載の半導体レーザ装置。

【0058】

[45] 前記光学素子が、側面の両端に凸型のレンズ部分を有するシリンダリカルレンズであり、該光学素子を複数、入射光線に対してほぼ $45^\circ$ 傾けて接合させたものであることを特徴とする前記[37]に記載の半導体レーザ装置。

【0059】

[46] 前記ビーム変換器が、側面の両端に凸型のレンズ部分を有するシリンダリカルレンズを複数、入射光線に対してほぼ $45^\circ$ 傾けて接合させたものの1次元アレイであることを特徴とする前記[37]に記載の半導体レーザ装置。

40

【0060】

[47] 前記凸型レンズにおいて、出射側レンズの曲率半径が、入射側レンズの曲率半径より小さいことを特徴とする前記[45]または[46]に記載の半導体レーザ装置。

【0061】

[48] 前記ビーム変換器が、断面が長方形をなす光学ガラス製角柱の入射面と出射面と同じ方向にほぼ $45^\circ$ 傾いた円柱状表面を複数形成し、各円柱表面に入射した入射光線の断面がほぼ $90^\circ$ 旋回して出射するようにしたことを特徴とする前記[37]に記載

50

の半導体レーザー装置。

[ 4 9 ] 前記円柱状表面において、出射側表面の曲率半径が、入射側表面の曲率半径より小さいことを特徴とする前記 [ 4 8 ] に記載の半導体レーザー装置。

【 0 0 6 2 】

[ 5 0 ] 前記光学素子が、断面が台形をなすダブリズムであり、該光学素子を複数、ほぼ  $45^\circ$  傾けて配設したものであることを特徴とする前記 [ 3 7 ] に記載の半導体レーザー装置。

【 0 0 6 3 】

[ 5 1 ] 前記光学素子が、回折により中心軸に垂直な方向にのみパワーが変化する2つの光学要素を対向させ、中心軸をほぼ  $45^\circ$  傾けて配設したものであることを特徴とする前記 [ 3 7 ] に記載の半導体レーザー装置。 10

【 0 0 6 4 】

[ 5 2 ] 前記ビーム変換器が、入射側と出射側と1対のバイナリオプティクス素子を所定の距離空間を挟んで対向配置したものからなり、入射側バイナリオプティクス素子と出射側バイナリオプティクス素子の表面に、ほぼ  $45^\circ$  傾いた中心軸に対して対称に、中心軸に垂直な方向にのみパワーが変化するよう深さを変化させた軸対称な階段状表面を複数形成し、各軸対称な階段状表面に入射した入射光線の断面がほぼ  $90^\circ$  旋回して出射するようにしたことを特徴とする前記 [ 3 7 ] に記載の半導体レーザー装置。

【 0 0 6 5 】

[ 5 3 ] 前記光学素子が、屈折率が連続的に変化した構造からなり配設の向きと垂直な方向にのみパワーが変化する光学要素を水平面に対してほぼ  $45^\circ$  傾けて配置したことを特徴とする前記 [ 3 7 ] に記載の半導体レーザー装置。 20

【 0 0 6 6 】

[ 5 4 ] 前記ビーム変換器が、中央面で最も屈折率が高く側面に近づくほど屈折率が低くなる光学ガラス体からなる1次元分布屈折率レンズ要素を複数、前記中央面が水平面に対してほぼ  $45^\circ$  傾けて接合させたものであることを特徴とする前記 [ 3 7 ] に記載の半導体レーザー装置。

【 0 0 6 7 】

[ 5 5 ] 前記ビーム変換器が、光学ガラス板の両面に、同じ方向にそれぞれ対になるほぼ  $45^\circ$  傾いた半円柱状の分布屈折率レンズ要素を対向配置したものからなり、半円の中心が最も屈折率が高く、外側になる程屈折率が低くなるレンズ要素を複数形成したものであることを特徴とする前記 [ 3 7 ] に記載の半導体レーザー装置。 30

【 0 0 6 8 】

[ 5 6 ] 前記第1の集光器を前面に備えるスタックアレイレーザーダイオードを少なくとも2基備え、かつ、該第1の集光器の前面に、該集光器から出射する少なくとも2つのレーザービーム群を結合する光学機器を備えたことを特徴とする前記 [ 1 ] ~ [ 5 5 ] のいずれかに記載の半導体レーザー装置。

【 0 0 6 9 】

[ 5 7 ] 前記スタックアレイレーザーダイオードを少なくとも2基備え、かつ、前記第3の集光器の後面に、該集光器に入射する少なくとも2つのレーザービーム群を波長結合する光学機器を備えたことを特徴とする前記 [ 1 ] ~ [ 5 5 ] のいずれかに記載の半導体レーザー装置。 40

【 0 0 7 0 】

[ 5 8 ] 前記第1の集光器を前面に備えるスタックアレイレーザーダイオードを少なくとも3基備え、かつ、該第1の集光器の前面に、該集光器から出射する少なくとも2つのレーザービーム群を結合する光学機器を備え、かつ、前記第3の集光器の後面に、該集光器に入射する少なくとも2つのレーザービーム群を波長結合する光学機器を備えたことを特徴とする前記 [ 1 ] ~ [ 5 5 ] のいずれかに記載の半導体レーザー装置。

【 0 0 7 1 】

[ 5 9 ] 前記光学機器が偏光素子であることを特徴とする前記 [ 5 6 ] または [ 5 8 ] 50

に記載の半導体レーザ装置。

【0072】

[60] 前記光学機器が、前記スタックアレイレーザダイオードのスタックピッチと同じピッチで透過窓を形成したミラーであることを特徴とする前記[56]または[58]に記載の半導体レーザ装置。

【0073】

[61] 前記光学機器が、前記スタックアレイレーザダイオードのスタックピッチと同じピッチで配置したミラーからなることを特徴とする前記[56]または[58]に記載の半導体レーザ装置。

【0074】

[62] 前記光学機器が、前記スタックアレイレーザダイオードのスタックピッチと同じピッチで配置した直角プリズムからなることを特徴とする前記[56]または[58]に記載の半導体レーザ装置。

【0075】

[63] 前記光学機器が、ダイクロミックミラーであることを特徴とする前記[57]または[58]に記載の半導体レーザ装置。

【0076】

[64] 前記第3の集光器の焦点面に端面を有する光ファイバを備えることを特徴とする前記[1]～[63]のいずれかに記載の半導体レーザ装置。

【0077】

[65] 前記光ファイバがコアに希土類元素をドープした光ファイバであることを特徴とする前記[64]に記載の半導体レーザ装置。

【0078】

[66] 前記[1]～[65]のいずれかに記載の半導体レーザ装置と、励起光受光面が、前記第3の集光器の焦点位置に整合された固体レーザ素子を備えることを特徴とする半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【0079】

[67] 前記[64]に記載の半導体レーザ装置と、前記[64]に記載の光ファイバから出射する光をコリメートして焦点に収斂する光学系と、励起光受光面を有し、かつ、該励起光受光面が、該焦点の位置に整合された固体レーザ素子を備えることを特徴とする半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【0080】

[68] 前記光ファイバがコアに希土類元素をドープした光ファイバであることを特徴とする前記[67]に記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【0081】

【発明の実施の形態】

スタックアレイレーザダイオードは、速軸と遅軸とでビームの発散角が異なるため集光しにくいということは上に述べた。本発明では、各軸ごとに適切なコリメーションを可能とするためビームを90°回転させる手法をとる。これにより発散の大きい速軸を先にコリメートし、発散の小さい遅軸側を後からゆっくり落ち着いて独立にコリメートすることが可能となる。

【0082】

また、スタックアレイレーザダイオードは互いに平行な光軸を持つ複数の光源が同一面上に配置された面状光源である。このような光源を集光する際の結像について考察する。

【0083】

図3は焦点距離 $f$ の集光レンズに平行ビームが入射した様子を示す。簡単のため2本の平行ビームの場合を示している。この場合は全てのビームがレンズの焦点に集光され中心軸上において単一の像が得られる。

【0084】

一方、互いの光軸は平行であるが発散角を持つビームが集光レンズに入射すると、発散角

10

20

30

40

50

の影響で像がレンズの焦点よりも遠い側に移動するためにレンズの中心軸からはずれた位置にて別々の像を結ぶ。

【0085】

この様子を図4に示す。簡単のため2本のビームの場合を、ロウソクを使って模式的に示している。幾何光学的には有限の距離に置かれた、異なる物点から出た光は異なる像を結ぶということに他ならない。スタックアレイレーザダイオードは図4の場合に相当するが、このように別々の像点に結像したのでは光強度の増強が得られず狭い領域に高水準のエネルギーを集中することができない。

【0086】

こうした事情については、本発明の発明者の一人が複数本の光ファイバから放射されるビームについてよく検討し、特開平2001-255491号公報として開示している。その要旨は、大別して以下の2つの方法に集約できる。

【0087】

すなわち、一つは、それぞれのビームに所定の角度を与え、集光レンズから見てあたかも同一の光源から放射されてきたかのようにするものである。すなわち、図5に示すように、各ビームがレンズの中心軸上に置かれた共通の虚像Oから放射されたように角度を与えるのである。

【0088】

図5は簡単のため2本のビームの場合を示している。ビーム間の角度を開く分、集光レンズの実効的な口径を大きく取る必要がある。レーザのように発散角度の限定された光源についてはこのような手法が可能なのである。

【0089】

もう一つは、ビームの中心軸間隔を狭める操作を行い必要に応じてそれを縮小再結像することにより像全体を小さく形成するようにさせるものである。すなわち、図6に示すように、互いに等しい強度分布を有するビーム中心軸間隔を狭めて物点間隔を小さくした上で必要に応じて再結像する。図6は簡単のため2本のビームの場合を示している。

【0090】

なお、以上の2つの方法を組み合わせることがより効果的であることは言うまでもない。

【0091】

上記光ファイバの場合は複数本のファイバを密に束ねることで物点間距離をあらかじめ縮小することができるので、上記特開平2001-255491号公報の方法が有効に作用する。しかし、スタックアレイレーザダイオードでは、アレイの幅やスタック間隔を変更することが困難である。

【0092】

そこで、発明者らは距離の離れた複数の物点を極力単一化する方法についてさらに鋭意検討した。その結果、圧縮器の導入をはじめとする各種の具体的方法を見いだした。

【0093】

【実施例】

以下、本発明の本旨とするところをより詳らかにするために添付の図面に基づいて説明する。

【0094】

図7は、本発明の半導体レーザ装置の一実施例を示す平面図、図8は、その立面図である。なお、半導体レーザとレーザダイオードは同義である。

【0095】

スタックアレイ半導体レーザ10は、幅約10mmの間にレーザビームを放射する10個から100個(図7では便宜上6個表示される)の活性層ストライプ12を一行に配列したりニアアレイ半導体レーザを平行に積み重ね(図8では4層表示される)高さ5mm~40mmとしたものである。

【0096】

各活性層ストライプ12の断面は、例えば、幅100 $\mu$ m~200 $\mu$ m、厚み0.1 $\mu$ m

～1.5 μmで、活性層ストライプの端面から放射されるレーザ光線は、厚み方向（以下速軸方向と呼称する）の放射角が40°～50°、幅方向（以下遅軸方向と呼称する）の放射角が10°で、スタックアレイ半導体レーザ10の発光源となっている。

【0097】

活性層ストライプはリニアアレイ半導体の端部に一列に並んでいるため、スタックアレイ半導体レーザは、線分が2次元アレイ状に配列した発光の光源を与える。

【0098】

第1の柱状レンズアレイ20が、スタックアレイ半導体レーザ10から放射されるレーザ光を活性層ストライプの厚みの方向に集束力を有し、速軸成分を平行にする。第1の柱状レンズアレイ20は幅方向には等しい光学的厚みを有して、光はほぼ直進するため、レーザビームの遅軸成分の放射角は約10°と変わらない。

10

【0099】

第1のビーム変換器30が、第1の柱状レンズアレイ20から出力されるレーザビームの断面を入射光に対してほぼ90°回転させる。第1のビーム変換器30は、スタックアレイ半導体レーザ10の各活性層ストライプ12に1対1に対応する光学素子を各活性層ストライプに対応するように、2次元アレイ状に配列したものである。

【0100】

第1の柱状レンズアレイ20によって幅方向に約10°の角をもって放散し厚み方向に平行光となったレーザビーム（図8参照）は、第1のビーム変換器30によって、各活性層ストライプ毎に約90°回転させられるので、厚み方向に放射角約10°、幅方向に平行な光に変換される（図7参照）。なお、上記光学素子は複数の活性層ストライプを含むストライプ群に対応するようにしたものであってもよい。

20

【0101】

このように、約90°回転しビーム変換されたレーザビームが活性層ストライプ、若しくはストライプ群の数だけ平行に並ぶので、スタックアレイ半導体レーザ10の放射光は活性層ストライプが梯子状に並列し、その並列が、さらに複数並列して2次元的に配列したものと実質的に同じものとなる。この回転走査により次のコリメーションが容易に実現可能となる。

【0102】

第2の柱状レンズアレイ80がレーザビーム群を各列毎に厚み方向に屈折させてコリメートする。同時に各々所定の量だけレンズとビームの中心軸をずらして用いることにより近似的に同一物点から放射されたビーム群に変換するように光軸の角度変化を発生する。

30

【0103】

ビーム圧縮器40が梯子状に並列したレーザビームの梯子の間隔を短縮しレーザビームを圧縮する。このような圧縮されたレーザビームが、さらに、スタックアレイ半導体レーザの高さ方向（スタック方向）に1列に直列することになる。

【0104】

圧縮されたビーム群は梯子の間隔が狭いために伝播中に強度分布のラップが起こりもはや別々のビームとは見なせなくなる。すなわち、スタックアレイ半導体レーザから発したビームは、ビーム圧縮器40を出た段階で各アレイごとに1群のビームとなる。

40

【0105】

そして、集光レンズ70が全ビーム群を集光する。ビーム群は近似的に集光レンズ70の中心軸上にある同一の物点から発したビームとなっているので中心軸上にて同一スポットに結像する。集光スポットの大きさは各軸成分のコリメート径を物点の大きさで見なしたとき、これらに集光レンズ70の結像比を掛けた程度の大きさになる。

【0106】

ただし、速軸側の物点の大きさはアレイの幅10mmにビーム圧縮器40による圧縮比を掛けただけの大きさで見なす必要がある。

【0107】

例えば、ビーム圧縮器40の圧縮比が1/10のとき、速軸側の物点の大きさは1mmと

50

考えられる。したがって、集光レンズ70の結像比が1/3とすれば、像の大きさは約330 $\mu\text{m}$ となる。厳密にはこの中にさらに線分状の像が等間隔で並んでいる。

【0108】

遅軸側については、第2の柱状レンズアレイ80によるコリメート径が400 $\mu\text{m}$ であるとするれば、像は133 $\mu\text{m}$ となる。結局、330 $\mu\text{m}$ ×133 $\mu\text{m}$ のスポットが得られる。1kWの出力で2MW/cm<sup>2</sup>のパワー密度を得る。これは十分に金属の深溶け込み溶接が可能なパワー密度である。

【0109】

もし、第2の柱状レンズアレイ80による角度変化を生じさせないとすると、各アレイからのビーム群は別々の像を結ぶので、遅軸側の全体像の大きさはスタックの高さに集光レンズ70の結像比をかけた大きさになる。例えば、スタック高さが30mmであるとする、像の大きさは10mmとなる。このように、角度変化によって離散的な像を一つに重ねることができる。

【0110】

なお、第2の柱状レンズアレイ80は図7および図8に示したように第1のビーム変換器30の前面に配置してもよいし、ビーム圧縮器40の前面に配置してもよい。その際、第1のビーム変換器30と第2の柱状レンズアレイ80または第2の柱状レンズアレイ80とビーム圧縮器40を一体化することもできる。これにより部品点数を削減できるとともに界面でのロスが減少する利点がある。

【0111】

図9は、スタックアレイレーザダイオードとして発光部分の密度が高い擬似連続発振レーザダイオードQuasi-CW-LD等を用いる場合の本発明の半導体レーザ装置の平面図、図10は、その立面図である。スタックアレイレーザダイオード10には多数の活性層ストライプ12が高密度に設けられていて、実質的に区切りのない直線状発光部を形成している。

【0112】

第1のビーム変換器30は、活性層ストライプのサイズと関係なく、或いは、所定数のストライプに対応する寸法を有する光学素子を、適当数、直線的に配列したものである。第1の柱状レンズアレイ20、第1のビーム変換器30、ビーム圧縮器40、第2の柱状レンズアレイ80、集光レンズ70の位置や作用は、図7および図8に説明したものと同一である。

【0113】

このように活性層ストライプの幅が短い、その間隔が狭いレーザダイオードを用いるときには、第1のビーム変換器の光学素子を活性層ストライプと1対1に対応させるとビーム変換器の製作が困難になる。

【0114】

本態様は、その代わりに、適当な数の活性層ストライプを群にまとめてこれに対応させたものである。また、レーザダイオードの発光部を点線状と見る代わりに1本のストライプと見なして、これを光学素子で適当に区分して巡回させて、実質的に、梯子状に発光するレーザダイオードに変化させたものとも考えることもできる。

【0115】

図11は、本発明の半導体レーザ装置の別の実施例を示す平面図、図12は、その立面図である。図7および図8に示した例との相違点は、ビーム角度を変更する手段が、第2の柱状レンズアレイ80ではなく、新たに別に設けた透明ウェッジ板120による点である。第2の柱状レンズアレイ80は単に遅軸成分をコリメートする作用のみを担う。

【0116】

透明ウェッジ板120は、図12に示すように角度のついた透明板であり、光がこれを透過する際に屈折による角度変化を与える。透明ウェッジ板120を設置する位置は、図11および図12に示すごとくビーム圧縮器40の前面に配置するかもしくは第2の柱状レンズアレイ80とビーム圧縮器40の間に配置する。この際、透明ウェッジ板120と第

10

20

30

40

50

2の柱状レンズアレイ80、あるいはビーム圧縮器40を一体化することもできる。

【0117】

これにより部品点数を削減できるとともに界面でのロスが減少する利点がある。本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザに対しても同様に適用できる。

【0118】

また、図13および図14に示すごとく第2の柱状レンズアレイを省略することもできる。なお、図13および図14は第1のビーム変換器30と透明ウェッジ板を一体化した例である。さらに、本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザに対しても同様に適用できる。

10

【0119】

図15は、本発明の半導体レーザ装置の別の実施例を示す平面図、図16は、その立面図である。図7および図8に示した例との相違点は、ビーム角度を変更する手段が、第2の柱状レンズアレイ80ではなく、新たに別に設けた柱状レンズ130による点である。第2の柱状レンズアレイ80は単に遅軸成分をコリメートする作用のみを担う。

【0120】

柱状レンズ130は、図16に示すようにスタックアレイの階層方向(第2の方向)に作用するレンズであり、中心軸をずらして用いることにより角度変化を生じる。柱状レンズ130は図16に示すごとくビーム圧縮器40の前面に配置するかもしくは第2の柱状レンズアレイ80とビーム圧縮器40の間に配置する。この際、柱状レンズとビーム圧縮器40を一体化することもできる。

20

【0121】

また、第2の柱状レンズアレイ80を省略することもできる。さらに本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザに対しても同様に適用できる。

【0122】

図17は、本発明の半導体レーザ装置の別の実施例を示す平面図、図18は、その立面図である。図7および図8に示した例との相違点は、ビーム角度を変更するのではなく、ビームの中心軸間隔を狭める方法を取る点である。そのために、第2の柱状レンズアレイ80の後に焦点距離 $f_3$ の第2の集光レンズ71を設けた。

30

【0123】

スタックアレイレーザダイオードから出たビーム群の遅軸成分は焦点距離 $f_2$ の第2の柱状レンズアレイ80によって各々一旦コリメートされるが、波の性質によって伝播中に広がるために第2の集光レンズの手前では若干発散系のビームとなる。ただし、各中心軸は平行である。

【0124】

したがって、これを第2の集光レンズで集光すると、厳密には図4にて説明したように離散的な像を結ぶ。つまり、第2の柱状レンズアレイ80の後、より正確には、波面が平面となる位置に物点が移動したと考えるべきである。ただし、発散角が小さいので第2の集光レンズ70の中心軸からの各像の逸脱距離はきわめて小さく像はほとんど一つに重なって見える。

40

【0125】

速軸成分に関しても同様である。物点は第1の柱状レンズアレイ20のすぐ後にできる。第2の集光レンズ70によって集光すると、やはり厳密には離散的な像を結ぶ。ただし、遅軸成分に比べてなお像間距離が近いので全体の強度分布はほとんど完全な単峰性となる。

【0126】

このように、第2の集光レンズ70の結像面ではいずれの軸方向にも単峰性の像が得られる。しかし、像の倍率が速軸方向に関しては $f_3/f_1$ 、遅軸方向に関しては $f_3/f_2$ で拡大結像系となるため、像が大きくなる場合がある。

50

## 【0127】

図19は、図17および図18の構成に対応して上記の説明を物点を追う形で模式的に図解したものである。図19(a)は、スタックアレイレーザーダイオードの出力ビームを正面から見たものである。簡単のため、一部を取って1アレイあたりのストライプ数を6、スタック階数を4として表示してある(全幅は10mmであり、実際のストライプ数は6よりも多いことに注意)。

## 【0128】

図19(b)は、第1のビーム変換器後のビーム、図19(c)は、第2の集光レンズによる結像を示す。次に具体的な数字を与えることでこの結像の状況を説明する。例えば、速軸成分の出射径を1 $\mu$ m、遅軸成分の出射径を200 $\mu$ mとする。

10

## 【0129】

第1の柱状レンズアレイ20の焦点距離 $f_1$ を0.3mm、第2の柱状レンズアレイ80の焦点距離 $f_2$ を4.5mm、第2の集光レンズ71の焦点距離 $f_3$ を30mmとすると、元々のアレイ方向に関しては $1\mu\text{m} \times 30 / 0.3 = 100\mu\text{m}$ 程度、スタックアレイの階層方向に関しては $200\mu\text{m} \times 30 / 4.5 = 1.3\text{mm}$ 程度の大きさの像が得られる。

## 【0130】

ただし、実際はエミッターや光学系の取り付け誤差等が存在するのでアレイ方向の集光径は上記の2倍程度の200 $\mu$ m程度となる場合がある。このときの出力が50Wであるとすると、パワー密度は $2 \times 10^4 \text{ W} / \text{cm}^2$ 程度になる。スポットは楕円である。本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザーに対しても同様に適用できる。

20

## 【0131】

図20は、本発明の半導体レーザー装置の別の実施例を示す平面図、図21は、その立面図である。本実施例は、図17および図18に示した実施例をさらに縮小結像してビームの中心軸間隔を狭めたものである。そのために、集光器71の後に集光器70を設けた。

## 【0132】

図17および図18に示した例よりもさらに高いパワー密度が実現できる。本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザーに対しても同様に適用できる。

30

## 【0133】

図22は、図20および図21に示した実施例においてスタック方向に関して第2の集光レンズの焦点に光軸角度変化機能を備え、集光レンズ70による像の合成を図った構成を説明する側面図である。

## 【0134】

光軸角度変化素子として透明ウェッジ板120を用いた。焦点近傍では各ビームが結像するのでビームは明確に分離している。そこに透明ウェッジ板を配置することによって全ビームが共通の物点から発したビームのように変換することができる。

## 【0135】

その結果、集光レンズの結像点ではスタック方向の像が一致する。この効果はアレイ方向にても同様に実施可能である。また、何本かのビームをまとめて角度変化させても良い。なお、光軸角度変化機能として柱状レンズを用いても良い。

40

## 【0136】

本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザーに対しても同様に適用できる。

## 【0137】

図23は、本発明の半導体レーザー装置の別の実施例を示す斜視図である。本実施例は、ビームの中心軸間隔を狭める手段としてパラボリックミラーによる1次元のテレスコープを2組用いるものである。そのために第2の柱状レンズアレイ80の後に柱状パラボリックミラーを4個設置した。本例ではスタックアレイ半導体レーザーのアレイ方向の圧縮とスタ

50

ック方向の圧縮を機能的に分離した。

【0138】

第1の柱状パラボリックミラー110と第2の柱状パラボリックミラー111とでアレイ方向圧縮のテレスコープ、第3の柱状パラボリックミラー112と第4の柱状パラボリックミラー113とでスタック方向圧縮のテレスコープを構成する。

【0139】

テレスコープはケプラー型でもガリレイ型でも良い。いずれにしてもテレスコープの出側に物点が形成される。なお、テレスコープは柱状レンズにても構成できる。もちろん、柱状パラボリックミラーと柱状レンズの組み合わせとしても良い。ビーム圧縮による発散角の増大を補正するために柱状レンズ60を設置することができる。

10

【0140】

本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザに対しても同様に適用できる。

【0141】

図24は、図23に示した実施例においてテレスコープを柱状レンズによるものとし、特にスタック方向はケプラー型のものとし、加えてその焦点もしくはその近傍に光軸角度変化素子を備え、像の合成を図った構成を説明する斜視図である。光軸角度変化素子として透明ウェッジ板120を用いた。

【0142】

図25は、その部分の拡大図である。焦点近傍では各ビームが結像するのでビームは明確に分離している。そこに透明ウェッジ板120を配置することによって全ビームが共通の物点から発したビームのように変換することができる。

20

【0143】

その結果、集光レンズ70の結像点ではスタック方向の像が一致する。図26にその様子を示す。結像点では光軸間隔が狭いのでウェッジ角度を小さくでき、集光レンズ70の有効径を小さくできる利点がある。

【0144】

本実施例の効果はアレイ方向にても同様に実施可能である。光軸角度変化機能として柱状レンズを用いても良い。

【0145】

本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザに対しても同様に適用できる。

30

【0146】

図27は、本発明の半導体レーザ装置の別の実施例を示す平面図、図28は、その立面図である。本実施例はビームの中心軸間隔を狭める手段としてテレスコープを用いるものである。そのために、レンズ140の後にレンズ141を設けた。レンズ140とレンズ141とでケプラー型のテレスコープを構成した。もちろん、レンズ141を凹レンズとしてガリレイタイプのテレスコープとしてもよい。いずれにしても、レンズ141の出側に一旦波面が平面となるので、ここに物点が形成される。

【0147】

まず、テレスコープ出側の状況を説明する。スタック間隔を1.75mm、段数を20、ストライプ間隔を800 $\mu$ m、第1の柱状レンズアレイ20による速軸側のコリメート径を200 $\mu$ m、第2の柱状レンズアレイ80による遅軸側のコリメート径を400 $\mu$ mとし、テレスコープの縮小比を1/10とすると、元々のアレイ方向に関しては全幅約14mmの中に約80 $\mu$ m間隔で12本のストライプ像が梯子状に並ぶことになる。

40

【0148】

この方向ではビーム径が約20 $\mu$ mであるから全体像は離散的なものになる。一方、スタックアレイの階層方向に関しては間隔約175 $\mu$ mで4列のビーム群が並ぶことになる。この方向ではビーム径は約40 $\mu$ mであるから元々のアレイ方向に比較してなお離散的な像になる。

50

## 【0149】

2次元的にはアレイ方向約1mm、スタック方向約3.3mmの四角の中に線分が並んだような像になる。図29は、テレスコープ前後の像の変化の様子を図解したものである。この図では、便宜上6ストライプ×4スタックを表示している。

## 【0150】

次に、第1の集光レンズ70を用いて、上記物点を再度縮小結像することによって、十分実用的と見なせる像を形成した。縮小比を1/4としたので、元々のアレイ方向に関しては全幅約250 $\mu$ mの中に約20 $\mu$ m間隔で12本のストライプが梯子状に並んだ。

## 【0151】

一方、スタックアレイの階層方向に関しては、全幅約830 $\mu$ mの中に間隔約44 $\mu$ mで20列のビーム群が並ぶことになる。つまり、2次元的にはアレイ方向250 $\mu$ m、スタック方向830 $\mu$ mの四角の中に線分が並んだような全体像になる。

## 【0152】

しかし、これだけ小さく絞ると、例えば、加工に用いる場合でも被加工物側の伝熱拡散を考慮すると均一な像であるかどうかはあまり問題にならなくなる。例えば、集光点での出力が500Wとすると、上記全体像の平均パワー密度は $2.4 \times 10^5$  W/cm<sup>2</sup>となり十分深溶け込み溶接等の加工に供し得る。

## 【0153】

なお、ビームの中心軸間隔を狭める手段としてパラボリックミラーによるテレスコープを用いても良い。さらに、本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザに対しても同様に適用できる。

## 【0154】

図30は、図23に示した実施例に加えてアレイ方向のテレスコープとスタック方向(第2の方向)のテレスコープとの間に、第2のビーム変換器50を備えた構成例を示す斜視図である。

## 【0155】

第2のビーム変換器50は、アレイごとにビーム群を回転して1列の梯子状に変換する。この操作に伴って、第2のテレスコープであるスタック方向のテレスコープで圧縮されるのは速軸成分ということになる。

## 【0156】

したがって、第1のテレスコープであるアレイ方向のテレスコープと併せて速軸方向が2回圧縮されることになる。第2のビーム変換器(50)には、そのビーム変換要素にスタック毎のビームが入射することが望ましいが、スタック間のビームが重なり合った後でも入射しても構わない。この場合は、第2のビーム変換器のビーム変換要素ごとに新たにビームを分区し回転することになる。

## 【0157】

しかし、図30に示す構成例において、第1のビーム圧縮器(110、111)を通過したレーザビームが速軸方向に多少の発散角を有するビームの場合、該レーザビームが、第2のビーム変換器(50)を通過する時、隣接するビーム変換要素にはみ出し、図31に示すように、ゴーストを形成する。その結果、ビームのスループットは低下する。

## 【0158】

そこで、図32に示すように、第1のビーム圧縮器(110、111)と第2のビーム変換器(50)との間に、第1のビーム圧縮器(110、111)を通過した各列毎のレーザビームを第1の方向(速軸方向)に屈折させてコリメートするシリンドリカルレンズ(第5の集光器(154))を配設することが好ましい。

## 【0159】

上記第5の集光器(154)の配設により、第2のビーム変換器(50)を通過するレーザビーム群の包絡線が細くなり、ゴーストが消滅する。

## 【0160】

ところで、光の性質としてビーム径Dと発散角 $\theta$ の積 $D \cdot \theta$ は一定である。積が小さい方

10

20

30

40

50

が集光性がよい。今、速軸側は  $D_F = 1 \mu\text{m}$ 、 $\theta_F = 0.698 \text{ rad}$ 、遅軸側は  $D_S = 200 \mu\text{m}$ 、 $\theta_S = 0.175 \text{ rad}$  とすると、 $D_F \cdot \theta_F = 0.7 \mu\text{m} \cdot \text{rad}$ 、 $D_S \cdot \theta_S = 35 \mu\text{m} \cdot \text{rad}$  となるので、積の大きさに 50 倍の開きがある。このように速軸成分の方が、集光性がよいので速軸側を 2 回圧縮する方が有利なのである。

【0161】

逆に、圧縮した分だけビーム発散角は拡大するので、集光レンズに入射する全体のビーム径が大きくなる心配がある。そこでアレイ方向とスタック方向の広がりを近づけるために柱状レンズ 60 を配置した。

【0162】

本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザー 10 に対しても同様に適用できる。

【0163】

図 33 は、本発明の別の実施例で、図 30 の配置にスタック方向及びアレイ方向の透明ウェッジ板 (120, 121) を加えた構成を示す斜視図である。図はスタック方向とアレイ方向でビーム群をそれぞれ 3 分割して向きを変えた場合を示している。

【0164】

また、図 34 に、図 33 に示す実施例において、第 1 のビーム圧縮器 (110, 111) と第 2 のビーム変換器 (50) との間に、シリンドリカルレンズ (第 5 の集光器 (154)) を配設した別の実施例を示す。

【0165】

ビーム群はスタック方向及びアレイ方向でそれぞれ 3 つに分割された後、集光レンズ 70 の結像点で重なる。つまり、いずれの実施例においても、図 30 に示した方法に比べて、スポット径は、ほぼ  $1/3$  となる。また、透明ウェッジ板の代わりにビーム圧縮器を用いてもよい。

【0166】

本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザー 20 に対しても同様に適用できる。

【0167】

図 35 は、ビームシフターを用いた光軸シフトを説明する図である。ビームシフターとしては透明な平行平板が利用できる。光軸シフトの原理は屈折の法則による。屈折率  $n$ 、厚み  $t$  の透明平行平板を光が通過するとき、屈折率  $n$  と厚み  $t$ 、および、入射角  $\theta$  に依存して、光軸が平行シフトする。 30

【0168】

シフト量  $r$  は、式  $r = t \cdot \sin(\theta - \theta') / \cos(\theta')$ 、 $\theta' = \sin^{-1}(\sin(\theta) / n)$  に表される。ビームシフターを第 1 のビーム変換器 30 の手前に配置して入射角を調節すれば、第 1 のビーム変換器 30 の開口中心にビーム光軸を合わせることができる。

【0169】

また、第 2 の柱状レンズアレイ 80 の手前に配置し、角度を調節することで第 2 の柱状レンズアレイ 80 の開口中心にビーム光軸を合わせることができる。また、これにより第 2 の柱状レンズアレイ 80 に入射するビームの位置を変えればビームの角度変化を与えることができる。 40

【0170】

図 36 は、本発明の別の実施例であり、図 30 の配置からビーム変換器を 1 個除外し、アレイ方向 (第 1 の方向) とスタック方向 (第 2 の方向) のテレスコープを入れ替えた構成を示す斜視図である。

【0171】

第 1 の柱状レンズ 20 によって速軸成分をコリメートした後、全スタックの速軸成分を第 2 のビーム圧縮器 (図では 112 と 113 とで構成) で一括圧縮した後に、第 2 のビーム変換器 50 で遅軸成分を無差別に分割しつつ回転する。 50

## 【0172】

この様子を図37に示す。第1の柱状レンズアレイ20によりスタックピッチに近い十分に広がったビーム径とすることができる。第2のビーム変換器50のピッチは0.5mm程度とする。第2のビーム変換器50を出たところでビームは縦に並ぶ。さらに、第2のビーム圧縮器(柱状放物面鏡)112、113でアレイ方向に速軸成分を圧縮し、柱状レンズ60で速軸成分と遅軸成分のマッチングを図った後、集光レンズ70で絞り込む。

## 【0173】

第1の柱状レンズアレイ20として比較的長い焦点距離のレンズが使用でき、エミッターまでのクリアランスも1mm程度に取れるので容易なアライメントを可能とする。

## 【0174】

本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザーに対しても同様に適用できる。

## 【0175】

図38は、本発明の別の実施例で、図36の配置にスタック方向及びアレイ方向の透明ウェッジ板(120, 121)を加えた構成を示す斜視図である。図は、スタック方向とアレイ方向でビーム群をそれぞれ3分割して向きを変えた場合を示している。

## 【0176】

ビーム群はスタック方向及びアレイ方向でそれぞれ3つに分割された後、集光レンズ70の結像点で重なる。つまり、図36に示した方法に比べてスポット径はほぼ1/3となる。また、透明ウェッジ板(120, 121)の代わりにビーム圧縮器を用いてもよい。

## 【0177】

また、図39に示すように、レーザービームの速軸方向の発散角に起因するゴーストを消滅せしめるため、第2のビーム圧縮器(152, 153)とビーム変換器(50)との間に、第2のビーム圧縮器(152, 153)を通過した各列毎のレーザービームを速軸方向(第2の方向)に屈折させてコリメートするシリンドリカルレンズ(第5の集光器(155))を配設することが好ましい。

## 【0178】

本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザーに対しても同様に適用できる。

## 【0179】

図40は、本発明の半導体レーザー装置の別の実施例を示す斜視図である。図7および図8に示した例との相違点は、ビーム角度を変更する手段が、第2の柱状レンズアレイ80ではなく、ビーム圧縮器(図では110と111にて構成)として用いるパラボリックミラー111の反射面をそれぞれのビーム群に対応してセグメント化した点である。

## 【0180】

本実施例もまた実質的に区切りのない直線状発光部を有するスタックアレイ半導体レーザーに対しても同様に適用できる。

## 【0181】

以上、実施例をもって説明したように、本発明は、レーザーエネルギーを極めて小さい面積に収束することができるものであるが、より収束度を上げるためには、第1の柱状レンズアレイ(第1の集光器)を出射するレーザービームの光軸間の平行度を高める必要がある。

## 【0182】

即ち、第1の柱状レンズアレイ(第1の集光器)の取り付けに、1/10000ラジアン程度でも誤差があると、スタックアレイレーザーダイオードを出射するレーザービームの光軸間平行度が悪化し、予定した集光点とは異なる点に集光してしまう場合がある。

## 【0183】

それ故、第1の柱状レンズアレイ(第1の集光器)の前面に、各列毎に、前記第2の方向(速軸方向)に光軸角度を、1/10000ラジアンオーダーで微調整できる角度調整器を備えることが好ましい。

## 【0184】

10

20

30

40

50

上記角度調整器の一例を、図41に示す。図に示すように、所定の傾斜角度( )を有する2個のウエッジ板(P1とP2)を逆向きに組み合わせ、1個(P1)は固定し、1個(P2)は回転可能(回転角 )に構成したものである。なお、図中、矢印が光軸である。

【0185】

回転可能なウエッジ板1個では、レーザビームの光軸角度を1/10000ラジアンオーダーで微調整することはできないが、ウエッジ板2個を用いる上記構成により、上記光軸角度を1/10000ラジアンオーダーで微調整することができる。

【0186】

図42に、傾斜角度 が1.5°、3°および4.5°のウエッジ板を用い、第1のウエッジ板P1(固定)への入射角度 1を0、n(屈折率)を1.511とし、第2のウエッジ板P2を回転し(横軸 2)たときの光軸の調整角を示す。 10

【0187】

傾斜角度 が3°の場合、回転角 2が-10°~14°で、1/10000ラジアン程度の角度調整が可能である。

【0188】

ただし、光軸の偏光方向は同じ(例えば、マイナス側のみ)であるので、上記角度調整器を使用する場合は、注意と工夫が必要である。

【0189】

しかし、いずれにしても、上記角度調整器を用いることにより、本発明の効果をより顕著なものとすることができる。 20

【0190】

図51は、本発明の第1のビーム変換器30、ビーム圧縮器40、及び第2のビーム変換器50からなる光学系を説明するブロック図である。第1のビーム変換器30は、図51にあるように、2次元アレイ状に光学素子32を適当な数だけ連結して形成されている。第1のビーム変換器の幅および高さは、スタックアレイレーザダイオードの発光面に対応させる。

【0191】

光学素子32は、図51にあるように、第1のビーム変換器の幅方向に活性層ストライプの軸方向を有するレーザビーム36を面に垂直に受光する受光面と、光学素子内部で光軸に沿って光路を捻る処理を受けて光路を変換されたレーザビーム37を面から垂直に出力する出力面とを有する。 30

【0192】

光学素子32は、例えば、間隔800μmで並んでいる活性層ストライプから放射される水平にストライプ長軸方向を有するレーザビーム36を受容し、受容したレーザビームの断面の向きをほぼ90°旋回してストライプ軸方向が垂直になるような変換をする。

【0193】

第1のビーム変換器30に用いる光学素子32は、一般には、第1のビーム変換器を組み込むレーザ装置に使用するスタックアレイレーザダイオード10の活性層ストライプ12に1対1で対応するようにする。 40

【0194】

従って、例えば、間隔800μmで活性層ストライプが12個並び、さらに、それらが1.75mm毎に20層積み重なったスタックアレイレーザダイオードを使用する場合には、第1のビーム変換器は、間隔800μmで光学素子を12個並べ、さらに、それらを1.75mm毎に積み重ねたものとなる。

【0195】

しかし、図9に示した例にあるように、活性層ストライプが高密度に並んでいる場合には、レーザビームを1本の連続波から放射されたものと見なして、第1のビーム変換器に受光するレーザを適当な間隔で区切って、その部分毎に約90°レーザビームを旋回して用いることにより、実質的に、その間隔を幅として有する梯子状発光部を持ったリニアアレ 50

イレーザダイオードとして、さらに、これらのリニアアレイレーザダイオードが積み重なったスタックアレイレーザダイオードとして扱うことができる。

【0196】

このような目的には、活性層ストライプの数によらず、適当数の光学素子を2次元的に並列配置すれば足りる。

【0197】

スタックアレイレーザダイオードの放射面が平面であることに対応して、第1のビーム変換器30の入射面と出射面とは、第1のビーム変換器の全体に亘って、それぞれ1つの平面上に配置することがレーザ装置の構造上好都合である。

【0198】

上記光学素子は、米国特許第5,513,201号に示されているとおり、いろいろな原理に基づいて形成することができる。

【0199】

まず、3回の反射による捻転に基づくものである。これは、3個の直角プリズムを想定すると考えやすい。つまり、図52に示すように、3個の直角プリズムを組み合わせる。第1の直角プリズムに横向きの扁平なレーザビームを入射すると、第1、第2、第3のプリズム内での3回の全反射により90°捻れた縦向き扁平なレーザビームとなって、第3の直角プリズムから出射する。3個の直角プリズムで果たせる機能を、図53のような1個のプリズム素子で行うことができる。

【0200】

このようなプリズム素子を1次元アレイに配列し、図54のようなプリズムアレイとすれば、破線状に直列した配列のレーザビームを入射して梯子状に並列した配列のレーザビームに変換されて出射する。

【0201】

このようなプリズムアレイは1枚のガラス基板から、図55のようにモノリシックに形成することもできる。

【0202】

このようなプリズムアレイを縦に積み重ねて、図56のように、プリズム素子の2次元アレイとすれば、破線が並列した配列のレーザビームを入射して梯子が並列した配列のレーザビームに変換されて出射する。

【0203】

3回の反射は、直角プリズムにおけるように、必ずしも直角である必要はなく、結果的に、破線が並列した配列のレーザビームを入射して梯子が並列した配列のレーザビームに変換されればよい。

【0204】

反射面を用いる光学素子は、プリズムでなくて、適当に配置した反射鏡であってもよい。

【0205】

反射鏡を用いてビーム変換器を構成する場合は、プリズムアレイにおける全反射面を反射面とするようにミラーアレイを形成すればよい。材料として、金属、金属メッキしたガラス、反射コーティングしたガラス、プラスチック、シリコン等が利用できる。

【0206】

微細な光学素子は、精密金型による製造或いは例えばシリコン半導体製造プロセスやLIGAプロセスを応用することにより製造可能である。シリコン結晶を利用する場合には、その劈開面を反射鏡面とすると加工も容易になる。

【0207】

1次元のミラーアレイを用いれば、破線状に直列した配列のレーザビームを入射して梯子状に並列した配列のレーザビームに変換されて出射する。このようなミラーアレイを縦に積み重ねて、図57のように、ミラー要素の2次元アレイとすれば、破線が並列した配列のレーザビームを入射して梯子が並列した配列のレーザビームに変換されて出射する。

【0208】

10

20

30

40

50

図58は、シリンダリカルレンズを並列配置した第1のビーム変換器を表す図である。この第1のビーム変換器は、シリンダリカルレンズの軸を45°傾けて並列配置したものを、適当な距離を有する空間を挟んで対向配置したものである。

【0209】

入射面に水平に入射する扁平な光線は、45°傾いたシリンダリカルレンズで、入射位置により異なる屈折力を受けて扁平軸が旋回し、さらに、出射面から45°傾いたシリンダリカルレンズで扁平軸が、合計ほぼ90°旋回して出射面から出射する。

【0210】

第1のビーム変換器を使用することにより、スタックアレイレーザダイオードからのストライプ光は実質的に梯子が並列した配列に変化する。45°に傾斜したシリンダリカルレンズの配列が隣接するリニアアレイLD層のストライプの配列と合わない場合は、リニアアレイLD層と対応するようにシリンダリカルレンズアレイを領域に分けて切断し、ストライプと合致するようにずらすとよい。

10

【0211】

図59は、入射面と出射面とが円柱表面を有し側面が平行で内部が稠密になっている光学ガラス製光学素子を複数接合した第1のビーム変換器を示す。この光学素子も一種のシリンダリカルレンズである。

【0212】

光学素子は水平面に対して45°傾斜している。入射面に水平に入射する扁平な光線は、45°傾いた入射面の円柱表面で生じる異なる屈折力を受けて扁平軸が旋回し、さらに、出射面の45°傾いた円柱表面で扁平軸がほぼ90°旋回して出射面から出射する。

20

【0213】

第1のビーム変換器を使用することにより、スタックアレイレーザダイオードからのストライプ光は、実質的に梯子が並列した配列に変化する。

【0214】

ストライプ光間隔と整合する場合は、側面が平行面である必要はなく、断面が真円であるシリンダリカルレンズを利用することも可能である。45°に傾斜したシリンダリカルレンズの配列が隣接するリニアアレイLD層のストライプの配列と合わない場合は、前記と同様、リニアアレイLD層と対応するようにシリンダリカルレンズアレイを領域に分けて切断し、ストライプと合致するようにずらすとよい。

30

【0215】

図60は、光学ガラスのブロックから作製した第1のビーム変換器を示す。本ビーム変換器は、断面が長方形をした光学ガラス製角柱の入射面と出射面に同じ方向に45°傾いた円柱表面を複数形成したもので、図59のビーム変換器と同じ機能を有するものである。

【0216】

45°に傾斜した円柱表面の配列が、隣接するリニアアレイLD層のストライプの配列と合わない場合は、前記と同様、リニアアレイLD層と対応するように円柱表面アレイを領域に分けて切断し、ストライプと合致するようにずらすとよい。

【0217】

図61は、ダブリズムを複数配設した第1のビーム変換器を示す。光学素子は水平面に対して45°傾斜している。入射面に水平に入射する扁平な光線は、入射位置により底面での反射位置が異なるため出射面では垂直に出射する扁平な光線となる。

40

【0218】

従って、扁平軸がほぼ90°旋回して出射する。第1のビーム変換器を使用することにより、スタックアレイレーザダイオードからのストライプ光は、実質的に梯子が並列した配列に変化する。隣接するダブリズムを接合する場合は必要に応じてダブリズムの底面を反射コーティングしておくともよい。

【0219】

ビーム変換器は、回折を利用する光学素子を使用したものであってもよい。図62は、バイナリオプティクスを利用する光学素子を示す図である。該光学素子は透明板に中心軸を

50

45°傾けて配列し、各中心軸に垂直な方向に、中心軸に対して対称に深さが変化する多数の溝を設け階段状としたものである。

【0220】

溝の深さは、回折を利用して中心から外に向かうに連れて回折角を増すように変化する。出射面における階段状表面は入射面における階段状表面と面对称となるよう刻まれている。入射面に水平に入射する扁平な光線は、中心軸が45°傾いた階段状表面で、入射位置により異なる屈折力を受けて扁平軸が旋回し、さらに、出射面から中心軸が45°傾いた階段状表面で扁平軸が、合計90°旋回して出射面から出射する。

【0221】

このようなバイナリオプティクスは光学ガラスやプラスチックからなり、半導体製造プロセスによる製造の他、金型を用いて製造することも可能である。 10

【0222】

図63は、中央面で最も屈折率が高く側面に近づくほど屈折率が低くなる光学ガラス体からなる1次元分布屈折率レンズを複数接合した第1のビーム変換器を示す。

【0223】

1次元分布屈折率レンズは水平面に対して45°傾斜している。入射面に水平に入射する扁平な光線は、45°傾いた中央面に向かう屈折力を受けて扁平軸がほぼ90°旋回して出射面から出射する。

【0224】

図64は、光学ガラス板の両面に、同じ方向にそれぞれ対になるほぼ半円柱状の分布屈折率レンズ要素を対向配置したものを複数形成した第1のビーム変換器を示す。半円柱の中心軸は水平面に対して45°傾斜しており、半円の中心が最も屈折率が高く、外側になる程屈折率が低くなっている。 20

【0225】

光学ガラス板の両面は入射面および出射面になっており、入射面に水平に入射する扁平な光線は、45°傾いた分布屈折率レンズ要素で、入射位置により異なる屈折力を受けて扁平軸がほぼ90°旋回して出射面から出射する。

【0226】

図65は、ここまで示してきた反射ミラー型ビーム圧縮器や透過レンズ型ビーム圧縮器の他の実施例として、アナモルフィックプリズムを用いたビーム圧縮器を表す斜視図、図66は、その平面図である。 30

【0227】

アナモルフィックプリズムに一定の幅を持った平行光線を入射すると、屈折効果により幅が短縮されたビームに変換されてアナモルフィックプリズムから出射する。

【0228】

図67の斜視図、および、その平面図である図68に示すように、アナモルフィックプリズムをもう1個用意し、アナモルフィックプリズムペアとすると、2度の屈折効果により、さらに幅が短縮されるばかりでなく、入射光軸に対し出射光軸は平行移動するのみで方向は変わらない。

【0229】

第1のビーム変換器から出射した、梯子状に並列したレーザビーム列が更に複数並列し2次元配列したレーザビーム群は、アナモルフィックプリズムによりビーム圧縮され、各々のレーザビーム列について列が圧縮され梯子の間隔が短縮したレーザビーム列に変換される結果、これら圧縮レーザビーム列が1列に直列した配列に変換される。 40

【0230】

さらに、もう1組のアナモルフィックプリズムペアを用意し、合計4枚のアナモルフィックプリズムを使用すると、出射光軸を入射光軸のほぼ前方に位置させることができる。勿論、光軸の向きが変化することを厭わなければ、1個のアナモルフィックプリズムのみ使用してもよい。

【0231】

第2のビーム変換器50は、図51にあるように、1次元アレイ状に光学素子52を、スタックアレイレーザダイオードのスタック層の数だけ連結して形成されている。第2のビーム変換器50に用いる光学素子52は、ビーム圧縮器40から出射した各圧縮レーザビーム列に1対1に対応するようにする。

【0232】

第1のビーム変換器を用いず、第1のビーム圧縮器でまず速軸成分を圧縮する場合は、第2のビーム変換器で遅軸成分を分区し回転させる。これは、Quasi-CW LDを第1のビーム変換器で分区し回転した場合と類似している。

【0233】

光学素子52は第1のビーム変換器30に用いる光学素子32と同じ原理で入射したレーザビームを90°捻転する。従って、圧縮された並列レーザビーム列が、さらに直列したレーザビーム群がビーム圧縮器から出射し第2のビーム変換器に入射すると、圧縮された並列レーザビーム列が90°捻転する結果、全てのレーザビーム要素が1列に並列した配列となる。

10

【0234】

上記光学素子は、第1のビーム変換器に用いた種々の原理に基づいて形成することができる。

【0235】

まず、3回の反射による捻転に基づくものである。図69のように、縦向きの扁平なレーザビームが横に並列したものを入射すると、3回の反射により90°捻れた横向きの扁平なレーザビームが縦に並列したものとなって出射するプリズム素子を1次元アレイに配列すれば、圧縮された並列レーザビーム列がさらに直列したレーザビーム群を入射して、全てのレーザビーム要素が1列に並列した配列に変換されて出射する。

20

【0236】

このような1次元アレイは1枚のガラス基板から図70のようにモノリシックに形成することもできる。

【0237】

3回の反射は直角プリズムに於けるように必ずしも直角である必要はなく、結果的に、圧縮された並列レーザビーム列が、さらに直列したレーザビーム群を入射して全てのレーザビーム要素が1列に並列した配列に変換されればよいことは第1のビーム変換器の場合と同様である。

30

【0238】

また、反射面を用いる光学素子はプリズムでなくて適当に配置した反射鏡であってもよい。

【0239】

図71のように、3回の反射により90°捻れた横向きの扁平なレーザビームが縦に並列したものとなって出射するミラー要素を1次元アレイに配列すれば、圧縮された並列レーザビーム列がさらに直列したレーザビーム群を入射して、全てのレーザビーム要素が1列に並列した配列に変換されて出射する。

【0240】

図72は、シリンダリカルレンズを並列配置した第2のビーム変換器を表す図である。このビーム変換器は、シリンダリカルレンズの軸を45°傾けて並列配置したものを適当な距離を有する空間を挟んで対向配置したものである。

40

【0241】

入射面に水平に入射する圧縮された並列レーザビーム列は、45°傾いたシリンダリカルレンズで入射位置により異なる屈折力を受けてビーム列の断面が旋回し、さらに、出射面から45°傾いたシリンダリカルレンズでビーム列の断面が合計ほぼ90°旋回して出射面から出射する。

【0242】

第2のビーム変換器を使用することにより、ビーム圧縮器からの圧縮された並列レーザビ

50

ーム列が、さらに直列したレーザビーム群は、実質的に、全てのレーザビームが梯子状に1列に並列した配列に変換される。このとき、全ての梯子の間隔が同一である必要はない。

【0243】

図73は、入射面と出射面とが円柱表面を有し側面が平行で内部が稠密になっている光学ガラス製光学素子を複数接合したビーム変換器を示す。光学素子は水平面に対して45°傾斜している。

【0244】

入射面に水平に入射する圧縮された並列レーザビーム列は、45°傾いた入射面の円柱表面で生じる異なる屈折力を受けてビーム列の断面が旋回し、さらに、出射面の45°傾いた円柱表面でビーム列の断面がほぼ90°旋回して出射面から出射する。

10

【0245】

第2のビーム変換器を使用することにより、ビーム圧縮器からの圧縮された並列レーザビーム列が、さらに直列したレーザビーム群は、実質的に、全てのレーザビームが梯子状に1列に並列した配列に変換される。このとき、全ての梯子の間隔が同一である必要はない。圧縮された並列レーザビーム列と隣接のビーム列との間隔と整合する場合は、側面が平行面である必要はなく、断面が真円であるシリンダレンズを利用することも可能である。

【0246】

図74は、光学ガラスのブロックから作製した第2のビーム変換器を示す。本ビーム変換器は、断面が長方形をした光学ガラス製角柱の入射面と出射面に同じ方向に45°傾いた円柱表面を複数形成したもので、図13の第2のビーム変換器と同じ機能を有するものである。

20

【0247】

図75は、ダブリズムを利用した第2のビーム変換器を示す。入射面に水平に入射する圧縮された並列レーザビーム列は、45°傾いたダブリズムの入射面で屈折し、入射位置の違いが底面で異なる反射位置を与えるため出射面ではビーム列の断面がほぼ90°旋回して出射面から屈折して出射する。

【0248】

隣接するダブリズムを接合する場合は必要に応じてダブリズムの底面を反射コーティングしておくといよい。

30

【0249】

図76は、バイナリオプティクスを利用した第2のビーム変換器を示す。本ビーム変換器は、入射面と出射面に同じ方向に中心軸が45°傾いた階段状表面を複数形成したものである。

【0250】

入射面に水平に入射する圧縮された並列レーザビーム列は、45°傾いた入射面の階段状表面で生じる異なる回折力を受けてビーム列が旋回し、さらに、出射面の45°傾いた階段状表面でビーム列の断面が90°旋回して出射面から出射する。

【0251】

図77は、1次元分布屈折率レンズを利用した第2のビーム変換器を示す。本ビーム変換器は、中央面で最も屈折率が高く側面に近づくほど屈折率が低くなる光学ガラス体からなる1次元分布屈折率レンズを45°傾けて複数接合したものである。

40

【0252】

入射面に水平に入射する圧縮された並列レーザビーム列は、45°傾いた1次元分布屈折率レンズ内での入射位置によって異なる屈折力を受けてビーム列が旋回し、ビーム列の断面が90°旋回して出射面から出射する。

【0253】

図78は、対向配置した分布屈折率レンズ要素を利用した第2のビーム変換器を示す。本ビーム変換器は、光学ガラス板の両面に、同じ方向にそれぞれ対になるほぼ半円柱状の分布屈折率レンズ要素を対向配置したものを複数形成したものである。

50

## 【0254】

半円柱の中心軸は水平面に対して45°傾斜しており、半円の中心が最も屈折率が高く、外側になる程屈折率が低くなっている。入射面に水平に入射する圧縮された並列レーザービーム列は、45°傾いた分布屈折率レンズ要素により入射位置によって異なる屈折力を受けてビーム列が旋回し、ビーム列の断面が90°旋回して出射面から出射する。

## 【0255】

前述したように、本発明は、柱状レンズアレイからなるビーム変換器を用い得るものであるが、この変換器に、発散角を有するレーザービームが入射した場合、図79に示すように、ビーム出射側の隣接要素にはみ出す成分(図中、逸脱成分)が発生し、ゴーストが生じることがある。その結果、レーザービームのスループットが低下する。

10

## 【0256】

入射ビームの発散角に起因するゴーストをなくすためには、変換器に、発散角を調整する機能を持たせる必要がある。そこで、本発明者は、図80に示すように、柱状レンズアレイからなるビーム変換器を二分割し、さらに、ビーム出射側の柱状レンズの曲率半径を、ビーム入射側の柱状レンズの曲率半径より小さくした。

## 【0257】

このことにより、ビーム出射側のビームサイズを小さくし、レーザービームが出射側の隣接要素にはみ出す成分(逸脱成分)をなくして、ゴーストの発生を抑制することができる。

## 【0258】

図80では、ビーム入射側の変換器とビーム出射側の変換器を、間隔をあけて、可変として示しているが、両変換器を接合して一体構造としてもよい。

20

## 【0259】

なお、図80においては、柱状レンズの厚さ $r = 0.354$  mmで、入射側柱状レンズの曲率半径 $r_1 = 0.375$ 、出射側柱状レンズの曲率半径 $r_2 = 0.3$  mmの場合を示している。

## 【0260】

ただし、 $r_2 / r_1 < 1$ であると、レーザービームは90°回りきれないが、これは、柱状レンズを傾けて配置することにより解決することができる。

## 【0261】

現在、市販のスタックアレイレーザーダイオードの出力は、1スタック当たり50W程度である。そして、スタック段数は、組み付け精度により、20段程度に制約されてしまうので、1台当たりの出力は、最大で1kW程度である。しかし、金属加工への応用を考えれば、より大きな出力が必要である。

30

## 【0262】

そこで、本発明では、少なくとも2台以上のスタックアレイレーザーダイオードを結合することにより、出力を増大する。

## 【0263】

即ち、本発明においては、少なくとも2基のスタックアレイレーザーダイオードから放射され、該ダイオードの前面に配設した第1の集光器から出射する少なくとも2つのレーザービーム群を、第1の集光器の前面に配設した光学機器で結合する。

40

## 【0264】

図81に、上記光学機器として偏光素子を用いて結合する場合を示す。一方のスタックアレイレーザーダイオード(LD2)から出射するレーザービームを / 2板に通し、それを、偏光素子(偏光プリズム)を介して、他方のスタックアレイレーザーダイオード(LD1)から出射するレーザービームと結合する。

## 【0265】

図82に、光学機器として、スタックアレイレーザーダイオードのスタックピッチと同じピッチで透過窓を形成したミラーを用いる結合態様を示す。

## 【0266】

また、図83に、光学機器として、スタックアレイレーザーダイオードのスタックピッチと

50

同じピッチで配置したミラーを用いる結合態様を示す。

【0267】

さらに、図84に、光学機器として、スタックアレイレーザダイオードのスタックピッチと同じピッチで配置した直角プリズムを用いる結合態様を示す。

【0268】

また、本発明においては、図85に示すように、スタックアレイレーザダイオードを少なくとも2基備え、かつ、前記第3の集光器の後面に、該集光器に入射する少なくとも2つのレーザビーム群を波長結合する光学機器を備えて、レーザビーム群を結合する。

【0269】

この場合、上記光学機器として、ダイクロイックミラーを用いるのが好ましい。

10

【0270】

さらに、本発明においては、第1の集光器を前面に備えるスタックアレイレーザダイオードを複数基備え、かつ、該第1の集光器の前面に、該集光器から出射する少なくとも2つのレーザビーム群を結合する光学機器と、前記第3の集光器の後面に、該集光器に入射する少なくとも2つのレーザビーム群を波長結合する光学機器を備えて、複数のレーザビーム群を結合する。

【0271】

このように、複数のレーザビームを結合して出力の大きいレーザビームを得ることができる。

【0272】

20

図43は、本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図の平面図、図44は、その立面図である。該半導体レーザ励起固体レーザ装置は、本発明の半導体レーザ装置を固体レーザ95の励起光源として使用する。

【0273】

スタックアレイレーザダイオードを利用した従来の半導体レーザ装置は光学系でエネルギーを集中しても横長の領域に限られ、実質的なエネルギー密度は大きくなかった。また、このエネルギーを有効に利用しようとする、固体レーザの側面励起しかできなかった。

【0274】

本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置は、スタックアレイレーザダイオード10の点線状発光ストライプを短い焦点距離 $f_1$ を有する第1の柱状レンズアレイ20により、ストライプと垂直な方向に集束した後に、第1のビーム変換器30を用いて複数列の梯子状レーザビームに変換し、同時に同一の物点から発したビーム群になるようにビームの向きも変える。

30

【0275】

そして、集光レンズ70で固体レーザ素子96の受光面上の小さい領域にエネルギーを収斂させる。

【0276】

本発明の半導体レーザ装置は、前述のとおり、所定の狭い範囲にエネルギーを集中することができる。このため、本発明の半導体レーザ装置を利用した本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置は、スタックアレイレーザダイオード10の出力を有効活用できるとともに、固体レーザ95の端面励起をも可能にするものである。

40

【0277】

固体レーザ素子として、YAG、YLF、イットリアなど通常の固体レーザ素子のほか、Qスイッチや波長変換素子を含む固体レーザ素子も利用できる。

【0278】

また、固体レーザ素子への励起光源の入射がブリュースター角をもって行われてもよい。固体レーザ素子は短吸収長レーザ結晶( $YVO_4$ )であってもよい。本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置により、300Wの半導体レーザ素子を用いて、100WのYAGレーザ出力を得ることができた。

【0279】

50

図45は、光ファイバ90を用いた本発明に係るレーザ装置の平面図、図46は、その立面図である。上記レーザ装置が形成するレーザスポットの位置に光ファイバ90の受光面を配置し、レーザ10から放射されるレーザエネルギーを受容して光ファイバ90の他端面側に伝達するようにしたものである。

【0280】

光ファイバ90の長さと同可撓性により、簡単に、目的の場所に発光部を持ち込んで作業ができるような、使いやすいレーザ装置を得ることができる。

【0281】

なお、800Wの出力を有するスタックアレイレーザダイオード10を光源とし、コア径400 $\mu$ mの光ファイバ90の入射面に、コアの断面より小さいレーザスポットを形成するように構成したレーザ装置は60%の効率を達成している。

10

【0282】

図47は、本発明の光ファイバ導光半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図の平面図、図48は、その立面図である。該光ファイバ導光半導体レーザ励起固体レーザ装置は、本発明の半導体レーザ装置の出力を光ファイバ90で導光して固体レーザ95の励起光源とする。

【0283】

光ファイバの出力部には、端部から放散されるレーザビームのエネルギーをコリメートして再度収斂させるための光学系92が設けられている。

【0284】

このように、半導体レーザ装置部分と固体レーザ装置部分の間に柔軟な光ファイバが介在するため、装置の自由度が飛躍的に増大し、構成が容易になる利点がある。

20

【0285】

本発明の光ファイバ導光半導体レーザ励起固体レーザ装置により、400Wの半導体レーザ素子を用いて80WのYAGレーザ出力を得ることができた。

【0286】

図49は、本発明の半導体レーザ励起ファイバレーザ装置を説明するブロック図の平面図、図50は、その立面図である。

【0287】

半導体レーザ励起ファイバレーザ装置は、本発明の半導体レーザ装置の出力をダブルクラッドファイバ91のインナークラッドに入力してコアを励起する。インナークラッドの径は600 $\mu$ m $\times$ 240 $\mu$ mである。コア径は40 $\mu$ mである。スタックアレイレーザダイオードの出力が1kWのときファイバレーザ出力として500Wが得られた。この出力ビームは完全に単峰性である。

30

【0288】

【発明の効果】

本発明の半導体レーザ装置は、スタックアレイレーザダイオードが発生するレーザエネルギーは極めて小さな面積に集束させることができることから、十分にレーザ加工や医療用に用いることができる。

【0289】

また、本発明のビーム変換器を使用してスタックアレイ半導体レーザのエミッタを実質的に1列の梯子状に配列する効果をもたらした半導体レーザ装置は、極めて小さい焦点にスタックアレイ半導体レーザのエネルギーを集中することが可能になる。

40

【0290】

さらに、本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置は、強力な半導体レーザを活用した端面励起が可能となり、効率が高くビームの質が良い固体レーザ出力を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】アレイ型レーザダイオードとレーザビームの指向性を説明する図である。

【図2】スタックアレイ型レーザダイオードとレーザビームの指向性を説明する図である。

50

【図3】焦点距離  $f$  の集光レンズに平行ビームが入射した際の結像の様子を示す図である。

【図4】互いの光軸は平行であるが発散角を持つビームが集光レンズに入射した際の結像の様子を示す図である。

【図5】複数のビームがレンズの中心軸上に置かれた共通の虚像  $O$  から放射されたように角度を与える様子を示す図である。

【図6】複数のビームの中心軸間隔を狭める操作を説明する図である。

【図7】本発明の半導体レーザ装置の一実施例を示す平面図である。

【図8】図7に示した半導体レーザ装置の立面図である。

【図9】密集型エミッタ構造の半導体レーザを用いた本発明の半導体レーザ装置の平面図である。 10

【図10】図9に示した半導体レーザ装置の立面図である。

【図11】ビーム角度を変更する手段として透明ウェッジ板を用いた本発明の半導体レーザ装置の平面図である。

【図12】図11に示した半導体レーザ装置の立面図である。

【図13】ビーム変換器と透明ウェッジ板を一体化した本発明の半導体レーザ装置の平面図である。

【図14】図13に示した半導体レーザ装置の立面図である。

【図15】ビーム角度を変更する手段として柱状レンズを用いた本発明の半導体レーザ装置の平面図である。 20

【図16】図15に示した半導体レーザ装置の立面図である。

【図17】ビームの中心軸を近づける工夫をした本発明の半導体レーザ装置の平面図である。

【図18】図17に示した半導体レーザ装置の立面図である。

【図19】図17および図18に示した半導体レーザ装置における像の変化の様子を説明する図である。

【図20】図17および図18に示した半導体レーザ装置の出力をさらに縮小結像する本発明の半導体レーザ装置の平面図である。

【図21】図19に示した半導体レーザ装置の立面図である。

【図22】図20および図21に示した半導体レーザ装置において、スタック方向に関して第2の集光レンズの焦点に光軸角度変化機能を備え、最終集光レンズによる像の合成を図った構成を説明する側面図である。 30

【図23】ビームの中心軸を近づける手段として1次元のテレスコープを2組用いる本発明の半導体レーザ装置の平面図である。

【図24】ビームの中心軸を近づける手段として1次元のテレスコープ2組用い、さらに物点を一致させる手段として透明ウェッジ板を用いる本発明の半導体レーザ装置の平面図である。

【図25】図24の透明ウェッジ板設置部分の拡大図である。

【図26】図25に示した半導体レーザ装置における像の変化の様子を説明する図である。 40

【図27】ビームの中心軸を近づける手段としてテレスコープを用いる本発明の半導体レーザ装置の平面図である。

【図28】図27に示した半導体レーザ装置の立面図である。

【図29】図27および図28に示した半導体レーザ装置における像の変化の様子を説明する図である。

【図30】図25に示した実施例に加えてアレイ方向のテレスコープとスタック方向のテレスコープとの間に第2のビーム変換器を備えた構成例を示す斜視図である。

【図31】レーザビームが第2のビーム変換器を通過した時、ゴーストが出ることを示す図である。

【図32】第1のビーム圧縮器と第2のビーム変換器の間に、柱状レンズ(第5の集光器 50

)を配置した半導体レーザ装置を示す図である。

【図33】図30の配置にスタック方向及びアレイ方向の透明ウェッジ板を加えた構成を示す斜視図である。

【図34】第1のビーム圧縮器と第2のビーム変換器の間に、柱状レンズ(第5の集光器)を配置した別の半導体レーザ装置を示す図である。

【図35】ビームシフターによる光軸シフトを説明する図である。

【図36】図30の配置からビーム変換器を1個除外し、アレイ方向とスタック方向のテレスコープを入れ替えた構成を示す斜視図である。

【図37】図36の装置における第2のビーム変換器の作用を説明する図である。

【図38】図36の配置にスタック方向及びアレイ方向の透明ウェッジ板を加えた構成を示す斜視図である。 10

【図39】第1のビーム圧縮器と第2のビーム変換器の間に、柱状レンズ(第5の集光器)を配置した別の半導体レーザ装置を示す図である。

【図40】ビーム角度を変更する手段としてセグメント式の反射鏡を用いた本発明の半導体レーザ装置の斜視図である。

【図41】角度調整器の例を示す図である。

【図42】角度調整の精度を示す図である。

【図43】本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図の平面図である。

【図44】図43に示した半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図の立面図である。 20

【図45】光ファイバを用いた本発明の半導体レーザ装置の平面図である。

【図46】図45に示した半導体レーザ装置の立面図である。

【図47】本発明の光ファイバ導光半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図の平面図である。

【図48】図47に示した光ファイバ導光半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図の立面図である。

【図49】本発明の半導体レーザ励起ファイバレーザ装置を説明するブロック図の平面図である。

【図50】図49に示した半導体レーザ励起ファイバレーザ装置を説明するブロック図の立面図である。 30

【図51】本発明の第1のビーム変換器、ビーム圧縮器、および、第2のビーム変換器を説明するブロック図である。

【図52】3回の反射によるビーム変換の原理を、3個の直角プリズムを用いて説明する図である。

【図53】斜角柱の形状をした光学素子と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図54】図53の光学素子を並列配置して得られるビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図55】図54のビーム変換器と等価の一体的なビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。 40

【図56】図55のビーム変換器をスタックして得られる第1のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図57】ミラーアレイをスタックして得られる第1のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図58】シリンドリカルレンズを並列配置した第1のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図59】入射面と出射面とが円柱表面を有する光学素子を並列配置した第1のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図60】光学ガラスのブロックから作製した第1のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。 50

【図 6 1】ダブリズムを並列配置した第 1 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図 6 2】バイナリオプティクスを並列配置した第 1 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図 6 3】1次元分布屈折率レンズを並列配置した第 1 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図 6 4】半円柱状の分布屈折率レンズ要素を並列配置した第 1 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図 6 5】アナモルフィックプリズムによるビーム圧縮器と、それによるビーム圧縮を示す斜視図である。

10

【図 6 6】図 6 5 に示したビーム圧縮器と、それによるビーム圧縮を示す平面図である。

【図 6 7】アナモルフィックプリズムを 2 個用いたアナモルフィックプリズムペアによるビーム圧縮器と、それによるビーム圧縮を示す斜視図である。

【図 6 8】図 6 7 に示したビーム圧縮器と、それによるビーム圧縮を示す平面図である。

【図 6 9】斜角柱の形状をした光学素子を並列配置して得られる第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図 7 0】図 6 9 のビーム変換器と等価の一体的な第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図 7 1】ミラー要素を並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

20

【図 7 2】シリンドリカルレンズを並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図 7 3】入射面と出射面とが円柱表面を有する光学素子を並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図 7 4】光学ガラスのブロックから作製した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図 7 5】ダブリズムを並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図 7 6】バイナリオプティクスを並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

30

【図 7 7】1次元分布屈折率レンズを並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図 7 8】半円柱状の分布屈折率レンズ要素を並列配置した第 2 のビーム変換器と、それによるビーム変換を示す斜視図である。

【図 7 9】ビーム出射側の隣接要素にはみ出す成分（逸脱成分）が発生することを示す図である。

【図 8 0】柱状レンズアレイを二分割し、ビーム出射側の柱状レンズの曲率半径を、ビーム入射側の柱状レンズの曲率半径より小さくしたビーム変換器を示す図である。

【図 8 1】偏光素子を用いて、2つのレーザビームを結合する態様を示す図である。

【図 8 2】スタックアレイレーザダイオードのスタックピッチと同じピッチで透過窓を形成したミラーを用いて、2つのレーザビームを結合する態様を示す図である。

40

【図 8 3】スタックアレイレーザダイオードのスタックピッチと同じピッチで配置したミラーを用いて、2つのレーザビームを結合する態様を示す図である。

【図 8 4】スタックアレイレーザダイオードのスタックピッチと同じピッチで配置した直角プリズムを用いて、2つのレーザビームを結合する態様を示す図である。

【図 8 5】第 3 の集光器に入射する少なくとも 2 つのレーザビーム群を波長結合する態様を示す図である。

【符号の説明】

1 0 ... スタックアレイレーザダイオード

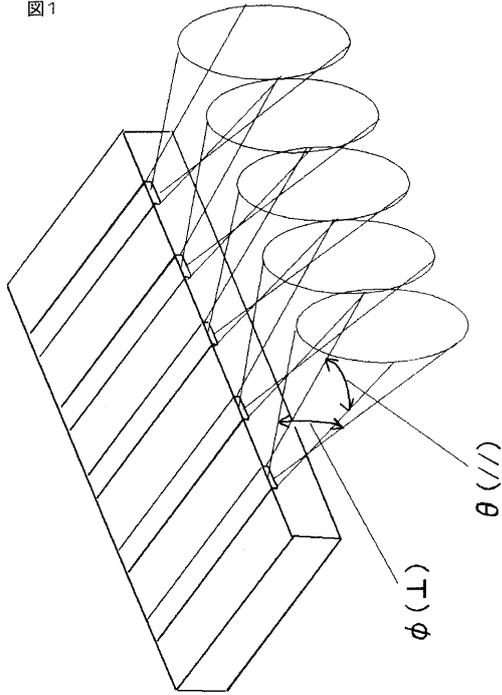
1 2 ... 活性層ストライプ（エミッタ）

50

2 0 ... 第 1 の柱状レンズアレイ ( 第 1 の集光器 )	
3 0 ... 第 1 の光路変換器 ( 第 1 のビーム変換器 )	
3 2 ... 光学素子	
3 6 ~ 3 9 ... レーザビーム	
4 0 ... 第 1 のビーム圧縮器	
4 2 ... 第 2 のビーム圧縮器	
5 0 ... 第 2 の光路変換器 ( 第 2 のビーム変換器 )	
5 2 ... 光学素子	
6 0 ... 柱状レンズ ( 第 4 の集光器 )	
6 1 ... 柱状レンズ	10
7 0 ... 集光レンズ ( 第 3 の集光器 )	
7 1 ... 集光レンズ	
8 0 ... 第 2 の柱状レンズアレイ ( 第 2 の集光器 )	
9 0 ... 光ファイバー	
9 2 ... 光学系	
9 5 ... 固体レーザー	
9 6 ... 固体レーザー素子	
9 7 ... 固体レーザー出力ミラー	
1 0 0 ... ビームシフター	
1 1 0、1 1 1 ... 柱状放物面鏡 ( 第 1 のビーム圧縮器 )	20
1 1 2 ~ 1 1 3 ... 柱状放物面鏡 ( 第 2 のビーム圧縮器 )	
1 2 0 ... 透明ウェッジ板 ( 角度変更器 )	
1 2 1 ... 透明ウェッジ板	
1 3 0 ... 柱状レンズ	
1 4 0 ~ 1 4 1 ... レンズ	
1 5 0、1 5 1 ... 柱状レンズ ( 第 1 のビーム圧縮器 )	
1 5 2、1 5 3 ... 柱状レンズ ( 第 2 のビーム圧縮器 )	
1 5 4、1 5 5 ... 柱状レンズ ( 第 5 の集光器 )	

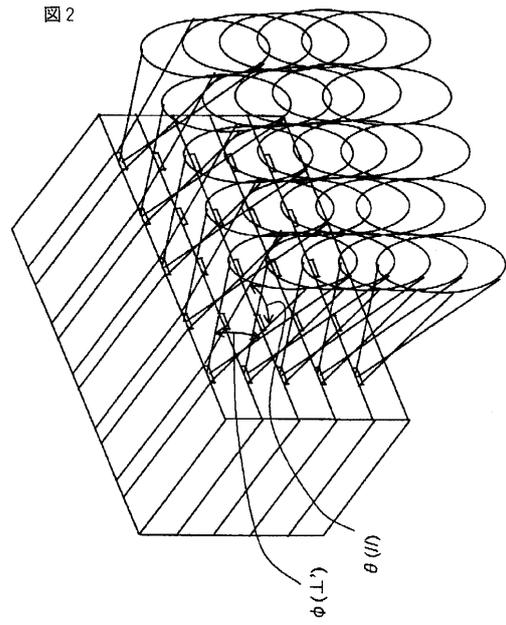
【 図 1 】

図1



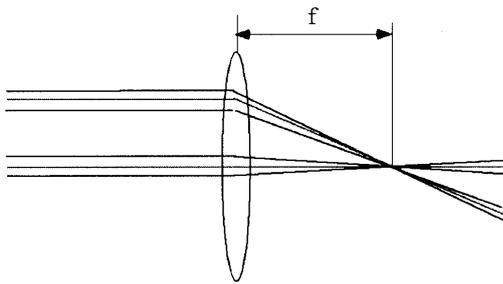
【 図 2 】

図2



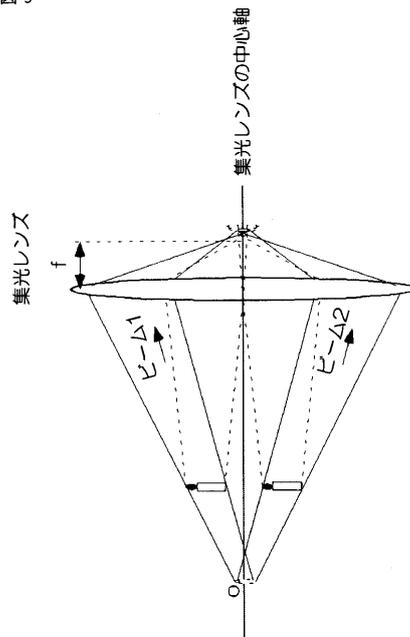
【 図 3 】

図3



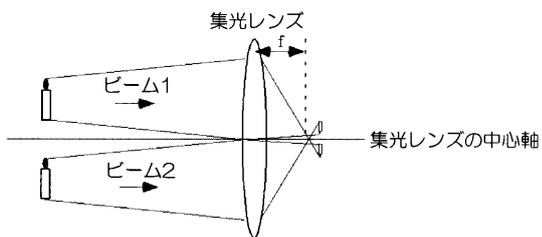
【 図 5 】

図5

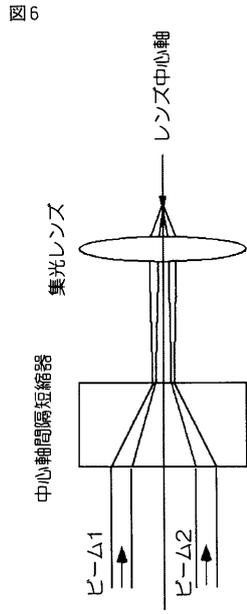


【 図 4 】

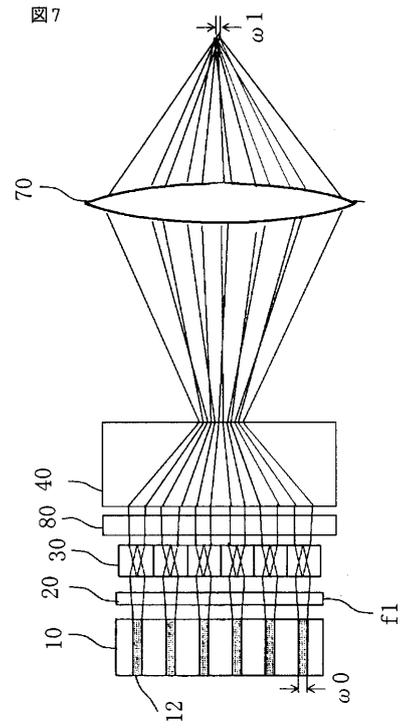
図4



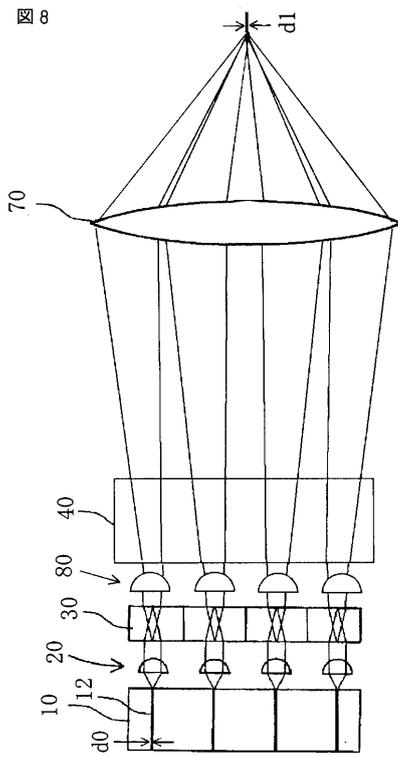
【 図 6 】



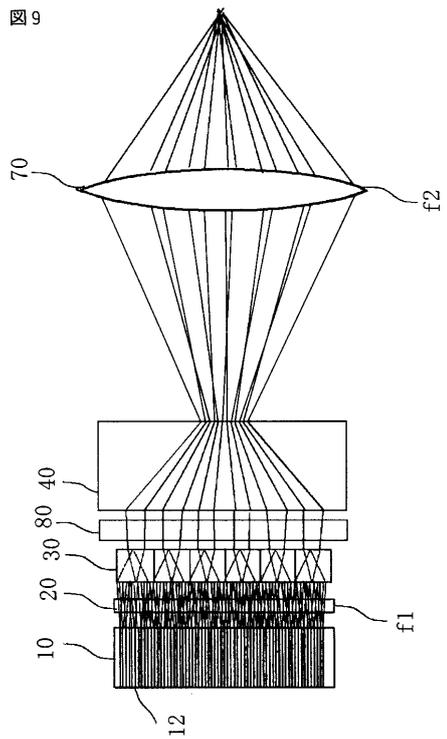
【 図 7 】



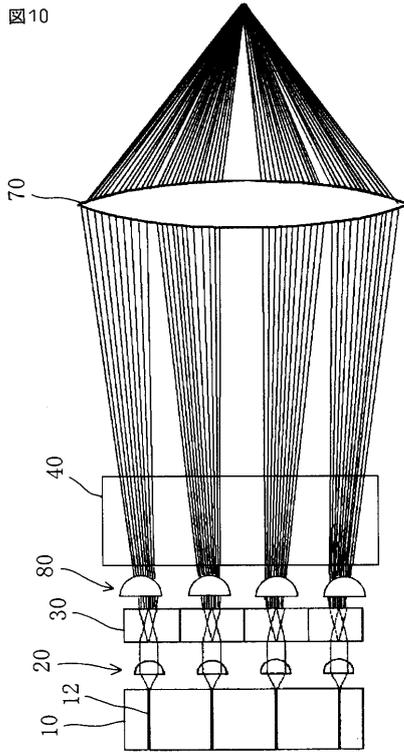
【 図 8 】



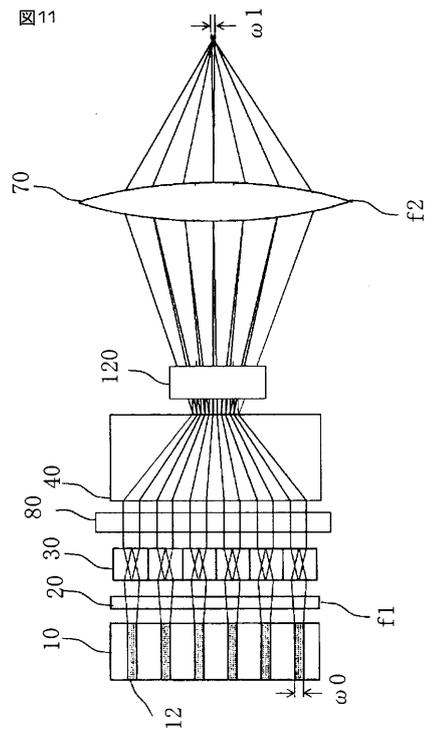
【 図 9 】



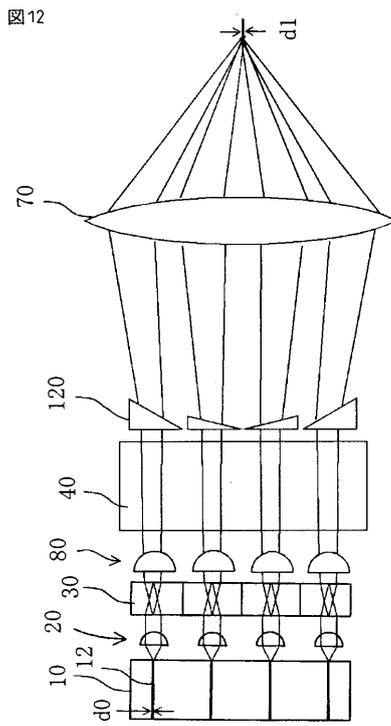
【 図 1 0 】



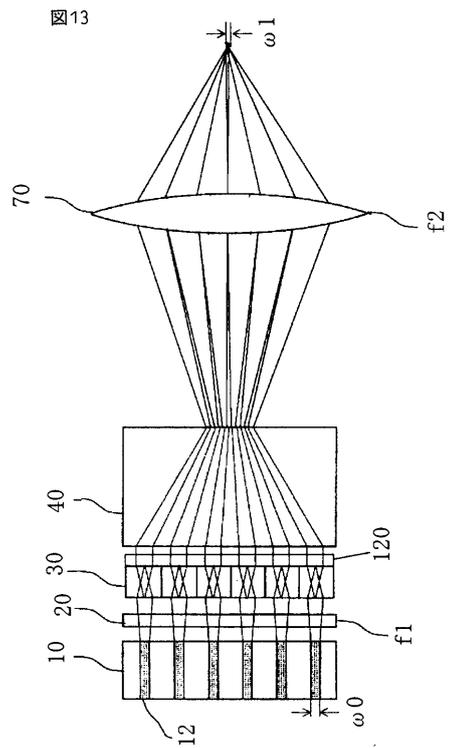
【 図 1 1 】



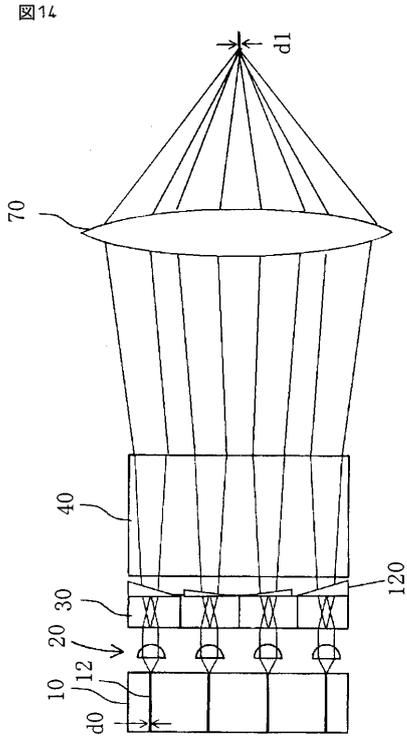
【 図 1 2 】



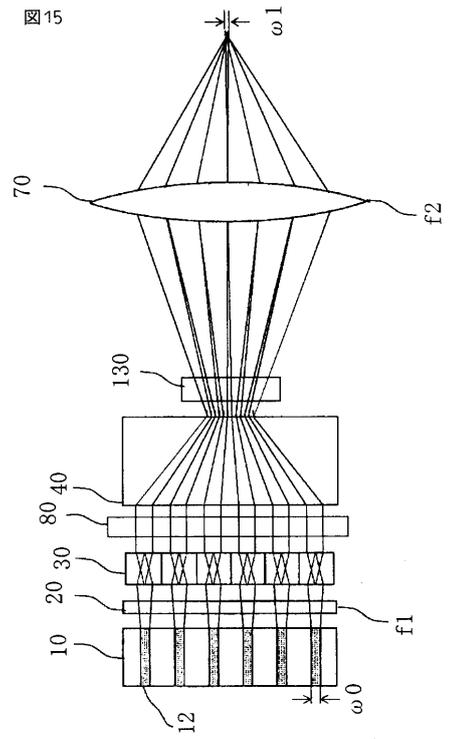
【 図 1 3 】



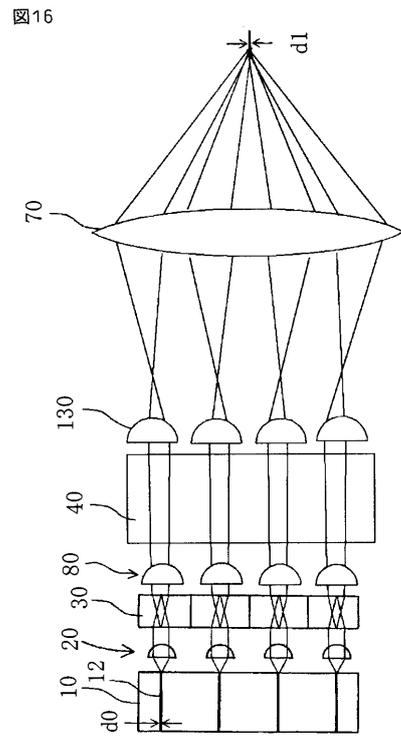
【 図 1 4 】



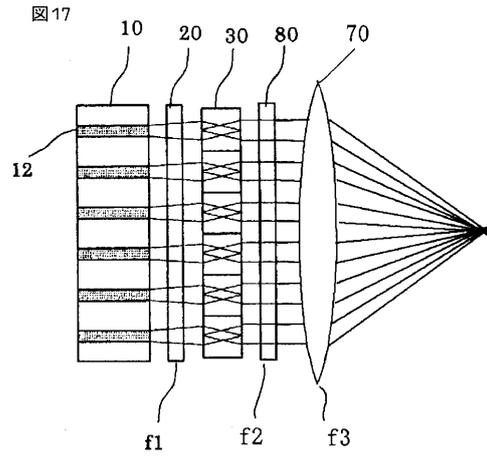
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

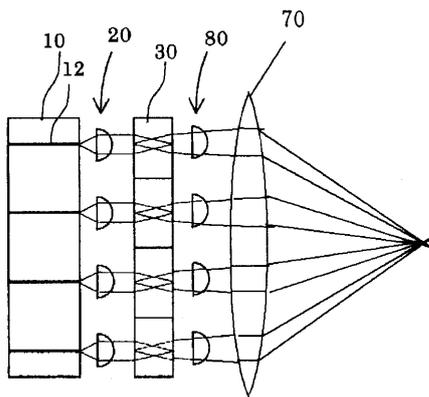


【 図 1 7 】



【 図 1 8 】

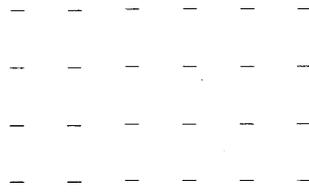
図18



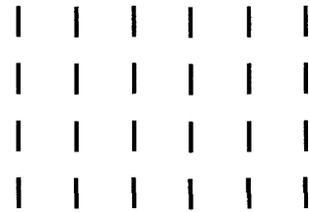
【 図 1 9 】

図19

(a) スタックアレイレーザーダイオードの出力ビーム



(b) 第1のビーム変換器後のビーム

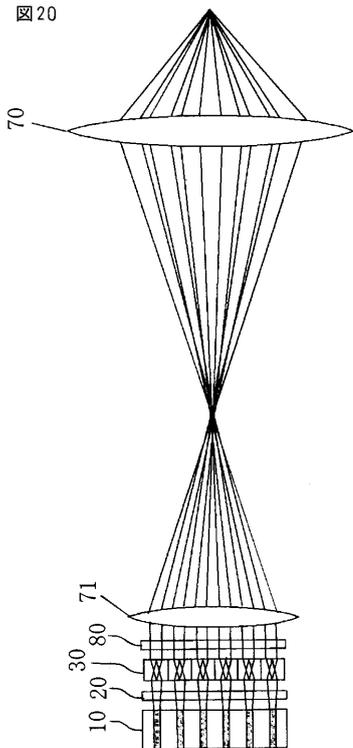


(c) 集光レンズの結像



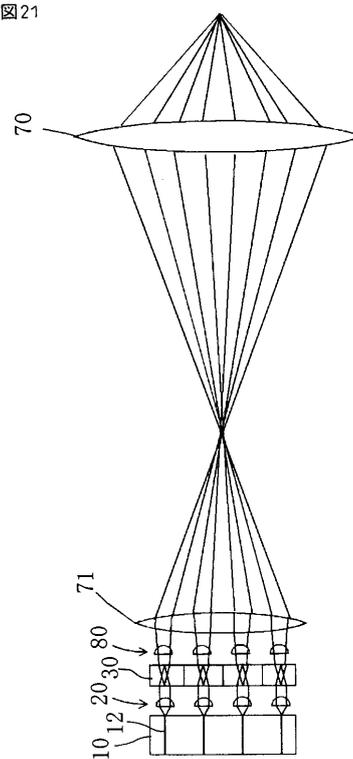
【 図 2 0 】

図20

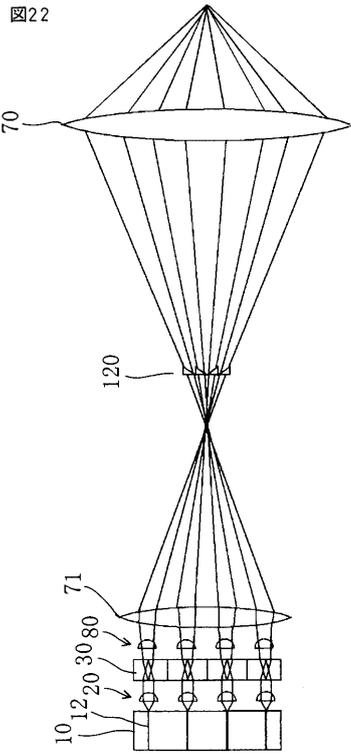


【 図 2 1 】

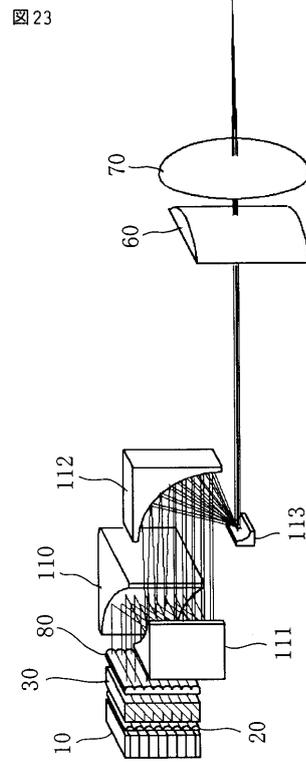
図21



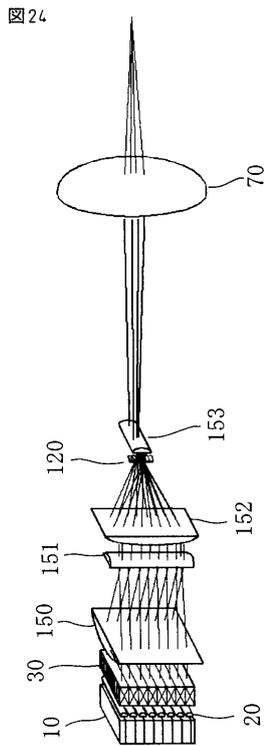
【 図 2 2 】



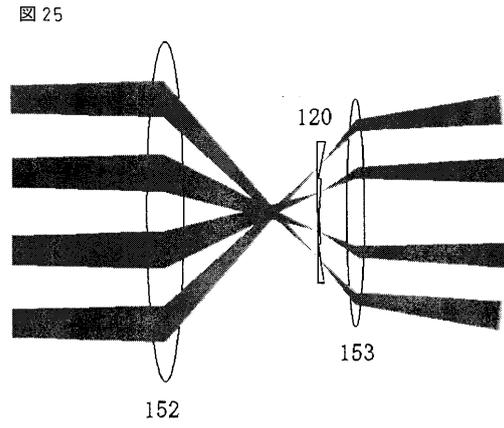
【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



【 図 2 5 】



【 図 2 6 】

図26

(a) 第2のテレスコープ後

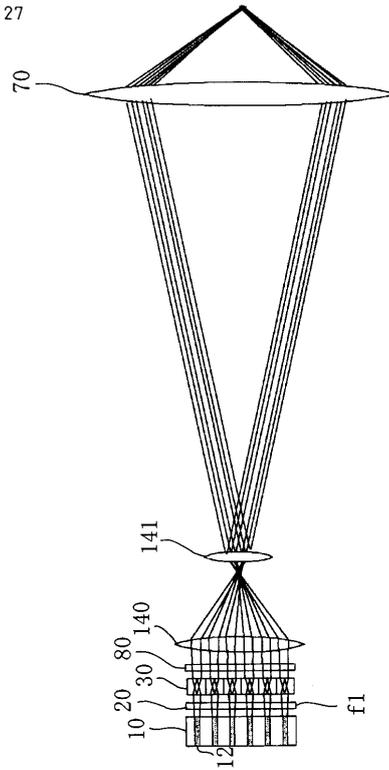


(b) 集光レンズ後の結像点



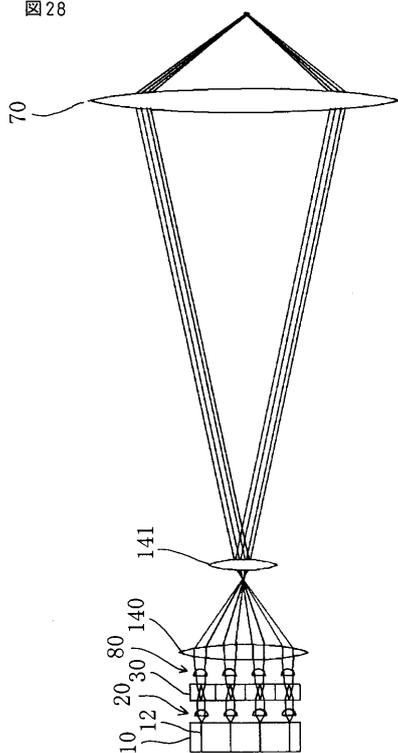
【 図 2 7 】

図27



【 図 2 8 】

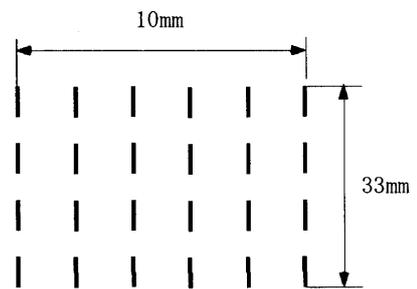
図28



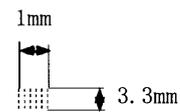
【 図 2 9 】

図29

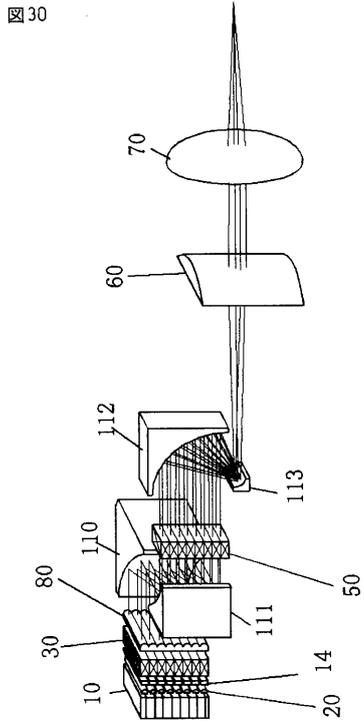
(a) テレスコープ前



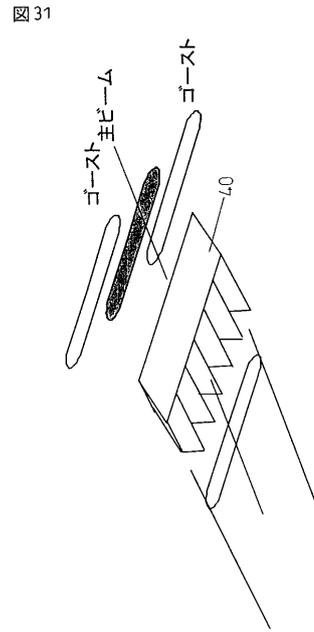
(b) テレスコープ後



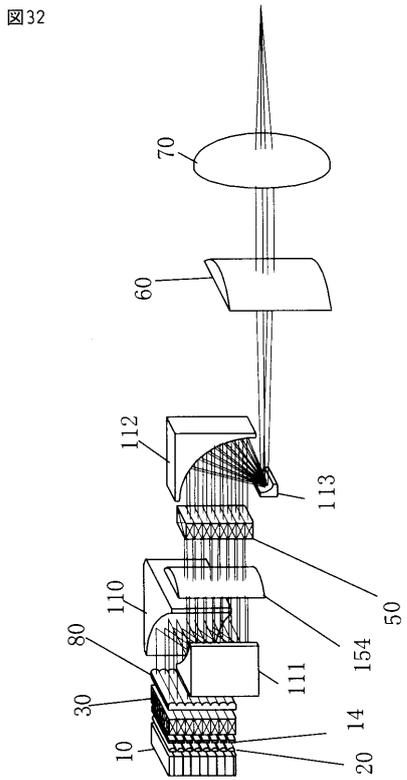
【図30】



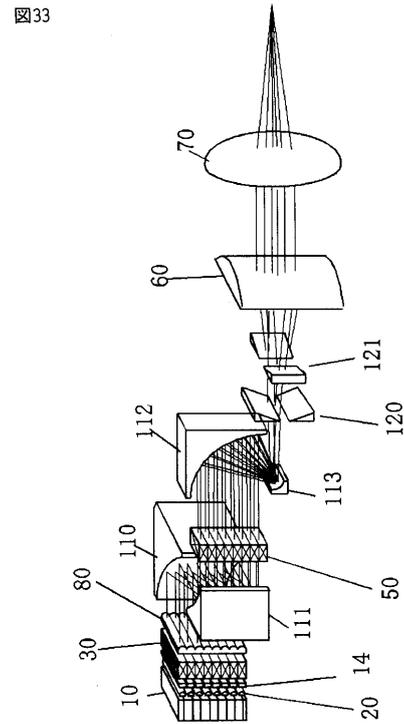
【図31】



【図32】

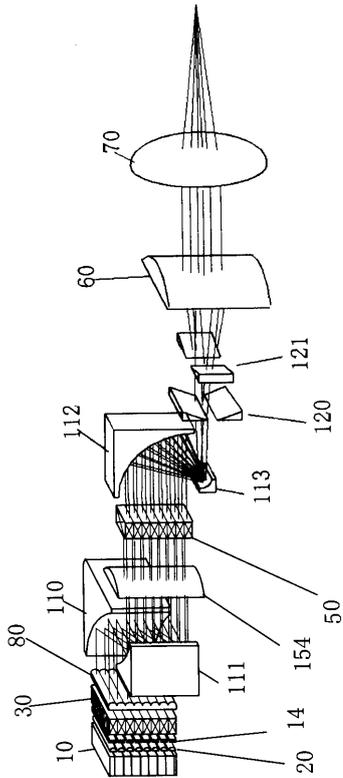


【図33】



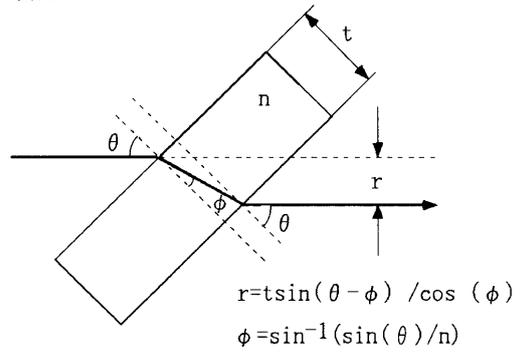
【図34】

図34



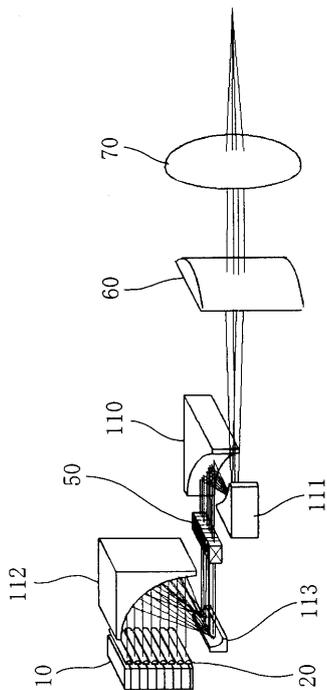
【図35】

図35



【図36】

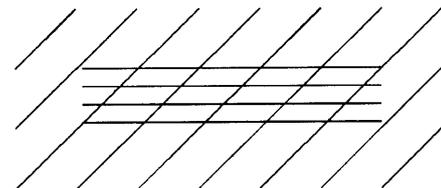
図36



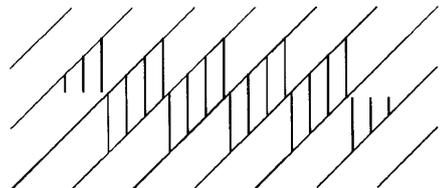
【図37】

図37

(a) 第2ビーム変換器前

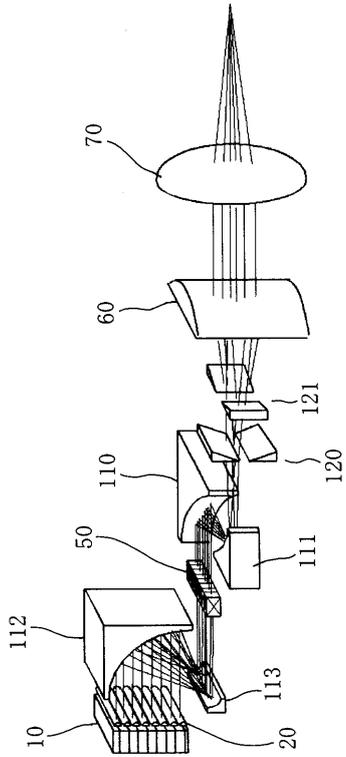


(b) 第2ビーム変換器後



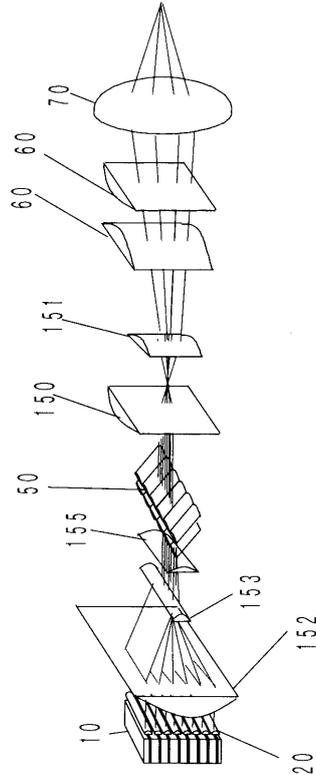
【 図 3 8 】

図38



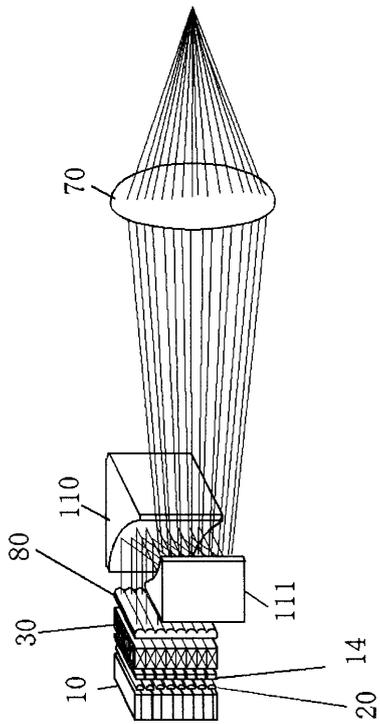
【 図 3 9 】

図39



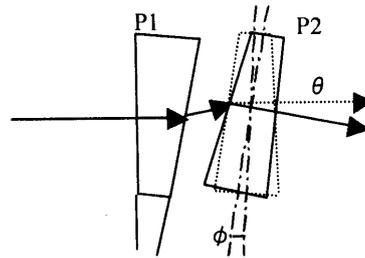
【 図 4 0 】

図40



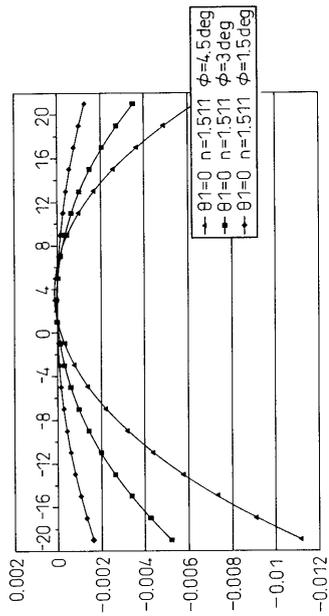
【 図 4 1 】

図41



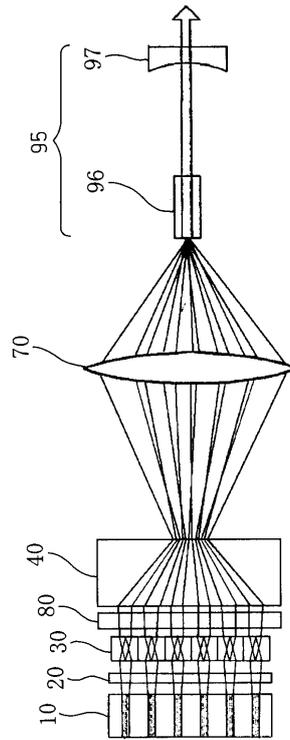
【 図 4 2 】

図 42



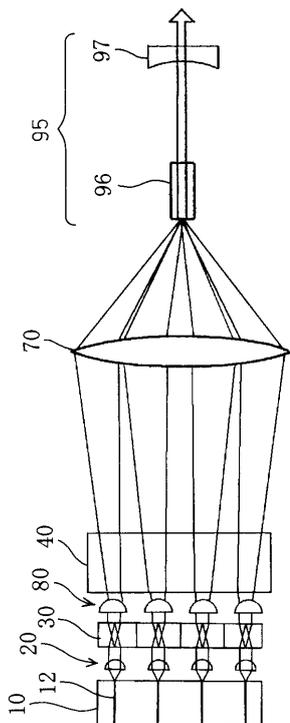
【 図 4 3 】

図 43



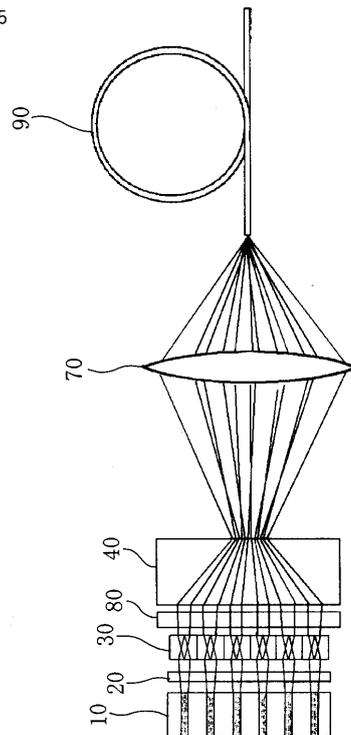
【 図 4 4 】

図 44



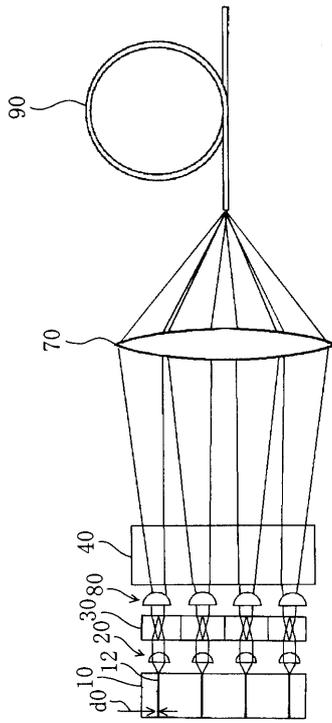
【 図 4 5 】

図 45



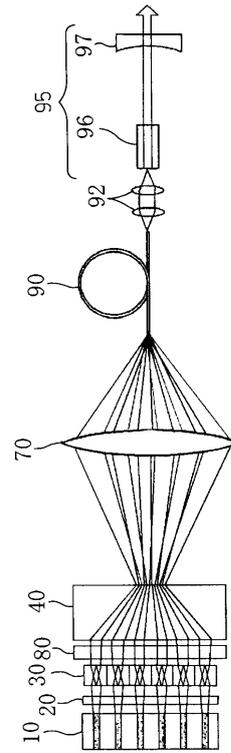
【 図 4 6 】

図46



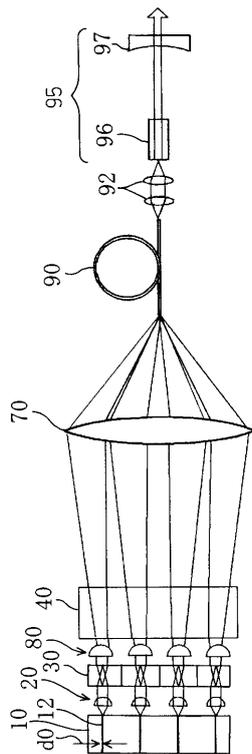
【 図 4 7 】

図47



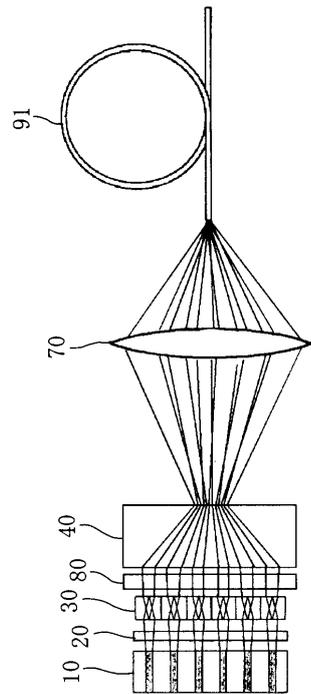
【 図 4 8 】

図48



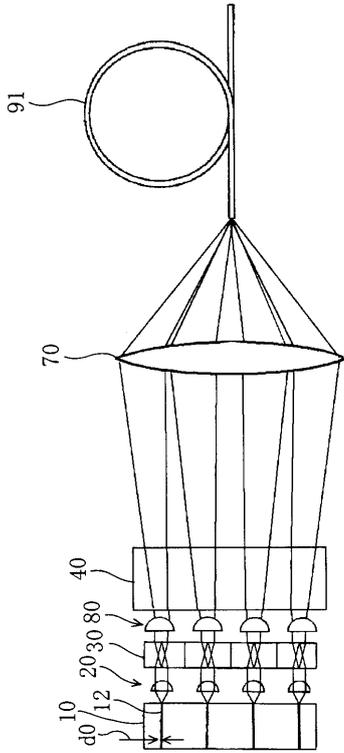
【 図 4 9 】

図49



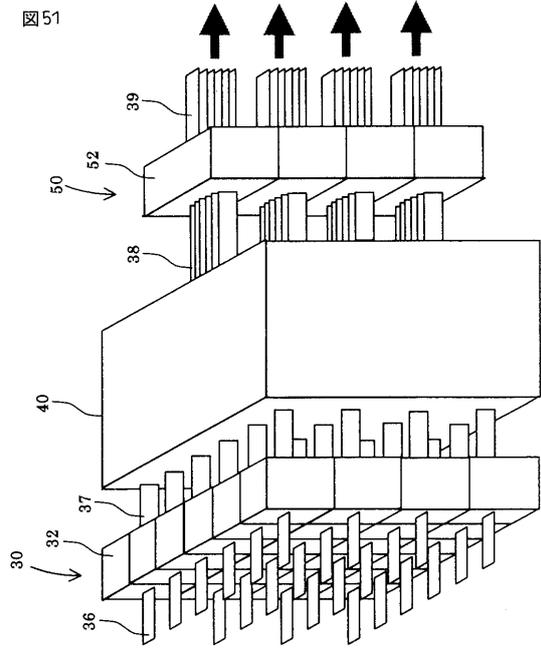
【 50 】

50



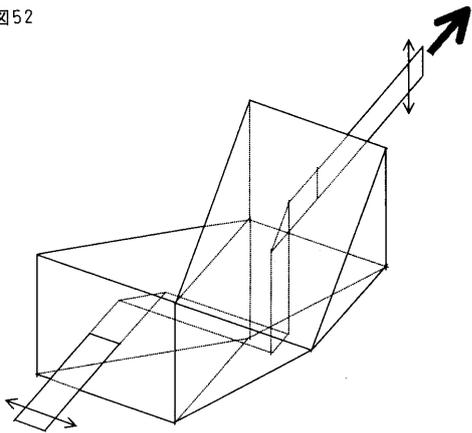
【 51 】

51



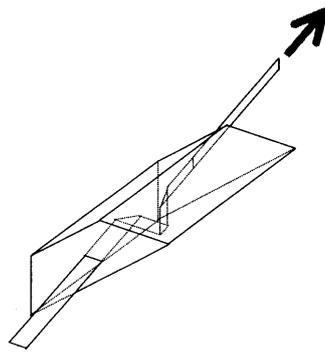
【 52 】

52



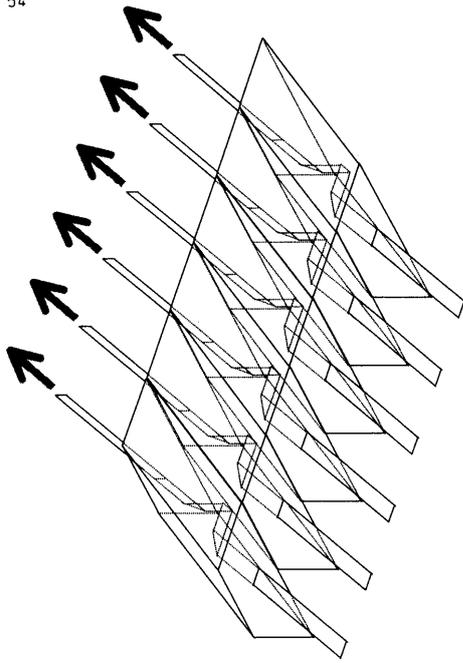
【 53 】

53



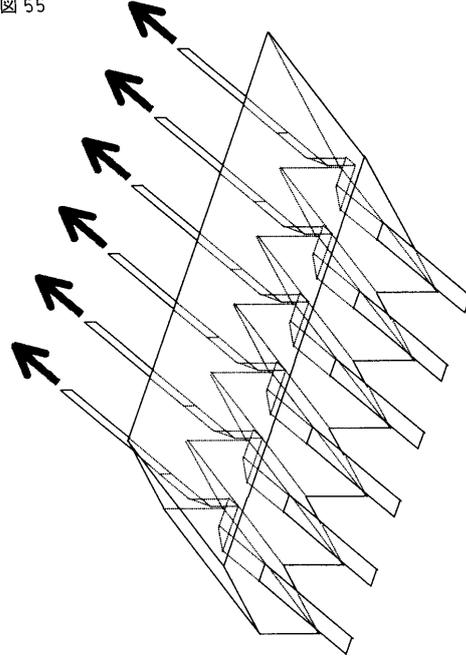
【 図 5 4 】

図 54



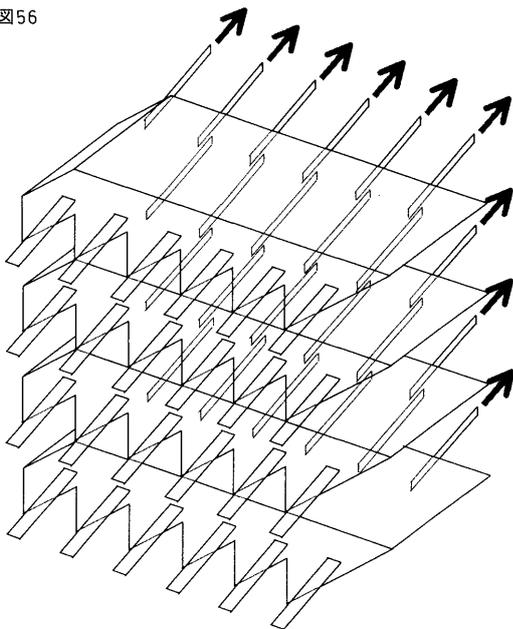
【 図 5 5 】

図 55



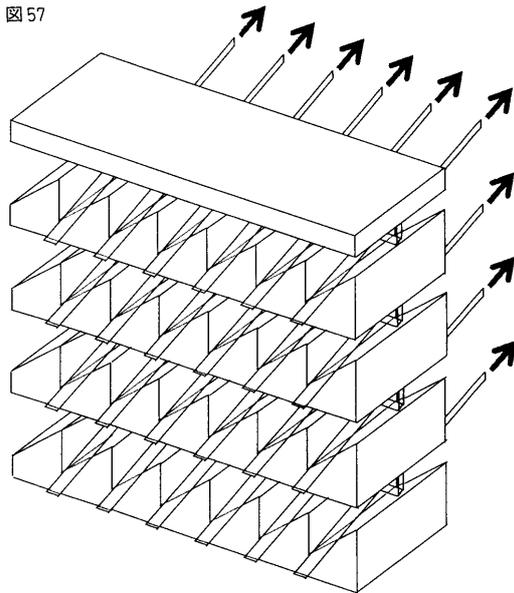
【 図 5 6 】

図 56



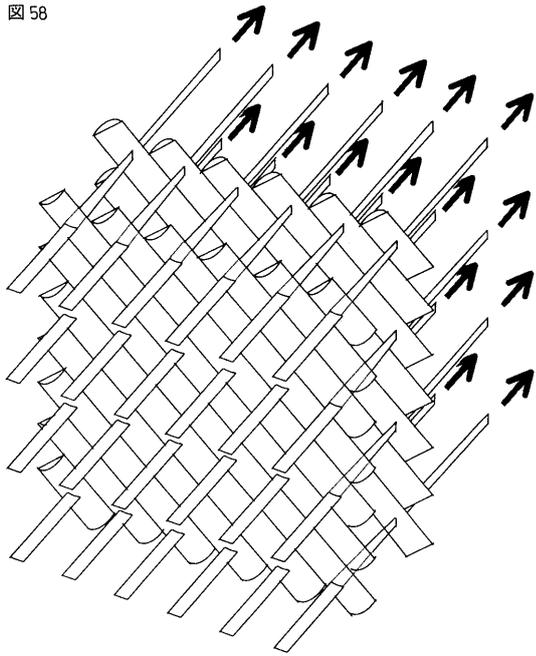
【 図 5 7 】

図 57



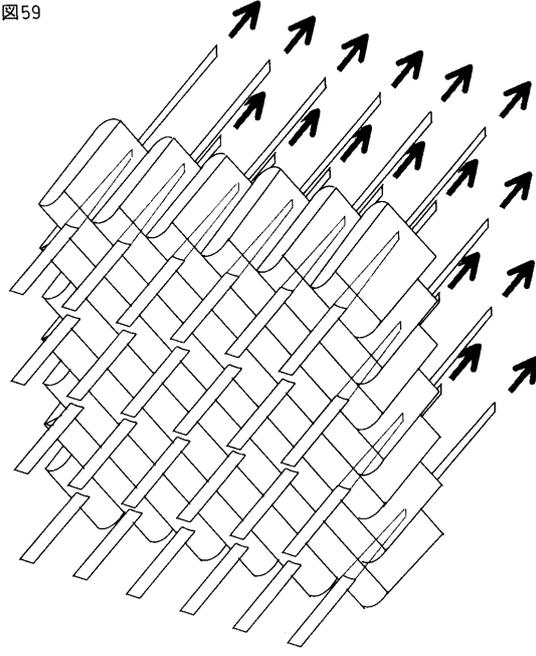
【 図 58 】

図 58



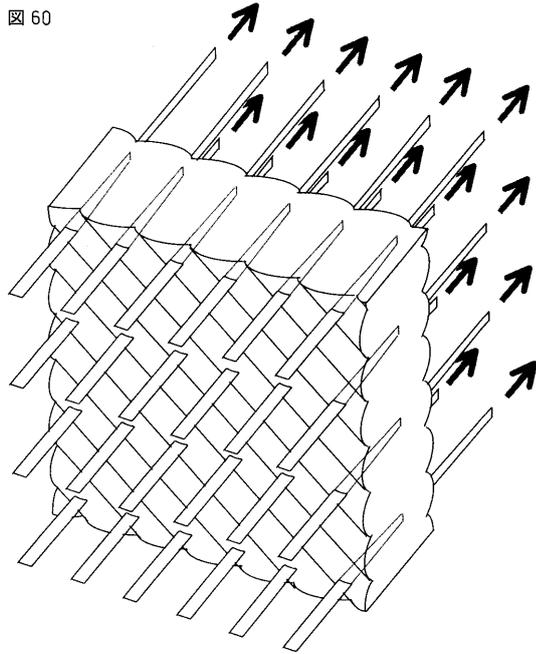
【 図 59 】

図 59



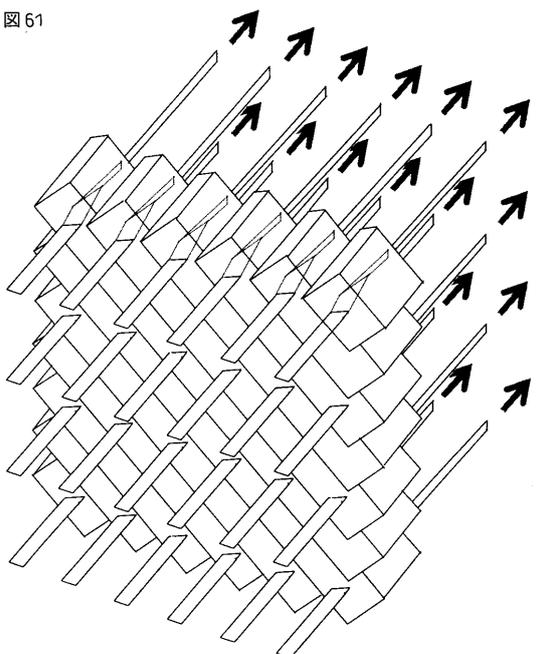
【 図 60 】

図 60



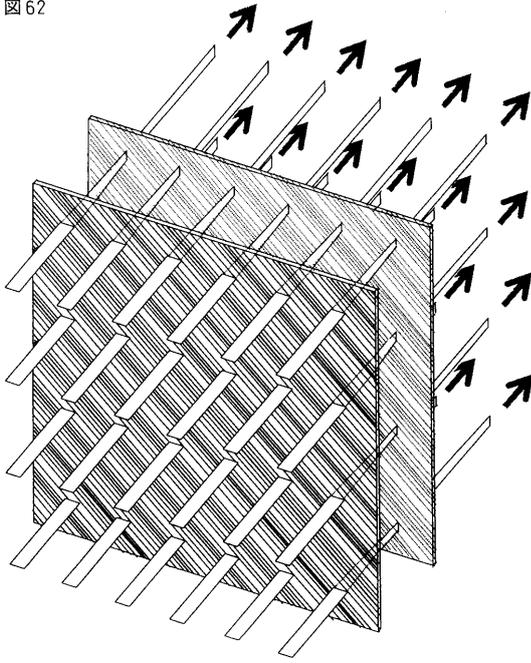
【 図 61 】

図 61



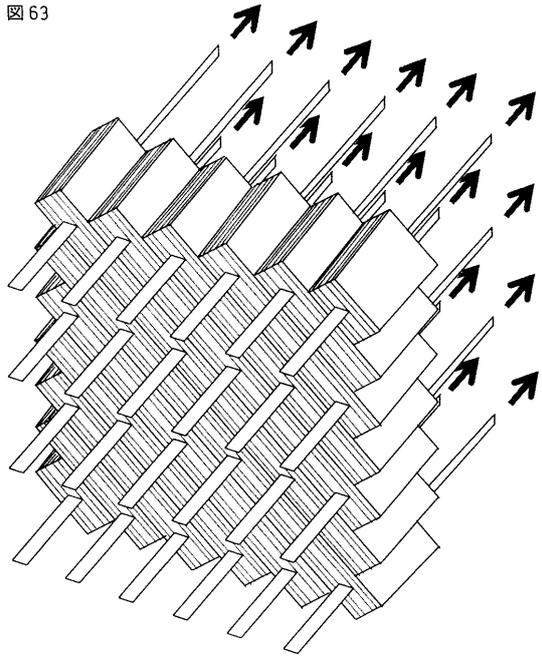
【 図 6 2 】

図 62



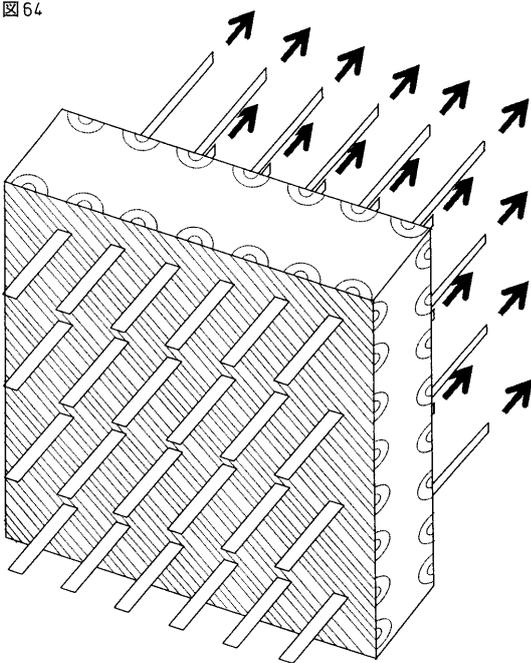
【 図 6 3 】

図 63



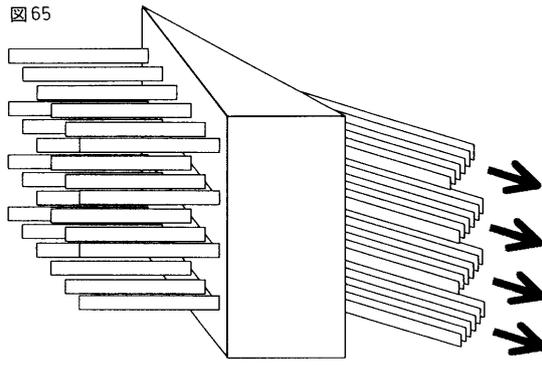
【 図 6 4 】

図 64



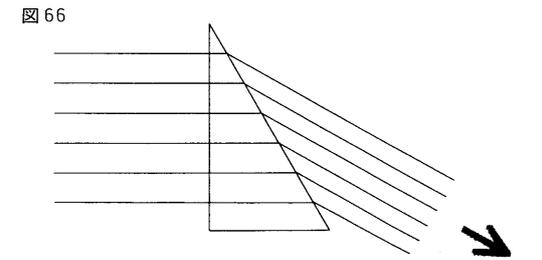
【 図 6 5 】

図 65



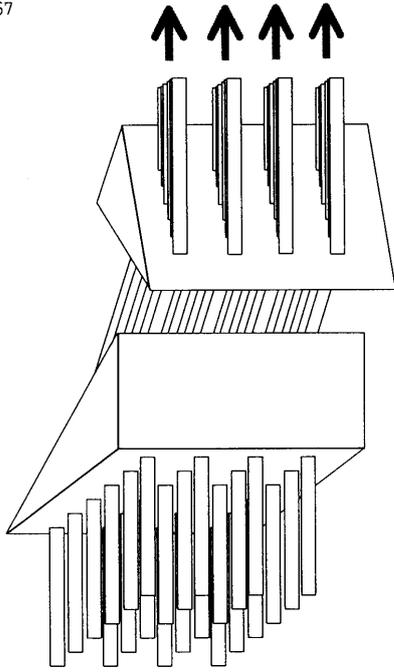
【 図 6 6 】

図 66



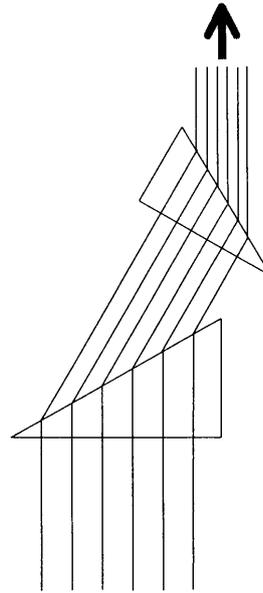
【 図 6 7 】

図67



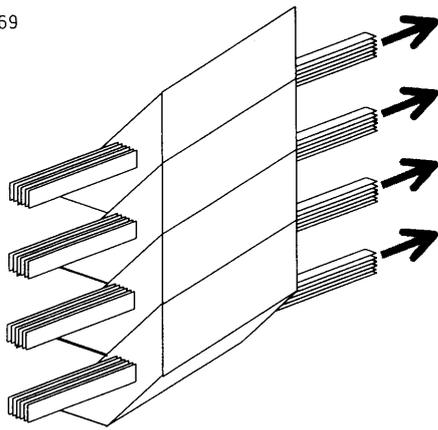
【 図 6 8 】

図68



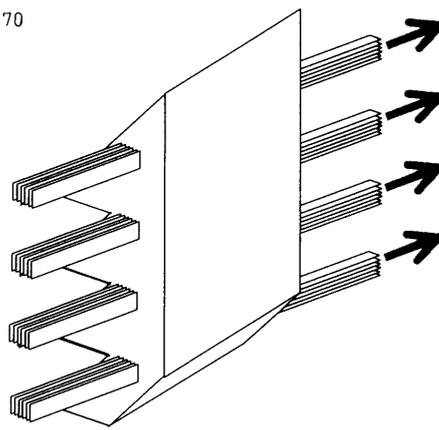
【 図 6 9 】

図69



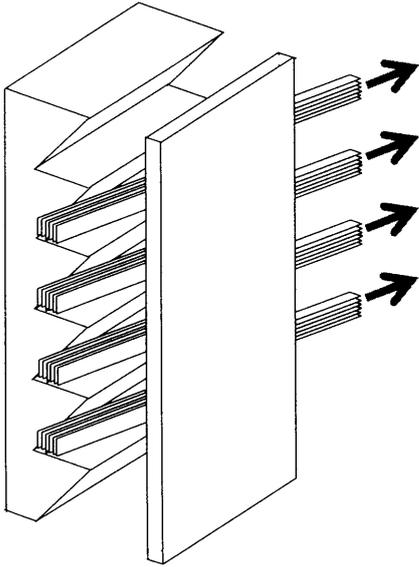
【 図 7 0 】

図70



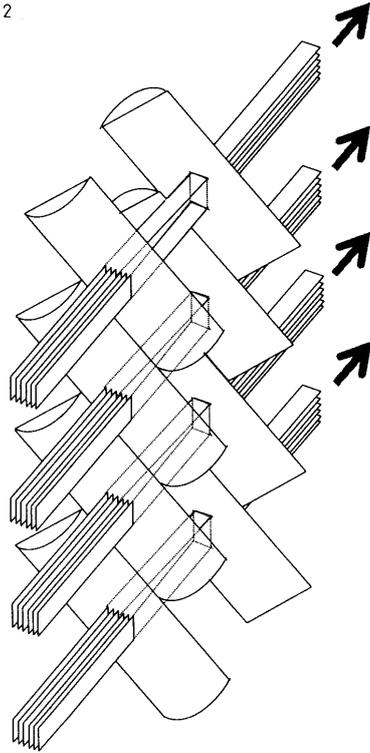
【 7 1 】

71



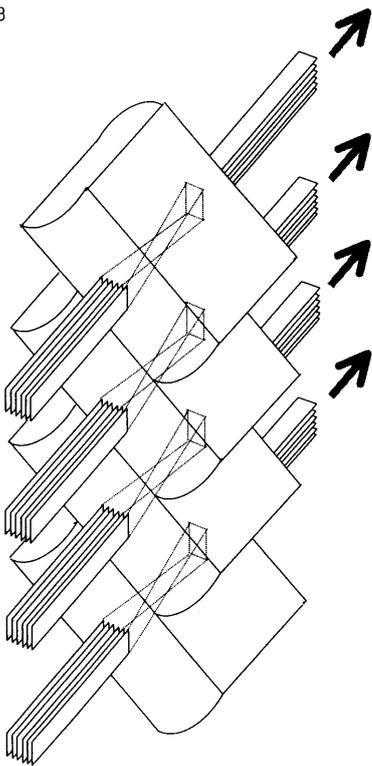
【 7 2 】

72



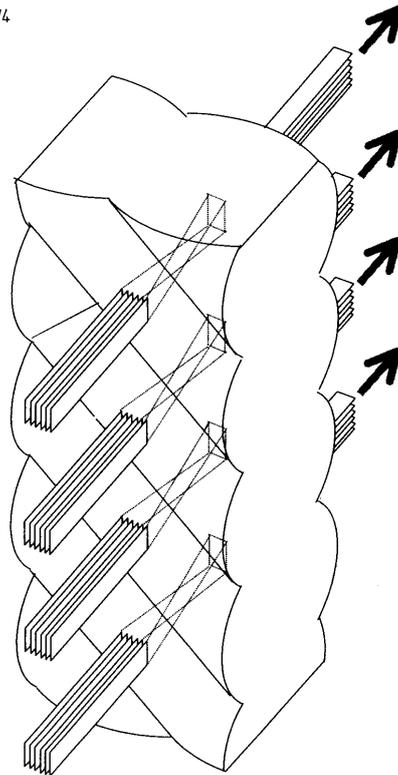
【 7 3 】

73



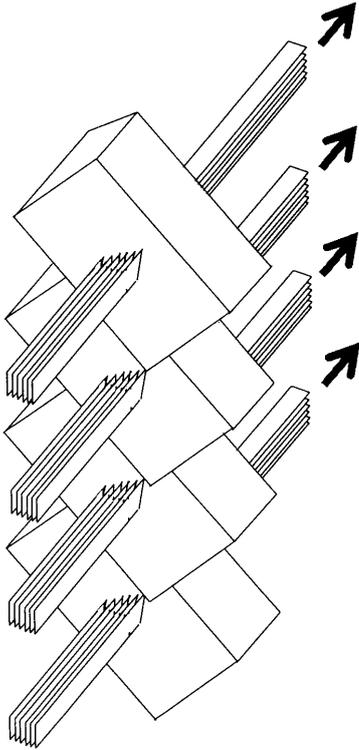
【 7 4 】

74



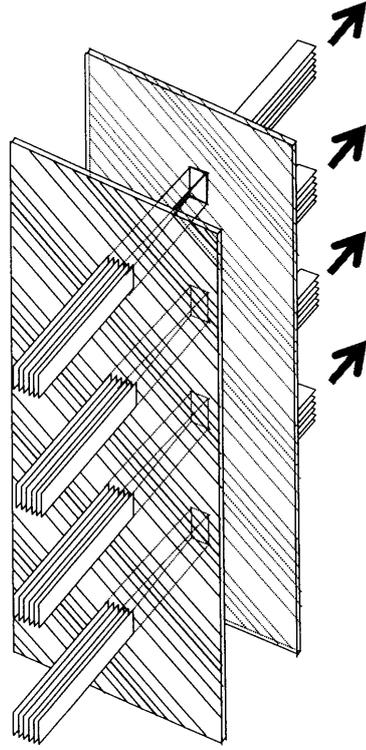
【 75 】

75



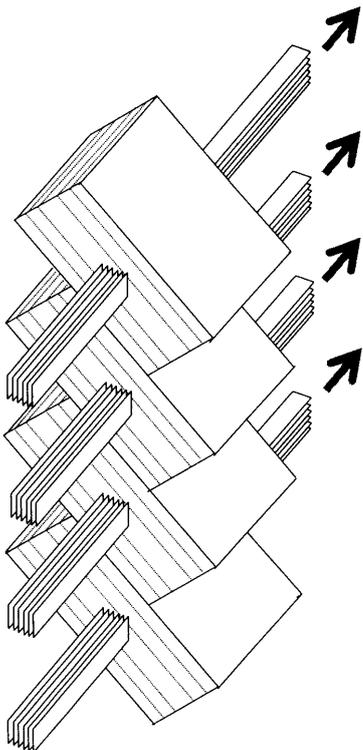
【 76 】

76



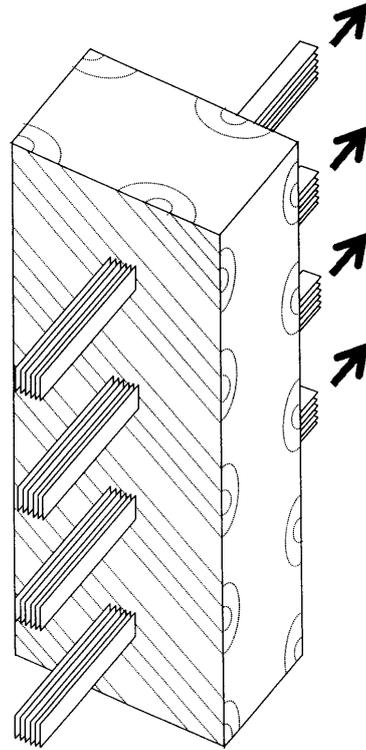
【 77 】

77

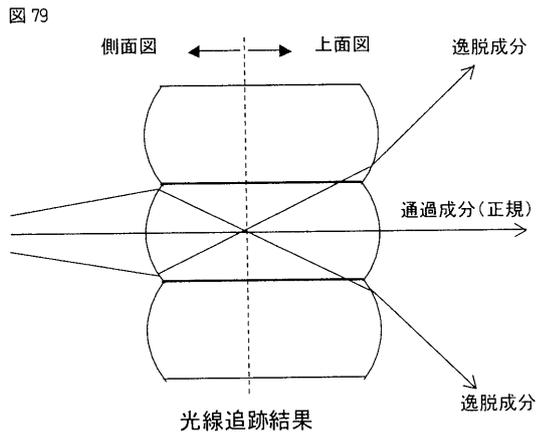


【 78 】

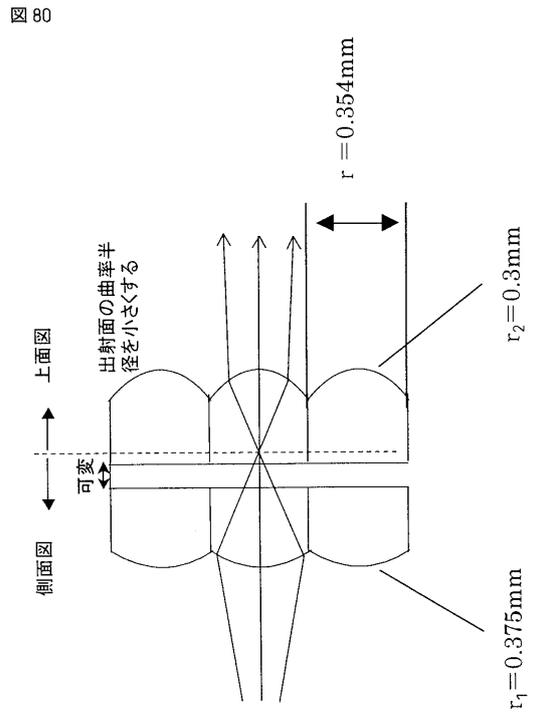
78



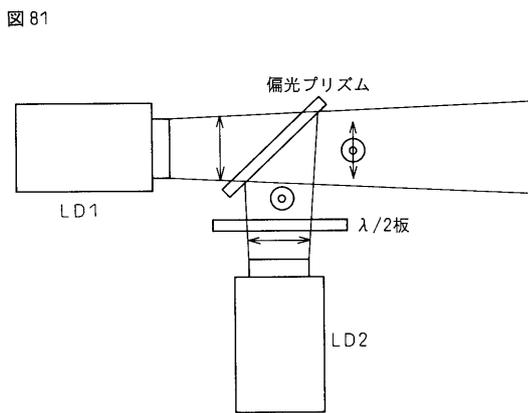
【 図 7 9 】



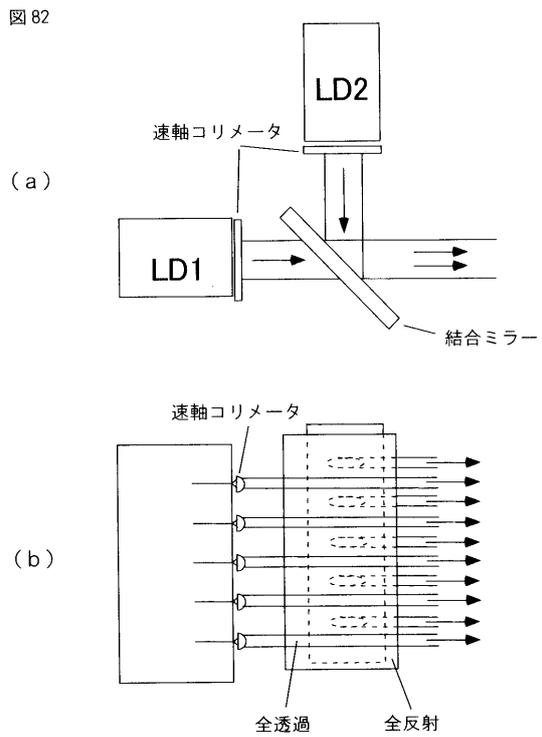
【 図 8 0 】



【 図 8 1 】

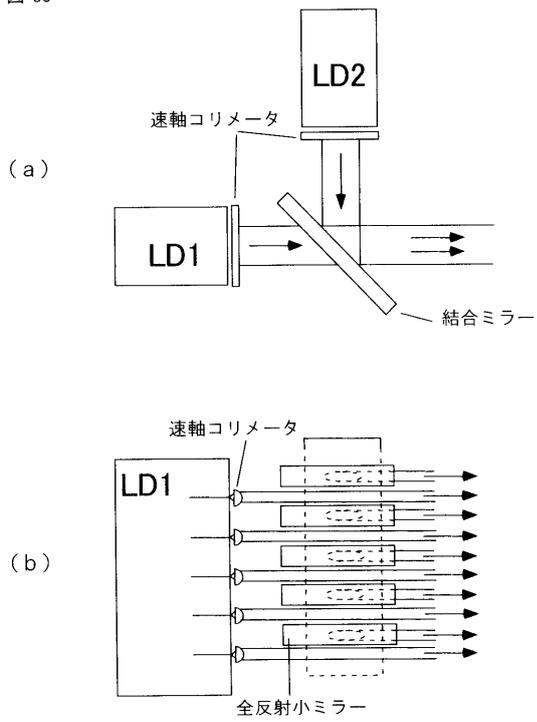


【 図 8 2 】



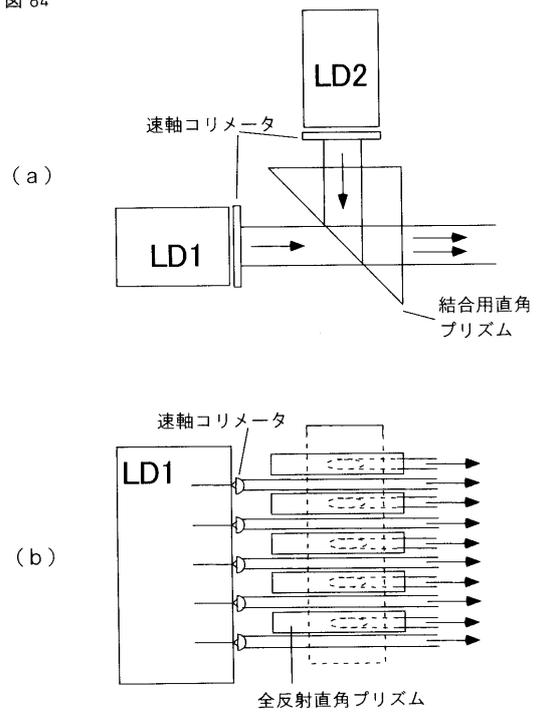
【 図 8 3 】

図 83



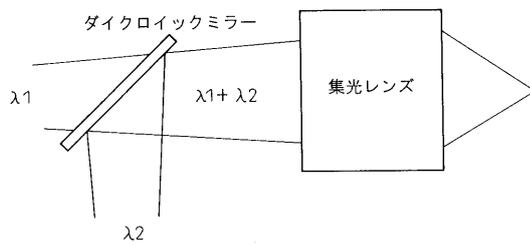
【 図 8 4 】

図 84



【 図 8 5 】

図 85



## フロントページの続き

- (72)発明者 今井 浩文  
千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技術開発本部内
- (72)発明者 浜田 直也  
千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技術開発本部内
- (72)発明者 城戸 基  
千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技術開発本部内
- (72)発明者 坂井 辰彦  
千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技術開発本部内
- (72)発明者 杉橋 敦史  
千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技術開発本部内
- (72)発明者 濱村 秀行  
千葉県富津市新富20-1 新日本製鐵株式会社技術開発本部内
- (72)発明者 山口 哲  
大分県大分市大字一木1727-162 日本文理大学 工学部内
- Fターム(参考) 5F072 AB01 AB07 AK06 KK30 PP07  
5F073 AB04 AB25 AB27 AB28 BA09 EA24