

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6652555号
(P6652555)

(45) 発行日 令和2年2月26日(2020.2.26)

(24) 登録日 令和2年1月27日(2020.1.27)

(51) Int.Cl.

F 1

H01S 5/40 (2006.01)
H01S 3/00 (2006.01)H01S 5/40
H01S 3/00

B

請求項の数 40 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2017-513110 (P2017-513110)
 (86) (22) 出願日 平成27年10月8日 (2015.10.8)
 (65) 公表番号 特表2018-503966 (P2018-503966A)
 (43) 公表日 平成30年2月8日 (2018.2.8)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2015/054713
 (87) 國際公開番号 WO2016/060933
 (87) 國際公開日 平成28年4月21日 (2016.4.21)
 審査請求日 平成30年7月31日 (2018.7.31)

(73) 特許権者 515288122
 ルーメンタム オペレーションズ エルエルシーホルダーズ
 Lumentum Operations LLC
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95035 ミルピタス ノース マッカーシー ブルーヴァード 400
 (73) 特許権者 390014672
 株式会社アマダホールディングス
 神奈川県伊勢原市石田200番地
 (74) 代理人 100083806
 弁理士 三好 秀和
 (74) 代理人 100095500
 弁理士 伊藤 正和

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】レーザシステム、及び、レーザシステムの出力パワーを調整する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ダイオードバンクの各々がレーザダイオードを含み、レーザビームを出力するように構成されているダイオードバンクと、

要求されたパワーの指示を受信し、現在のパワーレベルから異なるパワーレベルへの移行を必要とする前記要求されたパワーに基づいて、複数のダイオードバンクを選択的に動作させるように構成されている制御ユニットと、

を備え、

第1の複数のダイオードバンクは第1の数のダイオードバンクを含み、前記異なるパワーレベルが前記現在のパワーレベルより小さいときに動作し、

10

第2の複数のダイオードバンクは前記第1の数より多い第2の数のダイオードバンクを含み、前記異なるパワーレベルが前記現在のパワーレベルより大きいときに動作し、前記制御ユニットは、

前記第1の複数のダイオードバンクを選択的に動作させた後、要求されたパワーが前記第1の複数のダイオードバンクの最大パワーを超えたとき、前記第2の複数のダイオードバンクを動作させ、

前記第2の複数のダイオードバンクを選択的に動作させた後、要求されたパワーが前記第2の複数のダイオードバンクの最小パワーを超えないとき、前記第1の複数のダイオードバンクを動作させる

レーザシステム。

20

【請求項 2】

前記要求されたパワーが前記ダイオードバンクの第1のダイオードバンクの最大パワーと等しいとき、第1のパワーは前記第1のダイオードバンクの前記最大パワーと等しく、第2のパワーはゼロに等しい請求項1に記載のレーザシステム。

【請求項 3】

前記ダイオードバンクの各々は最大パワーを有し、

前記レーザシステムは、前記ダイオードバンクの各々の前記最大パワーの合計と等しいシステム最大パワーを有し、

第1の電流制御信号は、前記ダイオードバンクの第1のダイオードバンクを、前記第1のダイオードバンクの最大パワーの50%よりも広い範囲で調整するように構成され、

他の電流制御信号は、前記ダイオードバンクの第2のダイオードバンクをそれぞれの最大パワーの50%よりも狭い制限された範囲で調整するように構成されている

請求項1に記載のレーザシステム。

【請求項 4】

前記広い範囲は、前記第1のダイオードバンクの前記最大パワーの40%から100%を含む請求項3に記載のレーザシステム。

【請求項 5】

前記制限された範囲は、前記第2のダイオードバンクのそれぞれの最大パワーの70%から100%を含む請求項3に記載のレーザシステム。

【請求項 6】

前記広い範囲は、前記第1のダイオードバンクの前記最大パワーの10%から100%を含む請求項3に記載のレーザシステム。

【請求項 7】

前記ダイオードバンクのうちの1つの前記最大パワーは、前記ダイオードバンクのうちの他の1つの前記最大パワーと異なる請求項3に記載のレーザシステム。

【請求項 8】

前記第1のダイオードバンクの前記最大パワーは、前記第2のダイオードバンクそれぞれの前記最大パワーより大きい請求項3に記載のレーザシステム。

【請求項 9】

前記レーザシステムはダイレクトダイオードレーザを含む請求項1に記載のレーザシステム。

【請求項 10】

前記レーザダイオードは、シングルエミッタレーザダイオードまたはマルチエミッタレーザダイオードである請求項1に記載のレーザシステム。

【請求項 11】

前記ダイオードバンクの各々に対応する電流制御信号を受信し、前記電流制御信号に基づいて前記ダイオードバンクに電流を流すことができるように構成されている電流コントローラをさらに備える請求項1に記載のレーザシステム。

【請求項 12】

前記マルチエミッタレーザダイオードは、レーザダイオードバーまたは垂直共振器型面発光レーザ(VCSEL)アレイを含む請求項10に記載のレーザシステム。

【請求項 13】

前記レーザダイオードは、少なくとも1つが空間結合されるか、偏光結合された出力を有する少なくとも2つのレーザダイオードを含むレーザダイオードジュール内に配置されている請求項1に記載のレーザシステム。

【請求項 14】

レーザ利得媒体に連結されたダイオード励起レーザシステムをさらに含み、

前記ダイオード励起レーザシステムの出力パワーは前記レーザ利得媒体を励起するように構成され、

前記レーザ利得媒体は、ファイバレーザ、ディスクレーザ、スラブレーザ、ロッドレー

10

20

30

40

50

ザ、ダイオード励起の固体レーザ、ラマンレーザ、ブリルアンレーザ、光パラメトリックレーザ、アルカリ蒸気レーザのうちの1つを含む

請求項1に記載のレーザシステム。

【請求項15】

前記ダイオードバンクは、第1のダイオードバンク、第2のダイオードバンク、及び、少なくとも1つの第3のダイオードバンクを含む請求項1に記載のレーザシステム。

【請求項16】

変調周波数の機能として、レーザダイオードの温度を制御する温度制御ユニットを含む請求項1に記載のレーザシステム。

【請求項17】

前記ダイオードバンクの第1のダイオードバンクは、前記レーザダイオードが搭載された支持構造を含み、

前記温度制御ユニットは、前記支持構造に連結され、前記支持構造を加熱するように構成された電気抵抗素子を含む

請求項16に記載のレーザシステム。

【請求項18】

ダイオードバンクに配置されたレーザダイオードを含むレーザシステムのためのパワー制御方法であり、各ダイオードバンクは、前記レーザダイオードの少なくとも1つを含み、最大パワーを有し、

制御ユニットによって、要求されたパワーの指示を受信し、

前記制御ユニットによって、現在のパワーレベルから異なるパワーレベルへの移行を必要とする前記要求されたパワーに基づいて、複数のダイオードバンクを選択的に動作させ、

第1の複数のダイオードバンクは第1の数のダイオードバンクを含み、前記異なるパワーレベルが前記現在のパワーレベルより小さいときに動作し、

第2の複数のダイオードバンクは前記第1の数より多い第2の数のダイオードバンクを含み、前記異なるパワーレベルが前記現在のパワーレベルより大きいときに動作し、

前記制御ユニットによって、

前記第1の複数のダイオードバンクを選択的に動作させた後、要求されたパワーが前記第1の複数のダイオードバンクの最大パワーを超えたとき、前記第2の複数のダイオードバンクを動作させ、

前記第2の複数のダイオードバンクを選択的に動作させた後、要求されたパワーが前記第2の複数のダイオードバンクの最小パワーを超えないとき、前記第1の複数のダイオードバンクを動作させる

パワー制御方法。

【請求項19】

前記ダイオードバンクの第1のダイオードバンクに関連する第1のパワーは、前記レーザシステムで出力される要求されたパワーと、前記ダイオードバンクの第2のダイオードバンクに関連するゼロに等しい第2のパワーとを含む請求項18に記載のパワー制御方法。

【請求項20】

前記ダイオードバンクの1つのダイオードバンクを出力ゼロに動作させることは、前記少なくとも1つのレーザダイオードの閾値電流よりも小さい電流を前記ダイオードバンクに流すことを含む請求項19に記載のパワー制御方法。

【請求項21】

前記ダイオードバンクの各々は最大パワーを有し、

前記レーザシステムは、前記ダイオードバンクの各々の前記最大パワーの合計と等しいシステム最大パワーを有し、

前記ダイオードバンクの第1のダイオードバンクは、前記第1のダイオードバンクの最大パワーの50%よりも広い範囲で調整され、

10

20

30

40

50

前記ダイオードバンクの第2のダイオードバンクは、それぞれの最大パワーの50%未満を含む範囲で調整される

請求項18に記載のパワー制御方法。

【請求項22】

前記ダイオードバンクの第1のダイオードバンクの範囲は、前記第1のダイオードバンクの最大パワーの0%から100%を含み、

前記ダイオードバンクの第2のダイオードバンクは、それぞれの最大パワーの70%を超えるパワーに調整される

請求項18に記載のパワー制御方法。

【請求項23】

10

前記ダイオードバンクの第1のダイオードバンクの最大パワーは、前記ダイオードバンクの第2のダイオードバンク各々の最大パワーより大きい請求項18に記載のパワー制御方法。

【請求項24】

前記ダイオードバンクの第1のダイオードバンクの最大パワーは、前記ダイオードバンクの第2のダイオードバンク各々の最大パワーより小さい請求項18に記載のパワー制御方法。

【請求項25】

さらに、前記ダイオードバンクのパルスまたは変調動作の1つの期間に、前記レーザダイオードの少なくともいくつかがオフであるとき、それらを加熱する請求項18に記載のパワー制御方法。

20

【請求項26】

さらに、前記ダイオードバンクのうちの1つのダイオードバンクのレーザダイオードを制限されたパワーの範囲のみで動作させ、前記制限されたパワーの範囲は前記レーザダイオードのうちの1つのレーザダイオードの公称パワーに対応する値を含む請求項18に記載のパワー制御方法。

【請求項27】

さらに、前記ダイオードバンクの第1のレーザダイオードを波長制御モードで動作させ、

前記第1のレーザダイオードの各々は、制限されたパワーの範囲で動作する請求項18に記載のパワー制御方法。

30

【請求項28】

さらに、前記レーザダイオードの第1のレーザダイオードを高輝度モードで動作させ、前記第1のレーザダイオードの各々は、制限されたパワーの範囲のみで確実に高輝度出力を生成する

請求項18に記載のパワー制御方法。

【請求項29】

さらに、前記レーザダイオードの第1のレーザダイオードを短パルスモードで動作させ、

前記第1のレーザダイオードの各々は、前記レーザダイオードの制限されたパワーの範囲のみの特定のパルスパラメータの範囲内で確実にパルスを発生する

40

請求項18に記載のパワー制御方法。

【請求項30】

前記ダイオードバンクの特定のダイオードバンクのレーザダイオードの各々は、制限されたパワーの範囲のみで高電気光効率で動作し、

前記方法は、さらに、

レーザダイオードの各々を前記制限されたパワーの範囲内のみで動作させる

請求項18に記載のパワー制御方法。

【請求項31】

前記レーザシステムは、ダイレクトレーザシステムを含む請求項18に記載のパワー制

50

御方法。

【請求項 3 2】

前記レーザシステムは、レーザ利得媒体に連結されたダイオード励起レーザシステムを含み、

前記方法は、さらに、

前記ダイオード励起レーザシステムの出力で前記レーザ利得媒体を励起し、

前記レーザ利得媒体は、ファイバレーザ、ディスクレーザ、スラブレーザ、ロッドレーザ、ダイオード励起の固体レーザ、ラマンレーザ、ブリルアンレーザ、光パラメトリックレーザ、アルカリ蒸気レーザのうちの 1 つを含む

請求項 1 8 に記載のパワー制御方法。

10

【請求項 3 3】

前記レーザシステムは、利用可能なパワーと利用不可のパワーとを有し、

前記方法は、さらに、

もし要求されたパワーが前記利用不可のパワーの 1 つを含めば、選択的に、

前記レーザシステムを前記要求されたパワーと最も近い利用可能なパワーを出力するよう¹に動作させる、

前記レーザシステムを前記要求されたパワーよりも高い最も小さな利用可能なパワーである利用可能なパワーを出力するよう²に動作させる、

前記レーザシステムを前記要求されたパワーよりも低い最も大きな利用可能なパワーである利用可能なパワーを出力するよう³に動作させる、または

20

前記レーザシステムをゼロパワーを出力するよう⁴に動作させる

請求項 1 8 に記載のパワー制御方法。

【請求項 3 4】

さらに、警告メッセージまたはエラー状態情報の少なくとも 1 つを出力する請求項 1 8 に記載のパワー制御方法。

【請求項 3 5】

さらに、前記要求されたパワーが前記ダイオードバンクの調整パワー限界と前記ダイオードバンクの調整パワー範囲外のパワーを含む範囲を超えて変調されていれば、パワー調整の期間に、前記ダイオードバンクのオンとオフの事例を低減するために、ヒステリシスを利用する

30

請求項 1 8 に記載のパワー制御方法。

【請求項 3 6】

さらに、要求されたパワーを出力するために前記ダイオードバンクのパワーを調整し、

前記パワーの調整は、前記ダイオードバンクのオン時間のアンバランスを低減するために、前記ダイオードバンクがオン及びオフされる順番を周期的に変更する

請求項 1 8 に記載のパワー制御方法。

【請求項 3 7】

さらに、要求されたパワーを出力するために前記ダイオードバンクのパワーを調整し、

前記パワーの調整は、前記ダイオードバンクの均一な経年劣化を促進するために、第 1 のパワーと第 2 のパワーを等しくする

40

請求項 1 8 に記載のパワー制御方法。

【請求項 3 8】

前記レーザシステムは、ルックアップテーブルまたは閉ループフィードバックの少なくとも 1 つを含み、

前記方法は、さらに、

前記ダイオードバンクのパワーを調整するために前記ルックアップテーブルまたは前記閉ループフィードバックの少なくとも 1 つを利用する

請求項 1 8 に記載のパワー制御方法。

【請求項 3 9】

前記レーザシステムは、ルックアップテーブルまたは閉ループフィードバックの少なく

50

とも 1 つを含み、

前記方法は、さらに、

パワーの精度を向上させるために、前記ルックアップテーブルまたは前記閉ループフィードバックのパラメータの少なくとも 1 つを周期的に更新する

請求項 1 8 に記載のパワー制御方法。

【請求項 4 0】

前記レーザシステムは、ルックアップテーブルまたは閉ループフィードバックの少なくとも 1 つを含み、

前記方法は、さらに、

前記レーザシステムによる出力パワーにおける不連続の事例を低減するために、前記ルックアップテーブルまたは前記閉ループフィードバックのパラメータの少なくとも 1 つを周期的に更新する

請求項 1 8 に記載のパワー制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本開示は、レーザシステム、及び、レーザシステムを動作させる方法に関する。より詳細には、本開示は、レーザ出力パワーを調整するための方法及びシステムに関する。

【0 0 0 2】

(関連出願の相互参照)

10

なし

【背景技術】

【0 0 0 3】

レーザシステムは、出力レーザ放射の直接的な供給源として、または、ファイバレーザ、ディスクレーザ、スラブレーザ、ロッドレーザ、ダイオード励起の固体レーザ、ラマンレーザ、ブリルアンレーザ、光パラメトリックレーザ、またはアルカリ蒸気レーザのようなダイオード励起レーザのためのポンプとして、2つまたはそれ以上のレーザダイオードの集合体を組み込むことがある。

【0 0 0 4】

多くのレーザの用途は、ゼロ付近のパワーから最大パワーまで調整可能なレーザ出力パワーを必要とする。材料加工の用途においては、例えば、低パワーレベルは調節または前処理もしくは後処理のステップのために必要とされることがあり、一方で、高パワーレベルは、切断、溶接、穿孔、またはスクライビングのような実際の加工ステップのために必要とされる。第2の例として、材料の種類または厚さの広い範囲のレーザ加工を意図するフレキシブルな機械において、いくつかの用途は他の用途よりもかなり低いパワーを要求することがある。今日まで、そのような用途に使用されるほとんどのレーザは、各ダイオードに等しい電流を流し、ゼロと最大パワーに必要な電流との間でレーザダイオードに流す電流を変化させることによるパワー調整を提供する。

【0 0 0 5】

しかしながら、レーザパワーを発生するレーザダイオードは、高パワーの範囲で最もに動作することがあり、従って、高パワーの範囲でレーザダイオードを動作させることが好みことがある。そのような状況で、低パワーから最大パワーまでの個々のパワーでレーザダイオードを動作させることは可能でないか望ましくないことがある。

【0 0 0 6】

既知のパワー調整方法では、レーザシステムは、一定のフルパワーで動作し、レーザシステムの出力を減衰させるために可変減衰器または調節器が下流で用いられる。しかしながら、そのような可変減衰器または変調器は、関係するパワーレベルまたは動作周波数で利用できないか信頼性がないことがあり、もし利用できるとしても、システムに大幅なコストを加えることがある。加えて、この方法で達成されるフルパワーを低パワーレベルに減衰または調節すると、エネルギーを無駄にする。

20

30

40

50

【0007】

従って、エネルギー効率のよい方法で、広範囲なパワー調整を提供するための低コストで信頼性のある技術の要求がある。

【発明の概要】

【0008】

レーザシステム、及び、レーザシステムを制御するためのパワー制御方法が提供される。一実施形態においてレーザシステムは、第1のダイオードバンクと他のダイオードバンクとを含み、各ダイオードバンクがレーザダイオードを含み、レーザビームを出力するよう構成されているダイオードバンク；各ダイオードバンクに対応する電流制御信号を受信し、電流制御信号に基づいてダイオードバンクに電流を流すことができるよう構成されている電流コントローラ；及び、電流制御信号は、第1のダイオードバンクが第1のパワーを出力するよう制御する第1の電流制御信号と、他のダイオードバンクが他のパワーを出力するよう制御する他の電流制御信号とを含み、第1のパワーは他のパワーのうちの少なくとも1つと異なり、要求されたパワーの指示を受信し、指示に基づいて電流制御信号を生成するよう構成されている制御ユニットを含む。10

【0009】

本実施形態の変形例では、制御ユニットは、さらに、制限されたパワーの範囲内のみで複数のダイオードバンクのうちの1つのダイオードバンクを動作させるよう構成されており、制限されたパワーの範囲は、レーザダイオードの1つの公称パワーを含む。

本実施形態の1つの態様では、制御ユニットは、さらに、波長ロックモードで他のダイオードバンクのレーザダイオードを動作させるよう構成されており、他のダイオードバンクのレーザダイオードの各々は、レーザダイオードの公称パワーを含むレーザダイオードの制限されたパワーの範囲で動作され、レーザダイオードは、確実に制限されたパワーの範囲のみでロックする。20

本実施形態の他の態様では、制御ユニットは、さらに、波長制御モードで他のダイオードバンクのレーザダイオードを動作させるよう構成されており、他のダイオードバンクのレーザダイオードの各々は、レーザダイオードの公称パワーを含むレーザダイオードの制限されたパワーの範囲で動作され、レーザダイオードを制限されたパワーの範囲の外側で動作させるのと比較してより狭い発光バンドを生成し、より狭い発光バンドは制限されたパワーの範囲に対応する。30

本実施形態のさらなる態様では、制御ユニットは、さらに、他のダイオードバンクのレーザダイオードを高輝度モードで動作させるよう構成されており、他のダイオードバンクのレーザダイオードの各々は、レーザダイオードの公称パワーを含むレーザダイオードの制限されたパワーの範囲のみで確実に高輝度出力を生成し、高輝度モードで動作させることは制限されたパワーの範囲内のみで動作させることを含む。

本実施形態のさらに他の態様では、制御ユニットは、さらに、他のダイオードバンクのレーザダイオードを短パルスモードで動作させるよう構成されており、他のダイオードバンクのレーザダイオードの各々は、レーザダイオードの公称パワーを含むレーザダイオードの制限されたパワーの範囲内のみで特定のパルスパラメータの範囲内で確実に発振し、短パルスモードで動作することは制限されたパワーの範囲内のみで動作することを含む。40

本実施形態のまたさらに他の態様では、他のダイオードバンクのレーザダイオードの各々はレーザダイオードの公称パワーを含むレーザダイオードの制限されたパワーの範囲内のみで高電気光（変換）効率で動作し、制御ユニットは、さらに、他のダイオードバンクのレーザダイオードの各々を制限されたパワーの範囲内のみで動作させるよう構成されている。

【0010】

1つの実施形態において、パワー制御方法はダイオードバンクに配置されているレーザダイオードを含むレーザシステムに提供されており、各ダイオードバンクはレーザダイオードの少なくとも1つを含み、最大パワーを有し、方法は、ダイオードバンクのうちの第50

1のダイオードバンクが第1のパワーを出力するように動作させること、及び、他のパワーのうちの少なくとも1つは第1のパワーと異なり、同時に、他のダイオードバンクが他のパワーを出力するように動作させることを含む。

【0011】

本実施形態の变形例では、パワー制御方法は、さらに、ダイオードバンクのレーザダイオードを制限されたパワーの範囲で動作させることを含み、制限されたパワーの範囲はレーザダイオードの1つの公称パワーを含む。

本実施形態の1つの態様では、方法は、他のダイオードバンクのレーザダイオードを波長ロックモードで動作させることを含み、他のレーザダイオードのダイオードバンクの各々は、レーザダイオードの公称パワーを含むレーザダイオードの制限されたパワーの範囲で動作され、レーザダイオードは制限されたパワーの範囲のみで確実にロックする。

本実施形態の他の態様では、方法は、他のダイオードバンクのレーザダイオードを波長制御モードで動作させることを含み、他のダイオードバンクのレーザダイオードの各々は、レーザダイオードの公称パワーを含むレーザダイオードの制限されたパワーの範囲で動作され、レーザダイオードを制限されたパワーの範囲の外側で動作させるのと比較してより狭い発光バンドを生成し、より狭い発光バンドは制限されたパワーの範囲に対応する。

本実施形態のさらなる態様では、方法は、他のダイオードバンクのレーザダイオードを高輝度モードで動作させることを含み、他のダイオードバンクのレーザダイオードの各々は、レーザダイオードの公称パワーを含むレーザダイオードの制限されたパワーの範囲内のみで確実に高輝度出力を生成し、高輝度モードで動作させることは制限されたパワーの範囲内のみで動作させることを含む。

本実施形態のまたさら他の態様では、方法は、他のダイオードバンクのレーザダイオードを短パルスモードで動作させることを含み、他のダイオードバンクのレーザダイオードの各々は、レーザダイオードの公称パワーを含むレーザダイオードの制限されたパワーの範囲内のみで特定のパルスパラメータの範囲内で確実に発振し、短パルスモードで動作することは制限されたパワーの範囲内のみで動作することを含む。

本実施形態のさらに他の態様では、他のダイオードバンクのレーザダイオードはレーザダイオードの公称パワーを含むレーザダイオードの制限されたパワーの範囲内のみで高電気光効率で動作し、方法は、さらに、他のダイオードバンクのレーザダイオードの各々を制限されたパワーの範囲内のみで動作させることを含む。

【図面の簡単な説明】

【0012】

本開示の実施形態は、添付図面を参照しながら、単なる例として次に説明される：

【0013】

【図1】図1は、レーザシステムを含むレーザ加工装置のブロック図である；

【0014】

【図2】図2は、図1のレーザシステムのダイオードバンクの構成要素を示す概略図である；

【0015】

【図3】図3は、レーザシステムの他の実施形態の構成要素を示すブロック図である；

【0016】

【図4】図4は、レーザシステムのさらなる実施形態の構成要素を示すブロック図である；

【0017】

【図5】図5は、パワー調整方法の他の実施形態を示すグラフである；

【0018】

【図6】図6は、本開示に記載のパワー調整方法のさらなる実施形態を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0019】

10

20

30

40

50

以下に説明する実施形態は単なる例であり、開示された詳細な形態に限定されるものではない。代わりに、実施形態は、当業者が本発明を実施できるように説明のために選択されたものである。

【0020】

レーザシステム及びレーザシステムを動作させる方法がここに提供される。レーザシステムは、レーザダイオードバンクを含む。各バンクは、少なくとも1つのレーザダイオードを含み、直列に接続された複数のレーザダイオードを含んでもよい。レーザシステムの一実施形態において、制御ユニットは、レーザシステムの出力パワーを調整するために、各バンクへの電流の流れを個別に制御する。

1つの変形例では、バンクの少なくとも1つは、レーザシステムの出力パワーを低減するためゼロ出力パワーを生成するように制御される。 10

別の変形例では、バンクは個別に調整可能ではなく、個別のパワー調整を提供するため、グループメンバーがそれぞれ所定の出力パワーを生成する（出力パワーが各バンクで個々に予め定められている）グループで制御される。

さらなる変形例では、バンクは制限された出力パワーの範囲で個別に調整される。1つの例では、バンクのうちの1つは、広い出力パワーの範囲に渡ってパワー調整可能であり、他のバンクは、制限された出力パワーの範囲に渡ってパワー調整可能である。

別の例では、バンクの1つは、他のバンクよりも大きな出力パワーの容量を有する。さらなる例では、バンクの1つは、他のバンクよりも小さな出力パワーの容量を有する。

【0021】

ここで使用される用語「オンする（turned on）」と「オフする（turned off）」はダイオードバンクの出力状態を指す。ダイオードバンクは、レーザ発振に必要な閾値電流以上の電流をダイオードバンクに流すことによってオンされ、オンされているときの出力パワーはゼロよりも大きい。逆に、電流がレーザ発振に必要な閾値電流未満であれば、ダイオードバンクに電流が供給されたとしても、ダイオードバンクはオフされ、オフされているときの出力パワーは実質的にゼロに等しい。

【0022】

ここで使用される用語「調整（tuning）」はダイオードバンクまたはレーザシステムの出力パワーの調節（regulation）を指す。「調整可能な」ダイオードバンクはオフされ、オンされるときには、その調整範囲内の出力パワーで動作される。調整範囲は制限されているか狭い。“調整不可の”ダイオードバンクはオフまたはオンされ、オンされるときには、所定の、固定された出力パワーを生成するように動作される。所定の出力パワーは、公称の、最適の、最大の、または他の所定の出力パワーであってもよい。ここで提供されるレーザシステムは、調整不可のバンク、調整可能なバンク、及びそれらの組み合わせの動作によって調整可能であってもよい。

【0023】

金属板の切断及び溶接のような工業材料加工用途では、加工の単位長さ当たり一定のエネルギーを維持することが望ましい。これらの動作制御システムでは、切削／溶接ヘッドは、切削／溶接の形状に応じて加速及び減速しなければならない。直線の切断でも、ヘッドの速度は、最大切断速度まで加速して最後に減速する台形カーブに従う。単位長さ当たり一定のエネルギーを維持するために、レーザの出力パワーは、ヘッドが最高速度未満で動いているときには最高パワー未満でなければならない。例えば、平均パワーはヘッド速度に比例する。パルス動作と低減された瞬時／ピークパワーとの組み合わせは、例えば、ヘッドの速度に関連してパルスのレートを制御しながら、各パルスで等しい量のエネルギーを供給するために、切削／溶接ヘッドの速度に関連して出力パワーを調整するために使用することができる。従って、出力パワーの動的制御が望ましく、ダイオードバンクが一定または制限された範囲の出力パワーで動作するときでも、種々の制御パラメータが要望された出力パワーを調整するために利用できるのがよい。

【0024】

図1は、工業材料加工用途に好適なレーザ加工システム10のブロック図であり、ここ 50

で説明され、本発明によるレーザシステムの実施形態を組み込むことができる。レーザ加工システム 10 は、工作物を機械加工するためにレーザビーム 16 を搬送する加工ヘッド 14 を有するレーザシステム 12 を含む。加工ヘッド 14 は、レーザビーム 16 を、切断または彫刻のパターンのような所望のパターン上に向かわせるようにプログラムされた X-Y キャリッジ（図示せず）に取り付けられている。レーザシステム 12 は、複数のダイオードバンク 20 を含み、ダイオードバンク 20 の各々はレーザビーム 22 をビームコンバイナ 24 へと供給する。

図 2 は、ダイオードバンク 20 の一例を示す。ビームコンバイナ 24 は、当該技術分野で知られている、または将来開発される任意の方法でビームを結合し、結合ビーム 26 を加工ヘッド 14 に出力する。各レーザビーム 22 は、制御部 30 によって調整される出力パワーを有する。一例において、制御部 30 は、電源 32 によって供給される電力を複数のダイオードバンク 20 への複数の電流の流れへと調節し、各電流の流れは、ダイオードバンク 20 がレーザビーム 22 を介して所望の出力パワーを生成するように、制御部 30 によって個別に制御される。ダイオードバンク 20 の温度を所望の範囲内に維持するために、冷却液をダイオードバンク 20 に循環させる冷却システム 34 が設けられてもよい。

【 0 0 2 5 】

本発明による工業材料処理用途に適したレーザシステムの 1 つの具体例は、それぞれが約 10 W までの出力パワーを生成する、シングルエミッタチップ上のマルチモードエッジエミッタを含む。この例では、14 個のこののような単一エミッタが各パッケージに搭載され、直列に配線され、約 140 W の出力が 1 本の出力ファイバに結合される。各バンクは、直列に配線された 3 つのダイオードパッケージまたはモジュールを備える。1 ダイオード当たり約 1.8 V の典型的なダイオード降下では、各パッケージは約 25 V の合計降下を有し、従って、各バンクは約 75 V で動作する。利用可能な総レーザダイオードパワーが 2.1 kW で合計 140 W のパッケージが 15 個であれば、システム内で並列に配線された 5 つの個別に制御可能なバンクを用いることができる。15 本の出力ファイバは、工作物につながる 1 つのより大きなパワー供給ファイバ、またはファイバレーザのポンプ入力ポートに結合されてもよい。

【 0 0 2 6 】

ここに開示された実施形態での使用に適した例示的なレーザダイオードは、エッジエミッタまたは垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL）、シングルトラバースモードまたはマルチモードのような、ダイオードタイプ及びパッケージタイプの各種の組み合わせを含む。ダイオードチップは、半導体チップ当たり 1 つのエミッタ（単一エミッタチップ）、またはチップ当たり複数のエミッタ（例えば、ダイオードバー、VCSELアレイ）を含むことができる。チップは、1 つのパッケージ内に 1 つまたは複数のシングルエミッタチップ、または、1 つのパッケージ内に 1 つまたは複数のマルチエミッタチップでパッケージングすることができる。ダイオードパッケージまたはバンクからのレーザ出力は、光ファイバで、または自由空間ビームとして伝送されてもよい。

【 0 0 2 7 】

ダイオードバンクのレーザ出力を生成するために、チップ出力はダイオードバンク内で合成される。高出力シングルエミッタから放射される光は、典型的には非常に非対称であり、その結果、長くて薄い放射開口が生じる。そのようなレーザによって放射される光ビームは、その“遅相軸”（活性層に平行）よりも、その“進相軸”（主 p / n 接合に垂直）においてはるかに高い輝度を有する。光ファイバは、一般的に、実質的に円形または多角形の断面及び実質的に対称な受光角を有する。最高の輝度を得るために、複数の単一エミッタダイオードレーザからの光ビームは、それらの進相軸の方向に積み重ねられた単一のファイバに結合される。例えば、遅相軸に 100 マイクロメートル（ μm ）の開口幅を有する 3 ~ 10 個の個々のレーザエミッタのアレイは、個々のレーザビームを進相軸の方向に積み重ねることによって、直径 105 μm 及び 0.15 N.A.（開口数）の 1 つのファイバに結合することができる。

【 0 0 2 8 】

10

20

30

40

50

レーザダイオードの放射は典型的には偏光されているので、偏光ビーム結合を使用して、単一エミッタの2つのアレイによって放射された光を单一ファイバに結合し、出力ビームのパワー及び輝度を倍増させることができる。そのようなレーザビーム結合の一例は、等偏光レーザビームの空間的積み重ねと、2つのレーザアレイからの積層ビームの偏光多重化との両方を組み込む。一例では、2列のレーザダイオードが上段に配置され、2列のコリメートレンズが中段に配置される。偏光ビームコンバイナ（PBC）及び半波長板を使用して、偏光合成される2つの垂直に積み重ねられたビームを形成するために、光ビームはレンズによってコリメートされ、下側に配置された2列の垂直にオフセットされたプリズムミラーによって反射される。

【0029】

10

他の例では、レーザダイオードの第1及び第2の列は、互いの間に横方向オフセットを有する互い違いの配置で配置される。本例は、2013年4月23日に発行された米国特許第8,427,749号にさらなる詳細が記載され、その全体が参照によりここに組み込まれ、図2のダイオードバンク20を参照してさらに説明される。

【0030】

図2を参照すると、例示的なダイオードバンク20は、複数のダイオードレーザサブシステム40a～40fを含み、各々は、ダイオードレーザ42、進相軸コリメータ46、遅相軸コリメータ48、及び回転反射器50を含む。ダイオードレーザサブシステム40a～40cは、共通平面A上に垂直に整列され、かつ、1つのサブシステムからのビームが共通平面上に整列された他のサブシステムの光学部品を横切らないように垂直にずられた平行ビームを生成する。ダイオードレーザサブシステム40d～40fも同様に配置され、共通の垂直平面B上に整列される。ダイオードバンク20は、サブシステムからのレーザビームを出力ファイバ68によって供給されるレーザビーム22に結合するように構成された光学要素をさらに含む。例示的な光学要素は、偏光変換器60、折り畳みミラー62、偏光ビームコンバイナ64、及び結合光学系66を含む。

20

【0031】

レーザシステムを制御するためのレーザシステム及びパワー制御方法のさらなる実施形態において、レーザシステムはレーザビームを出力するように構成されたダイオードバンクを含み、ダイオードバンクの各々はレーザダイオードを含み、ダイオードバンクは、第1のダイオードバンク及び（複数の）他のダイオードバンクを含む。レーザシステムはまた、要求されたパワーの指示を受信し、それに基づいて電流制御信号を生成するように構成された制御部を含み、電流制御信号は第1のダイオードバンクを第1のパワーで制御し、他のダイオードバンクを他のパワーで制御するように構成されており、第1のパワーは他のパワーのうちの少なくとも1つと異なっている。要求されたパワーの指示を受信することは、所望の出力パワーの値を含む、当技術分野で知られている任意の方法でデジタルまたはアナログ信号を受信することを含む。それに基づいて電流制御信号を生成することは、1またはそれ以上のダイオードバンクによって出力されるべき要求されたパワーの量を選択することを含む。

30

ダイオードバンクとそれらの各々によって出力されるべきパワーを選択するいくつかの方法を以下に説明する。一例では、制御ロジックは、最大パワーが要求されたパワーを超える最小数のダイオードバンクを選択するようにプログラムされる。従って、各バンクが120ワットの最大容量を有し、580ワットが要求された場合、制御ロジックは5バンクを選択する。バンクが1つのパワーレベルのみ、例えば最大パワーで動作するように構成されていれば、制御ロジックは、5つのバンク全てが600ワットを出力するように動作させことがある。バンクの各々が例えばそれらの最大パワーの70%から100%に調整可能で、制限されたパワーの範囲で動作されれば、制御ロジックは、5つのバンクのそれぞれを116ワットで動作させ、これにより各バンクに均等に負荷をかけるという要求を満たす。大部分のバンクが1つのパワーレベルのみで動作するように構成され、少なくとも1つのバンクがその最大範囲の少なくとも50%に渡って調整可能であれば、制御ロジックは最大パワーで4つのバンクを動作させ、調整可能なバンクを100ワットで動

40

50

作させ、これにより要求を満たす。

いくつかの実施形態では、全てのバンクより少数のバンクが動作されるとき、他のバンクよりもオン時間が少ないレーザシステムが使用されるたびに使用状況を追跡し、バンクを選択することによって、その選択が生涯使用またはオン時間のアンバランスを軽減して、レーザシステムの寿命を延ばすことができる。レーザシステムがどのように構成されているかに応じて使用され得る種々のロジックルーチンが、レーザシステムに含まれてもよい。構成ファイルは制御部に含まれてもよく、レーザシステムのモジュラユニットが選択されるとき、またはレーザシステムの用途が選択されるときに、構成ファイルが変更されてもよい。構成ファイルは、ダイオードバンクの調整範囲、最大パワー、及び以下に説明する他の構成または調整パラメータを規定することができる。

10

【0032】

パワー制御方法の実施形態において、方法は、ダイオードバンクのうちの第1のダイオードバンクが第1のパワーを出力するように動作させること、ダイオードバンクのうちの他のダイオードバンクが他のパワーを出力するように同時に動作させることを含み、他のパワーのうちの少なくとも1つは第1のパワーと異なる。前述のように、第1のダイオードバンクは調整可能であり、一方、他のダイオードバンクは、それらのうちの少なくともいくつかが単一のパワー出力で動作可能である。他の例では、第1のダイオードバンクは広いパワー範囲に渡って調整可能であり、一方、他のダイオードバンクの少なくともいくつかは制限された範囲に渡って調整可能である。他の例では、ダイオードバンクは単一の出力パワーで動作可能であるが、そのうちの1つが他のものよりも小さい最大パワーを有するので、単一の出力パワーまたは制限された出力パワーの範囲で動作可能なダイオードバンクを使用するレーザシステムの調整可能性を改善する。前の段落で要約された実施形態の変形例、及びその他を、図3～図6を参照して説明する。

20

【0033】

図3及び図4は、レーザシステムの2つの実施形態を示すブロック図である。図3を参照すると、レーザシステム150は、電源152と、制御ユニット160と、5つの電流コントローラ176とを含む。要求されたパワーの指示は、信号導体155を介して制御ユニット160に送信される。ここで使用される“要求されたパワー”は、レーザシステム150によって出力されるべきパワーの量またはレベルを指す。本実施形態は、5つの電流コントローラと5つのダイオードバンクとの関連で記載されているが、それらの容量及びレーザシステムの所望の容量に応じて、より多くのまたはより少ない電流コントローラ及びダイオードバンクを使用してよいことを理解されたい。

30

電流コントローラ176の各々は、電力導体154によって電源152に電気的に結合され、信号導体158a～158eのうちの1つによって制御ユニット160に電気的に結合されている。例示的な制御ユニット160は、図4を参照して詳細に説明される。各電流コントローラ176は、ダイオードバンク178が、制御ユニット160によって決定され、電流コントローラ176に対する電流制御信号として信号導体158を介して送信されたパワーの量を出力するように、ダイオードバンク178への電流の流れを可能にする。従って、各ダイオードバンク178は、制御ユニット160によって決定されるように、ダイオードバンク178の他のいずれかと同じまたは異なる量のパワーを出力することができる。

40

各ダイオードバンク178は、レーザダイオードによって出力された放射を導波ファイバ180a～180eへと導き、整形し、集束させる結合光学系を含む。典型的な結合光学系が図2を参照して開示された。導波ファイバ180a～180eは、ダイオードバンク178の各々をビームコンバイナ182に接続し、ここで、ビームは出力ファイバ188によって伝送されるシステムビームへと結合される。例示的な電流コントローラは、信号導体を介して送信される電流制御信号に基づいて定電流出力を維持するように構成されたフィードバック構成要素を有する電流源を備える。

本実施形態において、各信号導体158a～158eは、電流制御信号を異なるダイオードバンクに供給する。レーザシステムの出力パワーは、ダイオードバンクの出力パワー

50

の合計である。

【0034】

図4を参照すると、レーザシステム150'はレーザシステム150として機能し、モジュラユニット170a～170eに配置され、各モジュラユニットは電源172、電流コントローラ176、及びダイオードバンク178を含む。制御ユニット160は、モジュラユニット170a～170eの各々によって出力されるべきパワーレベルを決定する。一例では、モジュラユニット170a～170eの各々は、14個の単一エミッタダイオードを含む。本開示は5つのモジュラユニットを言及するが、モジュラユニット及びダイオードバンク内のレーザダイオードの数は、所望のパワーレベルを達成するために変更することができる。従って、システム150'は容易に拡張可能である。本実施形態の1つの変形例では、レーザシステム150'は10～30のモジュラユニットを含む。

10

【0035】

ビームコンバイナ182は、当該技術分野で知られている種々の技術でビームを結合するように配置された光学要素を備えていてもよい。1つの技術は、空間ビーム合成を含む。自由空間光学系を用いてビームを結合する例示的な空間ビーム結合技術は、図2を参照して先に提示された。他の例の空間ビーム結合技術は、溶融ファイバコンバイナを使用してもよい。さらなる技術は、例えば短パルスダイオード及び高速光スイッチを用いた時間的結合を含む。前述の技術、及びここに記載された他の技術を組み合わせて適用してもよい。例えば、図2は偏波合成を含む空間ビーム合成を示している。

さらに別の技術は、波長分割多重化としても知られている波長合成を含み、例えば、モジュラユニット170a～170eは異なる波長で、おそらく波長ロックまたは波長制御動作で動作することができ、異なる波長を組み合わせるために、回折格子または薄膜フィルタのアレイを使用することができる。2またはそれ以上の光源が波長多重化されている場合、結合効率は、各光源の出力が所望の波長帯域にどれだけ含まれるかによって決定される。従って、マルチプレクサの合成出力パワーは、各ソース出力パワーだけでなく結合効率の関数でもあり、従って各ソースのスペクトル特性に直接依存する。もし、各光源のスペクトル特性が、例えば自己発熱のために時間の関数として変化するとすれば、合成された出力パワーは時間的特性を示す。共通のアーティファクトは、各光源のスペクトル特性が安定するのに必要な時間のため、光出力の合成の立ち上がり時間の増加である。

20

【0036】

光源が波長安定性を達成する時間は、それがその公称出力パワーにどれくらい近づいて動作するかに依存する。例えば、波長ロックされたダイオードレーザでは、レーザダイオードがその最適／公称パワーの50%で動作するよりも、レーザダイオードがその最適／公称パワーの100%で動作する方が、波長がより速くロックする。従って、公称出力パワーの100%で動作するn個のソースを有するシステムにおいて、ソース、例えば、エミッタまたはレーザダイオードは、公称出力パワーの50%で動作する2×n個のソースを有する別のシステムにおけるソースよりも速く波長ロックする。他の全てが等しい場合、n個のソースを有するシステムは、合成出力パワーの立ち上がり時間がより短くなる。レーザが変調されるシステムでは、遅い波長ロックの立ち上がり時間の影響が、レーザがいかに速く変調され得るかを制限する要因となり得る。従って、動作パワーを最適／公称出力パワーに近い範囲に制限することにより、より高い可能性のある変調率が得られる。

30

一実施形態において、例えばその最大パワーの0%から100%の広範囲に渡って調整されるダイオードバンクは、80μ秒よりも大きい（すなわち、より遅い）立ち上がり時間を達成する。最大パワーの70%～100%を含む制限された範囲内でダイオードバンクを調整することによって、強い波長ロック、少なくとも50%の改善を提供することにより、立ち上がり時間を40μ秒またはそれ以下に低減することができる。変調周波数に依存して、40μ秒の改善は、出力パワーの1～5%の増加に置き換えることができる。より好ましくは、調整能力を保持しながら25μ秒またはそれ以下の立ち上がり時間を達成するために範囲をさらに制限してもよい。勿論、特定のダイオードバンクで達成可能な実際の立ち上り時間及び調整範囲は、レーザシステムの温度を含む他の変数の影響を受け

40

50

る。

【0037】

いくつかの実施形態では、変調レーザシステムは、レーザダイオードの温度を制御する温度制御特性 (feature) を含む。ダイオードバンクは、ダイオードレーザが取り付けられた液体冷却された冷却板を含んでもよい。レーザダイオードが連続波を発生するように動作しているとき、作動液体は、冷却板を通って、レーザダイオードの所望の温度、例えば 30 を維持するのに十分な一般的に所定の一定の流速及び温度で流れる。レーザシステムの変調周波数またはデューティサイクルが低減されると、レーザダイオードによって生成される熱量が減少し、もし所定の流量および温度が維持されると、生成される熱よりも多くの熱が抽出され、温度を所望の温度以下に下げる。

さらに、レーザダイオードを 100 % デューティサイクル以下に変調する場合、より高い所望の温度、例えば 40 を維持することが望ましいことがある。例示的な温度制御特性は、ダイオードバンクの温度を所望のレベルに維持するように構成された温度制御ロジックにフィードバックを提供するフィードバックセンサを有する電気抵抗素子を含む。抵抗要素は、抵抗層、セラミック抵抗器、または任意の他の既知の電気抵抗要素を含んでよい。温度制御ロジックは、変調周波数を、変調周波数の関数として可変である所望の温度にダイオードバンクの温度を上昇させるのに必要な加熱量に相關させるテーブルを備えてよい。相關は、経験的にまたはエネルギーバランスモデルを用いて決定することができる。一旦、変調周波数が設定されると、冷却板を加熱するために電流の相關量が抵抗素子に供給される。

【0038】

他の例示的な温度制御特性は、変調周波数の関数としてダイオードバンクの温度を所望のレベルに維持するように構成されたフロー制御及び温度制御ロジックを含む。一旦、変調周波数が設定されると、温度制御ロジックは作動液体の流量を減少させて冷却板の温度を上昇させ、逆もまた同様である。可変流量弁を使用して作動液体の一部を冷却板からそらすために、流量を減少させてもよい。あるいは、冷却板を介して作動液体をポンピングするポンプのデューティサイクルまたは速度を制御することによって、流量を減少させてもよい。さらなる変形例において、ダイオードバンクの各々に流れる作動液体を冷却するように構成されたチラーの設定温度を上昇させることによって、作動液体の温度を、システムレベルで上昇させてもよい。

【0039】

いくつかの実施形態において、フィードバックセンサ 184 を設けてシステムパラメータを感知し、フィードバック導体 186 を介して制御ユニット 160 にシステムパラメータを送信してもよい。制御ロジック 162 は、予測されたシステムパラメータの値を感知されたシステムパラメータと比較し、フィードバックパラメータ、例えば比例、積分、及び / または派生パラメータに応じて差を補償するために電流レベルを調整する閉ループフィードバック部を含む。システムパラメータの例は、ビーム強度、温度、パワー、及び電流を含む。電流は各電流コントローラの出力で測定することができる。

【0040】

制御ユニット 160 は、ここで説明する制御方法を実行するように構成された制御ロジックを含む。ここで使用される用語「ロジック」は、1 またはそれ以上のプログラマブルプロセッサ、特定用途向け集積回路、フィールドプログラマブルゲートアレイ、デジタル信号プロセッサ、ハードワイヤードロジック、またはそれらの組み合わせで実行するソフトウェア及び / またはファームウェアを含む。従って、実施形態によれば、種々のロジックが任意の適切な方法で実行され、種々のロジックはここに開示された実施形態に従ってとどまる。

1 つの変形例では、制御ユニット 160 は、デジタル値に対応するアナログ制御信号を出力するように構成されたデジタル - アナログ変換器 (D A C) を含む。制御ユニット 160 はまた、アドレスと電流レベルとの間の関係を示す埋め込み型ランダムアクセスメモリ (R A M) ルックアップテーブル 164 a ~ 164 e を含む。各テーブルは 1 つの D A

10

20

30

40

50

C に対応する。各アドレスは出力パワーレベルに対応する。従って、アドレスの選択は、所与の要求されたパワーに対して各 D A C の対応する電流レベルを識別する。

このようにして、個々のバンクの電流プロファイル（入力または要求されたパワーの範囲に渡る）は無限に柔軟であり、所望の制御アルゴリズムまたはロジック（ここに記載されるものを含む）に従って動作することが可能である。テーブルはユーザによって手動で設定されてもよく、またはファームウェア及び／またはプログラマブルロジックベースのプログラムを使用して自動的に設定されてもよい。

D A C のリフレッシュレートは電流レギュレータ回路の固有の立ち上り／立ち下り時間よりもはるかに高速であるため、光学的な理由がない限り、連続波（C W）動作とパルス／変調動作との間で区別したり、異なるアルゴリズムを使用したりする必要はない。動作電流は、単に、要求されたパワー信号（すなわち、それぞれのプログラムされたプロファイルに従う）をレギュレータ回路の立ち上がり／立ち下がり能力の範囲内で“追跡”する。電流変動を低減するために、要求されたパワー信号またはフィードバック信号に不感帯を設けることによって、安定性を増加させてもよい。不感帯は、柔軟性を高めるためにユーザがプログラム可能であってもよく、それによってユーザはヒステリシスの量を決定することができる。

テーブルはいつでも書き直すことができ、高度な柔軟性とカスタマイズが可能である。閉ループフィードバックのテーブル及びパラメータは、レーザシステムによる出力パワーの不連続性の事例を低減するために定期的に更新されてもよい。例えば、ダイオードバンクがオンまたはオフするとき不連続性が発生することがある。不連続性の事例を減少させるためにダイオードバンクがスイッチオン及びスイッチオフされるときに、調整するための応答時間及び他の要因を考慮して電流が調整されてもよい。

閉ループフィードバックのテーブル及びパラメータは、レーザシステムのパワー精度を向上させるために周期的に更新されてもよい。パワー精度は、レーザシステムの要求されたパワーと出力パワーとの間の誤差を減少させることによって増加させてもよい。テーブル及びパラメータは、レーザダイオードのエージング及びパワー精度を低下させる他の要因を考慮に入れて経時的に変化してもよい。

【0041】

調整方法の一実施形態によれば、要求されたパワーレベルは、例えば、ユーザまたはレーザシステムを含む機械によって選択される。制御ロジック 182 は、信号導体 155 を介して要求されたパワーの指示を受信し、対応する電流レベルをテーブル 184a～184e から読み出す。制御ロジック 162 は電流レベルを D A C に伝達し、D A C はアナログ電流信号を電流コントローラ 176 に出力し、電流コントローラ 176 は電源 152, 172a～172e からの電力をダイオードバンク 178 の所望のレベルを有する電流に調節する。従って、ダイオードバンクのパワーは調節（regulate）されるか、または調整（tune）される。

いくつかの実施形態において、パワーは、制限されたパワーの範囲内でのみダイオードバンクを動作させるように調整される。最大動作パワーの 100% はダイオードバンクの公称パワーの 100% より大きいため、最大パワーの 70～100% の範囲は公称パワーを含むことを理解されたい。

ダイオードバンクの制限されたパワーの範囲の例は、最大パワーの 50～100% を含む範囲、公称パワーの 70% を超える範囲、公称パワーの 90～110% を含む範囲、及び、所与のダイオードバンク及び動作方法と互換性がある他の任意の範囲を含む。ダイオードバンクが調整され得るパワーの範囲は、“アクセス可能なパワー”と呼ばれ、その範囲外のパワーは、“アクセス不可のパワー”と呼ばれる。レーザシステムの構造に依存して、要求されたパワーは、アクセス可能、すなわち、レーザシステムが要求されたパワーを供給するように調整され得るか、またはアクセス不可、すなわち、ダイオードバンクの組み合わせがなく、要求されたパワーを供給することができる制限されたパワーの範囲がないから、レーザシステムは要求されたパワーより大きいかまたは小さいパワーしか供給できない。

10

20

30

40

50

図5を参照して以下で議論するように、例えば、システム内のダイオードバンクの組み合わせは、システムの最大出力パワーの28～40%の間で調整可能であり、他の組み合せは42～60%の間で調整可能である。従って、それらの組み合わせに対するシステムのアクセス可能なパワーは28～40%及び42～60%を含み、システムのアクセス不可のパワーは41%を含む。

【0042】

本実施形態の1つの変形例において、レーザダイオードの少なくともいくつかはゼロ調整範囲で動作され、すなわち、オンされると所定の出力パワーを生成するように動作され、オフされるとゼロの出力パワーを生成するように動作される。N=5のバンクで、全てが調整不可の場合、アクセス可能なパワーレベルは20%、40%、60%、80%、及び100%となる。それにもかかわらず、この程度の粗いパワーの調整可能性は、多くの応用で十分である。

表1は、全てのダイオードバンクが同じパワー容量を有する構成で、テーブル164a～164eを使用して、粗く、または離散的な、調整可能性の例を示す。ダイオードバンク各々のパワーレベルは、説明の目的のため容量のパーセンテージで示されている。

【0043】

【表1】

システムがアクセス可能なパワー(%)	テーブルアドレス:	ダイオードバンクの出力パワー				
		テーブル164a (バンク1)	テーブル164b (バンク2)	テーブル164c (バンク3)	テーブル164d (バンク4)	テーブル164e (バンク5)
20	0001	100%	0%	0%	0%	0%
40	0002	100%	100%	0%	0%	0%
60	0003	100%	100%	100%	0%	0%
80	0004	100%	100%	100%	100%	0%
100	0005	100%	100%	100%	100%	100%

【0044】

本実施形態の本変形例のさらなる態様では、制御ロジックは、バンクがオンする順番を周期的に変更することによって、システムレベルでのダイオードの寿命を最適化するように構成され、バンク間でのオン時間のアンバランスを均等にするか低減させ、いずれかの特定のバンクが他のバンクよりもオン時間がさらに蓄積することを防止する。“周期的に”とは、時間ベースの期間またはイベント（たとえば、パワーアップサイクルごと）を意味してよい。

1つの変形例では、テーブル164a～164eは、異なる要求されたパワーに対してどのバンクが動作するかを循環させるように構成された追加のアドレス及び電流を含む。例えば、制御ロジック162は、20%の出力パワーが要望される場合、モジュラユニット170aを動作させる代わりに、モジュラユニット170bを動作させるようにプログラムされたアドレスで構成することができる。例えば、所与のパワーレベルのアドレスをモジュラユニットの数だけインクリメントすることによって、レーザシステムの各起動後にアドレスをインデックスするためのインデックスロジックを提供することができる。

【0045】

本実施形態の他の変形例では、バンクのうちの1つが他のバンクよりも低い公称パワーまたは出力容量を有し、一例では、最低公称パワーを有するバンクは残りのバンクの半分の公称パワーを有する。従って、N=5のバンクでは、表2に示すように、アクセス可能

10

20

30

40

50

なパワーレベルは、最小容量のバンクの容量によって異なる。テーブル 164a ~ 164e は、調整アルゴリズムをプログラムするために使用されてもよく、任意の形態の任意のプログラムまたはアルゴリズムまたはロジックが、本開示によるダイオードバンクの動作をプログラムするために使用され得ることも理解されるべきである。

【0046】

【表2】

半パワーバンク オン／オフ	フルパワーバンク オンの数	アクセス可能なパワー
オン	0	11.1%
オフ	1	22.2%
オン	1	33.3%
オフ	2	44.4%
オン	2	55.6%
オフ	3	66.7%
オン	3	77.8%
オフ	4	88.9%
オン	4	100%

10

20

30

【0047】

調整方法の他の実施形態によれば、ダイオードバンク 178 の少なくともいくつかは、制限されたパワーの範囲で動作する。各ダイオードバンクは、ダイオードバンクの制限されたパワーの範囲内で個別のパワーレベルでオフにされ、または動作させてもよい。各バンクは、好ましくは、直列に配線された多数のダイオードを備え、1つの電流コントローラによって制御され、よって、バンク内の全てのダイオードが常に同じ量の電流で駆動されることを保証する。バンクは、好ましくは、互いに並列に配線され、1つまたはそれ以上の直流 (DC) 電源によって駆動される。

【0048】

制限されたパワーの範囲内でダイオードバンクのダイオードを動作させることは、ダイオードの動作のいくつかの特定の条件またはいくつかの特定の設計にとって特に重要である。波長ロック動作は一例である。ここで問題となるのは、レーザダイオード利得材料のスペクトル利得ピークが典型的には強い温度依存性を有することであり、例えば、800 ~ 1000 nm の範囲の GaAs 系レーザダイオードの場合、利得ピークは約 0.3 nm / の温度係数を有する。

このようなレーザダイオードの典型的な高パワー動作では、ダイオードチップの温度は 30 ~ 40 のオーダーで上昇し、従って、約 9 ~ 12 nm の利得ピークの波長のシフトを引き起こす。

一方、例えば最大パワーの 10 % 未満の低パワー動作では、温度は約 3 未満で上昇し、利得ピークは約 1 nm またはそれ以下しかシフトしない。非ロックのレーザダイオードではこの利得シフトは問題とはならず、レーザダイオードは、典型的には、あらゆる状況下でほぼ利得ピークでレーザ発振するので、高パワーで 940 nm と規定されたレーザダイオードで、出力波長は、例えば、低パワーで約 930 nm から高パワーで約 940 nm までのパワーで単純に変化する。このような変動は、多数の用途において問題とはならない。

【0049】

40

50

しかしながら、ダイオード励起固体（D P S S）レーザの狭線励起及びダイレクトレーザダイオードの波長分割多重化のような他の用途では、1~2 nmまたはそれよりよいオーダーの波長制御が必要とされることがあり、そのような場合、所望の固定波長でのレーザ発振を強制するため、グレーティングのような分散素子が典型的にレーザダイオードのキャビティに加えられる。

分布帰還型（D F B）レーザ及び分布プラッグ反射型（D B R）レーザの場合のように、グレーティングをチップ上に直接書き込むことができ、ボリュームプラッググレーティング（V B G）、ファイバプラッググレーティング（F B G）、または透過グレーティングのようなバルクグレーティングの場合のように、グレーティングはチップの外部にあってもよい。このようなグレーティングは、G a A sよりもはるかに低い温度係数を有し、従って、典型的には、1~2 nmまたはそれ以下の波長制御を提供する。10

しかしながら、ダイオードの利得ピークは、依然として、グレーティングによって規定される所望のレーザ発振波長に正確に一致しなければならず、これが高パワーで設計された場合、低パワーでは、利得ピークは温度変化により10 nmのオーダーで発振波長からずれることになる。

G a A s レーザでは、利得ピークはそれ自体が10~20 nmのオーダーであるので、このシフトは利得ピークの幅に対して非常に大幅である。レーザが低パワーでロックされたままであることが要求されれば、グレーティングが利得ピークからグレーティング波長までレーザ発振波長を“引く”ために、さもなければ必要であったグレーティング強度よりも高いグレーティング強度を使用する必要がある。このより高いグレーティング強度は、有用な出力パワーとしてそれを提供するというよりむしろ、ロックさせるためにより多くのレーザパワーをレーザに逆戻りさせ、結果として、低パワーでのロックを保証する必要がないため、必要とされていたよりも高いパワーでより低い出力パワー及びより低い効率となる。20

従って、ロックレンジ（従って動作パワー範囲）と出力パワー／効率との間にはトレードオフがある。ダイオードの許容動作パワーが、例えば、最大パワーの70%から100%に制限される場合、利得ピークは、約 $30\% \times 10\text{ nm} = 3\text{ nm}$ だけ調整され、これは利得ピークの幅と比較して小さいので、信頼できるロッキングに必要なグレーティング強度にほとんど影響を与えない。制限された出力パワーの範囲内で動作するかオフされる、独立して電流制御される複数のダイオードバンクを使用することにより、温度変化による波長シフトが低減されたレーザシステムからの広範囲の総出力パワーを提供することができ、これにより、制限された出力パワーの範囲外でレーザダイオードを動作させて、同じ総出力パワーを発生させるのと比較して、より狭い発光バンドを生成することができる。30

【0050】

関連する例は、レーザダイオードの波長制御（但し、非ロック）動作である。ここで、ダイオードは、波長ロック機構がない状態で、利得ピークによって決定されるその固有波長で動作することが可能であり、その結果、パワーがゼロから最大パワーに調整されるので、出力波長は、例えば、G a A s ダイオードの場合9~12 nmオーダーで変化することがある。レーザダイオードの動作パワー範囲を、例えば70%から最大の100%の範囲に制限すると、出力波長の変動は約3 nmに低減される。40

この程度の波長制御は、波長ロックによって可能になるほど厳しくはないが、とはいえる、例えば、Y b : ガラスの励起のような特定の励起の用途、及びダイレクトダイオードレーザにおける粗波長分割多重のためには、有用な改良である。それぞれが制限された出力パワーの範囲内で動作するかオフされる独立して電流制御される複数のダイオードバンクを使用することにより、各ダイオードバンクが同じ（より広い）範囲の全システム出力パワーに渡って同じ出力パワーを生成するように動作する同様のレーザシステムから提供するよりも、より広い範囲の全システム出力パワーに渡ってレーザシステムからより一貫した熱レンズ現象の強さを提供することができる。

【0051】

同様に、特定の動作電流に近い高輝度動作用に最適化されるダイオードがある。この最50

適化の基礎は本質的に熱的なものであり、レーザダイオードは、典型的には、熱レンズ現象を引き起こす高パワー動作における横方向の温度勾配を生成する。レーザダイオードは、特定の出力パワーレベルに対応する特定の熱レンズ現象の強さで特定の横方向モード品質を生成する横方向チップ設計で設計することができる。

しかしながら、低パワーでは、熱レンズ現象の強さはほぼゼロに低下し、異なるモード品質が観察される。ダイオードが高パワーで望ましいモード品質のために最適化されている場合、例えば、ファイバ結合レーザダイオードシステムにおける光ファイバへの結合効率が悪くなり、低パワーでより悪くまたは許容できないモード品質となる。従って、このようなレーザダイオードにおいて、動作パワー範囲を全範囲のサブセットに制限すること、例えば、パワー範囲を最大パワーの 70% ~ 100%、公称パワーの 70% ~ 100% 10 、または任意の他の望ましい範囲に制限することは都合がよい。

【0052】

短パルスレーザダイオードは、制限されたパワー範囲内で動作することから利益を得ることができるダイオードの他の例である。例えば、Qスイッチ、利得切り替え、モードロックは、典型的に、レーザのレート方程式と光学的非線形性の特性を使用して、レーザダイオードからナノ秒またはそれ以下のパルスを生成する技術である。これらの影響は、動作パワー及び場合によってはチップ温度に直接依存する。従って、制限されたパワーの範囲外のパワーでそのようなダイオードを動作させることができないか、または信頼できないことがある。

【0053】

制限されたパワーの範囲内でダイオードを動作させる動機付けの最後の例は、高効率のために最適化されたダイオードである。特定のレーザダイオードは、指定された動作パワーまたはその近くで最適な電気光変換効率のために設計されている。従って、システムが最適な総合効率を達成するためには、これらのダイオードは制限されたパワーの範囲外で動作しないことが好ましい。

【0054】

従って、これらの用途（波長ロック、高輝度動作、短パルス、及び高効率）では、個々のレーザダイオードを制限されたパワーの範囲で動作させることが有利であることが示されている。他のそのような用途または状況も同様に存在することが予期される。多くのレーザダイオードを含むシステムの広範囲のパワー調整を得ることは、ダイオードの一部をオフにし、ダイオードのいくつかを制限されたパワーの範囲内で動作させることによって有利に得られる。

【0055】

図 5 及び図 6 を参照して、制限されたパワー範囲調整方法の実施形態を説明する。一般的に、N 個のダイオードバンクがあり、ダイオードを最大パワーの X % から 100 % まで動作させることができる場合、システムによって生成され得る最小の非ゼロパワーは、1 つのバンクを最小許容パワーで動作させることによって得られ、システム全体の最大パワーの X / N % の合計パワーとなる。そのバンクのパワーをこのパワーから最大のパワーまで上昇させ、その次に、それを超えて、第 2 のバンク、それから第 3 のバンク等と調整することによって、パワーを上方向に調整することができる。

【0056】

本実施形態の 1 つの変形例では、ダイオードバンクの各々は同じ公称パワーを有し、各バンク内のダイオードは、最大パワーの X % として示される同じ制限された範囲で動作されてもよい。動作中のダイオードバンクの数に基づく出力パワーを示す棒グラフである図 5 を参照して、本変形例を説明する。

この例において、X = 70 %、N = 5 である。1 つのバンクがオンにされた状態でのシステム出力パワーは、図 5 のバー 190 として示される、70 % / 5 または 14 % と、100 % / 5 または 20 % との間になる。2 つのバンクの場合、システムのパワー範囲はバー 192 として示されている 28 ~ 40 % である。3 つのバンクでは、システムのパワー範囲はバー 194 として示されている 42 ~ 80 % である。4 つのバンクの場合、シス 40 テムのパワー範囲はバー 196 として示されている 48 ~ 100 % である。

10

20

30

40

50

ムのパワー範囲はバー 196 として示されている 58 ~ 80% である。5 つのバンクでは、システムのパワー範囲はバー 198 として示されている 70 ~ 100% である。バー 194 と 196、及び 196 と 198 との間の場合のように、パワーの範囲が重なるとき、3 つ、4 つ、及び 5 つのバンクを動作させて、例えば、42% から 100% まで、出力パワーを連続的な範囲で調節することができる。

【0057】

パワーの範囲が重複しない場合、一部のパワーレベルにはアクセスできないことがある。機械のアプリケーションまたはユーザによってアクセス不可のパワーレベルが要求された場合、制御ユニットにおいて適切な応答をプログラムすることができる。適切な応答の例は、最も近いアクセス可能なパワーレベル（要求されたパワーレベルより高いかまたは低くてもよい）を提供すること、次のより高いアクセス可能なパワーレベルを提供すること、（c）次のより低いアクセス可能なパワーレベルを提供すること、（d）ゼロパワーを提供すること、及び／または警告またはエラーメッセージを提供すること、を含む。

10

【0058】

パワーの範囲が重複する場合、要求されたパワーレベルを提供するために複数のバンクを使用することができる。上記の例では、4 つまたは 5 つのバンクを使用して 5% の出力パワーを提供することができる。いくつのバンクを使用するかを決定するために、種々の基準が使用されてもよい。本実施形態の 1 つの形態では、遷移パワーレベルは、より低い数のバンクからより高い数のバンクに移行するように決定される。例えば、60% から 75% のパワーで 4 つのバンクを使用することができ、75% のパワーより上で 5 つのバンクを使用することができる。制御ユニット内の制御ロジックは、パワーが連続的に調整または変調されない機械用途において、このように動作するように構成されてもよい。

20

【0059】

図 6 は、本実施形態の他の態様を示すフローチャート 200 であり、バンクのオン／オフ切り替えを低減するためにヒステリシスロジックが設けられている。ヒステリシスロジックは、例えば、範囲が重複している場合にパワーが連続的に調整または変調され、バンクの頻繁なオン／オフ切り替えによるパワースパイク及びグリッチを引き起こす場合に有利である。

一般的に、遷移パワーレベルは、最初の数のバンクを選択することにより決定される。要求されたパワーが最初の数のバンクのパワー範囲外になるまで、最初の数のバンクが維持され、その時点で異なる数のバンクが動作する。

30

方法は 202 で開始し、+1 は N より小さいか等しいとして、M 個のバンクと M + 1 個のバンクとの間の遷移パワーレベルを決定する。ダイオードバンクの最大パワーが知られていれば、決定はレーザシステムの構成中に実行されてもよい。決定は、特定の用途で使用するためのレーザシステムの構成中に実行されてもよく、要求されたパワーを指定された量だけ超えることは決して要求されない。遷移パワーレベルは、構成テーブルまたはファイル、または制御ユニットの指定されたメモリ位置に格納することができる。

204 において、方法は、要求された出力パワーを決定することによって継続する。要求出力パワーは、信号導体 155 に関連して図 4 を参照して説明したように、所望の出力パワーの量を示す信号を受信することによって決定される。

40

【0060】

208 において、方法は、要求された出力パワーが遷移パワーレベルを上回っているかを判定することによって継続する。要求されたパワーが遷移パワーレベルを上回っていれば、方法は 210 で M + 1 個のバンクを動作させることによって継続する。そうでなければ、方法は 220 で M 個のバンクを動作させることによって継続する。もちろん、複数の重複パワー範囲及び遷移パワーレベルが存在してもよく、この場合、要求された出力パワーよりも低い（より小さい）最高遷移パワーレベルが選択されてもよい。

【0061】

210 の後、M + 1 個のバンクを動作させている間、方法は、212 で、要求されたパワーが M + 1 個のバンクの最小パワーを超えているかを判定することによって継続する。

50

求されたパワーが $M + 1$ 個のバンクの最小パワーを超えていれば、システムは $M + 1$ 個のバンクで動作を継続する。そうでなければ、方法は、220で、 M 個のバンクで動作するために 1 つのバンクの動作を停止することによって継続する。このようにして、要求されたパワーが遷移パワーレベル未満であっても、動作は $M + 1$ 個のバンクにとどまり、それにより、1 つのバンクの遅延またはスイッチオフを防止し、ダイオードバンクのオン及びオフの事例 (instance) を低減させる。

【0062】

220 の後、 M 個のバンクを動作させている間、方法は、222で、要求されたパワーが M 個のバンクの最大パワーを超えているかを判定することによって継続する。要求されたパワーが M 個のバンクの最大パワーを超えていれば、方法は 210 で $M + 1$ 個のバンクで動作することによって継続する。このようにして、要求されたパワーが遷移パワーレベルよりも大きいときでも、動作は M 個のバンクにとどまり、それにより、追加のバンクでの遅延またはスイッチングを防止する。

10

【0063】

図 6 を参照して開示された実施形態の代わりの態様では、方法は、要求されたパワーに対して可能である最大数のバンクを選択する。その後、方法は、212 を参照して説明したように、要求されたパワーが動作中の数のバンクの最小出力パワー未満である場合にのみ、より低い数のバンクへと切り替え、222 を参照して説明したように、要求されたパワーが動作中の数のバンクの最大出力パワーを超えている場合には、より高い数のバンクへと切り替える。図 5 及び図 6 を参照すると、例えば、74% と 76%との間で発振するとき、方法の前述の態様に従って動作するシステムは常に 5 つのバンクを使用する。

20

代わりに、システムが特定のレーザ加工動作の間に、システムパワーの 58% でオンにされ、次に連続的に 78%まで調整され、58%まで戻されるとすると、レーザシステムは最初に 4 つのバンクで開始し (この例では 58% を生成することができる最大の数、他の選択肢は 3 つのバンクである)、この動作の期間中、4 つのバンクを動作し続ける。

代わりに、システムを 58%で開始して 44%に調整してから 58%に戻すとすると、このアルゴリズムを使用するシステムは、4 つのバンクから開始し、56% のパワーを通過するときに 3 つのバンクに移行し、その後 44% に低下して 58% に戻るまで 3 つのバンクにとどまり、よってバンクの数の変更は 1 回のみとなる。

【0064】

30

調整方法の他の変形例では、少なくとも 1 つのバンクは、フルパワーの調整を提供するように設計される。例えば、フルパワー調整されているバンクは、0 ~ 100% でパワー調整されていてもよい。等しい最大パワーを有するバンクと、制限されたまたはゼロのパワー調整範囲を有する他のバンクとで、0 ~ 100% のフルシステムのパワー調整が可能である。この場合、そのうちの 4 つが調整不可で 1 つがフル調整できる $N = 5$ のバンクで、調整可能のバンクのみを使用して 0 から 20%までのパワーを生成でき、1 つの調整不可のバンクと調整可能のバンクとを使用して 20% から 40% までを生成でき、2 つの調整不可のバンクと調整可のバンクとを使用して 40% から 60% まで、等々を生成できる。勿論、調整不可のバンクと組み合わせてフルパワー調整よりも少ないバンクも、十分な調整能力を提供することができる。

40

【0065】

調整方法の他の変形例では、ダイオードバンクのパワーは、レーザダイオードの均一な経年劣化を促進するために、できる限り均等に調整される。従って、要求されたパワーが 480 ワットであり、5 つのダイオードバンクの各々が 200 ワットの最大パワーを有するが、140 ワットから 200 ワットまで調整可能であるとすれば、例えば、1 つのバンクを 200 ワット出力するように調整し、2 つのバンクをそれぞれ 140 ワット出力するように調整する代わりに、3 つのバンクをそれぞれ 160 ワット出力するように調整して、要求されたパワーが提供される。各レーザダイオードが長い時間をかけて同じ時間だけ利用されるか同じ回数だけオンされるように、バンクがオンにされる順序を、例えば、最初にバンク 1, 2, 3 をオンにし、他の例ではバンク 3, 4, 5 をオンにすることによつ

50

て、循環させてもよい。

【0066】

本発明を例示的な設計を有するものとして説明してきたが、本発明は、本開示の主旨及び範囲内でさらに変更することができる。従って、この出願は、その一般的な原則を使用して、本発明のあらゆる変形、使用、または適応を包含することが意図される。さらに、この出願は、本発明が関係する技術分野における既知のまたは慣習的な実施に含まれる本開示からのそのような展開を包含することが意図される。

【図1】

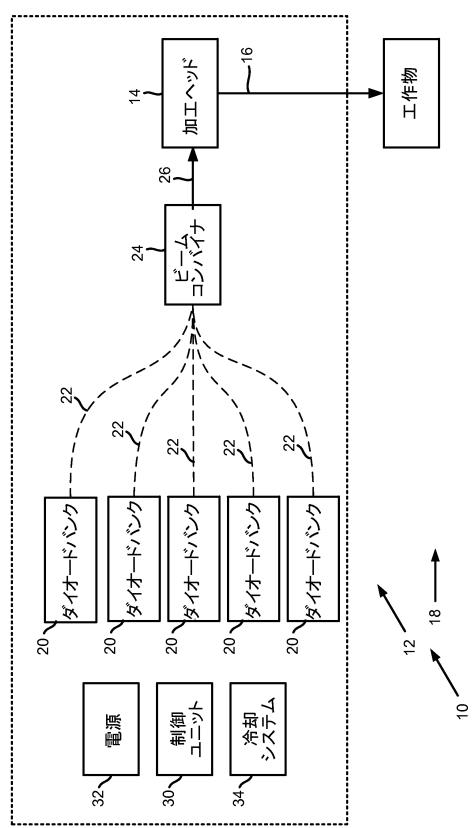


FIG. 1

【図2】

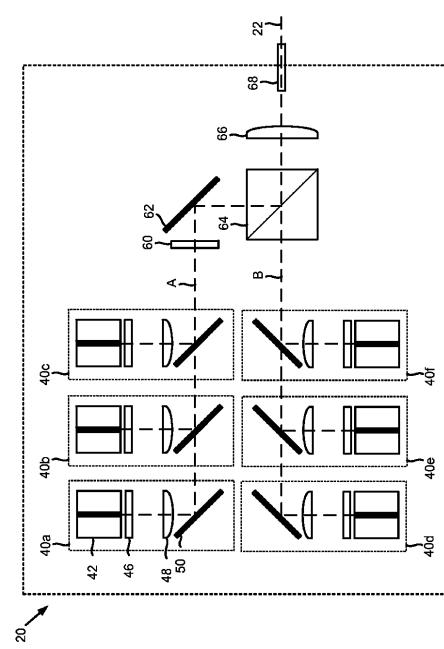
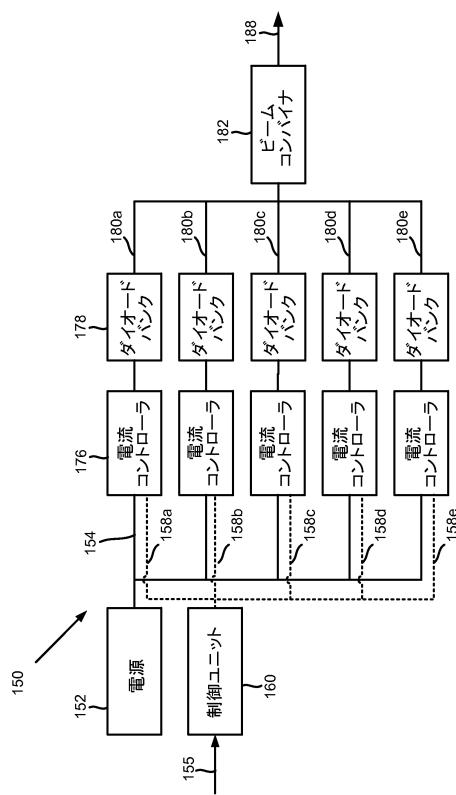


FIG. 2

【図3】



【図4】

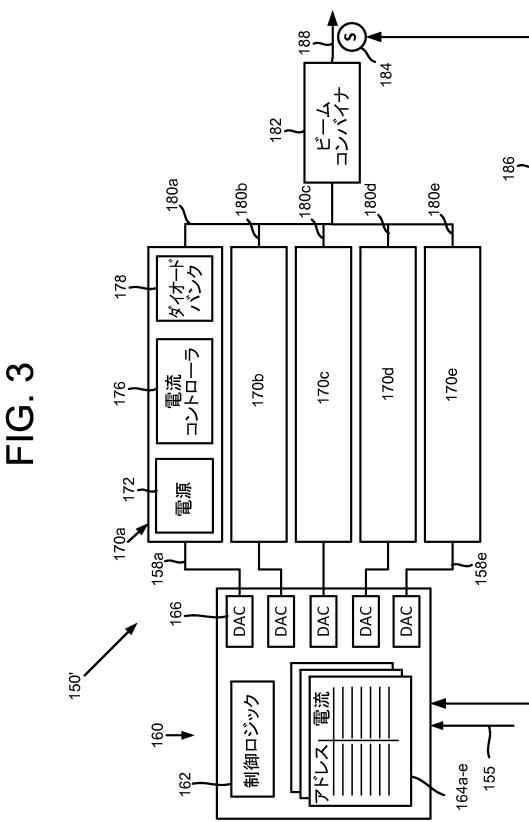
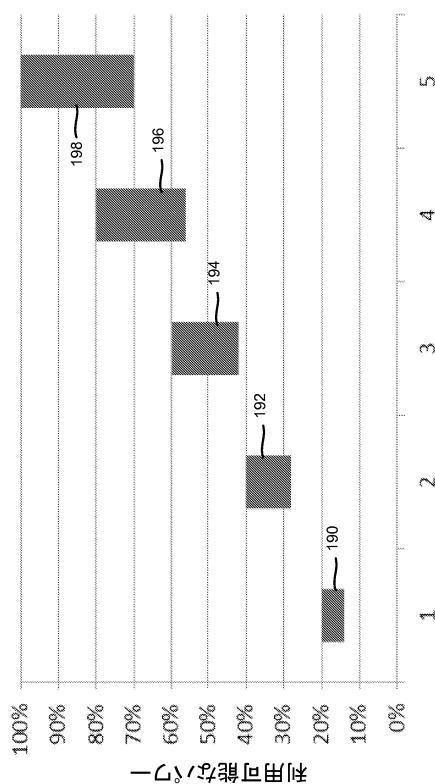


FIG. 3

FIG. 4

【図5】



【図6】

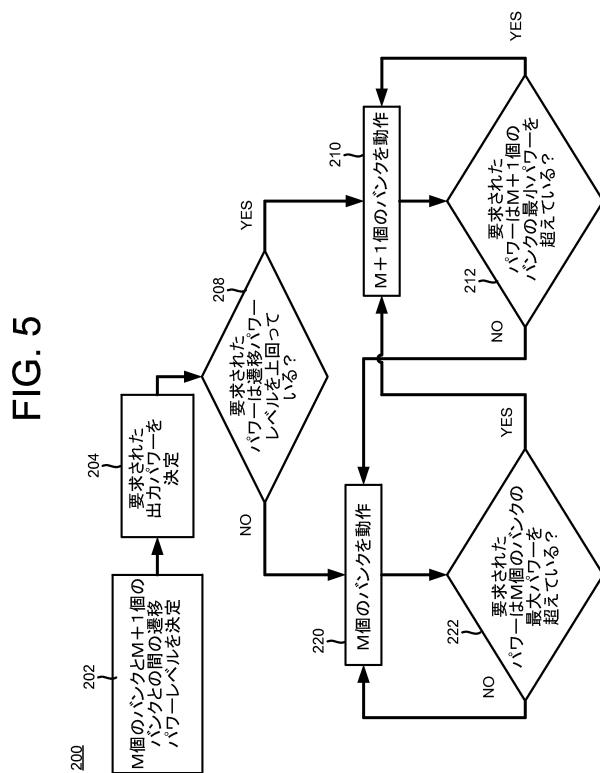


FIG. 5

FIG. 6

フロントページの続き

(74)代理人 100111235

弁理士 原 裕子

(72)発明者 ミュンデル、マーティン エイチ.

アメリカ合衆国 94610 カリフォルニア州 オークランド ヴァジェ ビスタ アベニュー
449

(72)発明者 フランク、ジャスティン エル.

アメリカ合衆国 95035 カリフォルニア州 ミルピタス シェナンドア アベニュー 18
81

(72)発明者 アロニス、ジョゼフ ジェイ.

アメリカ合衆国 94306 カリフォルニア州 パロアルト サウス コート 2870

(72)発明者 白田 かおり

神奈川県伊勢原市石田200番地

(72)発明者 緒方 稔

神奈川県伊勢原市石田200番地

審査官 吉野 三寛

(56)参考文献 特開2012-227353(JP, A)

国際公開第2014/133013(WO, A1)

特開2013-197371(JP, A)

米国特許第05748654(US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00 - 5/50