

## 1

## 明 細 書

レーザ共振器、レーザ装置、レーザ応用装置及びレーザ発振方法

## 技術分野

本発明は光エレクトロニクス分野、特にレーザプリンタ装置、光造形装置、光ディスク、DNAシーケンサ装置およびパーティクルカウンタ装置等に用いられるレーザ共振器、レーザ装置、レーザ応用装置及びレーザ発振方法に関する。

## 背景技術

高度情報化時代の進展に伴い、光ディスク装置やレーザプリンタ装置などのコンピュータ周辺レーザ応用装置において記録密度向上や高速印刷の要求を満足するため、短波長化への要求が高まっている。しかし製品化レベルで要求の高い青色領域（波長400～480nm）を満足する光源としてはHe-Cd（ヘリウムカドミウム）レーザ装置やAr（アルゴン）レーザ装置などのガスレーザ装置しかなく、大型で消費電力が大きい。このようにレーザ装置が大型であるため、レーザ装置を光源として内蔵するレーザ応用装置は少なくともレーザ装置以上の大きさを有する必要がある大型となり、デスクトップサイズが主流のオフィス環境および住宅環境に適応できない問題があった。

またレーザ装置の投入電力からレーザ光への変換効率が小さく、消費電力の多くは熱となるため冷却手段を必要とし、レーザ応用装置のサイズが大きくなる問題があった。またこの冷却手段の振動による光学系のズレがレーザ応用装置の信頼性を劣化させる等の問題があった。さらにガスの劣化等によりレーザ装置の寿命が短いことからレーザ応用装置の寿命も短いという問題があった。

これに対し、固体レーザの共振器内部に非線形光学結晶を挿入し

## 2

、固体レーザ発振波である第1のレーザビーム（以下場合によっては基本波と称す）の $1/2$ の波長に変換して第2のレーザビームを発生させる光第2高調波発生（以下単にSHGと記す；Second Harmonic Generation）などの波長変換技術を適応することで、前述のようなガスレーザの有する問題点を解消する試みがなされた。例えば800～900nm帯の波長領域で発振可能なレーザ結晶であるTi:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（Ti-Sapphire；以下単にTi-Sapと記す）やCr:LiSrAlF<sub>6</sub>（クロム添加のフッ化リチウムストロンチウムアルミニウム；以下単にLiSAFと記す）を用いた固体レーザのSHG方式が提案された。前記SHG光源において、レーザ媒質単体の寿命はガスから固体結晶となることで大きく改善された。しかし後者のLiSAFレーザの励起光源はKr（クリプトン）レーザすなわちガスレーザであり、従来の問題点が依然として残った。また、Ti-Sapレーザの励起光源としては、QスイッチNd:YAG（ネオジウム添加のイットリウムアルミニウムガーネット）レーザを基本波とする緑色SHGレーザを用いている。したがってレーザ光源全体は固体化されたため寿命は改善された。しかし、励起光源を含めてSHGレーザが2つ用いられたため装置が複雑でサイズおよび消費電力が大きく、従来の問題点を大きく改善するものではなかった。また、いずれの場合もSHG出力はパルス出力のためレーザプリンタ、光造形装置および光ディスク装置などのレーザ応用装置に用いる場合には例えば信号の不連続点が生じるなどの問題があった。

前述のLiSAFレーザの励起光源としては、波長670nmの赤色半導体レーザによる励起が可能であることが既に開示されている（アール・スケップス、ジェイ・I7・メイヤー、イフ・ヒューゼス、エイ・ロゼンバーグ、アール・シー・モリス、IM・ロング、「半導体レーザ励起Cr:LiSrAlF<sub>6</sub>レーザ」光学通信16巻11号820頁（1991年）、R. Scheps, J.F. Myers, H.B. Serreze, A. Rosenberg, R.C. Morris, and M. Long, "Diode-pumped Cr:LiSrAlF<sub>6</sub> laser", Opt. Lett., Vol. 16, No. 11, p820 (19

91))。したがって前述のLiSAFレーザを基本波とするSHG光源において、励起光源をKrレーザから半導体レーザへ置き換えることで、従来のガスレーザ装置自体のサイズ、消費電力および寿命の問題を大きく改善できる可能性があることが予想される。

しかしながら、LiSAFレーザは共振器内部の損失による効率低下が著しいことが開示されている(クィザング、ジ-、ジェイ、ディクソン、ピー、イー、チャイ、ピー、エヌ、キ-ン、「電氣的に波長チューニングされた半導体レーザ励起Cr:LiSrAlF<sub>6</sub>レーザ」光学通信17巻1号43頁(1992年)、Qi Zhang, G.J. Dixon, B.H. Chai and P.N. Ke an, "Electronically tuned diode-laser-pumped Cr:LiSrAlF<sub>6</sub> laser", Opt. Lett., Vol.17, No.1, p43, (1992))。このためこの効率低下の要因を調査し、検討を加えることで具体的な解決策を見出すことにより、解決しなければ実用化の可能性は極めて低い。

前記Qi Zhang等はLiSAFレーザの波長選択を行うための波長チューニング素子である複屈折フィルタをLiSAFレーザの共振器から取り出した。一般に複屈折フィルタはLiSAFレーザなどの波長チューニングが可能なレーザにおいてレーザ共振器中に配置され、発振ビームのうち望ましい波長以外の発振ビームに反射損失などの損失を与え、所望の波長のレーザビームを選択する機能を有する。そこでQi Zhang等は複屈折フィルタを含む波長チューニング専用の共振器をLiSAFレーザの共振器の後段に付加した。つまりLiSAFレーザの共振器に所望の波長の戻り光を帰還し増幅させることで、LiSAFレーザの共振器による損失を与えることなく波長チューニングを行う手段を提案した(米国特許第5218610号)。ここでQi Zhang等が注目した損失は主に複屈折フィルタによる反射損失である。この方式は前記の損失は改善できるが装置が複雑で大きくなる可能性を有していた。

また、レーザ結晶であるLiSAF結晶の不均一なエネルギー吸収がレーザ発振効率の低下に影響することに着目し対策を行った例

## 4

がある。すなわち吸収に関与するCrを励起方向に異なる濃度で分布せしめることで効率の低下を改善しようとするものである（米国特許第5287373号）。しかしこの方式は市販レベルで実現されておらずQi Zhang等が指摘した問題に対する改善効果は不明である。

ここで前述のF. Balembois等の示した光学系においては励起光源をKrレーザとし平均3.3Wのパルス励起を用いて平均7.4mWのパルスSHGレーザ出力を得ているが、前述のようにSHGレーザ出力は連続波でなければならない。また、必要とされる出力は装置においてばらつくが、10mW程度必要と考えられる。これに対し、現状で市販されているLiSAFレーザの励起が可能な半導体レーザは単一ストライプの場合、最大500mWクラスのものである。ここで、一般に固体レーザの入出力特性において基本波の出力は励起入力に比例するため、励起光源をKrレーザから半導体レーザに置き換えることで基本波パワーは約1/6となる。また、SHG出力は基本波パワーの2乗に比例するため期待されるSHG出力は約1/36、すなわち0.2mWのパルス出力となり、効率の大幅な改善が行われなければ実用に耐え得るSHG出力が得られないことが判る。また、Krレーザに比較して半導体レーザは出力ビームの形状すなわち横モードが著しく扁平であるため、ビーム整形技術を適応しても励起効率の劣化が予想され、SHG出力のさらなる低下が予想される。

すなわち、励起光源を単にKrレーザから半導体レーザに置き換えただけでは、実用上十分な出力を有するSHGレーザ光源は実現しないことが容易に予想される。また、将来半導体レーザの高出力化が達成された場合でも、半導体レーザ自体の発熱量が増加するため強制冷却手段が必要となり、大型で消費電力の大きな装置となることが懸念される。

以上より従来開示されている知見を単に積み上げることではガスレーザの問題点を一挙に解決する半導体レーザで励起したLiSA

## 5

Fレーザを用いたSHGレーザを実現することは困難であることが判明した。したがって、効率低下の要因を見出し、具体的な対策を講じることにより小型で低消費電力のSHGレーザ光源の実現と、SHGレーザ光源を用いたレーザ応用装置の実現を達成することが必要とされている。

また、前記ガスレーザと同等の出力波長を有するSHG光源として、図10で示すように近赤外の半導体レーザ出力を第1の発振波すなわち基本波とし、外部共振器で共振させて、その中に非線形光学結晶（以下で取り扱う波長変換は全てSHGであるため単にSHG結晶と称す）であるKN（ $\text{KNbO}_3$ ；ニオブ酸カリウム）を配置することで第2の発振波すなわちSH波である青色レーザ光を得る方法が提案されている（W.J.Kozlovsky and W.Lenth, "Generation of 41mW of blue radiation by frequency doubling of a GaAlAs diode laser", Appl. Phys. Lett., vol. 56, no. 23, p2291, 1990）。

しかし、前記SHG光源において、外乱の影響を受けやすい半導体レーザの発振波長をKNの変換効率が最大となる波長に安定に合わせるためには反射戻り光から半導体レーザを守ために光アイソレータ102を入れることが必要であり、またKNを含む外部共振器の共振器長を基本波の波長オーダで制御するために共振器からの反射光を光検出器105で受け、その電気的出力をフィードバック回路106により半導体レーザを安定に発振させることなどの高度な技術課題があり、製品化レベルの解決がかなり困難と予想される。このSHG光源においては、外乱の影響を受けやすい半導体レーザの発振波長をKNの変換効率が最大となる波長に安定に合わせるのと、KNを含む外部共振器の共振器長を基本波の波長オーダで制御することの2つの技術課題について製品化レベルでの解決が困難と予想される。

また、本発明者らは、前述のLiSAFレーザは波長制御素子を用いることで広帯域波長可変レーザとして用いることが可能であり

## 6

、このLiSAFレーザを第1の発振波（基本波）とし非線形結晶により第2の発振波として青色領域のSHG光として発生させる方法を検討したところ、二つの問題点を発見した。

第1の問題点は波長制御素子の透過帯域以外の波長域はレーザ共振器内では損失となるために発振しきい値が高くなり、必要とするSHGレーザ出力を得るには励起用半導体レーザの出力が高くなってしまうことである。図11はLiSAF結晶を用いた半導体レーザ励起波長可変固体レーザ装置（以下単にLiSAFレーザと称す）の入出力特性である。実線は波長制御素子がある場合のLiSAFレーザの入出力特性を、点線は波長制御素子がない場合の入出力特性を示す。この場合の波長制御素子は色素レーザやTiサファイアレーザで用いられている3枚の厚さの異なる水晶板からなるもので、水晶板を透過できる波長帯域を3nm以下と狭くすることができ、レーザ発振波長幅を0.1nm以下で波長制御できる。図11より透過波長帯域幅の狭い波長制御素子を挿入することで共振器内の損失が増加し、発振しきい値が10倍以上高くなり、入れない場合と同じ出力を得るには10倍以上の励起入力が必要となるため大型の半導体レーザが必要となり、半導体レーザの駆動および冷却のための装置が大きく、消費電力も多くなってしまう。なお、波長制御素子を入れない場合の発振波長幅は約10nmであり、波長制御素子を入れる場合の100倍以上であった。

第2の問題点は従来から用いられている青色SHG光を得ることのできる非線形結晶のKN結晶はSHG波が発生する位相波長幅である位相整合波長半値幅が図12に示すように0.4nmと非常に狭く、さらに結晶の伝搬損失が0.5%/cmと高いために共振器内の損失が大きくなり発振しきい値が高くなり、前記LiSAFレーザ内に挿入しても十分なSH出力を得られないことである。

また、KN結晶は結晶の温度の変化に依存して変換効率が最大となる波長が0.3nm/℃変化するために正確な温度制御をしないと安定

なSH出力が得られないという問題点があった。

#### 発明の開示

本発明者らは、共振器内部の損失について検討した結果、損失は光学部品の開口の大きさと何らかの関係があることを見いだした。ここで開口とは具体的には共振器中の光学部品の光学面の有効断面積を意味する。つまり、通常のレーザ装置において光学部品の開口はレーザビーム径より大きければ問題はないとされていた。ところが、新しいレーザであるLiSAFレーザにおいては光学部品の開口が従来の常識的な大きさでも損失が生じることを見出し本発明に想到した。すなわち、本発明はCrを含有するフッ化物よりなるレーザ結晶および少なくとも一つの光学部品とからなるレーザ共振器において、前記共振器内部の開口が実質的に前記レーザ結晶からの発光が発振してからなる第1のレーザビームの直径の5倍以上であることを特徴とするレーザ共振器である。

図13は代表的な固体レーザであるNd:YVO<sub>4</sub>（ネオジウム添加の酸化バナジウムイットリウム）レーザとLiSAFレーザの共振器中の開口による発振効率低下の現象を説明するための図である。図13上部に実験に用いた共振器の形状を示す。

共振器はレーザ結晶の端面に形成された平面ミラーと凹面ミラーとで形成されている。発振ビーム直径は共振器を形成するミラーの曲率半径と距離で決まり、図13上部に示した平凹式共振器においては平面側でビーム直径は最小となり、凹面ミラーで最大となる。このとき凹面ミラーの曲率半径は150mmであり、共振器ミラー間の実効光路長はミラーの曲率半径よりわずかに短い。図13の横軸は平面ミラーからの距離を、右側の縦軸はビーム直径を示している。共振器中のビーム直径は横モードがTEM<sub>00</sub>モードの真円ビームの場合、下記の式1により求められる最小ビーム直径と、下記の式2により求められる各位置でのビーム直径により計算できる。

$$w_0 = \left[ \left( \frac{\lambda}{\pi} \right)^2 \frac{d(R_1-d)(R_2-d)(R_1+R_2-d)}{(R_1+R_2-2d)^2} \right]^{\frac{1}{4}} \quad \text{式 1}$$

$$w(z) = \left[ w_0^2 \left[ 1 + \left( \frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right] \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{式 2}$$

式 1 において  $w_0$  は最小ビーム直径、 $\lambda$  は第 1 のビームの波長、 $d$  は共振器長、 $R_1$ 、 $R_2$  はミラーの曲率半径を表す。式 2 において  $w(z)$  は最小ビーム直径となる位置から距離  $z$  離れた場所でのビーム直径を表す。計算で求められるビーム直径は最小で約 0.2 mm、最大で約 0.8 mm であった。また、出力ミラー直後のビーム直径を実測してみると各々の場合においてほぼ等しく、計算結果と良く一致していた。ここで共振器中に  $\phi 2.5$  mm の開口を挿入し、発振ビーム強度が最大となるように調整し、発振ビーム強度を測定した。

左側の縦軸は開口を挿入した場合と開口を挿入しない場合の発振ビーム強度の比を示している。Nd:YVO<sub>4</sub> レーザでは共振器内部の開口がビーム直径の 3 倍、すなわちビーム直径が最大の 0.8 mm となった場合でも 90% 以上の効率で発振可能であるのに対し、LiSAF レーザでは共振器内部の開口をビーム直径の 5 倍以下とすることで、効率が 80% 程度に低下することが明らかとなった。

また、効率低下の傾きも LiSAF レーザは Nd:YVO<sub>4</sub> レーザに比較して大きいことが分かる。また、Nd:YVO<sub>4</sub> レーザと同程度の効率である 90% 以上を確保するためには開口がビーム直径の 7 倍以上であることが望ましい。さらに 10 倍以上となる領域では効率低下が全く見られないため、特に望ましい領域と考えられる。

一般にビーム直径は横モードが真円の TEM<sub>00</sub> モードで光強度がガウシアン分布となっている場合、ピーク強度の  $1/e^2$  以上の範囲の直径で規定されている。また、ビームの横モードが TEM<sub>00</sub> 以

外の場合はビーム直径を光強度がピークの  $1/e^2$  以下となる境界線の最外周を結ぶ最大長さとして規定する。また、以上は開口の下限に関する規定を述べたものであるが、上限は結晶の最大育成可能サイズ、安定加工可能サイズおよびコーティングの品質が確保できるサイズで限定される。常識的には1000倍程度が望ましい。

つぎに、本発明者らは、LiSAFレーザの入出力特性に飽和現象が存在することを見出した。

図14はLiSAFレーザと代表的な固体レーザであるNd:YVO<sub>4</sub>レーザの入出力特性を比較説明するための図である。実線はLiSAFレーザの入出力特性を、点線は一般的な固体レーザ装置の入出力特性を示す。Nd:YVO<sub>4</sub>レーザにおいて入出力特性は点線で示したようにある入力値において立上がった後、励起入力と固体レーザ出力はほぼ比例関係となる。一方LiSAFレーザにおいては実線で示したように線形領域を過ぎた後出力特性が飽和し、励起入力が増加しても最後には発振が消滅する現象が見られ、安定な固体レーザ出力を得ることができないという問題点を有するということが分かった。本発明者らは鋭意検討の結果、LiSAFレーザにおいて、図14に示した入出力特性に見られた飽和現象および発振消滅現象はLiSAFを用いたレーザ結晶の温度制御を行うことにより解決できることを見出し、本発明に想到した。

図15はLiSAF結晶を温度制御した場合としない場合のLiSAFレーザの入出力特性を比較説明するための図である。実線はLiSAF結晶を $15 \pm 5^\circ\text{C}$ に温度制御した場合の入出力特性を、点線は温度制御しない場合の入出力特性を示している。図15においてレーザ結晶を温度制御することで線形領域を拡大し、安定な固体レーザ出力を得ることができると分かる。図15においてLiSAF結晶の温度を $15^\circ\text{C}$ とした入出力特性を示したが、結晶温度を $10^\circ\text{C}$ 、 $20^\circ\text{C}$ 、 $30^\circ\text{C}$ 、 $40^\circ\text{C}$ と変えた場合の入出力特性も測定したが、いずれの場合も入出力特性における線形領域は拡大され、安

定な固体レーザ出力を得た。すなわち、温度制御範囲の下限は使用条件においてレーザ結晶が結露しない温度となる。また、上限は使用条件において前記発振消滅現象が観察されない温度となる。レーザ結晶の温度  $T$  が  $0 \leq T \leq 50^\circ\text{C}$  となる範囲で制御されていることが望ましい。

また、前記共振器を構成する複数のミラーの少なくとも1つが前記レーザ結晶の一端面に形成されていると好ましい。

また、前記光学部品のうち少なくとも一つの部品が波長制御素子であると好ましい。

また、 $\text{Cr}:\text{LiSrAlF}_6$  からなるレーザ結晶と、前記レーザ結晶の一端面に少なくとも1つの共振器ミラーを形成してなる共振器構造と、前記レーザ結晶を励起するための半導体レーザと、前記レーザ結晶からの発光が前記レーザ共振器において発振してからなる波長  $\lambda_1$  が  $780 \leq \lambda_1 \leq 1000 \text{ nm}$  の第1のレーザビームと、前記共振器内部に挿入された前記第1のレーザビームの直径の5倍以上の開口を有すると好ましい。

また、 $\text{Cr}:\text{LiSrAlF}_6$  からなるレーザ結晶と、前記レーザ結晶の一端面に少なくとも1つの共振器ミラーを形成してなる共振器構造と、前記レーザ結晶を励起するための半導体レーザと、前記レーザ結晶の温度  $T$  を  $0 \leq T \leq 50^\circ\text{C}$  の範囲で温度制御するための手段と、前記レーザ結晶からの発光が前記レーザ共振器において発振してからなる波長  $\lambda_1$  が  $780 \leq \lambda_1 \leq 1000 \text{ nm}$  の第1のレーザビームと、前記共振器内部に挿入された前記第1のレーザビームの直径の5倍以上の開口を有する波長制御素子とからなるレーザ装置であると好ましい。

また、前記光学部品が波長制御素子と非線形光学結晶を含むと好ましい。

更に、固体レーザ結晶の発振波長を制御するための制御素子としてブリュースタ角に傾けた複屈折結晶を用いればよく、複屈折結晶

に水晶 ( $\text{SiO}_2$ )、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$  のいずれかを用いれば良い。

好ましくは前記複屈折結晶として厚さ 0.4 ~ 3 mm の 1 枚の水晶板を用いるとよい。更に、非線形結晶として  $\text{LBO}$  ( $\text{LiB}_3\text{O}_5$ ) 及び / 又は  $\text{BBO}$  ( $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ ) を用いると良い。

固体レーザ結晶の発振波長を制御するための制御素子が第 1 の放射波を共振させる共振器ミラーであるとしてよく、さらに共振器ミラーの反射率が 99.9 % 以上の第 1 の発振波の波長帯域幅が中心波長に対して 10 nm 以下であるとよい。

共振器構造が少なくとも 2 枚のミラーからなるか、または共振器構造を形成する少なくとも 1 枚のミラーにおいて前記第 2 高調波の透過率が 60 % 以上を有するとよい。

固体レーザ結晶の発振波長を制御するための制御素子として複屈折結晶を使用した場合について本発明者らは発振しきい値を高くする原因となる波長制御素子である複屈折結晶の透過波長幅について検討を行った。一般にレーザ共振器の発振特性は共振器内の損失に依存しており、損失が高いと発振に至るまでのしきい値が高くなってしまふ。また波長制御素子の透過帯域幅は狭いと共振器内の損失となるために発振しきい値が高くなってしまふ。図 16 はブリュースタ角に傾けた水晶の複屈折結晶の組み合わせ枚数による透過波長幅を計算したものである。各条件の複屈折結晶厚さは図 16 より複屈折結晶の枚数を増やす、つまり複屈折結晶の厚さを増やすことにより透過波長幅が狭くなっていることがわかる。このことより複屈折結晶の枚数を減らす、つまり複屈折結晶の厚さを減らすことで透過波長幅を広げることができ発振しきい値を下げるができるという効果を有することが判った。

この複屈折結晶は複屈折結晶である  $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$  等も用いることができる。

更に、図 17 に複屈折結晶を水晶板一枚とした場合の複屈折結晶

## 12

の厚さに対するレーザ発振波長間隔を示す。ここでレーザ発振波長間隔とは、同時にレーザ発振できうる波長の間隔であり、レーザ媒質の波長に対する利得特性に依存しており、利得特性が広いとレーザ発振できる波長範囲が広いために、波長制御素子の透過波長間隔によっては同時にレーザ発振する場合がある。図17より厚さが厚くなるとレーザ発振する波長の発振波長間隔が狭くなることが分かる。これは厚さが厚いと隣り合うレーザ発振可能な波長間隔が狭くなり、L i S A Fレーザのように広帯域での発振が可能なレーザで同時に2つ以上の発振波長で発振する可能性がある。一般のレーザミラーの反射帯域幅は50 nm程度であるため、2つ以上の同時発振を抑制するためには、前記の反射帯域幅の半分程度の25 nm程度以上の発振波長間隔が必要であることから複屈折結晶の厚さは図17より3 mm以下である必要がある。また結晶の厚さが薄すぎると波長制御が困難となるためとL i S A Fレーザの発振波長幅が約20 nmであることから、図17より結晶の厚さは0.4 mm以上である必要がある。従って、複屈折結晶の厚さは、0.4 ~ 3 mmの範囲でさらに発振しきい値を低くすることができる。

上述のように複屈折結晶を用いることによって発振しきい値を低くすることはできたが、透過波長幅を広げることによって発振波長幅が広くなるため、S H G結晶の位相整合半値幅より大きくなり、あまり効率よくS H Gを発生できない。さらに効率を上げていくために本発明者らは、位相整合半値幅が比較的広いL B O ( L i B <sub>3</sub> O <sub>5</sub> ) 結晶やB B O (  $\beta$  - B a B <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) 結晶或いはC L B O ( C s L i B <sub>6</sub> O <sub>10</sub> ) 結晶を用いることで解決可能であることに想到した。図18はL B O結晶の位相整合波長半値幅である。K N結晶に比べて約20倍の幅を有しているために、波長制御素子である複屈折結晶として図16より厚さ0.5 mmの水晶板を1枚とすることで透過波長幅を10 nm程度とし、共振器内の損失をなくすためにブリュースタ角に傾けて挿入することでL B O結晶の位相整合幅を

## 13

充分満足したSH出力が得られる。また、LBO結晶は温度に対しても位相整合幅の変化が $0.1\text{ nm}/^\circ\text{C}$ 以下と小さいために温度制御する必要がなく、伝搬損失が $0.1\%/cm$ と小さいために共振器内損失となる割合が低い。BBO結晶やCLBO結晶を使用してもLBO結晶と同様な効果が得られる。しかし、SH結晶を温度制御することによっても更に安定なSH出力を実現できることは明らかである。

さらに、固体レーザ結晶の発振波長を制御するための制御素子として複屈折結晶を用いず、共振器ミラーの反射率が99.9%以上の波長帯域幅が中心波長に対して10nm以下であるものを用いることでも可能である。レーザ共振器を構成する共振器構造が少なくとも2枚以上のミラーからなり、これら共振器構造を形成する少なくとも1枚のミラーにおいて第2の発振波長つまりSHGの透過率が60%以上とすることでSH光を効率よく共振器外に取り出すことができる。

また、 $\text{Cr}:\text{LiSrAlF}_6$ からなるレーザ結晶と、前記レーザ結晶の一端面に少なくとも1つの共振器ミラーを形成してなる共振器構造と、前記レーザ結晶を励起するための半導体レーザと、前記レーザ結晶からの発光が前記レーザ共振器において発振してからなる波長 $\lambda_1$ が $780 \leq \lambda_1 \leq 1000\text{ nm}$ の第1のレーザビームと、前記共振器内部に挿入された前記第1のレーザビーム直径の5倍以上の開口を有する非線形光学結晶と、波長制御素子と、前記非線形光学結晶と、前記レーザ結晶と非線形光学結晶を同時にまたは各々単独に温度制御する手段と、第1のレーザビームの一部から異なる波長に変換された第2のレーザビームを取り出す手段を有するレーザ装置であると好ましい。

また、前記非線形光学結晶が $\text{LiB}_3\text{O}_5$ （三ほう酸リチウム）、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ （セシウムリチウムボレート）、 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ （ほう酸バリウム）、 $\text{KNbO}_3$ （ニオブ酸カリウム）、 $\text{KTaO}_3$ （タンタル酸カリウム）

)、 $\text{K-Li-Nb-O}$  (ニオブ酸リチウム-カリウム)、 $\text{K-Ta-Nb-O}$  (ニオブ酸、タンタル酸-カリウム)、または $\text{LiIO}_3$  (ヨウ酸リチウム)のうちのいずれかであると好ましい。

また、本発明に関わるレーザ共振器やレーザ装置をレーザプリンタ装置、光造形装置、光ディスク装置、パーティクルカウンター装置及びDNAシーケンサ装置等に用いると小型で安定性に優れた装置を提供できる。

#### 図面の簡単な説明

図1は本発明の一実施例を説明するための図である。

図2は本発明の別の効率改善の手段であるレーザ結晶の温度制御を適応した場合の他の実施例を説明するための図である。

図3は本発明の他の実施例であるSHGレーザを説明するための図である。

図4は本発明の一実施例をレーザプリンタ装置に用いた応用例を説明するための図である。

図5は本発明の一実施例を光造形装置に用いた応用例を説明するための図である。

図6は本発明の一実施例を光ディスク装置に用いた応用例を説明するための図である。

図7は本発明の一実施例を説明するための図である。

図8は本発明の一実施例を説明するための図である。

図9は本発明の一実施例を説明するための図である。

図10は従来の実施例を説明するための図である。

図11はLISAF結晶を用いた半導体レーザ励起固体レーザ装置における波長制御素子の有無による入出力特性を比較説明するための図である。

図12はKN結晶の位相整合波長幅を説明するための図である。

## 15

図13は代表的な固体レーザーであるNd:YVO<sub>4</sub>レーザーとLiSAFレーザーの共振器中の開口による発振効率低下の現象を説明するための図である。

図14はLiSAF結晶を用いた半導体レーザー励起固体レーザー装置と代表的な固体レーザーであるNd:YVO<sub>4</sub>レーザーの入出力特性を比較説明するための図である。

図15はLiSAF結晶を温度制御した場合としない場合のLiSAFレーザーの入出力特性を比較説明するための図である。

図16は複屈折結晶の枚数による透過波長幅を比較説明するための図である。

図17は複屈折結晶の厚さに対する発振波長間隔を説明するための図である。

図18はLBO結晶の位相整合波長幅を説明するための図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下に、本発明の実施例について詳しく説明するが、本発明はこれらの実施例に限るものではない。

##### (実施例1)

図1は本発明の一実施例を説明するための図である。半導体レーザー11から出射された励起ビーム31は集光光学系12により集光され、レーザー結晶21を励起する。半導体レーザー11はSDL (Spectra Diode Lab.) 社製AlGaInP系半導体レーザーを用い、出力500 mW、発振波長670 nmである。また、集光光学系12は半導体レーザーコリメータ(焦点距離8 mm)とアナモルフィックプリズムペア(倍率: 6倍)、および単レンズ(焦点距離30 mm)を用いた。

励起されたレーザー結晶21はレーザー結晶端面に形成された入射側共振器ミラー24と出力ミラー25からなる固体レーザー共振器20

## 16

で第1のレーザビーム32を発振する。固体レーザ共振器20中にはレーザ結晶21と波長制御素子としての波長チューニング素子23が配置されている。共振器中で発振する第1のレーザビーム32の波長は波長チューニング素子23によりチューニングされる。このとき共振器構造20は平凹式共振器であり、出力ミラー25の曲率半径は150mm、実効光路長は曲率半径よりわずかに短くした。

レーザ結晶21にはCr添加量1.5mol%のLiSAF結晶( $\phi 3 \times 5$ mm)を用いた。結晶の前方端面24には励起波長に対して反射率2%以下の無反射(以下単にAR; Anti-Reflection)コーティング、第1のレーザビームの波長に対して反射率99%以上の高反射(以下単にHR; High-Reflection)コーティングを施した。ここで前記HRコーティングの反射率は第1のレーザビームを効率良く反射することができれば良く、特に99%以上とする必要はない。後方端面には第1のレーザビームの波長に対して反射率2%以下のARコーティングを施した。出力ミラー25には第1のレーザビームに対し99%以上のHRコーティングを施した。ここで出力ミラー25の反射率は第1のレーザビームを高効率に取り出す事ができればよく、特に99%以上とする必要はない。

また、本発明において図13に示したようにLiSAFレーザの共振器中の開口を第1のレーザビーム直径の5倍以上とすることで損失を大きく改善できることを実証した。これに基づきレーザ結晶は $\phi 3$ mm、波長チューニング素子23の開口は $\phi 5$ mm、出力ミラーの開口は $\phi 10$ mmとした。

また、波長チューニング素子23には水晶板からなる複屈折フィルタ1枚を用い、第1のレーザビーム32に対して最も反射損失が小さくなるブリュースター角となるように配置した。第1のレーザビーム32は複屈折フィルタを光軸の回りに回転することで波長チューニングできる。波長チューニング範囲は約 $860 \pm 50$ nm、

波長選択幅は約0.5nmとした。ここで波長選択幅は第1のレーザービームの出力が著しく低下しない範囲で任意である。さらに波長チューニング素子は複屈折フィルタの他にプリズム、エタロンまたは外部からの注入同期、あるいはその組合せを用いてもよい。

また、LiSAF結晶21の吸収の波長許容幅は約100nmと広く励起用半導体レーザーを温度制御素子などを用いて波長チューニングしなかったが、最大吸収波長に一致させるため波長チューニングしても良い。

また、半導体レーザーの集光光学系はシリンドリカルレンズまたは光ファイバなどのビーム整形機能を有する光学部品を用いることで代用できる。

#### (実施例2)

図2は本発明の別の効率改善の手段であるレーザー結晶の温度制御を適応した場合の他の実施例を説明するための図である。励起光源11、集光光学系12、レーザー結晶21、波長チューニング素子23および共振器構成20は実施例1と同様である。また、共振器中の開口および波長チューニング範囲等は実施例1と同様である。

図15で示したようにLiSAF結晶を温度制御することで安定なレーザー出力が得られることが分かっており、図2においてLiSAF結晶は電子冷却素子とサーミスタを用いて15℃に温度制御した。制御温度はレーザー結晶が結露しはじめる温度を下限とし、使用条件でレーザー出力に飽和が見られない範囲で任意に設定可能である。

#### (実施例3)

図3は本発明の他の実施例であるSHGレーザーを説明するための図である。半導体レーザー11を含む励起光学系は実施例1と同様のものを用いた。

励起されたレーザー結晶21はレーザー結晶端面に形成された入射側共振器ミラー24と出力ミラー25からなる固体レーザー共振器20

で固体レーザ発振波である基本波32を発生する。固体レーザ共振器20中にはレーザ結晶21と基本波の一部をSHG波に変換するための非線形光学結晶22と波長チューニング素子23が配置されている。非線形光学結晶22には $\text{LiB}_3\text{O}_5$ （ホウ酸リチウム；以下単にLBOと称す）を用い、サイズは $3 \times 3 \times 5 \text{ mm}$ で基本波およびSHG波波長に対し2%以下のARコーティングを施した。

またLiSAF結晶21とLBO結晶22は同時に $25 \pm 0.1^\circ\text{C}$ に温度制御素子を用いて温度制御を行った。出力ミラー25には基本波に対し99%以上のHRコーティングを、SHG波に対してはARコーティングを施し実施例1と同様開口を $\phi 10 \text{ mm}$ とした。その他の光学部品は実施例1と同様のものを用いた。共振器中で発振する基本波32の波長は波長チューニング素子23により非線形光学結晶22の波長変換効率が最大となる波長にチューニングされ、前記基本波32の一部は非線形光学結晶22によりSHG波33に波長変換され出力ミラー25から出射される。本発明により半導体レーザ入力455mWのときSHG出力10mWを得た。

波長チューニング範囲は約 $860 \pm 70 \text{ nm}$ 、波長選択幅は $0.5 \text{ nm}$ とした。ここで、波長チューニング範囲はLBO結晶の変換効率が最大となる波長近傍で、波長選択幅はSHGレーザ出力が著しく低下しない範囲で任意である。

また、LBO結晶22の代わりに $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ （ほう酸バリウム）、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ （セシウムリチウムボレート）、 $\text{KNbO}_3$ （ニオブ酸カリウム）、 $\text{K-Li-Nb-O}$ （ニオブ酸リチウムカリウム）、または $\text{LiIO}_3$ （ヨウ酸リチウム）など基本波の波長チューニング領域のいずれかで波長変換素子として位相整合可能な非線形光学結晶のいずれを用いても良い。

以上の実施例と同等の出力が得られた従来のガスレーザを用い、特性比較を行った。寿命ではガスレーザが2000～5000時間で出力が50%に低下したのに対し、SHGレーザの場合1000

## 19

0時間以上の動作でも出力の低下は見られなかった。したがって本実施例により寿命は2～5倍に延びた。また、サイズではガスレーザが10～15リットルであったのに対し、SHGレーザは0.3リットルであった。したがって本実施例によりサイズは1/50～1/30に小型化できた。また、消費電力ではガスレーザが1000～2000Wであったのに対し、SHGレーザは5Wであった。したがって本実施例により消費電力を1/400～1/200に低減できた。以上のガスレーザと本実施例であるSHGレーザとの特性比較表を表1に示す。

表1 ガスレーザと本発明のSHGレーザとの各仕様の比較結果

| レーザ光源    | 出力(mW) | 寿命(時間) | サイズ(リットル) | 電力(W) |
|----------|--------|--------|-----------|-------|
| Arレーザ    | 15     | 5000   | 10        | 2000  |
| He-Cdレーザ | 10     | 2000   | 15        | 1000  |
| SHGレーザ   | 10     | >10000 | 0.3       | 5     |

(実施例4)

図4は本発明の一実施例をレーザプリンタ装置に用いた応用例を説明するための図である。図3で説明したSHGレーザ光源100から出射されたSHGレーザ出力33は、音響光学(以下単にAO; Acousto-Optical)変調器51、ビームエキスパンダ52、回転多面鏡53、fθレンズ54を通過し、感光ドラム55に集光される。AO変調器51は画像情報に応じてSHG出力43の変調を行

## 20

い、回転多面鏡53は水平（紙面内）方向に走査する。この組合せで2次元情報は感光ドラム55に部分的な電位差として記録される。感光ドラム55は前記電位差に応じてトナーを付着して回転し、記録用紙に情報を再生する。

このとき感光ドラム55に塗布された感光体はセレン（Se）であり、SHGレーザ光源100の出力波長は感光体の感度の比較的高い420nmとし、出力10mWとした。ここで感光体はSe以外のものを用いてもよい。

## （実施例5）

図5は本発明の一実施例を光造形装置に用いた応用例を説明するための図である。光源には図3で説明したSHGレーザ光源100を用いた。青色硬化樹脂61を容器に満たし、レーザ光を液面上に2次元走査する。このとき青色硬化樹脂61は光が吸収された液面部61-aのみ硬化する。一断層の形成が終了するとエレベータ62は降下し、次の断層の造形を連続的に行う。この作業により、所望の形状の立体モデル63が作成できた。このときSHGレーザ光源は波長430nm、出力10mWとした。

## （実施例6）

図6は本発明の一実施例を光ディスク装置に用いた応用例を説明するための図である。光源には図3で説明したSHGレーザ光源100を用いた。光ディスク装置は光磁気記録方式を採用した。SHGレーザ光源100より出射されたSHGレーザ出力33はビームエキスパンダ52で拡大された後、平行光となる。ビームスプリッタ72で一部はねられた光は前方モニタ73に取り込まれる。ビームスプリッタ72を通過したビームは集光光学系74で媒体75に集光され、反射された光はビームスプリッタ72で一部反射された後2つのビームに分離され2つのディテクタ76に各々取り込まれる。前方モニタ73ではSHGレーザ出力33をモニタしてSHGレーザ出力33の制御を行う。また、ビームスプリッタ72後の2

21

つのディテクタ76は各々オートフォーカスと信号検出を行う。媒体75には一定の磁界が印加されており、SHGレーザ出力33を変調させて媒体75のキュリー温度まで焦点の温度を上げて磁化を反転することにより記録を行った。出力ON時には媒体の磁界が反転し、出力OFF時には磁界反転が行われず信号記録が可能となる。なお、記録周波数は10MHzとした。また信号再生時には記録時と同様のSHGレーザ光源100を用い、良好な再生信号を得た。

(実施例7)

図7は本発明の一実施例を説明するための図である。半導体レーザ111から出射された励起ビーム141は集光光学系112により集光され、レーザ結晶121を励起する。半導体レーザ111はSDL (Spectra Diode Lab.) 社製AlGaInP系半導体レーザを用い、出力500mW、発振波長670nmである。また、集光光学系112は半導体レーザコリメータ( $f=8\text{mm}$ )とアナモルフィックプリズムペア(倍率:6倍)、および単レンズ( $f=30\text{mm}$ )を用いた。

励起されるレーザ結晶121はレーザ結晶端面に形成された入射側共振器ミラー122と出力ミラー124からなる固体レーザ共振器120で基本波142を発生する。固体レーザ共振器120中にはレーザ結晶121とSHG結晶131と波長制御素子125が配置されている。このとき固体レーザ共振器120は平凹式共振器であり、出力ミラー124の曲率半径は150mm、共振器長は145mmとした。レーザ結晶121にはCr添加量1.5mol%のLiSAF結晶( $\phi 3 \times 5\text{mm}$ )を用いた。結晶の前方端面には励起波長に対して反射率2%以下の無反射(以下単にAR; Anti-Reflection)コーティング、基本波波長に対して反射率99%以上の全反射(以下単にHR; High-Reflection)コーティングを施した。後方端面には基本波波長に対して反射率0.2%以下のARコーティングを施し、入射側共振器ミラー122とした。

## 22

SHG結晶31は $3 \times 3 \times 5$  mmのLBO結晶をLiSAF結晶121の直後に配置した。LBO結晶の両端面には基本波波長に対して反射率0.2%以下、SH波長に対して反射率1%以下のARコーティングを施した。波長制御素子125には厚さ0.5 mmの1枚の水晶板からなる複屈折結晶を用い、光軸に対してブリュースター角に配置して光軸の回りを回転させることで波長制御し、SHG結晶131であるLBO結晶の変換効率が最大となる波長に調整した。共振器内部においてSHG結晶131により一部SH波143に変換されて出力ミラー124から共振器外部にSH出力として取り出される構造となる。この構造において発振しきい値は図12の波長制御素子がない場合の2倍程度であり、SH出力10 mWが得られた。

なお、本発明における図7中の共振器内部に挿入されたSHG結晶131と波長制御素子125の位置は前後の交代が可能である。LiSAF結晶121の吸収の波長許容幅は約100 nmと広く励起用半導体レーザを温度制御素子などを用いて波長制御しなかったが、最大吸収波長に一致させるため制御しても良い。

## (比較例1)

図7と同様なレーザ共振器において、波長制御素子125を厚さ5 mmの1枚の水晶板、SHG結晶131としてKN結晶を用いた。この厚さ5 mmの水晶板の波長制御素子によるレーザ発振波長間隔は12 nmと狭いためにレーザ結晶121であるLiSAF結晶において発振する基本波は波長が12 nm間隔で4～5本、同時に発振してしまった。更に、SHG結晶であるKNは位相整合波長半値幅が0.4 nmと狭く、基本波の波長の一つだけをKN結晶に合わせても、他の波長でもレーザ発振しているため、基本波パワーが分散されるためにSH出力は数 nW程度しか得られなかった。

## (実施例8)

図8は本発明の他の実施例を説明するための図である。半導体レ

## 23

ーザ111および集光光学系112からなる励起光学系は実施例7と同様である。励起されたレーザ結晶121はレーザ結晶端面に形成された入射側共振器ミラー122と凹面ミラー126および平面出力ミラー123の3枚の共振器ミラーからなる固体レーザ共振器120で基本波142を発生する。固体レーザ共振器120中には入射側共振器ミラー122と平面出力ミラー123の間にレーザ結晶121とSHG結晶131が、平面出力ミラー123と凹面ミラー126との間に波長制御素子125が配置されている。このとき用いたレーザ結晶121とSHG結晶131の材質、形状およびコーティングは実施例7と同様である。また、波長制御素子125は実施例7と同様のものを用いた。

凹面ミラー126は基本波波長に対して反射率99%以上のHRコーティングを施した。また、平面出力ミラー123には基本波波長に対しては反射率99%以上のHRコーティング、SH波長に対しては透過率85%以上のARコーティングを施した。波長制御素子125を光軸の回りを回転させることで波長制御し、SHG結晶131であるLBO結晶の変換効率が最大となる波長に調整した。共振器内部においてSHG結晶131により一部SH波143に変換されて平面出力ミラー123から共振器外部にSH出力143として取り出される構造となる。この構造においては図7における波長制御素子125でのSH光の損失がないために、SH出力15mWが得られた。

## (実施例9)

図9は本発明の他の実施例を説明するための図である。半導体レーザ111および集光光学系112からなる励起光学系は実施例7と同様である。励起されたレーザ結晶121はレーザ結晶端面に形成された入射側共振器ミラー122と出力ミラー124からなる固体レーザ共振器120で基本波142を発生する。このとき用いたレーザ結晶121とSHG結晶131の材質、形状およびコーティ

## 24

ングは実施例7と同様である。出力ミラー124は基本波波長に対して反射率99.9%以上のHRコーティングを中心波長860nm $\pm$ 5nmで施しているために波長制御素子を用いなくても発振波長の制御が行える。SH波長に対しては透過率85%以上のARコーティングを施している。図18で示したようにSHG結晶131であるLBO結晶の位相整合波長の半値幅が8nmと広いために特に波長制御しなくても効率よくSH光が得られる。

本発明において共振器内部の開口を考慮したLiSAFレーザの共振器設計を行うことにより、半導体レーザ励起LiSAFレーザの効率を大きく改善した。また、LiSAF結晶の温度制御を行うことにより同レーザの発振消滅現象を回避し、安定なレーザ出力を得る手段を提案した。このLiSAFレーザを用いることにより出力10mWクラスのSHGレーザを実現した。本発明により寿命を2~5倍に、サイズを1/50~1/30に、消費電力を1/400~1/200に、大きく改善できた。さらにレーザ応用装置の小型、低消費電力化および長寿命化と信頼性向上を達成した。

本発明では更に、波長可変レーザ、特にLiSAFレーザを用いた内部共振器型SHG方式において、波長制御素子の透過波長幅を広げることにより発振しきい値を低減させ、位相整合幅の広いSHG結晶であるLBO結晶を用いることでレーザ装置としての第2高調波発生装置の効率および信頼性向上を実現した。さらに、この第2高調波発生装置を光源とすることで応用製品としてレーザプリンタなどの信頼性が向上した。

## 産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明によれば小型で安定性に優れたレーザ共振器、レーザ装置、レーザプリンタ装置等のレーザ応用装置を提供することができる。

## 請 求 の 範 囲

1. Crを含有するフッ化物からなるレーザ結晶および少なくとも一つの光学部品とからなるレーザ共振器において、前記共振器内部の開口が実質的に前記レーザ結晶からの発光を前記共振器内部で発振してからなる第1のレーザビームの直径の5倍以上であることを特徴とするレーザ共振器。
2. 前記レーザ結晶が $\text{Cr:LiSrAlF}_6$ （クロム添加のフッ化リチウムストロンチウムアルミニウム）であることを特徴とする請求項1に記載のレーザ共振器。
3. 前記レーザ結晶を温度制御する手段を有することを特徴とする請求項1又は請求項2に記載のレーザ共振器。
4. 前記レーザ結晶を入出力特性が飽和しない範囲で温度制御するための手段を有することを特徴とする請求項3に記載のレーザ共振器。
5. 前記レーザ結晶の温度 $T$ を $0 \leq T \leq 50^\circ\text{C}$ の範囲で温度制御するための手段を有することを特徴とする請求項3又は請求項4に記載のレーザ共振器。
6. 前記共振器を構成する複数のミラーの少なくとも1つが前記レーザ結晶の一端面に形成されていることを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれかに記載のレーザ共振器。
7. 前記光学部品のうち少なくとも一つの部品が波長制御素子であることを特徴とする請求項1乃至請求項6のいずれかに記載のレーザ共振器。
8. 前記固体レーザ結晶の発振波長を制御するための前記制御素子としてブリュースタ角に傾けた複屈折結晶を用いることを特徴とする請求項7に記載のレーザ共振器。
9. 前記複屈折結晶に水晶( $\text{SiO}_2$ )、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、液晶板の何れか1種以上を用いることを特徴とする請求項8に記載



のレーザ共振器。

10. 前記複屈折結晶が厚さ0.5mm以下の1枚の水晶板を用いることを特徴とする請求項9に記載のレーザ共振器。

11. 前記光学部品が波長制御素子と非線形光学結晶を含むことを特徴とする請求項1乃至請求項10のいずれかに記載のレーザ共振器。

12. 前記第1のレーザビームの少なくとも一部が前記非線形光学結晶を通過することで第1のレーザビームとは波長の異なる第2のレーザビームに変換されることを特徴とする請求項11に記載のレーザ共振器。

13. 前記非線形光学結晶が $\text{LiB}_3\text{O}_5$ （三ほう酸リチウム）、 $\text{CsLiB}_3\text{O}_5$ （三ほう酸セシウムリチウム）、 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ （ほう酸バリウム）、 $\text{KNbO}_3$ （ニオブ酸カリウム）、 $\text{KTaO}_3$ （タンタル酸カリウム）、 $\text{K-Li-Nb-O}$ （ニオブ酸リチウム-カリウム）、 $\text{K-Ta-Nb-O}$ （ニオブ酸、タンタル酸-カリウム）、または $\text{LiIO}_3$ （ヨウ酸リチウム）のうちの少なくとも一つであることを特徴とする請求項11又は請求項12に記載のレーザ共振器。

14. 前記レーザ結晶と非線形光学結晶を同時に又は単独に温度制御する手段を有することを特徴とする請求項11乃至請求項13のいずれかに記載のレーザ共振器。

15. 請求項1乃至請求項14のいずれかに記載のレーザ共振器と、前記レーザ結晶を励起するための手段とを含むことを特徴とするレーザ装置。

16. 前記レーザ結晶を励起するための手段が半導体レーザであることを特徴とする請求項15に記載のレーザ装置。

17.  $\text{Cr:LiSrAlF}_6$ からなるレーザ結晶と、前記レーザ結晶の一端面に少なくとも1つの共振器ミラーを形成してなる共振器構造と、前記レーザ結晶を励起するための半導体レーザと、前記レーザ結晶からの発光が前記レーザ共振器において発振してからなる波長 $\lambda$ 、



が  $780 \leq \lambda_1 \leq 1000 \text{ nm}$  の第1のレーザビームと、前記共振器内部に挿入された前記第1のレーザビームの直径の5倍以上の開口を有する波長制御素子とからなることを特徴とする請求項15又は16に記載のレーザ装置。

18. Cr:LiSrAlF<sub>6</sub>からなるレーザ結晶と、前記レーザ結晶の一端面に少なくとも1つの共振器ミラーを形成してなる共振器構造と、前記レーザ結晶を励起するための半導体レーザと、前記レーザ結晶の温度Tを  $0 \leq T \leq 50^\circ\text{C}$  の範囲で温度制御するための手段と、前記レーザ結晶からの発光が前記レーザ共振器において発振してからなる波長 $\lambda_1$ が  $780 \leq \lambda_1 \leq 1000 \text{ nm}$  の第1のレーザビームと、前記共振器内部に挿入された前記第1のレーザビームの直径の5倍以上の開口を有する波長制御素子とからなることを特徴とする請求項15又は16に記載のレーザ装置。

19. Cr:LiSrAlF<sub>6</sub>からなるレーザ結晶と、前記レーザ結晶の一端面に少なくとも1つの共振器ミラーを形成してなる共振器構造と、前記レーザ結晶を励起するための半導体レーザと、前記レーザ結晶からの発光が前記レーザ共振器において発振してからなる波長 $\lambda_1$ が  $780 \leq \lambda_1 \leq 1000 \text{ nm}$  の第1のレーザビームと、前記共振器内部に挿入された前記第1のレーザビーム直径の5倍以上の開口を有する非線形光学結晶と、波長制御素子と、前記非線形光学結晶と、前記レーザ結晶と非線形光学結晶を同時にまたは各々単独に温度制御する手段と、第1のレーザビームの一部から異なる波長に変換された第2のレーザビームを取り出す手段を有することを特徴とする請求項15又は16に記載のレーザ装置。

20. 請求項15乃至請求項19のいずれかに記載のレーザ装置を用いたことを特徴とするレーザ応用装置。

21. 前記レーザ応用装置がレーザプリンタ装置であることを特徴とする請求項20に記載のレーザ応用装置。

22. 前記レーザ応用装置が光造形装置であることを特徴とする請



## 28

求項20に記載のレーザ応用装置。

23. 前記レーザ応用装置が光ディスク装置であることを特徴とする請求項20に記載のレーザ応用装置。

24. 前記レーザ応用装置がパーティクルカウンター装置であることを特徴とする請求項20に記載のレーザ応用装置。

25. 前記レーザ応用装置がDNAシーケンサ装置であることを特徴とする請求項20に記載のレーザ応用装置。

26. Cr(クロム)を含有するフッ化物からなるレーザ結晶からの発光をレーザ共振器において発振させて第1のレーザビームを得るレーザ発振方法において、前記第1のレーザビームの直径の実質的に5倍以上の直径の開口部を有する共振器中で、共振させることを特徴とするレーザ発振方法。

