(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2008-124505
(P2008-124505A)
(43)公開日　平成20年5月29日(2008.5.29)

(51)Int.Cl.			F I			テーマコード（参考）
H01S	3/109	(2006.01)	H01S	3/109		2K002
G02F	1/37	(2006.01)	G02F	1/37		5F172
H01S	3/042	(2006.01)	H01S	3/04	L	5F173
H01S	3/094	(2006.01)	H01S	3/094	S	
H01S	5/343	(2006.01)	H01S	5/343		

審査請求 有　請求項の数 5　ＯＬ　（全 11 頁）

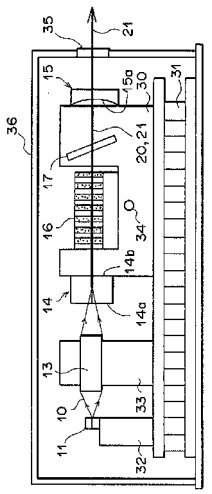
(21)出願番号　特願2008-24517 (P2008-24517)
(22)出願日　平成20年2月4日 (2008.2.4)
(62)分割の表示　特願2001-144466 (P2001-144466)の分割
原出願日　平成13年5月15日 (2001.5.15)

(71)出願人　306037311
富士フイルム株式会社
東京都港区西麻布２丁目２６番３０号
(74)代理人　100073184
弁理士　柳田　征史
(74)代理人　100090468
弁理士　佐久間　剛
(72)発明者　大塚　尚
神奈川県足柄上郡開成町宮台７９８番地
富士フイルム株式会社内
(72)発明者　岡崎　洋二
神奈川県足柄上郡開成町宮台７９８番地
富士フイルム株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】レーザーダイオード励起固体レーザー

(57)【要約】
【課題】紫外光を連続発振させることができる高効率、高出力、低コストのレーザーダイオード励起固体レーザーを得る。
【解決手段】希土類元素イオンのうち少なくともEr^{3+}が添加された固体レーザー結晶14を、ＧａＮ系レーザーダイオード11から発せられたレーザービーム10によって励起し、そのとき固体レーザー結晶14における　$^4S_{3/2}$ → $^4I_{15/2}$　あるいは　$^2H_{9/2}$ → $^4I_{13/2}$　の遷移によって発生した固体レーザービーム20を光波長変換素子16に通して紫外域の第２高調波21等に波長変換する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
希土類元素イオンのうち少なくともＥｒ$^{3+}$が添加された固体レーザー結晶と、
ＩｎＧａＮ、ＩｎＧａＮＡｓあるいはＧａＮＡｓからなる活性層を有し、前記固体レーザー結晶を励起するレーザービームを発するレーザーダイオードと、
励起された前記固体レーザー結晶における $^{4}S_{3/2} \rightarrow {}^{4}I_{15/2}$ あるいは $^{2}H_{9/2} \rightarrow {}^{4}I_{13/2}$ の遷移によって発生した固体レーザービームを紫外光に波長変換する光波長変換素子とを有することを特徴とするレーザーダイオード励起固体レーザー。
【請求項２】
前記Ｅｒ$^{3+}$が添加された固体レーザー結晶における $^{4}S_{3/2} \rightarrow {}^{4}I_{15/2}$ の遷移によって波長がほぼ540ｎｍの固体レーザービームを発生させ、
この固体レーザービームを前記光波長変換素子により第２高調波に波長変換して波長がほぼ270ｎｍの紫外光を得る構成とされたことを特徴とする請求項１記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。
【請求項３】
前記Ｅｒ$^{3+}$が添加された固体レーザー結晶における $^{2}H_{9/2} \rightarrow {}^{4}I_{13/2}$ の遷移によって波長がほぼ554ｎｍの固体レーザービームを発生させ、
この固体レーザービームを前記光波長変換素子により第２高調波に波長変換して波長がほぼ277ｎｍの紫外光を得る構成とされたことを特徴とする請求項１記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。
【請求項４】
前記固体レーザー結晶が、希土類元素イオンとしてＥｒ$^{3+}$のみが添加されたものであることを特徴とする請求項１から３いずれか１項記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。
【請求項５】
前記光波長変換素子が、周期ドメイン反転構造を有する非線形光学結晶からなることを特徴とする請求項１から４いずれか１項記載のレーザーダイオード励起固体レーザー。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、固体レーザー結晶をレーザーダイオード（半導体レーザー）によって励起するレーザーダイオード励起固体レーザーに関し、特に詳細には、紫外光を得るように構成されたレーザーダイオード励起固体レーザーに関するものである。
【背景技術】
【０００２】
例えば紫外線リソグラフィーや、レーザー励起による生体細胞の蛍光分析等においては、紫外域で連続発振する高効率、高出力のレーザーが求められている。
【０００３】
そのような紫外レーザーの一つとして、ＩｎＧａＮ、ＩｎＧａＮＡｓあるいはＧａＮＡｓからなる活性層を有するＧａＮ系の半導体レーザーが知られている。このＧａＮ系の半導体レーザーとしては、近時、発振波長400 ｎｍ、出力数ｍＷで連続１０００時間発振するものも提供されている。
【０００４】
また、非線形光学結晶を用いたＳＨＧ（第２高調波発生）あるいはＴＨＧ（第３高調波発生）により発振光を短波長化して、波長400 ｎｍ以下の紫外域のレーザービームを得る波長変換固体レーザーも知られている。
【０００５】
しかしＧａＮ系の半導体レーザーにおいては、現状、多くの用途で求められる単一横モード発振で100 ｍＷ以上の出力を得ることは困難となっている。また波長380 ｎｍ以下で

は、発振効率が低下し、かつ寿命も大幅に短くなるという問題が認められている。

【０００６】

一方、ＳＨＧによって発振光を短波長化する波長変換固体レーザーでは、700～ 800ｎｍの波長帯で効率良く発振する固体レーザー媒質が見出されていないため、高出力を得るのが難しくなっている。

【０００７】

またＴＨＧによって発振光を短波長化する波長変換固体レーザーは、本来効率が低く、実際にはパルスモード発振しか実現されていない。それを連続モードで発振させるためには、基本波のＳＨＧ光を共振させる必要があるが、そのためには共振器を誤差0.01℃以下で高精度に温度調節しなければならず、コストを考えると実用化は極めて困難となっている。

【０００８】

上記の事情に鑑みて、本出願人は先に、発振した固体レーザービームを光波長変換素子により第２高調波に波長変換して紫外光を得るレーザーダイオード励起固体レーザーを提案した（特許文献１参照）。

【０００９】

このレーザーダイオード励起固体レーザーは、

希土類元素イオンのうち少なくともＰｒ$^{3+}$が添加された固体レーザー結晶と、

ＩｎＧａＮ、ＩｎＧａＮＡｓあるいはＧａＮＡｓからなる活性層を有し、前記固体レーザー結晶を励起するレーザービームを発するレーザーダイオードと、

前記固体レーザー結晶を励起して得られた固体レーザービームを紫外光に波長変換する光波長変換素子とを有することを特徴とするものである。

【特許文献１】特開２００１－３６１７５号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【００１０】

この特許文献１に示されるレーザーダイオード励起固体レーザーは前述した従来技術の問題を解決できるものであるが、その半面、ここで具体的に開示されている紫外光の波長は概ね360ｎｍに限られている。

【００１１】

そこで本発明は、360ｎｍを超えた波長範囲や、360ｎｍを下回る波長範囲の紫外光を連続発振させることができる高効率、高出力、低コストのレーザーダイオード励起固体レーザーを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１２】

本発明による一つのレーザーダイオード励起固体レーザーは、

希土類元素イオンのうち少なくともＨｏ$^{3+}$が添加された固体レーザー結晶と、

ＩｎＧａＮ、ＩｎＧａＮＡｓあるいはＧａＮＡｓからなる活性層を有し、前記固体レーザー結晶を励起するレーザービームを発するレーザーダイオードと、

励起された前記固体レーザー結晶における $^5S_2 \rightarrow {}^5I_7$、あるいは $^5S_2 \rightarrow {}^5I_8$ の遷移によって発生した固体レーザービームを紫外光に波長変換する光波長変換素子とを有することを特徴とするものである。

【００１３】

このＨｏ$^{3+}$が添加された固体レーザー結晶を用いる本発明によるレーザーダイオード励起固体レーザーは、より具体的には、例えば固体レーザー結晶における $^5S_2 \rightarrow {}^5I_7$ の遷移によって波長がほぼ750ｎｍの固体レーザービームを発生させ、この固体レーザービームを前記光波長変換素子により第２高調波に波長変換して波長がほぼ375 ｎｍの紫外光を得る構成とされる。

【００１４】

あるいは、Ｈｏ$^{3+}$が添加された固体レーザー結晶における $^5S_2 \rightarrow {}^5I_8$ の

遷によって波長がほぼ550 ｎｍの固体レーザービームを発生させ、この固体レーザービームを前記光波長変換素子により第２高調波に波長変換して波長がほぼ275 ｎｍの紫外光を得る構成をとることも可能である。

【００１５】

なお、上記Ho^{3+}が添加された固体レーザー結晶の励起波長は420ｎｍとされる。そしてこの固体レーザー結晶としては、希土類元素イオンとしてHo^{3+}のみが添加されたものを好適に用いることができる。

【００１６】

また、本発明による別のレーザーダイオード励起固体レーザーは、

希土類元素イオンのうち少なくともSm^{3+}が添加された固体レーザー結晶と、

ＩｎＧａＮ、ＩｎＧａＮＡｓあるいはＧａＮＡｓからなる活性層を有し、前記固体レーザー結晶を励起するレーザービームを発するレーザーダイオードと、

励起された前記固体レーザー結晶における $^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{5/2}$、$^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$、あるいは $^4F_{3/2} \rightarrow {}^6H_{11/2}$ の遷移によって発生した固体レーザービームを紫外光に波長変換する光波長変換素子とを有することを特徴とするものである。

【００１７】

このSm^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用いる本発明によるレーザーダイオード励起固体レーザーは、より具体的には、例えば固体レーザー結晶における $^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{5/2}$ の遷移によって波長がほぼ566ｎｍの固体レーザービームを発生させ、この固体レーザービームを前記光波長変換素子により第２高調波に波長変換して波長がほぼ283ｎｍの紫外光を得る構成とされる。

【００１８】

あるいは、Sm^{3+}が添加された固体レーザー結晶における $^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$ の遷移によって波長がほぼ615ｎｍの固体レーザービームを発生させ、この固体レーザービームを前記光波長変換素子により第２高調波に波長変換して波長がほぼ308ｎｍの紫外光を得る構成をとることも可能である。

【００１９】

さらには、Sm^{3+}が添加された固体レーザー結晶における $^4F_{3/2} \rightarrow {}^6H_{11/2}$ の遷移によって波長がほぼ650 ｎｍの固体レーザービームを発生させ、この固体レーザービームを前記光波長変換素子により第２高調波に波長変換して波長がほぼ325ｎｍの紫外光を得る構成をとることも可能である。

【００２０】

なお、上記Sm^{3+}が添加された固体レーザー結晶の励起波長は404ｎｍとされる。そしてこの固体レーザー結晶としては、希土類元素イオンとしてSm^{3+}のみが添加されたものを好適に用いることができる。

【００２１】

また、本発明によるさらに別のレーザーダイオード励起固体レーザーは、

希土類元素イオンのうち少なくともEu^{3+}が添加された固体レーザー結晶と、

ＩｎＧａＮ、ＩｎＧａＮＡｓあるいはＧａＮＡｓからなる活性層を有し、前記固体レーザー結晶を励起するレーザービームを発するレーザーダイオードと、

励起された前記固体レーザー結晶における $^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$ の遷移によって発生した固体レーザービームを紫外光に波長変換する光波長変換素子とを有することを特徴とするものである。

【００２２】

このEu^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用いる本発明によるレーザーダイオード励起固体レーザーは、より具体的には、例えば固体レーザー結晶における $^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$ の遷移によって波長がほぼ589ｎｍの固体レーザービームを発生させ、この固体レーザービームを前記光波長変換素子により第２高調波に波長変換して波長がほぼ295ｎｍの紫外光を得る構成とされる。

【００２３】
なお、上記Eu^{3+}が添加された固体レーザー結晶の励起波長は394ｎｍとされる。そしてこの固体レーザー結晶としては、希土類元素イオンとしてEu^{3+}のみが添加されたものを好適に用いることができる。
【００２４】
また、本発明によるさらに別のレーザーダイオード励起固体レーザーは、
希土類元素イオンのうち少なくともDy^{3+}が添加された固体レーザー結晶と、
ＩｎＧａＮ、ＩｎＧａＮＡｓあるいはＧａＮＡｓからなる活性層を有し、前記固体レーザー結晶を励起するレーザービームを発するレーザーダイオードと、
励起された前記固体レーザー結晶における$^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$あるいは$^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{11/2}$の遷移によって発生した固体レーザービームを紫外光に波長変換する光波長変換素子とを有することを特徴とするものである。
【００２５】
このDy^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用いる本発明によるレーザーダイオード励起固体レーザーは、より具体的には、例えば固体レーザー結晶における$^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$の遷移によって波長がほぼ572ｎｍの固体レーザービームを発生させ、この固体レーザービームを前記光波長変換素子により第２高調波に波長変換して波長がほぼ286ｎｍの紫外光を得る構成とされる。
【００２６】
あるいは、Dy^{3+}が添加された固体レーザー結晶における$^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{11/2}$の遷移によって波長がほぼ664ｎｍの固体レーザービームを発生させ、この固体レーザービームを前記光波長変換素子により第２高調波に波長変換して波長がほぼ332ｎｍの紫外光を得る構成をとることも可能である。
【００２７】
なお、上記Dy^{3+}が添加された固体レーザー結晶の励起波長は390ｎｍとされる。そしてこの固体レーザー結晶としては、希土類元素イオンとしてDy^{3+}のみが添加されたものを好適に用いることができる。
【００２８】
また、本発明によるさらに別のレーザーダイオード励起固体レーザーは、
希土類元素イオンのうち少なくともEr^{3+}が添加された固体レーザー結晶と、
ＩｎＧａＮ、ＩｎＧａＮＡｓあるいはＧａＮＡｓからなる活性層を有し、前記固体レーザー結晶を励起するレーザービームを発するレーザーダイオードと、
励起された前記固体レーザー結晶における$^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$あるいは$^2H_{9/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$の遷移によって発生した固体レーザービームを紫外光に波長変換する光波長変換素子とを有することを特徴とするものである。
【００２９】
このEr^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用いる本発明によるレーザーダイオード励起固体レーザーは、より具体的には、例えば固体レーザー結晶における$^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$の遷移によって波長がほぼ540ｎｍの固体レーザービームを発生させ、この固体レーザービームを前記光波長変換素子により第２高調波に波長変換して波長がほぼ270ｎｍの紫外光を得る構成とされる。
【００３０】
あるいは、Er^{3+}が添加された固体レーザー結晶における$^2H_{9/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$の遷移によって波長がほぼ554ｎｍの固体レーザービームを発生させ、この固体レーザービームを前記光波長変換素子により第２高調波に波長変換して波長がほぼ277ｎｍの紫外光を得る構成をとることも可能である。
【００３１】
なお、上記Er^{3+}が添加された固体レーザー結晶の励起波長は406ｎｍ、あるいは380ｎｍとされる。そしてこの固体レーザー結晶としては、希土類元素イオンとしてEr^{3+}のみが添加されたものを好適に用いることができる。

【００３２】
一方前述の光波長変換素子としては、周期ドメイン反転構造を有する非線形光学結晶からなるものを好適に用いることができる。
【発明の効果】
【００３３】
Ho^{3+}がドープされたＹＡＧ結晶等の固体レーザー結晶は、ＧａＮ系レーザーダイオードにより励起されて（励起波長は420ｎｍ）、$^5S_2 \rightarrow {}^5I_7$ の遷移によって近赤外領域の固体レーザービームを発生させる。そこで、この固体レーザービームを光波長変換素子により第２高調波に波長変換すれば、360ｎｍを超える波長の高強度の紫外光を得ることができる。つまり、上記の遷移によって例えば約750ｎｍの波長の固体レーザービームを発生させることができるので、この固体レーザービームを第２高調波に波長変換すれば、約375ｎｍの波長の高強度の紫外光を得ることが可能となる。
【００３４】
さらに、このHo^{3+}がドープされた固体レーザー結晶は、ＧａＮ系レーザーダイオードにより励起されて、$^5S_2 \rightarrow {}^5I_8$ の遷移によって波長がほぼ550 ｎｍの固体レーザービームを発生させる。そこで、この固体レーザービームを光波長変換素子により第２高調波に波長変換すれば、360ｎｍを下回る波長275ｎｍの高強度の紫外光を得ることができる。
【００３５】
なお、特に上述のように固体レーザービームを第２高調波に波長変換する場合は、第３高調波を発生させる場合のように構成が複雑化することがなく、低コストのレーザーダイオード励起固体レーザーが実現される。
【００３６】
その他に、Sm^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用いる本発明のレーザーダイオード励起固体レーザーにおいては、前述した通り、例えば励起波長を404ｎｍとして、波長がほぼ566ｎｍ、615ｎｍあるいは650ｎｍの固体レーザービームを発生させ得るので、それらを各々第２高調波に波長変換して波長がほぼ283ｎｍ、308ｎｍあるいは325ｎｍの紫外光を得ることができる。
【００３７】
また、Eu^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用いる本発明のレーザーダイオード励起固体レーザーにおいては、前述した通り、例えば励起波長を394ｎｍとして、波長がほぼ589ｎｍの固体レーザービームを発生させ得るので、それを第２高調波に波長変換して波長がほぼ295ｎｍの紫外光を得ることができる。
【００３８】
また、Dy^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用いる本発明のレーザーダイオード励起固体レーザーにおいては、前述した通り、例えば励起波長を390ｎｍとして、波長がほぼ572ｎｍあるいは664ｎｍの固体レーザービームを発生させ得るので、それらを各々第２高調波に波長変換して波長がほぼ286ｎｍあるいは332ｎｍの紫外光を得ることができる。
【００３９】
さらに、Er^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用いる本発明のレーザーダイオード励起固体レーザーにおいては、前述した通り、例えば励起波長を406ｎｍあるいは380ｎｍとして、波長がほぼ540ｎｍあるいは554ｎｍの固体レーザービームを発生させ得るので、それらを各々第２高調波に波長変換して波長がほぼ270ｎｍあるいは277ｎｍの紫外光を得ることができる。
【００４０】
そして上に説明した通り、Ho^{3+}、Sm^{3+}、Eu^{3+}、Dy^{3+}およびEr^{3+}は波長380～420ｎｍに吸収帯があるが、この吸収帯は現在提供されているＧａＮ系レーザーダイオードが発振しやすい波長帯であり、特に400～410ｎｍは現在提供されているＧａＮ系レーザーダイオードの最大出力が得られる波長帯であるので、このHo^{3+}、Sm^{3+}、Eu^{3+}、Dy^{3+}あるいはEr^{3+}をＧａＮ系レーザーダイオードによって励起する

ようにした本発明のレーザーダイオード励起固体レーザーは、励起光の吸収量が大きくて、高効率化および高出力化を達成できるものとなる。

【００４１】

一方、ＧａＮ系レーザーダイオードは熱伝導係数が130 Ｗ／ｍ℃と、ＺｎＭｇＳＳｅ系レーザーダイオードの４Ｗ／ｍ℃等と比べて極めて大きい。またそれに加えて、転移の移動度もＺｎＭｇＳＳｅ系レーザーダイオードと比べて非常に小さいことから、ＣＯＤ（カタストロフィック・オプティカル・ダメージ）が非常に高く、高寿命、高出力が得やすいものである。このような特性のＧａＮ系レーザーダイオードを励起光源として用いたことにより、本発明のレーザーダイオード励起固体レーザーは、高寿命で、高出力の紫外域のレーザービームを発生可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００４２】

以下、図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。

【００４３】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。図１は、本発明の第１の実施の形態によるレーザーダイオード励起固体レーザーを示すものである。このレーザーダイオード励起固体レーザーは、励起光としてのレーザービーム10を発するレーザーダイオード11と、発散光である上記レーザービーム10を集光する例えば屈折率分布型レンズからなる集光レンズ13と、Ho^{3+}が例えば１ａｔ％ドープされた固体レーザー媒質である$Y_3Al_5O_{12}$結晶（以下、Ｈｏ：ＹＡＧ結晶と称する）14と、このＨｏ：ＹＡＧ結晶14の前方側（図中右方側）に配された共振器ミラー15と、Ｈｏ：ＹＡＧ結晶14と共振器ミラー15との間に配された光波長変換素子16およびエタロン17とを有している。

【００４４】

以上述べた要素14～17は、例えば銅からなる共通のマウント30に取り付けられ、このマウント30は温度調節手段を構成するペルチェ素子31の上に固定されている。またレーザーダイオード11と集光レンズ13もそれぞれ銅等からなるマウント32、33に取り付けられ、これらのマウント32、33もペルチェ素子31の上に固定されている。このペルチェ素子31は、光出射窓35を有する密閉型ケース36の中に収納されている。

【００４５】

そして、マウント30に取り付けられたサーミスタ34が出力する温度検出信号に基づいて図示外の温度制御回路によりペルチェ素子31の駆動が制御されて、レーザーダイオード11および固体レーザー共振器（後述のようにＨｏ：ＹＡＧ結晶14および共振器ミラー15によって構成される）内の要素が全て共通の所定温度に制御される。

【００４６】

光波長変換素子16は、非線形光学材料である、ＭｇＯがドープされた$LiNbO_3$結晶に周期ドメイン反転構造が設けられてなるものである。本例の場合、周期ドメイン反転構造の周期は、後述の基本波波長 750ｎｍおよび第２高調波波長 375ｎｍに対して１次の周期となるように2.0μｍとされている。また波長選択素子としてのエタロン17は、固体レーザーを単一縦モード発振させて低ノイズ化を実現する。

【００４７】

レーザーダイオード11としては、ＩｎＧａＮ活性層を有し、波長 420ｎｍで発振するブロードエリア型のものが用いられている。

【００４８】

またＨｏ：ＹＡＧ結晶14の光入射面である後方端面14ａには、波長 420ｎｍの光は80％以上の透過率で良好に透過させる一方、Ho^{3+}の１つの発振線である波長750ｎｍに対して高反射率（反射率99％以上さらに好ましくは99.9％以上）で、Ho^{3+}の750ｎｍ以外の発振線550ｎｍ、980ｎｍ、1010ｎｍおよび1210ｎｍに対しては低反射率（反射率60％以下さらに好ましくは30％以下）のコーティングが施されている。一方Ｈｏ：ＹＡＧ結晶14の前方端面14ｂには、波長750ｎｍに対して低反射率（反射率0.2％以下）で、その第２高調波波長375ｎｍに対しては高反射率（反射率95％以上）のコーティングが施されてい

る。

【００４９】

そして共振器ミラー15のミラー面15ａには、波長750ｎｍの光に対して高反射率（99％以上さらに好ましくは99.9％以上）で、波長375ｎｍの光を95％以上透過させ、上記750ｎｍ以外の発振線550ｎｍ、980ｎｍ、1010ｎｍおよび1210ｎｍに対しては低反射率（60％以下さらに好ましくは30％以下）のコーティングが施されている。

【００５０】

レーザーダイオード11から発せられた波長420ｎｍのレーザービーム10は、上記端面14ａを透過してＨｏ：ＹＡＧ結晶14に入射する。Ｈｏ：ＹＡＧ結晶14はこのレーザービーム10によってHo^{3+}が励起されることにより、波長750ｎｍの光を発する。このときの遷移は、$^5S_2 \rightarrow {}^5I_7$ である。そしてＨｏ：ＹＡＧ結晶14の後方端面14ａと共振器ミラー15のミラー面15ａとで構成される共振器によりレーザー発振が引き起こされて、波長750ｎｍの固体レーザービーム20が得られる。このレーザービーム20は光波長変換素子16に入射して、波長が１／２すなわち375ｎｍの第２高調波21に変換される。

【００５１】

共振器ミラー15のミラー面15ａには前述の通りのコーティングが施されているので、この共振器ミラー15からはほぼ第２高調波21のみが出射する。この第２高調波21は、光出射窓35を透過して密閉型ケース36の外に出射する。

【００５２】

本実施の形態のレーザーダイオード励起固体レーザーは、上記の通りＨｏ：ＹＡＧ結晶14をＩｎＧａＮレーザーダイオード11によって励起する構成を有するので、先に詳しく説明した理由により、高効率化、高出力化が実現される。具体的には、レーザーダイオード11の出力が300ｍＷの場合において、第２高調波21の出力は40ｍＷであった。

【００５３】

以上、ＣＷ動作について説明したが、Ｑスイッチ素子を共振器内に挿入することで、パルス動作にはなるが、波長変換効率を高め、より高い出力を得ることも可能である。あるいは、ＧａＮ系レーザーダイオードは高いＣＯＤを有することから、励起用レーザーダイオードをパルス駆動することで、同様に高効率、高出力の紫外パルス光を得ることも可能である。

【００５４】

また、上述のＨｏ：ＹＡＧ結晶14は、ＧａＮ系レーザーダイオードにより励起されて（励起波長は同様に420ｎｍ）、$^5S_2 \rightarrow {}^5I_8$ の遷移によって波長がほぼ550 ｎｍの固体レーザービームを発生させる。そこで、この固体レーザービームを光波長変換素子16により第２高調波に波長変換すれば、波長275ｎｍの高強度の紫外光を得ることができる。

【００５５】

その他に、前述した通りSm^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用い、励起波長を404ｎｍとして波長がほぼ566ｎｍ、615ｎｍあるいは650ｎｍの固体レーザービームを発生させ、それらを第２高調波に波長変換して波長がほぼ283ｎｍ、308ｎｍあるいは325ｎｍの紫外光を得ることもできる。このSm^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用いる場合は、上記Ho^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用いる場合と並んで、特に高い出力を得ることができる。

【００５６】

また、Eu^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用い、励起波長を394ｎｍとして、波長がほぼ589ｎｍの固体レーザービームを発生させ、それを第２高調波に波長変換して波長がほぼ295ｎｍの紫外光を得ることもできる。

【００５７】

また、Dy^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用い、励起波長を390ｎｍとして波長がほぼ572ｎｍあるいは664ｎｍの固体レーザービームを発生させ、それらを第２高調波に波長変換して波長がほぼ286ｎｍあるいは332ｎｍの紫外光を得ることもできる。その中で

も特に664ｎｍの固体レーザービームを発生させる場合は、高い出力を得ることができる。

【００５８】

さらに、Er^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用い、励起波長を406ｎｍあるいは380ｎｍとして、波長がほぼ540ｎｍあるいは554ｎｍの固体レーザービームを発生させ、それらを第２高調波に波長変換して波長がほぼ270ｎｍあるいは277ｎｍの紫外光を得ることもできる。

【００５９】

そのようにSm^{3+}、Eu^{3+}、Dy^{3+}あるいはEr^{3+}が添加された固体レーザー結晶を用いる場合も、前述のＨｏ：ＹＡＧ結晶14に代えて適宜そのような固体レーザー結晶を用い、それぞれの場合の励起波長、発振波長および第２高調波波長に応じて前記コーティングを変えるだけで、基本的には図１の構成を採用することができる。

【００６０】

また、上ではＩｎＧａＮから活性層を構成したレーザーダイオードについて説明したが、ＩｎＧａＮＡｓ系材料あるいはＧａＮＡｓ系材料から活性層を構成したレーザーダイオードを励起用光源として用いることも可能である。

【００６１】

またレーザー母材結晶としては、上の実施の形態で用いた$Y_3Al_5O_{12}$（ＹＡＧ）に限らず、BaY_2F_8、Ｂａ（Ｙ，Ｙｂ）$_2F_8$、LaF_3、Ｃａ（NbO_3）$_2$、$CaWO_4$、$SrMoO_4$、$YAlO_3$（ＹＡＰ）、$LiYF_4$（ＹＬＦ）、Y_2SiO_5、YP_5O_{14}、LaP_5O_{14}、$LuAlO_3$、$LaCl_3$、$LaBr_3$、$PrBr_3$等を用いることもできる。

【００６２】

一方光波長変換素子の周期ドメイン反転構造には、１次の周期に限らず、３次の周期を適用してもよい。750ｎｍ発振の時の３次周期は、6.0μｍとなる。また光波長変換素子としては、周期ドメイン反転構造を有するものに限らず、Ｂ－$BaBO_3$、ＬＢＯ、ＣＬＢＯ、ＧｄＹＣＯＢ、ＹＣＯＢ等からなるものを用いることもできる。さらに励起用レーザーダイオードとしては、ブロードエリア型のものだけでなく、ＭＯＰＡ、α－ＤＦＢ構造を有するもの等も同様に適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【００６３】

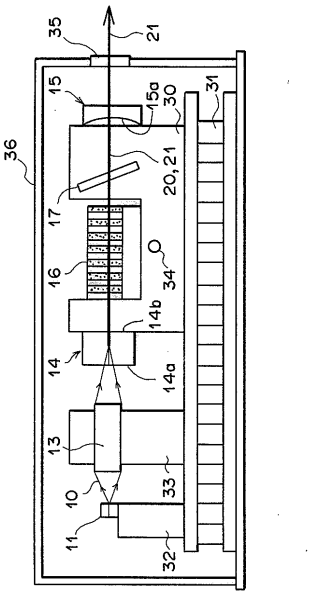
【図１】本発明の一実施の形態によるレーザーダイオード励起固体レーザーを示す概略側面図

【符号の説明】

【００６４】

10　レーザービーム（励起光）
11　ＩｎＧａＮ系レーザーダイオード
13　集光レンズ
14　Ｈｏ：ＹＡＧ結晶
14ａ　Ｈｏ：ＹＡＧ結晶の後方端面
14ｂ　Ｈｏ：ＹＡＧ結晶の前方端面
15　共振器ミラー
15ａ　共振器ミラーのミラー面
16　光波長変換素子
17　エタロン
20　固体レーザービーム
21　第２高調波
30、32、33　マウント
31　ペルチェ素子

【図１】



フロントページの続き

(72)発明者　加藤　隆之
神奈川県足柄上郡開成町宮台７９８番地　富士フイルム株式会社内

Ｆターム(参考) 2K002 AB12 BA01 CA03 FA27 HA20
5F172 AF03 EE13 EE19 NQ43 NQ62
5F173 AH22 MA07 MF17 MF28