#### (19) 日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3584450号 (P3584450)

(45) 発行日 平成16年11月4日(2004.11.4)

(24) 登録日 平成16年8月13日 (2004.8.13)

- (51) Int.C1.<sup>7</sup>
  - HO1S 3/16

HO1S 3/16

FΙ

請求項の数 18 (全 15 頁)

(21) 出願番号 (22) 出願日 (65) 公開番号	特願平7-59202 平成7年3月17日 (1995.3.17) 特開平8-255946	(73) 特許権者	6 000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(43) 公開日	平成8年10月1日(1996.10.1)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成13年11月26日(2001.11.26)	(74)代理人	并埋士 長谷川 芳樹 100089978
		() - <i>y</i> + <b>(</b> = <i>y</i> +	弁理士 塩田 辰也
		(74) 代理人	100092657
		(74)代理人	开理士 守崎 史朗 100094318
		(1) 10 270	弁理士 山田 行一
		(72) 発明者	塩見 弘
			兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友
			电戏工来体式云位 伊万袋作所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザー発振素子及びレーザー発振装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ダイヤモンドに、希土類金属原子又は希土類金属原子を含む化合物が添加されたドープダ イヤモンドから成る発振部分を備えることを特徴とするレーザー発振素子。

【請求項2】

前記希土類金属原子が、ネオジム原子(Nd)と、サマリウム原子(Sm)と、ユウロピ ウム原子(Eu)と、イッテルビウム原子(Yb)とから成る群より選択される原子を含 むことを特徴とする請求項1に記載のレーザー発振素子。

【請求項3】

前記希土類金属原子がエルビウム原子(Er)を含むことを特徴とする<u>請求項1</u>に記載の 10 レーザー発振素子。

【請求項4】

前記ドープダイヤモンド中における前記エルビウム原子(Er)の前記濃度が、1ppm ~50,000ppmの範囲にあることを特徴とする請求項3に記載のレーザー発振素子

【請求項5】

前記ドープダイヤモンドが更に、1 p p m 以上の濃度で窒素原子(N)を含有することを 特徴とする請求項3又は4のいずれかに記載のレーザー発振素子。

【請求項6】

前記窒素原子(N)の前記濃度が100ppm~50,000ppmの範囲にあることを 20

特徴とする請求項5に記載のレーザー発振素子。 【請求項7】 前記ドープダイヤモンドが更に、1ppm以上の濃度でホウ素原子(B)を含有すること を特徴とする請求項3又は4のいずれかに記載のレーザー発振素子。 【請求項8】 前記ホウ素原子(B)の前記濃度が100ppm~50,000ppmの範囲にあること を特徴とする請求項7に記載のレーザー発振素子。 【請求項9】 前記ドープダイヤモンドが更に、1ppm以上の濃度でホウ素原子(B)を含むことを特 徴とする請求項5に記載のレーザー発振素子。 10 【請求項10】 前記窒素原子の前記濃度が100ppm~100,000ppmの範囲にあり、且つ、前 記ホウ素原子の前記濃度が100ppm~100,000ppmの範囲にあることを特徴 とする請求項9に記載のレーザー発振素子。 【請求項11】 添加物を含まないダイヤモンドから成る層を更に備えることを特徴とする請求項1~10 のいずれかに記載のレーザー発振素子。 【請求項12】 前記発振部分が、前記発振部分から発せられる光を反射する膜を更に備えることを特徴と する請求項1~11のいずれかに記載のレーザー発振素子。 20 【請求項13】 前記レーザー発振素子が、pn接合構造と、ショットキー接合構造と、MIS構造とから 成る群より選択される構造を内部に有し、且つ、電極を更に有することを特徴とする請求 項1~12のいずれかに記載のレーザー発振素子。 【請求項14】 ダイヤモンドに希土類金属原子又は希土類原子を含む化合物が添加されたドープダイヤモ ンドから成る発振部分を含む発振素子と、 添加物を含まないダイヤモンドから成り、前記発振素子が装着される放熱部分とを備える ことを特徴とするレーザー発振装置。 【請求項15】 30 前記放熱部分が、凹凸が形成された表面を有することを特徴とする請求項14に記載のレ ーザー発振装置。 【請求項16】 前記放熱部分が、1000W/mK以上の熱伝導率を有することを特徴とする請求項14 に記載のレーザー発振装置。 【請求項17】 前記発振素子に光学的に接続される第2の発振素子を更に備えることを特徴とする請求項 14に記載のレーザー発振装置。 【請求項18】 前記発振素子が、pn接合構造と、ショットキー接合構造と、MIS構造とから成る群よ 40 り選択される構造を内部に有し、且つ、電極を更に有することを特徴とする請求項14に 記載のレーザー発振装置。 【発明の詳細な説明】 [0001]【産業上の利用分野】 本発明は、ダイヤモンドを用いた固体レーザー発振素子及び発振装置に関する。 [0002]【従来の技術】 近年の光通信技術の著しい進歩に伴い、より長距離を、より大容量で伝送可能な光伝送技

術が求められている。例えば、1本の光ファイバの中に複数の信号を同時に伝送する光多 50

重通信技術や、光信号を、強度変調ではなく位相又は周波数変調によって発生させて伝送 する高感度なコヒーレント光通信技術の開発が重要になりつつある。 [0003]

(3)

このような状況においては、伝送される光信号の絶対波長(周波数)にも精度の高さが要 求される。例えば、コヒーレント光周波数分割多重(光FDM;freauency d ivision multiplexing )伝送方式においては、5GHz程度の周 波数間隔で10チャンネル以上の光信号を伝送する方式が提案されている。この方式に基 づく光FDM伝送実験の多くでは、基準となる一つの光源の絶対波長を安定化させ、更に 他の光源の周波数を、基準光源との周波数間隔に関して一定にさせることにより、伝送周 波数を安定化する。

[0004]

このような伝送方式の光源として、各種の化合物半導体レーザが提案され、特にGaAs またはInPを基板としたIII-V族化合物半導体レーザを中心に、半導体レーザーの 実用化が進んでいる。しかし、半導体レーザーでは半導体のバンド発光を利用するため、 電子の運動量に起因して発振波長が広がる傾向をもつこと、並びに、発振波長が温度に依 存することが、周波数を安定させるための大きな障害となっている。

[0005]

この問題に対して、エルビウム(Er)やイッテルビウム(Yb)等の希土類金属を活性 層にドーピングした半導体レーザが検討されている。この希土類ドープの半導体レーザの 代表例として、ErをInGaAsP/InPダブルヘテロ構造の活性層にドーピングし たレーザー発振素子がTsang らにより報告されている(Tsang,w.t.,e t.al., Applied Physics Letters, 49(25), pp .1686-1688, 22 Dec.1986;文献1) 。この半導体素子に電流 注入を行うと、 Er<sup>+3</sup>の励起準位から基底準位への光学遷移が半導体素子内で支配的に 起こり、レーザ発振を生ずる。

[0006]

この他にも、Er等の希土類をドープした半導体によるレーザー発振素子及びレーザー発 振装置には、Siを基材として用いたもの(Rogers,J.L.,et.al.,J ounal of Vacuum Science and Technology, A 12(5),pp.2762-2766,Sep./Oct. 1994 ;文献2) 、GaAs系III-V族半導体を基材としたもの(Takahei,K.,et.a 1., Journal of Applied Physics, 76(7), pp.4 332-4339,1 Oct. 1994;文献3、特開昭64-74783;文献4 、特開平3-227092;文献5) 、窒化物系III-V族半導体(Choyke, W.J., et.al., Applied Physics Letters, 65(1 3),pp.1668-1670,26 Sept.1994;文献6) 、SiC(W ilson,R.G.,et.al,ibid,65(8),pp.992-994,2 1994 ;文献7) 等が挙げられ、これらの他にも様々な試みが報告 2 Aug. されている(例えば、特開平5-291655;文献8、特開平6-216446;文献 9、特開平6-216455;文献10、特開平6-219776;文献11)。 [0007]

【発明が解決しようとする課題】

しかし、しかし、Tsang ら(文献1)の半導体レーザー素子の動作はパルス発振に とどまっており、高い発光効率により、高い利得を得て連続発振するには至っていない。 また、文献2、3、6、7に記載されるレーザー発振素子も、発光を確認するに留ってお り、これらレーザー発振素子を実用化するための提案はなされていない。更に、文献4、 5、8~11に記載される半導体レーザーでは、機械的衝撃を受けた際等に生じる発振波 長の変動の問題点に対して素子自体の改善はなされておらず、実用的なレーザー発振素子 を提供するには至っていない。

 $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 8 \end{bmatrix}$ 

50

10

20

30

従って、本発明の目的は、室温において連続発振可能で且つ発振周波数の安定したレーザ 発振素子を提供することにある。 [0009]本発明の他の目的は、小型で且つ信頼性の高い絶対波長レーザー発振装置を実用的なレベ ルで提供することにある。 [0010]【課題を解決するための手段】 本発明のレーザー発振素子は、ダイヤモンドに、希土類金属原子又は希土類金属原子を含 む化合物が添加されたドープダイヤモンドから成る発振部分を備えることを特徴とする。 10 また、本発明のレーザー発振素子は、希土類金属原子が、ネオジム原子(Nd)と、サマ リウム原子(Sm)と、ユウロピウム原子(Eu)と、イッテルビウム原子(Yb)とか ら成る群より選択される原子を含むことを特徴としてもよい。 [0012]また、本発明のレーザー発振素子は、希土類金属がエルビウム原子(Er)を含むことを 特徴としてもよい。 [0013]また、本発明のレーザー発振素子は、ドープダイヤモンド中におけるエルビウム原子(E r)の濃度が、1ppm~50,000ppmの範囲にあることを特徴としてもよい。 [0014]20 また、本発明のレーザー発振素子は、ドープダイヤモンドが更に、1ppm以上の濃度で 窒素原子(N)を含有することを特徴としてもよく、且つ1ppm以上の濃度でホウ素原 子(B)を含んでいてもよい。 【0015】 また、本発明のレーザー発振素子は、窒素原子(N)の濃度が100ppm~50,00 0 p p m の範囲にあることを特徴としてもよい。 [0016]また、本発明のレーザー発振素子は、ドープダイヤモンドが更に、1ppm以上の濃度で ホウ素原子(B)を含有することを特徴としてもよい。 [0017]30 また、本発明のレーザー発振素子は、ホウ素原子(B)の濃度が100ppm~50,0 00ppmの範囲にあることを特徴としてもよい。 [0018]また、本発明のレーザー発振素子は、窒素原子の濃度が100ppm~100,000p pmの範囲にあり、且つ、ホウ素原子の濃度が100ppm~100,000ppmの範 囲にあることを特徴としてもよい。 [0019]また、本発明のレーザー発振素子は、添加物を含まないダイヤモンドから成る層を更に備 えることを特徴としてもよい。 [0020]40 また、本発明のレーザー発振素子は、発振部分が、発振部分から発せられる光を反射する 膜を更に備えることを特徴としてもよい。 [0021]また、本発明のレーザー発振素子は、レーザー発振素子が、pn接合構造と、ショットキ 一接合構造と、MIS構造とから成る群より選択される構造を内部に有し、且つ、電極を 更に有することを特徴としてもよい。 [0022]本発明のレーザー発振装置は、ダイヤモンドに希土類金属原子又は希土類原子を含む化合 物が添加されたドープダイヤモンドから成る発振部分を含む発振素子と、添加物を含まな いダイヤモンドから成り、発振素子が装着される放熱部分とを備えることを特徴とする。

[0023]

また、本発明のレーザー発振装置は、放熱部分が、凹凸が形成された表面を有することを 特徴としてもよい。 【0024】 また、本発明のレーザー発振装置は、放熱部分が、1000W/mK以上の熱伝導率を有

することを特徴としてもよい。

【0025】

また、本発明のレーザー発振装置は、発振素子に光学的に接続される第2の発振素子を更 に備えることを特徴としてもよい。

[0026]

10

また、本発明のレーザー発振装置は、発振素子が、 pn 接合構造と、ショットキー接合構 造と、MIS構造とから成る群より選択される構造を有し、且つ、電極を更に有すること を特徴としてもよい。

【 0 0 2 7 】

【作用】

本発明のレーザ発振素子は、レーザ発振部分の基材として非常に硬質であるダイヤモンド を用いているため、機械的衝撃の際等に生じるレーザー発振素子自身の発振波長の変動の 問題が著しく低減される。

[0028]

また、本発明のレーザ発振素子の基材であるダイヤモンドは、そのバンドギャップが5.20 5 e V と大きいため、ダイヤモンドに注入されたキャリア又は照射された励起光が内部で 自己消費されにくい。

【0029】

また、本発明のレーザ発振素子の基材であるダイヤモンドは、その光学遷移が間接遷移で あるため、注入されたキャリアあるいは照射された励起光が内部のバンド遷移による自己 消費が生じにくい。また、ダイヤモンドの結晶格子は小さいため、この結晶格子を占める 炭素原子と添加された希土類金属原子との相互作用は無視できる程度である。

【 0 0 3 0 】

更に、本発明のレーザ発振素子の基材であるダイヤモンドは、その熱伝導率が高いため、

素子を過熱させることなく、発振させるためのキャリアを高密度でドープダイヤモンドに 30 注入できる。

【0031】

また、本発明のレーザー発振素子において、希土類金属原子ドープダイヤモンドが窒素原 子を含有する態様では、この窒素原子が、希土類金属原子のダイヤモンド中でのイオン化 を促進する。

【0032】

また、本発明のレーザー発振素子において、希土類金属原子ドープダイヤモンドがホウ素 (ボロン)原子を含有する態様では、このホウ素原子が、希土類金属原子のダイヤモンド 中でのイオン化を促進する。

【0033】

40

更に、本発明のレーザー発振素子において、希土類金属原子ドープダイヤモンドが窒素原 子とホウ素原子とを共に含有する態様では、原子半径の大きな窒素と原子半径の小さなホ ウ素との間で相互にストレスの緩和が生じる。従って、ダイヤモンドの結晶性が損なわれ ずに高いレベルでドープを行うことが可能となる。また、窒素とホウ素は共に希土類金属 原子のダイヤモンド中でのイオン化を促進する。

【 0 0 3 4 】

本発明のレーザー発振装置は、希土類金属がドープされたドープダイヤモンドから成る発振部分を備えるレーザー発振素子と、ダイヤモンドから成る放熱部分とを備える。この放熱部分は、熱伝導率の高いダイヤモンドから成るため、発光により発熱するレーザー発振 素子等から効果的に熱を吸収する。従って、長時間の連続発光においてもレーザー発振装

10

20

30

40

(6)

置は過熱することなく安定した発光を持続できる。 [0035]また、本発明のレーザー発振装置の放熱部分は発振素子の発振部分と同じダイヤモンド製 であるため、発振部分の形成のための装置をそのまま用いて容易に放熱部分を形成するこ とができる。 [0036]【実施例】 以下、添付した図面を参照して本発明の実施例を説明する。尚、各図面において同一の要 素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。 [0037]まず、本発明のレーザー発振素子の動作に関して、更に詳細に説明をする。 [0038]ドープダイヤモンドに電流又は光によるエネルギーが入力されれば、ドープダイヤモンド に含まれる希土類金属原子が励起準位から基底準位への光学遷移を生じ、希土類金属のス ピン分裂軌道間の内殻遷移に対応した波長での発光が生じる。例えば、Er<sup>+3</sup>(4f<sup>1</sup> <sup>1</sup>)では<sup>4</sup> I<sub>13/2</sub> <sup>4</sup> I<sub>15/2</sub> 遷移により波長1.536µmの発光が生じる 。この遷移による1.536µmという波長は、各種の光通信システムに多用される石英 ファイバの最小損失波長域に近いため、光通信システムに有効に利用できる。また、ネオ ジウム (Nd) も1.06 µ m、1.3 µ m 付近で発光し、これらの波長は光通信システ ムヘ有効に利用することが可能な範囲にある。 [0039]また、Erとイッテルビウム原子(Yb)とを共にダイヤモンドにドープすることにより 、上記のErの発光の強度を上昇させることができ、また、Er:Ybのドープの比率を 変えることにより、発振波長を調整することも可能である。 ちなみに、これらドープされた希土類金属原子の光学遷移挙動に関しては、前出のTsa ng らの文献1にも記載され、ErがドープされたInGaAsPレーザーから波長1 536µmの発光が観察されていることが報告されている。 [0041]また、本発明のレーザー発振素子は、温度変化に対しても本質的な波長の変動はなく、温 度変化に伴うドープダイヤモンド自身の屈折率変化によって僅かな波長の変動を伴うのみ である。 [0042]本発明のレーザー発振素子は、上記の発振部分を励起させる方式の点で2つの態様が可能 である。第1の態様は、別に設けた励起用レーザによる励起光を発振部分に入射させて、 発振部分を発振させ発光させる態様である。この態様においては、発振素子にレーザ共振 構造を形成して、この構造の中に発振部分で生じた光を閉じ込めて光出力密度を高めるこ とにより、放出光強度を増加し利得を増大させることが可能になる。また、第2の態様は 、発振部分に対して、pn接合、ショットキー接合あるいはMIS構造等、直接電流を注 入できる構造を形成する。この態様では、ダイヤモンドに注入されたキャリアがErを励 起して発振部分を発光させる。 [0043]以下、本発明に従ったレーザー発振素子及びレーザー発振装置の具体例を例示する。 [0044](実施例1) 本実施例では、別に設けた励起用レーザによる励起光を発振部分に入射させて、レーザー 発振素子の発振部分を発振させ発光させる態様のレーザー発振装置を例示する。図1は、

、(b)は上面図、(c)は正面図である。本実施例のレーザー発振装置は、図1に示されるように、本実施例で作製されたレーザー発振装置10は、レーザー発振素子12と、 50

本実施例において作製されたレーザ発振装置を模式的に表した図であり、(a)は側面図

ダイヤモンドから成る放熱部分(ヒートシンク)14と、レーザー発振素子12を励起す るための励起用半導体レーザー16と、レーザー発振素子から放出された光を伝達する光 ファイバ18とから成る。本実施例のレーザー発振素子12は、ダイヤモンドにエルビウ ム原子(Er)をドープしたErドープダイヤモンドから成る発振部分と、このErドー プダイヤモンドの端面に形成された弗化マグネシウム / ゼオライト系のハーフミラーとか ら成る。 [0045]以下、本実施例のレーザー発振装置の作製の手順を説明する。 [0046](1)レーザー発振素子(Erドープダイヤモンド)の形成 10 まず、マイクロ波プラズマCVD法によりダイヤモンド膜を合成した。次いで、合成され たダイヤモンド膜に対して、イオン注入法によりErを注入し、Erドープダイヤモンド 膜を形成して、発振部分を形成し、この端面にハーフミラーをコーティングにより形成し てレーザー発振素子を作製した。 [0047]ダイヤモンド合成には、周知のマイクロ波プラズマCVD装置内で行われた。 ダイヤモンドの合成のためのマイクロ波プラズマCVD法の操作条件は以下の通りであっ た; マイクロ波周波数 2.45(GHz) 水素ガス(H 。 )流量 200 (sccm) 20 メタンガス(CH₄ )流量 6 ( s c c m ) 圧力 100(Torr) マイクロ波出力 300(W) 基板温度 1100() 成長時間 25 (hrs) 形成されたダイヤモンド膜厚 100 (µm)。 [0048]このマイクロ波プラズマCVD法は、電力を局所的に集中させやすく高密度のプラズマが 得られる点で、本発明のダイヤモンドの合成には好ましいが、この他にも、熱フィラメン トCVD法やイオンビーム蒸着法、グラファイトをターゲットとしたスパッタリング等、 30 公知のダイヤモンドの合成法又は成長法を特に制限なく用いることが可能である。 [0049]このように合成されたダイヤモンドに対して、周知のイオン注入法によりErを添加した 。本実施例のイオン注入法によるErの注入条件は、以下の通りであった; 加速エネルギー 180 (keV)  $1 \times 10^{14} (cm^{-2})$ ドーズ量 最大注入深さ  $1.5(\mu m)$ 1 x 1 0<sup>19</sup> (cm<sup>-3</sup>)。 最大ドープ量 [0050]このようにして、Erドープダイヤモンドから成る発振部分が作製された。そして、Er 40 ドープダイヤモンドの端面に、Erの励起遷移によって発せられる波長に対するハーフミ ラーとして、フッ化マグネシウム / ゼオライト系のコーティングを形成し、図1に示され るような発振素子12が完成した。 【0051】 Erドープ量は、以下のような近似によっても算出される。イオン注入によって打込まれ たイオンの深さの方向の分布はガウス的に近似でき、加速エネルギーE[keV]、ドー ズ量Nd[cm^~]で打込まれたイオンの深さxにおける濃度N(x)[cm^3]は 次の式で表される。 [0052]【数1】 50

$$N(x) = \frac{Nd}{(2\pi)^{1/2} \Delta R_P} \times \exp\left(\frac{-(x - R_P)^2}{2\Delta R_P}\right)$$

【0053】 ここで、Rpは投影飛程、 Rpは標準偏差である。 【0054】 投影飛程Rp及び標準偏差 Rpは、LSS理論から、次のように求めることができる。 10 【0055】 【数2】

$$R_{\rm P} = \frac{1.1 \times 10^{26} \times (M_1 + M_2)}{N_{\rm m} \times (3M_1 + M_2)} \times \frac{(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{1/2}}{Z_1 Z_2} \times E$$

 $\Delta R_{\rm P} = \frac{1}{4} \times \frac{1.1 \times 10^{26}}{N_{\rm m}} \times \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^{1/3} \times \frac{(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{1/2}}{Z_1 Z_2} \times E$ 

### [0057]

EはM1は注入イオンの原子量、M2は基材(この場合はダイヤモンド)の原子量、Z1 は注入イオンの原子番号、Z2は基材の原子番号、Nmは基材の単位体積当たりの原子の 数である。この2つの式で得られたRpと Rpを数1で表される式に用いて、深さ×に おけるイオン濃度N(×)を求めることができる。例えば、加速エネルギーEが300[ keV]、ドーズ量Ndが2×10<sup>14</sup>[cm<sup>-2</sup>]の条件で、Erをダイヤモンドに打 30 込んだ場合は、式数2及び 数3から、投影飛程Rpは1000オングストローム、標準 偏差 Rpは300オングストロームが得られる。そして、この値を用いて数1のガウス 分布近似から、平均深さ1000オングストロームの場合のイオン濃度Nは、1×10<sup>1</sup> <sup>9</sup>[cm<sup>-3</sup>]と求められる。ここで、Erドープダイヤモンドに含まれるErドープ量 は、SIMS(2次イオン質量分析計)によっても測定される。

【0058】

(2) 放熱部分(ヒートシンク)の作製

図1に示されるように、本実施例のレーザー発振装置10の放熱部分14はダイヤモンドから成り、図1(c)に示されるように、その表面には、発振素子から放出される光を伝達する光ファイバのアライメントのためのパターンニング20が施されている。 【0059】

放熱部分14は、以下のようにして作製された。先に合成されたErドープダイヤモンド の合成装置と同じマイクロ波プラズマCVD装置を用い、マイクロ波プラズマCVD法に より放熱部分のためのダイヤモンドの合成を行った。成長条件は次の通りである;

マイクロ波周波数	2.45(GHz)
水素(H <sub>2</sub> )流量	200 (sccm)
メタン(CH₄ )流量	4 (sccm)
圧力	100(Torr)
マイクロ波出力	500(W)
基板温度	1100()

20

成長時間											7	5	(	hи	• )																		
膜厚											3	0	0	()	ı m	)																	
熱伝導率											1	5	0	0	Ŵ	/	m	Κ	)。	,													
[006	0]																																
Erドー	プダ	11	7 E	ン	ド	Ø	合	成	2	同	様	に		放素	れ 部	分	Ø	形	成I	こし	t、	マ	1	ク		波	プ	∍	ズ	マ	C١	/	
D法以外	にも	. /	公知	Ø	ダ	1	ヤ	Ξ	ン	ド・	<i></i> ກ	合	成	法了	ては	成	長	法	を	持 I	こ 制	刂限	な	<	用	L١	る	こ	と	が	可能	能	
である。	また	、 <del>1</del>	製造	I	程	Ø	簡	単	さ	<u>ດ</u>	点	で		Еı	۰ŀ	_	プ	ダ	1-	Þ=	Εン	ィド	Ø	た	め	D	ダ	イ	ヤ	Ð	ンI	ř	
の形成と	放熱	部分	うの	形	成	と	は	、	同	じ	装	置	を	用し	17	行	わ	n	33	= (	とカ	ヾ好	ま	ι	L١	が	、	品	質	せ	工₹	呈	
時間等の	理由	がる	ぁる	場	合	に	は		別	々	の	装	置	で彳	īο	τ	も	よ	< .		また	Ξ、	別	々	の	合	成	法	又	は	成┨	Ē	
法を用い	ても	よい	۱。																														10
[006	1】																																
ここで、	合成	され	ぃた	ダ	イ	ヤ	Ð	ン	ド	の	熱	伝	導	率(	)測	定	に	は	、 ا	以-	下に	こ説	明	す	る	絶	対	定	常	法	をす		
形した定	常比	較氵	まに	よ	っ	τ	測	定	U	た。		絶	対	定常	含法	で	は	、	目的	的(	の討	t 料	内	に		温	度	分	布	が	時間	蝐	
と共に変	化し	なし	\状	態	(	即	ち	定	常	状	態	)	を	実現	見し		即	5		ר כ	- Ì,	JI	Ø	式	;								
q = -	g	ra	a d	Т						(	W	/	m	2	)																		
、 (ここで	、 a	は	丸流	束	(	h	e	а	t		f	1	u	х	)			は	埶亻	Ξì	草 莩	₫ (	t	h	e	r	m	а	1		с	C	
nduc	ti	V	i t	v		)	で	あ	IJ.		g	r	а	d T	ر لا ۲		E	D	埶氵	充了	東σ.	、 )方	向	に	お	け	వ	温	度	勾	配っ	で	
ある。)				,		,	-		-	•	0					•								•			-			5		-	
に従う熱	移動	の丬	犬熊	を	実	現	す	<u>з</u> ,	•	この	D	٤	き	、言	式 彩	·内	部	D	埶氵	充了	東を	Ξ.	電	気	等	<sub>ກ</sub>	発	埶	に	よ	57	ζ	
外部から	試料	12 1	コオ	5	n.	る	発	。 埶·	量	ב : ב	等	Ū	い	- ح ع	t h	. I.Ť		定	常	伏負	能に	-、 こあ	る	試	料	中	ത	温	度	勾	- 配え	- F	20
測定する	- 4	15 6	5 / C		試	料	ത	熱	一	 道:	率	が	求	めぃ	s n	, る	Ì	-		で.		ະ	绐	ग्रे	定	, 堂	法	で	には	試	12、	_	_•
与えられ	ここる執	量。	~ 」 - 話	、 	中	ケ	移	뻬·	ਰ	3	埶	// 冒	<u>بر</u>	はル	ਨ ਰੱ	ۍ ا	。 夫、	_	致	- `   , †	とし	- ・, ヽた	тс М		۔۔ ∓	確	なな	汕	定	が	雨堇	谁	
な場合が	多い		~ _	で		立埶	伝	道	妪	が	既	<u>—</u> 知	で	ある	5 物	「昏	ത	埶	移動	助。	μσ	) H	較	۱ <del>۲</del>	ድ ድ	1)		日	~的	/ን መ	試業	3 1	
の執伝道	室を	。 求と	しる	定	、 堂	HŁ	較	法	が	名	用	<u>ネ</u>	h.	τ a	3 I)		太	発	明(	ກ : ກ :	主が	丽例	1.	お	ι.	$\tau$	、 ≠.	-	<sub></sub>	定	堂上	t	
較法を採	、 用す	Z		~	. 1.5	20						-				`		/0	.,,, .		~				•	-	Ŭ	-		~			
[006	21	ິ																															
【006 比較定堂	2】 法で	ъ. It	ŧ	ਰੈਂ	埶	伝	道	家		6		ወ	物	昏は	- **	·L	$\tau$	外	部方	かぇ	こ勎	ኣፉ	5	7		埶	流	中	a	1-	<u>र्</u> च ।	,	
【006 比較定常 ての温度	2】 法で 勾配	は、	, t	ਰਾੱ a	熱 d	伝 T	導	率		s を	) 111	の <sup>9</sup> 定	物 す	質に	こ対 次	しい	て で	外	部	か ! 約 <i>(</i>	ら 刻 の 訂	りを	与に	え 対	、 	熱って	流	束同	q	に の	対し 熱ぎ	J 奈	
【006 比較定常 ての温度 束を与え	2】 法で 勾配	し、 し、 し、 この	ま g r D と	ずaき	熱 d の	伝 T 温	導 ) 度	率 s 勾i	西己	s をえ	測 r	の定っ	物 す d	質に る。 T オ	こ対 次 F 測	しい定	てです	外 、 ろ	部ヵ 目自	か! 的 ( - (	ら 対 の かと	いた	与に	え 対 ⊢	、 し 記	熱ての	流、フ	束同	q 	に の エ	対し熱認の	こ	
【006 比較定常 ての温度 束を与え	2 こ 2 ご て 日 で の て 日	。 は、 ( この 見	ま r と 対	ずっきの	熱dの埶	伝T温伝	導)度道	率 s 勾 率	配	s をえ g は	測) r	の 定 a	物 す d	質に る。 T を	こ対 次 E 測	し い  定	てです	外 、 る	部	か !! 的 (2 こ (2	ら 対	ぬを 、 や さ	与に、	え 対 上	、し記	熱ての	流、フ	束同一	ๆ  IJ	にのエ	対し 熱 う の i	こ 充 式	30
【006 比較定定 ての に よ り、 =	2法勾て目。2.1で配、的	し、 は、 ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) (	g n と料 r	ずっきのっ	熱 d の 熱 d	伝T温伝T	導)度導)	率 s 勾率	四乙	sをgは、	測 r 、	の 定 a g	物 す d	質に る。 T る の	こ対 次 ア ア フ	しい定 )	てです	外 、 る	部 7 目 fi 。 5	か ! 的 c こ c	ら 烈 訂 ひ い	な た 料 さ m	与に、 ょ	え対上)	、し記	熱ての	流、フ	束同一	ף  ע	にのエ	対し 熱 ジ の f	う 充 式	30
【006にてまた。 でのこう こうしん しんしん しんしん しんしん しんしん しんしん しんしん しん	2 法勾て目 s わ る	こ。 は、 20 で 10 で	s s s r と 料 r の	ずっきのっ定	熱dの熱d堂	伝T温伝T法	導)度導)に	率 s 勾率 s	配る	sをgは/執	測 r 、 ( 伝	の 定 a g 道	物すd r 家	質るて aの i	こ対次測 丁定	しい定 )法	てですけ	外 、 る	部7目的。	かりこ (え	らわわ ペゴ	、 を 料 さ の 執	与に、 K 物	え対上 )性	、し記値	熱ての 測	流、フ 定	束同 法	ๆ  	にのエ	対し 熱 の コ	う 流 式	30
<ul> <li>【 いて束に で5</li> <li>いて束に で5</li> <li>いてする</li> <li>いてきる</li> <li>いてきる<td>2法勾て目 s れ 木)で配、的 の機</td><td>。 は(この(。 村</td><td>B B D 式 B C S C S C S C S C S C S C S C S C S C</td><td>ずaきのa定編</td><td>熱dの熱d常</td><td>伝T温伝T法奉</td><td>導)度導)に堅</td><td>率 s 勾 率 s よ ヴ</td><td>配る(</td><td>sをgは/熱1</td><td>測 r 、(伝 a</td><td>の 定 a g 導 g</td><td>物すd r 率 1</td><td>質るT aの年</td><td>こ を 1 削、対次測 一丁定</td><td>しい定 )法に</td><td>てです は芋</td><td>外、る、細</td><td>部目。の「例に</td><td>かりこ (えい</td><td>らのの N ば 助 対 訂と / I 1</td><td>を料き m 熱わ</td><td>与に、 K物て</td><td>え対上 )性い</td><td>、し記 値 る</td><td>熱ての 測</td><td>流、フ 定</td><td>束同 – 法</td><td>ר ח ל</td><td>にのエ、</td><td>対し 熱の 1</td><td>つ 流 式</td><td>30</td></li></ul>	2法勾て目 s れ 木)で配、的 の機	。 は(この(。 村	B B D 式 B C S C S C S C S C S C S C S C S C S C	ずaきのa定編	熱dの熱d常	伝T温伝T法奉	導)度導)に堅	率 s 勾 率 s よ ヴ	配る(	sをgは/熱1	測 r 、(伝 a	の 定 a g 導 g	物すd r 率 1	質るT aの年	こ を 1 削、対次測 一丁定	しい定 )法に	てです は芋	外、る、細	部目。の「例に	かりこ (えい	らのの N ば 助 対 訂と / I 1	を料き m 熱わ	与に、 K物て	え対上 )性い	、し記 値 る	熱ての 測	流、フ 定	束同 – 法	ר ח ל	にのエ、	対し 熱の 1	つ 流 式	30
【 0 6 に て 束 に で 5 て 5 1 0 6 に で 5 1 0 6 に で 5 1 0 1 5 5 5 1 5 5 1 5 1 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	2法勾て目 sれ本3)で配、的 る機)	。 は(この(。械	gの 式 g こ 学 に と 料 r の 会	ずaきのa定編	熱dの熱d常、	伝T温伝T法養	導)度導)に賢	率 s 勾 率 s よ 堂	配る(	sをgは / 熱 1	測 r 、(伝 9	の定a g導 9	物すd r率1	質るT aの年	こ を 11則)対次測 T定、	しい定 )法に	てです は詳	外、る、細	部目。 例に	かわこ (え記	らのの V ば 載 討と ノ I 10	、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、	与に、 K物て	え対上 )性い	、し記 値る	熱ての 測。	流、フ 定	束同 – 法	ר ח ל	にのエ、	対し 熱 の コ	う 流 式 一	30
<ul> <li>【比て束に で5【本</li> <li>の定温与り え、0年</li> <li>のをよ - 500年</li> </ul>	2法勾て目 られ本3の) こで配、的 る機】定	。 は(この(。械 一堂	gの式gこ学 b まっと料っの会 較	ずっきのっ定編 法	熱dの熱d常、 に	伝 T 温 伝 T 法 養 🕞	導)度導)に賢っ	率。勾率。よ堂 ダ	配る(イ	sをgは/熱1 ヤ	測r、(伝9 H	の 定 a	物すd r率1 ド	質るT aの年 の に。そ () 汎 ) <sup>素</sup>	こ と 11川) 丸対次測 一丁定、 伝	しい定 )法に 道	てです は詳 恋	外、る 、細 の	部目。 例に 測	かわこ (え記 定	らのの N ば貮 で 対記と / 「さ 」	& strain the set of t	与に、 K物て 理	え対上 )性い 学	、し記 値る 霊	熱ての 測。 気	流、フ 定 社	束同 二法 割	а_ 1 д_ 1	にのエ 、 定	対熱の 1 党	しん むしょう しょう しんざい しんざい しんざい しんざい しんしょう ひんしょう しんしょう しんしょ しんしょ	30
【比て束に で5【本執のをよ=与頁の実伝のをよ=与頁の実伝の施道	2法勾て目 sれ本3の測入了法勾て目 sれ本3の測入する機 しまつ	。 は(この(。械 常装で、 とうごう しょう しょうしょう	弱り式 弱こ学 七号ま よと料 下の会 較を	ずっきのっ定編 法田	熱dの熱d常、 にい	伝T温伝T法養 よ	導)度導)に賢 る執	率。勾率。よ堂 ダ伝	配る(イ道	sをgは/熱1 ヤ x	測 r 、 ( 伝 g   モ が	の 定 a g 導 9 ン 町	物すd r率1 ド知	質るT aの年 ののに、 「「」」。そう () 源文	こ と 11川) 、 丸勿 対次測 一丁定、 伝營	しい定 )法に 導と	てです は詳 率し	外、る 、細 のて	部目。 例に 測全	かわこ (え記 定(	らのの V ば し で ム 熱 訂 と ノ 「 さ に に -	やれき の熱れ 、)	与に、 K物て 理を	え対上 )性い 学田	、し記 値る 電い	熱ての 測。 気て	流、フ 定 社測	束同一 法 製定	qーリ 」 のを	にのエ 、 定行	対熱の 1 常っ	一一元代 一 去	30
【比て束に で5【本熱の定温与り え、0施導のをよっちりましい。 ううしょうしん こうしん こうしょうしん こうしょうしん こうしょう こうしょう しんしょう しんしょう しんしょう しんしょう しんしょう しんしん しんしょう しんしん しんしん	2法勾て目sれ本3の測)で配、的 る機】定定	。 は(この(。械 常装	gの拭gこ学 比置まっと料rの会 較を	ずっきのっ定編 法用	熱dの熱d常、 にい	伝T温伝T法養 よ、	導)度導)に賢 る熱	率。勾率。よ堂 ダ伝	配る(イ導	sをgは / 熱1 ヤ率	測 r 、(伝 g   モ が	の定a g導9 ン既	物すd r率1 ド知	質るT aの年 ののに。そ (氷) 蒸牧	ニ m l削り 热勿対次測 T定、 伝質	しい定 )法に 導と	てです は詳 率し	外、る 、細 のて	部目。 例に 測金	かわこ (え記 定(	らのの Nば貮 でA 熱記と /「さ」にし	& strain the state of the sta	与に、 K物て 理を	え対上 )性い 学用	、し記 値る 電い	熱ての 測。 気て	流、フ 定 社測	束同一 法 製定	<b>qーリ 」 のを</b>	にのエ 、 定行	対熱の 1 常っ	う 流式 こう ま き	30
【比て束に で 5【本熱。】 0 較のをよ = 与頁 0 実伝 0 の定温与り え、 0 施導 0 6 の 6 の 6 の 6 の 6 の 6 の 6 の 6 の 8 の 6 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	2法勾て目sれ本3の測 ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	。 は(この(。械 常装。、 2013年1月1日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日日	みの式 みこめ 七畳ま rと料 r の会 較を	ずっきのっ定編 法用	熱dの熱d常、 にい	伝T温伝T法養 よ、	導)度導)に賢 る熱	率。勾率。よ堂の伝	配る(イ導	sをgは/熱1 ヤ率	測 r 、(伝 g ・ モ が	の定a g導9 ン既	物すd r率1 ド知	質るT aの年 ののに。そ (源学 東牧	こ と 11川) 丸勿対次測 丁定、 伝質	しい定 )法に 導と	てです は詳 率し	外、る 、細 のて	部目。 例に 測金	かわこ (え記 定(	らのの Vぱ貮 でA 熱記と /「さーにぃ	ぬぱこ / m熱れ 、)	与に、 K物て 理を	え対上 )性い 学用	、し記 値る 電い	熱ての 測。 気て	流、フ 定 社測	束同一 法 製定	qーリ 」 のを	にのエ 、 定行	対熱の 1 常っ	こ 布式 こうちょう	30
【比て束に善で5【本熱。【次の乾のをよ=与頁0実伝 0にの定温与り え、0施導 0にの定意え、 ら日6例率 6図	2法勾て目sれ本3の測 41)で配、的 る機】定定 】(	。 は(この(。械 常装 ( ・ ・	みり式 みこ学 七置 いま こと料 この会 較を に	ずっきのっ定編 法用 一	熱dの熱d常、 にい さ	伝T温伝T法養 よ、 わ	導)度導)に賢 る熱 ろ	率。勾率。よ堂 ダ伝 上	配る(イ導う	sをgは/熱1 ヤ率 に	測 r 、 ( 伝 g   モ が	の定a g導9 ン既 w	物すd r率1 ド知 . 成	質る T a の 年 の の 、 さ さ う う う う う う う う う う う う う う う う う	ここと 11川) 丸勿 いつ対次測 下定、 伝質 た	しい定 )法に 導と ダ	てです は詳 率し ィ	外、る 、細 のて ヤ	部目。 例に 測金 モ	かわこ (え記 定( いくてい ション・ション・ション・ション・ション・ション・ション・ション・ション・ション・	らのの Vぱ貮 でへ ド対記と ノーさ にし の	、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、、	与に、 K物て 理を - 埶	え対上 )性い 学用 善部	、し記 値る 電い 分	熱ての 測。 気て 1	流、フ 定 社測 4	束同一 法 製定 の	qーリ 」 のを 売	にのエ 、 定行 面	対熱の 1 常っ F	う 流式 こう 去 きょう	30
【比て束に善で5【本熱。【次の較のをよ=与頁の実伝 のに光日の定温与り え、0施導 の、フローンのにまた。 ら日6例率 6図マ	2法勾て目sれ本3の測 41~) つ配、的 る機】定定 】(パ	。 は(この(。 械 常装 て ア	あり式 みこや 比置 )うま アと料 rの会 一較を にく	ずっきのっ定編 法用 示 w	熱dの熱d常、 にい さン	伝T温伝T法養 よ、 れょ	導)度導)に賢 る熱 る田	率。勾率。よ堂 ダ伝 よの	配 る( イ 導 う 凄	sをgは/熱1 ヤ率 にっ	測r、(伝9 モが 、o	の定a g導9 ン既 形を	物すd r率1 ド知 成	質る T aの 年 のの さいばい さく つぼう 素 すい たいちょう	ニ モ ヨリ) 丸勿 いこ対次測 T定、 伝質 たの	しい定 )法に 導と ダム	てです は詳 率し イニ	外、る 、細 のて ヤロ	部目。 例に 測金 モジンロン ううしょう しょうしょう	かわこ (え記 定( ンガ	らのの Vぱ貮 でへ ドレ 蒸訂と ノ「さーにし のた	& ぱこ / ご は ) ) - を料き 「一熱れ 、 ) ) 放	与に、 K物て 理を 熱ま	え対上 )性い 学用 善ず	、し記 値る 電い 分	熱ての 測。 気て 1放	流、フ 定 社測 4執	東同一 法 製定 の部	<b>9ーリ 」 のを 表</b> 公	にのエ 、 定行 面の	対熱の 1 常っ 上全	つ充式 と 去こ こう	30
【比て束に で5【本熱。【次、」の較のをよ=与頁0実伝 0に光わり え、0施導 0、フたら常度え、 ら日6例率 6図ァリ	2法勾て目sれ本3の測 41イ・】で配、的 る機】定定 】(バ^	。 は(この(。械 常装 cri	みり式 みこや 七畳 ) ラッキャンド ひろう 乾を にイマ	ずaきのa定編 法用 示メパ	熱dの熱d常、 にい さン※	伝T温伝T法養 よ、 れトタ	導)度導)に賢 る熱 る用口	率。勾率。よ堂 ダ伝 よのく	配 る( イ導 う溝が	sをgは / 熱1 ヤ率 に2に	測 r 、 ( 伝 g   モ が   、 0 Ŀ	の定a g導9 ン既 形をり	物すd r率1 ド知   成、堆	質るT aの年 のの さ以積に。そ (氷) 素牧 オーオ	こ と 11) ぬ勿 いてい対次測 下定、 伝質 たのせ	しい定 )法に 導と ダよた	てです は詳 率し イう後	外、る 、細 のて ヤに	部目。 例に 測金 モ形通いに ジョンディング	かわこ (え記 定( ン成賞	らのの Vば貮 でA ドしの熱記と ノーさ にぃ のたー	いい うちょう いちょう ひょう しんしょう しんしょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう しんしょう しょう しょう しょう しょう しょう しょう しょう しょう しょう	与に、 K物て 理を 熱ま	え対上 )性い 学用 善ずり	、し記 値る 電い 分、ソ	熱ての 測。 気て 1放び	流、フ 定 社測 4熱 ラ	東同一 法 製定 の部っ	qーリ 」 のを 表分く	にのエ 、 定行 面の一	対熱の 1 常っ 上全のした ディンドロ	つ充式 ~ 去さ こ面ま	30
【比て束に で5【本熱。【次、に街り較のをよ=与頁0実伝 0に光わにも定温与り え、0施導 0、フたトロの定温与え、 ら日6例率 6図ァりい	2法勾て目sれ本3の測 41イ、)で配、的 る機】定定 】(バAツ	。 は(この(。械 常装 cア17。 、20言22部 上計 こうてん	らりばらこや 比重 )ラをすまっと料っの会 較を にイスイ	ずっきのっ定編 法用 示メパバ	熱dの熱d常、 にい さンッマ	伝T温伝T法養 よ、 れトタヨ	導)度導)に賢 る熱 る用リィ	率。勾率。よ堂 ダ伝 よのンメ	配 る( イ導 う溝グン	sをgは/熱1 ヤ率 に2に ト	測r、(伝9 モが 、0よ田	の定a g導9 ン既 形をりの	物すd r率1 ド知   成、堆パ	質るT aの年 のの   さ以積々	こ と 日則) 热勿 いてき」対次測 下定、 伝質 たのせー	しい定 )法に 導と ダよたい	てです は詳 率し イう後が	外、る 、細 のて ヤに、を	部目。 例に 測金 モ形通行	かわこ (え記 定( ン成常)	らのの Vぱ貮 でA ドしのご 熱記と ノ「さーにぃ のたつ	いれこう ちょう ひこりを料き m熱れ 、う  放。ォッ	与に、 K物て 理を 熱まトい	え対上 )性い 学用   部ずリで	、し記 値る 電い 分、ソ	熱ての 測。 気て 1放グド	流、フ 定 社測 4熱ラ成	束同一 法 製定 の部フォ	qーリ 」 のを 表分ィゎ	にのエ 、 定行 面の一た	対熱の 1 常っ 上全のAUジュー・ジョー ショー・ション	つ充式 と 去こ こ面支」	30
【比て束に で5【本熱。【次、に術の0較のをよ=与頁0実伝 0に光わにパの定温与り え、0施導 0、フたよター6常度え、 ら日6例率 6図ァりりー	2法勾て目sれ本3の測 41イ、、ント】で配、的 る機】定定 】(バA光を	。 は(この(。械 常装  cア1フマ・、20部22部 比損  ここです?	みり式 みこや 比置 ) ラをァッま アと料 rの 会 較を にイスイタ	ずょきのょ定編 法用 示メパバと	熱dの熱d常、 にい さンッアー	伝T温伝T法養 よ、 れトタラ	導)度導)に賢 る熱 る用リイ 0	率。勾率。よ堂 ダ伝 よのンメ	配 る( イ導 う溝グン	sをgは/熱1 ヤ率 に2にトを	測r、(伝9 モが 、0よ用田	の定a g導9 ン既 形をりのい	物すd r率1 ド知   成、堆パ~	質るT aの年 のの   さ以積夕反に。そ (泳)、 熱牧   オコさ・ワ	こ と 日則) 热勿 いちちっか 対次測 丁定、 伝質 たのせ二姓	しい定 )法に 導と ダよたンイ	てです は詳 率し イう後グォ	外、る 、細 のて ヤに、をく	部目。 例に 測金 モ形通行 ていちょう ジョンプロ・ション	かわこ (え記 定( ン成常っ)	らのの Vば貮 でA ドしのたチ索記と ノ「さーにしーのたつ。^	ぬばご かった はっ りこり かんせい かんせい ひょうかい ひょうしん ひょうしん たいしょう かんしょう しんしょ しんしょ しんしょう しんしょ しんしょ	与に、 K物て 理を 熱まトいき	え対上 )性い 学用   部ずリで(	、し記 値る 電い 分、ソ、p	熱ての 測。 気て 1放グ形 T	流、フ 定 社測 4熱ラ成F	束同一 法 製定 の部フさヽ	♀ーリ 」 のを 表分ィれに	にのエ 、 定行 面の一た –	対熱の 1 常っ 上全のAalしジュー・ション	つ充式 ~ 去と こ面支して	30
【比て束に で5【本熱。【次、に術のT0較のをよ=与頁0実伝 0に光わにパッ0定温与り え、0施導 0、フたよタチーの定意え、 ら日6例率 6図ァリリーン	2法勾て目sれ本3の測 41イ、、ング・】で配、的 る機】定定 】(バA光をち	2 は(この(。械 常装 cア1フマ行き 、2002番 と話 こうせいしょう	らつ式らこど 比置 ううをァスうまィと料ィの会 較を にイスイク	ずaきのa定編 法用 示メパバとぬ	熱dの熱d常、 にい さンッアし熱	伝T温伝T法養 よ、 れトタラ、郭	導)度導)に賢 る熱 る用リイロ分	率。勾率。よ堂 ダ伝 よのンメ 2 1	配 る( イ導 う溝グン 4	sをgは / 熱1 ヤ率 に2にトをの	測r、(伝9 モが 、0よ用用表	の定a g導9 ン既 形をりのい面	物すd r率1 ド知   成、堆パるに	質るT aの年 のの   さ以積夕反光に。そ (氷) 熱牧   オコさ・Mi	こ と 11) 、热勿 いちゃっぷり 対次測 下定、 伝質 たのせ二性?	しい定 )法に 導と ダよたンイィ	てです は詳 率し イう後グオバ	外、る 、細 のて ヤに、をンマ	部目。 例に 測金 モ形通行エランロン ジョンディン・ション	かわこ (え記 定( ン成常っツイ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	らのの Vば貮 でA ドしのたチメ 熱記と ノーさ にし のたこ。ン、	ぬばご かかな よう ひこり かんを料き の熱れ 、う 放。オ次グト	与に、 K物て 理を 熱まトい法田	え対上 )性い 学用   部ずリで(6	、し記 値る 電い 分、ソ、R港	熱ての 測。 気て 1放グ形工っ	流、フ 定 社測 4熱ラ成Ec	束同一 法 製定 の部フさ)を	マーリ 」 のを 表分ィれに形	にのエ 、 定行 面の一たよ成	対熱の 1 常っ 上全のAっ」	つ充式 ご 去こ こ面支してき	30
【比て束に で5【本熱。【次、に術のエ0較のをよ=与頁0実伝 0に光わにパッp0定温与り え、0施導 0、フたよタチェ66常度え、 ら日6例率 6図ァリリーンF	2法勾て目。れ本3の測 41イ、、ングに)で配、的 る機】定定 】(バA光ををり	2 は(この(。械 常装 cア1フマ行る。 、20訂22部 上計 うきそうこう	いりばっこう 七畳 ううをァストレまっと料っの会 較を にイスイク、ジ	ずaきのa定編 法用 示メパバと放せ	熱dの熱d常、 にい さンッアし熱ン	伝T温伝T法養 よ、 れトタラ、部グ	導)度導)に賢 る熱 る用リイO分冬	率。勾率。よ堂 ダ伝 よのンメュ1件	配 る( イ導 う溝グン 4け	sをgは/熱1 ヤ率 に2にトをの次	測r、(伝9 モが 、0よ用用表の	の定a g導9 ン既 形をりのい面通	物すd r率1 ド知 成、堆パるにぃ	質るT aの年 のの   さ以積夕反光でに。そ (泳)、 熱や   れつさ・ふう	こ と 11川) 丸勿 いちちーふりる対次測 下定、 伝質 たのせニ性アス	しい定 )法に 導と ダよたンイイ・	てです は詳 率し イう後グオバ	外、る 、細 のて ヤに、をンア	部目。 例に 測金 モ形通行エラ	かわこ (え記 定( ン成常っツイ	らのの > ば貮 でA ドしのたチメ 熱記と /「さーにぃ のたつ。ンン	ぬばご 「 」 」 ) 」 かく シーク シーク シーク シーク かいしょう かいしょう しんしょう しょう しんしょう しんしょう しんしょう しんしょう しょう しんしょう しんしょ しんしょ	与に、 K物て 理を 熱まトい法用	え対上 )性い 学用   部ずリで(の	、し記 値る 電い 分、ソ、R溝	熱ての 測。 気て 1放グ形I2	流、フ 定 社測 4熱ラ成E0	束同一 法 製定 の部フさ)を	qーリ 」 のを 表分ィれに形	にのエ 、 定行 面の一たよ成	対熱の 1 常っ 上全のAっししぶっ パオ ドロオニマオ	つ流式 ~ 去さ こ面支してき	30
【比て束に で5【本熱。【次、に術の工。〇0較のをよ=与頁0実伝 0に光わにパッR0定温与り え、0施導 0、フたよタチI6常度え、 ら日6例率 6図ァりりーンE^	2法勾て目sれ本3の測 41イ、、ングに^♪で配、的 る機】定定 】(バA光ををよゞ	2 は(この(。械 常装 cア1フマ行る 、20部22部 と聞 ごされていこく	いっちょうざい とうしょう ちょうしん おうしょう いうしょう ひょうしん いうしょう いんしょう いんしょう ひょうしん いぼう しんしょう ひんしょう しんしょう ひんしょう しんしょう しんしょう しんしょう ひんしょう しんしょう ひんしょう ひんしょう しんしょう しんしょう ひんしょう しんしょう しんしょう しんしょう しんしょう しんしょう ひんしょう しんしょう しんしょう しんしょう ひんしょう しんしょう ひんしょう ひんしょ ひんしょう ひんしょう ひんしょ ひんしょ ひんしょ ひんしょ ひんしょ ひんしょ ひんしょ ひんしょ	ずっきのっ定編 法用 示メパバと放チ法	熱dの熱d常、 にい さンッアし熱ン曼	伝T温伝T法養 よ、 れトタラ、部グは	導)度導)に賢 る熱 る用リイO分条	率。勾率。よ堂 ダ伝 よのンメュ1件	配 る( イ導 う溝グン 4は	sをgは/熱1 ヤ率 に2にトをの次	測r、(伝9 モが 、0よ用用表の	の定a g導9 ン既 形をりのい面通1	物すd r率1 ド知   成、堆パるにり~	質るT aの年 のの   さ以積夕反光で∞に。そ (鴻学 熱幣   れ□さ‐いごね、	こ き ヨリ) 热勿 いちょうぶりあい 対次測 T定、 伝質 たのせ二性アる	しい定 )法に 導と ダよたンイイ;	てです は詳 率し イう後グオバ	外、る 、細 のて ヤに、をンア	部目。 例に 測金 モ形通行エラ	かわこ (え記 定( ン成常っツイ	らのの Vば貮 でA ドしのたチメ 熱記と ノ「さーにぃ のたつ。ンン	ぬばご ケーム はっ ひこり アイクトを料き m熱れ 、う   放。ォ次グト	与に、 K物て 理を 熱まトい法用	え対上 )性い 学用   部ずリで(の	、し記 値る 電い 分、ソ、R溝	熱ての 測。 気て 1放グ形I2	流、フ 定 社測 4熱ラ成E0	束同一 法 製定 の部フさ)を	qーリ 」 のを 表分ィれに形	にのエ 、 定行 面の一たよ成	対熱の 1 常っ 上全のAっししぶっ シング おかいしょうしん	つ充式 ~ 去さ こ釘支してさ	30
【比て束に で5【本熱。【次、に術の工。OPO定温与り え、0施導 0、フたよタチI 囲ら常度え、 ら日6例率 6図ァりりーンE/カカ	2法勾て目sれ本3の測 41イ、、ングにA粉)了で配、的 る機】定定 】(バA光ををよr	2 は(この(。械 常装 cア1フマ行る 、20亩22部 上計 ニュモスニンにこれ	みり式みこど 七畳 ううをァスコロ本まっと料rの会 較を にイスイク、ツ積	ずaきのa定編 法用 ニメパバと放チ流	熱dの熱d常、 にい さンッアし熱ン量	伝T温伝T法養 よ、 れトタラ、部グ比	導)度導)に賢 る熱 る用リイO分条	率。勾率。よ堂 ダ伝 よのンメュ1件	配 る( イ導 う溝グン 4は	sをgは/熱1 ヤ率 に2にトをの次	測r、(伝9 モが 、0よ用用表の 1	の定a g導9 ン既 形をりのい面通1~	物すd r率1 ド知   成、堆パるにり(	質るT aの年 のの   さ以積夕反光で%5   に。そ (汎)   熱や   オコさ-	こ と 11川) 枳勿 いてきーふりあり、対次測 下定、 伝質 たのせ二性アる ノ	しい定 )法に 導と ダよたンイイ; 🔉	てです は詳 率し イう後グオバ コ	外、る 、細 のて ヤに、をンア っ	部目。 例に 測金 モ形通行エラ 、7年こ ジョンディングディング	かわこ (え記 定( ン戎常っツイ	らのの > ば貮 でA ドしのとチメ 熱記と /「さーにし のたつ。ンン	ぬばご かっち はっ ひこり マックを料き m熱れ 、う   放。オ次グト	与に、 K物て 理を 熱まトい法用	え対上 )性い 学用   部ずリで(の	、し記 値る 電い 分、ソ、R溝	熱ての 測。 気て 1放グ形I2	流、フ 定 社測 4熱ラ成E0	束同一 法 製定 の部フさ)を	qーリ 」 のを 表分ィれに形	にのエ 、 定行 面の一たよ成	対熱の 1 常っ 上全のAっししぶっ シージオ 正正打してす	つ充式 ご 去こ こ面支してこ	30
【比て束に で5【本熱。【次、に術の工。ORP0較のをよ=与頁0実伝 0に光わにパッR2FF0定温与り え、0施導 0、フたよタチI 周山6常度え、 ら日6例率 6図ァリリーンE/波ϯ	2法勾て目。れ本3の測 41イ、、ングにA数~】で配、的 る機】定定 】(バA光ををよr	。 は(この(。械 常装  cア1フマ行る  、20部22部 比訂  ごうるここに(	みり式みこど 比置 ううをァスコロ本まっと料っの会 較を にイスイク、ツ積	ずaきのa定編 法用 ニメパバと放チ流	熱dの熱d常、 にい さンッアし熱ン量	伝T温伝T法養 よ、 れトタラ、部グ比	導)度導)に賢 る熱 る用リイ0分条	率。勾率。よ堂 ダ伝 よのンメュ1件	配 る( イ導 う溝グン 4は	sをgは/熱1 ヤ率 に2にトをの次	測r、(伝9 モが 、0よ用用表の 1m	の定a g導9 ン既 形をりのい面通13c	物すd r率1 ド知   成、堆パるにり(・c	質るT aの年 のの   さ以積夕反光で%5~に。そ (鴻学 熱料   れ口は一応こよ)(2	こ き 11川) 热勿 いちちちろりらい対次測 T定、 伝質 たのせ二性アる (、	しい定 )法に 導と ダよたンイイ; M	てです は詳 率し イう後グオバ H	外、る 、細 のて ヤに、をンア z	部目。 例に 測金 モ形通行エラ )	かわこ (え記 定( ン成常っツイ	らのの Vぱ貮 でA ドしのたチメ 熱記と ノ「さーにぃ のたつ。ンン	ぬばこ 「 」 」 ) こっ ~~~ を料き m熱れ 、)   放。ォ次グト	与に、 K物て 理を 熱まトい法用	え対上 )性い 学用   部ずリで(の	、し記 値る 電い 分、ソ、R溝	熱ての 測。 気て 1放グ形I2	流、フ 定 社測 4熱ラ成E0	束同一 法 製定 の部フさ)を	qーリ 」 のを 表分ィれに形	にのエ 、 定行 面の一たよ成	対熱の 1 常っ 上全のAっししぶっ シング おかいしょうけい	つ充式 ~ 去と こ面支してと	30
【比て束に で5【本熱。【次、に術の工。ORRF00較のをよ=与頁0実伝 0に光わにパッR2FFカ0定温与り え、0施導 0、フたよタチI 周出6常度え、 ら日6例率 6図ァリリーンE/波力	2法勾て目。れ本3の測 41イ、、ングにA数)】で配、的 る機】定定 】(バA光ををよr	2 は(この(。械 常装 cア1フマ行る 、20日22年 と話 こうてんこうしょく	みり式みこど 比置 ううをァスコロ本まっと料っの会 較を にイスイク、ツ積	ずaきのa定編 法用 示メパバと放チ流	熱dの熱d常、 にい さンッアし熱ン量	伝T温伝T法養 よ、 れトタラ、部グ比	導)度導)に賢 る熱 る用リイO分条	率。勾率。よ堂 ダ伝 よのンメ 2 1件	配 る( イ導 う溝グン 4は	sをgは/熱1 ヤ率 に2にトをの次	測r、(伝9 モが 、0よ用用表の 15c	の定a g導9 ン既 形をりのい面通130	物すd r率1 ド知   成、堆パるにり(.01	質るT aの年 のの   さ以積夕反光で%5((	こ き ヨリ) 热勿 いっさっちりちりち ダイ対次測 T定、 伝質 たのせ二性アる ()(	しい定 )法に 導と ダよたンイイ; M -	てです は詳 率し イう後グオバ H r	外、る 、細 のて ヤに、をンア z 、	部目。 例に 測金 モ形通行エラ )	かわこ (え記 定( ン戎常っツイ	らのの > ば貮 でA ドしのたチメ 熱記と /「さ にぃ のたつ。ンン	ぬばこ ケーム は - ・ ・ ・ ・ を料き m熱れ 、う   放。ォ次グト	与に、 K物て 理を 熱まトい法用	え対上 )性い 学用   部ずリで(の	、し記 値る 電い 分、ソ、R溝	熱ての 測。 気て 1放グ形I2	流、フ 定 社測 4熱ラ成E0	束同一 法 製定 の部フさ)を	qーリ 」 のを 表分ィれに形	にのエ 、 定行 面の一たよ成	対熱の 1 常っ 上全のAっし	つ充式 ご 去さ こ面支してき	30

圧力0.1(Tエッチング時間3(hr)

(10)

エッチング深さ

10 (µm)。

[0065]

このようにして、図1(c)に示されるように、レーザー発振素子12及び光ファイバ1 8を装着するためのアライメント用の溝20が表面に形成された放熱部分14が得られた 。尚、ここでは図示されないが、このアライメント用の溝20は、同時にレーザー発振素 子12及び励起用レーザー16を装着するための溝をも有している。この溝は、レーザー 発振素子12及び励起用レーザー16の装着される面(装着の際に下側となる面)が過不 足なく納められる形状及び大きさを有している。即ち、前述のフォトリソグラフィーの際 に、このような溝を形成するようなパターニングが施されている。

[0066]

(3) レーザー発振装置の組立て

以上までに得られたレーザー発振素子12と放熱部分14に加えて、市販のInGaAs P 系半導体レーザーである励起用半導体レーザー16と、周知の弗素ガラス製光ファイバ 18とを用いて、レーザー発振装置10を作製した。

[0067]

励起用レーザー16からの光を有効にレーザー発振素子12に導入できるように、レーザ 一発振素子12を励起用レーザー16に光学的に接続させた。この際の接続は、以下のよ うである。まず、発振素子12から発せられる光を伝達するための光ファイバ18が、発 光素子の片方の面に光学的に接続された。次に、前述のようにレーザー発振素子12及び 励起用レーザー16を装着するための溝及び光ファイバアライメント用溝が形成されてい るダイヤモンド放熱部分14表面上に、光ファイバ18と接続されたレーザー発振素子1 2と励起用レーザー16とを、それぞれのための溝の適切な位置に、それぞれ装着した。 装着のためには金錫が用いられた。ここにおいて、RIEによって精度良く加工されてい る溝の中に、レーザー発振素子12及び励起用レーザー16はそれぞれ適正に納められ、 励起用レーザー16の端面とレーザー発振素子12の端面とは、光学的に接続された。そ して最後に、全体をハーメチックシールで封じて、不活性ガスであるArを充填し封入し た。このようにして、本実施例のレーザー発振装置が完成した。

[0068]

本発明のレーザー発光装置のポンピング用のレーザには、装置全体を小型化する観点から は、半導体レーザーを用いることが好ましい。例えば、InGaAs/AIGaAs歪超 30 格子を用いた発振光が0.98µm附近の半導体レーザーであってもよく、A1GaIn P系の発振光が0.67µm附近の半導体レーザーであってもよい。

[0069]

図2は、レーザー発振装置10を設置したモジュールの縦断面図である。図2に示される ように、モジュール30の内部の台31の上には、レーザー発振装置10が設置されてい る。レーザー発振装置10から発せられた光は、サファイア窓32を通過して非球面レン ズ34に入射する。そして、アイソレーター36を介してジルコニア製のキャピラリ38 へと入射し、フェルール40に保持されている光ファイバ42へと至る。

 $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 7 & 0 \end{bmatrix}$ 

作製されたレーザー発振装置10をモジュール30に設置し、以下のように動作の確認を 40 行った。図1及び図2に示されるように、レーザー発振装置10の励起用レーザー16に 電流を通じ発光させてその光をレーザー発振素子12に入射させ、レーザー発振素子12 即ちErドープダイヤモンド内のErの光学遷移を生じさせて、レーザー発振素子12を 発光させた。このとき、40dB以上の副モード抑圧比で単一縦モード動作をしているこ とが確認された。

**[**0071**]** 

本実施例ではレーザー発振素子12及び放熱部分14に高い熱伝導率を持つダイヤモンド を用いているため、素子を過熱することなく強力なポンピング用半導体レーザを利用でき ることから、強力なレーザ発振を得ることができたことが示された。 [0072]

10

(実施例2)

本実施例では、実施例1で作製されたレーザー発振素子と同じErドープダイヤモンドに 窒素を100ppmドーピングすることにより、実施例1において入力されたエネルギー と同じ量のエネルギーを入力した場合に、ダイヤモンド中のErイオンを効果的にダイヤ モンド中に発生させてレーザ強度を1桁あげることができたことを例示する。 【0073】

(11)

本実施例では、レーザー発振素子であるErドープダイヤモンドの作製において、イオン 注入の際に、窒素原子(N)を1000ppmの濃度でドープした他は、全て実施例1と 同じ工程及び条件で、レーザー発振装置を作製した。そして、実施れ1と同様にレーザー 発振装置をモジュールに組み込み、同様に動作をさせた。このとき、5mWのレーザー強 度が得られた。

【0074】

また、本実施例の変形として、レーザー発振素子であるErドープダイヤモンドの作製に おいて、イオン注入の際に、窒素原子1000ppmのドーピングと同時にホウ素(ボロ ン)原子も1000ppmドープした他は実施例1と同様の工程及び条件で、レーザー発 振素子を作成した。このとき、6.5mWのレーザー発振強度が得られた。従って、窒素 とボロンとを同時にドープすることによって、窒素のみの場合と比較してレーザー強度を 30%上昇させることが可能であることが示された。

【0075】

(実施例3)

20

30

10

実施例1で作製したErドープダイヤモンドに対して、ホウ素原子(B、ボロン)ドープ ダイヤモンドとアンドープダイヤモンドとを上下面に形成し、それぞれの面に電極を形成 して電流注入を行った。

【 0 0 7 6 】

図3に示されるように、本実施例で作製されたレーザー発振素子50は、実施例1と同様 に作製されたErドープダイヤモンド56を備え、この下側に、Bドープダイヤモンドが 形成され、上側には不純物を添加しないアンドープダイヤモンド58が形成された。更に 、Bドープダイヤモンド54の下側及びアンドープダイヤモンド58の上側にはそれぞれ 、電極52、60が形成された。

【 0 0 7 7 】

Bドープダイヤモンド54の形成は、実施例1と同様のマイクロ波プラズマCVD法によってダイヤモンドを形成した後、実施例1と同様のイオン注入法によってBイオンをダイヤモンドに注入することにより行われた。アンドープダイヤモンド58の形成は、実施例 1と同様のマイクロ波プラズマCVD法によって行われた。

【0078】

図4は、本実施例で作製されたレーザー発振装置62を表した図であり、(a)が側面図、(b)が上面図、(c)が前面図である。図3に示されるように、本実施例のレーザー 発振装置62は、図1に示されるレーザー発振装置10と比較して励起用レーザー16が 無く、放熱部分14の上にはレーザー発振素子50が装着されているのみである。

【0079】

40

作製されたレーザー発振素子50を有するレーザー発振装置62を、実施例1において用 いられたモジュールに組み込み、電極52及び62を介してレーザー発振素子50に直接 電流を供給することにより、励起用レーザを用いずに、1mWのレーザー強度でレーザ発 振が生じた。

 $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 8 & 0 \end{bmatrix}$ 

(実施例4)

本実施例では、実施例3のレーザー発振素子50の構造に対し;(i)Erドープダイヤ モンド56に更にBを10ppmドープしてErドープダイヤモンドとし;(ii)アン ドープダイヤモンド58のかわりに、ダイヤモンドにPを注入したn型ダイヤモンドをE rドープダイヤモンドの上に形成する変更を加えて、レーザー発振素子にpn接合を形成

した。

【 0 0 8 1 】

実施例3と同様に、レーザー発振素子を有するレーザー発振装置をモジュールに組み込み、同様に電流をレーザー発振装置に供給して、発振を生じさせた。本実施例では、10m Wのレーザー強度が得られ、pn接合により効率的にキャリアをErドープ層に注入する ことにより、実施例3のレーザー発振装置と比較してレーザ強度を1桁あげることができ たことが示された。

【0082】

(実施例5)

本実施例では、実施例1と同様のレーザー発振素子であるが、Erソースにエルビウム原 10 子ではなくtris(2,2,6,6)-tetramethyl-3,5-hepta nedionato erbium を用い、マイクロ波プラズマCVDによるダイヤ成 長中に同時に1000ppmの濃度でドーピングを行った。そして、このドープダイヤモ ンドをレーザー発振素子として、実施例1と同様にレーザー発振装置を組立て、モジュー ルに組込んで実施例1と同様に発振させた。このとき、10mWのレーザー強度が得られ た。

【0083】

従って、本実施例ではドーパントとして、tris(2,2,6,6)-tetrame thyl-3,5-heptanedionato erbium を用い、ダイヤモン ド成長中に同時にドーピングを行うことにより、均質なドーピングが行われ、レーザ強度 20 が上昇した。

[0084]

(比較例1)

本比較例では、実施例5のドープダイヤモンドの形成において、Erドープ量を5000 0ppm以上の過剰な量とし、その他は実施例5と同様のドーピングを行った。

【0085】

しかし、形成されたダイヤモンドは結晶性が崩れ、グラファイト成分がダイヤ内に析出した。その結果レーザ発振を得ることができなかった。従って

(比較例2)

本比較例では、実施例5のドープダイヤモンドの形成において、Erドープ量を1ppm 30 以上の非常に少量とし、その他は実施例5と同様のドーピングを行った。

【0086】

しかし、ダイヤの結晶性はX線の半値幅ではノンドープダイヤと変わらないほど優れていたにもかかわらず、レーザ発振を得ることができなかった。

【0087】

(比較例3)

## 実施例 5の放熱部分の形成において、以下の条件でマイクロ波プラズマCVD法により、 熱伝導率が 900W/mKのダイヤモンドを得てこれを放熱部分とした。

[0088]

マイクロ波周波数	2.45(GHz)	40
水素(H₂ )流量	200 (sccm)	
メタン( C H <sub>4</sub> ) 流 量	8 ( s c c m )	
圧力	100 (Torr)	
マイクロ波出力	500(W)	
基板温度	1100()	
成長時間	75(hr)	
膜厚	300(µm)	
熱伝導率	900(W/mK)。	
【 0 0 8 9 】		
ここで、実施例1におけるマイクロ	波プラズマCVD法の条件と異なる点は、メタンの流	50

量を実施例1では4sccmとしていたところを、本比較例では8sccmとした点であ る。また、熱伝導率の測定は、実施例1で用いられた方法と同じ定常比較法により行われ た。 [0090]このダイヤモンドを用いて実施例5と同様にレーザー発振装置を作製し、実施例5と同様 にモジュールに組込んで発振を行った。 [0091]しかし、励起用レーザの出力を上げた際、レーザー発振装置全体の温度が上昇して発光波 長が著しく不安定となり、所望のレーザ発振強度を得るには至らなかった。 [0092]ここで、熱伝導率の異なるダイヤモンドの作製は、マイクロ波プラズマCVD法における 合成において、メタン等の炭素原子供給ガスの濃度、供給量及び種類等を変えることによ り実現される。この方法においては、一般には、炭素原子供給ガスの濃度を増加させると 、ダイヤモンドの成長速度が増加するものの、ダイヤモンドの熱伝導率が低下する。 [0093]この方法で、メタンの供給流量を上記の流量よりも僅かに減少させて、熱伝導率が100 0W/mKのダイヤモンドを作製して、実施例5と同様にモジュールに組込んで発振を行 ったところ、レーザー発振装置全体の温度上昇による発光波長の変動は見られなかった。 [0094]従って、これらの結果によれば、レーザー発振の際に生ずる熱を効果的に吸熱するために は、レーザー発振装置の放熱部分には1000W/mK以上の熱伝導率を有するダイヤモ ンドを用いることが好ましいことが示された。 [0095]【発明の効果】 以上詳細に説明したように、本発明のレーザー発振素子は、基材に希土類金属を添加した ダイヤモンドを用いているため、周波数の安定したレーザー光を高く且つ安定な発振強度 で発することが可能となる。 [0096]また、本発明のレーザー発振装置は、放熱部分に熱伝導率の高いダイヤモンドを用いるた め、長時間の操作においても、発振強度及び周波数が安定する。 [0097]従って、室温において連続発振可能で且つ発振周波数の安定したレーザ発振素子が提供さ れる。 [0098]また、本発明により、小型で且つ信頼性の高い絶対波長レーザー発振装置を実用的なレベ ルで提供される。 【図面の簡単な説明】 【図1】本発明のレーザー発振装置を表す図であり、(a)は側面図、(b)は上面図、 (c)は正面図である。 【図2】本発明で作製されたレーザー発振装置が装着されるモジュールの断面図である。 【図3】本発明の、内部にpn接続構造を有するレーザー発振素子の断面図である。 【図4】本発明のレーザー発振装置を表す図であり、(a)は側面図、(b)は上面図、 ( c ) は正面図である。 【符号の説明】 10…レーザー発振装置、12…レーザー発振素子、14…放熱部分、16…励起用レー ザー、18…光ファイバ、20…アライメント、30…モジュール、32…サファイア窓 、34…非球面レンズ、36…アイソレーター、38…キャピラリ、40…フェルール、 4 2 … 光ファイバ、 5 0 … レーザー発振素子、 5 2 … 電極、 5 4 … B ドープダイヤモンド 56…Erドープダイヤモンド、58…アンドープダイヤモンド、60…電極、62… レーザー発振装置。

40

10

20













# 【図3】











#### フロントページの続き

(72)発明者 西林 良樹 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内

(72)発明者 鹿田 真一 兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友電気工業株式会社 伊丹製作所内

## 審査官 河原 正

(56)参考文献 特開平6-97540(JP,A)

特開平6-291404(JP,A) 特開平5-13342(JP,A) 特開平3-227092(JP,A) 特開平4-333291(JP,A) 特開平2-18980(JP,A) 特開平4-84486(JP,A) 特開平6-216455(JP,A) 特開平6-216455(JP,A) 特開平64-74783(JP,A) Applied Physics Letters,1994年,Vol.64 No.13,p.1668-1670 Applied Physics Letters,1994年,Vol.65 No.8,p.992-994 Applied Physics Letters,1986年,Vol.49 No.25,p.1686-1688

(58)調査した分野(Int.CI.<sup>7</sup>, DB名) H01S3/00-3/40