

(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2010-45404  
(P2010-45404A)

(43) 公開日 平成22年2月25日(2010.2.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO1S 5/028 (2006.01)	HO1S 5/028	2H042
GO2B 5/08 (2006.01)	GO2B 5/08 A	5F173
HO1S 5/00 (2006.01)	GO2B 5/08 C	
	HO1S 5/00	

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2009-266030 (P2009-266030)	(71) 出願人	000005223 富士通株式会社
(22) 出願日	平成21年11月24日 (2009.11.24)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(62) 分割の表示	特願平11-209020の分割	(74) 代理人	100091340 弁理士 高橋 敬四郎
原出願日	平成11年7月23日 (1999.7.23)	(74) 代理人	100105887 弁理士 来山 幹雄
(31) 優先権主張番号	特願平11-70346	(72) 発明者	小路 元 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
(32) 優先日	平成11年3月16日 (1999.3.16)	(72) 発明者	米田 昌博 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

最終頁に続く

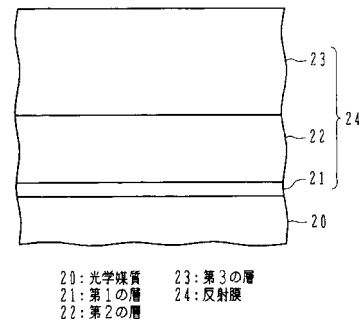
(54) 【発明の名称】 レーザ装置及び反射膜の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 実際の使用環境に近い条件で半導体レーザ装置の特性評価を行うことが可能なレーザ装置を提供する。

【解決手段】 光共振器を画定する2つの反射面を有する発振波長 [nm]、実効屈折率  $n_0$  のレーザ媒質の少なくとも1つの反射面上に、酸化シリコンからなる厚さ  $d_1$  [nm] の第1の層が形成されている。第1の層の表面上に、屈折率  $n_{Si}$  のシリコンからなる厚さ  $d_2$  [nm] の第2の層が形成されている。第2の層の表面上に、酸化シリコンからなる厚さ  $d_3$  [nm] の第3の層が形成されている。実効屈折率  $n_0$  が  $3.18$  以上  $3.28$  以下であり、膜厚  $d_1$  が、 $(0.11 - 9.2 \times 10^{-3}R + 2.2 \times 10^{-4}R^2) / 1.45 \pm 15$  の範囲内であり、膜厚  $d_2$  が、 $(-8.7 \times 10^{-3} + 3.5 \times 10^{-3}R - 1.2 \times 10^{-5}R^2) \times (-3.6 + 17 / n_{Si}) \pm 15$  の範囲内であり、膜厚  $d_3$  が、 $(0.23 - 4.9 \times 10^{-3}R + 7.7 \times 10^{-5}R^2) / 1.45 \pm 15$  の範囲内であり、上式中の  $R$  [%] が  $15$  以上  $30$  以下である。

第3の実施例による光学装置



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

光共振器を画定する2つの反射面を有する発振波長 [nm]、実効屈折率  $n_0$  のレーザー媒質と、

前記レーザー媒質の少なくとも1つの反射面上に形成された酸化シリコンからなる厚さ  $d_1$  [nm] の第1の層と、

前記第1の層の表面上に形成された屈折率  $n_{Si}$  のシリコンからなる厚さ  $d_2$  [nm] の第2の層と、

前記第2の層の表面上に形成された酸化シリコンからなる厚さ  $d_3$  [nm] の第3の層と

を有し、実効屈折率  $n_0$  が  $3.18$  以上  $3.28$  以下であり、膜厚  $d_1$  が、

$$(0.11 - 9.2 \times 10^{-3} R + 2.2 \times 10^{-4} R^2) / 1.45 \pm 15$$

の範囲内であり、膜厚  $d_2$  が、

$$(-8.7 \times 10^{-3} + 3.5 \times 10^{-3} R - 1.2 \times 10^{-5} R^2) \times (-3.6 + 17 / n_{Si}) \pm 15$$

の範囲内であり、膜厚  $d_3$  が、

$$(0.23 - 4.9 \times 10^{-3} R + 7.7 \times 10^{-5} R^2) / 1.45 \pm 15$$

の範囲内であり、上式中の  $R$  [%] が  $15$  以上  $30$  以下であるレーザー装置。

## 【請求項2】

反射面を有し、屈折率  $n_0$  が  $3.18$  以上  $3.28$  以下である光学媒質を準備する工程と、

反射すべき光の波長 及び反射率  $R$  [%] を決定する工程と、

前記光学媒質の反射面上に、酸化シリコンからなる厚さ  $d_1$  [nm] の第1の層であって、該厚さ  $d_1$  が、

$$(0.11 - 9.2 \times 10^{-3} R + 2.2 \times 10^{-4} R^2) / 1.45 \pm 15$$

の範囲内である第1の層を形成する工程と、

前記第1の層の表面上に、屈折率  $n_{Si}$  のシリコンからなる厚さ  $d_2$  [nm] の第2の層であって、該厚さ  $d_2$  が、

$$(-8.7 \times 10^{-3} + 3.5 \times 10^{-3} R - 1.2 \times 10^{-5} R^2) \times (-3.6 + 17 / n_{Si}) \pm 15$$

の範囲内である第2の層を形成する工程と、

前記第2の層の表面上に、酸化シリコンからなる厚さ  $d_3$  [nm] の第3の層であって、該厚さ  $d_3$  が、

$$(0.23 - 4.9 \times 10^{-3} R + 7.7 \times 10^{-5} R^2) / 1.45 \pm 15$$

の範囲内である第3の層を形成する工程と

を有する反射膜の製造方法。

## 【請求項3】

光共振器を画定する2つの反射面を有する発振波長 [nm]、実効屈折率  $n_0$  のレーザー媒質と、

前記レーザー媒質の少なくとも1つの反射面上に形成された酸化アルミニウムからなる厚さ  $d_1$  [nm] の第1の層と、

前記第1の層の表面上に形成された屈折率  $n_{Si}$  のシリコンからなる厚さ  $d_2$  [nm] の第2の層と、

前記第2の層の表面上に形成された酸化アルミニウムからなる厚さ  $d_3$  [nm] の第3の層と

を有し、実効屈折率  $n_0$  が  $3.18$  以上  $3.28$  以下であり、膜厚  $d_1$  が、

$$(1.7 \times 10^{-3} + 1.1 \times 10^{-3} R + 3.1 \times 10^{-5} R^2) \times / 1.72 \pm 15$$

の範囲内であり、膜厚  $d_2$  が、

$$(2.3 \times 10^{-2} + 3.5 \times 10^{-3} R - 5.6 \times 10^{-5} R^2) \times (-1.4 + 8.9 / n_{Si}) \pm 15$$

の範囲内であり、膜厚  $d_3$  が、

$$(2.3 \times 10^{-2} + 3.5 \times 10^{-3} R - 5.6 \times 10^{-5} R^2) \times (-1.4 + 8.9 / n_{Si}) \pm 15$$

10

20

30

40

50

の範囲内であり、膜厚  $d_3$  が、

$$(0.21 - 1.9 \times 10^{-3} R + 2.1 \times 10^{-5} R^2) / 1.72 \pm 15$$

の範囲内であり、上式中の  $R$  [%] が 15 以上 30 以下であるレーザ装置。

【請求項 4】

反射面を有し、屈折率  $n_0$  が 3.18 以上 3.28 以下である光学媒質を準備する工程と、

反射すべき光の波長 及び反射率  $R$  [%] を決定する工程と、

前記光学媒質の反射面上に、酸化アルミニウムからなる厚さ  $d_1$  [nm] の第 1 の層であって、該厚さ  $d_1$  が、

$$(1.7 \times 10^{-3} + 1.1 \times 10^{-3} R + 3.1 \times 10^{-5} R^2) \times / 1.72 \pm 15 \quad 10$$

の範囲内である第 1 の層を形成する工程と、

前記第 1 の層の表面上に、屈折率  $n_{Si}$  のシリコンからなる厚さ  $d_2$  [nm] の第 2 の層であって、該厚さ  $d_2$  が、

$$(2.3 \times 10^{-2} + 3.5 \times 10^{-3} R - 5.6 \times 10^{-5} R^2) \times (-1.4 + 8.9 / n_{Si}) \pm 15$$

の範囲内である第 2 の層を形成する工程と、

前記第 2 の層の表面上に、酸化アルミニウムからなる厚さ  $d_3$  [nm] の第 3 の層であって、該厚さ  $d_3$  が、

$$(0.21 - 1.9 \times 10^{-3} R + 2.1 \times 10^{-5} R^2) / 1.72 \pm 15$$

の範囲内である第 3 の層を形成する工程と

20

を有する反射膜の製造方法。

【請求項 5】

光共振器を画定する 2 つの反射面を有する発振波長 [nm]、実効屈折率  $n_0$  のレーザ媒質と、

前記レーザ媒質の少なくとも 1 つの反射面上に形成された酸化シリコンからなる厚さ  $d_1$  [nm] の第 1 の層と、

前記第 1 の層の表面上に形成された屈折率  $n_{Si}$  のシリコンからなる厚さ  $d_2$  [nm] の第 2 の層と、

前記第 2 の層の表面上に形成された酸化アルミニウムからなる厚さ  $d_3$  [nm] の第 3 の層と

30

を有し、実効屈折率  $n_0$  が 3.18 以上 3.28 以下であり、膜厚  $d_1$  が、

$$(-3.1 \times 10^{-5} + 3.6 \times 10^{-3} R - 3.5 \times 10^{-5} R^2) \times / 1.45 \pm 15$$

の範囲内であり、膜厚  $d_2$  が、

$$(3.5 \times 10^{-2} + 2.5 \times 10^{-3} R - 3.6 \times 10^{-5} R^2)$$

$$\times (-2.6 + 1.4 / n_{Si}) \pm 15$$

の範囲内であり、膜厚  $d_3$  が、

$$(0.21 - 1.9 \times 10^{-3} R + 2.1 \times 10^{-5} R^2) / 1.72 \pm 15$$

の範囲内であり、上式中の  $R$  [%] が 15 以上 30 以下であるレーザ装置。

【請求項 6】

反射面を有し、屈折率  $n_0$  が 3.18 以上 3.28 以下である光学媒質を準備する工程と、

40

反射すべき光の波長 及び反射率  $R$  [%] を決定する工程と、

前記光学媒質の反射面上に、酸化シリコンからなる厚さ  $d_1$  [nm] の第 1 の層であって、該厚さ  $d_1$  が、

$$(-3.1 \times 10^{-5} + 3.6 \times 10^{-3} R - 3.5 \times 10^{-5} R^2) \times / 1.45 \pm 15$$

の範囲内である第 1 の層を形成する工程と、

前記第 1 の層の表面上に、屈折率  $n_{Si}$  のシリコンからなる厚さ  $d_2$  [nm] の第 2 の層であって、該厚さ  $d_2$  が、

$$(3.5 \times 10^{-2} + 2.5 \times 10^{-3} R - 3.6 \times 10^{-5} R^2) \times (-2.6 + 1.4 / n_{Si})$$

$$\pm 15$$

50

の範囲内である第2の層を形成する工程と、

前記第2の層の表面上に、酸化アルミニウムからなる厚さ $d_3$  [nm]の第3の層であって、該厚さ $d_3$ が、

$$(0.21 - 1.9 \times 10^{-3} R + 2.1 \times 10^{-5} R^2) / 1.72 \pm 15$$

の範囲内である第3の層を形成する工程と

を有する反射膜の製造方法。

【請求項7】

光共振器を画定する2つの反射面を有する発振波長 [nm]、実効屈折率 $n_0$ のレーザ媒質と、

前記レーザ媒質の少なくとも1つの反射面上に形成された酸化アルミニウムからなる厚さ $d_1$  [nm]の第1の層と、 10

前記第1の層の表面上に形成された屈折率 $n_{Si}$ のシリコンからなる厚さ $d_2$  [nm]の第2の層と、

前記第2の層の表面上に形成された酸化シリコンからなる厚さ $d_3$  [nm]の第3の層と

を有し、実効屈折率 $n_0$ が3.18以上3.28以下であり、膜厚 $d_1$ が、

$$(0.12 - 1.2 \times 10^{-2} R + 3.2 \times 10^{-4} R^2) / 1.72 \pm 15$$

の範囲内であり、膜厚 $d_2$ が、

$$(-2.7 \times 10^{-2} + 3.4 \times 10^{-3} R + 2.4 \times 10^{-5} R^2) \times (-3.8 + 2.8 / n_{Si}) \pm 15$$

20

の範囲内であり、膜厚 $d_3$ が、

$$(0.23 - 4.9 \times 10^{-3} R + 7.7 \times 10^{-5} R^2) / 1.45 \pm 15$$

の範囲内であり、上式中のR [%]が15以上30以下であるレーザ装置。

【請求項8】

反射面を有し、屈折率 $n_0$ が3.18以上3.28以下である光学媒質を準備する工程と、

反射すべき光の波長 及び反射率R [%]を決定する工程と、

前記光学媒質の反射面上に、酸化アルミニウムからなる厚さ $d_1$  [nm]の第1の層であって、該厚さ $d_1$ が、

$$(0.12 - 1.2 \times 10^{-2} R + 3.2 \times 10^{-4} R^2) / 1.72 \pm 15$$

30

の範囲内である第1の層を形成する工程と、

前記第1の層の表面上に、屈折率 $n_{Si}$ のシリコンからなる厚さ $d_2$  [nm]の第2の層であって、該厚さ $d_2$ が、

$$(-2.7 \times 10^{-2} + 3.4 \times 10^{-3} R + 2.4 \times 10^{-5} R^2) \times (-3.8 + 2.8 / n_{Si}) \pm 15$$

の範囲内である第2の層を形成する工程と、

前記第2の層の表面上に、酸化シリコンからなる厚さ $d_3$  [nm]の第3の層であって、該厚さ $d_3$ が、

$$(0.23 - 4.9 \times 10^{-3} R + 7.7 \times 10^{-5} R^2) / 1.45 \pm 15$$

40

の範囲内である第3の層を形成する工程と

を有する反射膜の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、反射膜の製造方法、及び反射膜を用いたレーザ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

反射すべき光の波長の1/4の光学膜厚を有する2種類以上の薄膜を積層した多層膜構造の反射膜が知られている。この多層膜構造の反射膜を、レーザダイオードの光共振器の端面に形成することにより、低しきい値化、高出力化等を図ることができる。

50

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0003】

一対の共振器端面を有する半導体レーザ装置のレーザ特性の指標となる基本的なパラメータとして、しきい値利得、外部微分量子効率、前後比、及びスロープ効率が挙げられる。しきい値利得  $g_{th}$  は、

$$g_{th} = \alpha_i + (1/L) \ln(1/(R_f R_r)^{1/2})$$

と定義される。ここで、 $\alpha_i$  は、光共振器内の内部損失、 $L$  は共振器長、 $R_f$  及び  $R_r$  は、それぞれ前端面及び後端面の反射率である。

## 【0004】

外部微分量子効率  $\eta_d$  は、

$$\eta_d = \alpha_i \times \ln(1/R) / (\alpha_i L + \ln(1/R))$$

と定義される。ここで、 $\alpha_i$  は、内部量子効率であり、 $R = R_f = R_r$  と仮定した。

## 【0005】

前後比  $r$  は、

$$r = ((1 - R_f) / (1 - R_r)) \times (R_r / R_f)^{1/2}$$

と定義される。

スロープ効率  $S_d$  は、

$$S_d = 1.24 \times \alpha_d /$$

と定義される。ここで、 $\lambda$  は、発振波長である。

## 【0006】

上記定義式から分かるように、反射率  $R_f$  及び  $R_r$  が低下すると、外部微分量子効率  $\eta_d$  及びスロープ効率  $S_d$  は向上するが、しきい値利得  $g_{th}$  が増加する。すなわち、しきい値電流が増加してしまう。特に、高温動作環境においては、しきい値電流の増加により光出力特性が損なわれる場合がある。

## 【0007】

通常、レーザダイオードの特性評価は、大気もしくは不活性ガス雰囲気中で行われる。ところが、実際の動作時には、レーザダイオードを実装基板上に実装した後、樹脂等で被覆する。光共振器の反射端面を樹脂で被覆すると、反射率が低下し、しきい値利得  $g_{th}$  が増加してしまう。このため、実際の使用環境下における光出力特性を評価することが困難である。

## 【0008】

本発明の目的は、実際の使用環境に近い条件で半導体レーザ装置の特性評価を行うことが可能な反射膜の製造方法、及びレーザ装置を提供することである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0009】

本発明の一観点によると、

光共振器を画定する2つの反射面を有する発振波長  $\lambda$  [nm]、実効屈折率  $n_0$  のレーザ媒質と、

前記レーザ媒質の少なくとも1つの反射面上に形成された酸化シリコンからなる厚さ  $d_1$  [nm] の第1の層と、

前記第1の層の表面上に形成された屈折率  $n_{Si}$  のシリコンからなる厚さ  $d_2$  [nm] の第2の層と、

前記第2の層の表面上に形成された酸化シリコンからなる厚さ  $d_3$  [nm] の第3の層と

を有し、実効屈折率  $n_0$  が  $3.18$  以上  $3.28$  以下であり、膜厚  $d_1$  が、

$$(0.11 - 9.2 \times 10^{-3} R + 2.2 \times 10^{-4} R^2) / 1.45 \pm 1.5$$

の範囲内であり、膜厚  $d_2$  が、

$$(-8.7 \times 10^{-3} + 3.5 \times 10^{-3} R - 1.2 \times 10^{-5} R^2) \times (-3.6 + 1.7 / n_{Si}) \pm 1.5$$

10

20

30

40

50

の範囲内であり、膜厚  $d_3$  が、

$$(0.23 - 4.9 \times 10^{-3} R + 7.7 \times 10^{-5} R^2) / 1.45 \pm 1.5$$

の範囲内であり、上式中の  $R$  [%] が 15 以上 30 以下であるレーザ装置が提供される。

【0010】

本発明の他の観点によると、

反射面を有し、屈折率  $n_0$  が 3.18 以上 3.28 以下である光学媒質を準備する工程と、

反射すべき光の波長 及び反射率  $R$  [%] を決定する工程と、

前記光学媒質の反射面上に、酸化シリコンからなる厚さ  $d_1$  [nm] の第 1 の層であって、該厚さ  $d_1$  が、

$$(0.11 - 9.2 \times 10^{-3} R + 2.2 \times 10^{-4} R^2) / 1.45 \pm 1.5$$

の範囲内である第 1 の層を形成する工程と、

前記第 1 の層の表面上に、屈折率  $n_{Si}$  のシリコンからなる厚さ  $d_2$  [nm] の第 2 の層であって、該厚さ  $d_2$  が、

$$(-8.7 \times 10^{-3} + 3.5 \times 10^{-3} R - 1.2 \times 10^{-5} R^2) \times (-3.6 + 1.7 / n_{Si}) \pm 1.5$$

の範囲内である第 2 の層を形成する工程と、

前記第 2 の層の表面上に、酸化シリコンからなる厚さ  $d_3$  [nm] の第 3 の層であって、該厚さ  $d_3$  が、

$$(0.23 - 4.9 \times 10^{-3} R + 7.7 \times 10^{-5} R^2) / 1.45 \pm 1.5$$

の範囲内である第 3 の層を形成する工程と

を有する反射膜の製造方法が提供される。

【0011】

第 1 ~ 第 3 の層の膜厚を上述の式を満足するように選ぶと、空気中に配置されている場合の反射率と、樹脂封止した後の反射率との差を小さくすることができる。

【発明の効果】

【0012】

反射膜の外部媒質が取り替えられた場合でも、特定の波長の光に対する反射率の変動幅を少なくすることができる。この反射膜をレーザダイオードの光共振器の端面に適用すると、大気中でしきい値を測定することにより、樹脂封止後のしきい値を高精度に予測することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図 1】第 1 の実施例による光学装置の断面図である。

【図 2】第 2 の実施例による半導体レーザ装置の断面図である。

【図 3】第 2 の実施例及び比較例による半導体レーザ装置の、樹脂封止前後のしきい値の変動幅の温度特性を示すグラフである。

【図 4】第 3 の実施例による光学装置の断面図である。

【図 5】第 3 の実施例による光学装置の反射膜に用いられる多層膜の膜厚を示すグラフである。

【図 6】第 3 の実施例及び比較例による反射膜を適用した半導体レーザ装置の、樹脂封止前後のしきい値の変動幅の温度特性を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0014】

図 1 は、本発明の第 1 の実施例による反射膜の断面図を示す。屈折率  $n_0$  の光学媒質 1 の反射面上に、積層構造を有する反射膜 5 が形成されている。反射膜 5 は、屈折率  $n_1$  の第 1 の層 2 と屈折率  $n_2$  の第 2 の層 3 とが交互に  $k$  組積層され、最上の第 2 の層 3 の表面上に、屈折率  $n_1$  の第 3 の層 4 が形成された積層構造を有する。ここで、 $k$  は、正の整数である。

【0015】

10

20

30

40

50

反射すべき光の波長を  $\lambda$  としたとき、第 1 の層 2 の膜厚  $d_1$  は、  
 $d_1 = (\lambda / 4 + (\lambda / 2) \times N_1) / n_1$  ( $N_1$  は 0 または正の整数) …… (65)  
 である。第 2 の層 3 の膜厚  $d_2$  は、  
 $d_2 = (\lambda / 4 + (\lambda / 2) \times N_2) / n_2$  ( $N_2$  は 0 または正の整数) …… (66)  
 である。

【0016】

外部の媒質 (第 3 の層 4 に接している媒質) の屈折率が  $n_{s1}$  である場合と  $n_{s2}$  である場合との反射率が等しくなるように反射膜 5 を設計する方法について説明する。第 3 の層 4 の膜厚  $d_3$  は、

$$d_3 = d + (\lambda / 2 n_1) \times N_3 \quad (N_3 \text{ は } 0 \text{ または正の整数}) \dots\dots (67)$$

10

及び、

【0017】

【数 1】

$$\cos^2 \Delta = \frac{\frac{n_1^2}{ns_1 ns_2} n_1^2 a^4 - n_0^2}{\left(1 + \frac{n_1^2}{ns_1 ns_2}\right) (n_1^2 a^4 - n_0^2)} \dots\dots (68)$$

20

$$\Delta = \frac{2\pi n_1 d}{\lambda}$$

$$a = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^k$$

30

【0018】

( $k$  は 0 または正の整数)

を満足するように選択されている。

【0019】

波長  $\lambda$  の光に対する反射膜 5 の反射率  $R$  [%] は、

【0020】

【数 2】

$$R^2 = 1 - \frac{4 \times \frac{n_0}{ns}}{\left[ \left\{ 1 - \left( \frac{n_1}{ns} \right)^2 \right\} a^2 - \left\{ \left( \frac{n_0}{n_1} \right)^2 - \left( \frac{n_0}{ns} \right)^2 \right\} b^2 \right] \cos^2 \Delta + \left\{ \left( \frac{n_1}{ns} \right) a + \left( \frac{n_0}{n_1} \right) b \right\}^2} \dots (69)$$

$$\Delta = \frac{2\pi n_1 d}{\lambda}$$

$$a = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^k$$

$$b = \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^k$$

10

【0021】

と表される。ここで、 $ns$  は、第 3 の層 4 に接触している外部媒質の屈折率である。

【0022】

20

式 (68) を満足するように第 3 の層 4 の膜厚を設定しておく、式 (69) からわかるように、外部媒質の屈折率が  $ns_1$  の場合の反射率と、屈折率が  $ns_2$  の場合の反射率とが等しくなる。例えば、 $ns_1 = 1$  とし、 $ns_2$  を、反射膜 5 の実際の使用時における外部媒質の屈折率に等しくしておく、大気中または不活性ガス中における反射膜 5 の反射率が、実際の使用時における反射率に等しくなる。

【0023】

このため、大気中で反射率の評価実験を行うことにより、実際の使用時における反射率を高精度で予測することができる。なお、第 1 の層 2、第 2 の層 3、及び第 3 の層 4 を、これらの膜厚が上述の計算で得られた理想膜厚と等しくなるように成膜することは困難である。現実的には、各層の膜厚が、理想膜厚から  $\pm 20\%$  程度相違している場合であっても、良好な効果が得られるであろう。従って、本明細書において、薄膜の「膜厚」は、計算式により与えられる理想膜厚から  $\pm 20\%$  増減した膜厚を含むものとする。

30

【0024】

図 2 は、上記第 1 の実施例による反射膜を用いた第 2 の実施例による半導体レーザ装置の断面図を示す。上部が開口した外枠 10 内にプラットホーム 13 が配置されている。プラットホーム 13 は、例えばシリコン基板により構成される。プラットホーム 13 の表面上に、レーザダイオード 8 及びフォトダイオード 14 が搭載されている。レーザダイオード 8 は、例えば  $InGaAsP/InP$  系の発振波長  $1.3 \mu m$  のファブリペロー型レーザ装置である。この光共振器の等価屈折率  $n_0$  は  $3.23$  である。

【0025】

40

レーザダイオード 8 の光共振器の両端面には、上記第 1 の実施例による反射膜 5A 及び 5B が成膜されている。図 1 における第 1 の層 2 及び第 3 の層 4 は  $SiO_2$  で形成され、その屈折率  $n_1$  は  $1.45$  であり、第 2 の層 3 は  $Si$  で形成され、その屈折率  $n_2$  は  $3.8$  である。 $SiO_2$  膜及び  $Si$  膜は、例えばイオンアシスト蒸着、プラズマ励起型化学気相成長、熱化学気相成長、またはスパッタリング等により形成することができる。

【0026】

反射膜 5B を透過して後方に放射されたレーザ光は、フォトダイオード 14 に入射する。フォトダイオード 14 の出力信号を測定することにより、レーザダイオード 8 の発振状況を監視することができる。

【0027】

50

反射膜 5 A を透過して前方に放射されたレーザ光の一部は、光ファイバ 1 2 に入射する。光ファイバ 1 2 は、プラットフォーム 1 3 の表面上に載置され、押え板 1 5 により、その位置が固定されている。光ファイバ 1 2 は、外枠 1 0 の側面を貫通して、外枠 1 0 の外まで導出されている。光ファイバ 1 2 の、外枠 1 0 を貫通する部分は、ホルダ 1 1 で保護されている。

【 0 0 2 8 】

フォトダイオード 1 4、レーザダイオード 8、及び光ファイバ 1 2 の端部を、封止樹脂 1 6 が覆う。封止樹脂 1 6 は、例えばシリコン樹脂等で形成される。シリコン樹脂の屈折率は、1.38 である。外枠 1 0 の開口部は、蓋 1 7 で塞がれている。外枠 1 0 の底に、複数の信号入出力用端子 1 8 が取り付けられている。

10

【 0 0 2 9 】

式 ( 4 4 ) 及び式 ( 4 5 ) から、図 1 における第 1 の層 2 の膜厚  $d_1$  は 224 nm、第 2 の層 2 の膜厚  $d_2$  は 86 nm となる。なお、ここでは、 $N_1 = N_2 = 0$  とした。式 ( 6 8 ) の  $ns_1 = 1$ 、 $ns_2 = 1.38$  とすると、 $\cos^2 = 0.395$  になる。これから、第 3 の層 4 の膜厚  $d_3$  は、一例として、127 nm と求められる。このとき、式 ( 6 9 ) から、反射率  $R [ \% ]$  は、76.7% となる。

【 0 0 3 0 】

図 3 は、上記第 2 の実施例によるレーザダイオードの、樹脂封止前後のしきい値の変化を、動作温度の関数として示す。横軸は、動作温度を単位 で表し、縦軸はシリコン樹脂で封止する前後のしきい値の変動幅を単位 % で表す。グラフ中の実線 a は、上記第 2 の実施例によるレーザダイオードのしきい値変動幅を示し、実線 b は、図 1 に示す第 3 の層 4 を設けない反射膜を用いたレーザダイオードのしきい値変動幅を示す。

20

【 0 0 3 1 】

第 1 の実施例による反射膜を用いた場合には、しきい値変動幅が 5% 以下である。これに対し、第 3 の層を設けない場合には、しきい値変動幅が 20 ~ 45% 程度になる。このように、第 1 の実施例の反射膜を用いることにより、樹脂封止前後のしきい値変動幅を少なくすることができる。特に、動作温度が高い場合に、その効果が高いことがわかる。

【 0 0 3 2 】

これは、第 1 の実施例による反射膜の大気中における反射率と、樹脂封止後における反射率とがほぼ等しいためである。図 1 に示す第 3 の層 4 を用いない場合には、大気中における反射率と樹脂封止後における反射率とが異なるため、樹脂封止前後でしきい値が大きく変動する。第 1 の実施例による反射膜を用いると、大気中でレーザダイオードのしきい値を評価し、樹脂封止後のしきい値を高精度に予測することができる。

30

【 0 0 3 3 】

上記第 2 の実施例では、図 1 の第 1 及び第 2 の層 2 及び 3 として、 $SiO_2$  と  $Si$  を用いたが、その他の材料、例えば  $Al$ 、 $Si$ 、 $Ti$ 、 $Zn$ 、 $Mg$ 、または  $Li$  の酸化物、窒化物、または弗化物を用いてもよい。また、反射膜をレーザダイオードの光共振器端面に形成する場合には、端面に直接接する第 1 の層を絶縁材料で形成することが好ましい。

【 0 0 3 4 】

上記第 2 の実施例では、ファブリペロー型レーザを例にとって説明したが、第 1 の実施例による反射膜は、その他のレーザダイオード、例えば分布帰還型レーザダイオード、分布ブラッグ反射型レーザダイオードに適用することも可能である。

40

【 0 0 3 5 】

通常の方法の屈折率は 1 以上であるため、式 ( 6 8 ) の  $ns_1$  及び  $ns_2$  は共に 1 以上である。また、一般的にレーザダイオードの発振波長域で使用され得る反射膜材料の屈折率は 4 以下である。このため、一般的には、

$$1 < (ns_1 \times ns_2) < 16 \dots (70)$$

と考えられる。

【 0 0 3 6 】

この条件と、式 ( 6 8 ) から、

50

【 0 0 3 7 】

【 数 3 】

$$\arccos \left( \frac{\frac{n_1^2}{16} n_1^2 a^4 - n_0^2}{\left(1 + \frac{n_1^2}{16}\right) (n_1^2 a^4 - n_0^2)} \right) \times \frac{\lambda}{2\pi n_1} \leq d \leq \arccos \left( \frac{\frac{n_1^2}{16} n_1^2 a^4 - n_0^2}{\sqrt{\left(1 + \frac{n_1^2}{16}\right) (n_1^2 a^4 - n_0^2)}} \right) \times \frac{\lambda}{2\pi n_1} \dots (71)$$

10

【 0 0 3 8 】

及び

【 0 0 3 9 】

【 数 4 】

$$\arccos \left( -\sqrt{\frac{\frac{n_1^2}{16} n_1^2 a^4 - n_0^2}{\left(1 + \frac{n_1^2}{16}\right) (n_1^2 a^4 - n_0^2)}} \right) \times \frac{\lambda}{2\pi n_1} \leq d \leq \arccos \left( -\frac{\frac{n_1^2}{16} n_1^2 a^4 - n_0^2}{\sqrt{\left(1 + \frac{n_1^2}{16}\right) (n_1^2 a^4 - n_0^2)}} \right) \times \frac{\lambda}{2\pi n_1} \dots (72)$$

20

$$a = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^k$$

【 0 0 4 0 】

が得られる。すなわち、図1の第3の層4の膜厚を $d_3$ とした時、膜厚 $d_3$ は、式(67)、(71)、及び(72)を満足するように制約を受ける。例えば、 $k = 1$ 、 $n_0 = 3.23$ 、 $n_1 = 1.45$ 、 $n_2 = 3.8$ の場合、 $49 \text{ nm} < d < 138 \text{ nm}$ 、または、 $311 \text{ nm} < d < 411 \text{ nm} \dots (73)$ が得られる。

30

【 0 0 4 1 】

上記第2の実施例では、レーザダイオードの反射端面に適用する反射膜について説明したが、第1の実施例による反射膜は、レーザダイオード以外の屈折率 $n_{s1}$ の光学媒質の反射面上に形成してもよい。このとき、反射膜を屈折率 $n_{s2}$ の光学媒質で覆う。反射膜がレーザダイオードに適用されている場合には、そのレーザダイオードの発振波長が、この反射膜の反射すべき光の波長に相当する。反射膜が、光学媒質の反射端面に形成されている場合には、その反射膜の反射すべき光の波長は、下記の方法で特定することができる。

【 0 0 4 2 】

図1に示す第1の層2及び第2の層3の光学膜厚は、共に、 $d/4 + (d/2) \times N$  ( $N$ は0または正の整数)  $\dots (74)$ である。ここで、光学膜厚とは、実際の膜厚に、その膜の屈折率を乗じた膜厚を意味する。反射膜を構成する第1の層2と第2の層3の膜厚を測定し、光学膜厚を求める。この第1及び第2の層の光学膜厚に対し、式(74)の $N$ を種々変化させて波長を特定する。このとき、第1の層に関する $N$ と第2の層に関する $N$ とは、等しくなくてもよい。

40

【 0 0 4 3 】

反射すべき波長が特定されると、 $n_{s1} = 1$ を代入した式(68)、及び式(67)から、図1に示す第3の層4の好適な膜厚 $d_3$ を求めることができる。このように形成された反射膜においては、屈折率が1の雰囲気中、例えば大気中における反射率と、屈折率 $n_{s2}$ の媒質中における反射率とが等しい。このため、大気中で反射率を評価することによ

50

り、屈折率  $n_{s_2}$  の媒質中における反射率を高精度に予測することができる。

【0044】

次に、本発明の第3の実施例による光学装置の構成について説明する。上記第1の実施例の反射膜は、基本的に、対象とする光の波長の  $1/4$  の厚さの膜の積層を含んでいる。第3の実施例による反射膜は3層構造を有し、各膜の厚さは波長の  $1/4$  にこだわることなく決定される。

【0045】

図4に、第3の実施例による光学装置の断面図を示す。光学媒質20の表面上に、第1の層21、第2の層22、及び第3の層23が積層されている。第1～第3の層21～23の3層により反射膜24が構成される。光学媒質20は、等価屈折率3.23、発振波長  $1.31 \mu\text{m}$  のレーザダイオードであり、第1の層21及び第3の層23は、屈折率1.45の  $\text{SiO}_2$  で形成され、第2の層22は、屈折率3.8のシリコンで形成されている。

10

【0046】

第1～第3の層21～23の膜厚を種々変化させて、上記3層構造の反射膜24を大気中に置いた場合の波長  $1.31 \mu\text{m}$  及びその近傍の波長の光に対する反射率と、屈折率1.38の樹脂で被覆した場合のそれとを計算により求めた。

【0047】

図5は、大気中に配置した場合の反射率と樹脂封止した場合の反射率とがほぼ等しくなり、かつ対象とする光の波長が変動した場合の反射率の変動が比較的少ないという条件を満足する膜厚の組み合わせを、反射率  $R [\%]$  の関数として示す。横軸は反射率  $R$  を単位  $\%$  で表し、縦軸は膜厚を単位  $\text{nm}$  で表す。図中の実線  $a_1$ 、 $a_2$ 、及び  $a_3$  は、それぞれ第1、第2、及び第3の層21、22、及び23の膜厚を示す。

20

【0048】

一般的に、レーザダイオードの劈開面と空気との界面の反射率は30%程度である。通常、レーザダイオードに適用される反射膜は、劈開面と空気との界面の反射率以下とされる。このため、図5の反射率の上限を30%としている。また、反射率が15%以下となる領域では、所望の解が得られなかった。すなわち、3層構造の反射膜を用いる場合には、反射膜の設計値を15%以上とすることが好ましい。このため、図5の反射率の下限を15%としている。

30

【0049】

第1の層21の膜厚  $d_1$  (曲線  $a_1$ ) を反射率  $R [\%]$  の2次式で近似すると、  

$$d_1 = (0.11 - 9.2 \times 10^{-3} R + 2.2 \times 10^{-4} R^2) \lambda_0 / n_1 \cdots (75)$$
 となる。ここで、 $\lambda_0$  は対象とする光の波長、すなわち  $1.31 \mu\text{m}$  であり、 $n_1$  は第1の層21の屈折率、すなわち1.45である。なお、膜厚  $d_1$  は波長  $\lambda_0$  にほぼ比例すると考えられるため、膜厚  $d_1$  を波長  $\lambda_0$  の一次式として表した。

【0050】

同様に、第2の層22の膜厚  $d_2$  (曲線  $a_2$ ) は、  

$$d_2 = (-8.7 \times 10^{-3} + 3.5 \times 10^{-3} R - 1.2 \times 10^{-5} R^2) \times (-3.6 + 1.7 / n_2) \lambda_0 \cdots (76)$$
 と近似される。ここで、 $n_2$  は第2の層22の屈折率、すなわち3.8である。なお、 $(-3.6 + 1.7 / n_2)$  の項は、屈折率  $n_2$  を3.6から3.85まで変化させて得られた図5と同様のグラフから導き出された項である。

40

【0051】

実際に、プラズマ励起型化学気相成長、スパッタリング等により形成したシリコン膜の屈折率は、成膜条件のばらつき等により、概ね3.6～3.85の範囲内で変動する。従って、第2の層22の膜厚は、実際の成膜条件に適合した屈折率  $n_2$  を式(76)に代入して決定することが好ましい。

【0052】

第3の層23の膜厚  $d_3$  (曲線  $a_3$ ) は、

50

$$d_3 = (0.23 - 4.9 \times 10^{-3} R + 7.7 \times 10^{-5} R^2) \lambda_0 / n_3 \cdots (77)$$

と近似される。ここで、 $n_3$ は第3の層23の屈折率、すなわち1.45である。

【0053】

また、各膜厚 $d_1 \sim d_3$ が、式(75)～(77)から求まる値を中心として $\pm 15$  nmの範囲(図5の破線の範囲)で増減した場合、計算結果によると、反射率は $\pm 3\%$ 程度の範囲内で変動する。例えば、反射率が25%となるように膜厚を設定した場合、膜厚の15 nm程度の変動により反射率が22%と28%との間で変動する。この程度の反射率の変動は、許容範囲内である。

【0054】

また、各膜厚 $d_1 \sim d_3$ が、目標値から $\pm 15$  nm程度増減した場合、レーザダイオードを空气中に配置した場合の反射率と樹脂封止した場合の反射率との差は、高々2%程度であるという計算結果が得られた。これに対し、単層反射膜を用いた場合には、その差は10%にもなる。すなわち、各膜厚 $d_1 \sim d_3$ が $\pm 15$  nmの範囲で増減しても、空气中における反射率と樹脂封止後の反射率との差を小さくするという十分な効果が期待される。例えば、反射率を26%としたい場合の好適な膜厚 $d_1$ 、 $d_2$ 、及び $d_3$ は、それぞれ28.2 nm以下、66.2～96.2 nm、及び121.2～151.2 nmとなる。

【0055】

なお、第1の層21の膜厚を目標値から-15 nmだけ薄くすると、膜厚 $d_1$ が0 nmになってしまう場合がある。ただし、実際には第1の層21を成膜するため、現実には膜厚 $d_1$ が0 nmになることはなく、0 nmよりも厚くなる。現実的には、少なくとも2 nm以上の膜厚になるであろう。

【0056】

上記第3の実施例では、図5からわかるように、第1の層21の膜厚 $d_1$ の取りうる範囲は40 nm以下である。従来が多層反射膜では、各層の厚さが1/4波長を基準に決定されるため、一般的なレーザダイオードに用いられる反射膜の各層の膜厚は220 nm以上である。光学媒体に接する第1の層の膜厚を40 nm以下としていることは、第3の実施例の大きな特徴といえる。

【0057】

なお、第3の実施例では、光学媒質の実効屈折率を3.23とした場合について考察したが、光学媒質の屈折率が $3.23 \pm 0.05$ の範囲内である場合に、好適な膜厚は、上述の式(75)～(77)で近似することができる。

【0058】

上記第3の実施例では、光学媒質に接する第1の層21をSiO<sub>2</sub>で形成し、その上の第2の層22をシリコンで形成し、その上の第3の層23をSiO<sub>2</sub>で形成した。その他の材料についても、好ましい膜厚の組み合わせを計算により求めた。以下、他の材料を用いた場合の第1～第3の変形例による光学装置の膜厚の組み合わせについて説明する。なお、第1～第3の変形例で使用される光学媒質の屈折率は、第3の実施例の場合と同様である。

【0059】

まず、第3の実施例の第1の変形例について説明する。第1の変形例においては、図4の第1の層21及び第3の層23を酸化アルミニウムで形成し、第2の層22をシリコンで形成する。なお、酸化アルミニウムで形成された第1及び第3の層の屈折率 $n_1$ 及び $n_3$ を1.72とした。

【0060】

第1の層21の好適な膜厚 $d_1$ 、第2の層22の好適な膜厚 $d_2$ 、及び第3の層23の好適な膜厚 $d_3$ は、それぞれ、

$$d_1 = (1.7 \times 10^{-3} + 1.1 \times 10^{-3} R + 3.1 \times 10^{-5} R^2) \lambda_0 / n_1$$

$$d_2 = (2.3 \times 10^{-2} + 3.5 \times 10^{-3} R - 5.6 \times 10^{-5} R^2) \lambda_0 \times (-1.4 + 8.9 / n_2)$$

$$d_3 = (0.21 - 1.9 \times 10^{-3} R + 2.1 \times 10^{-5} R^2) \lambda_0 / n_3 \cdots (78)$$

10

20

30

40

50

となる。

【0061】

この場合の、各膜厚の許容範囲は、上述の式から求められた目標膜厚  $d_1 \sim d_3$  の  $\pm 1.5$  nm である。また、第1の層の膜厚の上限は 60 nm である。例えば、反射率を 2.6% にするための好適な膜厚  $d_1$ 、 $d_2$ 、及び  $d_3$  は、それぞれは、23.8 ~ 53.8 nm、75.8 ~ 105.8 nm、及び 117.5 ~ 147.5 nm となる。

【0062】

次に、第3の実施例の第2の変形例について説明する。第2の変形例においては、図4の第1の層21を酸化シリコンで形成し、第2の層22をシリコンで形成し、第3の層23を酸化アルミニウムで形成する。すなわち、 $n_1 = 1.45$ 、 $n_2 = 3.6 \sim 3.85$ 、 $n_3 = 1.72$  である。

10

【0063】

第1の層21の好適な膜厚  $d_1$ 、第2の層22の好適な膜厚  $d_2$ 、及び第3の層23の好適な膜厚  $d_3$  は、それぞれ、

$$d_1 = (-3.1 \times 10^{-5} + 3.6 \times 10^{-3} R - 3.5 \times 10^{-5} R^2) / n_1$$

$$d_2 = (3.5 \times 10^{-2} + 2.5 \times 10^{-3} R - 3.6 \times 10^{-5} R^2) \times (-2.6 + 1.4 / n_2)$$

$$d_3 = (0.21 - 1.9 \times 10^{-3} R + 2.1 \times 10^{-5} R^2) / n_3 \cdots (79)$$

となる。

【0064】

この場合の、各膜厚の許容範囲は、上述の式から求められた目標膜厚  $d_1 \sim d_3$  の  $\pm 1.5$  nm である。また、第1の層の膜厚の上限は 40 nm である。例えば、反射率を 2.6% にするための好適な膜厚  $d_1$ 、 $d_2$ 、及び  $d_3$  は、それぞれは、20.4 ~ 50.4 nm、73.4 ~ 103.4 nm、及び 117.5 ~ 147.5 nm となる。

20

【0065】

次に、第3の実施例の第3の変形例について説明する。第3の変形例においては、図4の第1の層21を酸化アルミニウムで形成し、第2の層22をシリコンで形成し、第3の層23を酸化シリコンで形成する。すなわち、 $n_1 = 1.72$ 、 $n_2 = 3.6 \sim 3.85$ 、 $n_3 = 1.45$  である。

【0066】

第1の層21の好適な膜厚  $d_1$ 、第2の層22の好適な膜厚  $d_2$ 、及び第3の層23の好適な膜厚  $d_3$  は、それぞれ、

$$d_1 = (0.12 - 1.2 \times 10^{-2} R + 3.2 \times 10^{-4} R^2) / n_1$$

$$d_2 = (-2.7 \times 10^{-2} + 3.4 \times 10^{-3} R + 2.4 \times 10^{-5} R^2) \times (-3.8 + 2.8 / n_2)$$

$$d_3 = (0.23 - 4.9 \times 10^{-3} R + 7.7 \times 10^{-5} R^2) / n_3 \cdots (80)$$

となる。

【0067】

この場合の、各膜厚の許容範囲は、上述の式から求められた目標膜厚  $d_1 \sim d_3$  の  $\pm 1.5$  nm である。また、第1の層の膜厚の上限は 50 nm である。例えば、反射率を 2.6% にするための好適な膜厚  $d_1$ 、 $d_2$ 、及び  $d_3$  は、それぞれは、0.9 ~ 30.9 nm、69.6 ~ 99.6 nm、及び 121.2 ~ 151.2 nm となる。

40

【0068】

上述のように、第1~第3の層の材料の組み合わせを変えると、各層の好適な膜厚も変わる。種々の材料の組み合わせについて、図5と同様のグラフを求めることにより、樹脂封止前の反射率と樹脂封止後の反射率との差の小さな3層反射膜を得ることが可能になる。

【0069】

図6は、第3の実施例(第1~第3の変形例を含む)による反射膜を図2に示すレーザーダイオードに適用した場合の、樹脂封止前と樹脂封止後とのしきい値の変動量を、樹脂封

50

止前のしきい値に対する比率で示す。横軸及び縦軸は、図3のそれらと同様である。

【0070】

図6中の折れ線群cが、第3の実施例による3層反射膜を用いた場合のしきい値の変動幅を示し、折れ線群dが、従来の単層反射膜を用いた場合のしきい値の変動幅を示す。従来の場合には、樹脂封止することによりしきい値が20%以上上昇している。これに対し、第3の実施例による3層反射膜を用いた場合には、しきい値変動率が±5%以下である。このように、第3の実施例による3層反射膜を用いることにより、樹脂封止することによって生ずるしきい値の変動を抑制することができる。

【0071】

以上実施例に沿って本発明を説明したが、本発明はこれらに制限されるものではない。例えば、種々の変更、改良、組み合わせ等が可能なことは当業者に自明であろう。

10

【符号の説明】

【0072】

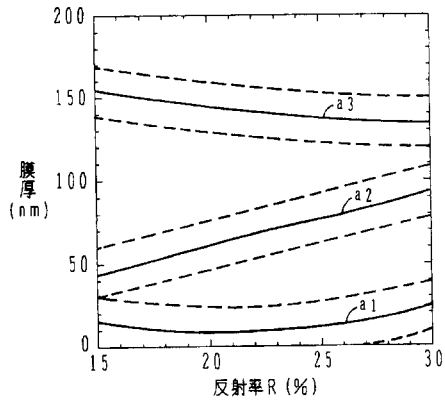
- 1、20 光学媒質
- 2、21 第1の層
- 3、22 第2の層
- 4、23 第3の層
- 5、24 反射膜
- 10 外枠
- 11 ホルダ
- 12 光ファイバ
- 13 プラットホーム
- 14 フォトダイオード
- 15 押え板
- 16 封止樹脂
- 17 蓋
- 18 信号入出力用端子

20

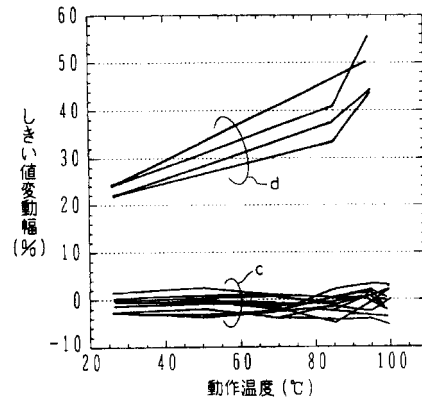


【 図 5 】

第3の実施例による光学装置に  
用いられる多層膜の膜厚



【 図 6 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 雙田 晴久

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 2H042 DA08 DA12 DC02 DE07

5F173 AH14 AL03 AL05 AL13 AL16 AP73 AP75 AP76 AP78 AR93

【要約の続き】

【選択図】 図4