(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2025年1月16日(16.01.2025)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2025/013255 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 5/028 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/025764

(22) 国際出願日： 2023年7月12日(12.07.2023)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人：三菱電機株式会社(**MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION**) [JP/JP]；〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 Tokyo (JP).

(72) 発明者：鴫原 君男 (**SHIGIHARA Kimio**)；〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人：弁理士法人ぱるも特許事務所(**PALMO PATENT FIRM, P.C.**)；〒6610033 兵庫県尼崎市南武庫之荘３丁目３５番８号 Hyogo (JP).

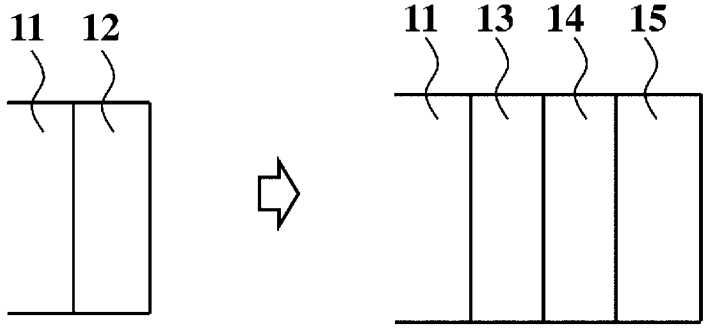
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能)：ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT,

(54) **Title:** MANUFACTURING METHOD FOR OPTICAL SEMICONDUCTOR DEVICE AND DESIGN METHOD FOR LOW REFLECTANCE FILM

(54) 発明の名称： 光半導体装置の製造方法及び低反射率膜の設計方法

図3



(57) **Abstract:** A manufacturing method for an optical semiconductor device according to the present disclosure includes: calculating a minimum value R_{min}^{0} of a reflectance by making, equal to each other, a characteristic matrix of a single-layer coating film (12) having a film thickness of $\lambda_0/4/n_{fl}$, and a characteristic matrix of multilayer coating films (13, 14, 15), using at least two types of materials for which a refractive index of one of the materials is lower than a refractive index n_{fl} and a refractive index of another of the materials is higher than the refractive index n_{fl}; and forming the multilayer coating films (13, 14, 15) on end surfaces on the basis of each film thickness obtained by matching a minimum value R_{min} at a wavelength λ_{min} of the multilayer coating films (13, 14, 15) with a minimum reflectance R_0, by making, equal to each other, the characteristic matrix of the single-layer coating film (12) having a film thickness of $\lambda_0/4/n_{fl}^{1}$, and a characteristic matrix of the multilayer coating films (13, 14, 15), using at least two types of materials for which a refractive index of one of the materials is lower than a refractive index n_{fl}^{1} and a refractive index of the other of the materials is higher than the refractive index n_{fl}^{1}.

WO 2025/013255 A1

［続葉有］

RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：本開示の光半導体装置の製造方法は、膜厚がλ_0／４／n_{fl}である単層被覆膜（１２）の特性行列と、１つの材料の屈折率が屈折率n_{fl}よりも低く、他の１つの材料の屈折率が屈折率n_{fl}よりも高い２種類以上の材料を用いた多層被覆膜（１３、１４、１５）の特性行列とを等しいとすることにより反射率の極小値R_{min}^{0}を算出し、膜厚がλ_0／４／n_{fl}^{1}の単層被覆膜（１２）の特性行列と、１つの材料の屈折率が屈折率n_{fl}^{1}よりも低く、他の１つの材料の屈折率が屈折率n_{fl}^{1}よりも高い２種類の材料を用いた多層被覆膜（１３、１４、１５）の特性行列とを等しいとすることにより、多層被覆膜（１３、１４、１５）の波長λ_{min}における極小値R_{min}を極小反射率R_0と一致させて得られる各膜厚に基づき多層被覆膜（１３、１４、１５）を端面に形成する。

明　細　書

発明の名称 ： 光半導体装置の製造方法及び低反射率膜の設計方法

技術分野

[0001]　本開示は、光半導体装置の製造方法及び低反射率膜の設計方法に関する。

背景技術

[0002]　非特許文献１に開示されているように、波長λ_0において実効屈折率n_c（＝３．６、ＧａＡｓ）である光半導体装置の出射端面に、屈折率n_f（＝１．７２、Al_2O_3）の被覆膜を設けると、被覆膜の反射率は膜厚に対して周期的に変化し、膜厚d_fがλ_0／（４n_f）の整数倍の場合に反射率は極小値となる。このときの極小反射率R_0は以下の式（１）で表され、一義的に決定される。

[0003] [数1]

数1

$$R_0=\left(\frac{n_c-n_f^2}{n_c+n_f^2}\right)^2 \quad (1)$$

つまり、波長λ_0に対する極小反射率R_0は、光半導体装置の実効屈折率n_cと、光半導体装置の出射端面（前端面）に設けられた被覆膜の屈折率n_fによって一義的に決定され、極小反射率R_0を変えることができなかった。

[0004]　例えば半導体レーザ装置においては、しきい値電流低減あるいは効率向上の観点から、半導体レーザ装置の端面反射率と共振器長から算出されるミラー損失を制御する場合、ミラー損失の値を所望の値に変えることができなかった。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1：Ｉ．Ｌａｄａｎｙ　ｅｔ．ａｌ．、“Ａｌ2O3　ｈａｌｆ－ｗａｖｅ　ｆｉｌｍｓ　ｆｏｒ　ｌｏｎｇ－ｌｉｆｅ　ｃｗ　ｌａｓｅｒｓ、”Ａｐｐｌ．Ｐｈｙｓ．Ｌｅｔｔ．、ｖｏｌ．３０、ｎｏ．２、ｐｐ．８７－８８、１９７７

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 従来の光半導体装置の製造方法及び低反射率膜の設計方法では、所望の波長λ_0における極小反射率R_0を所望の極小反射率に制御することができないという問題があった。

[0007] 本開示は上記のような問題点を解消するためになされたもので、単層被覆膜を、特性行列を利用して３層以上の多層被覆膜によって置換することにより、所望の波長において所望の極小反射率に制御された低反射率膜を有する光半導体装置の製造方法を得ること、また、低反射率膜の設計方法を得ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示に係る光半導体装置の製造方法は、

実効屈折率がn_cであり、所望の波長λ_0において所望の極小反射率である極小反射率R_0となる低反射率膜が形成された光半導体装置の製造方法であって、

屈折率n_{fl}が以下の式で表され、

[0009] [数2]

数2

$$n_{fl}=\left(\frac{1-\sqrt{R_0}}{1+\sqrt{R_0}}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{n_c}$$

膜厚がλ_0／４／n_{fl}である単層からなる被覆膜の特性行列と、少なくとも１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}よりも低く、少なくとも他の１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}よりも高い２種類以上の材料を用いた３層以上の被覆膜からなる多層被覆膜の特性行列とを等しいとすることにより、前記多層被覆膜の反射率の波長依存性を有する反射率の極小値$R_{min}{}^0$を算出し、

予め設定された設定反射率R_1を実現する単層からなる被覆膜の屈折率$n_{fl}{}^1$が、以下の式で表され、

[0010] [数3]

$$\text{数3}\quad n_{fl}^{1}=\left(\frac{1-\sqrt{R_1}}{1+\sqrt{R_1}}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{n_c}$$

膜厚がλ_0／４／n_{fl}^{1}の単層からなる被覆膜の特性行列と、少なくとも１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}^{1}よりも低く、少なくとも他の１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}^{1}よりも高い２種類以上の材料を用いた３層以上の被覆膜からなる多層被覆膜の特性行列とを等しいとすることにより、前記多層被覆膜の反射率の波長依存性における波長λ_{min}における反射率の極小値R_{min}を前記極小反射率R_0と一致させ、

前記波長λ_{min}における前記極小値R_{min}を前記波長λ_0における前記極小反射率R_0と一致させることによって得られる前記３層以上の被覆膜の各膜厚に基づき多層被覆膜を端面に形成する。

[0011] 本開示に係る低反射率膜の設計方法は、

実効屈折率がn_cである光半導体装置の端面に、ゼロを除く所望の極小反射率である極小反射率R_0を有する低反射率膜の設計方法であって、

屈折率n_{fl}が以下の式により、屈折率n_{fl}を算出するステップと、

[0012] [数4]

$$\text{数4}\quad n_{fl}=\left(\frac{1-\sqrt{R_0}}{1+\sqrt{R_0}}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{n_c}$$

所望の波長λ_0において膜厚がλ_0／４／n_{fl}である単層からなる被覆膜の特性行列と、少なくとも１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}よりも低く、少なくとも他の１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}よりも高い２種類以上の材料を用いた３層以上の被覆膜からなる多層被覆膜の特性行列とを等しいとすることにより、前記多層被覆膜の反射率の波長依存性を有する反射率の極小値R_{min}^{0}を算出するステップと、

予め設定された設定反射率R_1を実現する単層からなる被覆膜の屈折率n_{fl}^1を、以下の式を用いて算出するステップと、

[0013] [数5]

数5
$$n_{fl}^1 = \left(\frac{1 - \sqrt{R_1}}{1 + \sqrt{R_1}} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{n_c}$$

膜厚が$\lambda_0 / 4 / n_{fl}^1$の単層からなる被覆膜の特性行列と、少なくとも１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}^1よりも低く、少なくとも他の１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}^1よりも高い２種類以上の材料を用いた３層以上の被覆膜からなる多層被覆膜の特性行列とを等しいとすることにより、前記多層被覆膜の反射率の波長依存性における波長λ_{min}における反射率の極小値R_{min}を前記極小反射率R_0と一致させるステップと、

前記波長λ_{min}における前記極小値R_{min}を前記波長λ_0における前記極小反射率R_0と一致させることによって得られる前記３層以上の被覆膜の各膜厚に基づき多層被覆膜の各膜厚を決定するステップと、

を備える。

発明の効果

[0014] 本開示に係る光半導体装置の製造方法及び低反射率膜の設計方法によれば、単層被覆膜を、特性行列を利用して３層以上の多層被覆膜によって置換することにより、所望の波長において所望の極小反射率に制御された低反射率膜を有する光半導体装置を製造することが可能となり、また、低反射率膜の設計方法を得ることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]実施の形態１における光半導体装置の一例である量子カスケードレーザ装置の概観図である。

[図2]実施の形態１における光半導体装置の一例である量子カスケードレーザ装置における図１のＡ－Ａ線に沿った断面図である。

[図3]実施の形態１における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法を説明するための模式図である。

[図4]実施の形態１における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法によって設計された低反射率膜の反射率の波長依存性を示す図である。

[図5]実施の形態１における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法を示す模式図である。

[図6]実施の形態１における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法を説明するための模式図である。

[図7]実施の形態１における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法によって設計された低反射率膜の反射率の波長依存性を示す図である。

[図8]実施の形態２における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法を説明するための模式図である。

[図9]実施の形態２における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法によって設計された低反射率膜の反射率の波長依存性を示す図である。

[図10]実施の形態２における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法を説明するための模式図である。

[図11]実施の形態２における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法によって設計された低反射率膜の反射率の波長依存性を示す図である。

[図12]実施の形態３における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法を説明するための模式図である。

[図13]実施の形態３における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法によって設計された低反射率膜の反射率の波長依存性を示す図である。

[図14]実施の形態３における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜

の設計方法を説明するための模式図である。

[図15]実施の形態３における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法によって設計された低反射率膜の反射率の波長依存性を示す図である。

[図16]実施の形態４における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法を説明するための模式図である。

[図17]実施の形態４における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法によって設計された低反射率膜の反射率の波長依存性を示す図である。

[図18]実施の形態４における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法を説明するための模式図である。

[図19]実施の形態４における光半導体装置の極小反射率を有する低反射率膜の設計方法によって設計された低反射率膜の反射率の波長依存性を示す図である。

発明を実施するための形態

[0016] 実施の形態１．

図１は、実施の形態１に係る光半導体装置の一例である量子カスケードレーザ装置１００を示す概観図である。実施の形態１に係る量子カスケードレーザ装置１００は、ｎ型第１電極１と、ｎ型ＩｎＰ基板２と、ｎ型ＩｎＰバッファ層３と、ｎ型ＧａＩｎＡｓ第１光閉じ込め層４と、３０～４０の各ステージ（ｓｔａｇｅ）からなるコア領域５と、ｎ型ＧａＩｎＡｓ第２光閉じ込め層６と、ｎ型ＩｎＰクラッド層７と、ｎ型ＧａＩｎＡｓコンタクト層８と、ｎ型第２電極９と、を備える。以下、量子カスケードレーザ装置１００を、光半導体装置１１と呼ぶ場合もある。

[0017] コア領域５の１ステージは、ＧａＩｎＡｓ層のウエル層とＡＩＩｎＡｓ層のバリア層が多数積層された多重量子井戸（Ｍｕｌｔｉ－Ｑｕａｎｔｕｍ Ｗｅｌｌ：ＭＱＷ）構造であり、発振波長は３～２４μｍの範囲内の中赤外光である。なお、図１では、前端面に設けた低反射率膜１０は図示していな

い。

[0018] 図２は、図１のＡ－Ａ線に沿った量子カスケードレーザ装置１００の断面図である。量子カスケードレーザ装置１００の出射端面には、複数の被覆膜（以下、多層被覆膜と呼ぶ）で構成され、波長λ_0において反射率が極小となる低反射率膜１０が設けられている。

[0019] 実効屈折率がn_cである光半導体装置１１に、波長λ_0において屈折率がn_fであり、膜厚が$\lambda_0/(4n_f)$に設定された単層の被覆膜（以下、単層被覆膜と呼ぶ）を設けると、単層被覆膜の反射率は極小値である極小反射率R_0となる。極小反射率R_0は、上述の式（１）で表される。

[0020] 逆に式（１）より、所望の極小反射率R_0を実現するための被覆膜の屈折率n_{fl}、及び屈折率n_{fh}は、以下の式（２）を用いて算出される。

[0021] [数6]

$$n_{fl}=\left(\frac{1-\sqrt{R_0}}{1+\sqrt{R_0}}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{n_c} \qquad n_{fh}=\left(\frac{1+\sqrt{R_0}}{1-\sqrt{R_0}}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{n_c} \quad (2)$$

[0022] 例えば、光半導体装置１１の実効屈折率n_cが３．２であり、極小反射率R_0＝０．００５（０．５％）である場合、屈折率n_{fl}及び屈折率n_{fh}は、それぞれ、１．６６６５３５及び１．９２０１５２と算出される。しかしながら、被覆膜を構成する材料において、これらの屈折率値を有し、かつ光半導体装置へ適用可能な材料は現時点では存在しない。そこで、本開示では、既知の材料で置換することによって上述の屈折率値を実現する。

[0023] 先ず、屈折率n_{fl}＝１．６６６５３５の場合について説明する。単層被覆膜を、屈折率n_{fl}よりも屈折率が低い材料と、屈折率n_{fl}よりも屈折率が高い材料の２つの材料による３層被覆膜による置換を考える。

[0024] 図３は、屈折率n_{fl}で膜厚d_{fl}が$\lambda_0/(4n_{fl})$である単層被覆膜１２を、それぞれ屈折率n_1で膜厚d_1、屈折率n_2で膜厚d_2及び屈折率n_1で膜厚d_3である３層被覆膜で置換する場合の模式図である。図３に示すように、実効屈折率n_cで波長λ_0の光を出射する光半導体装置１１の端面に形成された屈折率n_f

$_{l}$（＝１．６６５３５）で膜厚$d_{fl}=\lambda_0/(4n_{fl})$である単層被覆膜１２を、屈折率$n_1$で膜厚$d_1$である第１被覆膜１３、屈折率$n_2$で膜厚$d_2$である第２被覆膜１４、屈折率$n_1$で膜厚$d_3$である第３被覆膜１５の３層被覆膜で置き換える。単層被覆膜１２を３層被覆膜で置換できるとすると、以下の式（３）で表されるように、両者の特性行列は等しくなる。

[0025] [数7]

数7

$$\begin{pmatrix} 0 & \frac{-i}{n_{fl}} \\ -i\,n_{fl} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi_1 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_1 \\ -i\,n_1\sin\phi_1 & \cos\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \frac{-i}{n_2}\sin\phi_2 \\ -i\,n_2\sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_3 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_3 \\ -i\,n_1\sin\phi_3 & \cos\phi_3 \end{pmatrix} \quad (3)$$

式（３）中の各被覆膜の位相項ϕ_1、ϕ_2及びϕ_3は、以下の式（４）で表される。

[0026] [数8]

数8

$$\phi_1=2\pi n_1 d_1/\lambda_{cot},\ \phi_2=2\pi n_2 d_2/\lambda_{cot},\ \phi_3=2\pi n_1 d_3/\lambda_{cot} \quad (4)$$

[0027] 式（３）において、屈折率n_1及び屈折率n_2は既知なので、未知数は、膜厚d_1、d_2及びd_3の３つであり、式（３）を解くことで各膜厚を算出することができる。

[0028] 波長λ_0＝１０μｍ、第１被覆膜１３及び第３被覆膜１５として、屈折率がn_{fl}よりも低い屈折率n_1＝１．４０であるＹＦ$_3$を、第２被覆膜１４として屈折率がn_{fl}よりも高い屈折率n_2＝２．２０であるＺｎＳを一例として式（３）を解くと、各被覆膜の膜厚は、それぞれ、d_1＝６５４．３７１ｎｍ、d_2＝２７７．８０６ｎｍ、d_3＝６５４．３７１ｎｍとなる。この場合の反射率の波長依存性を図４の一点鎖線２２で示す。反射率は波長１０μｍにおいて０．５％となるが、この値は極小値ではなく、３層被覆膜の反射率の極小値$R_{min}{}^0$は０．４８５７％である。

なお、本開示において、R_{min}と$R_{min}{}^0$の意味は、下記のとおりである。

（１）R_{min}：単層被覆膜による設定反射率R_1を多層被覆膜で置換した場合の多層被覆膜の反射率の極小値

（２）R_{min}^{0}：単層被覆膜による所望の極小反射率R_0を多層被覆膜で置換した場合の多層被覆膜の反射率の極小値

[0029] 単層被覆膜の極小反射率R_0：０．５％に対して、３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}^{0}が０．４８５７％と、単層被覆膜の極小反射率R_0よりも低くなる。そこで、３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}を所望の極小反射率R_0にすべく、設定反射率R_1を高く設定する。反射率の増分ΔR_0の目安を、$R_0 - R_{min}^{0} = 0$．０１４３％とし、所望の極小反射率R_0と一致するまで増分ΔR_0を調整する。実施の形態１では増分$\Delta R_0 = 0$．０１４６％であり、設定反射率R_1は０．５１４６０％となる。以下の式（５）より、設定反射率$R_1 = 0$．５１４６０％を実現するための単層被覆膜の屈折率n_{fl}^{1}は、１．６６４８１８９と算出される。

[0030] [数9]

数9
$$n_{fl}^{1} = \left(\frac{1 - \sqrt{R_1}}{1 + \sqrt{R_1}} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{n_c} \quad (5)$$

[0031] つまり、式（５）より、$R_1 = 0$．５１４６０％を実現するための単層被覆膜の屈折率n_{fl}^{1}は１．６６４８１８９と算出される。以下の式（６）を解いて各被覆膜の膜厚を計算すると、$d_1 = 655.839$ｎｍ、$d_2 = 276.062$ｎｍ、$d_3 = 655.839$ｎｍと、それぞれ算出される。

[0032] [数10]

数10
$$\begin{pmatrix} 0 & \frac{-i}{n_{fl}^{1}} \\ -i\, n_{fl}^{1} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi_1 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_1 \\ -i\, n_1 \sin\phi_1 & \cos\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \frac{-i}{n_2}\sin\phi_2 \\ -i\, n_2 \sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_3 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_3 \\ -i\, n_1 \sin\phi_3 & \cos\phi_3 \end{pmatrix} \quad (6)$$

[0033] この場合の反射率の波長依存性を図４の二点鎖線２３に示す。３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}は、波長$\lambda_{min} = 9.876$μｍにおいて０．５％と、所望の極小反射率である０．５％を得ることができる。

[0034] 次に、極小反射率となる波長λ_{min}を、所望の波長λ_0にする。各被覆膜の膜

厚をλ_0/λ_{min}倍すると、d_1＝６６４．０７４ｎｍ、d_2＝２７９．５２８ｎｍ、d_3＝６６４．０７４ｎｍと算出される。この場合の反射率の波長依存性を図４の実線２４に示す。波長λ_0＝１０μｍにおいて極小反射率である０．５％となることが分かる。

[0035] なお、図４の破線２１は、屈折率n_{fl}で膜厚が$\lambda_0/(4n_{fl})$である単層被覆膜に関する、反射率の波長依存性である。図４の実線２４及び破線２１は、完全には一致しないが、ほぼ同一の反射率の波長依存性を示すとともに、極小反射率及び極小反射率となる際の波長は完全に一致する。

[0036] 極小反射率R_0＝０．５％及び波長λ_0＝１０μｍは例示であり、これらに限るものではなく、所望の数値に設定することができる。また、上述の一例では、第１被覆膜１３及び第３被覆膜１５にYF_3を、第２被覆膜１４にＺｎＳをそれぞれ用いたが、これらに限るものではなく、屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^1よりも高い材料が１つ以上及び屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^1よりも低い材料が１つ以上あれば良く、各材料の順序も任意に選ぶことができる。

以上より、所望の波長において所望の極小反射率を、屈折率が既知の材料を用いて実現できることが分かる。

[0037] 図５は、波長λ_0において極小反射率R_0である屈折率n_{fl}で膜厚が$\lambda_0/(4n_{fl})$である単層被覆膜を、３層被覆膜で置換する方法を示す模式図である。図５において、点線２１ａは屈折率n_{fl}で膜厚$\lambda_0/(4n_{fl})$である単層被覆膜の反射率の波長依存性を表し、波長λ_0において極小反射率R_0を示す。

[0038] 以下に上述の置換方法を説明する。

（１）単層被覆膜（破線２１ａ）を３層被覆膜に置換すべく、両者の特性行列が等しくなるように３層被覆膜の各膜厚を決定する。この場合、波長λ_0において極小反射率R_0となるが、３層被覆膜の極小反射率の値（３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}^0）及び極小反射率となる波長（λ_{min}）はずれる。この場合の反射率の波長依存性は、図５の一点鎖線２２ａで表される。

（２）単層被覆膜の設定反射率R_1を$R_1=R_0+\Delta R_0$（破線２１ｂ）として特性行列が等しくなる３層被覆膜の各膜厚を算出し、波長λ_{min}において極小反射

率が所望の３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}＝極小反射率R_0となるようにする。つまり、３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}が所望の極小反射率R_0と一致するように、単層被覆膜の極小反射率R_1を$R_0+\Delta R_0$と設定する。この場合の反射率の波長依存性は、図５の二点鎖線２３ａで表される。

（３）波長λ_0において極小反射率R_0となるように、３層被覆膜の各膜厚をλ_0/λ_{min}倍する。この場合の反射率の波長依存性は、図５の実線２４ａで表される。

[0039] 設定反射率R_1の設定方法を、以下にさらに詳しく説明する。

最初に置換したときの３層被覆膜の極小反射率が、$R_{min}^{0(0)} \neq R_0$となったとすると、このときの所望の反射率R_0との差$\Delta R_0^{(0)}$は、$\Delta R_0^{(0)}=R_0-R_{min}^{0(0)}$となる。次に、ループ１回目の単層被覆膜の設定反射率$R_1^{(1)}$を、$R_1^{(1)}=R_0+\Delta R_0^{(0)}$とし、３層被覆膜で置換して極小反射率$R_{min}^{0(1)}$を算出する。算出した結果、$R_{min}^{0(1)}=R_0$であれば、ここで計算を終了する。この場合は、$\Delta R_0=\Delta R_0^{(0)}$、$R_1=R_1^{(1)}$となる。

[0040] $R_{min}^{0(1)} \neq R_0$の場合は、ループ２回目に移行する。このときの所望の反射率R_0との差$\Delta R_0^{(1)}$は、$\Delta R_0^{(1)}=R_0-R_{min}^{0(1)}$となる。単層被覆膜の設定反射率$R_1^{(2)}$を、$R_1^{(2)}=R_0+\Delta R_0^{(1)}$とし、３層被覆膜で置換して極小反射率$R_{min}^{0(2)}$を算出する。

[0041] 算出した結果、$R_{min}^{0(2)}=R_0$であれば、ここで計算は終了する。この場合は、$\Delta R_0=\Delta R_0^{(1)}$、$R_1=R_1^{(2)}$となる。$R_{min}^{0(2)} \neq R_0$の場合は、ループ３回目に移行し、同様に計算を繰り返す。つまり、$R_{min}^{0(k)}=R_0$となるまでループをｋ回まわすことにより、設定反射率$R_1=R_1^{(k)}$を決定することができる。

以上が、設定反射率R_1の設定方法である。

[0042] 同様に、屈折率n_{fh}＝１．９２０１５２の場合について説明する。単層被覆膜を、屈折率n_{fh}よりも屈折率が低い材料と、屈折率n_{fh}よりも屈折率が高い材料の少なくとも２つの材料による３層被覆膜による置換を考える。

[0043] 図６は、屈折率n_{fh}で膜厚d_{fh}が$\lambda_0/(4n_{fh})$である単層被覆膜３１を、それぞれ屈折率n_1で膜厚d_1、屈折率n_2で膜厚d_2及び屈折率n_1で膜厚d_3であ

る３層被覆膜で置換する場合の模式図である。図６に示すように、実効屈折率n_cで波長λ_0の光を出射する光半導体装置１１の端面に形成された屈折率n_{fh}（＝１．９２０１５２）で膜厚$d_{fh}=\lambda_0/(4n_{fh})$である単層被覆膜３１を、屈折率$n_1$で膜厚$d_1$の第１被覆膜３２、屈折率が$n_2$で膜厚が$d_2$の第２被覆膜３３、屈折率が$n_1$で膜厚が$d_3$の第３被覆膜３４からなる３層被覆膜で置き換える。単層被覆膜を３層被覆膜で置換する方法は、上述の低屈折率n_{fl}の場合と同様であり、以下の式（７）を解いて行う。

[0044] [数11]

数11

$$\begin{pmatrix} 0 & \frac{-i}{n_{fh}} \\ -i\,n_{fh} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi_1 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_1 \\ -i\,n_1\sin\phi_1 & \cos\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \frac{-i}{n_2}\sin\phi_2 \\ -i\,n_2\sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_3 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_3 \\ -i\,n_1\sin\phi_3 & \cos\phi_3 \end{pmatrix} \quad (7)$$

[0045] 波長λ_0＝１０μｍ、第１被覆膜３２及び第３被覆膜３４として、屈折率がn_{fh}よりも低い屈折率n_1＝１．４０であるＹＦ$_3$を、第２被覆膜３３として屈折率がn_{fh}よりも高い屈折率n_2＝２．２０であるＺｎＳを一例として式（７）を解くと、それぞれ、d_1＝４３４．２５７ｎｍ、d_2＝５４７．９３４ｎｍ、d_3＝４３４．２５７ｎｍとなる。この場合の反射率の波長依存性を、図７の一点鎖線３６に示す。反射率は波長１０μｍにおいて０．５％となるが、この値は極小値ではなく、３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}^0は０．４７１５％である。

[0046] 単層被覆膜の極小反射率R_0：０．５％に対して、３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}^0が０．４７１５％と、単層被覆膜の極小反射率R_0よりも低くなる。そこで、上述の低屈折率n_{fl}の場合と同様に、３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}を所望の極小反射率R_0にすべく、設定反射率R_1を０．５３０３２％と高く設定する。以下の式（８）より、設定反射率R_1＝０．５３０３２％を実現するための単層被覆膜の屈折率n_{fh}^1は、１．９２４３３３３と算出される。

[0047]

[数12]

$$n_{fh}^{1}=\left(\frac{1+\sqrt{R_1}}{1-\sqrt{R_1}}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{n_c} \quad (8)$$

以下の式（９）を解いて各被覆膜の膜厚を計算すると、d_1＝４３０．５１３ｎｍ、d_2＝５５２．６９９ｎｍ、d_3＝４３０．５１３ｎｍと、それぞれ算出される。

[0048] [数13]

$$\begin{pmatrix} 0 & \frac{-i}{n_{fh}^{1}} \\ -i\,n_{fh}^{1} & 0 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \cos\phi_1 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_1 \\ -i\,n_1\sin\phi_1 & \cos\phi_1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \frac{-i}{n_2}\sin\phi_2 \\ -i\,n_2\sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \cos\phi_3 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_3 \\ -i\,n_1\sin\phi_3 & \cos\phi_3 \end{pmatrix} \quad (9)$$

[0049] この場合の反射率の波長依存性を、図７の二点鎖線３７に示す。３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}は、波長λ_{min}＝１０．１７４μｍにおいて０．５％と、所望の極小反射率である０．５％を得ることができる。

[0050] 次に、極小反射率となる波長λ_{min}を所望の波長λ_0にする。３層被覆膜の各膜厚をそれぞれλ_0／λ_{min}倍すると、d_1＝４２３．１５０ｎｍ、d_2＝５４３．２４７ｎｍ．d_3＝４２３．１５０ｎｍと、それぞれ算出される。この場合の反射率の波長依存性を、図７の実線３８に示す。波長λ_0＝１０μｍにおいて極小反射率である０．５％となることが分かる。

[0051] なお、図７の破線３５は、屈折率n_{fh}で膜厚がλ_0／（４n_{fh}）である単層被覆膜に関する、反射率の波長依存性である。図７の実線３８及び破線３５は、完全には一致しないが、ほぼ同一の反射率の波長依存性を示すとともに、極小反射率及び極小反射率となる際の波長は完全に一致する。

[0052] 極小反射率R_0＝０．５％及び波長λ_0＝１０μｍは例示であり、これらに限るものではなく、所望の数値に設定することができる。また、上述の一例では、第１被覆膜３２及び第３被覆膜３４にYF_3を、第２被覆膜３３にＺｎＳをそれぞれ用いたが、これらに限るものではなく、屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^{1}よりも高い材料が１つ以上及び屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^{1}よりも低い材料が１つ以上あ

れば良く、各材料の順序も任意に選ぶことができる。

以上より、所望の波長において所望の極小反射率を、屈折率が既知の材料で実現できることが分かる。

[0053] ＜実施の形態１の効果＞

以上、実施の形態１に係る光半導体装置の製造方法及び低反射率膜の設計方法によれば、単層被覆膜を、特性行列を利用して３層の多層被覆膜によって置換することにより、所望の波長において所望の極小反射率に制御された低反射率膜を有する光半導体装置を製造することが可能となり、また、低反射率膜の設計方法を得ることが可能となる。

[0054] なお、上述の光半導体装置の製造方法は、上記低反射率膜の設計方法の思想を利用するものであって、製造の上で多層被覆膜の各被覆膜が厳密に一致しなくても構わない。つまり、以下の方法によって設計し光半導体装置に設けた低反射率膜の製造方法は本開示に含まれる。

[0055] 先ず、所望の波長（λ_0）で所望の極小反射率（R_0）を得るのに、所望の極小反射率（R_0）となる単層被覆膜を多層被覆膜で置換し、多層被覆膜の反射率の極小値（R_{min}^0）及び極小反射率となる波長（λ_{min}）を算出する。次に、多層被覆膜の反射率の極小値（R_{min}）が所望の極小反射率（R_0）と一致するように、単層被覆膜の極小反射率R_1を$R_0+\Delta R_0$と設定する。さらに、所望の波長（λ_0）で所望の極小反射率（R_0）となるように多層被覆膜の各膜厚を算出する。

[0056] 実施の形態２．

極小反射率R_0は所望の値とすることができる。実施の形態２に係る光半導体装置の製造方法及び低反射率膜の設計方法では、極小反射率R_0＝０．０１（１％）の一例を示す。光半導体装置の実効屈折率n_cを３．２とすると、上述の式（２）より、n_{fl}及びn_{fh}は、それぞれ１．６１８０８０及び１．９７７６５３と算出される。

[0057] 先ず、屈折率n_{fl}＝１．６１８０８０の場合について説明する。単層被覆膜を、少なくとも１つは屈折率n_{fl}よりも屈折率が低い材料とし、かつ少なくと

も１つは屈折率n_{fl}よりも屈折率が高い材料となる３つの材料による３層からなる被覆膜による置換を考える。

[0058] 図８は、屈折率n_{fl}で膜厚d_{fl}が$\lambda_0/(4n_{fl})$である単層被覆膜４１を、屈折率n_1で膜厚d_1、屈折率n_2で膜厚d_2、及び屈折率n_3で膜厚d_3である３層被覆膜で置換する場合の模式図である。図８に示すように、実効屈折率n_cで波長λ_0の光を出射する光半導体装置１１の端面に形成された屈折率n_{fl}（＝１．６１８０８０）で膜厚$d_{fl}=\lambda_0/(4n_{fl})$の単層被覆膜４１を、屈折率$n_1$で膜厚$d_1$である第１被覆膜４２、屈折率が$n_2$で膜厚$d_2$である第２被覆膜４３、屈折率が$n_3$で膜厚$d_3$である第３被覆膜４４の３層被覆膜で置き換える。単層被覆膜４１を３層被覆膜で置換できるとすると、以下の式（１０）で表されるように、両者の特性行列は等しくなる。

[0059] [数14]

$$\begin{pmatrix} 0 & \frac{-i}{n_{fl}} \\ -i\,n_{fl} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi_1 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_1 \\ -i\,n_1\sin\phi_1 & \cos\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \frac{-i}{n_2}\sin\phi_2 \\ -i\,n_2\sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_3 & \frac{-i}{n_3}\sin\phi_3 \\ -i\,n_3\sin\phi_3 & \cos\phi_3 \end{pmatrix} \quad (10)$$

式（１０）において、各被覆膜の位相項ϕ_1、ϕ_2及びϕ_3は、以下の式（１１）と表される。

[0060] [数15]

$$\phi_1=2\pi n_1 d_1/\lambda_{cot},\ \phi_2=2\pi n_2 d_2/\lambda_{cot},\ \phi_3=2\pi n_3 d_3/\lambda_{cot} \quad (11)$$

[0061] 式（１０）において、屈折率n_1、屈折率n_2及び屈折率n_3は既知なので、未知数は、膜厚d_1、d_2及びd_3の３つであり、式（１０）を解くことで各被覆膜の膜厚を算出することができる。

[0062] 波長λ_0＝１０μｍ、第１被覆膜４２は屈折率がn_{fl}よりも低い屈折率n_1＝１．４０のYF_3を、第２被覆膜４３は屈折率がn_{fl}よりも高い屈折率n_2＝２．２０のＺｎＳを、第３被覆膜４４は屈折率がn_{fl}よりも低いn_3＝１．４５のCeF_3を一例として式（１０）を解くと、各被覆膜の膜厚はそれぞれ、d_1＝

６４０．６４２ｎｍ、d_2＝２０６．８９４ｎｍ、d_3＝７６３．６４６ｎｍとなる。この場合の反射率の波長依存性を、図９の一点鎖線４６に示す。反射率は波長１０μｍにおいて１．０％となるが、この値は極小値ではなく、３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}^{0}は０．９８３６％である。

[0063] 単層被覆膜の極小反射率R_0：１．０％に対して、３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}^{0}が０．９８３６％と、単層被覆膜の極小反射率R_0よりも低くなる。そこで、実施の形態１と同様に、３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}を所望の極小反射率R_0にすべく、設定反射率R_1を１．０１６４８％と高く設定する。この場合、式（５）より、n_{fl}^{1}＝１．６１６７３９と算出される。以下の式（１２）を解いて各被覆膜の膜厚を計算すると、d_1＝６４１．１２３ｎｍ、d_2＝２０５．４７４ｎｍ、d_3＝７６５．３３２ｎｍと算出される。

[0064] [数16]

$$\text{数16}\quad \begin{pmatrix} 0 & \frac{-i}{n_{fl}^{1}} \\ -i\,n_{fl}^{1} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi_1 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_1 \\ -i\,n_1\sin\phi_1 & \cos\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \frac{-i}{n_2}\sin\phi_2 \\ -i\,n_2\sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_3 & \frac{-i}{n_3}\sin\phi_3 \\ -i\,n_3\sin\phi_3 & \cos\phi_3 \end{pmatrix} \quad (12)$$

[0065] この場合の反射率の波長依存性を、図９の二点鎖線４７に示す。３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}は、波長λ_{min}＝９．８６４μｍにおいて１．０％と、所望の極小反射率である１．０％を得ることができる。

[0066] 次に、極小反射率となる波長λ_{min}を、所望の波長λ_0にする。各膜厚をλ_0／λ_{min}倍すると、d_1＝６４９．９６２ｎｍ、d_2＝２０８．３０７ｎｍ．d_3＝７７５．８８４ｎｍと算出される。この場合の反射率の波長依存性を、図９の実線４８に示す。波長λ_0において極小反射率である１．０％となることが分かる。なお、図９の破線４５は、屈折率n_{fl}で膜厚がλ_0／（４n_{fl}）である単層被覆膜に関する、反射率の波長依存性である。図９の実線４８及び破線４５は、ほぼ同一の反射率の波長依存性を示すとともに、極小反射率及び極小反射率となる際の波長は完全に一致する。

[0067] 極小反射率R_0＝１．０％及び波長λ_0＝１０μｍは例示であり、これらに限るものではなく、所望の数値に設定することができる。また。第１被覆膜４

２にＹＦ$_3$を、第２被覆膜４３にＺｎＳを、第３被覆膜４４にＣｅＦ$_3$を用いたが、これらに限るものではなく、屈折率がｎ$_{fl}$及びｎ$_{fl}$'よりも高い材料が１つ以上及び屈折率がｎ$_{fl}$及びｎ$_{fl}$'よりも低い材料が１つ以上あれば良く、各材料の順序も任意に選ぶことができる。

以上より、所望の波長において所望の極小反射率を、屈折率が既知の材料を用いて実現できることが分かる。

[0068] 同様に、ｎ$_{fh}$＝１．９７７６５３の場合について説明する。単層被覆膜を、少なくとも１つは屈折率ｎ$_{fh}$よりも屈折率が低い材料とし、少なくとも１つは屈折率ｎ$_{fh}$よりも屈折率が高い材料となる３つの材料による３層被覆膜による置換を考える。

[0069] 図１０は、屈折率ｎ$_{fh}$で膜厚ｄ$_{fh}$がλ$_0$／（４ｎ$_{fh}$）である単層被覆膜４９を、それぞれ、屈折率ｎ$_1$で膜厚ｄ$_1$、屈折率ｎ$_2$で膜厚ｄ$_2$及び屈折率ｎ$_3$で膜厚ｄ$_3$である３層被覆膜で置換する場合の模式図である。図１０に示すように、実効屈折率ｎ$_c$で波長λ$_0$の光を出射する光半導体装置１１の端面に形成された屈折率ｎ$_{fh}$（＝１．９７７６５３）で膜厚ｄ$_{fh}$＝λ$_0$／（４ｎ$_{fh}$）の単層被覆膜４９を、屈折率ｎ$_1$で膜厚ｄ$_1$である第１被覆膜５０、屈折率ｎ$_2$で膜厚ｄ$_2$である第２被覆膜５１、屈折率ｎ$_3$で膜厚ｄ$_3$である第３被覆膜５２の３層被覆膜で置換する。単層被覆膜を３層被覆膜で置換する方法は、上述の低屈折率の場合と同様であり、以下の式（１３）を解いて行う。

[0070] [数17]

$$\text{数17}\quad \begin{pmatrix} 0 & \frac{-i}{n_{fh}} \\ -i\,n_{fh} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi_1 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_1 \\ -i\,n_1\sin\phi_1 & \cos\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \frac{-i}{n_2}\sin\phi_2 \\ -i\,n_2\sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_3 & \frac{-i}{n_3}\sin\phi_3 \\ -i\,n_3\sin\phi_3 & \cos\phi_3 \end{pmatrix} \quad (13)$$

[0071] 波長λ$_0$＝１０μｍ、第１被覆膜５０は屈折率がｎ$_{fl}$よりも低い屈折率ｎ$_1$＝１．４０であるＹＦ$_3$を、第２被覆膜５１は屈折率がｎ$_{fl}$よりも高い屈折率ｎ$_2$＝２．２０であるＺｎＳを、第３被覆膜５２は屈折率がｎ$_{fl}$よりも低いｎ$_3$＝１．４５であるＣｅＦ$_3$を一例として式（１３）を解くと、それぞれ、ｄ$_1$＝３７０．１１５ｎｍ、ｄ$_2$＝６０７．２４６ｎｍ、ｄ$_3$＝３９５．８９７ｎｍとなる

。この場合の反射率の波長依存性を図１１の一点鎖線５４に示す。反射率は波長１０μｍにおいて１．０％となるが、この値は極小値ではなく、３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}^{0}は０．９４５６１％である。

[0072] 単層被覆膜の極小反射率R_0：１．０％に対して、３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}^{0}が０．９４５６１％と、単層被覆膜の極小反射率R_0よりも低くなる。そこで、実施の形態１と同様に、３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}を所望の極小反射率R_0にすべく、設定反射率R_1を１．０５７４８５％と高く設定する。設定反射率R_1＝１．０５７４８５％を実現するための単層被覆膜の屈折率n_{fh}^{1}は、式（８）よりn_{fh}^{1}＝１．９８３３２４１と算出される。以下の式（１４）を解いて各被覆膜の膜厚を計算すると、各膜厚は、d_1＝３６４．８２５ｎｍ、d_2＝６１４．６０１ｎｍ、d_3＝３９０．００９ｎｍと、それぞれ算出される。

[0073] [数18]

数18

$$\begin{pmatrix} 0 & \frac{-i}{n_{fh}^{1}} \\ -i\,n_{fh}^{1} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi_1 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_1 \\ -i\,n_1\sin\phi_1 & \cos\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \frac{-i}{n_2}\sin\phi_2 \\ -i\,n_2\sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_3 & \frac{-i}{n_3}\sin\phi_3 \\ -i\,n_3\sin\phi_3 & \cos\phi_3 \end{pmatrix} \quad (14)$$

[0074] この場合の反射率の波長依存性を、図１１の二点鎖線５５に示す。３層被覆膜の反射率の極小値R_{min}は、波長λ_{min}＝１０．２４３μｍにおいて１．０％と、所望の極小反射率である１．０％を得ることができる。

[0075] 次に、極小反射率となる波長λ_{min}を、所望の波長λ_0にする。各被覆膜の膜厚をλ_0／λ_{min}倍すると、d_1＝３５６．１７０ｎｍ、d_2＝６００．０２１ｎｍ、d_3＝３８０．７５７ｎｍと、それぞれ算出される。この場合の反射率の波長依存性を、図１１の実線５６に示す。波長λ_0において極小反射率である１．０％となることが分かる。

[0076] なお、図１１の破線５３は、屈折率n_{fh}で膜厚がλ_0／（４n_{fh}）である単層被覆膜に関する、反射率の波長依存性である。図１１の実線５６及び破線５３は、完全には一致しないが、ほぼ同一の反射率の波長依存性を示すとともに、極小反射率及び極小反射率となる際の波長は完全に一致する。

[0077] 極小反射率R_0＝１．０％及び波長λ_0＝１０μｍは例示であり、これらに限るものではなく、所望の数値に設定することができる。また。第１被覆膜５０にYF_3を、第２被覆膜５１にＺｎＳを、第３被覆膜５２にCeF_3を用いたが、これらに限るものではなく、屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^1よりも高い材料が１つ以上、及び屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^1よりも低い材料が１つ以上あれば良く、各材料の順序も任意に選ぶことができる。

以上より、所望の波長において所望の極小反射率を、屈折率が既知の材料を用いて実現できることが分かる。

[0078] ＜実施の形態２の効果＞

以上、実施の形態２に係る光半導体装置の製造方法及び低反射率膜の設計方法によると、単層被覆膜を、特性行列を利用して３層の多層被覆膜によって置換することにより、所望の波長において所望の極小反射率に制御された低反射率膜を有する光半導体装置を製造することが可能となり、また、低反射率膜の設計方法を得ることが可能となる。

[0079] なお、上述の光半導体装置の製造方法は、上記低反射率膜の設計方法の思想を利用するものであって、製造の上で多層被覆膜の各被覆膜が厳密に一致しなくても構わない。つまり、実施の形態２の設計方法によって設計し、光半導体装置に設けた低反射率膜の製造方法は本開示に含まれる。

[0080] 実施の形態３．

実施の形態３では、屈折率の異なる４つ以上の材料を用い、所望の極小反射率を所望の波長で実現する方法について説明する。４つ以上の材料からなる多層被覆膜の一例として、５層被覆膜について説明する。

[0081] 実施の形態３では、極小反射率R_0＝０．０１（１％）を一例として説明する。光半導体装置の実効屈折率n_cが３．２とすると、式（２）より、屈折率n_{fl}及び屈折率n_{fh}は、それぞれ、１．６１８０８０及び１．９７７６５３と算出される。

[0082] 先ず、屈折率n_{fl}＝１．６１８０８０の場合について説明する。単層被覆膜を、少なくとも１つは屈折率n_{fl}よりも屈折率が低い材料とし、少なくとも１

つは屈折率n_{fl}よりも屈折率が高い材料となる５つの材料による５層被覆膜による置換を考える。

[0083] 図１２は、屈折率n_{fl}で膜厚d_{fl}が$\lambda_0/(4n_{fl})$である単層被覆膜４１を、屈折率n_1で膜厚d_1、屈折率n_2で膜厚d_2、屈折率n_3で膜厚d_3、屈折率n_4で膜厚d_4及び屈折率n_5で膜厚d_5である５層被覆膜で置換する場合の模式図である。図１２に示すように、実効屈折率n_cで波長λ_0の光を出射する光半導体装置１１の端面に形成された屈折率n_{fl}で膜厚d_{fl}が$\lambda_0/(4n_{fl})$である単層被覆膜４１を、屈折率n_1で膜厚d_1である第１被覆膜６１、屈折率n_2で膜厚d_2である第２被覆膜６２、屈折率n_3で膜厚d_3である第３被覆膜６３、屈折率n_4で膜厚d_4である第４被覆膜６４、屈折率n_5で膜厚d_5である第５被覆膜６５の５層被覆膜で置換する。単層被覆膜を５層被覆膜で置換できるとすると、以下の式（１５）で表されるように、両者の特性行列は等しくなる。

[0084] [数19]

$$\begin{pmatrix} 0 & \frac{-i}{n_{fl}} \\ -i n_{fl} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi_1 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_1 \\ -i n_1 \sin\phi_1 & \cos\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \frac{-i}{n_2}\sin\phi_2 \\ -i n_2 \sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_3 & \frac{-i}{n_3}\sin\phi_3 \\ -i n_3 \sin\phi_3 & \cos\phi_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_4 & \frac{-i}{n_4}\sin\phi_4 \\ -i n_4 \sin\phi_4 & \cos\phi_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_5 & \frac{-i}{n_5}\sin\phi_5 \\ -i n_5 \sin\phi_5 & \cos\phi_5 \end{pmatrix} \quad (15)$$

式（１５）中の各被覆膜の位相項ϕ_1、ϕ_2、ϕ_3、ϕ_4及びϕ_5は、以下の式（１６）で表される。

[0085] [数20]

$$\phi_1 = 2\pi n_1 d_1/\lambda,\ \phi_2 = 2\pi n_2 d_2/\lambda,\ \phi_3 = 2\pi n_3 d_3/\lambda,\ \phi_4 = 2\pi n_4 d_4/\lambda,\ \phi_5 = 2\pi n_5 d_5/\lambda \quad (16)$$

[0086] ただし、式（１５）から算出される未知数は３つまでなので、５つの材料のうちの２つの材料の膜厚は、予め設定された膜厚としておく。ここでは、一例として第１被覆膜６１及び第２被覆膜６２の膜厚d_1及びd_2を、予め設定された膜厚とする。

[0087] 波長λ_0＝１０μｍ、第１被覆膜６１は屈折率がn_{fl}よりも高い屈折率n_1＝１．７０で膜厚d_1＝２００ｎｍであるCeO_2、第２被覆膜６２は屈折率がn_{fl}よりも高い屈折率n_2＝２．２０で膜厚d_2＝１００ｎｍであるZnS、第３被覆膜６３は屈折率がn_{fl}よりも低いn_3＝１．４０で膜厚d_3であるYF_3、第４

被覆膜６４は屈折率がn_{fl}よりも高い屈折率n_4＝２．４１で膜厚d_4であるＺｎＳｅ、第５被覆膜６５は屈折率がn_{fl}よりも低いn_5＝１．４５で膜厚d_5であるＣｅＦ$_3$を一例として式（１５）を解くと、各被覆膜の膜厚は、それぞれ、d_3＝７３８．６７０ｎｍ、d_4＝１５１．５９８ｎｍ、d_5＝３３３．０１０ｎｍとなる。

[0088] この場合の反射率の波長依存性を、図１３の一点鎖線６７に示す。反射率は波長１０μｍにおいて１．０％となるが、この値は極小値ではなく、５層被覆膜の反射率の極小値R_{min}^0は０．９９８４７４％である。

[0089] 単層被覆膜の極小反射率R_0：１．０％に対して、５層被覆膜の反射率の極小値R_{min}^0が０．９９８４７４％と、単層被覆膜の極小反射率R_0よりも低くなる。そこで、５層被覆膜の反射率の極小値R_{min}を所望の極小反射率R_0にすべく、設定反射率R_1を１．００１５３％と高く設定する。この場合、式（５）より、設定反射率R_1＝１．００１５３％を実現するための単層被覆膜の屈折率n_{fl}^1は、１．６１７９５５と算出される。以下の式（１７）を解いて各被覆膜の膜厚を計算すると、それぞれ、d_3＝７３８．９５５ｎｍ、d_4＝１５１．５３３ｎｍ、d_5＝３３２．８４７ｎｍと算出される。

[0090] [数21]

$$\text{数21}\quad \begin{pmatrix} 0 & \frac{-i}{n_{fl}^1} \\ -i\,n_{fl}^1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi_1 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_1 \\ -i\,n_1\sin\phi_1 & \cos\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \frac{-i}{n_2}\sin\phi_2 \\ -i\,n_2\sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_3 & \frac{-i}{n_3}\sin\phi_3 \\ -i\,n_3\sin\phi_3 & \cos\phi_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_4 & \frac{-i}{n_4}\sin\phi_4 \\ -i\,n_4\sin\phi_4 & \cos\phi_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_5 & \frac{-i}{n_5}\sin\phi_5 \\ -i\,n_5\sin\phi_5 & \cos\phi_5 \end{pmatrix} \quad (17)$$

[0091] この場合の反射率の波長依存性を、図１３の二点鎖線６８に示す。５層被覆膜の反射率の極小値R_{min}は、波長λ_{min}＝１０．０４０μｍにおいて１．０％と、所望の極小反射率である１．０％を得ることができる。

[0092] 次に、極小反射率となる波長λ_{min}を、所望の波長λ_0にする。各被覆膜の膜厚をそれぞれλ_0/λ_{min}倍すると、d_1＝１９９．２０３ｎｍ、d_2＝９９．６０２ｎｍ．d_3＝７３６．０１１ｎｍ、d_4＝１５０．９２９ｎｍ、d_5＝３３１．５２１ｎｍと、それぞれ算出される。なお、第１被覆膜６１及び第２被覆膜６２もλ_0/λ_{min}倍する。この場合の反射率の波長依存性を、図１３の実線６

９に示す。波長λ_0＝１０μｍにおいて、極小反射率である１．０％となることが分かる。

[0093] なお、図１３の破線６６は、屈折率n_{fl}で膜厚がλ_0／（４n_{fl}）である単層被覆膜に関する、反射率の波長依存性である。図１３の実線６９及び破線６６は、完全には一致しないが、ほぼ同一の反射率の波長依存性を示すと共に、極小反射率及び極小反射率となる際の波長は完全に一致する。

[0094] 極小反射率R_0＝１．０％及び波長λ_0＝１０μｍは例示であり、これらに限るものではなく、所望の数値に設定することができる。また。上述の一例では、第１被覆膜６１にCeO_2を、第２被覆膜６２にＺｎＳを、第３被覆膜６３にYF_3を、第４被覆膜６４にＺｎＳｅを、第５被覆膜６５にCeF_3を用いたが、これらに限るものではなく、屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^1よりも高い材料が１つ以上及び屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^1よりも低い材料が１つ以上あれば良く、各材料の順序も任意に選ぶことができる。

[0095] また、予め膜厚が設定された２つの被覆膜も、５層被覆膜の中で任意に選定することが可能である。実施の形態３では、４層以上の被覆膜の一例として５層被覆膜を例示したが、同様に行うことで、さらに多層被覆膜であっても、所望の波長において所望の極小反射率を実現できる。

[0096] 同様に、屈折率n_{fh}＝１．９７７６５３の場合について説明する。単層被覆膜を、少なくとも１つは屈折率n_{fh}よりも屈折率が低い材料とし、少なくとも１つは屈折率n_{fh}よりも屈折率が高い材料とする５つの材料による５層被覆膜による置換を考える。

[0097] 図１４は、屈折率n_{fh}で膜厚d_{fh}がλ_0／（４n_{fh}）である単層被覆膜４９を、屈折率n_1で膜厚d_1、屈折率n_2で膜厚d_2、屈折率n_3で膜厚d_3、屈折率n_4で膜厚d_4及び屈折率n_5で膜厚d_5である５層被覆膜で置換する場合の模式図である。図１４に示すように、実効屈折率n_cで波長λ_0の光を出射する光半導体装置１１の端面に形成された屈折率n_{fh}（＝１．９７７６５３）で膜厚d_{fh}＝λ_0／（４n_{fh}）である単層被覆膜４９を、屈折率n_1で膜厚d_1である第１被覆膜７１、屈折率n_2で膜厚d_2である第２被覆膜７２、屈折率n_3で膜厚d_3であ

る第３被覆膜７３、屈折率n_4で膜厚d_4である第４被覆膜７４、屈折率n_5で膜厚d_5である第５被覆膜７５の５層被覆膜で置換する。単層被覆膜を５層被覆膜で置換する方法は、上述の低屈折率膜の場合と同様であり、以下の式（１８）を解いて行う。

[0098] [数22]

$$\begin{pmatrix} 0 & \frac{-i}{n_{fh}} \\ -i\,n_{fh} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi_1 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_1 \\ -i\,n_1\sin\phi_1 & \cos\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \frac{-i}{n_2}\sin\phi_2 \\ -i\,n_2\sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_3 & \frac{-i}{n_3}\sin\phi_3 \\ -i\,n_3\sin\phi_3 & \cos\phi_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_4 & \frac{-i}{n_4}\sin\phi_4 \\ -i\,n_4\sin\phi_4 & \cos\phi_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_5 & \frac{-i}{n_5}\sin\phi_5 \\ -i\,n_5\sin\phi_5 & \cos\phi_5 \end{pmatrix} \quad (18)$$

[0099] 波長λ_0＝１０μｍ、第１被覆膜７１は屈折率がn_{fh}よりも低い屈折率n_1＝１．７０で膜厚d_1＝２００ｎｍであるCeO_2、第２被覆膜７２は屈折率がn_{fh}よりも高い屈折率n_2＝２．２０で膜厚d_2＝１００ｎｍであるＺｎＳ、第３被覆膜７３は屈折率がn_{fh}よりも低いn_3＝１．４０で膜厚d_3であるYF_3、第４被覆膜７４は屈折率がn_{fh}よりも高い屈折率n_4＝２．４１で膜厚d_4であるＺｎＳｅ、第５被覆膜７５は屈折率がn_{fh}よりも低いn_5＝１．４５で膜厚d_5であるCeF_3を一例として式（１８）を解くと、各被覆膜の膜厚は、それぞれ、d_3＝２８２．４９１ｎｍ、d_4＝３８７．８６９ｎｍ、d_5＝３６６．３５４ｎｍとなる。

[0100] この場合の反射率の波長依存性を、図１５の一点鎖線７７に示す。反射率は波長１０μｍにおいて１．０％となるが、この値は極小値ではなく、５層被覆膜の反射率の極小値R_{min}^0は０．９７５５１７％である。

[0101] 単層被覆膜の極小反射率R_0：１．０％に対して、５層被覆膜の極小値R_{min}^0が０．９７５５１７％と、単層被覆膜の極小反射率R_0よりも低くなる。そこで、５層被覆膜の極小値R_{min}を所望の極小反射率R_0にすべく、設定反射率R_1を１．０２５３５７％と高く設定する。この場合、設定反射率R_1＝１．０２５３５７％を実現するための単層被覆膜の屈折率n_{fh}^1は、式（８）よりn_{fh}^1＝１．９８０１７１７と算出される。以下の式（１９）を解いて各被覆膜の膜厚を計算すると、d_3＝２８０．３３２ｎｍ、d_4＝３８９．７０８ｎｍ、d_5＝３６５．３６９ｎｍと、それぞれ算出される。

[0102]

[数23]

$$\text{数23}\quad \begin{pmatrix} 0 & \frac{-i}{n_{fh}^{1}} \\ -i\,n_{fh}^{1} & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi_1 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_1 \\ -i\,n_1\sin\phi_1 & \cos\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \frac{-i}{n_2}\sin\phi_2 \\ -i\,n_2\sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_3 & \frac{-i}{n_3}\sin\phi_3 \\ -i\,n_3\sin\phi_3 & \cos\phi_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_4 & \frac{-i}{n_4}\sin\phi_4 \\ -i\,n_4\sin\phi_4 & \cos\phi_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_5 & \frac{-i}{n_5}\sin\phi_5 \\ -i\,n_5\sin\phi_5 & \cos\phi_5 \end{pmatrix} \quad (19)$$

[0103] この場合の反射率の波長依存性を、図１５の二点鎖線７８に示す。５層被覆膜の極小値R_{min}は、波長λ_{min}＝１０．１５９μｍにおいて１．０％と、所望の極小反射率である１．０％を得ることができる。

[0104] 次に、極小反射率となる波長λ_{min}を、所望の波長λ_0にする。各膜厚をλ_0／λ_{min}倍すると、各被覆膜の膜厚は、d_1＝１９６．８７０ｎｍ、d_2＝９８．４３５ｎｍ．d_3＝２７５．９４４ｎｍ、d_4＝３８３．６０９ｎｍ、d_5＝３５９．６５１ｎｍと、それぞれ算出される。なお、第１被覆膜７１及び第２被覆膜７２も、λ_0／λ_{min}倍する。この場合の反射率の波長依存性を、図１５の実線７９に示す。波長λ_0＝１０μｍにおいて極小反射率である１．０％となることが分かる。

[0105] なお、図１５の破線７６は、屈折率n_{fh}で膜厚がλ_0／（４n_{fh}）である単層被覆膜４９に関する、反射率の波長依存性である。図１５の実線７９及び破線７６は、完全には一致しないが、ほぼ同一の反射率の波長依存性を示すとともに、極小反射率及び極小反射率となる際の波長は完全に一致する。

[0106] 極小反射率R_0＝１．０％及び波長λ_0＝１０μｍは例示であり、これらに限るものではなく、所望の数値に設定することができる。また。第１被覆膜７１にCeO_2を、第２被覆膜７２にＺｎＳを、第３被覆膜７３にYF_3を、第４被覆膜７４にＺｎＳｅを、第５被覆膜７５にCeF_3を用いたが、これらに限るものではなく、屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^{1}よりも高い材料が１つ以上及び屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^{1}よりも低い材料が１つ以上あれば良く、各材料の順序も任意に選ぶことができる。

[0107] また、予め膜厚が設定された２つの被覆膜も、５層被覆膜の中で任意に選定することが可能である。実施の形態３では、４層以上の被覆膜の一例として５層被覆膜を例示したが、同様に行うことで、さらに多層被覆膜であっても、所望の波長において所望の極小反射率を実現できる。

[0108] ＜実施の形態３の効果＞

以上、実施の形態３に係る光半導体装置の製造方法及び低反射率膜の設計方法によると、単層被覆膜を、特性行列を利用して５層の多層被覆膜によって置換することにより、所望の波長において所望の極小反射率に制御された低反射率膜を有する光半導体装置を製造することが可能となり、また、低反射率膜の設計方法を得ることが可能となる。

[0109] なお、上述の光半導体装置の製造方法は、上記低反射率膜の設計方法の思想を利用するものであって、製造の上で多層被覆膜の各被覆膜が厳密に一致しなくても構わない。つまり、以下の設計方法によって設計し光半導体装置に設けた低反射率膜の製造方法は本開示に含まれる。

[0110] 被覆膜数が３を超える多層被覆膜の場合は、超えた被覆膜数の膜厚を予め設定する。その上で、所望の波長（λ_0）で所望の極小反射率（R_0）を得るのに、所望の極小反射率（R_0）となる単層被覆膜を多層被覆膜で置換し、多層被覆膜の反射率の極小値（$R_{min}{}^0$）及び極小反射率となる波長（λ_{min}）を算出する。次に、多層被覆膜の反射率の極小値（R_{min}）が所望の極小反射率（R_0）と一致するように、単層被覆膜の極小反射率R_1を$R_0+\Delta R_0$と設定する。さらに、所望の波長（λ_0）で所望の極小反射率（R_0）となるように、多層被覆膜の各膜厚を算出する。

[0111] 実施の形態４．

光半導体装置のミラー損失は、以下の式（２０）で定義される。

[0112] [数24]

$$\alpha_{mir}=\frac{1}{2L}LN\left(\frac{1}{R_f R_r}\right) \qquad (20)$$

[0113] 式（２０）において、R_f、R_r及びＬは、それぞれ、前端面反射率、後端面反射率及び共振器長である。ミラー損失の帯域が狭いことを必要とするような用途では、極小反射率の近傍の帯域を狭くする必要がある。

[0114] 図１６は、実施の形態２（図８）に示した極小反射率を一例として、極小反射率の近傍の帯域を狭くする方法を示す模式図である。図１６に示すよう

に、実施の形態４では、屈折率がn_aで膜厚d_aがλ_0／（２n_a）である被覆膜８１が設けられている点に特徴がある。その他の各被覆膜は、実施の形態２の図８に示される各被覆膜と同一である。

実施の形態４の４層被覆膜の特性行列は、以下の式（２１）で表される。

[0115] [数25]

$$\text{数25}\quad \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi_1 & \frac{-i}{n_1}\sin\phi_1 \\ -i\,n_1\sin\phi_1 & \cos\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \frac{-i}{n_2}\sin\phi_2 \\ -i\,n_2\sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_a & \frac{-i}{n_a}\sin\phi_a \\ -i\,n_a\sin\phi_a & \cos\phi_a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi_3 & \frac{-i}{n_3}\sin\phi_3 \\ -i\,n_3\sin\phi_3 & \cos\phi_3 \end{pmatrix} \quad (21)$$

式（２１）において、各被覆膜の位相項ϕ_1、ϕ_2、ϕ_3及びϕ_aは、以下の式（２２）で表され、挿入した被覆膜８１の膜厚d_aは、以下の式（２３）で表される。

[0116] [数26]

$$\text{数26}\quad \phi_1=2\pi n_1 d_1/\lambda_0,\ \phi_2=2\pi n_2 d_2/\lambda_0,\ \phi_3=2\pi n_3 d_3/\lambda_0,\ \phi_a=2\pi n_a d_a/\lambda_0 \quad (22)$$

$$d_a=\lambda_0/(2n_a) \quad (23)$$

被覆膜の反射率は、行列成分m_{11}、m_{12}、m_{21}、m_{22}を用いて、以下の式（２４）で表される。

[0117] [数27]

$$\text{数27}\quad R=|r|^2=\left|\frac{(m_{11}+m_{12})\,n_c-(m_{21}+m_{22})}{(m_{11}+m_{12})\,n_c+(m_{21}+m_{22})}\right|^2 \quad (24)$$

[0118] 挿入された被覆膜８１の材料の一例として、屈折率n_aが１．７０であるCeO_2とする。被覆膜８１の膜厚d_aは、仮に波長λ_0＝１０μｍにおいてd_a＝λ_0／（２n_a）となる２９４１．１７６ｎｍとする。

[0119] 実施の形態２において、設定反射率R_1を１．０１６５％とし、式（１２）を解いて各被覆膜の膜厚として算出した、d_1＝６４１．１２３ｎｍ、d_2＝２０５．４７４ｎｍ、d_3＝７６５．３３２ｎｍからなる３層被覆膜の第２番目の被覆膜と第３番目の被覆膜との間に上述の被覆膜８１を挿入した場合の反

射率の波長依存性を、図１７の一点鎖線８２に示す。４層被覆膜の反射率の極小値R_{min}^{0}は、０．９６０９％となる。

[0120] そこで、λ_{min}において極小反射率R_0を１．０％にすべく、設定反射率R_1を１．０５７６１％として式（１２）を解くと、各被覆膜の膜厚は、d_1＝６４２．７１８ｎｍ、d_2＝２０１．９８１ｎｍ、d_3＝７６９．５１０ｎｍとそれぞれ算出され、波長λ_{min}＝９．９０８μｍにおいて４層被覆膜の反射率の極小値R_{min}＝１．０％となる（図１７の二点鎖線８３）。なお、このとき、第２被覆膜４３と第３被覆膜４４の間に挿入した被覆膜８１の屈折率n_aは１．７０であり、膜厚d_aは２９４１．１７６ｎｍである。

[0121] 次に、各被覆膜の膜厚をλ_0／λ_{min}倍すると、各被覆膜の膜厚は、それぞれ、d_1＝６４８．６８６ｎｍ、d_2＝２０３．８５６ｎｍ、d_a＝２９６８．４８６ｎｍ、d_3＝７７６．６５５ｎｍと算出される。この場合の反射率の波長依存性を、図１７の実線８４に示す。波長λ_0＝１０μｍにおいて極小反射率である１．０％となることが分かる。

[0122] 比較のため、実施の形態２の３層被覆膜の反射率の波長依存性を、図１７の破線４８に示す。所望の波長λ_0の近傍において、反射率帯域が狭くなっていることが分かる。

[0123] 同様に、実施の形態２（図１０）に示した極小反射率を一例として、屈折率が高い場合（n_{fh}）について、極小反射率の近傍の帯域を狭くする方法を、以下に説明する。

[0124] 図１８は被覆膜の構成を示す模式図である。図１８において、被覆膜８１は、屈折率がn_aで膜厚d_aがλ_0／（２n_a）である。その他の各被覆膜は、実施の形態２の図１０と同一である。

[0125] 実施の形態２において、設定反射率R_1を１．０５７４８５％とし、式（１４）を解いて各被覆膜の膜厚として算出した、それぞれd_1＝３６４．８２５ｎｍ、d_2＝６１４．６０１ｎｍ、d_3＝３９０．００９ｎｍからなる３層被覆膜の第２被覆膜５１と第３被覆膜５２との間に、上述の被覆膜８１を挿入した場合の反射率の波長依存性を、図１９の一点鎖線８５に示す。４層被覆膜

の反射率の極小値R_{min}^{0}は、０．９９５０％となる。

[0126] そこで、波長λ_{min}において極小反射率を１．０％にすべく、設定反射率R_1を１．０６２７％として式（１４）を解くと、各被覆膜の膜厚は、それぞれd_1＝３６４．３４８ｎｍ、d_2＝６１５．２６５ｎｍ、d_3＝３８９．４７８ｎｍと算出され、波長λ_{min}＝１０．１１０μｍにおいて４層被覆膜の反射率の極小値R_{min}＝１．０％となる（図１９の二点鎖線８６）。なお、このとき、第２被覆膜５１と第３被覆膜５２の間に挿入した被覆膜８１の屈折率n_aは１．７０であり、膜厚d_aは２９４１．１７６ｎｍである。

[0127] 次に、各被覆膜の膜厚をλ_0/λ_{min}倍とすると、d_1＝３６０．３８４ｎｍ、d_2＝６０８．５７１ｎｍ、d_a＝２９０９．１７５ｎｍ、d_3＝３８５．２４０ｎｍと算出される。この場合の反射率の波長依存性を、図１９の実線８７に示す。波長λ_0＝１０μｍにおいて、極小反射率である１．０％となることが分かる。

[0128] 比較のため、実施の形態２の３層膜の反射率の波長依存性を、図１９の破線５６に示す。所望の波長λ_0の近傍において、反射率帯域が狭くなっていることが分かる。

[0129] 実施の形態４では、所望の屈折率n_aで膜厚d_aが$\lambda_0/(2n_a)$である被覆膜８１を挿入したが、被覆膜８１の膜厚は$\lambda_0/(4n_a)$よりも厚く、$3\lambda_0/(4n_a)$よりも薄いものであれば、反射率帯域を狭くすることが可能である。

[0130] また、実施の形態４では、３層被覆膜の特性行列を解いて各被覆膜の膜厚を導出した後に、被覆膜を挿入して反射率の波長依存性を算出し、４層被覆膜の反射率の極小値R_{min}^{0}を所望の極小反射率R_0に合わせ、その後、所望の波長λ_0において所望の極小反射率R_0となるようにした。しかしながら、実施の形態３において示したように、予め４層被覆膜と想定し、挿入した被覆膜の膜厚を$d_a=\lambda_0/(2n_a)$又は$d_a=\lambda_{min}/(2n_a)$と設定しておいて、３層被覆膜の各膜厚を決定しても良い。

[0131] さらに、実施の形態４では、第２被覆膜と第３被覆膜の間に、$d_a=\lambda_0/($

２n_a）である被覆膜を挿入したが、他の界面、例えば光半導体装置と第１被覆膜、第１被覆膜と第２被覆膜、第３被覆膜と空気（自由空間）の間であっても良いし、光半導体装置と第１被覆膜の間及び第２被覆膜と第３被覆膜の間等の複数の界面に挿入しても良い。

[0132] ＜実施の形態４の効果＞

以上、実施の形態４に係る光半導体装置の製造方法及び低反射率膜の設計方法によると、単層被覆膜を、特性行列を利用して４層の多層被覆膜によって置換することにより、所望の波長において所望の極小反射率に制御された低反射率膜を有する光半導体装置を製造することが可能となり、また、低反射率膜の設計方法を得ることが可能となる。

[0133] なお、上述の光半導体装置の製造方法は、上記低反射率膜の設計方法の思想を利用するものであって、製造の上で多層被覆膜の各被覆膜が厳密に一致しなくても構わない。つまり、以下の設計方法によって設計し光半導体装置に設けた低反射率膜の製造方法は本開示に含まれる。

[0134] 所望の波長がλ_0で挿入する被覆膜の屈折率がn_aの場合、挿入する被覆膜の膜厚を$\lambda_0/(4n_a)$よりも厚く、$3\lambda_0/(4n_a)$よりも薄い範囲で予め設定する。その上で、所望の波長（λ_0）で所望の極小反射率（R_0）を得るのに、所望の極小反射率（R_0）となる単層被覆膜を多層被覆膜で置換し、多層被覆膜の反射率の極小値（R_{min}^0）及び極小反射率となる波長（λ_{min}）を算出する。次に、多層被覆膜の反射率の極小値（R_{min}）が所望の極小反射率（R_0）と一致するように単層被覆膜の極小反射率R_1を$R_0+\Delta R_0$と設定する。さらに、所望の波長（λ_0）で所望の極小反射率（R_0）となるように多層被覆膜の各膜厚を算出する。

[0135] 実施の形態１から４において、所望の極小反射率R_0である０．５％、１．０％の数値、及び所望の波長λ_0である１０μｍは一例であって、これらに限るものではなく、他の所望の極小反射率及び所望の波長において同様に設計することができる。

[0136] 実施の形態１から４において、多層被覆膜で置換した場合の多層被覆膜の

反射率の極小値R_{min}^{0}は、単層被覆膜の極小反射率R_0よりも低いが、仮に高い場合であっても同様にして、所望の波長で所望の極小反射率を実現することができる。

[0137] 本開示は、様々な例示的な実施の形態及び実施例が記載されているが、１つ、または複数の実施の形態に記載された様々な特徴、態様、及び機能は特定の実施の形態の適用に限られるのではなく、単独で、または様々な組み合わせで実施の形態に適用可能である。

[0138] 従って、例示されていない無数の変形例が、本開示における技術の範囲内において想定される。例えば、少なくとも１つの構成要素を変形する場合、追加する場合または省略する場合、さらには、少なくとも１つの構成要素を抽出し、他の実施の形態の構成要素と組み合わせる場合が含まれるものとする。

符号の説明

[0139] １　ｎ型第１電極、２　ｎ型ＩｎＰ基板、３　ｎ型ＩｎＰバッファ層、４　ｎ型ＧａＩｎＡｓ第１光閉じ込め層、５　コア領域、６　ｎ型ＧａＩｎＡｓ第２光閉じ込め層、７　ｎ型ＩｎＰクラッド層、８　ｎ型ＧａＩｎＡｓコンタクト層、９　ｎ型第２電極、１０　低反射率膜、１１　光半導体装置、１２、３１、４１、４９　単層被覆膜、１３、３２、４２、５０、６１、７１　第１被覆膜、１４、３３、４３、５１、６２、７２　第２被覆膜、１５、３４、４４、５２、６３、７３　第３被覆膜、２１、２１ａ、２１ｂ、３５、４５、４８、５３、５６、６６、７６　破線、２１ａ　点線、２２、２２ａ、３６、４６、５４、６７、７７、８２、８５　一点鎖線、２３、２３ａ、３７、４７、５５、６８、７８、８３、８６　二点鎖線、２４、２４ａ、３８、４８、５６、６９、７９、８４、８７　実線、６４、７４　第４被覆膜、６５、７５　第５被覆膜、８１　被覆膜、１００　量子カスケードレーザ装置

請求の範囲

[請求項1] 実効屈折率がn_cであり、所望の波長λ_0において所望の極小反射率である極小反射率R_0となる低反射率膜が形成された光半導体装置の製造方法であって、

屈折率n_{fl}が以下の式で表され、

[数1]

$$n_{fl}=\left(\frac{1-\sqrt{R_0}}{1+\sqrt{R_0}}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{n_c}$$

膜厚が$\lambda_0/4/n_{fl}$である単層からなる被覆膜の特性行列と、少なくとも１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}よりも低く、少なくとも他の１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}よりも高い２種類以上の材料を用いた３層以上の被覆膜からなる多層被覆膜の特性行列とを等しいとすることにより、前記多層被覆膜の反射率の波長依存性を有する反射率の極小値R_{min}^0を算出し、

予め設定された設定反射率R_1を実現する単層からなる被覆膜の屈折率n_{fl}^1が、以下の式で表され、

[数2]

$$n_{fl}^1=\left(\frac{1-\sqrt{R_1}}{1+\sqrt{R_1}}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{n_c}$$

膜厚が$\lambda_0/4/n_{fl}^1$の単層からなる被覆膜の特性行列と、少なくとも１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}^1よりも低く、少なくとも他の１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}^1よりも高い２種類以上の材料を用いた３層以上の被覆膜からなる多層被覆膜の特性行列とを等しいとすることにより、前記多層被覆膜の反射率の波長依存性における波長λ_{min}における反射率の極小値R_{min}を前記極小反射率R_0と一致させ、

前記波長λ_{min}における前記極小値R_{min}を前記波長λ_0における前記極小反射率R_0と一致させることによって得られる前記３層以上の被覆膜の各膜厚に基づき多層被覆膜を端面に形成することを特徴とする光半導体装置の製造方法。

[請求項2] 実効屈折率がn_cであり、所望の波長λ_0において所望の極小反射率である極小反射率R_0となる低反射率膜が形成された光半導体装置の製造方法であって、

屈折率n_{fh}が以下の式で表され、

[数3]

数3
$$n_{fh}=\left(\frac{1+\sqrt{R_0}}{1-\sqrt{R_0}}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{n_c}$$

膜厚がλ_0／４／n_{fh}である単層からなる被覆膜の特性行列と、少なくとも１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fh}よりも低く、少なくとも他の１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fh}よりも高い２種類以上の材料を用いた３層以上の被覆膜からなる多層被覆膜の特性行列とを等しいとすることにより、前記多層被覆膜の反射率の波長依存性を有する反射率の極小値$R_{min}{}^0$を算出し、

予め設定された設定反射率R_1を実現する単層からなる被覆膜の屈折率$n_{fh}{}^1$が、以下の式で表され、

[数4]

数4
$$n_{fh}{}^1=\left(\frac{1+\sqrt{R_1}}{1-\sqrt{R_1}}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{n_c}$$

膜厚がλ_0／４／$n_{fh}{}^1$の単層からなる被覆膜の特性行列と、少なくとも１つの材料の屈折率が前記屈折率$n_{fh}{}^1$よりも低く、少なくとも他の１つの材料の屈折率が前記屈折率$n_{fh}{}^1$よりも高い２種類以上の材料

を用いた３層以上の被覆膜からなる多層被覆膜の特性行列とを等しいとすることにより、前記多層被覆膜の反射率の波長依存性における波長λ_{min}における反射率の極小値R_{min}を前記極小反射率R_0と一致させ、

前記波長λ_{min}における前記極小値R_{min}を前記波長λ_0における前記極小反射率R_0と一致させることによって得られる前記３層以上の被覆膜の各膜厚に基づき多層被覆膜を端面に形成することを特徴とする光半導体装置の製造方法。

[請求項3] 屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^1よりも低い少なくとも１つの材料からなる被覆膜と、屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^1よりも高い他の少なくとも１つの材料からなる被覆膜を含む３層の被覆膜を端面に形成することを特徴とする請求項１に記載の光半導体装置の製造方法。

[請求項4] 屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^1よりも低い少なくとも１つの材料からなる被覆膜と、屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^1よりも高い他の少なくとも１つの材料からなる被覆膜を含む３層の被覆膜を端面に形成することを特徴とする請求項２に記載の光半導体装置の製造方法。

[請求項5] 屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^1よりも低い少なくとも１つの材料からなる被覆膜と、屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^1よりも高い他の少なくとも１つの材料からなる被覆膜とを含む３種類の材料から成る３層の被覆膜を端面に形成することを特徴とする請求項１に記載の光半導体装置の製造方法。

[請求項6] 屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^1よりも低い少なくとも１つの材料からなる被覆膜と、屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^1よりも高い他の少なくとも１つの材料からなる被覆膜とを含む３種類の材料から成る３層の被覆膜を端面に形成することを特徴とする請求項２に記載の光半導体装置の製造方法。

[請求項7] 屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^1よりも低い少なくとも１つの材料と、屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^1よりも高い他の少なくとも１つの材料とを含む４種類以上の材料からなり、前記４種類以上の材料のうち３種類の材料でそ

れぞれ構成された３層の被覆膜、及び３種類以外の材料からなり予め設定された膜厚を有する被覆膜を含む多層被覆膜を端面に形成することを特徴とする請求項１に記載の光半導体装置の製造方法。

[請求項8] 屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^{1}よりも低い少なくとも１つの材料と、屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^{1}よりも高い他の少なくとも１つの材料とを含む４種類以上の材料からなり、前記４種類以上の材料のうち３種類の材料でそれぞれ構成された３層の被覆膜、及び３種類以外の材料からなり予め設定された膜厚を有する被覆膜を含む多層被覆膜を端面に形成することを特徴とする請求項２に記載の光半導体装置の製造方法。

[請求項9] 屈折率がn_aであり、膜厚が$\lambda_0/(4n_a)$よりも厚く$3\lambda_0/(4n_a)$よりも薄い被覆膜を、前記多層被覆膜と端面の間、前記多層被覆膜の各被覆膜の間、または、前記多層被覆膜の最表面に設けることを特徴とする請求項３から８のいずれか１項に記載の光半導体装置の製造方法。

[請求項10] 実効屈折率がn_cである光半導体装置の端面に、ゼロを除く所望の極小反射率である極小反射率R_0を有する低反射率膜の設計方法であって、

屈折率n_{fl}が以下の式により、屈折率n_{fl}を算出するステップと、

[数5]

$$n_{fl}=\left(\frac{1-\sqrt{R_0}}{1+\sqrt{R_0}}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{n_c}$$

所望の波長λ_0において膜厚が$\lambda_0/4/n_{fl}$である単層からなる被覆膜の特性行列と、少なくとも１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}よりも低く、少なくとも他の１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}よりも高い２種類以上の材料を用いた３層以上の被覆膜からなる多層被覆膜の特性行列とを等しいとすることにより、前記多層被覆膜の反射率の波長依存性を有する反射率の極小値R_{min}^{0}を算出するステップと

、

予め設定された設定反射率R_1を実現する単層からなる被覆膜の屈折率n_{fl}^1を、以下の式を用いて算出するステップと、

[数6]

$$n_{fl}^1 = \left(\frac{1 - \sqrt{R_1}}{1 + \sqrt{R_1}} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{n_c}$$

膜厚が$\lambda_0 / 4 / n_{fl}^1$の単層からなる被覆膜の特性行列と、少なくとも１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}^1よりも低く、少なくとも他の１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fl}^1よりも高い２種類以上の材料を用いた３層以上の被覆膜からなる多層被覆膜の特性行列とを等しいとすることにより、前記多層被覆膜の反射率の波長依存性における波長λ_{min}における反射率の極小値R_{min}を前記極小反射率R_0と一致させるステップと、

前記波長λ_{min}における前記極小値R_{min}を波長λ_0における前記極小反射率R_0と一致させることによって得られる前記３層以上の被覆膜の各膜厚に基づき多層被覆膜の各膜厚を決定するステップと、

を備える低反射率膜の設計方法。

[請求項11] 実効屈折率がn_cである光半導体装置の端面に、ゼロを除く所望の極小反射率である極小反射率R_0を有する低反射率膜の設計方法であって、

屈折率n_{fh}が以下の式により、屈折率n_{fh}を算出するステップと、

[数7]

$$n_{fh} = \left(\frac{1 + \sqrt{R_0}}{1 - \sqrt{R_0}} \right)^{\frac{1}{2}} \sqrt{n_c}$$

所望の波長λ_0において膜厚が$\lambda_0 / 4 / n_{fh}$である単層からなる被

覆膜の特性行列と、少なくとも１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fh}よりも低く、少なくとも他の１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fh}よりも高い２種類以上の材料を用いた３層以上の被覆膜からなる多層被覆膜の特性行列とを等しいとすることにより、前記多層被覆膜の反射率の波長依存性を有する反射率の極小値R_{min}^{0}を算出するステップと、

予め設定された設定反射率Ｒ１を実現する単層からなる被覆膜の屈折率n_{fh}^{1}を、以下の式を用いて算出するステップと、

[数8]

数8
$$n_{fh}^{1}=\left(\frac{1+\sqrt{R_1}}{1-\sqrt{R_1}}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{n_c}$$

膜厚がλ_0／４／n_{fh}^{1}の単層からなる被覆膜の特性行列と、少なくとも１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fh}^{1}よりも低く、少なくとも他の１つの材料の屈折率が前記屈折率n_{fh}^{1}よりも高い２種類の材料を用いた３層以上の被覆膜からなる多層被覆膜の特性行列とを等しいとすることにより、前記多層被覆膜の反射率の波長依存性における波長λ_{min}における反射率の極小値R_{min}を前記極小反射率R_0と一致させるステップと、

前記波長λ_{min}における前記極小値R_{min}を前記波長λ_0における前記極小反射率R_0と一致させることによって得られる前記３層以上の被覆膜の各膜厚に基づき多層被覆膜の各膜厚を決定するステップと、

を備える低反射率膜の設計方法。

[請求項12] 屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^{1}よりも低い少なくとも１つの材料からなる被覆膜と、屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^{1}よりも高い他の少なくとも１つの材料からなる被覆膜を含む３層の被覆膜を端面に形成することを特徴とする請求項１０に記載の低反射率膜の設計方法。

[請求項13] 屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^{1}よりも低い少なくとも１つの材料からなる被覆膜と、屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^{1}よりも高い他の少なくとも１つの材料からなる被覆膜を含む３層の被覆膜を端面に形成することを特徴とする請求項１１に記載の低反射率膜の設計方法。

[請求項14] 屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^{1}よりも低い少なくとも１つの材料からなる被覆膜と、屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^{1}よりも高い他の少なくとも１つの材料からなる被覆膜とを含む３種類の材料から成る３層の被覆膜を端面に形成することを特徴とする請求項１０に記載の低反射率膜の設計方法。

[請求項15] 屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^{1}よりも低い少なくとも１つの材料からなる被覆膜と、屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^{1}よりも高い他の少なくとも１つの材料からなる被覆膜とを含む３種類の材料から成る３層の被覆膜を端面に形成することを特徴とする請求項１１に記載の低反射率膜の設計方法。

[請求項16] 屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^{1}よりも低い少なくとも１つの材料と、屈折率がn_{fl}及びn_{fl}^{1}よりも高い他の少なくとも１つの材料とを含む４種類以上の材料からなり、前記４種類以上の材料のうち３種類の材料でそれぞれ構成された３層の被覆膜、及び３種類以外の材料からなり予め設定された膜厚を有する被覆膜を含む多層被覆膜を端面に形成することを特徴とする請求項１０に記載の低反射率膜の設計方法。

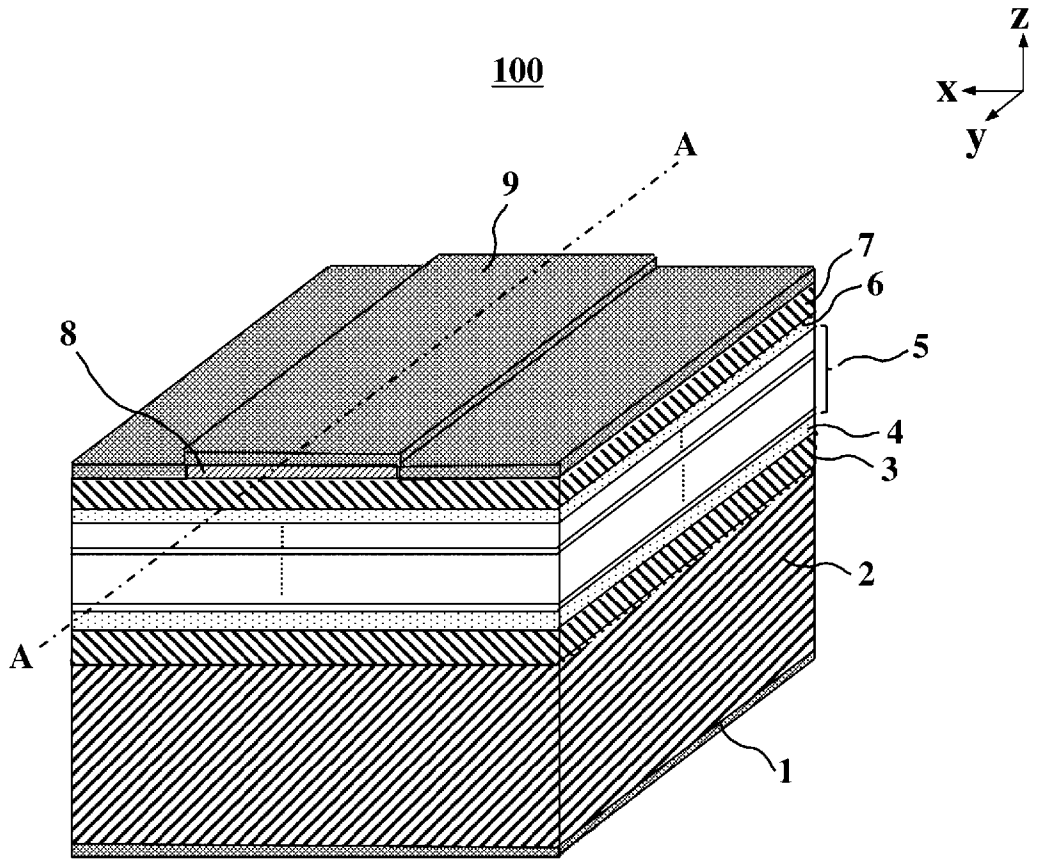
[請求項17] 屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^{1}よりも低い少なくとも１つの材料と、屈折率がn_{fh}及びn_{fh}^{1}よりも高い他の少なくとも１つの材料とを含む４種類以上の材料からなり、前記４種類以上の材料のうち３種類の材料でそれぞれ構成された３層の被覆膜、及び３種類以外の材料からなり予め設定された膜厚を有する被覆膜を含む多層被覆膜を端面に形成することを特徴とする請求項１１に記載の低反射率膜の設計方法。

[請求項18] 屈折率がn_{a}であり、膜厚が$\lambda_{0}/(4n_{a})$よりも厚く$3\lambda_{0}/(4n_{a})$よりも薄い被覆膜を、前記多層被覆膜と端面の間、前記多層被

覆膜の各被覆膜の間、または、前記多層被覆膜の最表面に設けることを特徴とする請求項１２から１７のいずれか１項に記載の低反射率膜の設計方法。

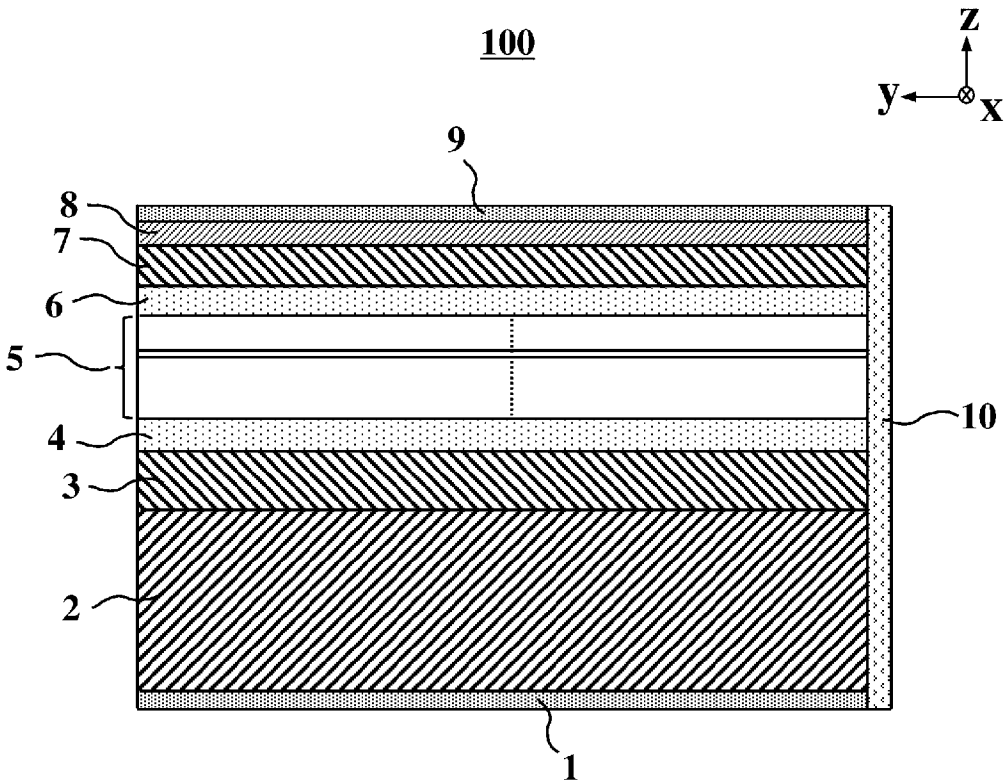
[図1]

図1



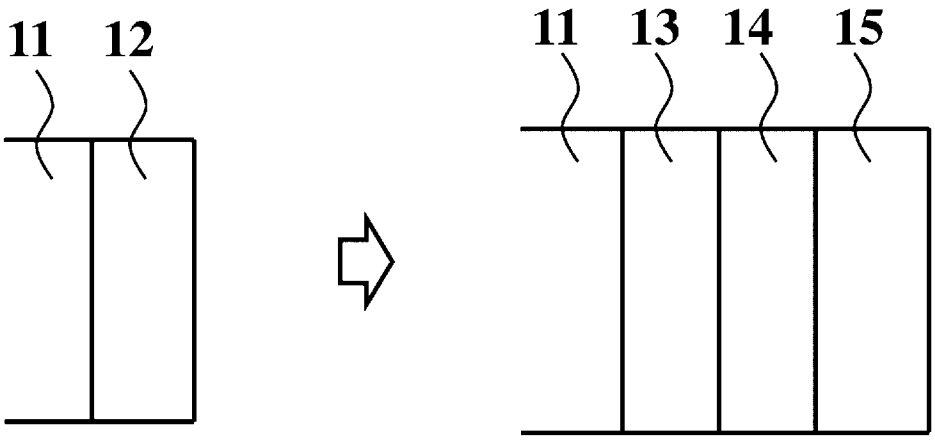
[図2]

図2



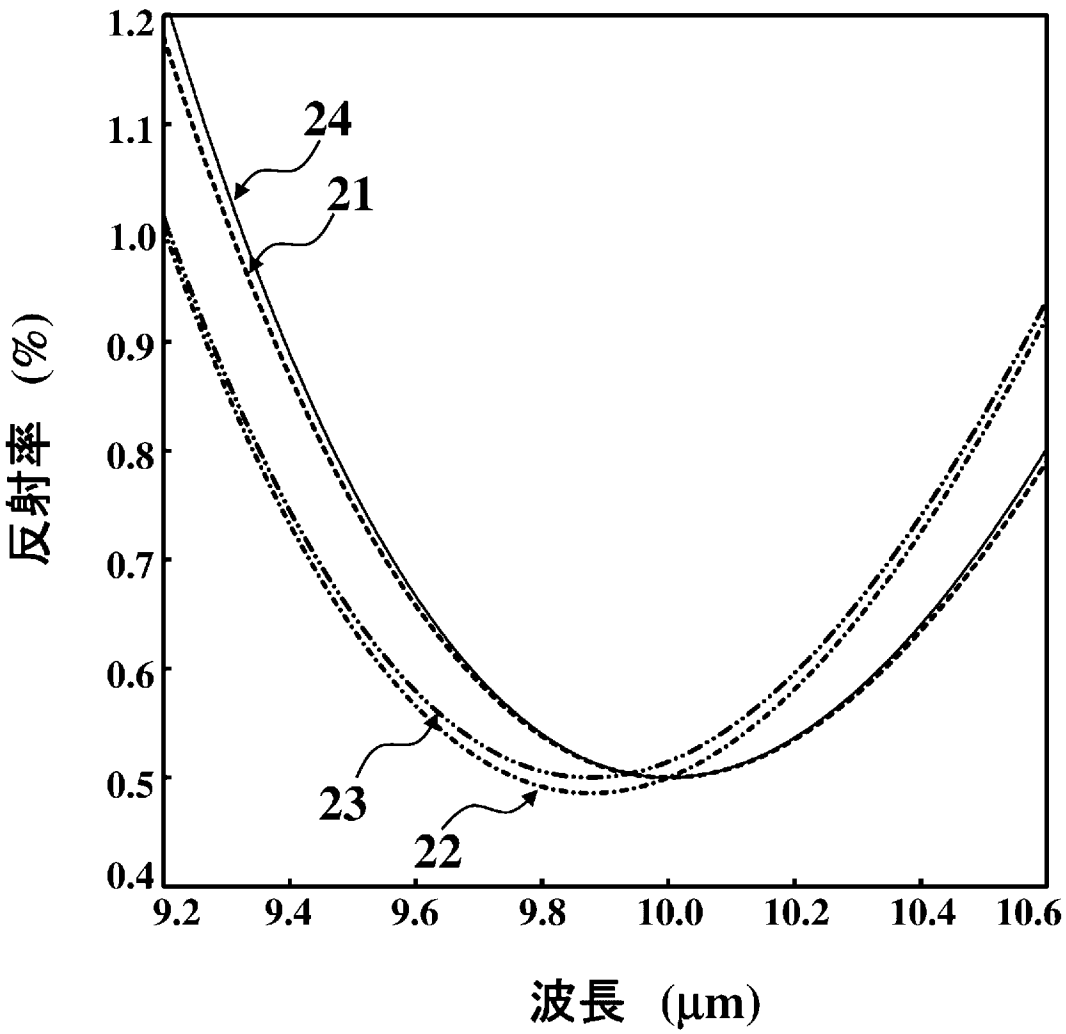
[図3]

図3


11
12
11
13
14
15

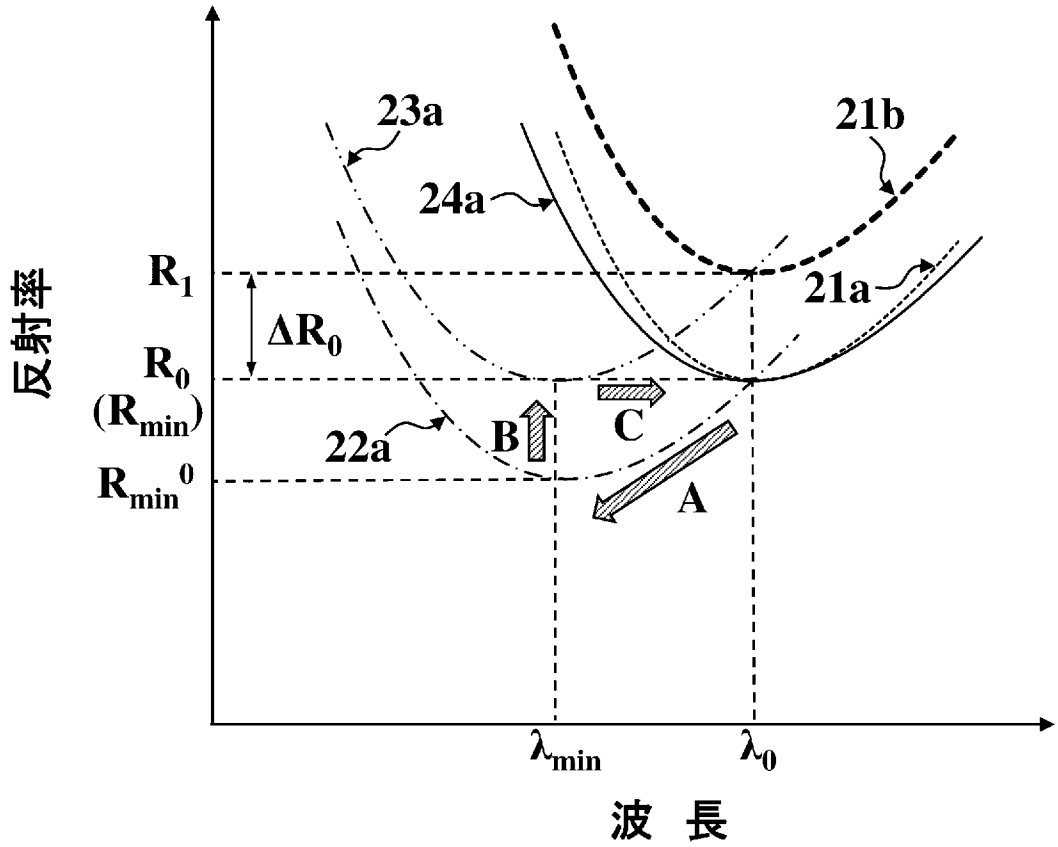
[図4]

図4


1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
反射率 (%)
24
21
23
22
9.2
9.4
9.6
9.8
10.0
10.2
10.4
10.6
波長 (μm)

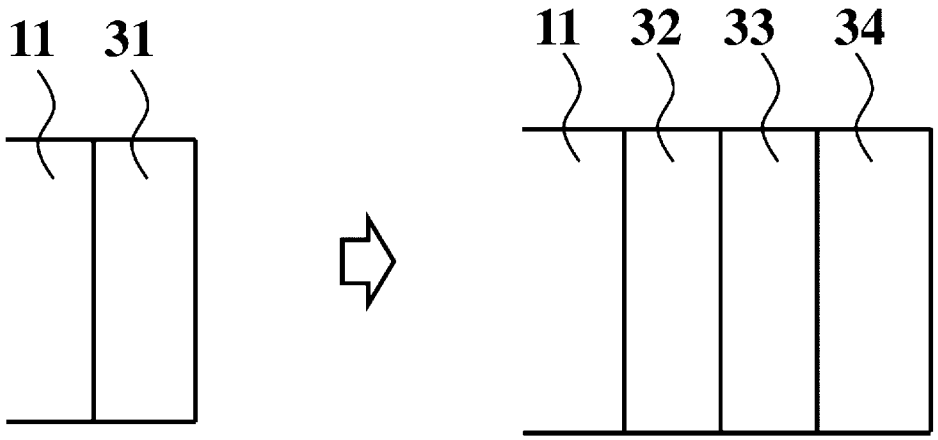
[図5]

図5


23a
21b
24a
21a
R_1
ΔR_0
R_0
(R_{min})
22a
B
C
A
$R_{min}{}^0$
反射率
λ_{min}
λ_0
波 長

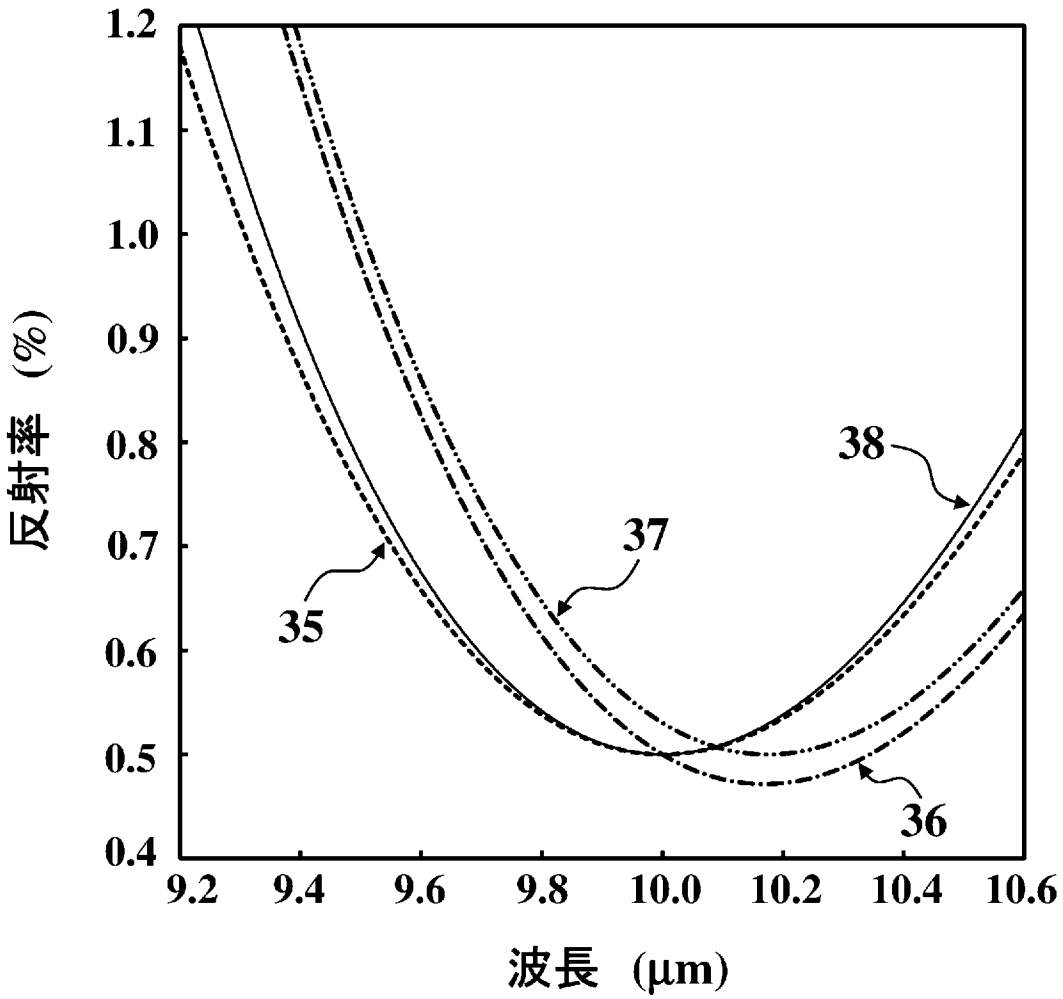
[図6]

図6


11
31
11
32
33
34

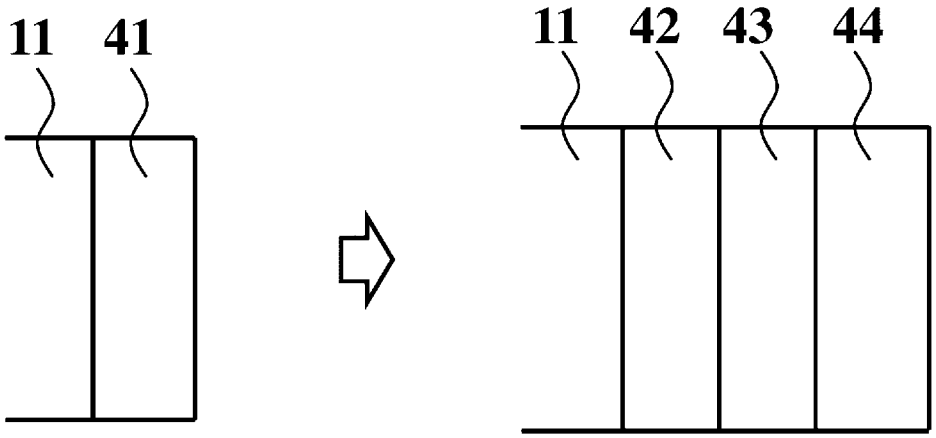
[図7]

図7


1.2
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
反射率 (%)
9.2
9.4
9.6
9.8
10.0
10.2
10.4
10.6
波長 (μm)
35
36
37
38

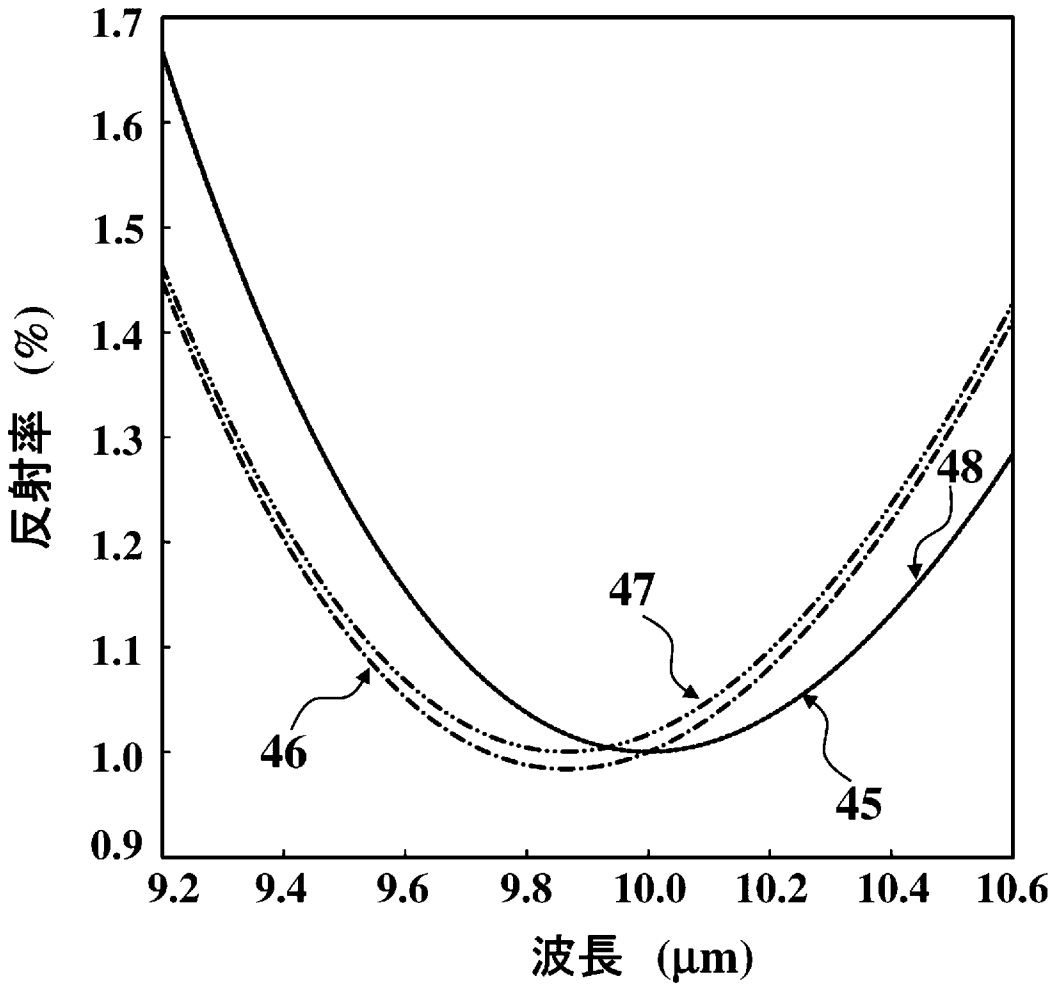
[図8]

図8


11
41
11
42
43
44

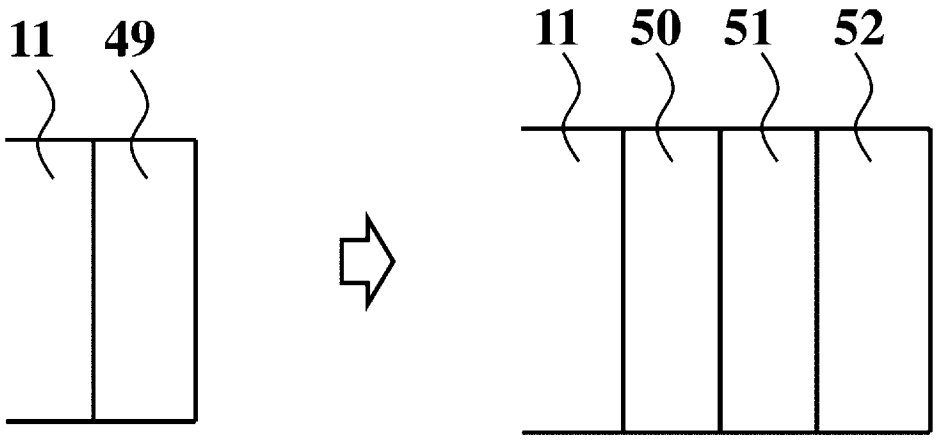
[図9]

図9


1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
反射率（%）
9.2
9.4
9.6
9.8
10.0
10.2
10.4
10.6
波長（μm）
45
46
47
48

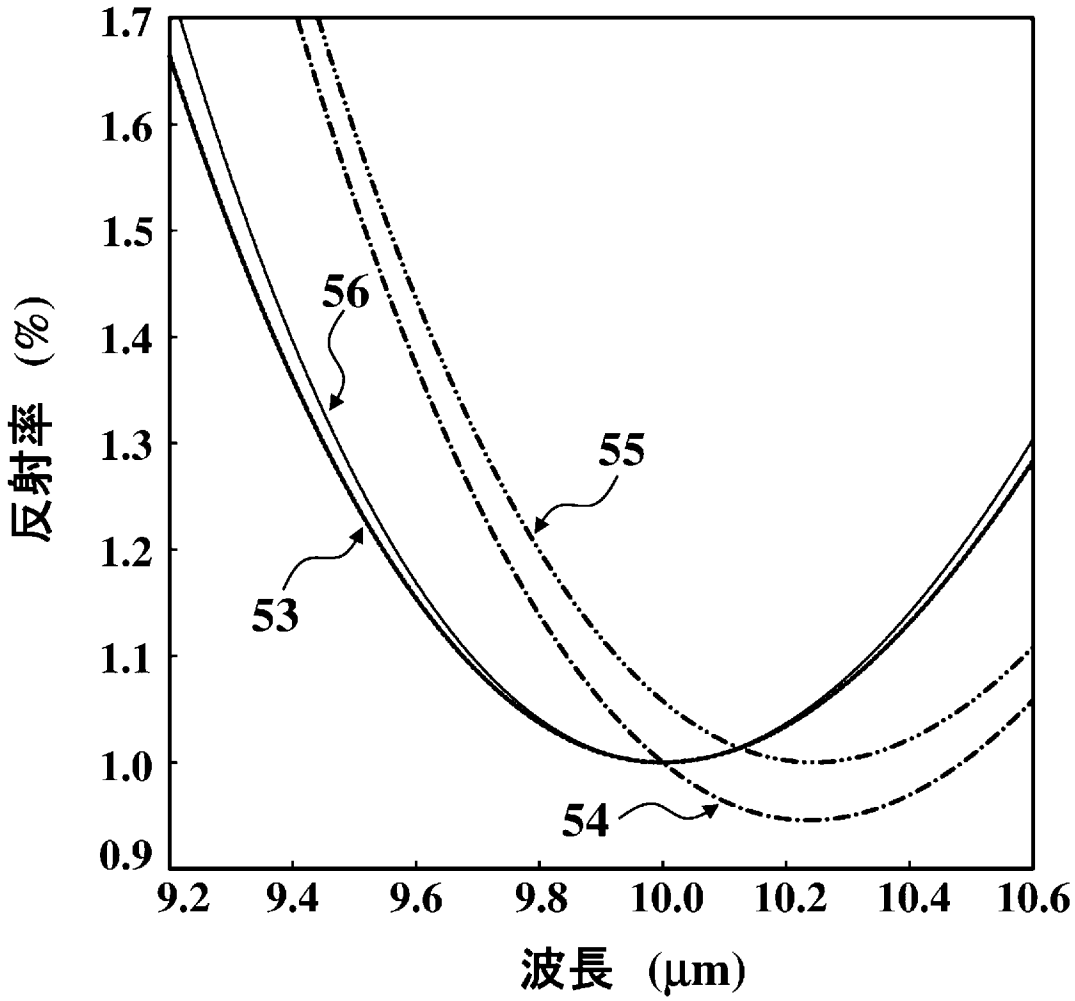
[図10]

図10


11
49
11
50
51
52

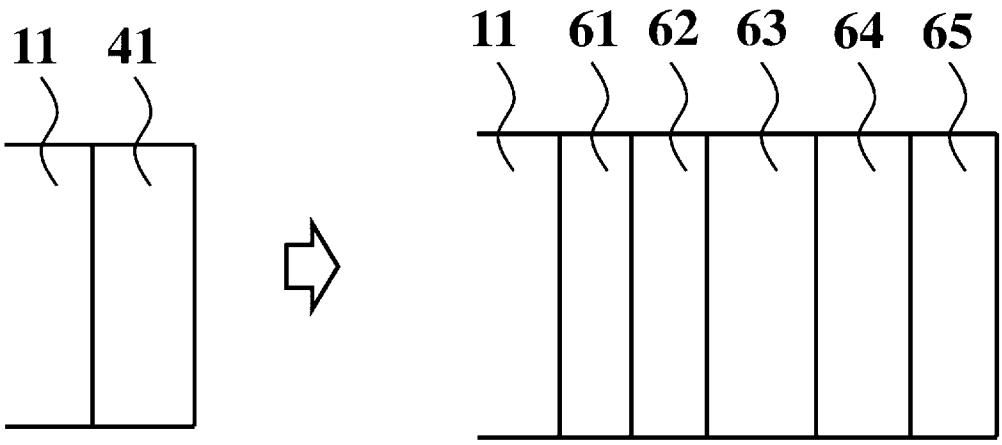
[図11]

図11



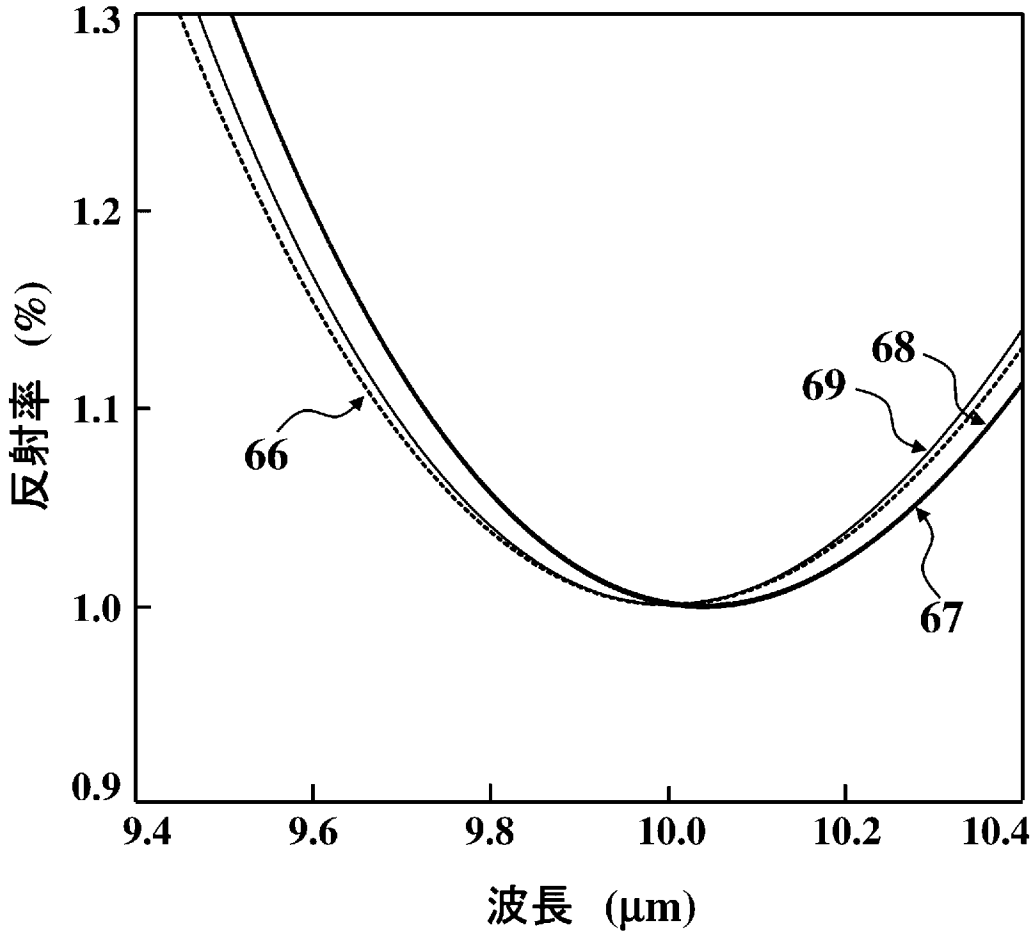
[図12]

図12



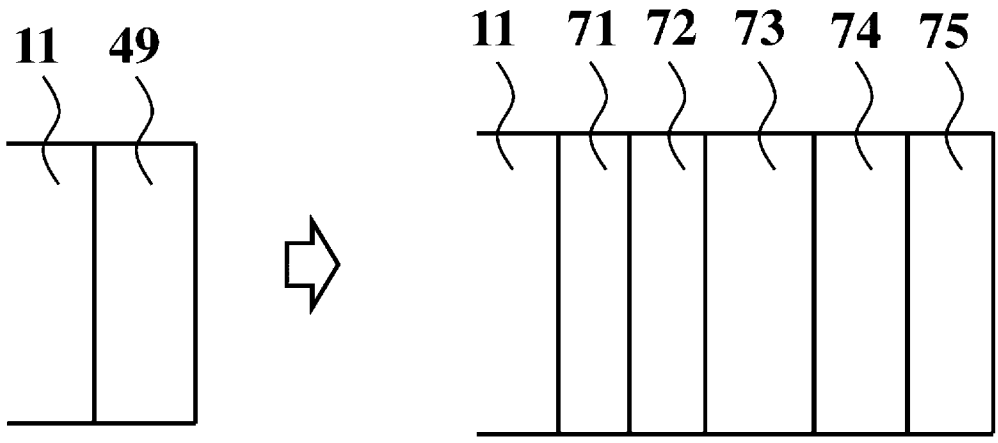
[図13]

図13



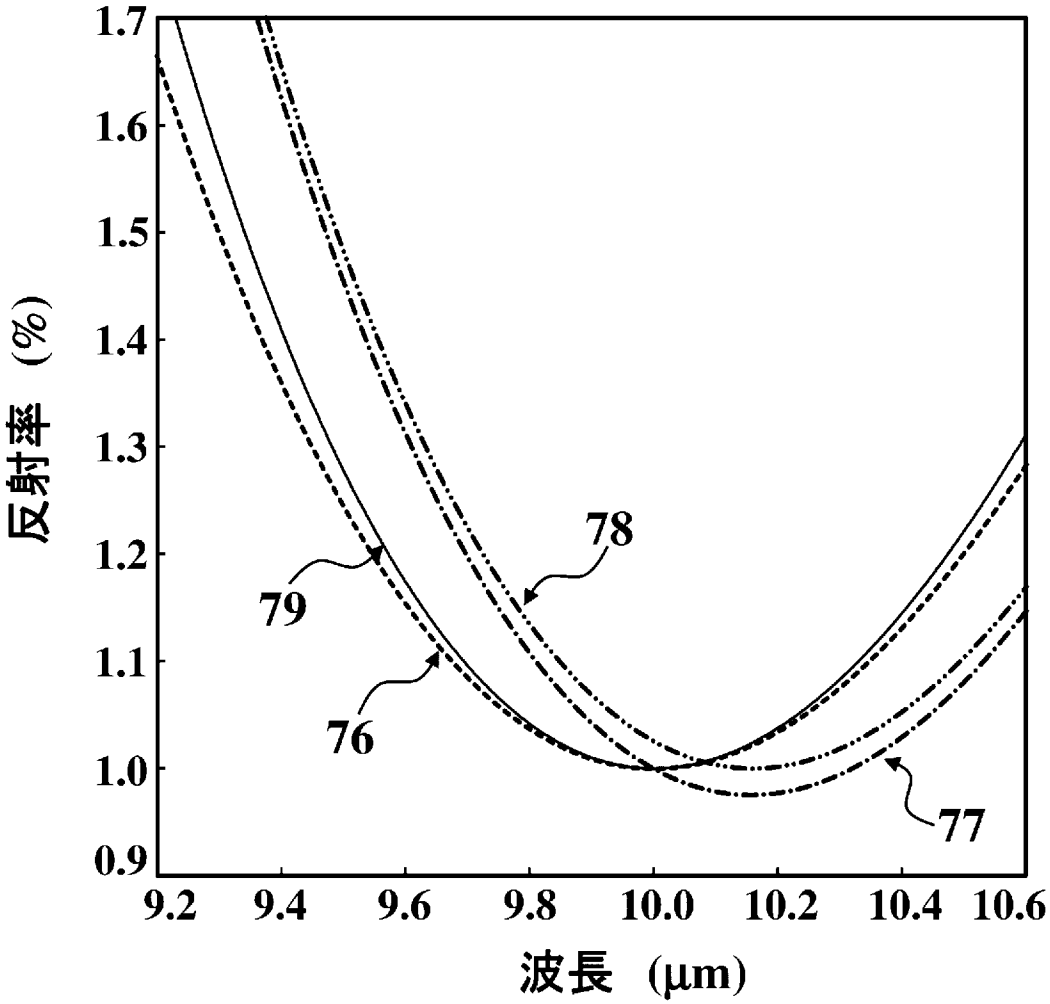
[図14]

図14



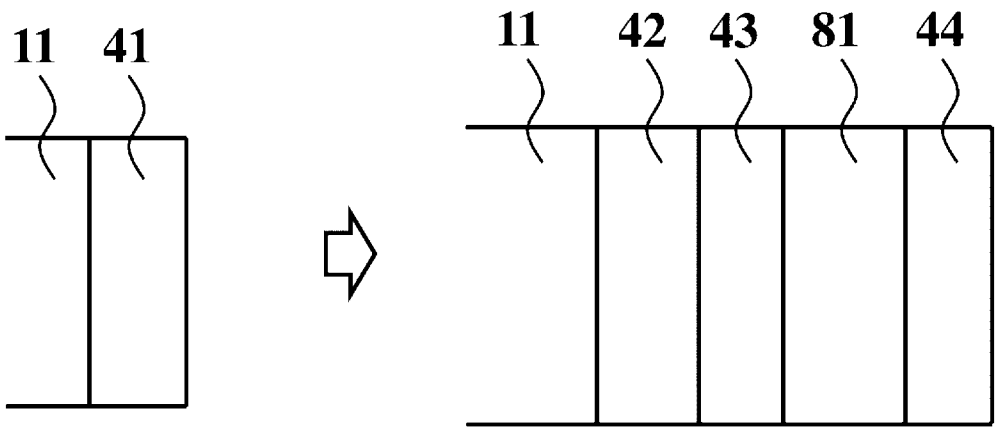
[図15]

図15



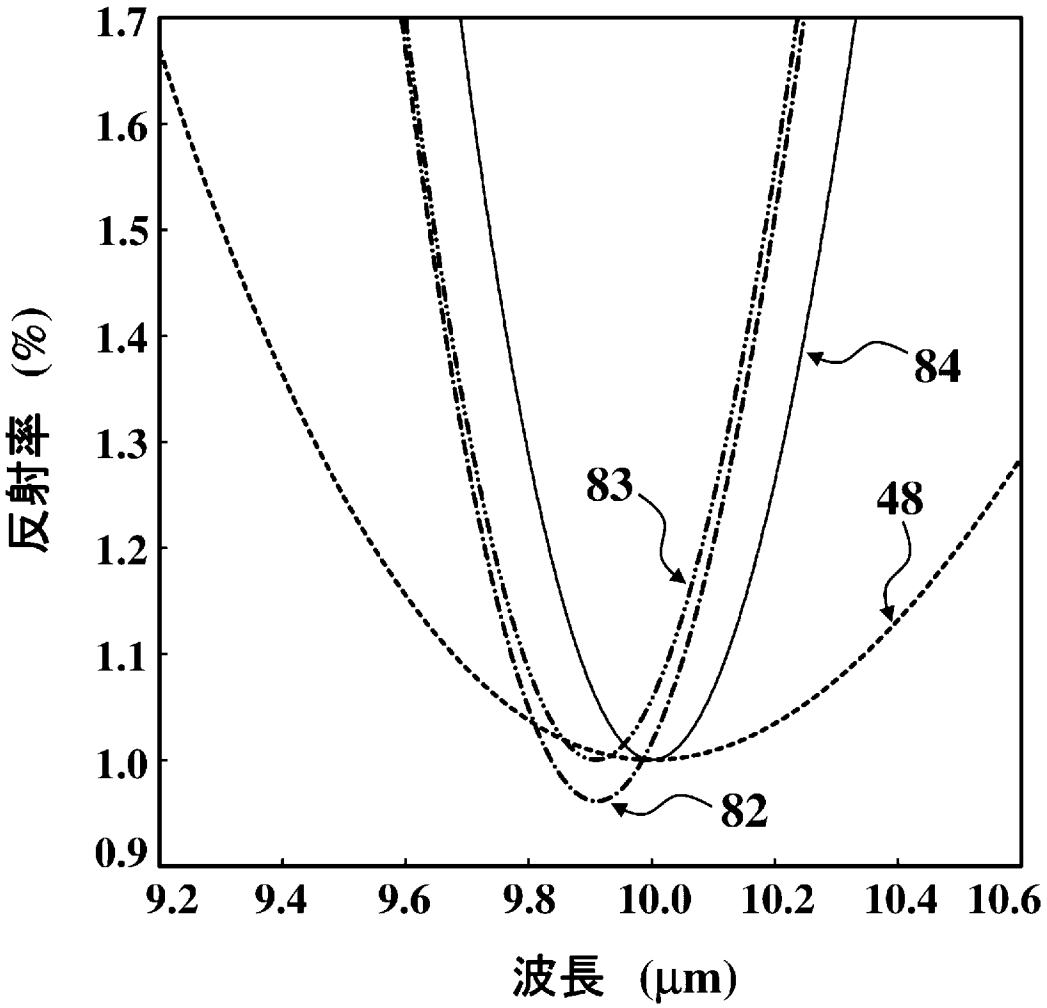
[図16]

図16



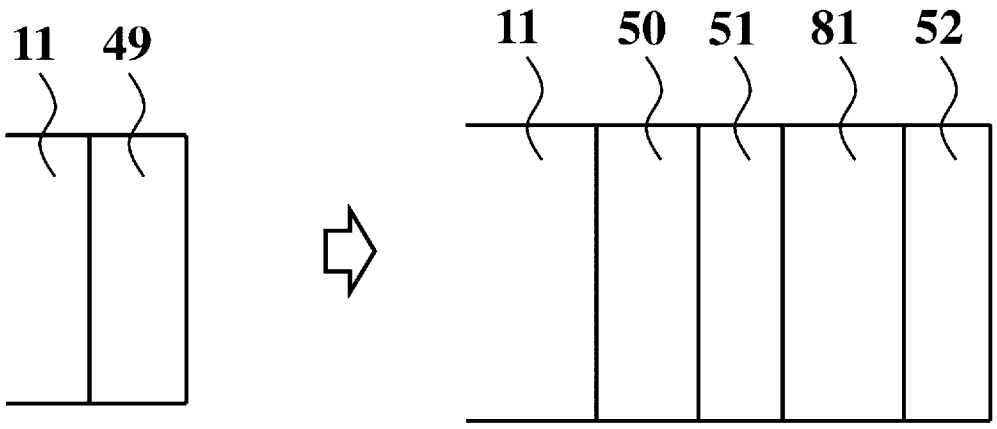
[図17]

図17



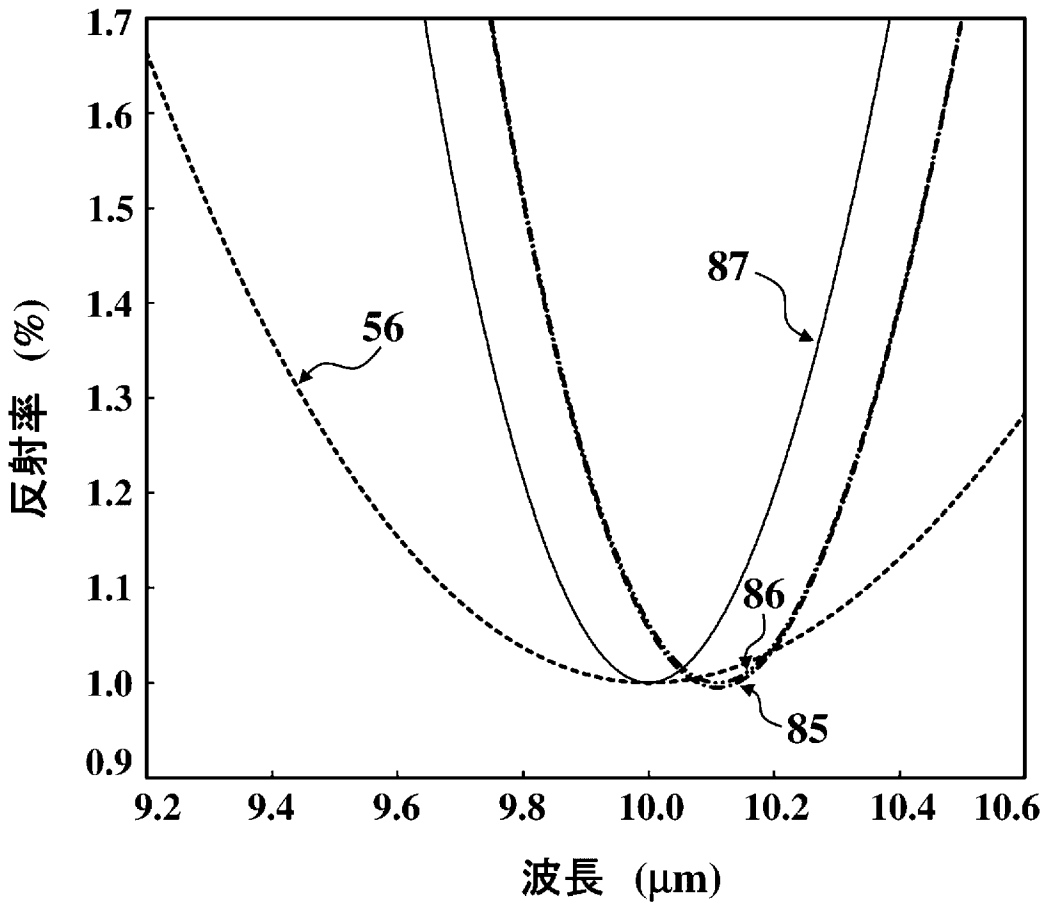
[図18]

図18



[図19]

図19


1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1.0
0.9
反射率（%）
9.2
9.4
9.6
9.8
10.0
10.2
10.4
10.6
波長 (μm)
56
87
86
85

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/025764

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S 5/028(2006.01)i
FI: H01S5/028

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S5/028

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-176380 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 08 September 2011 (2011-09-08)	1-18
A	JP 2010-123995 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 03 June 2010 (2010-06-03)	1-18
A	JP 2006-156729 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 15 June 2006 (2006-06-15)	1-18
A	JP 5-243689 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 21 September 1993 (1993-09-21)	1-18
A	JP 7183484 B1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) 05 December 2022 (2022-12-05)	1-18

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.
☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
03 August 2023	**15 August 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/025764

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2011-176380 A	08 September 2011	US 2003/0168667 A1	
		CN 1444317 A	
		KR 10-0562059 B1	
JP 2010-123995 A	03 June 2010	US 2004/0062507 A1	
		KR 10-2004-0027411 A	
		CN 1497807 A	
JP 2006-156729 A	15 June 2006	US 2006/0115227 A1	
JP 5-243689 A	21 September 1993	US 5282219 A	
		EP 562173 A1	
JP 7183484 B1	05 December 2022	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/025764

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01S 5/028(2006.01)i
FI: H01S5/028

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01S5/028

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2011-176380 A (三菱電機株式会社) 08.09.2011 (2011-09-08)	1-18
A	JP 2010-123995 A (三菱電機株式会社) 03.06.2010 (2010-06-03)	1-18
A	JP 2006-156729 A (三菱電機株式会社) 15.06.2006 (2006-06-15)	1-18
A	JP 5-243689 A (三菱電機株式会社) 21.09.1993 (1993-09-21)	1-18
A	JP 7183484 B1 (三菱電機株式会社) 05.12.2022 (2022-12-05)	1-18

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
03.08.2023	15.08.2023

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
村井　友和 2K 3207

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2023/025764

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2011-176380 A	08.09.2011	US 2003/0168667 A1	
		CN 1444317 A	
		KR 10-0562059 B1	
JP 2010-123995 A	03.06.2010	US 2004/0062507 A1	
		KR 10-2004-0027411 A	
		CN 1497807 A	
JP 2006-156729 A	15.06.2006	US 2006/0115227 A1	
JP 5-243689 A	21.09.1993	US 5282219 A	
		EP 562173 A1	
JP 7183484 B1	05.12.2022	（ファミリーなし）	