



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) BR 112014013366-2 B1**



**(22) Data do Depósito:** 29/11/2012

**(45) Data de Concessão:** 14/09/2021

---

**(54) Título:** ELEMENTO DE LASER EMISSOR DE SUPERFÍCIE, MÉTODO PARA A FABRICAÇÃO DE UM ELEMENTO DE LASER EMISSOR DE SUPERFÍCIE E OSCILADOR ATÔMICO

**(51) Int.Cl.:** H01S 5/183; H03L 7/26.

**(30) Prioridade Unionista:** 02/12/2011 JP 2011-264908; 23/10/2012 JP 2012-234113.

**(73) Titular(es):** RICOH COMPANY, LTD..

**(72) Inventor(es):** SHUNICHI SATO; RYOICHIRO SUZUKI.

**(86) Pedido PCT:** PCT JP2012081582 de 29/11/2012

**(87) Publicação PCT:** WO 2013/081176 de 06/06/2013

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 02/06/2014

**(57) Resumo:** ELEMENTO DE LASER EMISSOR DE SUPERFÍCIE, MÉTODO PARA A FABRICAÇÃO DE UM ELEMENTO DE LASER EMISSOR DE SUPERFÍCIE E OSCILADOR ATÔMICO. É descrito um elemento de laser emissor de superfície que inclui um substrato semiconductor e múltiplos lasers emissores de superfície configurados para emitir luz com comprimentos de onda mutuamente diferentes, cada laser emissor de superfície incluindo um refletor de Bragg inferior fornecido sobre o substrato semiconductor, um ressonador fornecido sobre o refletor de Bragg inferior, um refletor de Bragg superior fornecido sobre o ressonador e uma camada de ajuste de comprimento de onda fornecida sobre o refletor de Bragg superior ou refletor de Bragg inferior, as camadas de ajuste de comprimento de onda incluídas nos lasers emissores de superfície tendo espessuras mutuamente diferentes, pelo menos uma das camadas de ajuste de comprimento de onda incluindo camadas de ajuste feitas de dois tipos de materiais e os números das camadas de ajuste incluídas nas camadas de ajuste de comprimento de onda sendo mutuamente diferentes.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para: **“ELEMENTO DE LASER EMISSOR DE SUPERFÍCIE, MÉTODO PARA A FABRICAÇÃO DE UM ELEMENTO DE LASER EMISSOR DE SUPERFÍCIE E OSCILADOR ATÔMICO”**.

#### Campo Técnico

[0001] Pelo menos um aspecto da presente invenção se refere a um elemento de laser emissor de superfície, um método para fabricação de um elemento de laser emissor de superfície e um oscilador atômico.

#### Antecedentes da Invenção

[0002] Um laser emissor de superfície (LASER Emissor de Superfície de Cavidade Vertical [*Vertical Cavity Surface Emitting Laser* - VCSEL]) é um laser semiconductor para emissão de luz em uma direção vertical em relação a uma superfície de um substrato e tem características de baixo custo, baixo consumo de energia elétrica, compacto, ter um alto desempenho e ser prontamente integrado bidimensionalmente, quando comparado com um laser semiconductor de tipo emissão de borda.

[0003] Um laser emissor de superfície tem uma área de ressonador que inclui uma camada ativa e uma estrutura de ressonador constituída por um refletor superior e um refletor inferior acima e abaixo da área de ressonador, respectivamente (por exemplo, Publicação de Pedido de

Patente Japonesa N° 2008-53353). Consequentemente, uma área de ressonador é formada com uma espessura óptica predeterminada, de maneira tal que luz com um comprimento de onda  $\lambda$  oscila na área do ressonador de modo a obter luz com um comprimento de onda de oscilação  $\lambda$ . Um refletor superior e um refletor inferior são formados ao laminar e moldar alternadamente materiais com diferentes índices de refração, isto é, um material de baixo índice de refração e um material de elevado índice de refração e são moldados de maneira tal que a espessura do filme óptico do material de baixo índice de refração e do material de elevado índice de refração seja de  $\lambda/4$ , de modo a obter alta refletância em um comprimento de onda  $\lambda$ .

[0004] Além disso, elementos de formação para diferentes comprimentos de onda em um chip também são descritos (por exemplo, Patente Japonesa N° 2751814, Pedido de Patente Japonesa N° 2000-058958, Publicação de Pedido de Patente Japonesa N° 11-330631 e Publicação de Pedido de Patente Japonesa N° 2008-283129). Pode ser possível formar tal elemento de laser emissor de superfície com múltiplos comprimentos de onda ao formar uma camada de ajuste de comprimento de onda com uma estrutura formada ao laminar alternadamente dois materiais para diferentes fluidos de decapagem sobre uma área de ressonador do elemento de laser

emissor de superfície e ao remover tal camada de ajuste de comprimento de onda uma por uma para cada laser emissor de superfície por meio de decapagem a úmido para variar a espessura da camada de ajuste de comprimento de onda.

[0005] Entretanto, há um relógio atômico (oscilador atômico) como um relógio que pode medir o tempo de forma extremamente precisa e uma técnica para miniaturização de tal um relógio atômico, etc. é estudada. Um relógio atômico é um oscilador que se baseia em uma quantidade de energia de transição de um elétron que constitui um átomo de metal alcalino, etc. e, em particular, é possível obter um valor muito preciso de energia de transição de um elétron em um átomo de um metal alcalino sob a condição de ausência de perturbação, pelo que pode ser possível obter estabilidade de frequência em várias ordens de magnitude maior do que um oscilador de quartzo.

[0006] Há alguns tipos de tal relógio atômico e, dentre estes, a estabilidade de frequência de um relógio atômico de tipo Aprisionamento Coerente de População (*Coherent Population Trapping - CPT*) é cerca de três ordens de magnitude maior do que um oscilador de quartzo convencional, no qual também pode ser possível esperar um tipo muito compacto e um consumo de energia elétrica extremamente baixo (por exemplo, *Applied Physics Letters*,



Vol. 85, páginas 1460-1462 (2004), *Comprehensive Microsystems*, vol. 3, páginas 571-612 e Publicação de Pedido de Patente Japonesa N° 2009-188598).

[0007] Um relógio atômico de tipo CPT tem um elemento de laser, uma célula que contém um metal alcalino e um elemento de recebimento de luz para recebimento de luz de laser transmitida através da célula, em que a luz do laser é modulada e duas transições de um elétron em um átomo de metal alcalino são realizadas simultaneamente pelos comprimentos de onda de banda lateral que ocorrem em ambos os lados de uma onda portadora em um comprimento de onda particular para conduzir excitação da mesma. A energia de transição para tal transição é invariável e, quando um comprimento de onda de banda lateral da luz de laser coincide com um comprimento de onda que corresponde à energia de transição, um fenômeno de aumento de transparência ocorre, no qual a taxa de absorção de luz de um metal alcalino é reduzida. Assim, tal relógio atômico é caracterizado pelo fato de que o comprimento de onda de uma onda portadora é ajustado para diminuir a taxa de absorção de luz de um metal alcalino e um sinal detectado pelo elemento de recebimento de luz é alimentado de volta para um modulador, de modo que uma frequência de modulação da luz do laser a partir de um elemento de laser seja ajustada

pelo modulador. Adicionalmente, em tal relógio atômico, a luz do laser emitida a partir do elemento de laser irradia sobre uma célula que contém um metal alcalino através de um colimador e uma placa de onda  $\lambda/4$ .

[0008] Para uma fonte de luz para tal relógio atômico de tipo muito compacto, um laser emissor de superfície compacto com um consumo de energia elétrica muito baixo e uma elevada qualidade de comprimento de onda é adequado e é desejado que a precisão do comprimento de onda de uma onda portadora seja de  $\pm 1$  nm em relação a um comprimento de onda particular (por exemplo, Proc. of SPIE Vol. 6132, 613208-1 (2006)).

[0009] Entretanto, quando um elemento de laser emissor de superfície é usado para um relógio atômico, pode ser necessário proporcionar um intervalo de comprimento de onda estreito (5 nm) para cada laser emissor de superfície. Consequentemente, uma camada de ajuste de comprimento de onda é formada sobre uma área de ressonador de um laser emissor de superfície e, portanto, quando tal laser emissor de superfície com um intervalo de comprimento de onda estreito é formado, pode ser necessário formar um filme de maneira tal que a espessura de cada filme na camada de ajuste de comprimento de onda seja muito fina. No entanto, pode ser difícil formar um filme de maneira tal que a

espessura de cada filme para formação de uma camada de ajuste de comprimento de onda seja extremamente fina e uniforme em virtude de dispersão da taxa de crescimento, irregularidades na distribuição de uma espessura do filme, etc. no momento de formação de uma camada semicondutora.

[0010] Especificamente, conforme indicado na Patente Japonesa N° 2751814, quando uma camada de ajuste de comprimento de onda é formada sobre uma área de ressonador e quando um intervalo de comprimento de onda de oscilação pretendido é de 5 nm ou menos, pode ser necessário que a espessura de filme de uma camada de ajuste de comprimento de onda seja de 1,2 nm ou menos, mas pode ser extremamente difícil para a técnica atual de crescimento de cristais de um semicondutor composto controlar tal espessura de filme fino. Assim, mesmo se a espessura de filme é ligeiramente modificada, o comprimento de onda de oscilação pode ser influenciado pela mesma.

#### Descrição da Invenção

[0011] De acordo com um aspecto da presente invenção, pode ser fornecido um elemento de laser emissor de superfície que inclui um substrato semicondutor e múltiplos lasers emissores de superfície configurados para emitir luz com comprimentos de onda mutuamente diferentes, cada laser emissor de superfície incluindo um refletor de

Bragg inferior localizado sobre o substrato semiconductor, um ressonador localizado sobre o refletor de Bragg inferior, um refletor de Bragg superior localizado sobre o ressonador e uma camada de ajuste de comprimento de onda localizada sobre o refletor de Bragg superior ou o refletor de Bragg inferior, as camadas de ajuste de comprimento de onda incluídas nos lasers emissores de superfície tendo espessuras mutuamente diferentes, pelo menos uma das camadas de ajuste de comprimento de onda incluindo camadas de ajuste feitas de dois tipos de materiais e os números das camadas de ajuste incluídas nas camadas de ajuste de comprimento de onda sendo mutuamente diferentes.

[0012] De acordo com outro aspecto da presente invenção, pode ser fornecido um método para a fabricação de um elemento de laser emissor de superfície que inclui múltiplos lasers emissores de superfície configurados para emitir luz com comprimentos de onda mutuamente diferentes incluindo as etapas de formação de um refletor de Bragg inferior sobre um substrato semiconductor, formação de um ressonador sobre o refletor de Bragg inferior, formação de um refletor de Bragg superior sobre o ressonador, laminação de camadas de ajuste feitas de dois tipos de materiais sobre o refletor de Bragg superior ou o refletor de Bragg inferior para formar uma camada de ajuste de comprimento de

onda, remoção de uma camada de ajuste na camada de ajuste de comprimento de onda usando um primeiro fluido de decapagem e remoção de outra camada de ajuste na camada de ajuste de comprimento de onda usando um segundo fluido de decapagem diferente do primeiro fluido de decapagem, de modo que as camadas de ajuste de comprimento de onda incluídas nos lasers emissores de superfície tenham espessuras mutuamente diferentes e os números das camadas de ajuste incluídas nas camadas de ajuste de comprimento de onda sejam mutuamente diferentes.

[0013] De acordo com outro aspecto da presente invenção, pode ser fornecido um oscilador atômico que inclui o elemento de laser emissor de superfície conforme descrito acima, uma célula de metal alcalino que inclui um metal alcalino a ser irradiado com a luz emitida a partir do elemento de laser emissor de superfície, um fotodetector configurado para detectar luz que foi transmitida através da célula de metal alcalino e um controlador configurado para controlar a frequência de oscilação do elemento de laser emissor de superfície com base na luz detectada pelo fotodetector.

#### Breve Descrição dos Desenhos

[0014] A Figura 1 é uma vista superior de um elemento de laser emissor de superfície em uma primeira concretização.

[0015] A Figura 2 é um diagrama que ilustra um elemento de laser emissor de superfície em uma primeira concretização.

[0016] A Figura 3 é um diagrama estrutural de uma camada de ajuste de comprimento de onda de um elemento de laser emissor de superfície em uma primeira concretização.

[0017] A Figura 4A e a Figura 4B são diagramas que ilustram (1) uma camada de ajuste de comprimento de onda de um elemento de laser emissor de superfície em uma primeira concretização.

[0018] A Figura 5A e a Figura 5B são diagramas que ilustram (2) uma camada de ajuste de comprimento de onda de um elemento de laser emissor de superfície em uma primeira concretização.

[0019] A Figura 6A e a Figura 6B são diagramas que ilustram (3) uma camada de ajuste de comprimento de onda de um elemento de laser emissor de superfície em uma primeira concretização.

[0020] A Figura 7A e a Figura 7B são diagramas que ilustram (4) uma camada de ajuste de comprimento de onda de

um elemento de laser emissor de superfície em uma primeira concretização.

[0021] A Figura 8 é um diagrama que ilustra (5) uma camada de ajuste de comprimento de onda de um elemento de laser emissor de superfície em uma primeira concretização.

[0022] A Figura 9 é um diagrama que ilustra (6) uma camada de ajuste de comprimento de onda de um elemento de laser emissor de superfície em uma primeira concretização.

[0023] A Figura 10 é uma vista superior de um elemento de laser emissor de superfície em uma segunda concretização.

[0024] A Figura 11 é um diagrama que ilustra um elemento de laser emissor de superfície em uma segunda concretização.

[0025] A Figura 12A e a Figura 12B são diagramas que ilustram (1) uma camada de ajuste de um comprimento de onda de um elemento de laser emissor de superfície em uma segunda concretização.

[0026] A Figura 13A e a Figura 13B são diagramas que ilustram (2) uma camada de ajuste de comprimento de onda de um elemento de laser emissor de superfície em uma segunda concretização.

[0027] A Figura 14 é uma vista superior de um elemento de laser emissor de superfície em uma terceira concretização.

[0028] A Figura 15A e a Figura 15B são diagramas que ilustram um elemento de laser emissor de superfície em uma terceira concretização.

[0029] A Figura 16 é um diagrama de correlação entre uma primeira camada de ajuste de comprimento de onda e uma segunda camada de ajuste de comprimento de onda e um comprimento de onda de oscilação.

[0030] A Figura 17A e a Figura 17B são diagramas que ilustram (1) uma primeira camada de ajuste de comprimento de onda de um elemento de laser emissor de superfície de uma terceira concretização.

[0031] A Figura 18A e a Figura 18B são diagramas que ilustram (2) uma primeira camada de ajuste de comprimento de onda de um elemento de laser emissor de superfície de uma terceira concretização.

[0032] A Figura 19A e a Figura 19B são diagramas que ilustram (3) uma primeira camada de ajuste de comprimento de onda de um elemento de laser emissor de superfície de uma terceira concretização.



[0033] A Figura 20 é uma vista superior de um elemento de laser emissor de superfície em uma quarta concretização.

[0034] A Figura 21 é um diagrama estrutural de um oscilador atômico em uma quinta concretização.

[0035] A Figura 22 é um diagrama que ilustra o nível de energia atômica para ilustrar um tipo CPT.

[0036] A Figura 23 é um diagrama que ilustra um comprimento de onda de saída no momento de modulação de um laser emissor de superfície.

[0037] A Figura 24 é um diagrama de correlação entre a frequência de modulação e a quantidade de luz transmitida.

#### Concretização(ões) para Implementação da Invenção

[0038] Concretização(ões) da presente invenção será(ão) descrita(s) a seguir. Além disso, números de referência idênticos serão aplicados a elementos idênticos, etc., e (uma) descrição(ões) dos mesmos será(ão) omitida(s).

#### **[Primeira Concretização]**

(Estrutura de um elemento de laser emissor de superfície)

[0039] Um elemento de laser emissor de superfície em uma primeira concretização será descrito. Conforme

ilustrado na Figura 1 e Figura 2A, um elemento de laser emissor de superfície 10 na presente concretização tem múltiplos lasers de emissão de superfície e, especificamente, tem um primeiro laser emissor de superfície 11, um segundo laser emissor de superfície 12, um terceiro laser emissor de superfície 13 e um quarto laser emissor de superfície 14. Adicionalmente, a Figura 1 foi simplificada por uma questão de explicação da presente concretização, em que a representação de uma camada de contato, etc., foi convenientemente omitida. Além disso, a Figura 2 é um diagrama em seção transversal fornecido ao cortar ao longo de uma linha pontilhada/tracejada 1A-1B na Figura 1.

[0040] O elemento de laser emissor de superfície 10 na presente concretização é formado sobre um chip semicondutor de 300  $\mu\text{m}$  quadrados, em que cada um do primeiro laser emissor de superfície 11, segundo laser emissor de superfície 12, terceiro laser emissor de superfície 13 e quarto laser emissor de superfície 14 formados sobre tal chip semicondutor está conectado a um bloco de eletrodos fornecido para corresponder aos mesmos. Especificamente, um bloco de eletrodo 21 está conectado ao primeiro laser emissor de superfície 11 e um bloco de eletrodo 22 está conectado ao segundo laser emissor de

superfície 12, enquanto que um bloco de eletrodo 23 está conectado ao terceiro laser emissor de superfície 13 e um bloco de eletrodo 24 está conectado ao quarto laser emissor de superfície 14.

[0041] Além disso, o primeiro laser emissor de superfície 11, o segundo laser emissor de superfície 12, o terceiro laser emissor de superfície 13 e o quarto laser emissor de superfície 14 fornecem luz emitida com comprimentos de onda mutuamente diferentes. Ou seja, um comprimento de onda  $\lambda_1$  emitido a partir do primeiro laser emissor de superfície 11, um comprimento de onda  $\lambda_2$  emitido a partir do segundo laser emissor de superfície 12, um comprimento de onda  $\lambda_3$  emitido a partir do terceiro laser emissor de superfície 13 e um comprimento de onda  $\lambda_4$  emitido a partir do quarto laser emissor de superfície 14 são comprimentos de onda mutuamente diferentes.

[0042] Adicionalmente, o elemento de laser emissor de superfície, na presente concretização, é para obter um laser emissor de superfície com um comprimento de onda de oscilação de 894,6 nm, em que quatro lasers emissores de superfície são formados sobre um chip semicondutor (substrato) de 300  $\mu\text{m}$  quadrados. Uma vez que pode ser possível formar múltiplos lasers emissores de superfície em

uma área estreita em um elemento de laser emissor de superfície, há pouca alteração na posição do ponto de emissão de luz, mesmo quando um laser emissor de superfície para conduzir a emissão de luz é ligado. Portanto, um tamanho de substrato é um tamanho de 500  $\mu\text{m}$  x 500  $\mu\text{m}$  ou menos, no qual ajuste do eixo óptico, etc., pode ser desnecessário ou extremamente facilitado.

[0043] Para o elemento de laser emissor de superfície na presente concretização, materiais semicondutores com diferentes índices de refração são alternadamente laminados sobre e formados sobre um substrato 101 feito de um semicondutor, etc., para formar um refletor de Bragg inferior 102, e uma camada espaçadora inferior 103, uma camada ativa 104 e uma camada espaçadora superior 105 são formadas sobre o refletor de Bragg inferior 102. Um primeiro refletor de Bragg superior 106, uma camada de contato 110, uma área de ajuste de comprimento de onda 120 e um segundo refletor de Bragg superior 107 são formados sobre a camada espaçadora superior 105. Além disso, um eletrodo superior 111 é formado sobre e conectado à camada de contato 110 e um eletrodo inferior 112 é formado sobre uma face posterior do substrato 101. Embora a camada de ajuste de comprimento de onda 130 seja constituída pela camada de contato 110 e a

área de ajuste de comprimento de onda 120 na presente concretização, a camada de ajuste de comprimento de onda 130 pode ser constituída apenas por uma área de ajuste de comprimento de onda 120 em um caso onde a camada de contato 110 não é formada adjacente à área de ajuste de comprimento de onda 120. Adicionalmente, o refletor de Bragg inferior 102, camada espaçadora inferior 103, camada ativa 104, camada espaçadora superior 105, primeiro refletor de Bragg superior 106, camada de contato 110 e área de ajuste de comprimento de onda 120, as quais são camadas semicondutoras formadas sobre o substrato 101, são formados por materiais semicondutores de crescimento epitaxial. Especificamente, tais camadas semicondutoras são formadas por crescimento epitaxial em Depósito de Vapor Químico sobre Metal Orgânico (*Metal Organic Chemical Vapor Deposition* - MOCVD) ou Epitaxia por Feixes Moleculares (*Molecular Beam Epitaxy* - MBE). Além disso, um refletor de Bragg conforme descrito no relatório descritivo para o presente pedido de patente pode ser descrito como um refletor de Bragg distribuído (*Distributed Bragg Reflector* - DBR).

[0044] Além disso, o segundo refletor de Bragg superior 107 é formado sobre a camada de ajuste de comprimento de onda 130 para cada laser emissor de

superfície. O segundo refletor de Bragg superior 107 é um filme dielétrico feito de um óxido, nitreto, fluoreto, etc., e formado ao laminar e moldar alternadamente (um) filme(s) de material de elevado índice de refração e (um) filme(s) de material de baixo índice de refração. Além disso, um refletor de Bragg superior é constituído pelo primeiro refletor de Bragg superior 106, a camada de ajuste de comprimento de onda 130 e o segundo refletor de Bragg superior 107 na presente concretização. Além disso, a camada de ajuste de comprimento de onda 130 pode ser formada dentro do refletor de Bragg inferior 102.

[0045] No elemento de laser emissor de superfície na presente concretização, as espessuras das áreas de ajuste de comprimento de onda 120 nas camadas de ajuste de comprimento de onda 130 no primeiro laser emissor de superfície 11, segundo laser emissor de superfície 12, terceiro laser emissor de superfície 13 e quarto laser emissor de superfície 14 são diferentes umas das outras. Especificamente, conforme ilustrado na Figura 3, a área de ajuste de comprimento de onda 120 é formada sobre a camada de contato 110, em que a área de ajuste de comprimento de onda 120 é constituída por uma primeira camada de ajuste 121, uma segunda camada de ajuste 122 e uma terceira camada de ajuste 123. Na presente concretização, a primeira camada

de ajuste 121 e a terceira camada de ajuste 123 são feitas de GaInP, enquanto que a segunda camada de ajuste 122 é feita de GaAsP. Adicionalmente, materiais para fazer a primeira camada de ajuste 121, segunda camada de ajuste 122 e terceira camada de ajuste 123 podem ser opostos a isso.

[0046] Assim, as espessuras das áreas de ajuste de comprimento de onda 120 no primeiro laser emissor de superfície 11, segundo laser emissor de superfície 12, terceiro laser emissor de superfície 13 e quarto laser emissor de superfície 14 são diferentes no elemento de laser emissor de superfície na presente concretização.

[0047] Especificamente, a primeira camada de ajuste 121, a segunda camada de ajuste 122 e a terceira camada de ajuste 123 são formadas sobre a área de ajuste de comprimento de onda 120 no primeiro laser emissor de superfície 11, em que luz com um comprimento de onda  $\lambda_1$  é emitida, a qual corresponde a uma espessura da camada de ajuste de comprimento de onda 130 que é uma soma de tal área de ajuste de comprimento de onda 120 e da camada de contato 110.

[0048] Além disso, a primeira camada de ajuste 121 e a segunda camada de ajuste 122 são formadas na área de ajuste de comprimento de onda 120 no segundo laser emissor de superfície 12, em que luz com um comprimento de onda  $\lambda_2$

é emitida, a qual corresponde a uma espessura da camada de ajuste de comprimento de onda 130, que é uma soma de tal área de ajuste de comprimento de onda 120 e da camada de contato 110.

[0049] Além disso, a primeira camada de ajuste 121 é formada na área de ajuste de comprimento de onda 120 no terceiro laser emissor de superfície 13, em que luz com um comprimento de onda  $\lambda_3$  é emitida, a qual corresponde a uma espessura da camada de ajuste de comprimento de onda 130 que é uma soma de tal área de ajuste de comprimento de onda 120 e da camada de contato 110.

[0050] Além disso, a área de ajuste de comprimento de onda 120 não é formada no quarto laser emissor de superfície 14 e, conseqüentemente, luz com um comprimento de onda  $\lambda_4$  é emitida, a qual corresponde a uma espessura da camada de ajuste de comprimento de onda 130 que é igual à espessura da camada de contato 110.

[0051] Assim, pode ser possível alterar a espessura das camadas de ajuste de comprimento de onda 130 no primeiro laser emissor de superfície 11, segundo laser emissor de superfície 12, terceiro laser emissor de superfície 13 e quarto laser emissor de superfície 14 pouco a pouco, e pode ser possível emitir luz com cada comprimento de onda que corresponde a uma espessura de pelo



menos uma ou cada uma das camadas de ajuste de comprimento de onda 130.

(Método para fabricação de um elemento de laser emissor de superfície)

[0052] Na presente concretização, um substrato de n-GaAs é usado para o substrato 101. Além disso, o refletor de Bragg inferior 102 é formado ao laminar 35,5 pares de uma camada de n-Al<sub>0,1</sub>Ga<sub>0,9</sub>As de elevado índice de refração e uma camada de n-Al<sub>0,9</sub>Ga<sub>0,1</sub>As de baixo índice de refração, de maneira tal que a espessura óptica do filme de cada camada seja de  $\lambda/4$ .

[0053] A camada ativa 104 constituída por uma camada de cavidade *quantum* de GaInAs/camada de barreira de GaInPAs é formada sobre o refletor de Bragg inferior 102 através da camada espaçadora inferior 103 feita de Al<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,8</sub>As. A camada espaçadora superior 105 feita de Al<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,8</sub>As e o primeiro refletor de Bragg superior 106 são formados sobre a camada ativa 104. Adicionalmente uma área de ressonador dotada de uma espessura óptica de um comprimento de onda é constituída pela camada espaçadora inferior 103, a camada ativa 104 e a camada espaçadora superior 105.

[0054] O primeiro refletor de Bragg superior 106 é formado ao laminar 6 pares de uma camada de n-Al<sub>0,1</sub>Ga<sub>0,9</sub>As de

elevado índice de refração e camada de  $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$  de baixo índice de refração, de maneira tal que a espessura óptica de filme de cada camada seja  $\lambda/4$ . Uma das camadas de baixo índice de refração do primeiro refletor de Bragg superior 106 é constituída por uma camada de estreitamento de corrente elétrica 108 feita de AlAs, em que uma porção periférica da camada de estreitamento de corrente elétrica 108 é seletivamente oxidada para formar uma área de oxidação seletiva 108a e uma área de estreitamento de corrente elétrica 108b não oxidada é formada sobre uma porção central da mesma.

[0055] A camada de contato 110 feita de p-GaAs e a área de ajuste de comprimento de onda 120 constituída pela primeira camada de ajuste 121, segunda camada de ajuste 122 e terceira camada de ajuste 123 são formadas sobre o primeiro refletor de Bragg superior 106. Além disso, uma parte das camadas na área de ajuste de comprimento de onda 120 é removida para corresponder a um comprimento de onda emitido a partir de cada laser emissor de superfície, conforme descrito acima.

[0056] Cada laser emissor de superfície de um elemento de laser emissor de superfície na presente concretização tem uma mesa estrutura, em que uma tal mesa estrutura é formada ao remover uma camada semicondutora

entre os lasers emissores de superfície a serem formados em virtude de decapagem. Após uma mesa estrutura ser formada, tratamento térmico em vapor de água é realizado para oxidar a camada de estreitamento de corrente elétrica 108 a partir de uma periferia da mesa estrutura, pelo que a área de oxidação seletiva 108a (uma área oxidada) sobre uma porção periférica e a área de estreitamento de corrente elétrica não oxidada 108b sobre uma porção central são formadas. Isto é, a camada de estreitamento de corrente elétrica 108 é constituída pela área de oxidação seletiva oxidada 108a e a área de estreitamento de corrente elétrica não oxidada 108b para proporcionar uma estrutura de estreitamento de corrente elétrica. Adicionalmente, o formato, visto a partir de cima da mesa estrutura, pode ser formado para ter um formato circular ou pode ser formado para ter um formato tal como um formato elíptico, um formato quadrado ou um formato retangular.

[0057] Além disso, o segundo refletor de Bragg superior 107 é formado sobre a camada de ajuste de comprimento de onda 130, em que remoção que corresponde a cada laser emissor de superfície é realizada por meio de decapagem. O segundo refletor de Bragg superior 107 é formado ao laminar 8,5 pares de uma camada de  $\text{TiO}_2$  de elevado índice de refração e uma camada de  $\text{SiO}_2$  de baixo

índice de refração, de maneira tal que a espessura de filme óptico de cada camada seja  $\lambda/4$ . Além disso, pode ser necessário que apenas o segundo refletor de Bragg superior 107 seja feito de (um) material(is) dielétrico(s) e formado ao laminar um material de elevado índice de refração e um material de baixo índice de refração, em que pode ser possível fornecer um material, tal como um óxido, um nitreto ou um fluoreto, especificamente. Para um material de elevado índice de refração, pode ser possível fornecer  $Ta_2O_5$ ,  $HfO_2$ , etc., bem como  $TiO_2$ . Além disso, para um material de baixo índice de refração, pode ser possível fornecer  $MgF_2$ , etc., bem como  $SiO_2$ . Para um método para formação de uma camada de  $TiO_2$  de elevado índice de refração e uma camada de  $SiO_2$  de baixo índice de refração no segundo refletor de Bragg superior 107, a formação é realizada por meio de pulverização catódica ou deposição a vácuo, etc. Além disso, um filme protetor 140 feito de  $SiN$  é formado em geral e um filme de resina 141 feito de um material de resina, tal como uma poli-imida, é formado entre mesas dos respectivos lasers emissores de superfície.

[0058] Depois disso, um eletrodo superior 111 é formado, o qual é um eletrodo do p-lado. Tal eletrodo superior 111 é formado para corresponder a cada laser emissor de superfície, em que cada eletrodo superior 111

está conectado a cada um dos blocos de eletrodo 21 - 24. Além disso, um eletrodo inferior 112, o qual é um eletrodo do n-lado, é formado sobre uma face posterior do substrato 101.

[0059] Em seguida, um método para formação da camada de ajuste de comprimento de onda 130 no elemento de laser emissor de superfície na presente concretização será descrito em detalhes.

[0060] Primeiro, o refletor de Bragg inferior 102, camada espaçadora inferior 103, camada ativa 104, camada espaçadora superior 105, primeiro refletor de Bragg superior 106, camada de contato 110 e uma área de ajuste de comprimento de onda 120, as quais são feitas de materiais semicondutores, são formadas sobre o substrato 101 por meio de crescimento epitaxial em MOCVD ou MBE. Adicionalmente, a camada de ajuste de comprimento de onda 130 é constituída pela camada de contato 110 e uma área de ajuste de comprimento de onda 120, em que a área de ajuste de comprimento de onda 120 é formada ao laminar a primeira camada de ajuste 121, a segunda camada de ajuste 122 e a terceira camada de ajuste 123. Aqui, conforme mencionado acima, a primeira camada de ajuste 121 e a terceiro camada de ajuste 123 são feitas de GaInP, enquanto que a segunda camada de ajuste 122 é feita de GaAsP.

[0061] Então, um padrão de resistor é formado sobre uma área na qual o primeiro laser emissor de superfície 11 é formado. Especificamente, um padrão de resistor é formado mediante aplicação de um fotoresistor sobre a terceira camada de ajuste 123 na área de ajuste de comprimento de onda 120 e realização de exposição à luz e revelação do mesmo por um dispositivo de exposição à luz.

[0062] Então, a terceira camada de ajuste 123 sobre uma área na qual nenhum padrão de resistor foi formado é removida por meio de decapagem a úmido. Especificamente, decapagem a úmido é realizada por um fluido misto de ácido clorídrico e água, uma vez que a terceira camada de ajuste 123 é feita de GaInP. Deste modo, apenas a terceira camada de ajuste 123 em uma área sobre a qual nenhum padrão de resistor tenha sido formado é removida para expor uma superfície da segunda camada de ajuste 122. Além disso, pode ser possível que tal fluido misto seja usado para realizar a decapagem do GaInP que constitui a terceira camada de ajuste 123, mas dificilmente pode ser possível realizar decapagem do GaAsP que constitui a segunda camada de ajuste 122. Tal fluido misto pode também ser descrito como um primeiro fluido de decapagem. Depois disso, o padrão de resistor é removido por um solvente orgânico, etc.

[0063] Então, um padrão de resistor é formado sobre uma área na qual o primeiro laser emissor de superfície 11 e o segundo laser emissor de superfície 12 são formados. Especificamente, um padrão de resistor é formado mediante aplicação de um fotoresistor sobre a terceira camada de ajuste 123 e a segunda camada de ajuste 122 sobre a área de ajuste de comprimento de onda 120 e realizando exposição à luz e revelação do mesmo por um dispositivo de exposição à luz.

[0064] Então, a segunda camada de ajuste 122 sobre uma área na qual nenhum padrão de resistor foi formado é removida por meio de decapagem a úmido. Especificamente, decapagem a úmido é realizada por um fluido misto de ácido sulfúrico, peróxido de hidrogênio e água, uma vez que a segunda camada de ajuste 122 é feita de GaAsP. Deste modo, apenas a segunda camada de ajuste 122 em uma área na qual nenhum padrão de resistor tenha sido formado é removida para expor uma superfície da primeira camada de ajuste 121. Além disso, pode ser possível que tal fluido misto seja usado para decapagem do GaAsP que constitui a segunda camada de ajuste 122, mas dificilmente pode ser possível realizar decapagem do GaInP que constitui a primeira camada de ajuste 121. Tal fluido misto pode ser descrito como um

segundo fluido de decapagem. Depois disso, o padrão de resistor é removido por um solvente orgânico, etc.

[0065] Então, um padrão de resistor é formado sobre uma área na qual o primeiro laser emissor de superfície 11, o segundo laser emissor de superfície 12 e o terceiro laser emissor de superfície 13 são formados. Especificamente, um padrão de resistor é formado mediante aplicação de um fotoresistor sobre a primeira camada de ajuste 121, a segunda camada de ajuste 122 e a terceira camada de ajuste 123 na área de ajuste de comprimento de onda 120 e realizando exposição à luz e revelação do mesmo por um dispositivo de exposição à luz.

[0066] Em seguida, a primeira camada de ajuste 121 em uma área sobre a qual nenhum padrão de resistor foi formado é removida por meio de decapagem a úmido. Especificamente, a primeira camada de ajuste 121 em uma área sobre a qual nenhum padrão de resistor tenha sido formado é removida pelo primeiro fluido de decapagem. Deste modo, apenas a primeira camada de ajuste 121 em uma área sobre a qual nenhum padrão de resistor tenha sido formado é removida para expor uma superfície da camada de contato 110. Depois disso, o padrão de resistor é removido por um solvente orgânico, etc.



[0067] Então, o segundo refletor de Bragg superior 107 é formado. Especificamente, a formação é realizada ao laminar alternadamente um filme dielétrico feito de um material de elevado índice de refração e um filme dielétrico feito de um material de baixo índice de refração, os quais são compostos de um óxido, um nitreto, um fluoreto, etc., com cada um tendo uma espessura de filme predeterminada em virtude de pulverização catódica, etc. Além disso, também pode ser possível formar o segundo refletor de Bragg superior 107 por meio de laminação e moldagem de materiais semicondutores tendo índices de refração diferentes.

[0068] Desse modo, pode ser possível formar a camada de ajuste de comprimento de onda 130 e segundo refletor de Bragg superior 107 no elemento de laser emissor de superfície na presente concretização.

[0069] Na presente concretização, Al não está incluído em qualquer uma da primeira camada de ajuste 121, segunda camada de ajuste 122 e terceira camada de ajuste 123 que constituem a área de ajuste de comprimento de onda 120 na camada de ajuste de comprimento de onda 130 e, portanto, oxidação, etc. dificilmente ocorrem após decapagem, pelo que pode ser possível manter uma condição de superfície limpa após decapagem. Ou seja, pode ser

extremamente fácil que o Al sofra corrosão e, portanto, quando uma da primeira camada de ajuste 121, segunda camada de ajuste 122 e terceira camada de ajuste 123 é formada por um material que inclui Al, o estado da superfície após realização de decapagem a úmido, etc. pode ser pobre em que, mesmo embora o segundo refletor de Bragg superior 107 seja formado sobre a mesma, delaminação da mesma pode ocorrer ou uma espessura sua pode ser não homogênea. No entanto, a área de ajuste de comprimento de onda 120 no elemento de laser emissor de superfície na presente concretização é formada por um material que não inclui Al e, portanto, corrosão de Al, etc. não ocorre e tal problema não pode ocorrer.

[0070] Além disso, a área de ajuste de comprimento de onda 120 na camada de ajuste de comprimento de onda 130 na presente concretização é feita de GaAsP e GaInP alternados e, quando decapagem a úmido é conduzida usando dois tipos de fluidos de decapagem, pode ser mutuamente possível realizar uma decapagem dos mesmos e pode não ser possível realizar decapagem de outra. A decapagem é realizada usando dois tipos de tais fluidos de decapagem, pelo que a superfície após decapagem pode ser plana e pode ser possível realizar a moldagem com uma espessura predeterminada sem decapagem excessiva. Deste modo, pode

ser possível obter um elemento de laser emissor de superfície com uma característica estável.

[0071] Adicionalmente, embora um caso de uma combinação de GaAsP e GaInP tenha sido descrito na(s) descrição(ões) para a presente concretização, pode ser fornecida uma combinação com outro material que não inclui Al, para o qual é ainda fornecido um fluido de decapagem diferente e é um material semiconductor com uma energia de amplitude de banda maior do que um comprimento de onda de oscilação. Para 894,6 nm, o qual é um comprimento de onda de oscilação na presente concretização é fornecido, por exemplo, GaInAsP/GaInP, GaAs/GaInP, GaAs /GaInAsP, GaAsP/GaInAsP, etc., como uma combinação de tais materiais semicondutores. Além disso, N ou Sb pode ser adicionado aos mesmos, tal como GaAsN/GaInP, GaInNAs/GaInP, GaAsSb/GaInP, etc.

[0072] Conforme descrito acima, pode ser possível formar múltiplos lasers emissores de superfície para emitir luz com comprimentos de onda diferentes sobre um substrato 101 no elemento de laser emissor de superfície na presente concretização. Desse modo, mesmo que uma variação na espessura de filme de uma camada semicondutora, etc. ocorra na fabricação de um elemento de laser emissor de superfície, uma emissão de luz com um comprimento de onda

mais próximo de um comprimento de onda desejado é selecionada dentre o primeiro laser 11 ao quarto laser emissor de superfície 14, pelo que pode ser possível obter um laser semiconductor com um comprimento de onda desejado com facilidade. Deste modo, pode ser possível fabricar um elemento de laser emissor de superfície tendo um laser emissor de superfície que emite luz com um comprimento de onda predeterminado em um baixo custo.

[0073] Adicionalmente, quando a camada de contato 110 é formada sobre a área de ajuste de comprimento de onda 120, uma quantidade de corrente elétrica capaz de fluir em cada laser emissor de superfície, etc. é variada de acordo com a espessura da área de ajuste de comprimento de onda 120 e uma característica elétrica e característica de emissão de luz de cada laser emissor de superfície também podem ser grandemente diferentes. Além disso, quando a corrente elétrica flui na área de ajuste de comprimento de onda 120, uma resistência elétrica pode ser aumentada por uma descontinuidade de banda em uma interface de cada camada. Contudo, a camada de contato 110 é formada sob a área de ajuste de comprimento de onda 120 no elemento de laser emissor de superfície na presente concretização, pelo que a corrente elétrica injetada no laser emissor de superfície não pode passar através da área de ajuste de

comprimento de onda 120 e a resistência, etc. não pode ser alterada dependendo da espessura da área de ajuste de comprimento de onda 120.

[0074] Em seguida, uma vantagem do primeiro refletor de Bragg superior 106 formado entre a camada de ajuste de comprimento de onda 130 e uma área de ressonador será descrita. Por exemplo, quando uma camada de ajuste de comprimento de onda é formada em uma área de ressonador tendo um comprimento óptico de um comprimento de onda e quando quatro comprimentos de onda são fornecidos com um comprimento de onda central de 895 nm e um intervalo de comprimento de 1 nm, a camada que constitui a camada de ajuste de comprimento de onda é fornecida com 1,3 nm, em que pode ser extremamente difícil realizar moldagem uniforme sobre uma superfície de pastilha com uma técnica de crescimento de cristal atual. Assim, o primeiro refletor de Bragg superior 106, o qual é uma parte do refletor de Bragg superior, é formado entre a área do ressonador e a camada de ajuste de comprimento de onda 130 na presente concretização. Especificamente, o primeiro refletor de Bragg superior 106 é formado ao laminar 6 pares de uma camada de  $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$  de elevado índice de refração e uma camada de  $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$  de baixo índice de refração de maneira tal que a espessura óptica de filme de cada camada

seja  $\lambda/4$ . Além disso, a camada de contato 110 é formada sobre o primeiro refletor de Bragg superior 106 e a área de ajuste de comprimento de onda 120 é formada sobre a camada de contato 110. A primeira camada de ajuste 121, segunda camada de ajuste 122 e terceira camada de ajuste 123 que constituem a área de ajuste de comprimento de onda 120 são formadas de maneira tal que a espessura dos filmes de GaInP/GaAsP/GaInP são de 16 nm/ 16 nm/16 nm, respectivamente, em que pode ser possível realizar fabricação suficientemente uniforme com uma técnica de crescimento de cristal atual. Assim, pode ser possível reduzir desvios do intervalo de comprimento de onda entre os lasers emissores de superfície.

[0075] Além disso, também pode ser possível reduzir a resistência elétrica simultaneamente ao formar tal estrutura. Isto é, o segundo refletor de Bragg superior 107, o qual é um dielétrico, é formado por cima da camada de ajuste de comprimento de onda 130 e o eletrodo superior 111 é formado em uma adjacência da mesma em que, quando uma camada de ajuste de comprimento de onda é fornecida em uma área de ressonador, pode ser necessário fornecer uma camada de AlAs que é seletivamente oxidada em uma posição próxima de uma camada de contato em vista da estrutura de camadas e o canal de corrente elétrica pode ser estreitado para

aumentar a resistência elétrica. Aqui, o primeiro refletor de Bragg superior 106 é formado entre a camada de ajuste de comprimento de onda 130 (em que a camada de contato 110 é formada sob a área de ajuste de comprimento de onda 120) e a área do ressonador na presente concretização, pelo qual pode ser possível estender o canal de corrente elétrica e pode ser possível reduzir a resistência elétrica.

[0076] Adicionalmente, pode ser possível aumentar ainda mais a uma espessura de filme de cada camada na área de ajuste de comprimento de onda 120 na camada de ajuste de comprimento de onda 130 quando o segundo refletor de Bragg superior 107 tem sete ou mais pares, pelo que fabricação uniforme pode ser facilitada e a resistência elétrica também pode ser reduzida. No entanto, se o número de pares no segundo refletor de Bragg superior 107 é aumentado, a espessura óptica da camada de ajuste de comprimento de onda 130 pode ser maior do que  $\lambda/4$  e a refletância global do refletor superior pode ser degradada. Assim, um número ideal de um par(es) pode estar presente para o segundo superior refletor de Bragg 107, de modo que pode ser possível que a espessura óptica da camada de ajuste de comprimento de onda 130 esteja próxima de  $\lambda/4$ .

[0077] Em seguida, a espessura camada de ajuste de comprimento de onda 130 será descrita. Quando a espessura

óptica  $P$  da camada de ajuste de comprimento de onda 130 é  $\lambda/4 \leq P < \lambda/2$ , conforme ilustrado na Figura 4A, pode ser possível que as refletâncias dos refletores de Bragg superiores no primeiro laser emissor de superfície 11, segundo laser emissor de superfície 12, terceiro laser emissor de superfície 13 e quarto laser emissor de superfície 14 sejam globalmente constantes, conforme ilustrado na Figura 4B. Além disso, L1 é uma superfície da camada de ajuste de comprimento de onda 130 no primeiro laser emissor de superfície 11 e L2 é uma superfície da camada de ajuste de comprimento de onda 130 no segundo laser emissor de superfície 12, enquanto que L3 é uma superfície da camada de ajuste de comprimento de onda 130 no terceiro laser emissor de superfície 13 e L4 indica uma superfície da camada de ajuste de comprimento de onda 130 no quarto laser emissor de superfície 14.

[0078] Por outro lado, quando a espessura óptica  $P$  da camada de ajuste de comprimento de onda 130 é  $\lambda/2 < P$ , conforme ilustrado na Figura 5A, as refletâncias dos refletores de Bragg superiores no primeiro laser emissor de superfície 11, segundo laser emissor de superfície 12, terceiro laser emissor de superfície 13 e quarto laser emissor de superfície 14 podem ser muito diferentes umas das outras, conforme ilustrado na Figura 5B.



[0079] Além disso, quando a espessura óptica  $P$  da camada de ajuste de comprimento de onda 130 é  $P < \lambda/4$ , conforme ilustrado na Figura 6A, as refletâncias dos refletores de Bragg superiores no primeiro laser emissor de superfície 11, segundo laser emissor de superfície 12, terceiro laser emissor de superfície 13 e quarto laser emissor de superfície 14 podem ser muito diferentes umas das outras, conforme ilustrado na Figura 6B.

[0080] Conforme descrito acima, é preferível que a espessura óptica  $P$  da camada de ajuste de comprimento de onda 130 seja de  $\lambda/4 \leq P < \lambda/2$  e, se uma tal assunto é generalizado, é preferível que seja de  $(2N-1)\lambda/4 \leq P < N\lambda/2$ . Além disso,  $N$  representa um número inteiro positivo e, se aplicação de uma influência de absorção de luz ao provocar um efeito adverso, tal como um aumento de limiar de uma corrente elétrica, é levada em consideração, é preferível que  $N$  seja baixo.

[0081] Além disso, quando a espessura da área de ajuste de comprimento de onda 120 é pequena e a soma das espessuras ópticas da área de ajuste de comprimento de onda 120 e da camada de contato 110 é inferior a  $\lambda/4$ , uma área de ajuste de fase 131 pode ser fornecida para a camada de ajuste de comprimento de onda 130, conforme ilustrado na

Figura 7A. Deste modo, pode ser possível que a espessura óptica  $P$  da camada de ajuste de comprimento de onda 130 seja de  $\lambda/4 \leq P < \lambda/2$  e, em geral,  $(2N-1)\lambda/4 \leq P < 2N\lambda/4$  e, conforme ilustrado na Figura 7B, pode ser possível que as refletâncias dos refletores de Bragg superiores no primeiro laser emissor de superfície 11, segundo laser emissor de superfície 12, terceiro laser emissor de superfície 13 e quarto laser emissor de superfície 14 sejam geralmente constantes. Adicionalmente, em tal caso, a camada de ajuste de comprimento de onda 130 é constituída pela camada de contato 110, a área de ajuste de comprimento de onda 120 e a área de ajuste de fase 131. Além disso, a área de ajuste de fase 131 é feita de AlGaAs, em que a área de ajuste de fase 131 pode ser formada sob a camada de contato 110, conforme ilustrado na Figura 7A ou a área de ajuste de fase 131 pode ser formada entre a camada de contato 110 e uma área de ajuste de comprimento de onda 120, conforme ilustrado na Figura 8. Além disso, uma área de ajuste de fase 131a pode ser constituída por um filme laminado no qual GaAsP e GaInP são alternadamente laminados, conforme ilustrado na Figura 9.

[0082] Além disso, o elemento de laser emissor de superfície na presente concretização tem uma estrutura na qual múltiplos filmes são formados na área de ajuste de

comprimento de onda 120, em que é preferível formar a camada de ajuste de comprimento de onda 130 de maneira tal que, quando o número de camadas de (um) filme(s) formado(s) (camada(s) de ajuste) é  $M$  (em que  $M$  é um número inteiro positivo), uma posição na qual a espessura de filme óptico das mesmas é  $\lambda/4$  é um  $(M+1)/2$ -ésimo filme (camada de ajuste) a partir de uma parte superior da mesma em um caso onde  $M$  é um número ímpar ou um  $(M/2)$ -ésimo ou  $((M/2)+1)$ -ésimo filme (camada de ajuste) a partir de uma parte superior da mesma em um caso onde  $M$  é um número par.

#### **[Segunda Concretização]**

[0083] Em seguida, um elemento de laser emissor de superfície em uma segunda concretização será descrito. Além disso, o elemento de laser emissor de superfície na presente concretização é um laser emissor de superfície para um comprimento de onda de 894,6 nm e uma estrutura na qual uma área de ajuste de comprimento de onda é fornecida sobre um refletor de Bragg inferior. Conforme ilustrado na Figura 10 e Figura 11, um elemento de laser emissor de superfície 150 na presente concretização tem múltiplos lasers emissores de superfície e, especificamente, tem um primeiro laser emissor de superfície 151, um segundo laser emissor de superfície 152, um terceiro laser emissor de superfície 153 e um quarto laser emissor de superfície 154.

Além disso, a Figura 10 foi simplificada para fins de uma explicação da presente concretização, em que representação de uma camada de contato, etc., foi convenientemente omitida. Além disso, a Figura 11 é um diagrama em seção transversal fornecido ao cortar ao longo de uma linha pontilhada/tracejada 10A-10B na Figura 10.

[0084] O elemento de laser emissor de superfície 150 na presente concretização é formado sobre um chip semicondutor de 300  $\mu\text{m}$  quadrados, em que cada um dentre o primeiro laser emissor de superfície 151, segundo laser emissor de superfície 152, terceiro laser emissor de superfície 153 e quarto laser emissor de superfície 154 formados em tal chip semicondutor está conectado a um bloco de eletrodos fornecido para corresponder aos mesmos. Especificamente, um bloco de eletrodos 161 está conectado ao primeiro laser emissor de superfície 151 e um bloco de eletrodos 162 está conectado ao segundo laser emissor de superfície 152, enquanto que um bloco de eletrodos 163 está conectado ao terceiro laser emissor de superfície 153 e um bloco de eletrodos 164 está conectado ao quarto laser emissor de superfície 154.

[0085] Adicionalmente, o primeiro laser emissor de superfície 151, segundo laser emissor de superfície 152, o terceiro laser emissor de superfície 153 e o quarto laser

emissor de superfície 154 fornecem luz emitida com comprimentos de onda mutuamente diferentes. Ou seja, um comprimento de onda  $\lambda_1$  emitido a partir do primeiro laser emissor de superfície 151, um comprimento de onda  $\lambda_2$  emitido a partir do segundo laser emissor de superfície 152, um comprimento de onda  $\lambda_3$  emitido a partir do terceiro laser emissor de superfície 153 e um comprimento de onda  $\lambda_4$  emitido a partir do quarto laser emissor de superfície de 154 são comprimentos de onda mutuamente diferentes.

[0086] Além disso, o elemento de laser emissor de superfície na presente concretização é para obter um laser emissor de superfície com um comprimento de onda de oscilação de 894,6 nm, em que quatro lasers emissores de superfície são formados sobre um chip semicondutor de 300  $\mu\text{m}$  quadrados (substrato). Uma vez que pode ser possível formar múltiplos lasers emissores de superfície em uma área estreita em um elemento de laser emissor de superfície, há pequena variação na posição de um ponto de emissão de luz, mesmo quando um laser emissor de superfície para conduzir emissão de luz é ligado.

[0087] Para o elemento de laser emissor de superfície na presente concretização, materiais semicondutores com índices de refração diferentes são

alternadamente laminados sobre e moldados sobre um substrato 101 feito de um semicondutor, etc., para formar um primeiro refletor de Bragg inferior 172 e uma camada de ajuste de fase 173, uma área de ajuste de comprimento de onda 180, um segundo refletor de Bragg inferior 174, uma camada espaçadora inferior 103, uma camada ativa 104 e uma camada espaçadora superior 105 são formados sobre o primeiro refletor de Bragg inferior 172. Um refletor de Bragg superior 176 e uma camada de contato 177 são formados sobre a camada espaçadora superior 105. Além disso, um eletrodo superior 178 é formado sobre e conectado à camada de contato 177 e um eletrodo inferior 112 é formado sobre uma face posterior do substrato 101. Além disso, uma camada de ajuste de comprimento de onda 190 é constituída pela área de ajuste de comprimento de onda 180 e a camada de ajuste de fase 173 na presente concretização, enquanto que um refletor de Bragg inferior 170 é constituído pelo primeiro refletor de Bragg inferior 172, a área de ajuste de fase 173, uma área de ajuste de comprimento de onda 180 e o segundo refletor de Bragg inferior 174.

[0088] Adicionalmente, o primeiro refletor de Bragg inferior 172, a área de ajuste de fase 173, uma área de ajuste de comprimento de onda 180, segundo refletor de Bragg inferior 174, camada espaçadora inferior 103, camada

ativa 104, camada espaçadora superior 105, refletor de Bragg superior 176 e camada de contato 177, as quais são camadas semicondutoras formadas sobre o substrato 101, são formadas por materiais semicondutores de crescimento epitaxial. Especificamente, tais camadas semicondutoras são formadas por crescimento epitaxial em MOCVD ou MBE.

[0089] No elemento de laser emissor de superfície na presente concretização, as espessuras das respectivas áreas de ajuste de comprimento de onda 180 no primeiro laser emissor de superfície 151, segundo laser emissor de superfície 152, terceiro laser emissor de superfície 153 e quarto laser emissor de superfície 154 são diferentes umas das outras. Especificamente, a área de ajuste de comprimento de onda 180 é constituída por uma primeira camada de ajuste 181, uma segunda camada de ajuste 182 e uma terceira camada de ajuste 183. Na presente concretização, a primeira camada de ajuste 181 e a terceira camada de ajuste 183 são feitas de GaInP, enquanto que a segunda camada de ajuste 182 é feita de GaAsP. Além disso, materiais para fazer a primeira camada de ajuste 181, segunda camada de ajuste 182 e terceira camada de ajuste 183 podem ser opostos a isso.

[0090] Assim, as espessuras das áreas de ajuste de comprimento de onda 180, isto é, as espessuras das camadas

de ajuste de comprimento de onda 190, no primeiro laser emissor de superfície 151, segundo laser emissor de superfície 152, terceiro laser emissor de superfície 153 e quarto laser emissor de superfície 154 são diferentes no elemento de laser emissor de superfície na presente concretização.

[0091] Especificamente, a primeira camada de ajuste 181, a segunda camada de ajuste 182 e a terceira camada de ajuste 183 são formadas sobre a área de ajuste de comprimento de onda 180 no primeiro laser emissor de superfície 151, em que luz com um comprimento de onda  $\lambda_1$  é emitida, a qual corresponde a uma espessura da camada de ajuste de comprimento de onda 190 que inclui tal área de ajuste de comprimento de onda 180.

[0092] Além disso, a primeira camada de ajuste 181 e a segunda camada de ajuste 182 são formadas na área de ajuste de comprimento de onda 180 no segundo laser emissor de superfície 152, em que luz com um comprimento de onda  $\lambda_2$  é emitida, a qual corresponde a uma espessura da camada de ajuste de comprimento de onda 190 que inclui tal área de ajuste de comprimento de onda 180.

[0093] Além disso, a primeira camada de ajuste 181 é formada na área de ajuste de comprimento de onda 180 no terceiro laser emissor de superfície 153, em que luz com um



comprimento de onda  $\lambda_3$  é emitida, a qual corresponde a uma espessura da camada de ajuste de comprimento de onda 190 que inclui tal área de ajuste de comprimento de onda 180.

[0094] Além disso, a área de ajuste de comprimento de onda 180 não é formada no quarto laser emissor de superfície 154 e, portanto, luz com um comprimento de onda  $\lambda_4$  é emitida, a qual corresponde a uma espessura da camada de ajuste de comprimento de onda 190 em um caso onde a área de ajuste de comprimento de onda 180 não é formada.

[0095] Assim, pode ser possível alterar as espessuras das áreas de ajuste de comprimento de onda 180 no primeiro laser emissor de superfície 151, segundo laser emissor de superfície 152, terceiro laser emissor de superfície 153 e quarto laser emissor de superfície 154 pouco a pouco e pode ser possível emitir luz, com cada comprimento de onda correspondendo a uma espessura de pelo menos uma ou cada uma das áreas de ajuste de comprimento de onda 180.

[0096] Na presente concretização, um substrato de n-GaAs é usado para o substrato 101. Além disso, o refletor de Bragg inferior 170 é formado ao laminar 35,5 pares de uma camada de n-Al<sub>0,1</sub>Ga<sub>0,9</sub>As de material de elevado índice de refração e uma camada de n-Al<sub>0,1</sub>Ga<sub>0,9</sub>As de material de baixo

índice de refração de maneira tal que a espessura óptica de filme de cada camada seja  $\lambda/4$ .

[0097] Conforme descrito acima, o refletor de Bragg inferior 170 é constituído pelo primeiro espelho de reflexão de Bragg inferior 172, a área de ajuste de fase 173, uma área de ajuste de comprimento de onda 180 e segundo refletor de Bragg inferior 174 sobre o substrato 101. Consequentemente, a área de ajuste de fase 17 e a área de ajuste de comprimento de onda 180 são formadas no interior do refletor de Bragg inferior 170. Além disso, na presente concretização, a formação é realizada de maneira tal que a soma da espessura de filme óptico de uma área de ajuste de fase 173 e metade da espessura de filme óptico da área de ajuste de comprimento de onda 180, isto é, a espessura óptica de filme a partir de baixo da área de ajuste de fase 173 até uma porção central da área de ajuste de comprimento de onda 180, seja de  $\lambda/4$ , conforme ilustrado na Figura 12.

[0098] A camada ativa 104 constituída por uma camada de cavidade *quantum* de GaInAs /uma camada de barreira de GaInPAs é formada sobre o refletor de Bragg inferior 170 através da camada espaçadora inferior 103 feita de  $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ . A camada espaçadora superior 105 feita de  $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$  é formada sobre a camada ativa 104. Além

disso, uma área de ressonador dotada de uma espessura óptica de um comprimento de onda é constituída pela camada espaçadora inferior 103, a camada ativa 104 e a camada espaçadora superior 105.

[0099] O refletor de Bragg superior 176 é formado ao laminar 24 pares de uma camada de material de  $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$  de elevado índice de refração e uma camada de material de  $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$  de baixo índice de refração de maneira tal que a espessura óptica de filme de cada camada seja de  $\lambda/4$ . Uma das camadas de baixo índice de refração do refletor de Bragg superior 176 é constituída por uma camada de estreitamento de corrente elétrica 108 feita de  $\text{AlAs}$ , em que uma porção periférica da camada de estreitamento de corrente elétrica 108 é seletivamente oxidada para formar uma área de oxidação seletiva 108a e uma área de estreitamento de corrente elétrica 108b não oxidada é formada em uma porção central da mesma. Além disso, a camada de contato 177 feita de  $p\text{-GaAs}$  é formada sobre o refletor de Bragg superior 176.

[0100] Quando a soma de um valor de uma espessura óptica de filme de uma área de ajuste de fase 173 e um valor de metade de uma espessura óptica de filme de uma área de ajuste de comprimento de onda 180 é cerca de  $\lambda/4$ , conforme ilustrado na Figura 12A, pode ser possível que as

refletâncias dos refletores de Bragg inferiores no primeiro laser emissor de superfície 151, segundo laser emissor de superfície 152, terceiro laser emissor de superfície 153 e quarto laser emissor de superfície 154 sejam geralmente constantes, conforme ilustrado na Figura 12B. Além disso, L1 é uma superfície da camada de ajuste de comprimento de onda 190 no primeiro laser emissor de superfície 151 e L2 é uma superfície da camada de ajuste de comprimento de onda 190 no segundo laser emissor de superfície 152, enquanto que L3 é uma superfície da camada de ajuste de comprimento de onda 190 no terceiro laser emissor de superfície 153 e L4 indica uma superfície da camada de ajuste de comprimento de onda 190 no quarto laser emissor de superfície 154.

[0101] Cada laser emissor de superfície em um elemento de laser emissor de superfície na presente concretização tem uma mesa estrutura, em que tal mesa estrutura é formada ao remover uma camada semicondutora entre os lasers emissores de superfície a serem formados em virtude de decapagem a seco, etc. Após uma mesa estrutura ser formada, tratamento térmico em vapor de água é realizado para oxidar a camada de estreitamento de corrente elétrica 108 a partir de uma periferia da mesa estrutura, pelo que a área de oxidação seletiva 108a (uma área oxidada) sobre uma porção periférica e a área de

estreitamento de corrente elétrica não oxidada 108b sobre uma porção central são formadas. Isto é, a camada de estreitamento de corrente elétrica 108 é constituída pela área de oxidação seletiva oxidada 108a e a área de estreitamento de corrente elétrica não oxidada 108b para proporcionar uma estrutura de estreitamento de corrente elétrica. Especificamente, AlAs que constitui a camada de estreitamento de corrente elétrica 108 é submetido a um tratamento térmico em vapor de água para ser oxidado e formar  $\text{Al}_x\text{O}_y$ , em que o  $\text{Al}_x\text{O}_y$  assim formado constitui a área de oxidação seletiva 108a. Aqui, a área de estreitamento de corrente elétrica 108b é feita de AlAs não oxidado na camada de estreitamento de corrente elétrica 108. Além disso, o formato, visto a partir de uma parte superior da mesa estrutura, pode ser formado para ter um formato circular ou pode ser formado para ter um formato tal como um formato elíptico, um formato quadrado ou um formato retangular.

[0102] Além disso, um filme protetor 140 feito de SiN é formado em geral e um filme de resina 141 é formado entre mesas dos respectivos lasers emissores de superfície ao incorporar um material de resina, tal como uma poliimida. Depois disso, um eletrodo superior 178 é formado, o qual é um eletrodo no p-lado. Tal eletrodo superior 178 é

formado para corresponder a cada laser emissor de superfície, em que cada eletrodo superior 178 está conectado a cada um dos blocos de eletrodos 161-164.

[0103] Especificamente, o filme protetor 140 feito de SiN é formado e a camada de resina 141 é formada ao incorporar e nivelar um material de resina, tal como uma resina de poli-imida, entre mesas dos respectivos lasers emissores de superfície. Depois disso, o filme protetor 140 e a camada de resina 141 na camada de contato 177 são removidos para expor a camada de contato 117 e o eletrodo superior 178 é formado sobre a camada de contato 177. Além disso, um eletrodo inferior 112, o qual é um eletrodo no n-lado, é formado em uma face posterior do substrato 101.

[0104] O elemento de laser emissor de superfície na presente concretização emite luz de laser em um lado oposto de um lado do substrato 101. Adicionalmente, pode ser possível que o filme protetor 140 feito de SiN proteja uma face lateral e uma face inferior de uma camada que inclui Al que aparece pela mesa de capagem e é facilmente corroída em virtude de um dielétrico da mesma na presente concretização e, portanto, pode ser possível melhorar a confiabilidade.

[0105] Em seguida, uma vantagem do segundo refletor de Bragg inferior 174 formado entre a área de ajuste de

comprimento de onda 180 e um ressonador será descrita. Quando uma área de ajuste de comprimento de onda é formada em um ressonador tendo um comprimento óptico de um comprimento de onda e quando quatro comprimentos de onda são fornecidos com um comprimento de onda central de 958 nm e um intervalo de comprimento de onda de 1 nm, uma camada das camadas de ajuste que constituem a camada de ajuste de comprimento de onda é fornecida com cerca de 1 nm, em que pode ser extremamente difícil realizar formação uniforme sobre uma superfície de pastilha com uma técnica de crescimento de cristal atual.

[0106] Consequentemente, o segundo refletor de Bragg inferior 174, o qual é uma parte do refletor de Bragg inferior 170, é formado entre o ressonador e a área de ajuste de comprimento de onda 180 na presente concretização. Especificamente, o segundo refletor de Bragg inferior 174 é formado ao laminar 10 pares de uma camada de  $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$  de elevado índice de refração e uma camada de  $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$  de baixo índice de refração, de maneira tal a espessura de filme óptico de cada camada seja de  $\lambda/4$ . Deste modo, pode ser possível que as espessuras de filme de GaInP/GaAsP/GaInP na primeira camada de ajuste 181, segunda camada de ajuste 182 e terceira camada de ajuste 183 que constituem uma área de ajuste de comprimento de onda 180

sejam de 16 nm/16 nm/16 nm, respectivamente, e pode ser possível realizar a fabricação suficientemente homogênea com a técnica atual de crescimento de cristal, através da qual pode ser possível reduzir o desvio do intervalo de comprimento de onda similar à primeira concretização.

[0107] Além disso, quando o segundo refletor de Bragg inferior 174 é composto de onze ou mais pares, pode ser possível que a espessura de filme de cada camada na área de ajuste de comprimento de onda 180 seja ainda maior e, conseqüentemente, pode ser possível melhorar ainda mais a uniformidade. No entanto, se o número de pares no segundo refletor de Bragg inferior 174 é aumentado, conforme ilustrado na Figura 13A e a Figura 13B, a espessura de filme óptico de uma área de ajuste de comprimento de onda 180 pode ser muito maior do que  $\lambda/4$  (espessura óptica de filme de um refletor de Bragg) e, portanto, a refletância global do refletor de Bragg inferior 170 pode ser degradada, o que não é preferível. Assim, um número ideal de pares pode estar presente para o segundo refletor de Bragg inferior, de modo que uma espessura óptica da área de ajuste de comprimento de onda 180 seja próxima de  $\lambda/A$ .

[0108] Por outro lado, quando a soma de um valor da espessura óptica de filme de uma área de ajuste de fase 173 e um valor de metade da espessura óptica de filme de área



de ajuste de comprimento de onda 180 é  $\lambda/4$  ou maior, conforme ilustrado na Figura 13A, uma refletância do refletor de Bragg inferior em cada um dentre o primeiro laser emissor de superfície 151, segundo laser emissor de superfície 152, terceiro laser emissor de superfície 153 e quarto laser emissor de superfície 154 pode ser grande, conforme ilustrado na Figura 13B. No entanto, na presente concretização, pode ser possível melhorar a uniformidade de refletância de cada refletor de Bragg inferior, conforme ilustrado na Figura 12B.

[0109] Em seguida, um método para formação da área de ajuste de comprimento de onda 180 no elemento laser emissor de superfície na presente concretização será descrito em detalhes.

[0110] Primeiro, o primeiro refletor de Bragg inferior 172, a área de ajuste de fase 173 e a área de ajuste de comprimento de onda 180, as quais são feitas de materiais semicondutores, são formadas sobre o substrato 101 por meio de crescimento epitaxial em MOCVD ou MBE. Conforme descrito acima, a camada de ajuste de comprimento de onda 190 é constituída pela área de fase de ajuste 173 e a área de ajuste de comprimento de onda 180, em que a área de ajuste de comprimento de onda 180 é formada ao laminar a primeira camada de ajuste 181, a segunda camada de ajuste

182 e a terceira camada de ajuste 183. Além disso, a primeira camada de ajuste 181 e a terceira camada de ajuste 183 são feitas de GaInP, enquanto que a segunda camada de ajuste 182 é feita de GaAsP.

[0111] Em seguida, um padrão de resistor é formado sobre uma área na qual o primeiro laser emissor de superfície 151 é formado. Especificamente, um padrão de resistor é formado mediante aplicação de um fotoresistor sobre a terceira camada de ajuste 183 na área de ajuste de comprimento de onda 180 e realizando exposição à luz e revelação do mesmo por um dispositivo de exposição à luz.

[0112] Então, a terceira camada de ajuste 183 sobre uma área na qual nenhum padrão de resistor foi formado é removida por meio de decapagem a úmido. Especificamente, decapagem a úmido é realizada por um fluido misto de ácido clorídrico e água, uma vez que a terceira camada de ajuste 183 é feita de GaInP. Deste modo, apenas a terceira camada de ajuste 183 sobre uma área na qual nenhum padrão de resistor tenha sido formado é removida ao expor uma superfície da segunda camada de ajuste 182. Adicionalmente, pode ser possível que tal fluido misto seja usado para realizar decapagem do GaInP que constitui a terceira camada de ajuste 183, mas dificilmente pode ser possível realizar decapagem de GaAsP que constitui a segunda camada de ajuste

182. Tal fluido misto pode também ser descrito como um primeiro fluido de decapagem. Depois disso, o padrão de resistor é removido por um solvente orgânico, etc.

[0113] Então, um padrão de resistor é formado sobre uma área na qual o primeiro laser emissor de superfície 151 e o segundo laser emissor de superfície 152 são formados. Especificamente, um padrão de resistor é formado mediante aplicação de um fotoresistor à terceira camada de ajuste 183 e segunda camada de ajuste 182 da área de ajuste de comprimento de onda 180 e realizando exposição à luz e revelação do mesmo por um dispositivo de exposição à luz.

[0114] Então, a segunda camada de ajuste 182 em uma área na qual nenhum padrão de resistor foi formado é removida por meio de decapagem a úmido. Especificamente, decapagem a úmido é realizada por um fluido misto de ácido sulfúrico, peróxido de hidrogênio e água, uma vez que a segunda camada de ajuste 182 é feita de GaAsP. Deste modo, apenas a segunda camada de ajuste 182 sobre uma área na qual nenhum padrão de resistor tenha sido formado é removida para expor uma superfície da primeira camada de ajuste 181. Além disso, pode ser possível que tal fluido misto seja usado para realizar decapagem do GaAsP que constitui a segunda camada de ajuste 182, mas dificilmente pode ser possível realizar decapagem do GaInP que constitui

a primeira camada de ajuste 181. Tal fluido misto pode ser descrito como um segundo fluido de decapagem. Depois disso, o padrão de resistor é removido por um solvente orgânico, etc.

[0115] Então, um padrão de resistor é formado sobre uma área na qual o primeiro laser emissor de superfície 151, o segundo laser emissor de superfície 152 e o terceiro laser emissor de superfície 153 são formados. Especificamente, um padrão de resistor é formado mediante aplicação de um fotoresistor na primeira camada de ajuste 181, segunda camada de ajuste 182 e terceira camada de ajuste 183 na área de ajuste de comprimento de onda 180 e realizando exposição à luz e revelação do mesmo por um dispositivo de exposição à luz.

[0116] Em seguida, a primeira camada de ajuste 181 sobre uma área na qual nenhum padrão de resistor tenha sido formado é removida por meio de decapagem a úmido. Especificamente, a primeira camada de ajuste 181 sobre uma área na qual nenhum padrão de resistor tenha sido formado é removida pelo primeiro fluido de decapagem. Deste modo, apenas a primeira camada de ajuste 181 sobre uma área na qual nenhum padrão de resistor tenha sido formado é removida para expor uma superfície da camada de ajuste de

fase 173. Depois disso, o padrão de resistor é removido por um solvente orgânico, etc.

[0117] Então, o segundo refletor de Bragg inferior 174 é formado. Desse modo, pode ser possível formar o refletor de Bragg inferior 170 incluindo a área de ajuste de comprimento de onda 180 no elemento laser emissor de superfície na presente concretização.

[0118] Na presente concretização, Al não está incluído em qualquer uma da primeira camada de ajuste 181, segunda camada de ajuste 182 e terceira camada de ajuste 183 que constituem a área de ajuste de comprimento de onda 180 na camada de ajuste de comprimento de onda 190 e, portanto, oxidação, etc. dificilmente ocorre após decapagem, pelo que pode ser possível manter uma condição de superfície limpa após decapagem. Ou seja, pode ser extremamente fácil que o Al sofra corrosão e, portanto, quando uma da primeira camada de ajuste 181, segunda camada de ajuste 182 e terceira camada de ajuste 183 é formada por um material que inclui Al, uma condição da superfície após realização de decapagem a úmido, etc. pode ser pobre em que, mesmo embora o segundo refletor de Bragg superior 174 seja formado sobre a mesma, delaminação da mesma pode ocorrer ou uma espessura sua pode ser não homogênea. No entanto, a área de ajuste de comprimento de onda 180 no

elemento de laser emissor de superfície na presente concretização é formada por um material que não inclui Al e, portanto, corrosão de Al, etc. não ocorre e tal problema não pode ocorrer.

[0119] Além disso, a área de ajuste de comprimento de onda 180 na camada de ajuste de comprimento de onda 190 na presente concretização é feita de GaAsP e GaInP alternados e, quando decapagem é conduzida usando dois tipos de fluidos de decapagem, pode ser mutuamente possível realizar uma decapagem dos mesmos e pode não ser possível realizar decapagem de outro. A decapagem é realizada usando dois tipos de tais fluidos de decapagem, pelo que a superfície após decapagem pode ser plana e pode ser possível realizar a moldagem com uma espessura predeterminada decapagem excessiva. Deste modo, pode ser possível obter um elemento de laser emissor de superfície com uma característica estável.

[0120] Adicionalmente, embora um caso de uma combinação de GaAsP e GaInP tenha sido descrito na(s) descrição(ões) para a presente concretização, pode ser fornecida uma combinação com outro material que não inclui Al, para o qual é ainda fornecido um fluido de decapagem diferente e é um material semiconductor com uma energia de amplitude de banda maior do que um comprimento de onda de

oscilação. Para 894,6 nm, o qual é um comprimento de onda de oscilação na presente concretização é fornecido, por exemplo, GaInAsP/GaInP, GaAs/GaInP, GaAs /GaInAsP, GaAsP/GaInAsP, etc., como uma combinação de tais materiais semicondutores. Além disso, N ou Sb pode ser adicionado aos mesmos, tal como GaAsN/GaInP, GaInNAs/GaInP, GaAsSb/GaInP, etc.

[0121] Conforme descrito acima, pode ser possível formar múltiplos lasers emissores de superfície para emitir luz com comprimentos de onda diferentes sobre um substrato 101 no elemento de laser emissor de superfície na presente concretização. Desse modo, mesmo que uma variação na espessura de filme de uma camada semicondutora, etc. ocorra na fabricação de um elemento de laser emissor de superfície, uma emissão de luz com um comprimento de onda mais próximo de um comprimento de onda desejado é selecionada dentre o primeiro laser 151 ao quarto laser emissor de superfície 154, pelo que pode ser possível obter um laser semiconductor com um comprimento de onda desejado com facilidade. Deste modo, pode ser possível fabricar um elemento de laser emissor de superfície tendo um laser emissor de superfície que emite luz com um comprimento de onda predeterminado em um baixo custo.

[0122] Além disso, outro(s) conteúdo(s) que não conforme descrito acima é/são similar(es) àquele(s) da primeira concretização.

### **[Terceira Concretização]**

[0123] Em seguida, uma terceira concretização será descrita. Um laser emissor de superfície na presente concretização é um laser emissor de superfície de 12 canais para um comprimento de onda de 780 nm e será descrito com base na Figura 14 e Figura 15. Além disso, a Figura 14 é uma vista superior de um laser emissor de superfície na presente concretização, enquanto que a Figura 15A é um diagrama em seção transversal fornecido ao cortar ao longo de uma linha pontilhada/tracejada 14A-14B na Figura 14 e a Figura 15B é um diagrama em seção transversal fornecida ao cortar ao longo de uma linha pontilhada/tracejada 14C-14D na Figura 14.

[0124] Um elemento de laser emissor de superfície 200 na presente concretização é formado sobre um chip semicondutor de 300  $\mu\text{m}$  quadrados, em que cada um do primeiro laser emissor de superfície 201, segundo laser emissor de superfície 202, terceiro laser emissor de superfície 203, quarto laser emissor de superfície 204, quinto laser emissor de superfície 205, sexto laser emissor de superfície 206, sétimo laser emissor de superfície 207,



oitavo laser emissor de superfície 208, nono laser emissor de superfície 209, décimo laser emissor de superfície 210, décimo primeiro laser emissor de superfície 211 e décimo segundo laser emissor de superfície de 212 formados sobre tal chip semiconductor estão conectados a um bloco de eletrodos fornecido para corresponder aos mesmos.

[0125] Especificamente, um bloco de eletrodos 221 está conectado ao primeiro laser de emissão de superfície 201, um bloco de eletrodos 222 está conectado ao segundo laser emissor de superfície 202, um bloco de eletrodos 223 está conectado ao terceiro laser emissor de superfície 203, um bloco de eletrodos 224 está conectado ao quarto laser emissor de superfície 204, um bloco de eletrodos 225 está conectado ao quinto laser emissor de superfície 205, um bloco de eletrodos 226 está conectado ao sexto laser emissor de superfície 206, um bloco de eletrodos 227 está conectado ao sétimo laser emissor de superfície 207, um bloco de eletrodos 228 está conectado ao oitavo laser emissor de superfície 208, um bloco de eletrodos 229 está conectado ao nono laser emissor de superfície 209, um bloco de eletrodos 230 está conectado ao décimo laser emissor de superfície 210, um bloco de eletrodos 231 está conectado ao décimo primeiro laser emissor de superfície 211 e um bloco

de eletrodos 232 está conectado ao décimo segundo laser emissor de superfície 212.

[0126] Além disso, o primeiro laser emissor de superfície 201, o segundo laser emissor de superfície 202, o terceiro laser emissor de superfície 203, o quarto laser emissor de superfície 204, o quinto laser emissor de superfície 205, o sexto laser emissor de superfície 206, o sétimo laser emissor de superfície 207, o oitavo laser emissor de superfície 208, o nono laser emissor de superfície 209, o décimo laser emissor de superfície 210, o décimo primeiro laser emissor de superfície 211 e o décimo segundo laser emissor 212 fornecem luz emitida com comprimentos de onda mutuamente diferentes. Ou seja, um comprimento de onda  $\lambda_1$  emitido a partir do primeiro laser emissor de superfície 201, um comprimento de onda  $\lambda_2$  emitido a partir do segundo laser emissor de superfície 202, um comprimento de onda  $\lambda_3$  emitido a partir do terceiro laser emissor de superfície 203, um comprimento de onda  $\lambda_4$  emitido a partir do quarto laser emissor de superfície 204, um comprimento de onda  $\lambda_5$  emitido a partir da quinta de laser emissor de superfície 205, um comprimento de onda  $\lambda_6$  emitido a partir do sexto de laser emissor de superfície 206, um comprimento de onda  $\lambda_7$  emitido a partir do sétimo

laser emissor de superfície 207, um comprimento de onda  $\lambda_8$  emitido a partir do oitavo laser emissor de superfície 208, um comprimento de onda  $\lambda_9$  emitido a partir do nono laser de emissão de superfície 209, um comprimento de onda  $\lambda_{10}$  emitido a partir do décimo laser emissor de superfície 210, um comprimento de onda  $\lambda_{11}$  emitido a partir do décimo primeiro laser emissor de superfície 211 e um comprimento de onda  $\lambda_{12}$  emitido a partir do décimo segundo laser emissor de superfície 212 são comprimentos de onda mutuamente diferentes.

[0127] Para o elemento de laser emissor de superfície na presente concretização, um refletor de Bragg inferior 102, uma camada espaçadora inferior 103, uma camada ativa 104, uma camada espaçadora superior 105 e um primeiro refletor de Bragg superior 106 são formados por um substrato 101 feito de um semicondutor, etc. e uma primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250, um segundo refletor de Bragg 271 superior, uma segunda camada de ajuste comprimento de onda 260, um terceiro refletor de Bragg superior 272, uma camada de contato 240 e um eletrodo superior 111 são formados sobre o primeiro refletor de Bragg superior 106. Além disso, a camada de contato 240 está conectada ao eletrodo superior 111 e um eletrodo

inferior 112 é formado em uma face posterior do substrato 101. Além disso, na presente concretização, o refletor de Bragg inferior 102, camada espaçadora inferior 103, camada ativa 104, camada espaçadora superior 105, primeiro refletor de Bragg superior 106, primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250, segundo refletor de Bragg superior 271, segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260, terceiro refletor de Bragg superior 272 e a camada de contato 240, as quais são camadas semicondutoras formadas no substrato 101, são formadas por meio de materiais semicondutores de crescimento epitaxial. Especificamente, tais camadas semicondutoras são formadas por crescimento epitaxial em MOCVD ou MBE. Além disso, na presente concretização, um refletor de Bragg superior é constituído pelo primeiro refletor de Bragg superior 106, primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250, segundo refletor de Bragg 271 superior, segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260 e terceiro refletor de Bragg superior 272. Além disso, a primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 e a segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260 podem ser formadas no interior do refletor de Bragg inferior 102.

[0128] Na presente concretização, um substrato de n-GaAs é usado para o substrato 101. Além disso, o refletor

de Bragg inferior 102 é formado ao laminar 35,5 pares de uma camada de material de  $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$  de elevado índice de refração e uma camada de material de  $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$  de baixo índice de refração de maneira tal que a espessura de filme óptico de cada camada seja  $\lambda/4$ .

[0129] A camada ativa 104 constituída por uma camada de cavidade *quantum* de GaInAs /uma camada de barreira de GaInPAs é formada sobre o refletor de Bragg inferior 102 através da camada espaçadora inferior 103 feita de  $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$ . A camada espaçadora superior 105 feita de  $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$  o primeiro refletor de Bragg superior 106 são formados sobre a camada ativa 104. Além disso, uma área de ressonador dotada de uma espessura óptica de um comprimento de onda é constituída pela camada espaçadora inferior 103, a camada ativa 104 e a camada espaçadora superior 105.

[0130] O primeiro refletor de Bragg superior 106 é formado ao laminar 3,5 pares de uma camada de material de  $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$  de elevado índice de refração e uma camada de material de  $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$  de baixo índice de refração de maneira tal que a espessura óptica de filme de cada camada seja de  $\lambda/4$ . Além disso, uma das camadas de baixo índice de refração do refletor de Bragg superior 106 é constituída por uma camada de estreitamento de corrente elétrica 108

feita de AlAs que não está ilustrada na Figura 15A e Figura 15B.

[0131] A primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 é formada sobre o primeiro refletor de Bragg superior 106. A primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 é formada ao laminar uma área de ajuste de fase 254 feita de p-Al<sub>0,1</sub>Ga<sub>0,9</sub>As, uma primeira camada de ajuste 251 feita de GaInP, uma segunda camada de ajuste 252 feita de GaAsP e uma terceira camada de ajuste 253 feita de GaInP.

[0132] O segundo refletor de Bragg 271 superior é formado sobre a primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250. O segundo refletor de Bragg superior 271 é formado ao laminar 4,5 pares de uma camada de n-Al<sub>0,1</sub>Ga<sub>0,9</sub>As de elevado índice de refração e uma camada de n-Al<sub>0,9</sub>Ga<sub>0,1</sub>As de baixo índice de refração, de maneira tal que a espessura óptica de filme de cada camada seja de  $\lambda/4$ .

[0133] A segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260 é formada sobre o segundo refletor de Bragg superior 271. A segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260 é formada ao laminar uma área de ajuste de fase 263 feita de p-Al<sub>0,1</sub>Ga<sub>0,9</sub>As, uma quarta camada de ajuste 261 feita de GaInP e uma quinta camada de ajuste 262 feita de GaAsP.

[0134] O terceiro refletor de Bragg superior 272 é formado sobre a segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260. O terceiro refletor de Bragg superior 272 é formado ao laminar 17 pares de uma camada de  $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$  de elevado índice de refração e uma camada de  $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$  de baixo índice de refração, de maneira tal que a espessura de filme óptico de cada camada seja de  $\lambda/4$ .

[0135] A camada de contato 240 feita de p-GaAs é formada sobre o terceiro refletor de Bragg superior 272, enquanto que o eletrodo superior 111 é formado sobre a camada de contato 240 e o eletrodo inferior 112 é formado sobre em um lado posterior do substrato 101.

[0136] Na presente concretização, cada laser emissor de superfície é formado de maneira tal que a primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 e a segunda camada de ajuste comprimento de onda de 260 têm espessuras diferentes para cada canal para corresponder aos mesmos. Adicionalmente, pode ser possível formar a primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 e a segunda camada de ajuste 260 com diferentes espessuras por meio de um método similar ao da primeira concretização. Especificamente, pode ser possível realizar a formação através de litografia e decapagem seletiva, de maneira tal que o número de camadas de ajuste de comprimento de onda

seja diferente. Por exemplo, quando GaAsP (similar ao caso de GaAs) sofre decapagem, pode ser possível usar um fluido misto de ácido sulfúrico, peróxido de hidrogênio e água e, quando GaInP sofre decapagem, pode ser possível usar um fluido misto de ácido clorídrico e água. Após decapagem seletiva da primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 ser realizada, o segundo refletor de Bragg superior 271 e a segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260 são formados por meio de crescimento de cristal, então, decapagem seletiva da segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260 é realizada e o terceira refletor de Bragg superior 272 e a camada de contato 240 são formadas por meio de crescimento de cristal. Além disso, decapagem de uma mesa necessária para a formação de cada laser emissor de superfície é realizada por meio de decapagem a seco. Além disso, o eletrodo superior 111, o qual é um eletrodo no p-lado de cada laser emissor de superfície, é formado sobre a camada de contato 240 e o eletrodo inferior 112, o qual é um eletrodo comum no n-lado, é formado em uma face posterior do substrato 101, conforme ilustrado na Figura 15A e Figura 15B. O elemento de laser emissor de superfície na presente concretização emite luz de laser em um lado oposto do substrato 101.



[0137] Na Patente Japonesa N° 2751814, uma camada de ajuste de comprimento de onda é formada em uma área de ressonador tendo uma espessura óptica de um comprimento de onda. Por exemplo, em tal caso, se o comprimento de onda central é de 780 nm e o intervalo de comprimento de onda é de 3 nm, uma camada que constitui a camada de ajuste de comprimento de onda é fornecida com 0,9 nm. Tal espessura corresponde a cerca de três camadas atômicas e pode ser difícil realizar formação uniforme sobre uma superfície de pastilha com uma técnica de crescimento de cristal atual. Além disso, se uma área de ressonador com um comprimento óptico de um comprimento de onda  $X$  ( $X = 2, 3, \dots$ ) é fornecida, a espessura de filme pode aumentar para ser  $0,9 \times X$  nm para uma camada que constitui a camada de ajuste de comprimento de onda mas, em tal caso, o comprimento de onda de oscilação de relaxamento pode degradar em  $X^{-1/2}$  vezes, de modo que um efeito adverso pode ocorrer pelo fato de que tal operação em modulação de alta velocidade pode ser difícil, etc.

[0138] Por outro lado, em um elemento de laser emissor de superfície na presente concretização, o primeiro refletor de Bragg superior 106 é formado entre uma área de ressonador e a camada de ajuste de comprimento de onda 250, conforme ilustrado na Figura 15A e Figura 15B.

Especificamente, o primeiro refletor de Bragg superior 106 é formado ao laminar alternadamente 4,5 pares de uma camada de  $p\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$  de elevado índice de refração e uma camada de  $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$  de baixo índice de refração entre a primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 e área de ressonador. Em tal caso, mesmo quando o intervalo de comprimento de onda de oscilação entre diferentes elementos emissores de luz é de 3 nm, a espessura do filme de GaInP/GaAsP/GaInP que constitui a primeira camada de ajuste comprimento de onda 250 é de 11,6 nm/11,6 nm/11,6 nm, respectivamente, pelo que pode ser possível realizar a fabricação suficientemente uniforme com uma técnica de crescimento de cristal atual. Assim, pode ser possível reduzir o desvio de um intervalo de comprimento de onda entre os lasers emissores de superfície.

[0139] Além disso, o segundo refletor de Bragg superior 271 e a segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260 são adicionalmente formados sobre a primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250. Deste modo, pode ser possível formar a primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 mais uniformemente, ao mesmo tempo em que o intervalo de comprimento de onda de oscilação é estreitado. A Figura 16 ilustra a relação entre a espessura de filme da primeira camada de ajuste de comprimento de

onda 250 e segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260 (conforme indicado pelas espessuras de filme óptico, em que  $\lambda/4$  é dito como 0,25) e o comprimento de onda de oscilação no elemento de laser emissor de superfície na presente concretização é conforme ilustrado na Figura 14 e Figuras 15A e 15B. Além disso, pode ser possível alterar a espessura de filme da primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 ao realizar decapagem seletiva de GaInP/GaAsP/GaInP que constitui a primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250. Similarmente, pode ser possível alterar a espessura de filme da segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260 ao realizar decapagem seletiva do GaInP/GaAsP que constitui a segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260.

[0140] Conforme ilustrado na Figura 16, quando a espessura de filme da segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260 é constante, uma espessura de filme da primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 pode ser alterada, isto é, GaInP/ GaAsP/ GaInP com 11,6 nm/ 11,6 nm/ 11,6 nm que constitui a primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 pode ser decapado um por um, de modo que pode ser possível obter uma variação de comprimento de onda de oscilação de cerca de 3 nm. Além disso, quando a espessura de filme da primeira camada de

ajuste de comprimento de onda 250 é constante, a espessura de filme da segunda camada de ajuste comprimento de onda 260 pode ser alterada, ou seja, GaInP/GaAsP com 14 nm/ 11 nm que constitui a segunda camada de ajuste comprimento de onda 260 pode ser decapado um por um, de modo que pode ser possível obter uma variação de comprimento de onda de oscilação de cerca de 1 nm. Assim, conforme ilustrado na Figura 15A e Figura 15B, a espessura de filme da primeira camada de ajuste comprimento de onda 250 e da segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260 pode ser alterada em 4 níveis e 3 níveis, respectivamente, em que pode ser possível formar um laser emissor de superfície com diferentes comprimentos de onda de oscilação em  $4 \times 3 = 12$  níveis. Além disso, a espessura de filme da primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 e da segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260 pode ser ajustada, conforme ilustrado na Figura 16, através do que pode ser possível que todos os doze lasers emissores de superfície oscilem em diferentes comprimentos de onda com um intervalo de cerca de 1 nm.

[0141] Em seguida, a área de ajuste de fase 254 formada sobre a primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 será descrita. A refletância é ilustrada na Figura 17B, em um caso onde a primeira camada de ajuste 251, a

segunda camada de ajuste 252 e a terceira camada de ajuste 253 são formadas sem formar a área de ajuste de fase 254, conforme ilustrado na Figura 17A, em que cada camada de GaInP/ GaAsP/ GaInP é removida por meio de decapagem a úmido. Conforme ilustrado na Figura 17B, se uma área de ajuste de fase 254 não é formada, a refletância pode ser grandemente alterada ao variar a espessura da primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250. Tal ponto pode significar que o desvio de uma característica do laser, tal como um limiar de corrente elétrica para cada comprimento de onda, pode aumentar.

[0142] Por outro lado, a área de ajuste de fase 254 é formada sobre a primeira camada de ajuste comprimento de onda 250, conforme ilustrado na Figura 18A, pelo que pode ser possível fazer uma posição na qual a espessura óptica da primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 seja de  $\lambda/4$ , em que a posição na qual a primeira camada de ajuste 252 feita de GaAsP é formada. Deste modo, pode ser possível reduzir a variação de refletância, conforme ilustrado na Figura 18B.

[0143] Isto é, é preferível que a espessura óptica P1 da primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 seja  $\lambda/4 \leq P1 < \lambda/2$  e, quando um tal assunto é

generalizado,  $(2N-1)\lambda/4 \leq P1 < 2N\lambda/4$  é preferível. Além disso, N é um número inteiro positivo.

[0144] Além disso, é preferível realizar a formação de maneira tal que, quando o número de camadas de (um) filme(s) formado(s) (camada(s) de ajuste) é M (em que M é um número inteiro positivo), uma posição na qual a espessura óptica de filme da primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 é  $\lambda/4$  é um  $((M+1)/2)$ -ésimo filme (camada de ajuste) a partir de uma parte superior da mesma em um caso onde M é um número ímpar ou um  $(M/2)$ -ésimo ou  $((M/2)+1)$ -ésimo filme (camada de ajuste) a partir de uma parte superior da mesma em um caso onde M é um número par.

[0145] Conforme ilustrado na Figura 19A, a área de ajuste de fase 254 pode ser feita de p-Al<sub>0,1</sub>Ga<sub>0,9</sub>As e, conforme ilustrado na Figura 19B, a área de ajuste de fase 254a pode ser formada ao laminar alternadamente GaInP e GaAsP. Além disso, embora a primeira camada de ajuste de comprimento de onda 250 tenha sido descrito acima, ponto(s) similar(es) também se aplica(m) à segunda camada de ajuste de comprimento de onda 260.

[0146] Enquanto isso, para uma camada de ajuste de comprimento de onda, a Publicação de Pedido de Patente Japonesa N° 11-330631 descreve uma combinação de AlGaAs e InGaP e a Patente Japonesa N° 2751814 descreve uma

combinação de GaAs e AlGaAs. Ambos usam AlGaAs incluindo Al mas, pode haver um problema em termos de confiabilidade, uma vez que o Al está incluído e, conseqüentemente, corrosão, tal como oxidação, pode ocorrer facilmente. Em particular, quando o crescimento de cristal de uma camada semicondutora é realizado após decapagem de uma camada de ajuste de comprimento de onda conforme na presente concretização, uma superfície da camada de ajuste de comprimento de onda contata a atmosfera em um processo de fabricação e, conseqüentemente, uma superfície de Al pode ser oxidada, de modo que pode ser extremamente difícil realizar o crescimento de cristal para um refletor de Bragg superior sobre a mesma. Por outro lado, a camada de ajuste de comprimento de onda é feita de GaInP e GaAsP, a qual não inclui Al no elemento de laser na presente concretização, diferentemente da Patente Japonesa N° 2751814 ou Publicação de Pedido de Patente Japonesa N° 11-330631, pelo que pode ser possível reduzir extremamente a progressão de corrosão em um processo de fabricação e pode ser possível obter uma elevada confiabilidade.

[0147] Além disso, embora um exemplo de uma combinação de GaAsP e GaInP tenha sido descrito em relação à presente concretização, pode ser fornecida uma combinação com outro material que não inclui Al, para o qual é ainda

fornecido um fluido de decapagem diferente e é um material semiconductor com uma amplitude de energia de banda maior do que o comprimento de onda de oscilação. Em um caso de 780 nm, o qual é um comprimento de onda de oscilação na presente concretização, pode ser possível fornecer, por exemplo, GaInAsP/ GaInP, GaAsP/ GaInAsP, etc., como tal combinação de materiais semicondutores. Além disso, pode também ser possível utilizar, em vez de GaAs, GaAsP em um comprimento de onda o qual é um comprimento de onda longo de 1  $\mu\text{m}$  ou maior. Em tal caso, distorção de tal GaAsP pode não ocorrer para um substrato de GaAs e, portanto, ele pode ser fácil de manusear.

[0148] Além disso, (um) conteúdo(s) diferente(s) daquele descrito acima é/são similar(es) àqueles da primeira concretização.

#### **[Quarta Concretização]**

[0149] Em seguida, uma quarta concretização será descrita. Um elemento de laser emissor de superfície na presente concretização será descrito com base na Figura 20. Um elemento de laser emissor de superfície 300 na presente concretização tem oito lasers emissores de superfície sobre um substrato 301, em que lasers emissores de superfície que emitem luz em diferentes comprimentos de onda em virtude das primeira a terceira concretizações são formados e, além



disso, lasers emissores de superfície que emitem luz com um comprimento de onda idênticos são formados dois a dois.

[0150] Especificamente, o elemento de laser emissor de superfície 300 na presente concretização tem um primeiro laser emissor de superfície 311, segundo laser emissor de superfície 312, terceiro laser emissor de superfície 313, quarto laser emissor de superfície 314, quinto laser emissor de superfície 315, sexto laser emissor de superfície 316, sétimo laser emissor de superfície 317 e oitavo laser emissor de superfície 318 sobre o substrato 301. Cada um dentre o primeiro laser emissor de superfície 311 ao oitavo laser emissor de superfície 318 está conectado a um bloco de eletrodos. Especificamente, um bloco de eletrodos 321 está conectado ao primeiro laser emissor de superfície 311, um bloco de eletrodos 322 está conectado ao segundo laser emissor de superfície 312, um bloco de eletrodos 323 está conectado ao terceiro laser emissor de superfície 313 e um bloco de eletrodos 324 está conectado ao quarto laser emissor de superfície 314, enquanto que um bloco de eletrodos 325 está conectado ao quinto laser emissor de superfície 315, um bloco de eletrodos 326 está conectado ao sexto laser emissor de superfície 316, um bloco de eletrodos 327 está conectado ao sétimo laser emissor de superfície 317 e um bloco de

eletrodos 328 está conectado ao oitavo laser emissor de superfície 318.

[0151] Além disso, o primeiro laser emissor de superfície 311 ao oitavo laser emissor de superfície 318 são formados de maneira tal que aqueles para um comprimento de onda idêntico são fornecidos dois a dois. Especificamente, a luz emitida a partir do primeiro laser emissor de superfície 311 e do segundo laser emissor de superfície 312 têm um comprimento de onda  $\lambda_1$  idêntico e a luz emitida a partir do terceiro laser emissor de superfície 313 e do quarto laser emissor de superfície 314 tem um comprimento de onda  $\lambda_2$  idêntico, enquanto que a luz emitida a partir do quinto laser emissor de superfície 315 e sexto laser emissor de superfície 316 tem um comprimento de onda  $\lambda_3$  idêntico e a luz emitida a partir do sétimo laser emissor de superfície 317 e oitavo laser emissor de superfície 318 tem um comprimento de onda  $\lambda_4$  idêntico, em que os comprimentos de onda  $\lambda_1$  a  $\lambda_4$  são comprimentos de onda mutuamente diferentes. Assim, de modo a emitir luz com um comprimento de onda diferente em cada laser emissor de superfície, uma camada de ajuste de comprimento de onda é fornecida de forma similar à primeira concretização e formada de maneira tal que a espessura da camada de ajuste

de comprimento de onda seja alterada para cada laser emissor de superfície. Adicionalmente, o tamanho de cada um dos blocos de eletrodos 321 a 328 é de cerca de 50  $\mu\text{m}$  quadrado e o substrato 301 é um chip semiconductor com um tamanho de 300  $\mu\text{m}$  quadrados.

[0152] No elemento de laser emissor de superfície na presente concretização, os lasers emissores de superfície para emissão de luz com um comprimento de onda idêntico estão presentes dois a dois em que, mesmo que um dos lasers emissores de superfície para emissão de luz com um comprimento de onda idêntico emita luz em virtude de uma falha, um problema, etc., pode ser possível usar os outros. Consequentemente, pode ser possível que a vida útil de um elemento de laser emissor de superfície seja prolongada e pode ser possível melhorar ainda mais o rendimento do mesmo. Além disso, no elemento de laser emissor de superfície na presente concretização, não apenas um elemento com um comprimento de onda mais próximo de um comprimento de onda necessário, mas também um elemento com um segundo comprimento de onda mais próximo pode ser usado e tal elemento pode ser usado como um laser emissor de superfície preparatório, pelo qual pode ser possível obter uma vida útil mais longa.

[0153] Além disso, um conteúdo(s) diferente(s) daquele descrito acima é/são similar(es) àqueles da primeira a terceira concretizações.

**[Quinta Concretização]**

[0154] Em seguida, uma quinta concretização será descrita. A presente concretização é um oscilador atômico que usa o elemento de laser emissor de superfície das primeira a quarta concretizações. O oscilador atômico na presente concretização será descrito com base na Figura 21. O oscilador atômico na presente concretização é um oscilador atômico compacto de tipo CPT e tem uma fonte de luz 410, uma lente de colimação 420, uma placa de onda  $\lambda/4$  430, uma célula de metal alcalino 440, um fotodetector 450 e um modulador 460.

[0155] Para a fonte de luz 410, o elemento de laser emissor de superfície das primeira a quarta concretizações é usado. Para a célula de metal alcalino 440, gás atômico Cs (césio) é encerrado como um metal alcalino na mesma, em que transição da linha D1 é usada. Para o fotodetector 450, um fotodiodo é usado.

[0156] No oscilador atômico na presente concretização, a célula de metal alcalino 440, em que um gás atômico césio está encerrado, é irradiada com luz emitida a partir da fonte de luz 410, de modo que um

elétron de um átomo de césio seja excitado. A luz que foi transmitida através da célula de metal alcalino 440 é detectada pelo fotodetector 450, onde um sinal detectado pelo fotodetector 450 é alimentado de volta para o modulador 460 e o elemento de laser emissor de superfície na fonte de luz 410 é modulado pelo modulador 460.

[0157] A Figura 22 ilustra uma configuração de níveis de energia atômica associada a um CPT. Um fato é usado de que a proporção de absorção de luz diminui quando os elétrons são simultaneamente excitados a partir de dois níveis de base para um nível excitado. Para o laser emissor de superfície, um elemento com um comprimento de onda de uma onda portadora que está próximo de 894,6 nm é usado. Pode ser possível realizar a sintonização do comprimento de onda de uma onda portadora ao alterar a temperatura ou potência do laser emissor de superfície. Quando uma temperatura ou uma potência é gerada, um deslocamento para um comprimento de onda mais longo pode ser causada, em que uma variação na densidade de luz de uma célula de metal alcalino não é preferível e, portanto, é preferível usar uma variação de temperatura. Especificamente, pode ser possível ajustar a dependência da temperatura de um comprimento de onda em cerca de 0,05 nm/°C. Conforme ilustrado na Figura 23, a modulação é realizada para gerar

bandas laterais em ambos os lados de uma onda portadora, em que a modulação é realizada a 4,6 GHz, de modo que a diferença de frequência possa coincidir com 9,2 GHz, a qual é a frequência de energia de um átomo de Cs. Conforme ilustrado na Figura 24, a luz de laser que passa através de um gás Cs excitado é máxima em um momento quando a diferença de frequência de banda lateral coincide com a diferença de frequência de energia de um átomo Cs e, conseqüentemente, uma frequência de modulação do elemento de laser emissor de superfície na fonte de luz 410 é ajustada ao realizar feedback no modulador 460, de modo que a potência do fotodetector 450 pode ser mantida em um valor máximo. Uma vez que a frequência de energia de um átomo pode ser extremamente estável, a frequência de modulação é um valor estável, de modo que tal informação é obtida como uma potência. Além disso, quando o comprimento de onda é de 894,6 nm, pode ser necessária uma fonte de luz com um comprimento de onda de  $\pm 1$  nm. Isto é, uma fonte de luz com um comprimento de onda na faixa de 893,6 nm - 895,6 nm pode ser necessária.

[0158] O elemento de laser emissor de superfície nas primeira a quarta concretizações é usado no oscilador atômico na presente concretização e, conseqüentemente, pode ser possível fabricar e fornecer um oscilador atômico em um

baixo custo. Além disso, o elemento de laser emissor de superfície na terceira concretização e/ou quarta concretização é usado e, portanto, pode ser possível fornecer adicionalmente um oscilador atômico com uma vida útil mais longa.

[0159] Além disso, embora Cs seja usado como um metal alcalino na presente concretização e um laser emissor de superfície para um comprimento de onda de 894,6 nm seja usado para a transição da linha D1 do mesmo, também pode ser possível usar 852,3 nm em um caso onde a linha D2 de Cs é usada. Além disso, também pode ser possível usar Rb (rubídio) como um metal alcalino, em que pode ser possível usar 795,0 nm em um caso onde a linha D1 é usada ou 780,2 nm em um caso onde a linha D2 é usada. Pode ser possível conceber uma composição de material de uma camada ativa, etc., dependendo do comprimento de onda. Além disso, para uma frequência de modulação em um caso onde Rb é usado, a modulação é realizada a 3,4 GHz para  $^{87}\text{Rb}$  ou 1,5 GHz para  $^{85}\text{Rb}$ . Adicionalmente, mesmo para tais comprimentos de onda, uma fonte de luz com uma faixa de comprimento de onda de  $\pm 1$  nm pode ser necessária. Isto é, quando a linha D2 de Cs é usada, uma fonte de luz com um comprimento de onda de 851,3 nm - 853,3 nm pode ser necessária. Além disso, quando a linha D1 de Rb é usada, uma fonte de luz com um comprimento

de onda de 794,0 nm - 796,0 nm pode ser necessária. Além disso, quando a linha D2 de Rb é usada, uma fonte de luz com um comprimento de onda de 779,2 nm - 781,2 nm pode ser necessária.

[0160] Embora algumas concretizações da presente invenção tenham sido descritas acima, o conteúdo da invenção não está limitado ao(s) conteúdo(s) mencionado(s) acima. Além disso, embora um caso onde um elemento de laser emissor de superfície é usado para um oscilador atômico tenha sido descrito em algumas concretizações da presente invenção, pode ser possível usar o elemento de laser emissor de superfície das primeira à quarta concretizações para outro dispositivo que requer luz com um determinado comprimento de onda, tal como um sensor de gás, etc. Em tal caso, um laser emissor de superfície para luz com um comprimento de onda determinado que corresponde a uma aplicação do mesmo também é usado em tal dispositivo, pelo que pode ser possível obter um efeito similar.

#### **[Anexo]**

<Concretização(ões) ilustrativa(s) de um elemento de laser emissor de superfície, um método para fabricação de um elemento de laser emissor de superfície e um oscilador atômico>



[0161] Pelo menos uma concretização ilustrativa da presente invenção pode se referir a um elemento de laser emissor de superfície, um método para fabricação de um elemento de laser emissor de superfície e um oscilador atômico.

[0162] Um objetivo da pelo menos uma concretização ilustrativa da presente invenção pode ser fornecer um elemento de laser emissor de superfície com múltiplos lasers emissores de superfície capazes de oscilar com mais precisão com um intervalo de comprimento de onda desejado.

[0163] Pelo menos uma concretização ilustrativa da presente invenção pode ser caracterizada por ter múltiplos lasers emissores de superfície tendo um refletor de Bragg inferior formado sobre um substrato semicondutor, um ressonador que inclui uma camada ativa formada sobre o refletor de Bragg inferior e um refletor de Bragg superior formado sobre o ressonador, em que uma camada de ajuste de comprimento de onda é formada sobre o refletor de Bragg superior ou refletor de Bragg inferior, em que a emissão dos mesmos é fornecida em diferentes comprimentos de onda, respectivamente, ao variar a espessura da camada de ajuste de comprimento de onda, em que a camada de ajuste de comprimento de onda é formada ao laminar respectivas camadas de ajuste constituídas por dois tipos de materiais

diferentes, e em que a espessura da camada de ajuste de comprimento de onda é alterada ao variar o número de camadas das camadas de ajuste na camada de ajuste de comprimento de onda.

[0164] Além disso, pelo menos uma concretização ilustrativa da presente invenção pode ser caracterizada por um método para a fabricação de um elemento de laser emissor de superfície com múltiplos lasers emissores de superfície tendo um refletor de Bragg inferior formado sobre um substrato semicondutor, um ressonador que inclui uma camada ativa formada sobre o refletor de Bragg inferior e um refletor de Bragg superior formado sobre o ressonador, em que uma camada de ajuste de comprimento de onda é formada sobre o refletor de Bragg superior ou refletor de Bragg inferior, em que a emissão dos mesmos é fornecida em diferentes comprimentos de onda, respectivamente, ao variar a espessura da camada de ajuste de comprimento de onda, em que a camada de ajuste de comprimento de onda é formada ao laminar respectivas camadas de ajuste feitas de dois tipos de materiais diferentes e em que a espessura da camada de ajuste de comprimento de onda é alterada ao remover a(s) camada(s) de ajuste na camada de ajuste de comprimento de onda para cada uma das camadas de ajuste para alterar o número de camadas da mesma, a qual tem uma etapa de remoção

de uma camada de ajuste com um primeiro fluido de decapagem entre as respectivas camadas de ajuste constituídas por dois tipos de materiais diferentes na camada de ajuste de comprimento de onda e uma etapa de remoção da outra camada de ajuste com um segundo fluido de decapagem entre as respectivas camadas de ajuste feitas de dois tipos de materiais diferentes na camada de ajuste de comprimento de onda, em que o primeiro fluido de decapagem e o segundo fluido de decapagem são diferentes um do outro.

[0165] A concretização ilustrativa (1) é um elemento de laser emissor de superfície caracterizado por ter múltiplos lasers emissores de superfície tendo um refletor de Bragg inferior formado sobre um substrato semicondutor, um ressonador que inclui uma camada ativa formada sobre o refletor de Bragg inferior e um refletor de Bragg superior formado sobre o ressonador, em que uma camada de ajuste de comprimento de onda é formada sobre o refletor de Bragg superior ou o refletor de Bragg inferior, em que a emissão dos mesmos é fornecida em diferentes comprimentos de onda, respectivamente, ao variar a espessura da camada de ajuste de comprimento de onda, em que a camada de ajuste de comprimento de onda é formada ao laminar respectivas camadas de ajuste feitas de dois tipos de materiais diferentes e em que a espessura da camada de

ajuste de comprimento de onda é alterada ao variar o número de camada das camadas de ajuste nas camadas de ajuste de comprimento de onda.

[0166] A concretização ilustrativa (2) é o elemento de laser emissor de superfície conforme descrito na concretização ilustrativa (1), caracterizado pelo fato de que a espessura óptica  $P$  da camada de ajuste de comprimento de onda é  $(2N-1)\lambda/4 \leq P < N\lambda/2$ , em que  $\lambda$  é o comprimento de onda do laser emissor de superfície e  $N$  é um número inteiro positivo.

[0167] A concretização ilustrativa (3) é o elemento de laser emissor de superfície conforme descrito nas concretizações ilustrativas (1) ou (2), caracterizado pelo fato de que as  $M$  camadas ( $M$  é um número inteiro positivo) das camadas de ajuste são formadas sobre a camada de ajuste de comprimento de onda, em que uma posição na qual a espessura óptica de filme da camada de ajuste de comprimento de onda é de  $\lambda/4$  a partir de um lado onde a camada ativa é fornecida é uma  $((M+1)/2)$ -ésima camada de ajuste a partir de cima da mesma em um caso onde  $M$  é um número ímpar ou um  $(M/2)$ -ésima ou  $((M/2)+1)$ -ésima camada de ajuste a partir de cima da mesma em um caso onde  $M$  é um número par.

[0168] A concretização ilustrativa (4) é o elemento de laser emissor de superfície conforme descrito em qualquer uma das concretizações ilustrativas (1) a (3), caracterizado pelo fato de que a camada de ajuste de comprimento de onda é constituída por uma área de ajuste de comprimento de onda 10 e uma área de ajuste de fase, em que a área de ajuste de comprimento de onda é constituída por respectivas camadas de ajuste feitas de dois tipos de materiais diferentes.

[0169] A concretização ilustrativa (5) é o elemento de laser emissor de superfície conforme descrito na concretização ilustrativa (4), caracterizado pelo fato de que a camada de ajuste de comprimento de onda inclui uma camada de contato formada em um lado mais próximo do ressonador do que a área de ajuste de comprimento de onda, em que a camada de contato está conectada a um eletrodo.

[0170] A concretização ilustrativa (6) é o elemento de laser emissor de superfície conforme descrito em qualquer uma das concretizações ilustrativas (1) a (5), caracterizado pelo fato de que um conjunto das camadas de ajuste de comprimento de onda é formado.

[0171] A concretização ilustrativa (7) é o elemento de laser emissor de superfície conforme descrito em qualquer uma das concretizações ilustrativas (1) a (6),

caracterizado pelo fato de que um conjunto de camadas de ajuste de comprimento de onda é formado sobre o refletor de Bragg superior.

[0172] A concretização ilustrativa (8) é o elemento de laser emissor de superfície conforme descrito em qualquer uma das concretizações ilustrativas (1) a (7), caracterizado pelo fato de que a espessura de filme da camada de ajuste de comprimento de onda é alterada ao realizar remoção da camada de ajuste na camada de ajuste de comprimento de onda, em que uma camada de ajuste entre as respectivas camadas de ajuste feita de dois tipos de materiais diferentes na camada de ajuste de comprimento de onda é removida por um primeiro fluido de decapagem e a outra camada de ajuste é removida por um segundo fluido de decapagem, em que o primeiro fluido de decapagem e o segundo fluido de decapagem são diferentes um do outro.

[0173] A concretização ilustrativa (9) é o elemento de laser emissor de superfície conforme descrito em qualquer uma das concretizações ilustrativas (1) a (8), caracterizado pelo fato de que uma camada de ajuste entre as respectivas camadas de ajuste constituídas por dois tipos de materiais diferentes na camada de ajuste de comprimento de onda é feita de GaInP e a outra camada de ajuste é feita de GaAsP ou GaAs.

[0174] A concretização ilustrativa (10) é o elemento de laser emissor de superfície conforme descrito em qualquer uma das concretizações ilustrativas (1) a (9), caracterizado pelo fato de que o refletor de Bragg superior inclui um primeiro refletor de Bragg superior, uma camada de ajuste de comprimento de onda e um segundo refletor de Bragg superior formado na ordem a partir de um lado em que a camada ativa é formada, em que o segundo refletor de Bragg superior é formado ao laminar alternadamente e moldar dielétricos com diferentes índices de refração.

[0175] A concretização ilustrativa (11) é o elemento de laser emissor de superfície conforme descrito em qualquer uma das concretizações ilustrativas (1) a (10), caracterizado pelo fato de que pelo menos um dos múltiplos comprimentos de onda está incluído em uma faixa de 893,6 nm - 895,6 nm, 851,3 nm - 853,3 nm, 794,0 nm - 796,0 nm, ou 779,2 nm - 781,2 nm.

[0176] A concretização ilustrativa (12) é um método para fabricação de um elemento de laser emissor de superfície com múltiplos lasers emissores de superfície tendo um refletor de Bragg inferior formado sobre um substrato semiconductor, um ressonador que inclui uma camada ativa formada sobre o refletor de Bragg inferior e um refletor de Bragg superior formado sobre o ressonador, em

que uma camada de ajuste de comprimento de onda é formada no refletor de Bragg superior ou refletor de Bragg inferior, em que a emissão dos mesmos é fornecida em comprimentos de onda diferentes, respectivamente, por uma variação na espessura da camada de ajuste de comprimento de onda, em que a camada de ajuste de comprimento de onda é formada ao laminar as respectivas camadas de ajuste feitas de dois tipos de materiais diferentes e em que a espessura da camada de ajuste de comprimento de onda é alterada ao remover a(s) camada(s) de ajuste na camada de ajuste de comprimento de onda para cada uma das camadas de ajuste para alterar o número de camadas das mesmas, caracterizado por ter uma etapa de remoção de uma camada de ajuste por um primeiro fluido de decapagem entre as respectivas camadas de ajuste constituídas por dois tipos de materiais diferentes na camada de ajuste de comprimento de onda e uma etapa de remoção da outra camada de ajuste por um segundo fluido de decapagem entre respectivas camadas de ajuste feitas de dois tipos de materiais diferentes na camada de ajuste de comprimento de onda, em que o primeiro fluido de decapagem e o segundo fluido de decapagem são diferentes um do outro.

[0177] A concretização ilustrativa (13) é o método para fabricação de um elemento de laser emissor de



superfície conforme descrito na concretização ilustrativa (12), caracterizado pelo fato de que uma camada de ajuste entre respectivas camadas de ajuste feitas de dois tipos de materiais diferentes na camada de ajuste de comprimento de onda é feita de GaInP e a outra camada de ajuste é feita de GaAsP ou GaAs.

[0178] A concretização ilustrativa (14) é o método para fabricação de um elemento de laser emissor de superfície conforme descrito em qualquer uma da concretização ilustrativa (12) ou (13), caracterizado pelo fato de que a camada do refletor de Bragg superior inclui um primeiro refletor de Bragg superior, uma camada de ajuste de comprimento de onda e um segundo refletor de Bragg formados na ordem a partir de um lado em que a camada ativa é formada, em que o segundo refletor de Bragg superior é formado ao laminar e moldar alternadamente dielétricos com diferentes índices de refração.

[0179] A concretização ilustrativa (15) é um oscilador atômico caracterizado por ter o elemento de laser emissor de superfície conforme descrito em qualquer uma das concretizações ilustrativas (1) a (11), uma célula de metal alcalino que encerra um metal alcalino e um fotodetector para detectar luz que foi transmitida através da célula de metal alcalino entre luz que irradia na célula de metal

alcalino a partir de um laser emissor de superfície no elemento de laser emissor de superfície, em que luz com dois comprimentos de onda diferentes entre a luz emitida a partir do laser emissor de superfície e que inclui uma banda lateral é incidente sobre a célula de metal alcalino, pelo que a frequência de oscilação é controlada com base em uma característica de absorção da luz provocada por um efeito de interferência quântica de dois tipos de luz de ressonância.

[0180] A concretização ilustrativa (16) é o oscilador atômico conforme descrito na concretização ilustrativa (15), caracterizado pelo fato de que o metal alcalino é rubídio ou césio.

[0181] De acordo com pelo menos uma concretização ilustrativa da presente invenção, pode ser possível fornecer um elemento de laser emissor de superfície tendo múltiplos lasers emissores de superfície capazes de oscilar com mais precisão em um intervalo de comprimento de onda desejado, uma vez que pode ser possível aumentar a espessura de filme de um filme que forma uma camada de ajuste de comprimento de onda.

[0182] Embora (uma) concretização(ões) ilustrativa(s) e/ou exemplo(s) específico(s) da presente invenção tenha/tenham sido descrito(s) com referência aos

desenhos anexos, a presente invenção não está limitada a qualquer concretização ilustrativa e/ou exemplo específico e a(s) concretização(ões) ilustrativa(s) e/ou exemplo(s) específico(s) pode(m) ser alterado(s), modificado(s) ou combinado(s) sem se afastar do escopo da presente invenção.

[0183] O presente pedido reivindica o benefício de prioridade com base no Pedido de Patente Japonesa N° 2011-264908, depositado em 2 de dezembro de 2011 e Pedido de Patente Japonesa N° 2012-234113, depositado em 23 de outubro de 2012, o conteúdo dos quais é aqui incorporado por referência na íntegra.

### REIVINDICAÇÕES

1. Elemento de laser emissor de superfície compreendendo um substrato semicondutor (101) e uma pluralidade de lasers de emissão de superfície (11, 12, 13, 14) configurados para emitir luz com comprimentos de onda diferentes entre si, cada laser emissor de luz de superfície, incluindo um refletor de Bragg inferior (102) fornecido sobre o substrato semicondutor, um ressonador fornecido sobre o refletor de Bragg inferior, um refletor de Bragg superior (106, 107) fornecido sobre o ressonador, e uma camada de ajuste do comprimento de onda (120), as camadas de ajuste de comprimento de onda incluídas nos lasers emissores de superfície tendo espessuras mutuamente diferentes, e **caracterizado** pelo fato de que:

pelo menos uma das camadas de ajuste de comprimento de onda inclui uma pluralidade de camadas de ajuste de laminado feitas de dois tipos de materiais, e os números de camadas de ajuste incluídos na camada de ajuste de comprimento de onda que são mutuamente diferentes, e

as camadas de ajuste de comprimento de onda são fornecidas no interior do refletor de Bragg superior ou do refletor de Bragg inferior, sendo dispostas na direção da espessura entre duas partes do refletor de Bragg superior ou refletor de Bragg inferior.

2. Elemento de laser emissor de superfície, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que pelo menos uma das camadas de ajuste de comprimento de onda está configurada para satisfazer a condição de  $(2N-1)\lambda/4 \leq P < N\lambda/2$ , em que P é uma espessura óptica de pelo menos uma das camadas de ajuste de comprimento de onda,  $\lambda$  é um comprimento de onda de luz a ser emitida a partir de cada laser emissor de superfície, e N é um número inteiro positivo.

3. Elemento de laser emissor de superfície, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que M é um número de camadas de ajuste incluído em pelo menos uma das camadas de ajuste de comprimento de onda, e uma posição de uma espessura óptica de pelo menos uma das camadas de ajuste de comprimento de onda sendo  $\lambda/4$  a partir de um lado do ressonador é fornecido em uma  $((M+1)/2)$ -ésima camada de ajuste de uma parte superior das camadas de ajuste em um caso em que M é um número ímpar ou um  $(M/2)$ -ésima ou  $((M/2)+1)$ -ésima camada de ajuste de uma parte superior das camadas de ajuste em um caso em que M é um número par.

4. Elemento de laser emissor de superfície, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que pelo menos uma das camadas de ajuste de comprimento de onda inclui uma área de ajuste do comprimento de onda (120) e

uma área de ajuste de fase (131), e a área de ajuste do comprimento de onda inclui as camadas de ajuste feitas de dois tipos de materiais.

5. Elemento de laser emissor de superfície, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo** fato de que pelo menos uma das camadas de ajuste de comprimento de onda inclui uma camada de contato (110) fornecida num lado mais perto do ressonador que a área de ajuste do comprimento de onda e a camada de contato é ligada em sua periferia a um eletrodo (111).

6. Elemento de laser emissor de superfície, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que pelo menos uma das camadas de ajuste de comprimento de onda é fornecida no refletor de Bragg superior.

7. Elemento de laser emissor de superfície, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que uma camada de ajuste em, pelo menos, uma das camadas de ajuste de comprimento de onda é feita de GaInP e outra camada de ajuste é feita de GaAsP ou GaAs.

8. Elemento de laser emissor de superfície, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que o refletor de Bragg superior inclui uma primeira parte de refletor de Bragg superior (106), a camada de ajuste de comprimento de onda (120), e uma segunda parte de refletor

de Bragg superior (107), a fim de um lado do ressonador, e a segunda parte de refletor de Bragg superior é composta por dielétricos alternadamente laminados com diferentes índices de refração.

9. Elemento de laser emissor de superfície, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** fato de que pelo menos um dos comprimentos de onda mutuamente diferentes está incluído em uma faixa de 893,6 nm a 895,6 nm, 851,3 nm a 853,3 nm, 794,0 nm a 796,0 nm, ou 779,2 nm a 781,2 nm.

10. Método para a fabricação de um elemento de laser emissor de superfície incluindo uma pluralidade de lasers emissores de superfície configurados para emitir luz com comprimentos de onda diferentes entre si, **caracterizado pelo** fato de que compreende as etapas de formação de um refletor de Bragg inferior sobre um substrato semiconductor, formação de um ressonador no refletor de Bragg inferior, formação de um refletor de Bragg superior nas camadas do ressonador, laminação das camadas de ajuste feitas de dois tipos de materiais no interior do refletor de Bragg superior ou do refletor de Bragg inferior de modo a formar uma camada de ajuste do comprimento de onda disposta em uma direção de espessura entre duas partes do refletor de Bragg superior ou do refletor de Bragg inferior, remoção de uma camada de ajuste na camada de ajuste de comprimento de

onda, utilizando um primeiro fluido de decapagem, e remoção de uma outra camada de ajuste na camada de ajuste de comprimento de onda, utilizando um segundo fluido de decapagem diferente do primeiro fluido de decapagem, de modo que as camadas de ajuste de comprimento de onda incluídas nos lasers emissores de superfície tenham mutuamente diferentes espessuras e os números de camadas de ajuste incluídas nas camadas de ajuste de comprimento de onda são mutuamente diferentes.

11. Método para a fabricação de um elemento de laser emissor de superfície, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo** fato de que uma camada de ajuste na camada de ajuste de comprimento de onda é feita de GaInP e outra camada de ajuste é feita de GaAsP ou GaAs.

12. Método para a fabricação de um elemento de laser emissor de superfície, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo** fato de que a camada de reflexão de Bragg superior é formada para incluir uma primeira parte de refletor de Bragg superior e uma segunda parte de refletor de Bragg, em que a primeira parte de refletor de Bragg superior, a camada de ajuste de comprimento de onda, e a segunda parte de refletor de Bragg são formadas de modo a partir de um lado do ressonador, e em que a segunda parte de refletor de Bragg superior é formada por laminação



alternada de dielétricos com diferentes índices de refração.

13. Oscilador atômico **caracterizado pelo** fato de que compreende o elemento de laser emissor de superfície (410) como definido na reivindicação 1, uma célula de um metal alcalino (410), incluindo um metal alcalino a ser irradiado com a luz emitida a partir do elemento de laser emissor de superfície, um fotodetector (450) configurado para detectar a luz transmitida através da célula de metal alcalino, e um controlador configurado para controlar a frequência de oscilação do elemento de laser emissor de superfície com base na luz detectada pelo fotodetector.

14. Oscilador atômico, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado pelo** fato de que o metal alcalino inclui rubídio ou césio.

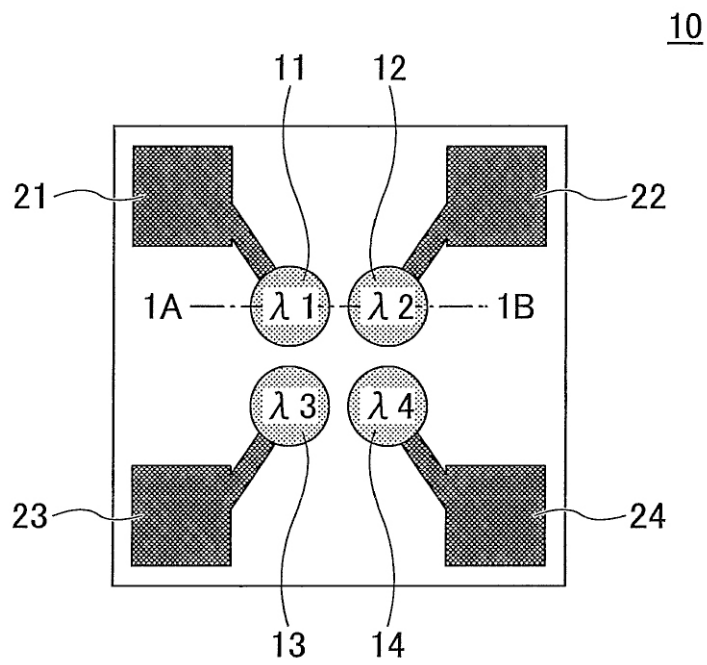


FIGURA 1

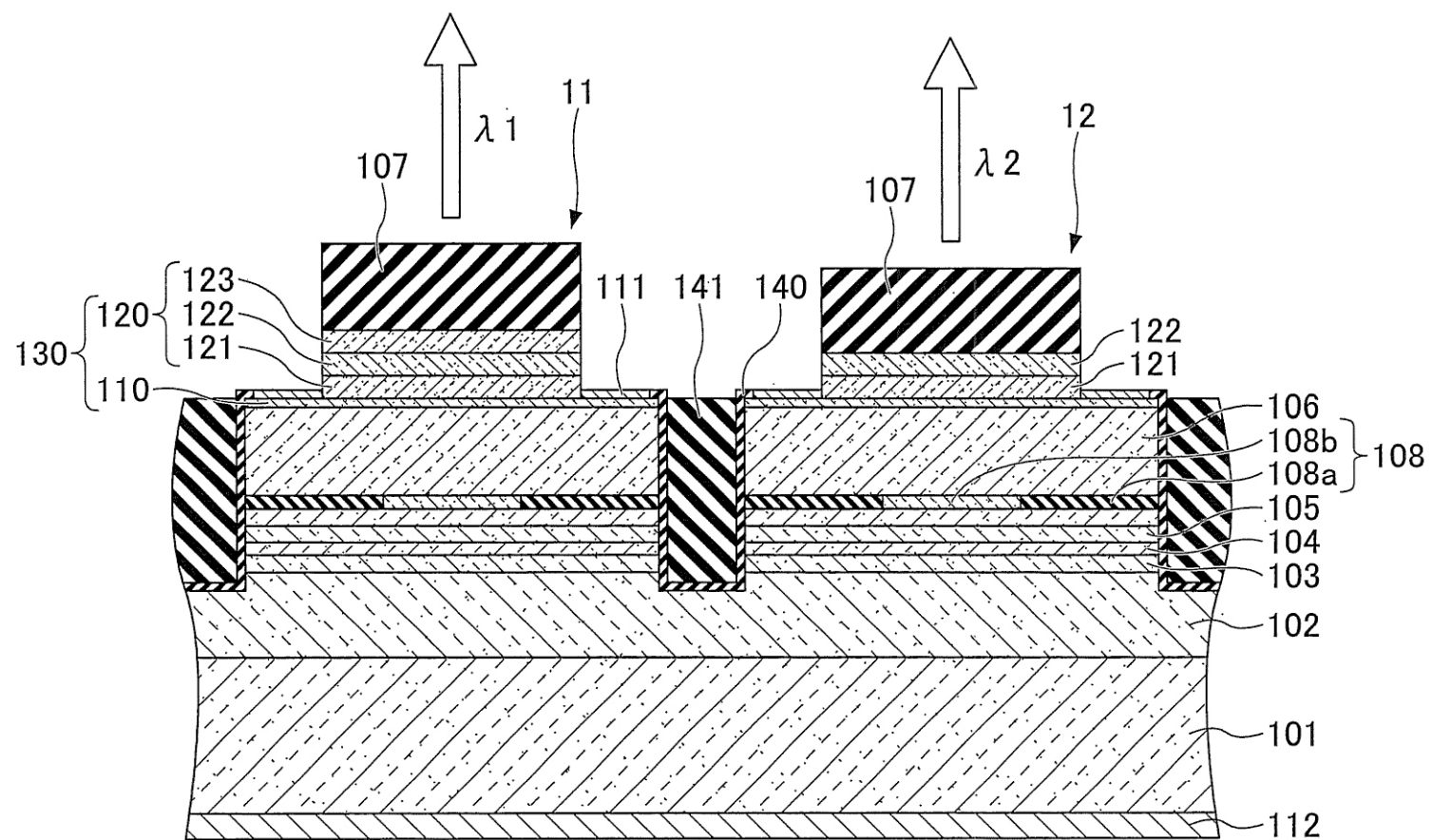


FIGURA 2

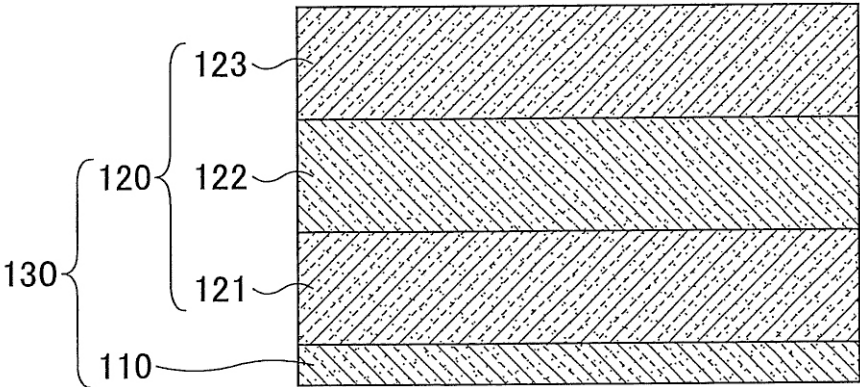


FIGURA 3



FIGURA 4A

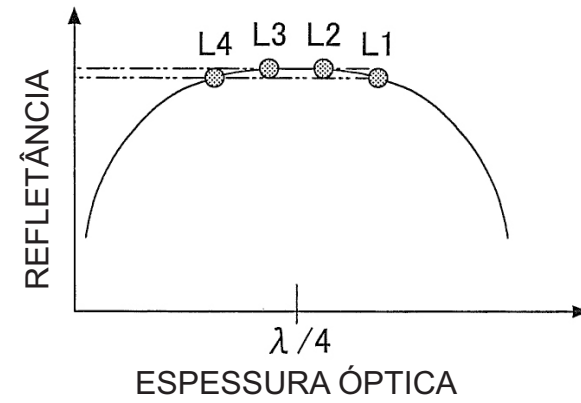


FIGURA 4B

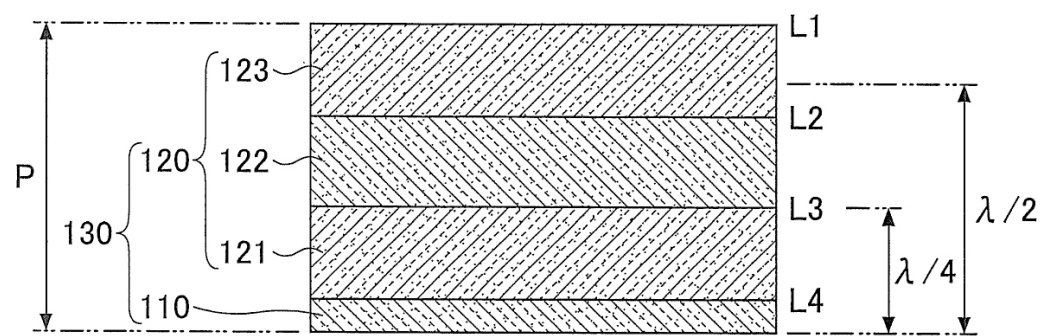


FIGURA 5A

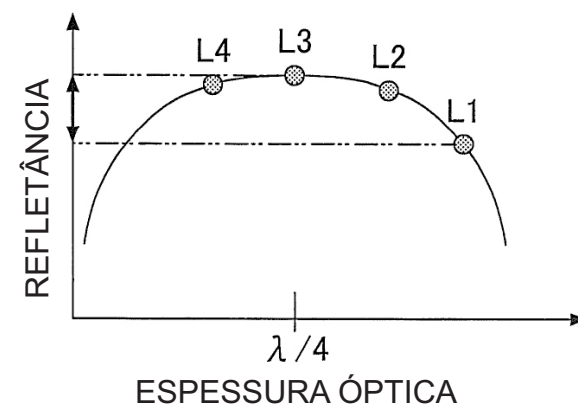


FIGURA 5B

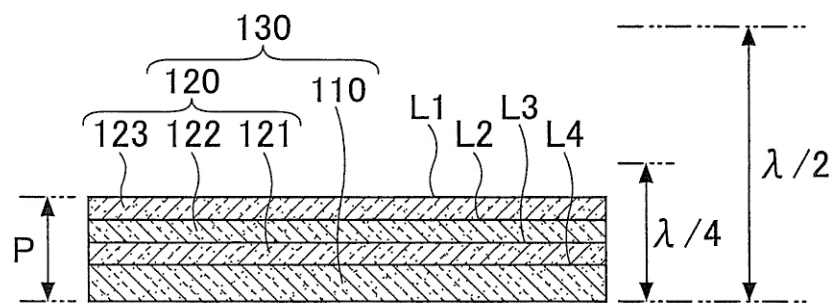


FIGURA 6A

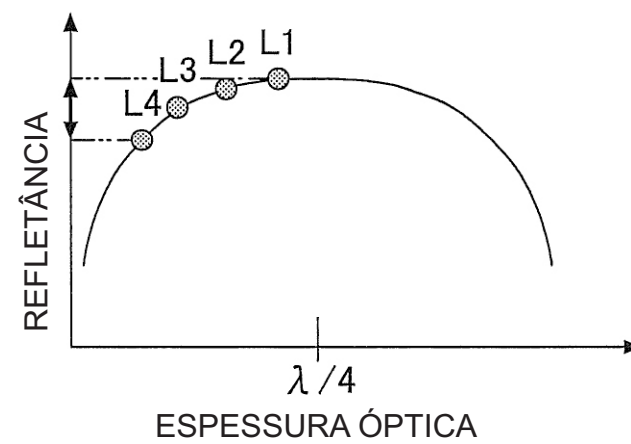


FIGURA 6B

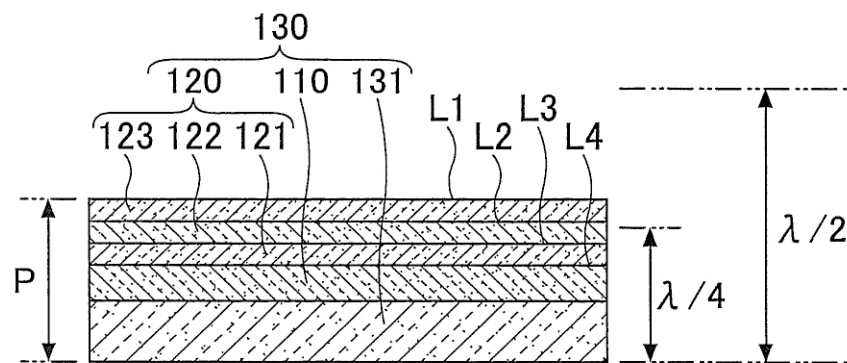


FIGURA 7A

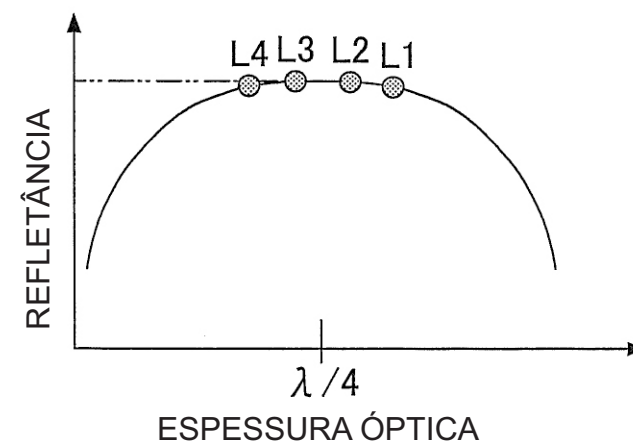


FIGURA 7B



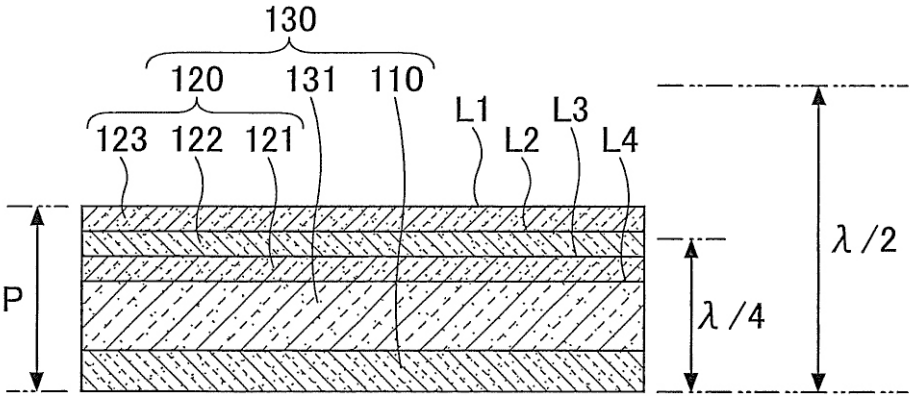


FIGURA 8

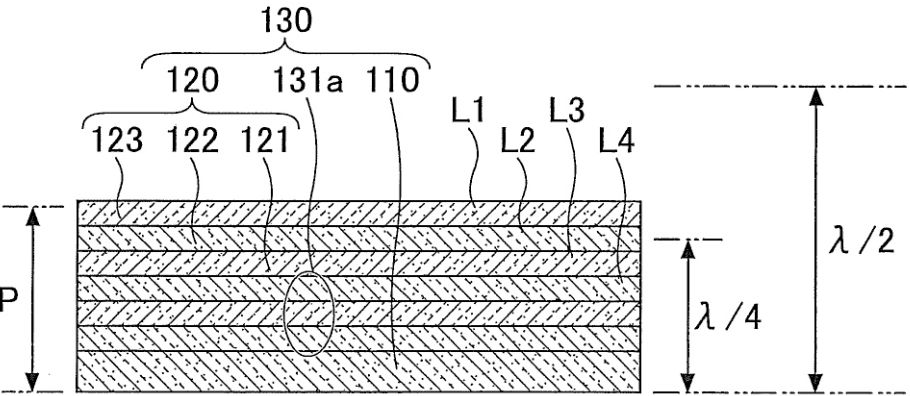


FIGURA 9

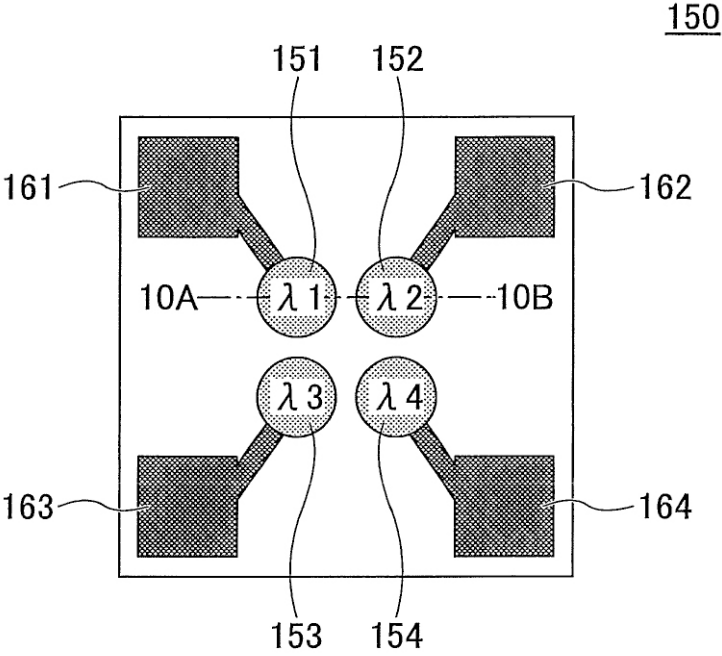


FIGURA 10

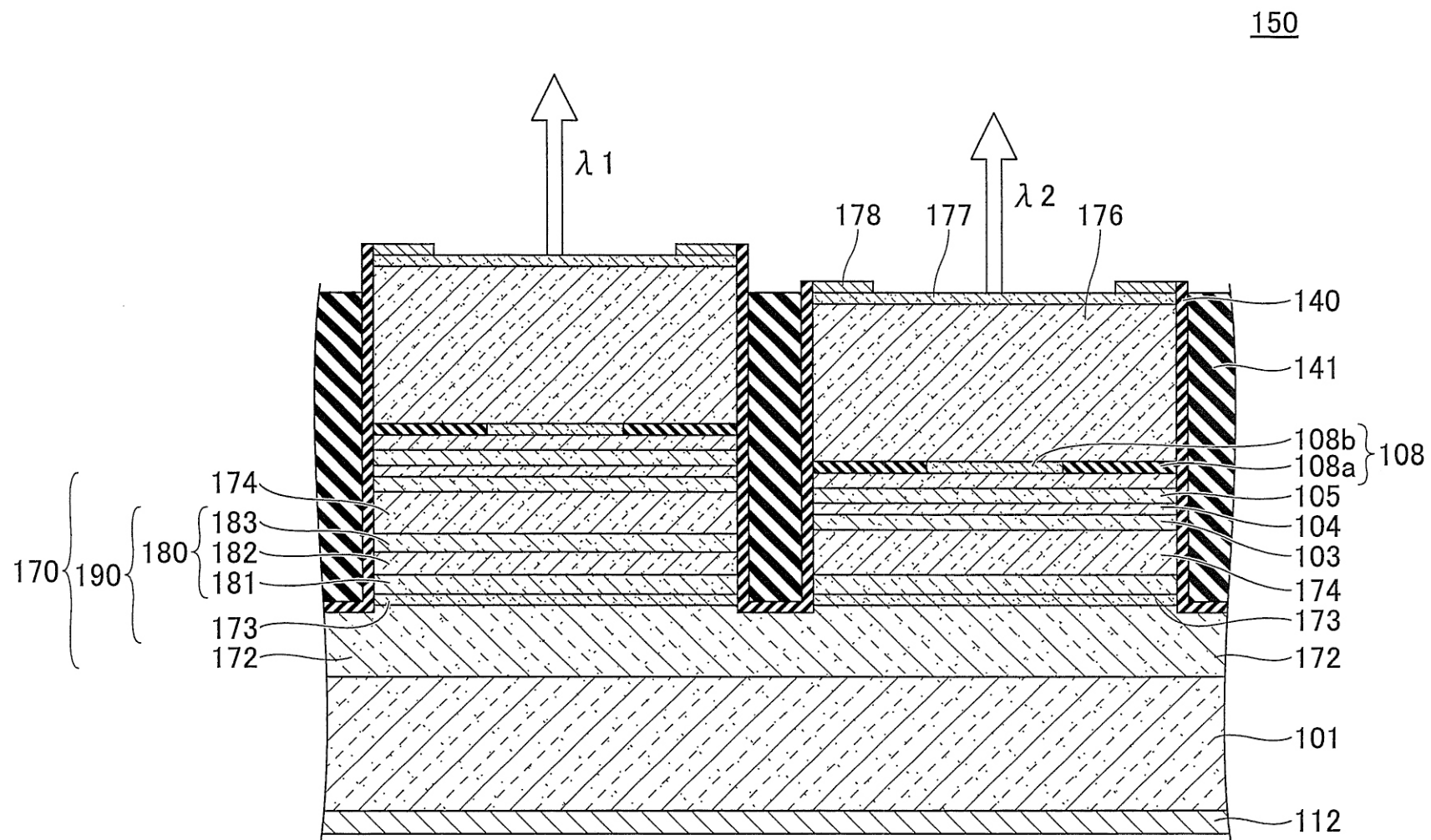


FIGURA 11

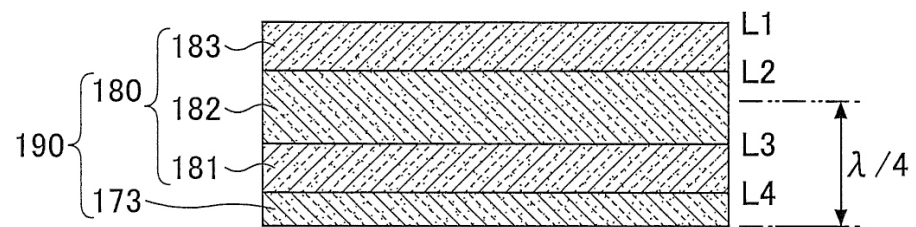


FIGURA 12A

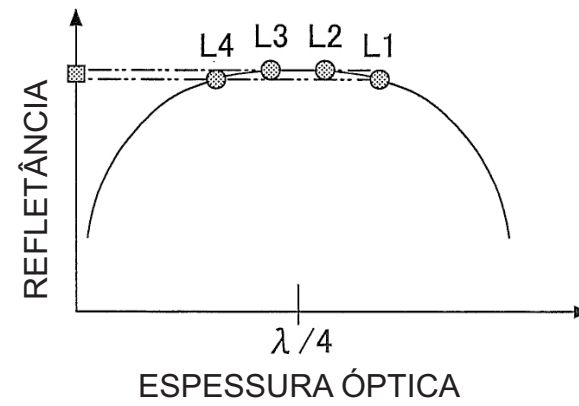


FIGURA 12B

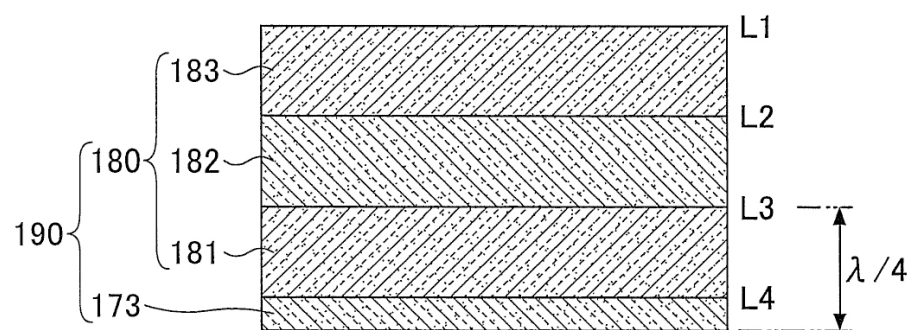


FIGURA 13A

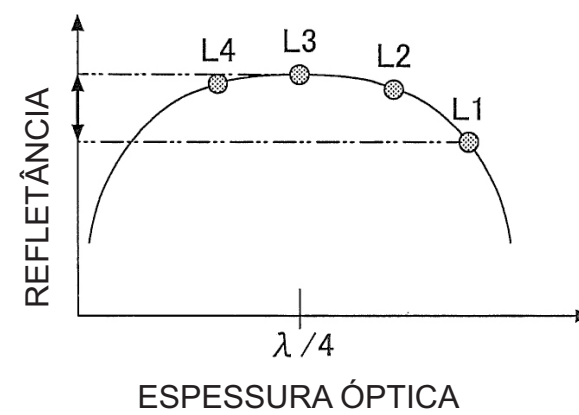


FIGURA 13B

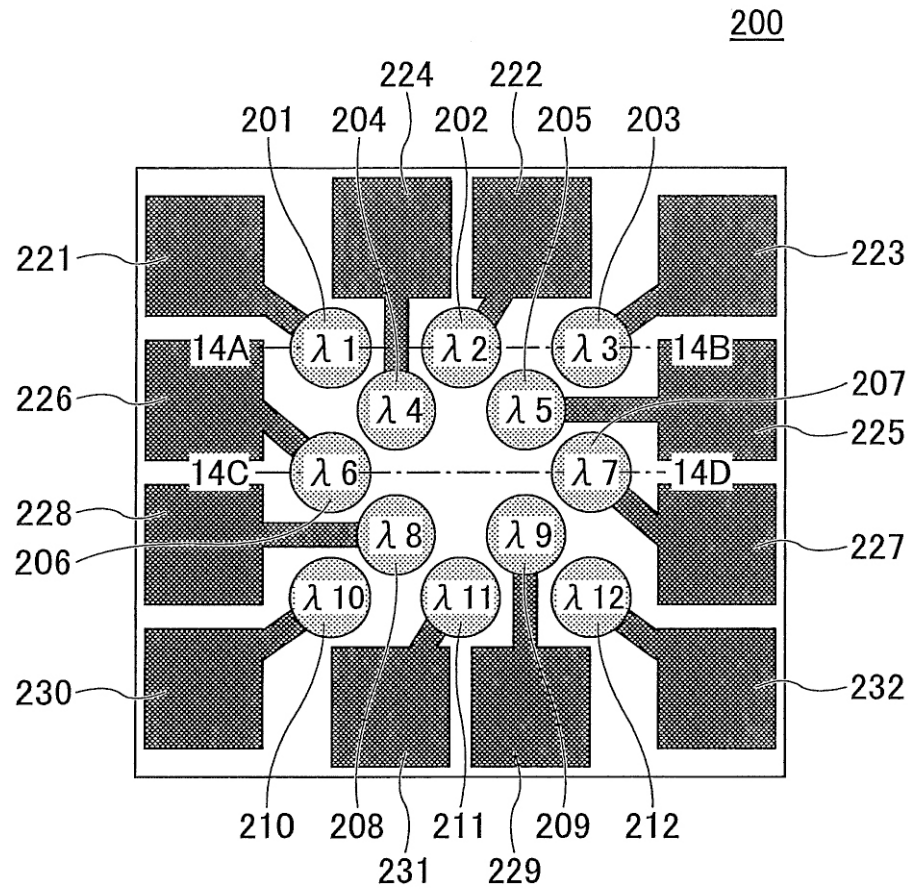


FIGURA 14

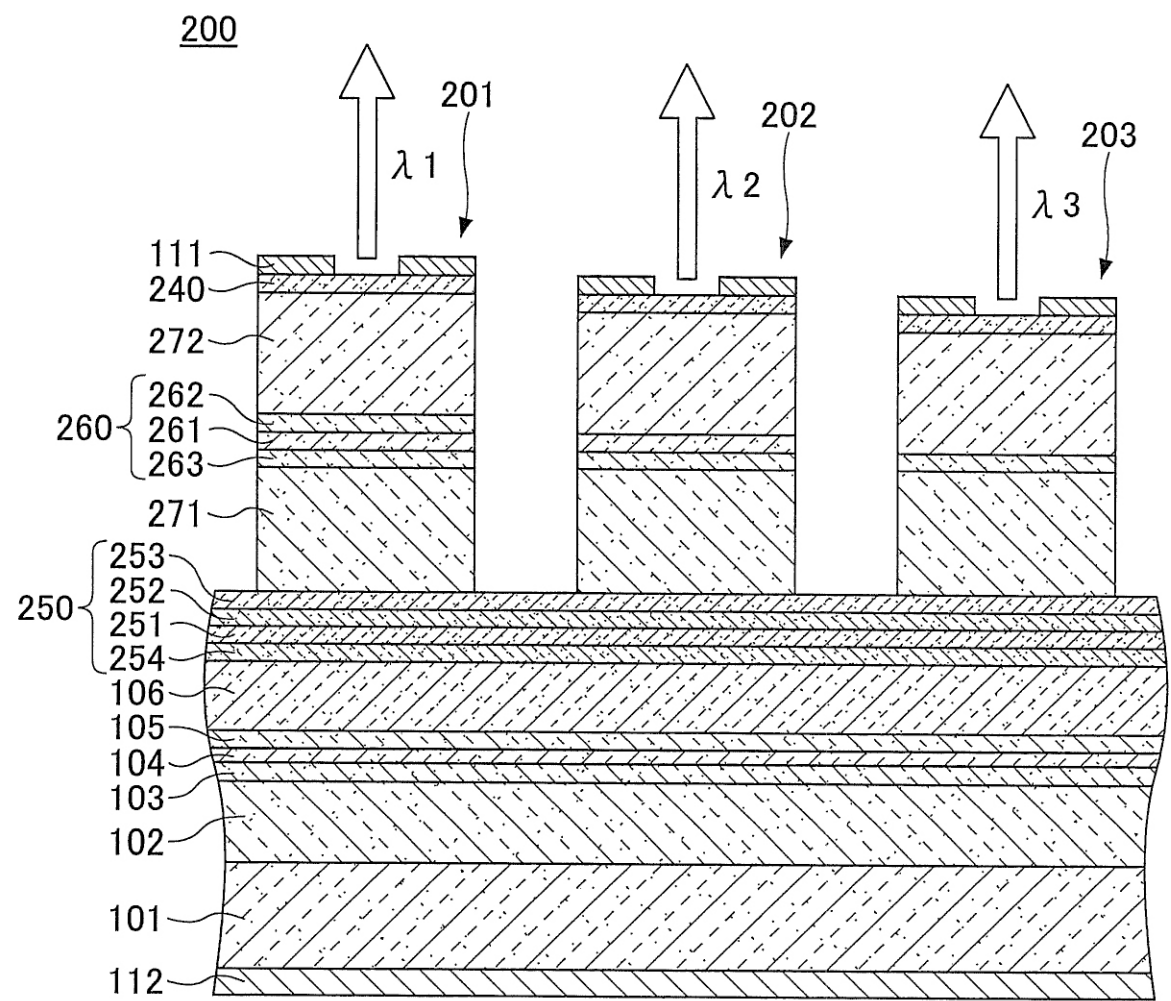


FIGURA 15A



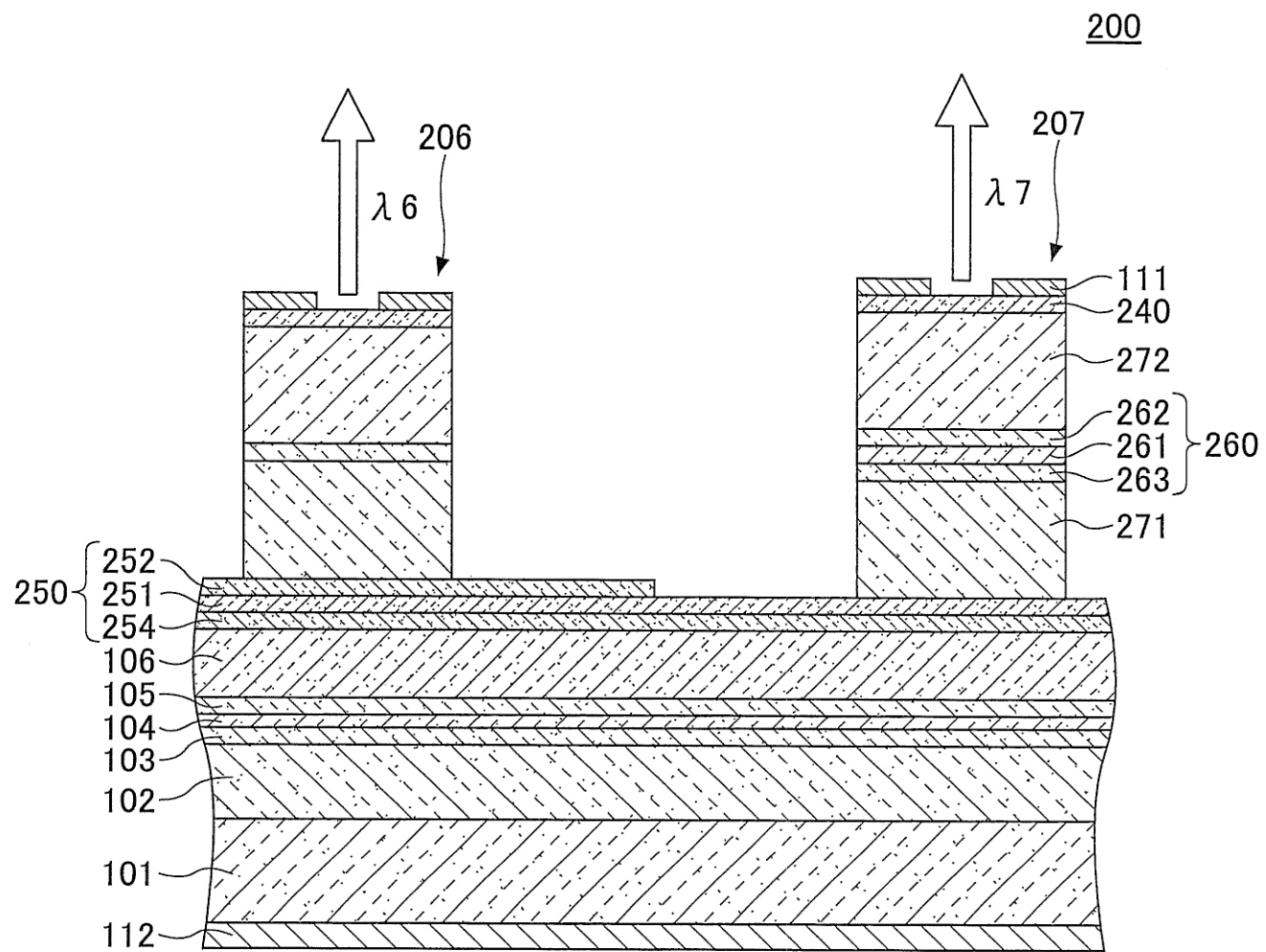


FIGURA 15B



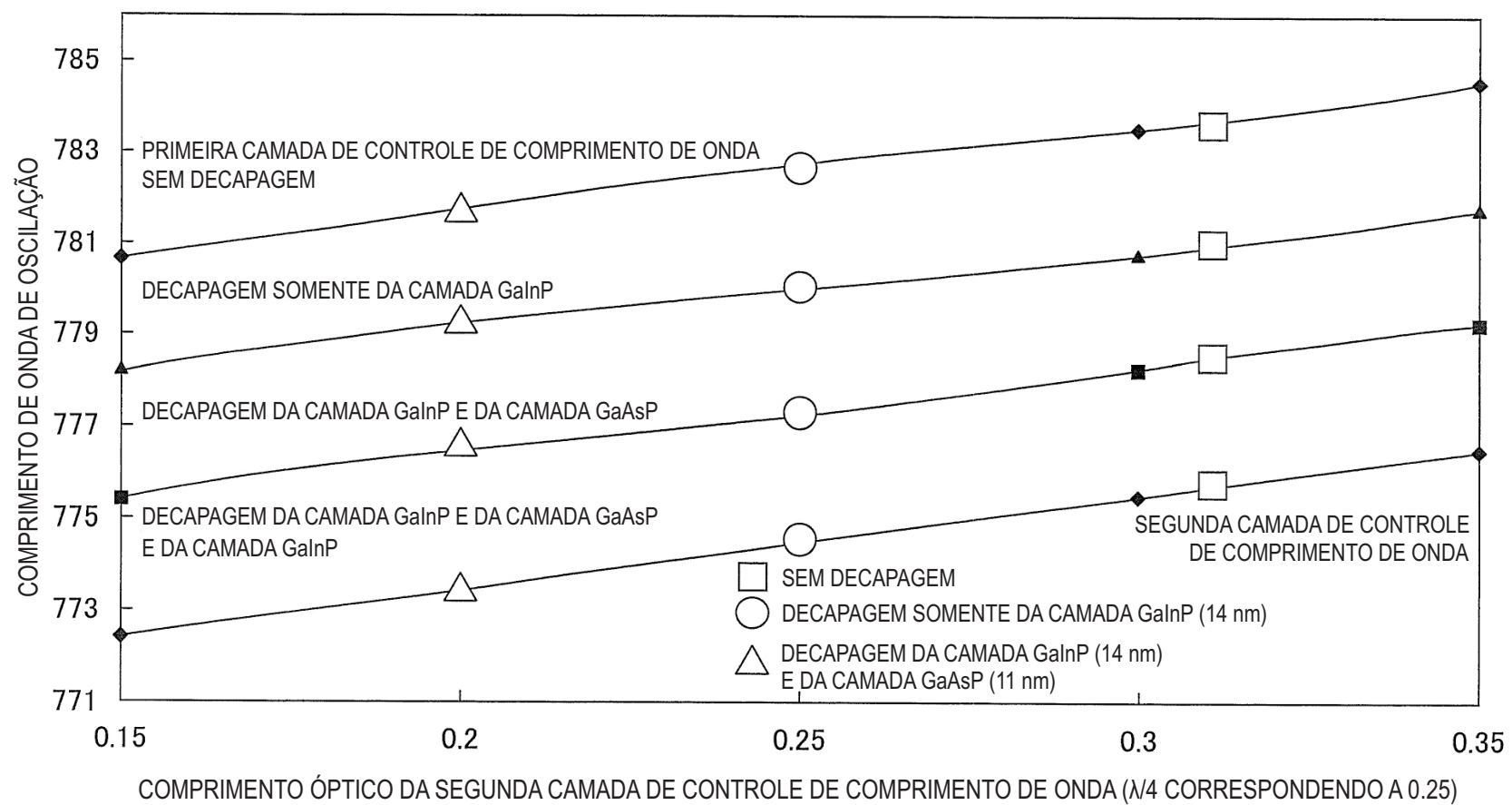


FIGURA 16

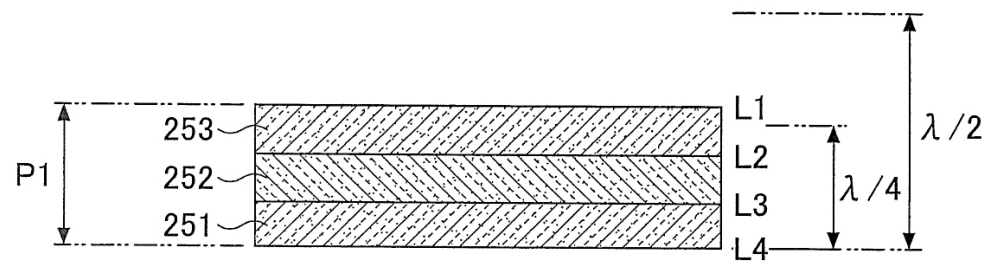


FIGURA 17A

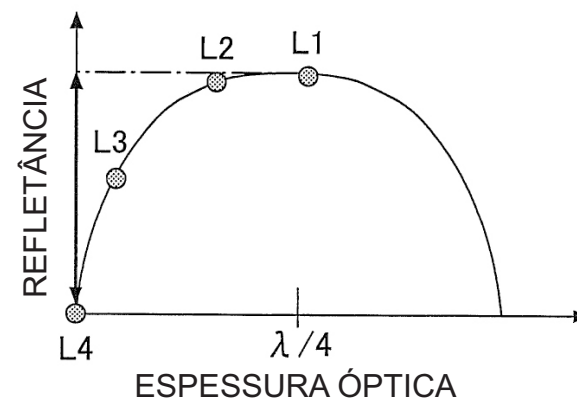


FIGURA 17B

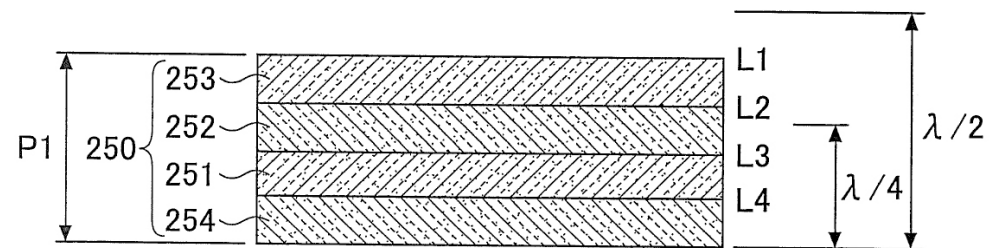


FIGURA 18A

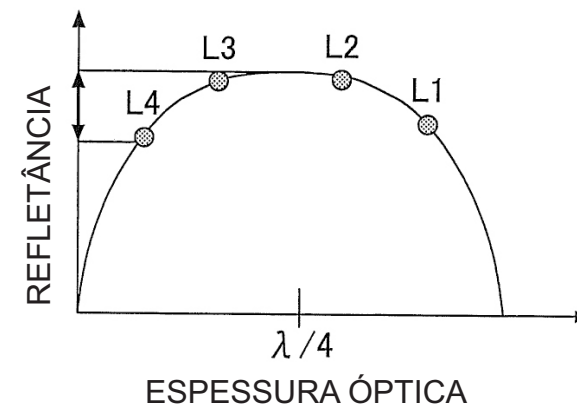
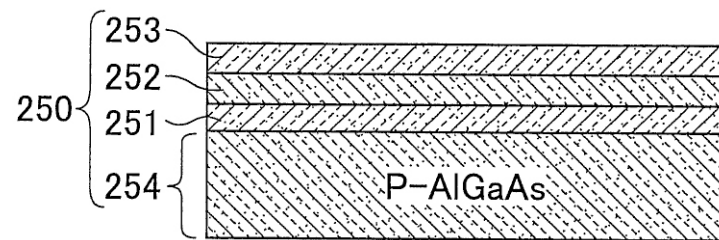


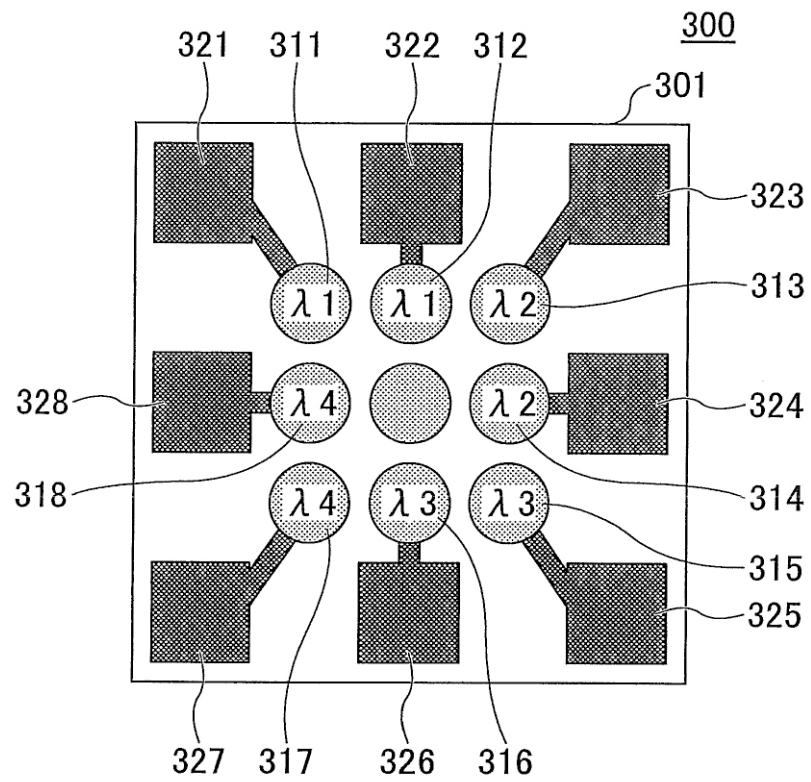
FIGURA 18B

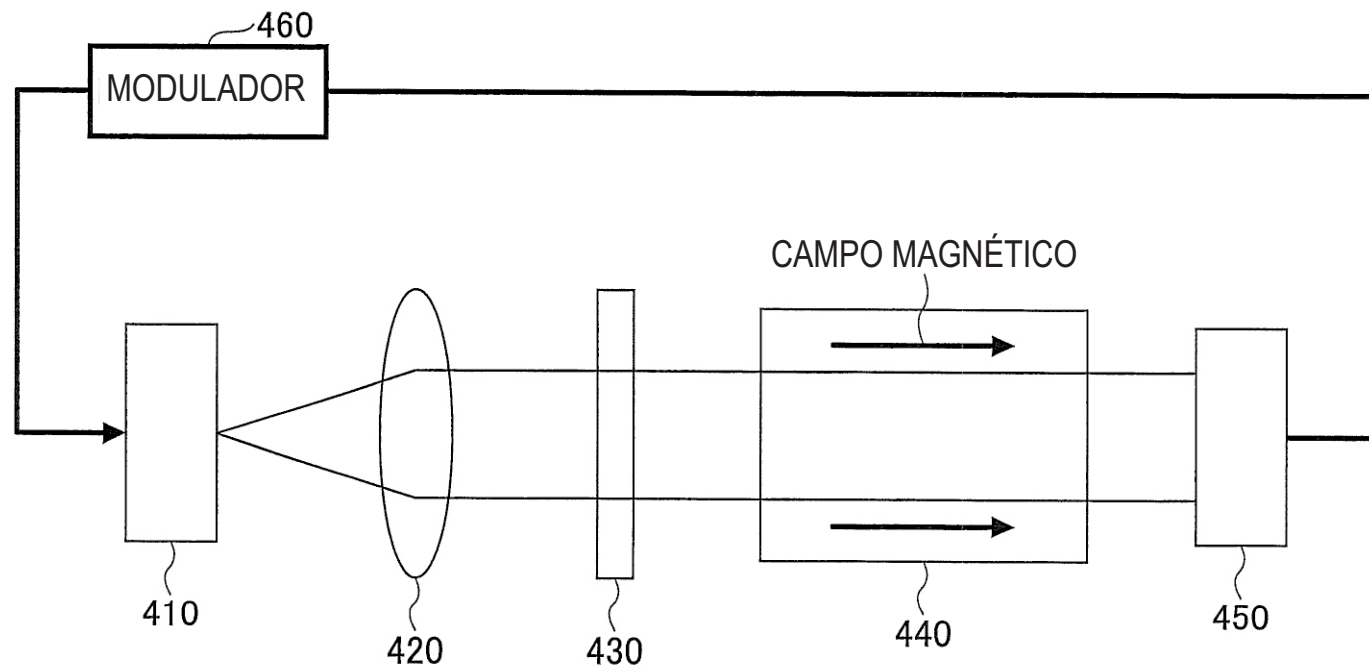


*FIGURA 19A*



*FIGURA 19B*

*FIGURA 20*



*FIGURA 21*

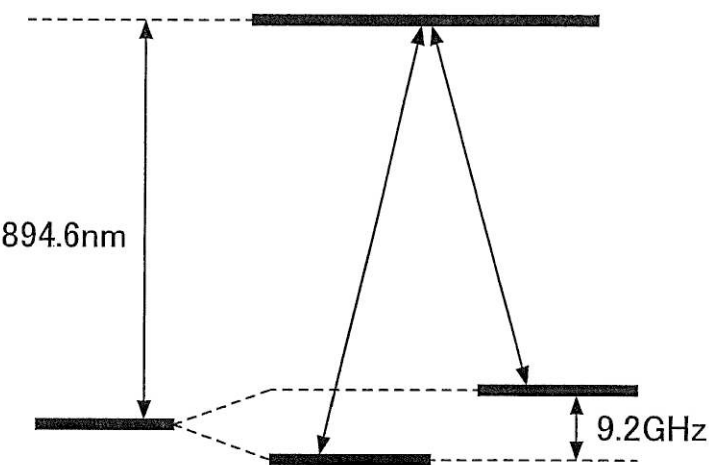


FIGURA 22

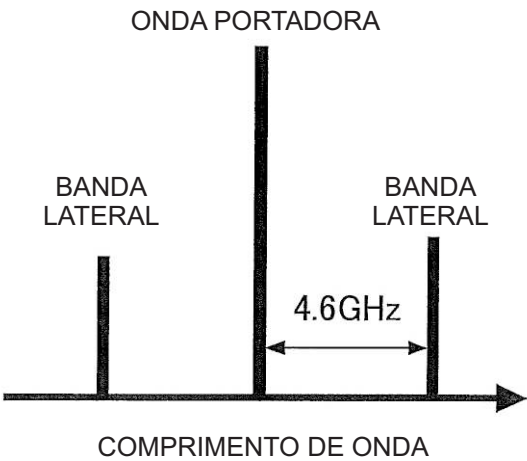


FIGURA 23

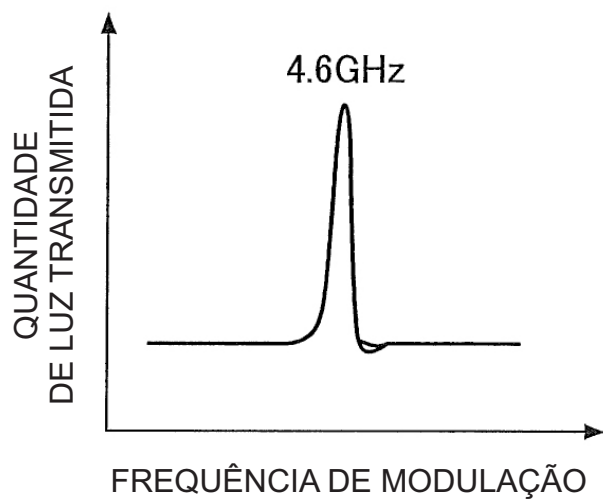


FIGURA 24