

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6828920号
(P6828920)

(45) 発行日 令和3年2月10日(2021.2.10)

(24) 登録日 令和3年1月25日(2021.1.25)

(51) Int.Cl. F I
 HO 1 K 1/14 (2006.01) HO 1 K 1/14
 GO 1 N 21/01 (2006.01) GO 1 N 21/01 D
 HO 1 K 1/08 (2006.01) HO 1 K 1/08

請求項の数 16 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2019-509427 (P2019-509427)	(73) 特許権者	504182255 国立大学法人横浜国立大学 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号
(86) (22) 出願日	平成30年3月30日(2018.3.30)	(74) 代理人	110000523 アクシス国際特許業務法人
(86) 国際出願番号	PCT/JP2018/013970	(72) 発明者	西島 喜明 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内
(87) 国際公開番号	W02018/182013	(72) 発明者	長沼 伸 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79番1号 国立大学法人横浜国立大学内
(87) 国際公開日	平成30年10月4日(2018.10.4)	審査官	藤本 加代子
審査請求日	令和2年3月3日(2020.3.3)		
(31) 優先権主張番号	特願2017-71512 (P2017-71512)		
(32) 優先日	平成29年3月31日(2017.3.31)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 加熱式光源

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

熱源から伝達する熱に応じて加熱され、表面プラズモン共鳴に基づいて可視光帯域よりも長波長の特定波長で増強された光線を放射する放射部を備え、

前記放射部は、

開口が2次元状に周期的に配列された金属層、及び/又は、金属島部又は金属粒子の2次元配列を含む金属構造層と、

前記金属構造層よりも熱源側に配される誘電体層と、

前記金属構造層との間で前記誘電体層を挟むように設けられるベース金属層を含み、

前記ベース金属層により熱源側からの放射の少なくとも一部が遮断される、加熱式光源

10

【請求項2】

前記ベース金属層の厚みが、200nm以上である、請求項1に記載の加熱式光源。

【請求項3】

前記誘電体層の厚みが、100nm以下である、請求項1又は2に記載の加熱式光源。

【請求項4】

前記金属構造層の厚みが、100nm以下である、請求項1乃至3のいずれか一項に記載の加熱式光源。

【請求項5】

前記金属構造層及び前記ベース金属層が、銀、金、銅、クロム、アルミニウム、及び鉄

20

から成る群から選択される金属を含む、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の加熱式光源。

【請求項 6】

前記誘電体層と前記金属構造層の間に配される第 1 金属中間層を更に備える、請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の加熱式光源。

【請求項 7】

前記第 1 金属中間層の厚みが、5 nm 以下である、請求項 6 に記載の加熱式光源。

【請求項 8】

前記ベース金属層と前記誘電体層の間に配される第 2 金属中間層を更に備える、請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の加熱式光源。

10

【請求項 9】

前記第 2 金属中間層の厚みが、5 nm 以下である、請求項 8 に記載の加熱式光源。

【請求項 10】

前記第 1 金属中間層が、クロム、チタン、及びニッケルから成る群から選択される金属を含む、請求項 6 又は 7 に記載の加熱式光源。

【請求項 11】

前記第 2 金属中間層が、クロム、チタン、及びニッケルから成る群から選択される金属を含む、請求項 8 又は 9 に記載の加熱式光源。

【請求項 12】

前記放射部が積層され、前記放射部よりも熱源側に配される支持基板を更に備える、請求項 1 乃至 11 のいずれか一項に記載の加熱式光源。

20

【請求項 13】

前記支持基板は、シリコン基板、サファイア基板、及びガラス基板から成る群から選択される基板を含む、請求項 12 に記載の加熱式光源。

【請求項 14】

通電に応じて発熱するシート状の加熱部を有する熱源を更に備える、請求項 1 乃至 13 のいずれか一項に記載の加熱式光源。

【請求項 15】

動作温度が 300 以上である、請求項 1 乃至 14 のいずれか一項に記載の加熱式光源。

30

【請求項 16】

前記特定波長が 2 μm よりも長い、請求項 1 乃至 15 のいずれか一項に記載の加熱式光源。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、加熱式光源に関する。

【背景技術】

【0002】

物体、例えば、黒体の熱輻射では幅広い波長帯域の光線（エネルギー線と呼んでも良い）が放射される。特許文献 1 は、ヒータからの放射光線を波長フィルタにより選択的に取り出す場合、波長フィルタの製造が煩雑であり、また出力エネルギーも低いという課題を述べている（特許文献 1 の段落 0019 参照）。なお、当業者が理解するように、物体の熱輻射の一部をフィルタリングすることは、フィルタを透過する特定波長以外の波長の生成のために消費された熱エネルギーの損失を意味する。特許文献 1 は、そのような課題を述べるに続いて、構造が簡単であり、広い分野に応用することができる、特定波長の赤外線を放出する赤外光源にニーズがあると述べる（特許文献 1 の段落 0020 参照）。特許文献 1 は、その請求項 1 に記載のように、周期 P、幅 T、深さ D、及び角度 θ といったパラメータにより特定される格子を活用した加熱式光源を開示する。特許文献 2 は、キャピティブ共鳴に関し、アスペクト比を大きくするために深穴の加工を目指す技術を開示す

40

50

る。特許文献2の場合、深穴の形成のために厚い第1金属層が要求される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特許第4214178号公報

【特許文献2】特開2014-53088号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

より簡単な製造技術の利用を促進することができ、またピーク波長以外の波長成分（換言すれば、バックグラウンドの波長成分）が低減された加熱式光源を提供することに意義がある。

10

【課題を解決するための手段】

【0005】

本開示の一態様に係る加熱式光源は、熱源から伝達する熱に応じて加熱され、表面プラズモン共鳴に基づいて可視光帯域よりも長波長の特定波長で増強された光線を放射する放射部を備え、

前記放射部は、

開口が2次元状に周期的に配列された金属層、及び/又は、金属島部又は金属粒子の2次元配列を含む金属構造層と、

20

前記金属構造層よりも熱源側に配される誘電体層と、

前記金属構造層との間で前記誘電体層を挟むように設けられるベース金属層を含み、

前記ベース金属層により熱源側からの放射の少なくとも一部が遮断される。

【0006】

幾つかの実施形態においては、前記ベース金属層の厚みが、200nm以上である。

【0007】

幾つかの実施形態においては、前記誘電体層の厚みが、100nm以下である。

【0008】

幾つかの実施形態においては、前記金属構造層の厚みが、100nm以下である。

【0009】

幾つかの実施形態においては、前記金属構造層及び前記ベース金属層が、銀、金、銅、クロム、アルミニウム、及び鉄から成る群から選択される金属を含む。

30

【0010】

幾つかの実施形態においては、前記誘電体層と前記金属構造層の間に配される第1金属中間層を更に備える。

【0011】

幾つかの実施形態においては、前記第1金属中間層の厚みが、5nm以下である。

【0012】

幾つかの実施形態においては、前記ベース金属層と前記誘電体層の間に配される第2金属中間層を更に備える。

40

【0013】

幾つかの実施形態においては、前記第2金属中間層の厚みが、5nm以下である。

【0014】

幾つかの実施形態においては、前記第1又は第2金属中間層が、クロム、チタン、及びニッケルから成る群から選択される金属を含む。

【0015】

幾つかの実施形態においては、前記放射部が積層され、前記放射部よりも熱源側に配される支持基板を更に備える。

【0016】

幾つかの実施形態においては、前記支持基板は、シリコン基板、サファイア基板、及び

50

ガラス基板から成る群から選択される基板を含む。

【0017】

幾つかの実施形態においては、通電に応じて発熱するシート状の加熱部を有する熱源を更に備える。

【0018】

幾つかの実施形態においては、動作温度が300以上である。

【0019】

幾つかの実施形態においては、前記特定波長が2 μmよりも長い。

【0020】

本開示の一態様に係る加熱式光源の製造方法は、
熱源から伝達する熱に応じて加熱され、表面プラズモン共鳴に基づいて可視光帯域よりも長波長の特定波長で増強された光線を放射する放射部を支持基板上に積層する工程と、前記支持基板を熱源に対して接続する工程を含み、
前記放射部を支持基板上に積層する工程は、
前記支持基板上にベース金属層を積層する工程と、
前記ベース金属層上に誘電体層を積層する工程と、
前記誘電体層上に金属構造層を積層する工程にして、前記金属構造層は、開口が2次元状に周期的に配列された金属層、及び/又は、金属島部又は金属粒子の2次元配列を含む、工程を含む。

10

【0021】

幾つかの実施形態においては、前記誘電体層上に第1金属中間層を積層する工程を更に備え、

前記第1金属中間層上に前記金属構造層が積層される。

20

【0022】

幾つかの実施形態においては、前記ベース金属層上に第2金属中間層を積層する工程を更に備え、

前記第2金属中間層上に前記誘電体層が積層される。

【発明の効果】

【0023】

本開示の一態様によれば、より簡単な製造技術の利用を促進することができ、またピーク波長以外の波長成分（換言すれば、バックグラウンドの波長成分）が低減された加熱式光源を提供することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本開示の一態様に係る加熱式光源の概略的な断面構造を示す図であり、金属構造層がメタルホールアレイの場合を示す。

【図2】本開示の一態様に係る加熱式光源の概略的な断面構造を示す図であり、金属構造層がナノディスクアレイの場合を示す。

【図3】本開示の一態様に係る加熱式光源のメタルホールアレイの上面を示すSEM写真である。

40

【図4】本開示の一態様に係る加熱式光源のナノディスクアレイの上面を示すSEM写真である。

【図5】ベース金属層の厚みとその透過率の関係を示すチャートである。

【図6】ベース金属層の厚みと金属構造層の吸収率の関係を示すチャートである。

【図7】図1に示した非限定の一例の加熱式光源の非限定の一例の放射スペクトル波形を示す図である。横軸が波長(μm)を示し、縦軸が放射率(%)を示す。

【図8】図2に示した非限定の一例の加熱式光源の非限定の一例の放射スペクトル波形を示す図である。

【図9】第1参考例に係る加熱式光源の概略的な断面構造を示す図であり、金属構造層がメタルホールアレイの場合を示す。

50

【図10】第2参考例に係る加熱式光源の概略的な断面構造を示す図であり、金属構造層がナノディスクアレイの場合を示す。

【図11】図9に示した非限定の一例の加熱式光源の非限定の一例の放射スペクトル波形を示す図である。

【図12】図10に示した非限定の一例の加熱式光源の非限定の一例の放射スペクトル波形を示す図である。

【図13】透過反射特性を示す参考図であり、上側がメタルホールアレイの金属構造層の単体の透過及び反射スペクトル波形を示し、下側が、メタルホールアレイの金属構造層/誘電体層/ベース金属層の積層体の透過及び反射スペクトル波形を示す。横軸が波長(μm)を示し、左の第1の縦軸が反射率(%)を示し、右の第2の縦軸が透過率(%)を示す。

10

【図14】本開示の一態様に係る加熱式光源の概略的な断面構造を示す図であり、追加的にキャップ層が設けられた場合を示す。

【図15】シリコン基板上にメタルホールアレイを積層した素子を加熱して観察した透過スペクトル波形を示す図である。横軸が波長(μm)を示し、縦軸が透過率(%)を示す。

【図16】シリコン基板上にメタルホールアレイを積層し、更に、キャップ層として二酸化シリコンを積層した素子を加熱して観察した透過スペクトル波形を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

20

以下、図1乃至図16を参照しつつ、本発明の非限定の実施形態例について説明する。開示の1以上の実施形態例及び実施形態例に含まれる各特徴は、個々に独立したものではない。当業者は、過剰説明を要せず、各実施形態例及び/又は各特徴を組み合わせることができる。また、当業者は、この組み合わせによる相乗効果も理解可能である。実施形態例間の重複説明は、原則的に省略する。参照図面は、発明の記述を主たる目的とするものであり、作図の便宜のために簡略化されている場合がある。

【0026】

以下に記述において、ある加熱式光源及び/又は加熱式光源の製造方法に関して記述される各特徴が、他の特徴との組み合わせとして理解される他、他の特徴とは独立した個別の特徴として理解される。個別の特徴の組み合わせの全てを記述することは当業者には冗長である他なく、省略される。個別の特徴は、「幾つかの実施形態」、「幾つかの場合」、「幾つかの例」といった表現により明示される。個別の特徴は、例えば、図面に開示された加熱式光源及び/又は加熱式光源の製造方法にのみ有効であるものではなく、他の様々な加熱式光源及び/又は加熱式光源の製造方法にも通用する普遍的な特徴として理解される。

30

【0027】

図1は、本開示の一態様に係る加熱式光源の概略的な断面構造を示す図であり、金属構造層がメタルホールアレイの場合を示す。図2は、本開示の一態様に係る加熱式光源の概略的な断面構造を示す図であり、金属構造層がナノディスクアレイの場合を示す。図3は、本開示の一態様に係る加熱式光源のメタルホールアレイの上面を示すSEM写真である。図4は、本開示の一態様に係る加熱式光源のナノディスクアレイの上面を示すSEM写真である。

40

【0028】

図1及び図2に示す加熱式光源5は、熱源10から伝達する熱に応じて加熱され、表面プラズモン共鳴に基づいて可視光帯域よりも長波長の特定波長で増強された光線を放射する放射部7を有する。なお、可視光帯域は、例えば、360nm~830nmである。放射部7は、少なくとも、金属構造層16、誘電体層14、及びベース金属層12を含む。放射部7は、オプションとして、第1金属中間層15と、第2金属中間層13を更に含む。加熱式光源5は、オプションとして、放射部7が積層される支持基板11と、支持基板11に対して熱的に接続され、また支持基板11が貼り合わされる加熱部を有する熱源1

50

0を含む。

【0029】

図示例を含む幾つかの場合、熱源10の加熱部上に支持基板11が積層され、支持基板11上にベース金属層12が積層され、ベース金属層12上に第2金属中間層13が積層され、第2金属中間層13上に誘電体層14が積層され、誘電体層14上に第1金属中間層15が積層され、第1金属中間層15上に金属構造層16が積層される。金属構造層16は、幾つかの場合、加熱式光源5において熱源10から最も離れて配置されるが、必ずしもこの限りではない。ここで述べた積層順番が、幾つかの層の省略又は追加又は統合に応じて変更され得る。

【0030】

加熱式光源5は、様々な分野において活用が見込まれ、例えば、二酸化炭素といったガス検出の分野において光源として用いられ得る。加熱式光源5は、他の様々な光学素子、例えば、レンズ、光学フィルタ、偏光ビームスプリッタ、反射ミラーと組み合わせられて用いられ得る。加熱式光源5は、様々な種類の受光素子と組み合わせられて用いられ得る。加熱式光源5が、適切にパッケージされ、小型な光源として様々な機器に実装され得る。

【0031】

金属構造層16は、開口が2次元状に周期的に配列された金属層、及び/又は、金属島部又は金属粒子の2次元配列を含む又はから構成される。図1及び図3の図示例を含む幾つかの場合、金属構造層16が、開口OP16が2次元状に周期的に配列された金属層を含む又はから構成される。このような開口OP16が形成された金属層が、メタルホールアレイと呼ばれる。図2及び図4の図示例を含む幾つかの場合、金属構造層16が、金属島部LD16の2次元配列を含む又はから構成される。なお、幾つかの場合、金属島部LD16は、金属粒子により置換される。金属島部又は金属粒子の2次元配列が、ナノディスクアレイと呼ばれる。同一の金属構造層16が、メタルホールアレイとナノディスクアレイの両方を有する形態も想定される。一つの放射光ピークのために一定の開口径の開口OP16が形成され、又は複数の放射光ピークのために複数の開口径の開口OP16が形成され得る。一つの放射光ピークのために一定幅又は径の金属島部又は粒子が設けられ、又は複数の放射光ピークのために複数の幅又は径の金属島部又は粒子が設けられ得る。

【0032】

放射部7は、幾つかの場合、金属構造層16よりも熱源10側に配される誘電体層14を更に含む。放射部7は、幾つかの場合、金属構造層16との間で誘電体層14を挟むように設けられるベース金属層12を含む。幾つかの実施形態においては、ベース金属層12により熱源10側からの放射の少なくとも一部が遮断される。これにより、ピーク波長以外の波長成分(換言すれば、バックグラウンドの波長成分)が低減され、放射光線のピークがより明確になる。

【0033】

幾つかの実施形態においては、金属構造層16及びベース金属層12が、銀(Ag)、金(Au)、銅(Cu)、クロム(Cr)、アルミニウム(Al)、及び鉄(Fe)から成る群から選択される金属を含む。この場合、表面プラズモン共鳴がより確実に生じる。誘電体層14は、幾つかの場合、二酸化シリコン(SiO₂)である。ベース金属層12、誘電体層14、及び金属構造層16は、蒸着、CVD、PVD、コーティング、フォトリソグラフィといった様々な半導体製造技術により形成され得る。

【0034】

金属構造層16のパターニングは、半導体製造技術、特にフォトリソグラフィを利用して行われ得る。例えば、第1金属中間層15上にレジスト層を形成し、フォトリソグラフィによりレジスト層に2次元状の島部の配列を形成する。次に、第1金属中間層15上に金属構造層16の金属を真空蒸着し、第1金属中間層15上及びレジスト層の島部上に金属構造層16の金属を堆積させる。続いて、リフトオフによりレジスト層の島部、及びこの島部上の金属構造層16も除去する。このようにして開口OP16が2次元状に周期的に配列された金属層、すなわち、メタルホールアレイが構築される。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 5 】

幾つかの場合、第1金属中間層15にも2次元状に周期的に配列された開口が形成される。第1金属中間層15の使用量が削減される。例えば、次のような製造方法が採用される。誘電体層14上にレジスト層を形成し、フォトリソグラフィによりレジスト層に2次元状の島部の配列を形成する。次に、誘電体層14上に第1金属中間層15の金属を真空蒸着し、続いて、金属構造層16の金属を真空蒸着する。誘電体層14上及びレジスト層の島部上に第1金属中間層15及び金属構造層16の金属が堆積する。続いて、リフトオフによりレジスト層の島部を除去し、レジスト層の島部上の第1金属中間層15と金属構造層16も除去する。このようにして誘電体層14上にパターンニングされた第1金属中間層15及び金属構造層16が積層される。メタルホールアレイの開口は、金属構造層16及び第1金属中間層15を貫通する貫通孔であり得る。

10

【 0 0 3 6 】

ナノディスクアレイに関しては、例えば、次の製造方法が採用される。第1金属中間層15上にレジスト層を形成し、フォトリソグラフィによりレジスト層に2次元状の開口の配列を形成する。次に、金属構造層16の金属を真空蒸着し、レジスト層上及びレジスト層の開口に金属が堆積する。続いて、レジスト層及びレジスト層上の金属層を除去し、これにより、金属島部LD16の2次元配列、すなわち、ナノディスクアレイが構築される。

【 0 0 3 7 】

幾つかの場合、第1金属中間層15は、金属島部の2次元配列から構成される。第1金属中間層15の使用量が削減される。例えば、次のような製造方法が採用される。誘電体層14上にレジスト層を形成し、フォトリソグラフィによりレジスト層に2次元状の開口の配列を形成する。次に、第1金属中間層15の金属を真空蒸着し、続いて金属構造層16の金属を真空蒸着する。レジスト層上及びレジスト層の開口に第1金属中間層15及び金属構造層16の金属が堆積する。続いて、レジスト層及びレジスト層上の金属層を除去し、これにより、誘電体層14上にパターンニングされた第1金属中間層15及び金属構造層16が積層される。誘電体層14上には、第1金属中間層15の金属層の島部と金属構造層16の金属層の島部の積層体から成る島部が2次元状に配列される。

20

【 0 0 3 8 】

幾つかの場合、誘電体層14は、開口が2次元状に周期的に配列された誘電体層、又は誘電体島部の2次元配列を含む又はから構成される。金属島部の代替又は追加として金属粒子が用いられる場合、金属粒子は、第1金属中間層15上に形成された絶縁層の穴部に配置され得る。絶縁層の穴部は、エッチングといった半導体プロセス技術により高精度に形成され得る。金属粒子を含む溶液のスピコート及び溶媒の揮発といった追加のプロセスを経て、金属粒子の2次元配置が達成され得る。

30

【 0 0 3 9 】

加熱式光源5の動作に関しては、熱源10から放射部7に熱が伝達し、放射部7が加熱される。すなわち、放射部7のベース金属層12、誘電体層14、及び金属構造層16が加熱される。金属構造層16においては、その開口OP16の周期性、及び/又は、その金属島部LD16の幅又は粒子径に依存して特定波長の放射を増強する表面プラズモン共鳴が生じる。誘電体層14を介して積層された金属構造層16とベース金属層12における(誘電体と金属の接触に起因する)高められた電場のために表面プラズモン共鳴が増強され、結果として、特定波長におけるピークが高められる。熱源10側から放射される光線の少なくとも一部がベース金属層12により遮断される。ベース金属層12が表面プラズモン共鳴の増強に加えて、熱源10側から到来する光線の透過を抑制するシールド層として機能する。このようにして、ピーク波長以外の波長成分が低減された加熱式光源5が提供される。なお、当業者が理解するように、上述の加熱式光源は、既存の製造技術、例えば、半導体プロセス技術に依拠して製造でき、より簡単な製造技術の利用を促進するものである。

40

【 0 0 4 0 】

50

ベース金属層12によって熱源10側から到来する光線の透過が遮断されるため、加熱式光源5から放射される光線は、放射部7、特に金属構造層16から放射された光線を主に含むことが予想される。なお、ベース金属層12によって熱源10側から到来する光線の透過が完全に遮断されないことが実証されている。ベース金属層12によって熱源10側から到来する光線の全てが遮断されないことが許容される。

【0041】

幾つかの場合、金属構造層16とベース金属層12の間隔は、10nm以上、及び/又は、100nm以下である。

【0042】

幾つかの場合、ベース金属層12の厚みが、200nm以上である。熱源10側から到来する光線を十分に遮断することができる。ベース金属層12の厚みは、400nm以下であり得る。幾つかの場合、ベース金属層12が、パターンニングされていないベタ層であり得る。ベタ層は、一定厚の非パターンニング層を意味する。幾つかの場合、ベース金属層12は、金属箔又は金属基板であり得る。

【0043】

ベース金属層12の光線の透過率は、ベース金属層12の厚みの増加に応じて指数関数的に減少することがシミュレーションにより分かっている。ベース金属層12の厚みが200nm以上の時、ベース金属層12の透過光に関して、光学濃度(OD(Optical Density)値) > 8 を満足し、熱源10側から到来する光線がベース金属層12を透過することが十分に阻止される。

【0044】

図5は、ベース金属層の厚みとその透過率の関係を示すチャートである。このチャートは、FDTD計算シミュレーションにより求められる。FDTD計算シミュレーションは、ベース金属層の厚みに関する透過率を求める計算モデルであり、プラズモン共鳴が生じる3~5 μm の波長を用いた。なお、ベース金属層は、金(Au)層である。図5の縦軸(Arb. unit)について、1.0が100%に対応する。図5に示すように、ベース金属層12の厚みの増加に応じてベース金属層12の光線の透過率が指数関数的に減少する。なお、図5の縦軸が対数軸(Arb. unit)であり、従って、図5において直線関数上又はその近傍に計算値がプロットされる。図5の破線L6は、OD=8に対応する透過率を示す。図5は、ベース金属層12の厚みが0nm~400nmの範囲の計算結果を示すが、ベース金属層12の厚みが400nm以上の範囲でも同様の計算結果が得られることが予測される。ベース金属層12の厚みの上限値は、例えば、400nmである。ベース金属層12の厚みが400nm以下の場合、ベース金属層12の成膜時間が短縮され、及び/又は、放射部7の厚みの増加が回避される。

【0045】

幾つかの実施形態では、ベース金属層12の厚みは、200nm以上である。ベース金属層12の厚みが200nm以上の場合、金属構造層16による光線の吸収率が高められることがシミュレーションにより分かっている。金属構造層16による光線の吸収率が高められることは、金属構造層16の放射効率(換言すれば、表面プラズモン共鳴に基づいて可視光帯域よりも長波長の特定波長で増強された光線の生成効率)が高められることを意味する。

【0046】

図6は、ベース金属層の厚みと金属構造層の吸収率の関係を示すチャートである。このチャートは、FDTD計算シミュレーションにより求められる。FDTD計算シミュレーションは、ベース金属層の厚みに関する吸収率を求める計算モデルであり、図3の右下のメタルホールアレイに関して行ったものである。シミュレーションに用いた波長は、約3.7 μm である。なお、ベース金属層は、金(Au)層である。図6の縦軸(Arb. unit)について、1.0が100%に対応する。図6に示すように、ベース金属層12の厚みの増加に応じて金属構造層16による光線の吸収率が変化する。端的には、ベース金属層12の厚みが200nm以下の範囲では、ベース金属層12の厚みの増加に応じて金属構

10

20

30

40

50

造層 16 の吸収率が増加する。ベース金属層 12 の厚みが 200 nm 以上の範囲では、金属構造層 16 における光線の吸収率が飽和して一定になる。ベース金属層 12 の厚みが 200 nm 以上の時、金属構造層 16 による光線の吸収率が高く、従って、金属構造層 16 の放射効率が高くなる。ベース金属層 12 の厚みの上限値は、例えば、400 nm である。ベース金属層 12 の厚みが 400 nm 以下の場合、ベース金属層 12 の成膜時間が短縮され、及び/又は、放射部 7 の厚みの増加が回避される。

【0047】

幾つかの場合、誘電体層 14 の厚みが、10 nm 以上、及び/又は、100 nm 以下である。また、金属構造層 16 の厚みが、100 nm 以下である。

【0048】

上述したように、幾つかの場合、加熱式光源 5（及び/又は放射部 7）は、誘電体層 14 と金属構造層 16 の間に配される第 1 金属中間層 15 を更に備える。また、幾つかの場合、加熱式光源 5（及び/又は放射部 7）は、ベース金属層 12 と誘電体層 14 の間に配される第 2 金属中間層 13 を更に備える。各金属中間層は、金属構造層 16 又はベース金属層 12 の金属と誘電体層 14 の密着性を確保するために設けられ得る。代替的又は追加的に、各金属中間層は、金属構造層 16 又はベース金属層 12 の金属と誘電体層 14 の合金化を抑制するために設けられ得る。各金属中間層が別の目的のために設けられることも予期される。

【0049】

各金属中間層は、幾つかの場合、クロム（Cr）、チタン（Ti）、及びニッケル（Ni）から成る群から選択される金属を含む。各金属中間層は、蒸着、CVD、PVD、コーティングといった様々な薄膜形成技術を活用して成膜され得る。各金属中間層は、ベタ層である必要はなく、上述したように金属構造層 16 と同様に又は異なるようにパターンニングされ得る。

【0050】

幾つかの場合、第 1 金属中間層 15 の厚みが 5 nm 以下である。幾つかの場合、第 2 金属中間層 13 の厚みが 5 nm 以下である。金属中間層 13、15 がこの程度の厚みの場合、表面プラズモン共鳴への影響が十分に低減される。

【0051】

幾つかの場合、ベース金属層 12 が放射部 7 の支持基板として機能し得る。代替的又は追加的に、放射部 7 が支持基板 11 上に積層される。幾つかの場合、加熱式光源 5 は、放射部 7 が積層され、放射部 7 よりも熱源 10 側に配される支持基板 11 を有する。幾つかの場合、支持基板 11 は、シリコン基板、サファイア基板、及びガラス基板から成る群から選択される基板を含む。支持基板 11 上において放射部 7 の積層構造を構築することは、既存の確立した半導体プロセス技術に即したものであるが、これ以外の製造方法が採用される場合もあろう。支持基板 11 は、熱源 10 により加熱され、広い帯域において放射し得る。上述のベース金属層 12 による光線の透過の遮断により、加熱式光源 5 の出力として得られる放射スペクトル波形に支持基板 11 の放射が影響することが抑制される。

【0052】

幾つかの場合、加熱式光源 5 は、通電に応じて発熱するシート状の加熱部を有する熱源 10 を有する。熱源 10 は、例えば、セラミックヒーターであり得る。支持基板 11 とセラミックヒーターの加熱部を貼り合わせることにより加熱式光源 5 が製造され得る。支持基板 11 と熱源の加熱部が、グリースを介して密着し、良好な熱伝達が確保され得る。熱源 10 は、半導体加熱素子であり得る。半導体加熱素子は、高抵抗性の薄膜を有し、通電により薄膜が広帯域の放射線を放射する。薄膜から放射される放射線が、空気又は真空といった媒体を伝播し、支持基板 11 を介して又は介することなく放射部 7 に到達する。放射部 7 は、放射線を吸収し、加熱される。

【0053】

図 7 は、図 1 に示した非限定の一例の加熱式光源の非限定の一例の放射スペクトル波形を示す図である。図 8 は、図 2 に示した非限定の一例の加熱式光源の非限定の一例の放射

10

20

30

40

50

スペクトル波形を示す図である。図7及び図8は、加熱式光源5を300まで加熱し、加熱式光源5が定常状態となった時の加熱式光源5の放射光線をフーリエ変換赤外分光光度計(F T I R)を用いて観測したものである。なお、より正確には、図7は、第1金属中間層15に開口がパターンニングされた図1の加熱式光源の放射スペクトル波形を示す。また、より正確には、図8は、第1金属中間層15が島状にパターンニングされた図2の加熱式光源の放射スペクトル波形を示す。

【0054】

図7においては、 $1.32\ \mu\text{m}$ 、 $1.40\ \mu\text{m}$ 、 $1.48\ \mu\text{m}$ 、 $1.56\ \mu\text{m}$ の各周期で開口径 0.66 、 0.7 、 0.74 、 $0.78\ \mu\text{m}$ の開口OP16が形成された金属構造層16を備える加熱式光源5の放射スペクトル波形を示す。幾つかの場合、開口OP16の開口径は、開口OP16の周期の $1/2$ である。周期をパラメーターとして放射スペクトル波形におけるピークの波長が変化することが見て分かる。このピーク波長が、本明細書に記述の特定波長であり、又は上述の特定波長を含むものと理解される。

10

【0055】

図8においては、 $1.32\ \mu\text{m}$ 、 $1.40\ \mu\text{m}$ 、 $1.48\ \mu\text{m}$ 、 $1.56\ \mu\text{m}$ の各周期で直径 0.66 、 0.7 、 0.74 、 $0.78\ \mu\text{m}$ の金属島部LD16が形成された金属構造層16を備える加熱式光源5の放射スペクトル波形を示す。幾つかの場合、金属島部LD16の直径は、金属島部LD16の周期の $1/2$ である。周期をパラメーターとして放射スペクトル波形におけるピークの波長が変化することが見て分かる。

【0056】

図7及び図8において共通して見られる点として、ピークが属する波長帯以外の波長の光線の強度が低いことである。すなわち、矢印BGで示すバックグラウンド成分の放射が抑制されている。上述した、ベース金属層12が表面プラズモン共鳴の増強に加えて、熱源10側から到来する光線の透過を抑制するシールド層として機能することの結果であるものと考えられる。図7及び図8の比較から分かるように、金属構造層16がメタルホールアレイとして構成される場合のほうが、金属構造層16がナノディスクアレイとして構成される場合よりもピークの急峻性が高い。理論的な裏付けは行っていないが、実験により予期しない結果が得られた。

20

【0057】

なお、図7及び図8の対象の加熱式光源5においては、ベース金属層12としては200nm厚のAu層が用いられ、各金属中間層13、15として5nm厚のCr層が用いられ、誘電体層14として10nm厚のSiO₂層が用いられ、金属構造層16として50nm厚のAu層が用いられた。しかしながら、ベース金属層12、金属中間層13、15、誘電体層14、金属構造層16として、別の元素又は材料が用いられ、また、同様の結果が得られることが当然に予期される。図7及び図8或いは本段落で記述の特定の実施形態に関する記述が、何らの限定として用いられるべきものではないことに留意されたい。

30

【0058】

上述したバックグラウンドの抑制の効果の顕著性を示すべく、図9乃至図12を参照して参考例について記述する。図9は、第1参考例に係る加熱式光源の概略的な断面構造を示す図であり、金属構造層がメタルホールアレイの場合を示す。図10は、第2参考例に係る加熱式光源の概略的な断面構造を示す図であり、金属構造層がナノディスクアレイの場合を示す。図11は、図9に示した非限定の一例の加熱式光源の非限定の一例の放射スペクトル波形を示す図である。図12は、図10に示した非限定の一例の加熱式光源の非限定の一例の放射スペクトル波形を示す図である。

40

【0059】

図9及び図10の加熱式光源3においては、熱源20上にシリコン基板21が積層され、シリコン基板21上にCr層(金属中間層)が積層され、Cr層上にAu層のメタルホールアレイ23又はナノディスクアレイ24が積層される。図9のメタルホールアレイは、図1のメタルホールアレイと同様、開口が周期的に形成され、プラズモン共鳴により特定波長の放射を増強する。図10のナノディスクアレイは、図2のナノディスクアレイと

50

同様、金属島部が2次元状に配列され、プラズモン共鳴により特定波長の放射を増強する。

【0060】

図11及び図12で示すバックグラウンド成分は、図7及び図8で示すバックグラウンド成分よりも大きく、図12では、ピークの形成自体に影響を与えている。

【0061】

なお、図9及び図10におけるCr層は、5nm厚であり、メタルホールアレイ23又はナノディスクアレイ24のAu層が50nm厚みである。

【0062】

図13は、放射部の透過及び反射特性を示す参考図であり、上側がメタルホールアレイの金属構造層の単体の透過及び反射スペクトル波形を示し、下側が、メタルホールアレイの金属構造層/誘電体層/ベース金属層の積層体の透過及び反射スペクトル波形を示す。波長可変光源と、広帯域受光素子を用いて、透過及び反射特性を評価した。

【0063】

上側のスペクトル波形は、メタルホールアレイ単体の透過性及び反射性を示す。下側のスペクトル波形は、上記したベース金属層12、誘電体層14、及び金属構造層16の組み合わせを含む放射部7の透過性及び反射性を示す。上側及び下側スペクトル波形において、金属構造層16の開口OP16の周期性による吸収ピークの存在が反射スペクトルから理解できる。下側スペクトル波形から、ベース金属層12によってほぼ光の透過が遮断されることが分かる。このように加熱式光源5の反射及び透過スペクトル波形から上記した放射部7の構造の存在が裏付けられ得る。

【0064】

幾つの場合、加熱式光源5の動作温度が300以上である。加熱式光源5の動作温度を高めることによりピーク強度をより高めることができる。幾つの場合、特定波長が2μmよりも長い。中赤外線は、二酸化炭素といった様々な種類のガス検出又はガス分析に有用であり、他の代替の安価な光源の提供が未だに実現できていない。例えば、カスケードレーザー素子は高価である。

【0065】

図14は、本開示の一態様に係る加熱式光源の概略的な断面構造を示す図であり、追加的にキャップ層が設けられた場合を示す。図14に示すように、金属構造層16上にキャップ層17が積層され得る。キャップ層17は、二酸化シリコン、酸化チタン、酸化亜鉛、酸化ジルコニア、酸化アルミ、セラミックといった少なくとも中赤外線に対して十分な透過性を持つ誘電体であり得る。キャップ層17によって加熱式光源5の耐熱性が著しく高められる。

【0066】

図15は、シリコン基板上にメタルホールアレイを積層した素子を加熱し、その透過スペクトルを観察したものであり、500において素子が破壊した。図16は、シリコン基板上にメタルホールアレイを積層し、更に、キャップ層として二酸化シリコンを積層した素子を加熱し、その透過スペクトルを観察したものであり、700までの耐熱性を確認できた。このような実験結果から、図14のようなメタルホールアレイ上にキャップ層17を形成すること、或いは、ナノディスクアレイ上にキャップ層17を形成することにより加熱式光源5の耐熱性が高められることが確かめられた。なお、透過のピーク性が維持されることから、放射のピーク性も維持されることが理解される。キャップ層17上に屈折率分布型レンズ層を設けることも予期される。

【0067】

幾つの場合、キャップ層17上に追加の1以上のメタルホールアレイの金属構造層が設けられる。

【0068】

加熱式光源5の製造は、様々な方法により行われ得る。例えば、次の製造方法が採用可能であろう。

10

20

30

40

50

加熱式光源 5 の製造方法は、
熱源から伝達する熱に応じて加熱され、表面プラズモン共鳴に基づいて可視光帯域よりも長波長の特定波長で増強された光線を放射する放射部を支持基板上に積層する工程と、支持基板を熱源に対して接続する工程を含む。

放射部を支持基板上に積層する工程は、
支持基板上にベース金属層を積層する工程と、
ベース金属層上に誘電体層を積層する工程と、
誘電体層上に金属構造層を積層する工程を含む。なお、金属構造層は、開口が 2 次元状に周期的に配列された金属層、及び / 又は、金属島部又は金属粒子の 2 次元配列を含む。

【 0 0 6 9 】

幾つかの場合、加熱式光源 5 の製造方法は、誘電体層上に第 1 金属中間層を積層する工程を更に備え、第 1 金属中間層上に前記金属構造層が積層される。

【 0 0 7 0 】

幾つかの場合、加熱式光源 5 の製造方法は、ベース金属層上に第 2 金属中間層を積層する工程を更に備え、前記第 2 金属中間層上に前記誘電体層が積層される。

【 0 0 7 1 】

加熱式光源 5 に関して上述した個々の特徴が、加熱式光源 5 の製造方法にも同様に通用する。

【 0 0 7 2 】

上述の教示を踏まえると、当業者をすれば、各実施形態に対して様々な変更を加えることができる。請求の範囲に盛り込まれた符号は、参考のためであり、請求の範囲を限定解釈する目的で参照されるべきものではない。

【符号の説明】

【 0 0 7 3 】

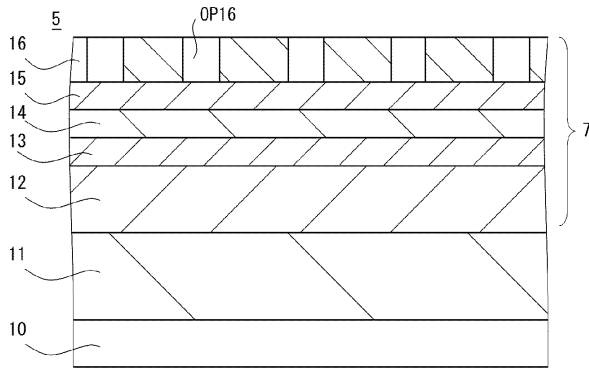
5	加熱式光源
7	放射部
1 0	熱源
1 1	支持基板
1 2	ベース金属層
1 3	第 2 金属中間層
1 4	誘電体層
1 5	第 1 金属中間層
1 6	金属構造層
1 7	キャップ層

10

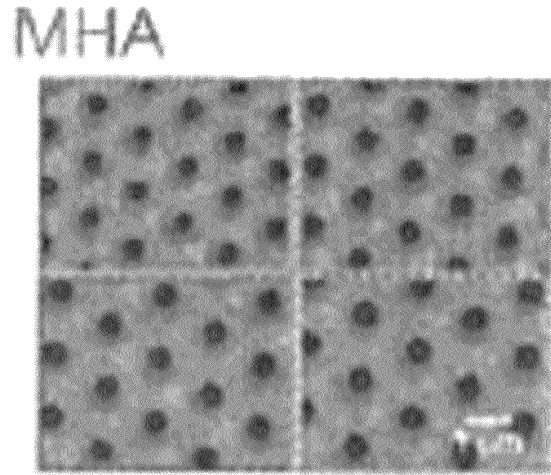
20

30

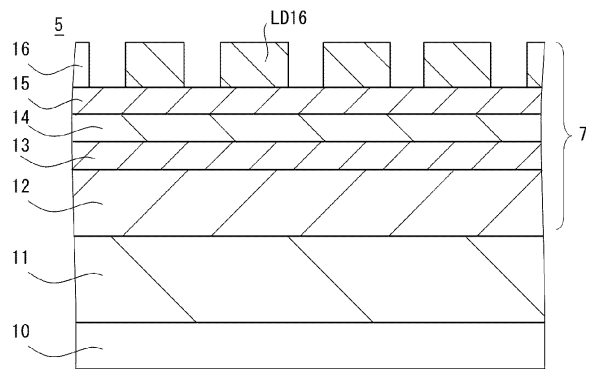
【図1】



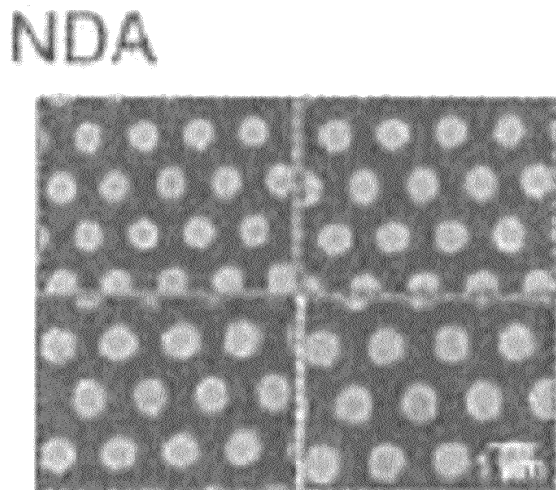
【図3】



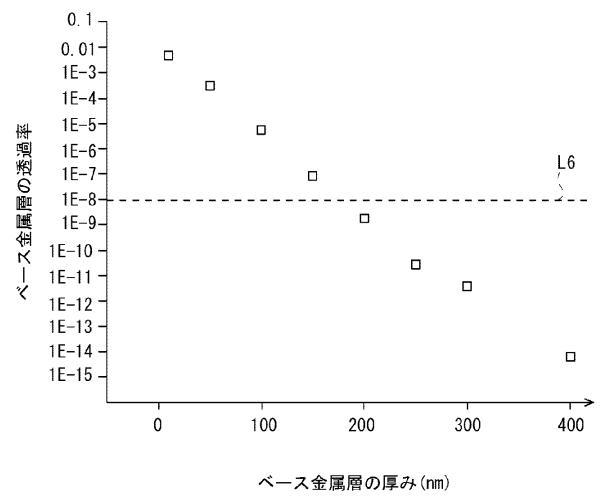
【図2】



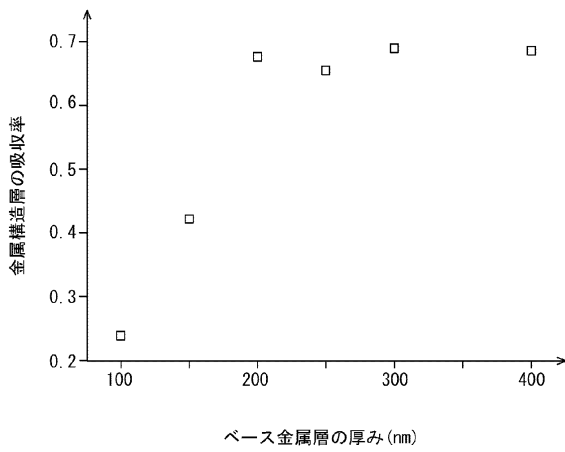
【図4】



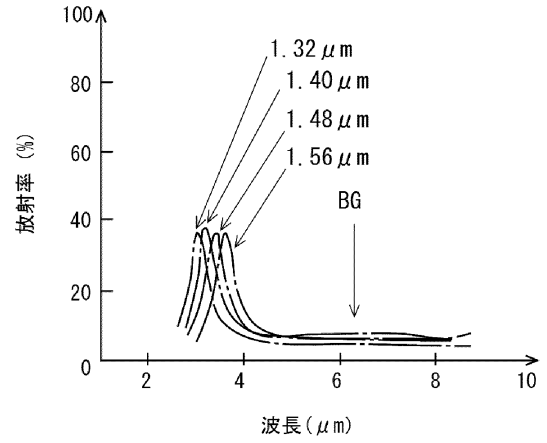
【図5】



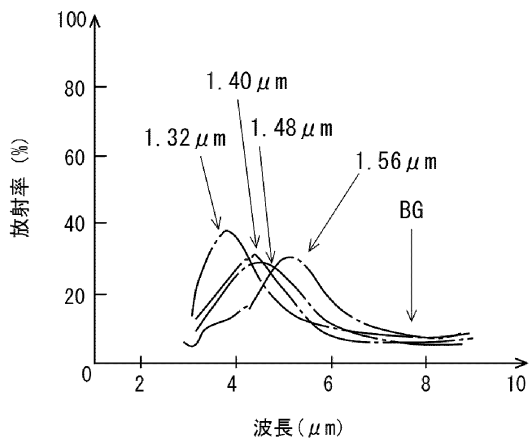
【図6】



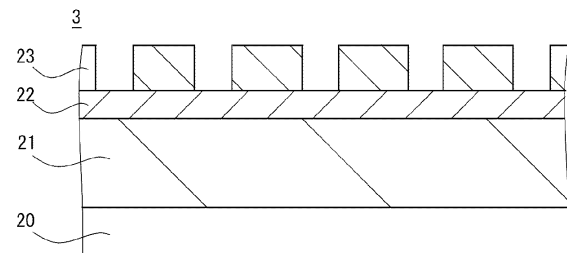
【図7】



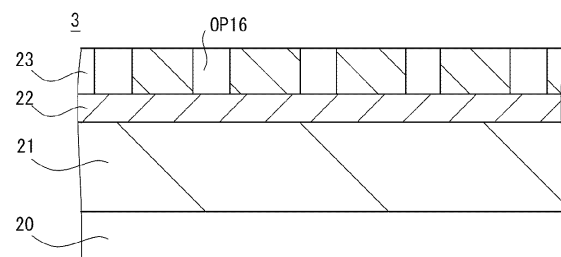
【図8】



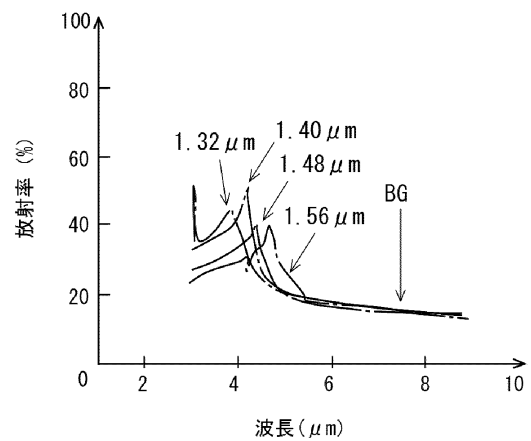
【図10】



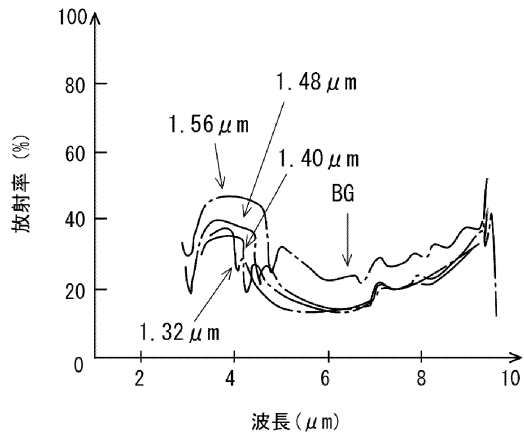
【図9】



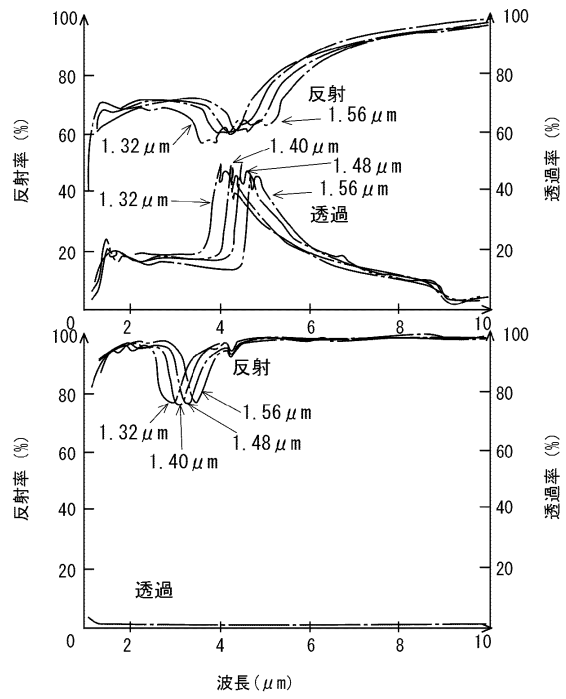
【図11】



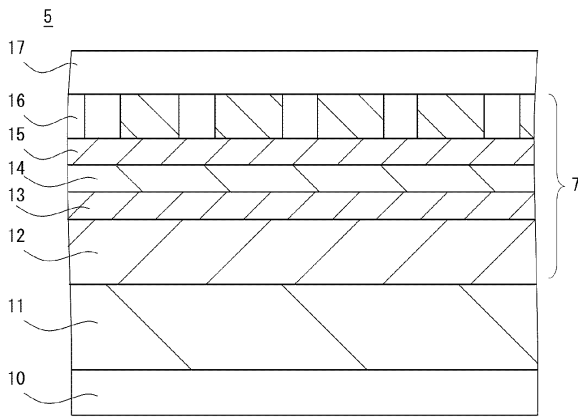
【図 1 2】



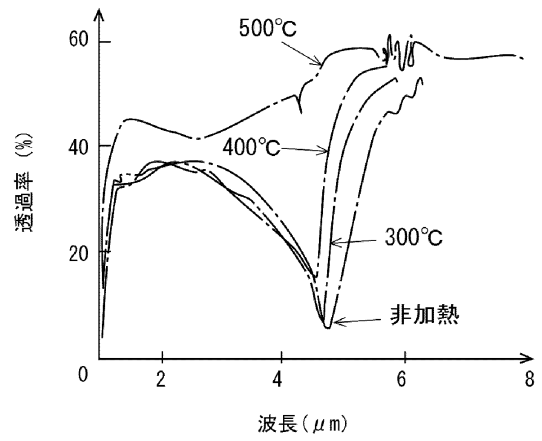
【図 1 3】



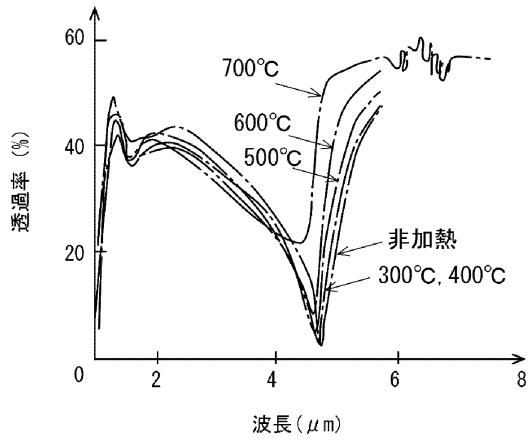
【図 1 4】



【図 1 5】



【 図 16 】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2007/139022(WO, A1)

特開2013-167496(JP, A)

特開2014-123476(JP, A)

特開2012-83335(JP, A)

特開2005-19317(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01K 1/14

G01N 21/01

H01K 1/08

H01K 1/18

H01K 1/20

H05B 3/10

JSTPlus(JDreamIII)