

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-178498

(P2013-178498A)

(43) 公開日 平成25年9月9日(2013.9.9)

(51) Int.Cl.
G02B 26/00 (2006.01)F1
G02B 26/00テーマコード(参考)
2H141

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2013-13308 (P2013-13308)
 (22) 出願日 平成25年1月28日(2013.1.28)
 (31) 優先権主張番号 特願2012-24619 (P2012-24619)
 (32) 優先日 平成24年2月8日(2012.2.8)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 304028346
 国立大学法人 香川大学
 香川県高松市幸町1番1号
 (71) 出願人 504237050
 独立行政法人国立高等専門学校機構
 東京都八王子市東浅川町701番2
 (74) 代理人 100089222
 弁理士 山内 康伸
 (74) 代理人 100134979
 弁理士 中井 博
 (74) 代理人 100175400
 弁理士 山内 伸
 (72) 発明者 山口 堅三
 香川県高松市林町2217番地20 国立
 大学法人香川大学工学部内

最終頁に続く

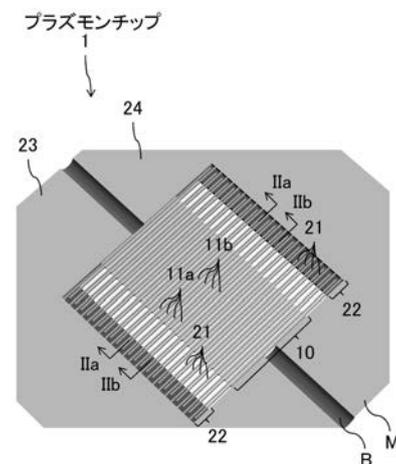
(54) 【発明の名称】 プラズモンチップ

(57) 【要約】

【課題】1つのチップでプラズモン共鳴波長を変更できるプラズモンチップを提供する。

【解決手段】複数本の金属梁11(11a、11b)からなるグレーチング部10と、一端が金属梁11の先端に接続されたサスペンション梁21と、サスペンション梁21の他端を固定するアンカー部22と、一对の電極23、24とを備えており、グレーチング部10は、一方の電極23に接続された金属梁11aと、他方の電極24に接続された金属梁11bとが、交互に所定間隔を開けて平行に配列されて構成されている。一对の電極23、24間に電圧を印加すれば、その金属梁11の間に働く静電引力により、金属梁11同士を接近させることができる。グレーチング部10のギャップを変化させることができ、1つのチップでプラズモン共鳴波長を変更できる。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

所定間隔を開けて平行に配列された複数本の金属梁からなるグレーチング部と、前記金属梁同士を接近および/または離間させるアクチュエータと、を備えることを特徴とするプラズモンチップ。

【請求項 2】

前記アクチュエータは、隣り合う前記金属梁にそれぞれ逆符号および/または同符号の電荷を帯電させ、該金属梁の間に働く静電引力および/または静電斥力により、該金属梁同士を接近および/または離間させるものであることを特徴とする請求項 1 記載のプラズモンチップ。

10

【請求項 3】

前記アクチュエータは、一対の電極を備えており、前記グレーチング部は、一方の前記電極に接続された金属梁と、他方の前記電極に接続された金属梁とが、交互に所定間隔を開けて平行に配列されて構成されていることを特徴とする請求項 2 記載のプラズモンチップ。

【請求項 4】

前記アクチュエータは、一端が前記金属梁の先端に接続されたサスペンション梁と、該サスペンション梁の他端を固定するアンカー部と、を備えていることを特徴とする請求項 3 記載のプラズモンチップ。

20

【請求項 5】

前記サスペンション梁は、隣り合う組となる金属梁間のギャップ側に偏って該金属梁の先端に接続されていることを特徴とする請求項 4 記載のプラズモンチップ。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、プラズモンチップに関する。さらに詳しくは、金属中の自由電子の集団的振動であるプラズモンを利用した、光学フィルタやセンサなどとして用いられるプラズモンチップに関する。

30

【背景技術】**【0002】**

光の波長程度またはそれ以下の金属微細構造物に光を照射すると局在プラズモン共鳴が生じ、特定の波長の光が透過または反射されることが知られている。また、金属微細構造物の寸法や形状、構造に依存して、透過または反射される光の波長が異なることも知られている。例えば、非特許文献 1 には、金属微小球対において、様々な微小球間距離における光吸収効率を求めており、微小球間距離が小さくなるにしたがってプラズモン共鳴波長が長波長側にシフトしていくことが記載されている。

【0003】

一方、近年の微細加工技術の発達に伴い、金属微細構造を高精度で加工することが可能となっており、所望のプラズモン共鳴波長を有するチップを得ることが可能となっている。

40

しかし、従来のチップは、その金属微細構造が固定されており、1つのチップは特定のプラズモン共鳴波長しか有しないものであった(例えば、特許文献 1)。すなわち、1つのチップが透過または反射する光の波長は固定されていた。そのため、透過または反射させる光の波長を変更するためには、チップを交換する必要があった。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0004】**

【特許文献 1】 特開 2010 - 8990 号公報

50

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】岡本隆之、梶川浩太郎著、「プラズモニクス 基礎と応用」講談社、2010年10月1日発行、p.100~101

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明は上記事情に鑑み、1つのチップでプラズモン共鳴波長を変更できるプラズモンチップを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

第1発明のプラズモンチップは、所定間隔を開けて平行に配列された複数本の金属梁からなるグレーチング部と、前記金属梁同士を接近および/または離間させるアクチュエータと、を備えることを特徴とする。

第2発明のプラズモンチップは、第1発明において、前記アクチュエータは、隣り合う前記金属梁にそれぞれ逆符号および/または同符号の電荷を帯電させ、該金属梁の間に働く静電引力および/または静電斥力により、該金属梁同士を接近および/または離間させるものであることを特徴とする。

第3発明のプラズモンチップは、第2発明において、前記アクチュエータは、一对の電極を備えており、前記グレーチング部は、一方の前記電極に接続された金属梁と、他方の前記電極に接続された金属梁とが、交互に所定間隔を開けて平行に配列されて構成されていることを特徴とする。

第4発明のプラズモンチップは、第3発明において、前記アクチュエータは、一端が前記金属梁の先端に接続されたサスペンション梁と、該サスペンション梁の他端を固定するアンカー部と、を備えていることを特徴とする。

第5発明のプラズモンチップは、第4発明において、前記サスペンション梁は、隣り合う組となる金属梁間のギャップ側に偏って該金属梁の先端に接続されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

第1発明によれば、アクチュエータにより金属梁同士を接近および/または離間させるので、グレーチング部のギャップを変化させることができ、1つのチップでプラズモン共鳴波長を変更できる。

第2発明によれば、隣り合う金属梁の間に働く静電引力および/または静電斥力により、金属梁同士を接近および/または離間させるので、アクチュエータを簡易な構造とすることができる。

第3発明によれば、一对の電極間に電圧を印加すれば、隣り合う金属梁にそれぞれ逆符号および/または同符号の電荷を帯電させることができるので、その金属梁の間に働く静電引力および/または静電斥力により、金属梁同士を接近させることができる。

第4発明によれば、金属梁は、その先端に接続されたサスペンション梁で固定されているので、サスペンション梁の弾性力により、隣り合う金属梁の間に働く静電引力の大きさを変化させることで金属梁間のギャップを調整できる。

第5発明によれば、サスペンション梁は、隣り合う組となる金属梁間のギャップ側に偏って金属梁の先端に接続されているので、組となる金属梁の間は、そのうちの一の金属梁と隣の組に属する一の金属梁との間に比べて、サスペンション梁の長さ寸法分だけ接近して対向する部分の長さが長くなる。そのため、組となる金属梁の間に働く静電引力は、そのうちの一の金属梁と隣の組に属する一の金属梁との間に働く静電引力に比べて大きくなり、組となる金属梁同士を接近させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

10

20

30

40

50

【図 1】本発明の一実施形態に係るプラズモンチップの斜視図である。

【図 2】(a) 図 1 における IIa-IIa 線矢視断面図、(b) 図 1 における IIb-IIb 線矢視断面図である。

【図 3】同プラズモンチップの平面図であって、(a) は電圧を印加していない状態、(b) は電圧を印加した状態を示す図である。

【図 4】同プラズモンチップの斜視図であって、光が反射または透過した状態を示す図である。

【図 5】他の実施形態に係るプラズモンチップの平面図である。

【図 6】さらに他の実施形態に係るプラズモンチップの平面図である。

【図 7】試料の走査型電子顕微鏡写真であり、(a) は遠景写真、(b) はグレーチング部の拡大写真、(c) はグレーチング部のさらなる拡大写真、(d) サスペンション梁の拡大写真である。

【図 8】透過型顕微分光光学系の説明図である。

【図 9】試料の透過光のスペクトルを示すグラフである。

【図 10】数値計算 1、2 におけるプラズモンチップの構造の説明図である。

【図 11】数値計算 1 により算出されたプラズモンチップの (a) 透過光および (b) 反射光の、波長 400nm ~ 700nm の領域のスペクトルを示すグラフである。なお、(Gv、Gf) の単位は nm である。

【図 12】プラズモンチップに (a) 共鳴波長の光を入射した場合、および (b) 非共鳴波長の光を入射した場合における電界強度分布である。

【図 13】数値計算 2 により算出されたプラズモンチップの (a) 透過光および (b) 反射光の、波長 1,100nm ~ 2,000nm の領域のスペクトルを示すグラフである。なお、(Gv、Gf) の単位は nm である。

【図 14】数値計算 3 におけるプラズモンチップの構造の説明図である。

【図 15】数値計算 3 により算出されたプラズモンチップの (a) 透過光および (b) 反射光の、波長 400nm ~ 2,400nm の領域のスペクトルを示すグラフである。なお、(Gv、Gf) の単位は nm である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

つぎに、本発明の実施形態を図面に基づき説明する。

本発明の一実施形態に係るプラズモンチップ 1 は、基板 B 上に厚さ数十 nm ~ 数百 nm の金属薄膜 M を成膜したチップを、集束イオンビームなどにより図 1 および図 2 に示す構造に形成した、いわゆる NEMS (Nano Electro Mechanical System) である。ここで、金属薄膜 M としては、金、銀、アルミニウム、白金、銅、ナトリウムなどが用いられる。

【0011】

図 1 に示すように、プラズモンチップ 1 は、所定間隔を開けて平行に配列された複数本の金属梁 11 (11a、11b) からなるグレーチング部 10 と、一端が金属梁 11 の先端に接続されたサスペンション梁 21 と、サスペンション梁 21 の他端を固定するアンカー部 22 と、一对の電極 23、24 とから構成されている。なお、サスペンション梁 21、アンカー部 22、および電極 23、24 が、特許請求の範囲に記載のアクチュエータに相当する。

【0012】

金属梁 11 は、金属薄膜 M で棒状に形成された微細金属梁である。その幅寸法は数百 nm であり、光の波長程度またはそれ以下 (以下、サブ波長という。) である。また、長さ寸法は数 μm ~ 数十 μm である。

この金属梁 11 が数本 ~ 数百本、所定間隔を開けて平行に配列されてグレーチング部 10 が構成されている。ここで、隣り合う金属梁 11 間のギャップは数百 nm であり、サブ波長である。

【0013】

サスペンション梁 21 は、金属薄膜 M で金属梁 11 より幅狭の棒状に形成されている。

10

20

30

40

50

また、サスペンション梁 2 1 と金属梁 1 1 とは、少なくとも金属薄膜 M が繋がっており、互いに電氣的に接続されている。

【 0 0 1 4 】

図 2 に示すように、基板 B は、金属梁 1 1 およびサスペンション梁 2 1 の部分が、他の部分例えば電極 2 3、2 4 の部分より薄く形成されている。基板 B は基層 b 1 および表層 b 2 からなる 2 層構造であり、金属梁 1 1 およびサスペンション梁 2 1 の部分の基層 b 1 をエッチングにより除去した後、表層 b 2 上に金属薄膜 M を成膜してパターニングすることで、このような形状に形成される。

ここで、基層 b 1 は厚さ 100 μm 程度のシリコンウエハなどが用いられる。また、表層 b 2 は窒化珪素 (Si_3N_4)、炭化珪素 (SiC)、二酸化珪素 (SiO_2)、酸化アルミニウム (Al_2O_3) などの絶縁体により厚さ 100nm 程度に形成されている。

10

【 0 0 1 5 】

アンカー部 2 2 は、基板 B によりサスペンション梁 2 1 の先端を固定し、かつ隣り合うサスペンション梁 2 1、2 1 同士を絶縁している。また、一本の金属梁 1 1 につき、その両端に一对のサスペンション梁 2 1、2 1 が接続されており、そのうちの一方のサスペンション梁 2 1 は電極 2 3 または電極 2 4 に接続され、他方のサスペンション梁 2 1 は電極 2 3、2 4 と絶縁されている。すなわち、金属梁 1 1 は、サスペンション梁 2 1 を介して電極 2 3 または電極 2 4 の一方に電氣的に接続されている。また、一方の電極 2 3 に接続された金属梁 1 1 a と、他方の電極 2 4 に接続された金属梁 1 1 b とが、一本ずつ交互に所定間隔を開けて平行に配列されている。そして、隣り合う金属梁 1 1 および隣り合うサスペンション梁 2 1 は互いに離間しており、それぞれ電極 2 3、2 4 間に掛け渡されている。

20

【 0 0 1 6 】

電極 2 3、2 4 は、グレーチング部 1 0 を挟んで対向した位置に配置されており、それぞれ数十 μm ~ 数百 μm 四方の矩形である。もちろん、電極 2 3 と電極 2 4 の間は金属薄膜 M が削られており絶縁されている。この電極 2 3、2 4 には、図示しない電源が接続され、電極 2 3、2 4 間に電圧を印加できるようになっている。

【 0 0 1 7 】

図 3 (a) に示すように、サスペンション梁 2 1 は、その中心軸が金属梁 1 1 (1 1 a、1 1 a'、1 1 a''、1 1 b、1 1 b'、1 1 b'') の中心軸とは一致しておらず、幅方向のどちらか一方に偏って金属梁 1 1 に接続されている。

30

より詳細には、電極 2 3 に接続された金属梁 1 1 a、1 1 a'、1 1 a'' と、電極 2 4 に接続された金属梁 1 1 b、1 1 b'、1 1 b'' のうち、隣り合う金属梁 1 1 a、1 1 b (1 1 a'、1 1 b') (1 1 a''、1 1 b'') を組とすると、サスペンション梁 2 1 はその組となる金属梁 1 1 a、1 1 b (1 1 a'、1 1 b') (1 1 a''、1 1 b'') の間のギャップ側に偏って金属梁 1 1 の先端に接続されている。図 3 (a) においては、金属梁 1 1 a、1 1 a'、1 1 a'' に接続されたサスペンション梁 2 1 は右側に偏っており、金属梁 1 1 b、1 1 b'、1 1 b'' に接続されたサスペンション梁 2 1 は左側に偏っている。

そのため、組となる金属梁 1 1 a、1 1 b の間は、そのうちの一の金属梁 1 1 a (1 1 b) と隣の組に属する一の金属梁 1 1 b' (1 1 a'') との間に比べて、サスペンション梁 2 1 の長さ寸法分だけ接近して対向する部分の長さが長くなっている。

40

【 0 0 1 8 】

そこで、例えば図 3 (b) に示すように、電極 2 3 を正極とし、電極 2 4 を負極として、電極 2 3、2 4 間に電圧を印加すると、正極 2 3 に接続された金属梁 1 1 a およびサスペンション梁 2 1 には正電荷が帯電し、負極 2 4 に接続された金属梁 1 1 b およびサスペンション梁 2 1 には負電荷が帯電する。そうすると、隣り合う金属梁 1 1 a、1 1 b にそれぞれ逆符号の電荷を帯電させることができ、その金属梁 1 1 a、1 1 b の間に働く静電引力により、金属梁 1 1 a、1 1 b 同士を接近させることができる。

【 0 0 1 9 】

ここで、属する組が異なる金属梁 1 1 a、1 1 b' (1 1 b、1 1 a'') の間にも静電

50

引力が働く。しかし、組となる金属梁 11 a、11 b の間の方が接近して対向する部分の長さが長くなっているため、組となる金属梁 11 a、11 b の間に働く静電引力の方が大きくなる。そのため、組となる金属梁 11 a、11 b 同士を接近させることができる。

【0020】

また、金属梁 11 は、その先端に接続されたサスペンション梁 21 で固定されているので、サスペンション梁 21 の弾性力により、隣り合う金属梁 11 a、11 b の間に働く静電引力の大きさを変化させることで金属梁 11 a、11 b 間のギャップを調整できる。すなわち、印加する電圧を調整することにより、金属梁 11 a、11 b 間のギャップを調整できる。そして、印加電圧を 0 にすれば、金属梁 11 a、11 b 間のギャップを元に戻すことができる。

10

【0021】

前述のごとく、金属梁 11 の幅寸法はサブ波長であり、隣り合う金属梁 11 間のギャップもサブ波長である。このように、グレーチング部 10 は微細な周期構造を有するので、光を照射すると局在プラズモン共鳴が生じ、図 4 に示すように特定の波長の光 L が透過または反射される。

【0022】

また、プラズモンチップ 1 は、隣り合う金属梁 11 間のギャップを自在に変化させることができるので、グレーチング部 10 の周期構造を変化させることができ、1 つのチップでプラズモン共鳴波長を自在に変更できる。

20

【0023】

また、プラズモンチップ 1 は、隣り合う金属梁 11 の間に働く静電引力により、金属梁 11 間のギャップを変化させるので、アクチュエータを簡易な構造とすることができる。しかも、アクチュエータを含めたチップ全体を NEMS として形成しているので、スケージングメリットを活かした低電圧駆動や高速応答、高いフィルファクタが実現可能である。

【0024】

(その他の実施形態)

上記実施形態では、サスペンション梁 21 が幅方向のどちらか一方に偏って金属梁 11 の先端に接続しているが、図 5 に示すように、サスペンション梁 21 の中心軸を金属梁 11 の中心軸と一致させて金属梁 11 の先端に接続してもよい。このような構造でも、組となる金属梁 11 a、11 b 間のギャップを、そのうちの一の金属梁 11 a (11 b) と隣の組に属する一の金属梁 11 b' (11 a'') との間のギャップに比べて狭く形成すれば、組となる金属梁 11 a、11 b の間に働く静電引力が大きくなるので、組となる金属梁 11 a、11 b 同士を接近させることができる。

30

【0025】

また、図 6 に示すように、一方の電極 23 に接続された金属梁 11 a (11 b', 11 b'') と、他方の電極 24 に接続された金属梁 11 b (11 a', 11 a'') とが、2 本ずつ交互に配列された構造としてもよい。このような構造にすれば、組となる金属梁 11 a、11 b には、それぞれ逆符号の電荷が帯電し静電引力が働く。一方、一の金属梁 11 a (11 b) と隣の組に属する一の金属梁 11 b' (11 a'') には、それぞれ同符号の電荷が帯電し静電斥力が働く。そのため、金属梁 11 を等間隔に配列したとしても、一の金属梁 11 a (11 b) と隣の組に属する一の金属梁 11 b' (11 a'') とを離間させるとともに、組となる金属梁 11 a、11 b を接近させることができる。

40

【0026】

また、金属梁 11 a、11 b 同士を接近離間させるアクチュエータとしては、隣り合う金属梁 11 間に働く静電引力や静電斥力を利用したもの以外にも、グレーチング部 10 を圧縮および/または伸長させる外力を働かせ、金属梁 11 a、11 b 同士を接近および/または離間させるアクチュエータを採用してもよい。

【0027】

また、上記実施形態では、金属梁 11 の両端にサスペンション梁 21 が接続されているが、サスペンション梁 21 を設けず、金属梁 11 の両端を直接アンカー部 22 に固定して

50

もよい。このような構成でも金属梁 1 1 の弾性力により、金属梁 1 1 a、1 1 b 間のギャップを調整できる。ただし、サスペンション梁 2 1 を設けたほうが、より金属梁 1 1 a、1 1 b の間隔が変化しやすく、可変領域も広くなるので好ましい。

【実施例】

【0028】

つぎに、実施例について説明する。

(試料試験)

まず、図 1 に示すプラズモンチップ 1 に相当する試料を作成した。

始めに、イオンビームスパッタを用いて、 10^{-5} Pa の真空条件下で、基層として厚さ 100 μm のシリコンウエハおよび表層として厚さ 100nm の窒化珪素 (Si_3N_4) からなる基板の上に厚さ 300nm の金薄膜を成膜した。つぎに、集束イオンビームを用いて、図 1 に示すプラズモンチップ 1 の構造を作製した。ここで、金属梁 1 1 の幅寸法、および隣り合う金属梁 1 1 間のギャップを、それぞれ 400nm とした。また組となる金属梁 1 1 a、1 1 b を 2 2 組形成した。また、電極 2 3、2 4 を 100 μm 四方の矩形に形成した。

【0029】

図 7 に、作成した試料を走査型電子顕微鏡で確認した結果を示す。

図 7 に示すように、所望の構造、寸法を有するプラズモンチップを得ることができた。

【0030】

つぎに、図 8 に示す透過型顕微分光光学系を用いて、作成した試料に光を照射し、その透過光を観測した。

より詳細には、顕微鏡下に試料を配置し、TM 偏光保持したハロゲン光を明視野系において照射した。そして、試料の透過光を紫外可視マルチチャンネル分光器により観測した。ここで、試料の電極 2 3、2 4 間には、ファンクションジェネレータを用いて 1V 刻みで 1V ~ 10V の電圧を印加した。

【0031】

図 9 に、上記透過型顕微分光光学系を用いて観測した試料の透過光のスペクトルを示す。

図 9 に示すように、波長 420nm から 510nm の領域において共鳴ピークが得られることが分かった。この共鳴ピークは、印加電圧が大きくなる（金属梁間のギャップが小さくなる）に従い長波長側へ最大 100nm 程度シフトすることが分かった。

【0032】

(数値計算 1)

つぎに、2次元有限差分時間領域法を用いた数値計算によりプラズモンチップの光学特性を評価した。

図 10 に示すように、数値計算におけるプラズモンチップの構造を、厚さ 100nm の窒化珪素 (Si_3N_4) の基板の上に厚さ 300nm の金薄膜が形成された構造とした。ここで、金の誘電率として、A. D. Rakic らの実験データ (Rakic, A. D., Djurisic, A.

B., Elazar, J. M. & Majewski, M. L. Optical Properties of Metallic Films

for Vertical-Cavity Optoelectronic Devices. Appl. Opt. 37, 5271-5283 (1998)) を

ドルーデ・ローレンツモデルで表現したものを用いた。また、波長 619.9nm のときの窒化珪素 (Si_3N_4) の誘電率を、実部 4.08、虚部 0.00 とした。また、金属梁の幅寸法 M_w を 400nm とし、組となる金属梁を 2 2 組とした。また、金属梁間のギャップ幅として、組となる金属梁間のギャップ幅を可変ギャップ G_v とし、組と組の間のギャップ幅を固定ギャップ G_f とした。

【0033】

プラズモンチップの金薄膜側から TM 偏光させた光を入射させた。入射光の偏光方向は金属梁の幅方向 (x 方向) とした。この入射光のスポット径 (半値幅) は、金属梁の幅方向 (x 方向) に 11.6 μm 、金属梁の長手方向 (y 方向) に無限とした。

そして、可変ギャップ G_v を 400nm ~ 0nm の間で 40nm 間隔で変化させるとともに、固定ギャップ G_f を 800nm - G_v とし、それぞれの条件におけるプラズモンチップの透過光および反射

10

20

30

40

50

光のスペクトルを遠方解により算出した。

なお、2次元有限差分時間領域法におけるメッシュ間隔は、金属梁の幅方向(x方向)および金属梁の厚み方向(z方向)にそれぞれ10nmとした。

【0034】

図11に、数値計算により算出したプラズモンチップの透過光および反射光のスペクトルを示す。

図11(a)に示すように、波長500nmから650nmの領域の透過光スペクトルにおいて共鳴ピークが得られた。この共鳴ピークは、可変ギャップGvが小さくなる(印加電圧が大きくなることに相当する)に従い長波長側へシフトすることが分かった(図11(b)参照)。

以上のように、試料試験と数値計算の双方において、共鳴ピークのレッドシフトが確認された。

【0035】

つぎに、可変ギャップGvが200nm、固定ギャップGfが600nmの場合において、共鳴波長583.10nmの光(図11(b)における)を入射した場合、および非共鳴波長482.56nmの光(図11(b)における)を入射した場合における電界強度分布を数値計算により求めた。

図12(a)に共鳴波長の光を入射した場合の電界強度分布、図12(b)に非共鳴波長の光を入射した場合の電界強度分布を示す。なお、スケールバーは電界強度を示し、黒色はその最小値を、白色はその最大値を表す。また、電界強度分布内で示す白矢印は、ある瞬間における電気力線の方向を示す。

【0036】

図12(a)に示すように、共鳴波長の光を入射した場合には、金属端、固定ギャップGf側の側面、および金属-基板界面に大きな電界増強が見られた。また、電気力線が金属表面へ垂直に生じていることから、金属表面において電荷の粗密波が形成され、表面プラズモンが励起されていることが分かる。また、金属界面にて、電気力線が密になることから、金属端において強い電場増強を形成したことが裏付けられる。

【0037】

一方、図12(b)に示すように、非共鳴波長の光を入射した場合には、金属界面に大きな電界増強は見られなかった。しかし、電気力線が金属表面へ垂直に生じており、共鳴波長から外れても弱い光共鳴を持ったと考えられる。ただし、金属内への光吸収が少しでもあれば、非共鳴波長でも光共鳴を有することは想像される。

【0038】

以上より、試料試験および数値計算において確認された共鳴ピークはプラズモン共鳴ピークであることが確認された。これにより、プラズモン共鳴ピークのレッドシフトが確認された。そして、本発明に係るプラズモンチップが1つのチップでプラズモン共鳴波長を変更できることが明らかとなった。

なお、試料試験と数値計算において、透過光スペクトルに若干の違いが見られるが、これは、試料における金属梁の角の削れや、金属梁やギャップの若干のばらつきに起因すると考えられる。

【0039】

(数値計算2)

上記2次元有限差分時間領域法を用いた数値計算1において、可変ギャップGvを400nm~0nmの間で40nm間隔で変化させるとともに、固定ギャップGfを800nm-Gvとして、それぞれの条件におけるプラズモンチップの透過光スペクトルおよび反射光スペクトルの赤外領域(波長1,100nm~2,000nm)を算出した。その余の条件は、数値計算1と同様である。

【0040】

その結果、図13に示すように、透過光スペクトルおよび反射光スペクトル共に、波長1,700nm~1,900nmの領域において、Q値の高い共鳴ピークが現れることが分かった。しかも、この共鳴ピークは可変ギャップGvが小さくなるに従い短波長側へシフトすることが分

10

20

30

40

50

かった。なお、この共鳴ピークはWood's anomalyという異常回折であることが考えられる。

以上より、本発明に係るプラズモンチップは、異常回折による共鳴ピークも変更できることが明らかとなった。

【0041】

(数値計算3)

図14に示すように、上記2次元有限差分時間領域法を用いた数値計算1において、入射光の偏光方向を金属梁の長手方向(y方向)とし、可変ギャップGvを400nm~0nmの間で40nm間隔で変化させるとともに、固定ギャップGfを800nm-Gvとして、それぞれの条件におけるプラズモンチップの透過光スペクトルおよび反射光スペクトルを算出した。その余の条件は、数値計算1と同様である。

10

【0042】

その結果、図15(a)に示すように、透過光スペクトルにおいては、可変ギャップGvが小さくなるに従い波長1,600nm付近の領域にピークが表れ、透過率が約0%から約65%まで上昇することが確認された。また、図15(b)に示すように、反射光スペクトルにおいては、可変ギャップGvが大きくなるに従い波長1,000nm~1,600nmの領域の反射率が約10%から約90%まで上昇することが確認された。

【0043】

以上より、本発明に係るプラズモンチップは、特定波長の光の透過および反射のオン・オフを制御可能であり、光シャッタとして利用できることが確認された。なお、数値計算3における構造のプラズモンチップ(図14参照)では、光ファイバーなどで用いられる光通信波長帯である1,260~1,625nmの領域の光の制御が可能である。構造条件や金属の種類を選択することで、その他の波長領域の光を制御可能にすることもできる。

20

【産業上の利用可能性】

【0044】

本発明に係るプラズモンチップは、光学フィルタ、光波数変調器、レーザー、センサ、光シャッタ、ナノ光集積回路中のフィルタや、導波路、スイッチなどに利用される。

本プラズモンチップは、光学フィルタとして利用した場合、1つのチップで透過光または反射光の色を変更できる。また、構造条件と金属の種類を適切に選択することで、紫外可視光領域から赤外光領域まで幅広い波長帯域においてフィルタが可能となる。

30

また、光波数変調器として利用した場合、1つのチップで任意の変調を行うことができる。

また、センサとして利用した場合、金属梁のギャップ間隔に依存する電場増強効果を利用することができる。

また、光シャッタとして利用した場合、特定波長の光の透過および反射のオン・オフを制御可能である。

また、ナノ光集積回路に用いた場合、エレクトロニクスと同等またはそれ以上の高速周波数応答が予想される。特に、赤外領域のQ値の高い共鳴ピークはスイッチに利用することができる。なお、表面プラズモンは、光の回折限界以下の領域に光エネルギーを閉じ込めることから、光デバイスをCMOS回路と同サイズに小型化する要素技術として利用でき、また単一試料での共鳴ピーク波長の可変が可能であることから更なる高集積・高性能化が可能となる。

40

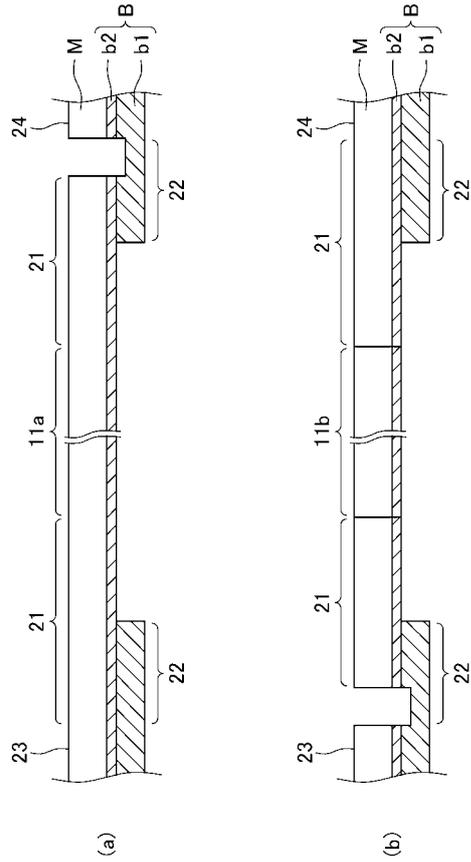
【符号の説明】

【0045】

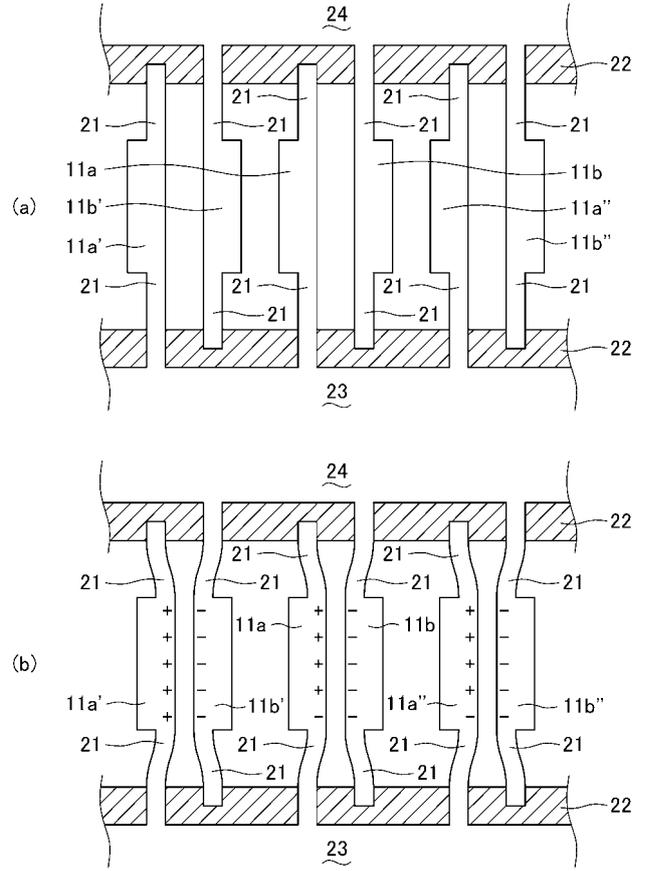
- 1 プラズモンチップ
- 10 グレーチング部
- 11 (11a、11b) 金属梁
- 21 サスペンション梁
- 22 アンカー部
- 23、24 電極

50

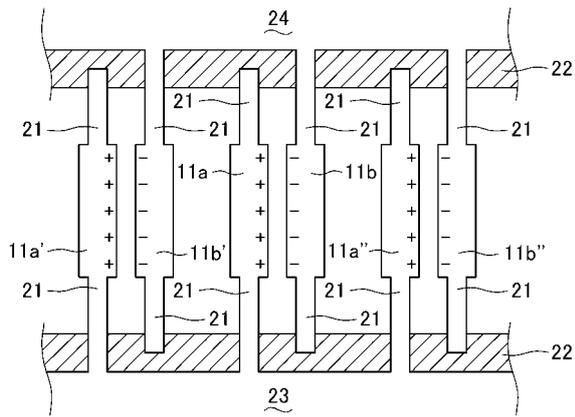
【 図 2 】



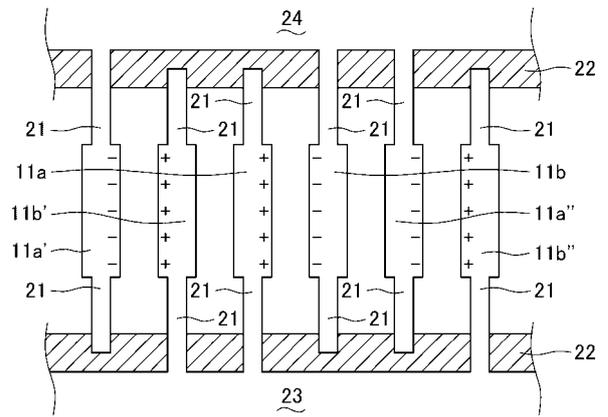
【 図 3 】



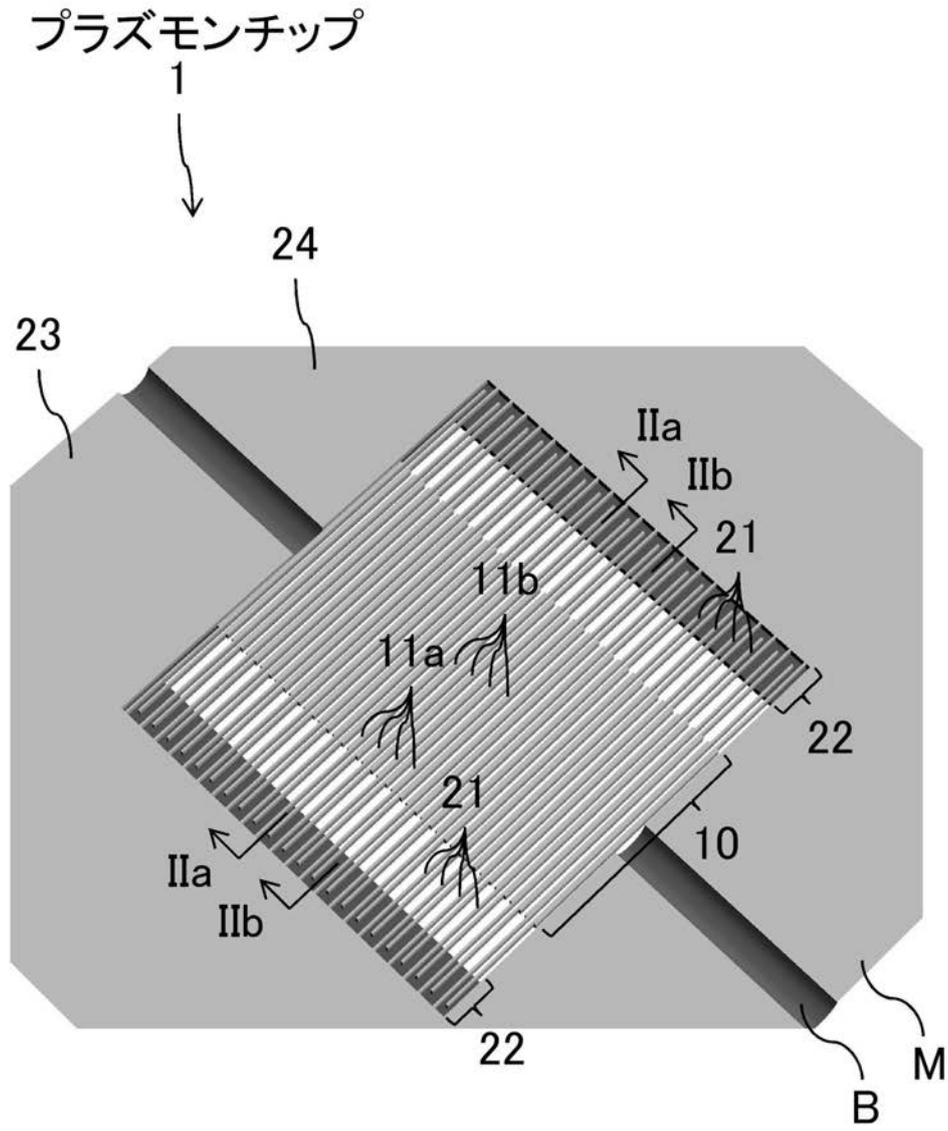
【 図 5 】



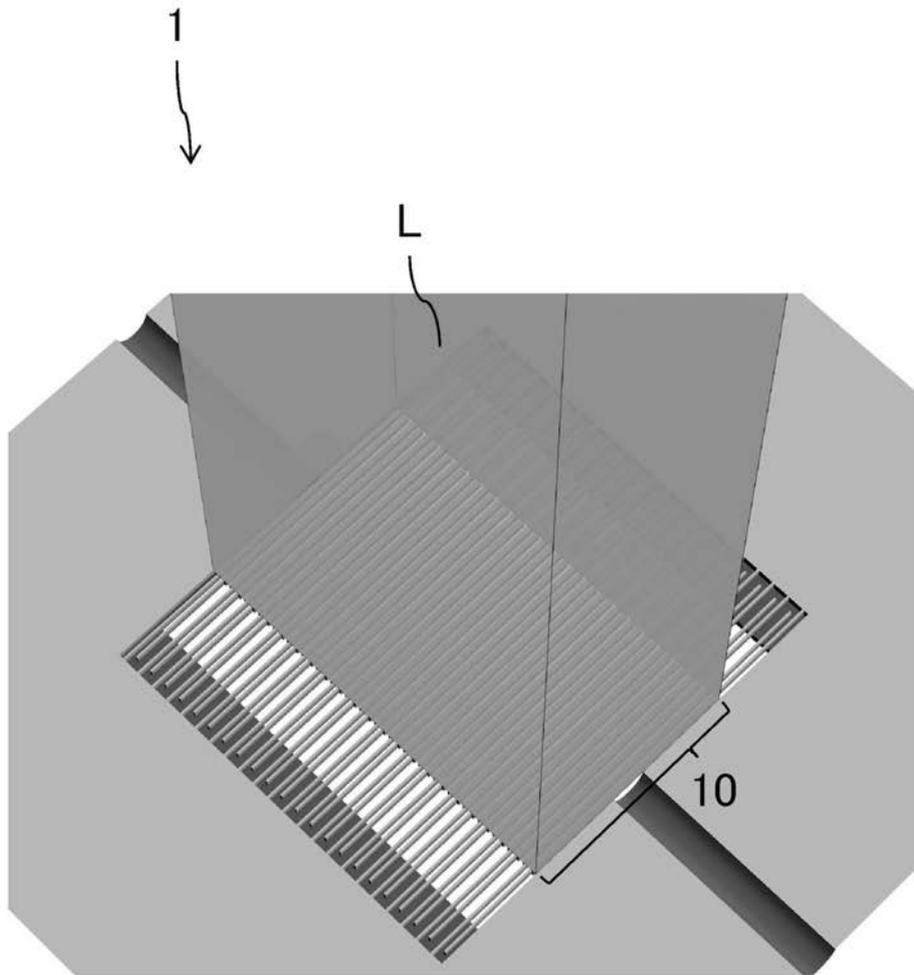
【 図 6 】



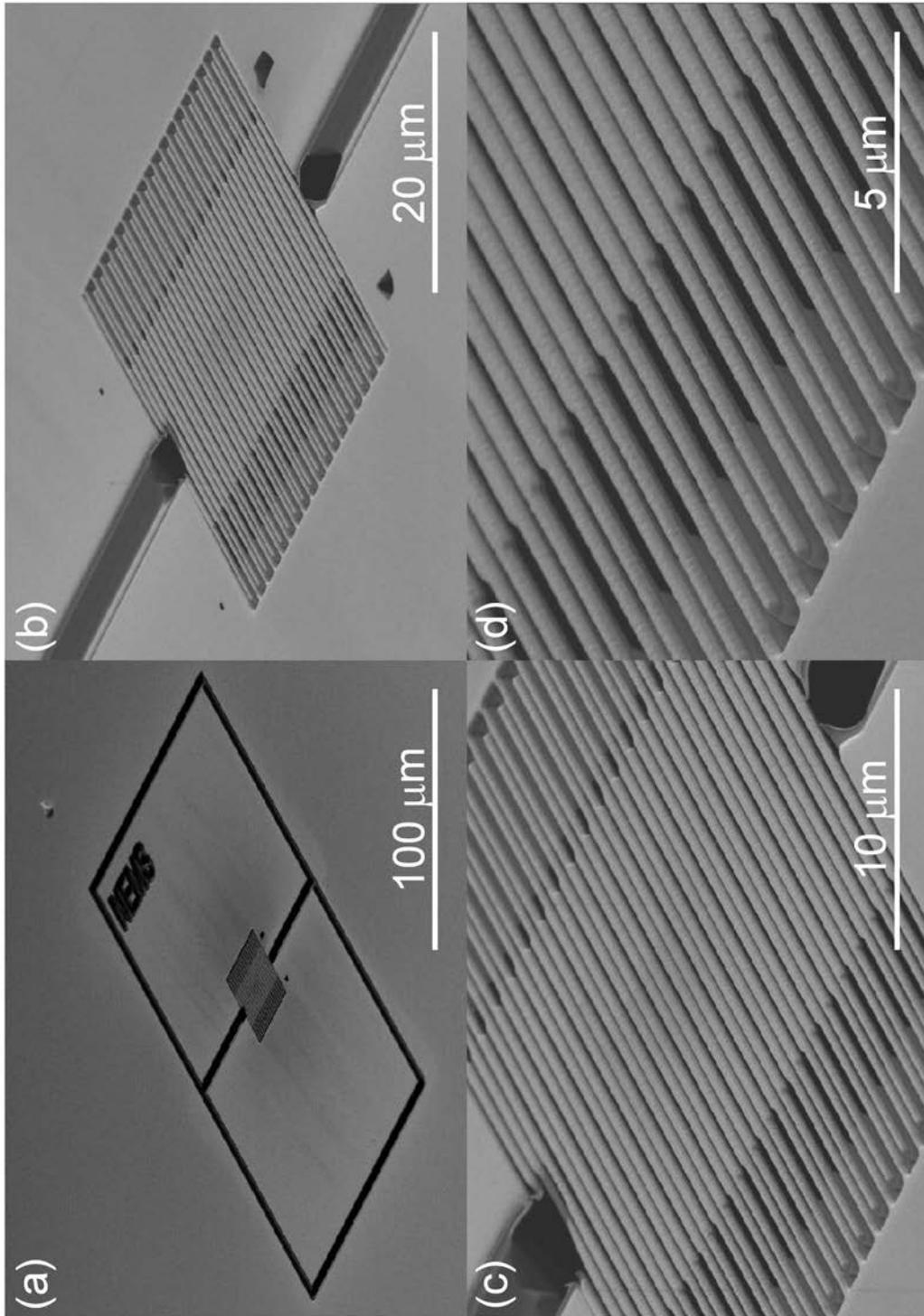
【図1】



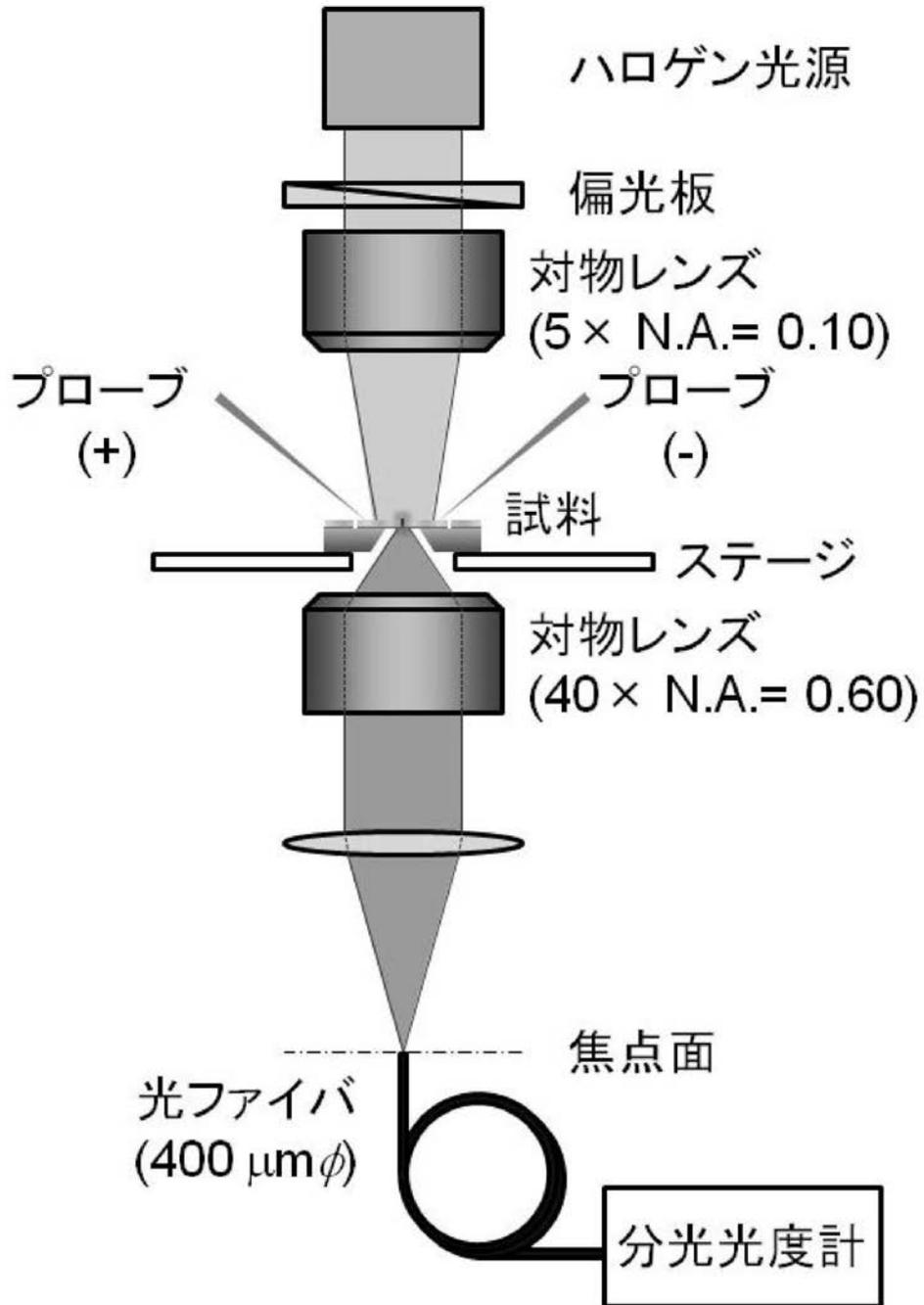
【 図 4 】



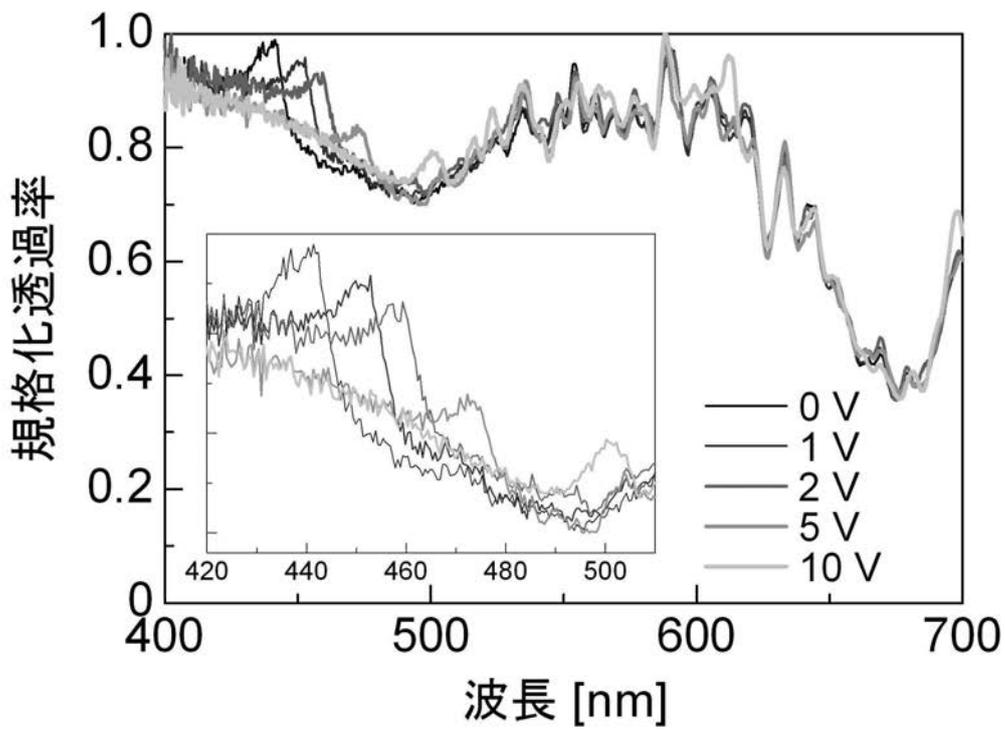
【 図 7 】



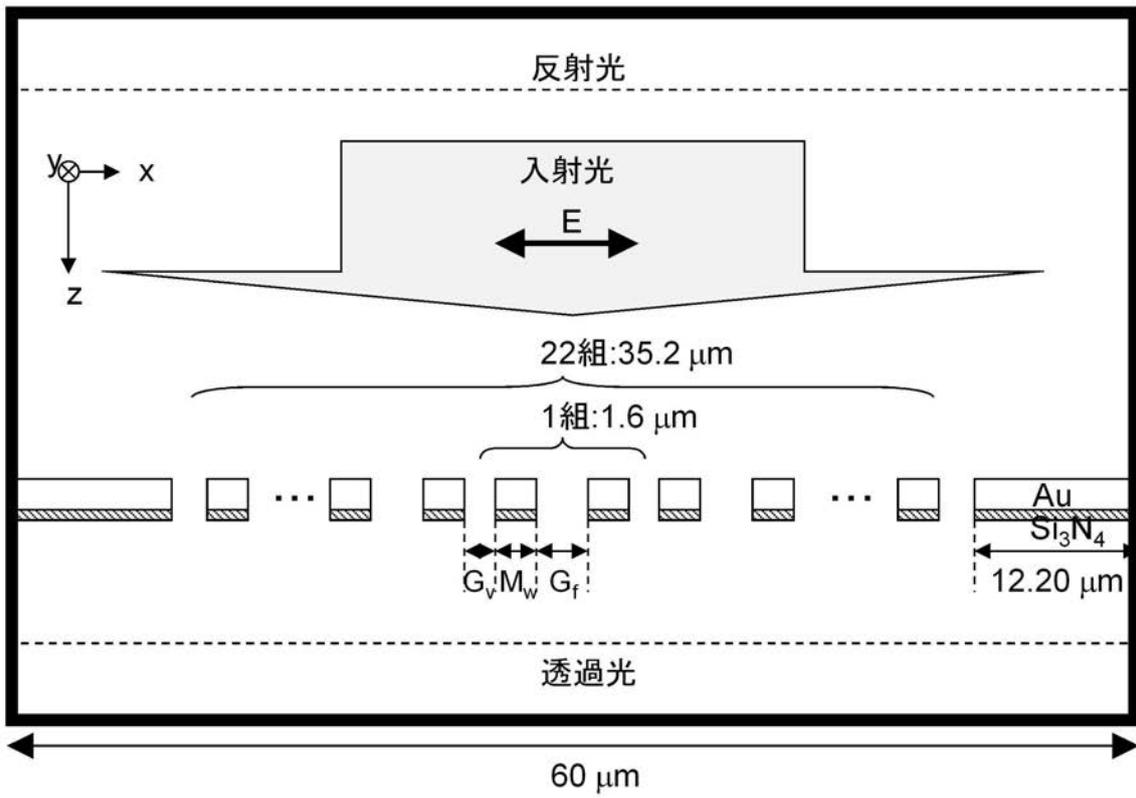
【 図 8 】



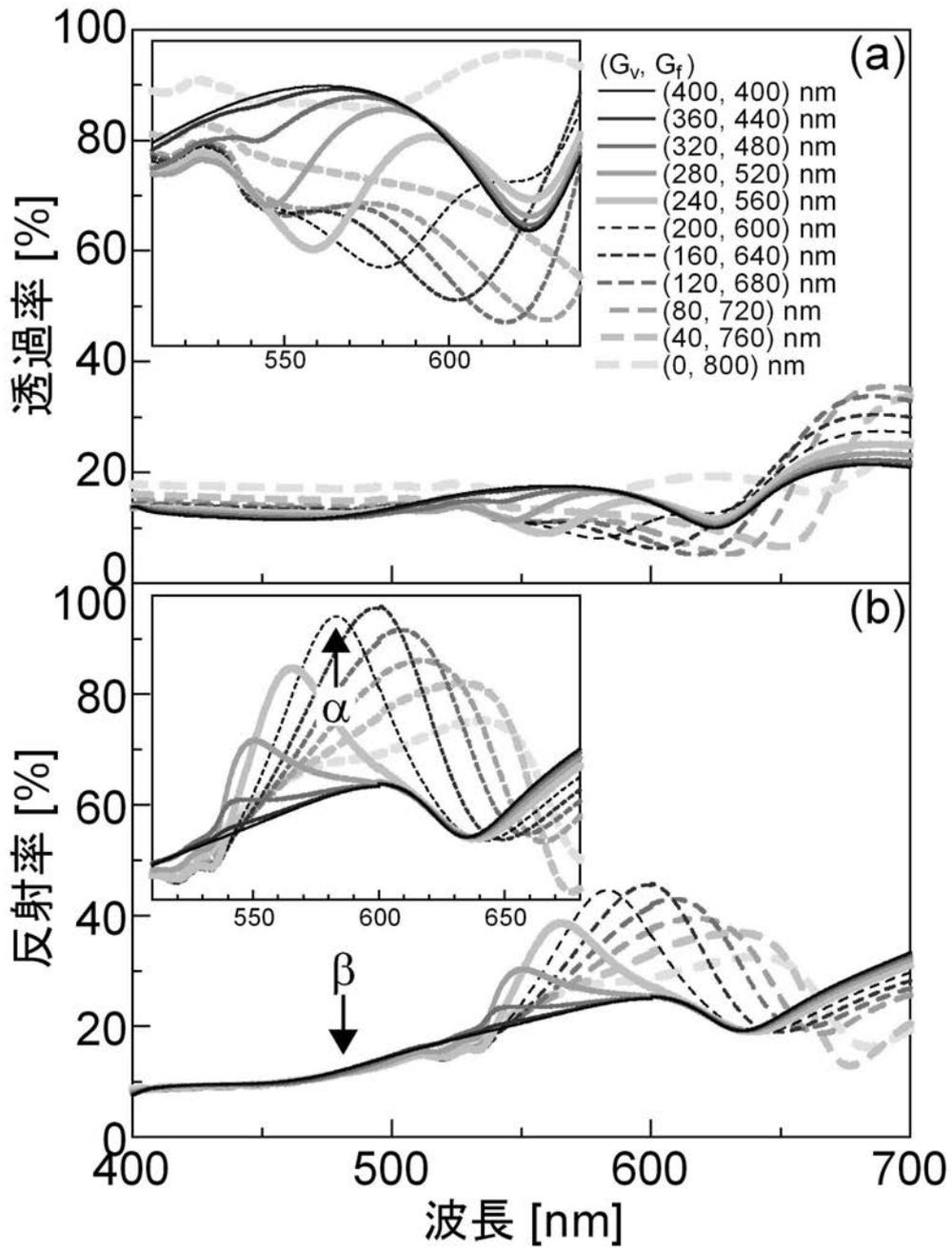
【 図 9 】



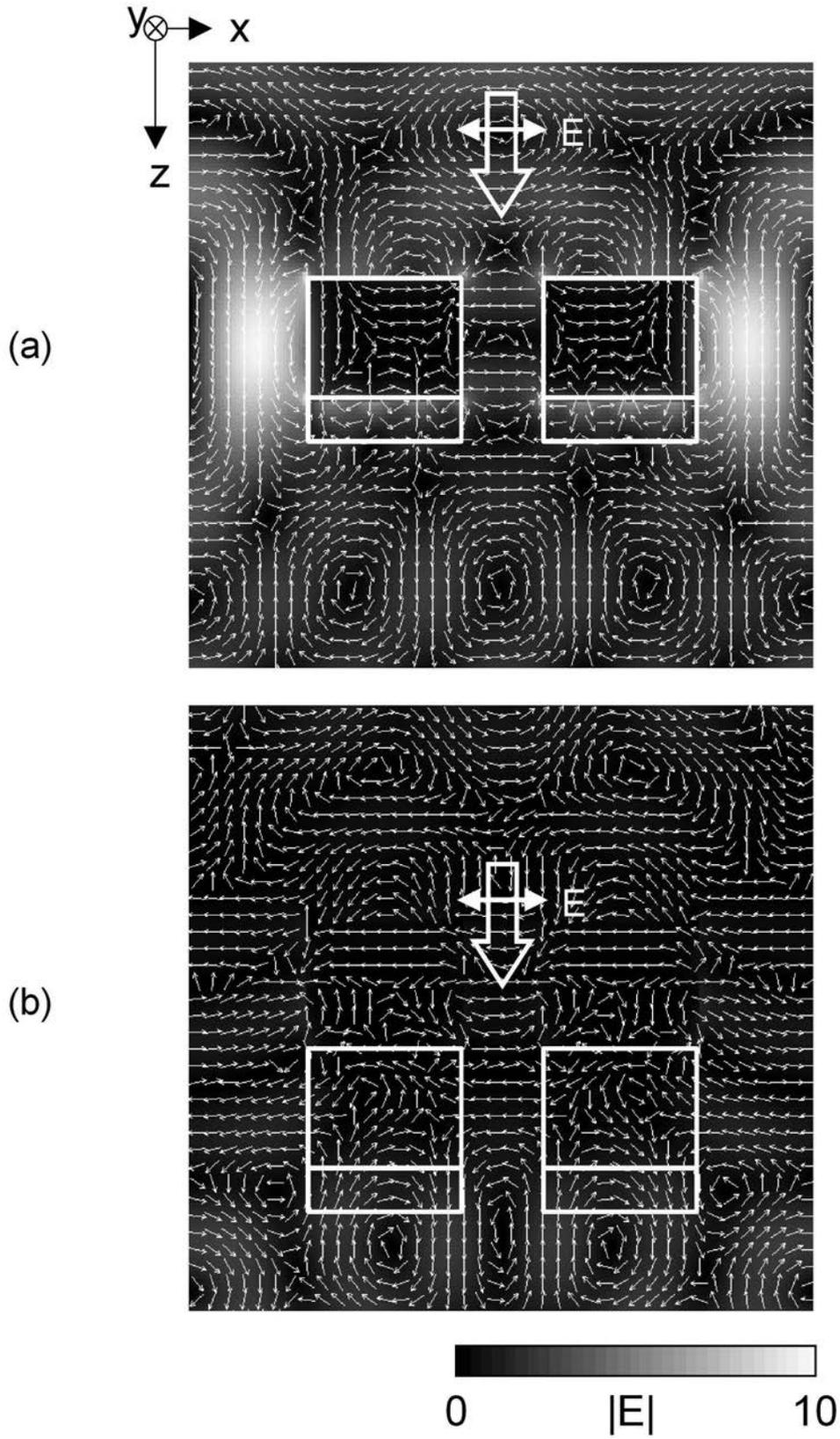
【 図 1 0 】



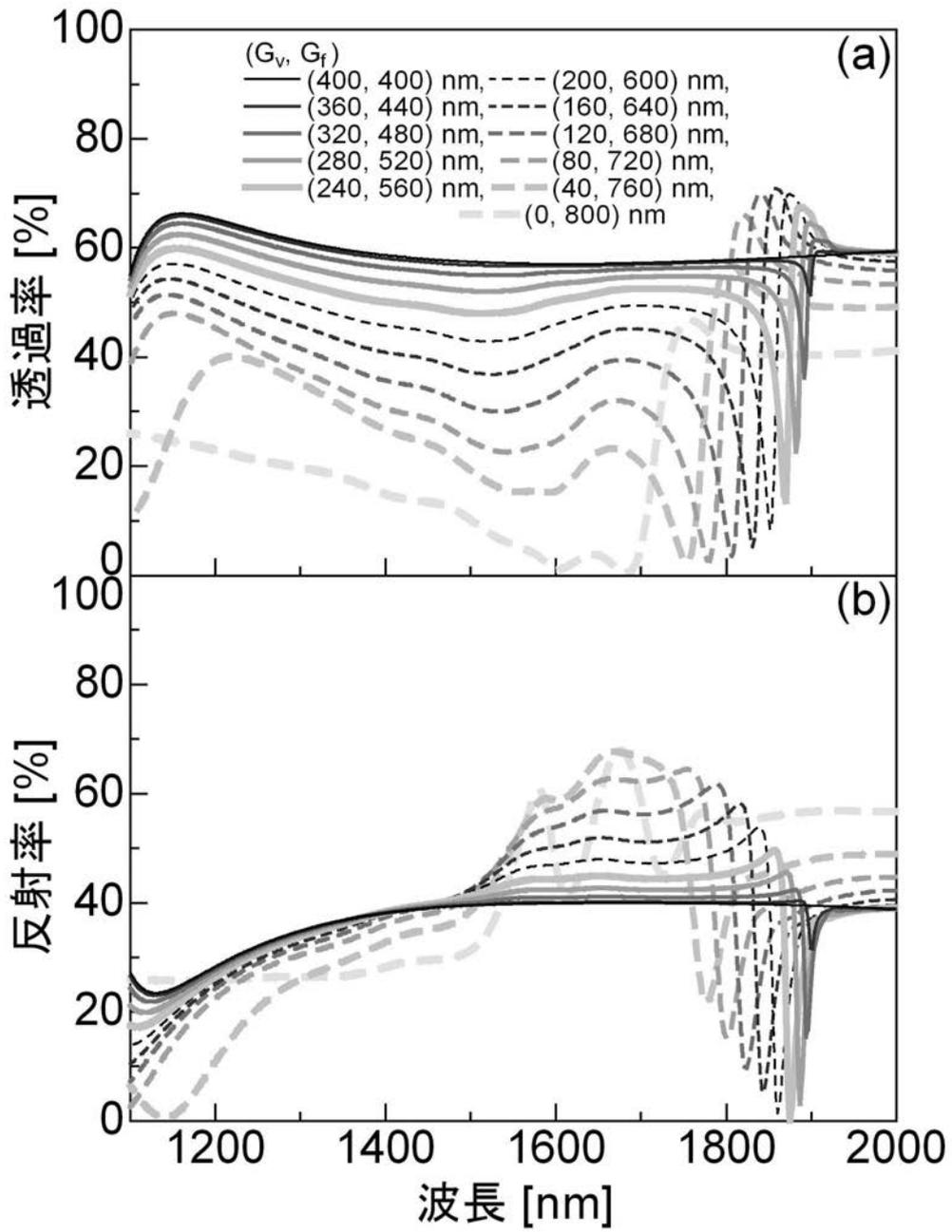
【 図 1 1 】



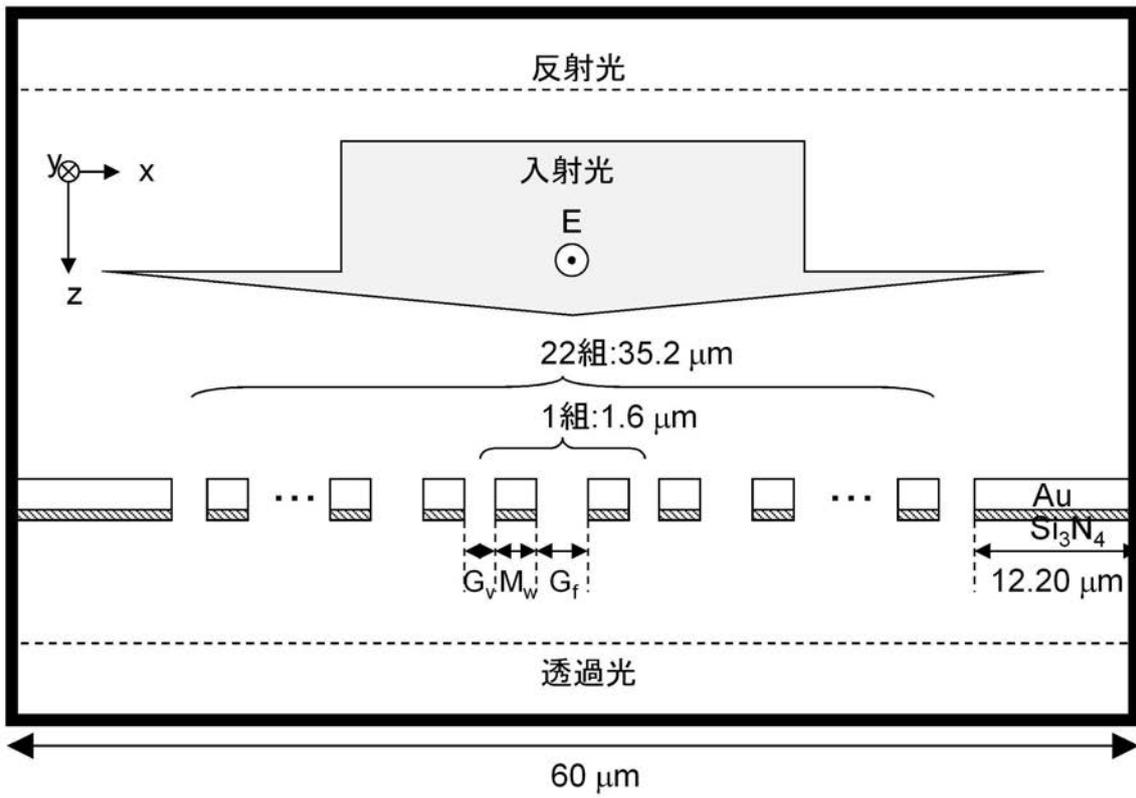
【 図 1 2 】



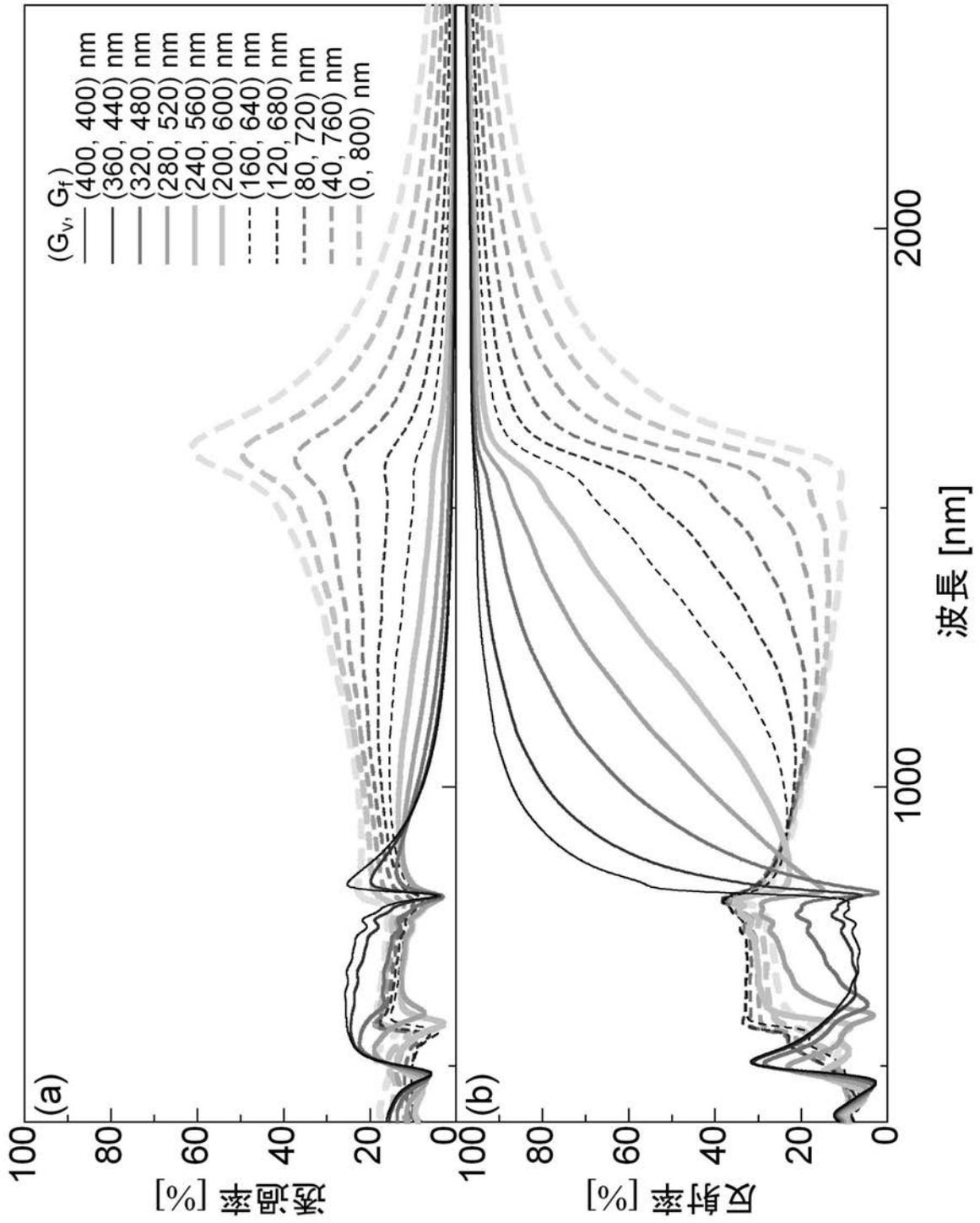
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

(72)発明者 藤井 正光

三重県鳥羽市池上町1番1号 国立鳥羽商船高等専門学校内

Fターム(参考) 2H141 MA21 MB13 MB53 MC06 MD03 MD05 MD38 MF01 MF14 MF22
MF28 MG01 MG10 MZ03 MZ16 MZ19 MZ24