

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4621270号
(P4621270)

(45) 発行日 平成23年1月26日(2011.1.26)

(24) 登録日 平成22年11月5日(2010.11.5)

(51) Int.Cl.	F 1
G02B 5/20	(2006.01) G02B 5/20
G02B 5/26	(2006.01) G02B 5/20 101
G02F 1/01	(2006.01) G02B 5/26
G02B 5/22	(2006.01) G02F 1/01 F
	G02B 5/22

請求項の数 16 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2008-181500 (P2008-181500)	(73) 特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成20年7月11日 (2008.7.11)	(74) 代理人	100126240 弁理士 阿部 琢磨
(65) 公開番号	特開2010-8990 (P2010-8990A)	(74) 代理人	100124442 弁理士 黒岩 創吾
(43) 公開日	平成22年1月14日 (2010.1.14)	(72) 発明者	山田 朋宏 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ ノン株式会社内
審査請求日	平成21年7月21日 (2009.7.21)	(72) 発明者	稻生 耕久 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ ノン株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2007-184599 (P2007-184599)		
(32) 優先日	平成19年7月13日 (2007.7.13)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		
(31) 優先権主張番号	特願2008-136686 (P2008-136686)		
(32) 優先日	平成20年5月26日 (2008.5.26)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

早期審査対象出願

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光学フィルタ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の波長の光を透過または反射する光学フィルタであって、
誘電体基板と、

前記誘電体基板の表面上に、複数の第1の金属構造体を面内方向に孤立した状態で2次元的に設けた第1の金属構造体群と、

前記第1の金属構造体群を覆う誘電体層と、を有し、

前記第1の金属構造体は、第1の方向に第1の長さを有し、かつ、第1の方向と直交する第2の方向に第2の長さを有し、該第1の長さと該第2の長さは、前記第1の波長以下の長さであり、

前記第1の金属構造体と、前記誘電体基板または前記誘電体層に入射する光とが共鳴することにより前記第1の金属構造体の表面に誘起される局在プラズモンによって、前記第1の波長の透過率を極小値または反射率を極大値とさせると共に、

前記第1の長さおよび第2の長さが110nm以上160nm以下の範囲であり、かつ前記第1の金属構造体の厚さが10nm以上100nm以下の範囲であり、かつ前記第1の金属構造体が設けられている周期が340nm以上450nm以下の範囲であり、前記第1の波長が550nm以上から650nm未満の範囲にあることを特徴とする光学フィルタ。

【請求項 2】

第1の波長の光を透過または反射する光学フィルタであって、

10

20

誘電体基板と、

前記誘電体基板の表面上に、複数の第1の金属構造体を面内方向に孤立した状態で2次元的に設けた第1の金属構造体群と、

前記第1の金属構造体群を覆う誘電体層と、を有し、

前記第1の金属構造体は、第1の方向に第1の長さを有し、かつ、第1の方向と直交する第2の方向に第2の長さを有し、該第1の長さと該第2の長さは、前記第1の波長以下の長さであり、

前記第1の金属構造体と、前記誘電体基板または前記誘電体層に入射する光とが共鳴することにより前記第1の金属構造体の表面に誘起される局在プラズモンによって、前記第1の波長の透過率を極小値または反射率を極大値とさせると共に、

前記第1の長さおよび第2の長さが90nm以上130nm未満の範囲であり、かつ前記第1の金属構造体の厚さが10nm以上100nm以下の範囲であり、かつ前記第1の金属構造体が設けられている周期が260nm以上340nm以下の範囲であり、前記第1の波長が450nm以上から550nm未満の範囲にあることを特徴とする光学フィルタ。

【請求項3】

第1の波長の光を透過または反射する光学フィルタであって、

誘電体基板と、

前記誘電体基板の表面上に、複数の第1の金属構造体を面内方向に孤立した状態で2次元的に設けた第1の金属構造体群と、

前記第1の金属構造体群を覆う誘電体層と、を有し、

前記第1の金属構造体は、第1の方向に第1の長さを有し、かつ、第1の方向と直交する第2の方向に第2の長さを有し、該第1の長さと該第2の長さは、前記第1の波長以下の長さであり、

前記第1の金属構造体と、前記誘電体基板または前記誘電体層に入射する光とが共鳴することにより前記第1の金属構造体の表面に誘起される局在プラズモンによって、前記第1の波長の透過率を極小値または反射率を極大値とさせると共に、

前記第1の長さおよび第2の長さが60nm以上100nm未満の範囲であり、かつ前記第1の金属構造体の厚さが10nm以上100nm以下の範囲であり、かつ前記第1の金属構造体が設けられている周期が180nm以上280nm以下の範囲であり、前記第1の波長が350nm以上から450nm未満の範囲にあることを特徴とする光学フィルタ。

【請求項4】

前記第1の長さと、前記第2の長さとが同一であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の光学フィルタ。

【請求項5】

前記第1の金属構造体の形状が正方形状であることを特徴とする請求項4に記載の光学フィルタ。

【請求項6】

前記第1の金属構造体がアルミニウム、またはアルミニウムを含む混合物もしくは合金であることを特徴とする請求項1乃至5のいずれかに記載の光学フィルタ。

【請求項7】

前記誘電体基板が有する誘電率と、前記誘電体層が有する誘電率とが同一であることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の光学フィルタ。

【請求項8】

前記誘電体基板と、前記誘電体層は二酸化ケイ素、二酸化チタン、窒化シリコンのいずれかにより構成されていることを特徴とする請求項1乃至7のいずれかに記載の光学フィルタ。

【請求項9】

第1の波長の光を透過または反射する光学フィルタであって、

10

20

30

40

50

誘電体基板と、

前記誘電体基板の表面上に、複数の第1の金属構造体を面内方向に孤立した状態で2次元的に設けた第1の金属構造体群と、

前記第1の金属構造体群を覆う誘電体層と、を有し、

前記第1の金属構造体は、第1の方向に第1の長さを有し、かつ、第1の方向と直交する第2の方向に第2の長さを有し、該第1の長さと該第2の長さは、前記第1の波長以下の長さであり、

前記第1の金属構造体と、前記誘電体基板または前記誘電体層に入射する光とが共鳴することにより前記第1の金属構造体の表面に誘起される局在プラズモンによって、前記第1の波長の透過率を極小値または反射率を極大値とさせると共に、

前記第1の金属構造体群とは別に、前記誘電体基板の面内方向に、複数の第2の金属構造体を孤立した状態で2次元的に設けた第2の金属構造体群を有し、

該第2の金属構造体は、前記第1の方向に第3の長さを有し、かつ前記第2の方向に第4の長さを有し、該第3の長さと該第4の長さは前記第1の波長とは異なる第2の波長以下であり、

該第3の長さは前記第1の長さと異なるか、または該第4の長さは前記第2の長さと異なっており、

前記第1の金属構造体群と、前記第2の金属構造体群とは前記誘電体基板表面の相異なる領域に配置され、

前記第2の金属構造体と、前記誘電体基板または前記誘電体層に入射する光とが共鳴することにより前記第2の金属構造体の表面に誘起される局在プラズモンによって、前記第2の波長の透過率を極小値または反射率を極大値とさせることを特徴とする光学フィルタ。

【請求項10】

第1の波長の光を透過または反射する光学フィルタであって、

誘電体基板と、

前記誘電体基板の表面上に、複数の第1の金属構造体を面内方向に孤立した状態で2次元的に設けた第1の金属構造体群と、

前記第1の金属構造体群を覆う誘電体層と、を有し、

前記第1の金属構造体は、第1の方向に第1の長さを有し、かつ、第1の方向と直交する第2の方向に第2の長さを有し、該第1の長さと該第2の長さは、前記第1の波長以下の長さであり、

前記第1の金属構造体と、前記誘電体基板または前記誘電体層に入射する光とが共鳴することにより前記第1の金属構造体の表面に誘起される局在プラズモンによって、前記第1の波長の透過率を極小値または反射率を極大値とさせると共に、

前記誘電体基板の面内方向に、前記第1の金属構造体群を2つ以上有し、

該2つ以上の前記第1の金属構造体群は重複した領域に配置されていることを特徴とする光学フィルタ。

【請求項11】

第1の波長の光を透過または反射する光学フィルタであって、

誘電体基板と、

前記誘電体基板の表面上に、複数の第1の金属構造体を面内方向に孤立した状態で2次元的に設けた第1の金属構造体群と、

前記第1の金属構造体群を覆う誘電体層と、を有し、

前記第1の金属構造体は、第1の方向に第1の長さを有し、かつ、第1の方向と直交する第2の方向に第2の長さを有し、該第1の長さと該第2の長さは、前記第1の波長以下の長さであり、

前記第1の金属構造体と、前記誘電体基板または前記誘電体層に入射する光とが共鳴することにより前記第1の金属構造体の表面に誘起される局在プラズモンによって、前記第1の波長の透過率を極小値または反射率を極大値とさせると共に、

10

20

30

40

50

前記誘電体基板の面内方向に、前記第1の金属構造体群を2つ以上有し、該2つ以上の第1の金属構造体群を構成する前記第1の構造体が設けられている周期は互いに異なっており、

該2つ以上の前記第1の金属構造体群は重複した領域に配置されていることを特徴とする光学フィルタ。

【請求項12】

第1の波長の光を透過または反射する光学フィルタであって、誘電体基板と、前記誘電体基板の表面上に、複数の第1の金属構造体を面内方向に孤立した状態で2次元的に設けた第1の金属構造体群と、

前記第1の金属構造体群を覆う誘電体層と、を有し、前記第1の金属構造体は、第1の方向に第1の長さを有し、かつ、第1の方向と直交する第2の方向に第2の長さを有し、該第1の長さと該第2の長さは、前記第1の波長以下の長さであり、

前記第1の金属構造体と、前記誘電体基板または前記誘電体層に入射する光とが共鳴することにより前記第1の金属構造体の表面に誘起される局在プラズモンによって、前記第1の波長の透過率を極小値または反射率を極大値とさせると共に、

前記第1の金属構造体群とは別に、前記誘電体基板の面内方向に、複数の第2の金属構造体を孤立した状態で2次元的に設けた第2の金属構造体群を有し、

該第2の金属構造体は、前記第1の方向に第3の長さを有し、かつ前記第2の方向に第4の長さを有し、該第3の長さと該第4の長さは前記第1の波長とは異なる第2の波長以下であり、

該第3の長さは前記第1の長さと異なるか、または該第4の長さは前記第2の長さと異なるか、

前記第1の金属構造体群と、前記第2の金属構造体群とは重複した領域に配置され、前記第2の金属構造体と、前記誘電体基板または前記誘電体層に入射する光とが共鳴することにより前記第2の金属構造体の表面に誘起される局在プラズモンによって、前記第2の波長の透過率を極小値または反射率を極大値とさせることを特徴とする光学フィルタ。

【請求項13】

第1の波長の光を透過または反射する光学フィルタと、第2の波長の光を透過または反射する光学フィルタと、を積層した光学フィルタであって、

誘電体基板と、前記誘電体基板の表面上に、複数の第1の金属構造体を面内方向に孤立した状態で2次元的に設けた第1の金属構造体群と、

前記第1の金属構造体群を覆う誘電体層と、を有し、前記第1の金属構造体は、第1の方向に第1の長さを有し、かつ、第1の方向と直交する第2の方向に第2の長さを有し、該第1の長さと該第2の長さは、前記第1の波長以下の長さであると共に、

前記誘電体層の表面の上に、更に他の誘電体層が形成されており、前記誘電体層の表面と前記他の誘電体層との間に、複数の第2の金属構造体を前記誘電体層の表面の面内方向に孤立した状態で2次元的に設けた第2の金属構造体群を有し、該第2の金属構造体群を構成する第2の金属構造体は、前記第1の方向に第3の長さを有し、かつ前記第2の方向に第4の長さを有し、該第3の長さと該第4の長さは、前記第1の波長とは異なる第2の波長以下の長さであり、

前記第1の長さと前記第3の長さが異なるか若しくは前記第2の長さと前記第4の長さが異なるか、又は、第2の金属構造体が設けられている周期と第1の金属構造体が設けられている周期とが異なり、

第1の金属構造体の表面に誘起される局在プラズモンにより、第1の波長の透過率を極小値または反射率を極大値とさせ、かつ、

10

20

30

40

50

第2の金属構造体の表面に誘起される局在プラズモンにより、前記第2の波長の透過率を極小値または反射率を極大値とさせることを特徴とする積層型の光学フィルタ。

【請求項14】

請求項1から13のいずれかに記載の光学フィルタを有することを特徴とする受光素子。

【請求項15】

C C Dセンサを備えたことを特徴とする請求項14に記載の受光素子。

【請求項16】

C M O Sセンサを備えたことを特徴とする請求項14に記載の受光素子。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は局在プラズモンを利用した光学フィルタに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、金属薄膜に開口を周期的に配列し、表面プラズモンを利用して波長選択を行なうホール型の光学フィルタが特許文献1や非特許文献1で提案されている。

【0003】

従来、膜厚にも依存するが、光の波長以下のサイズの開口径を有する金属薄膜の透過率は概ね1%未満になると考えられていた。

20

【0004】

しかし、特許文献1に記載されているように、プラズモンの波長に合わせた周期で金属薄膜に所定の大きさの開口を配列すると、表面プラズモンを誘起する波長の光の透過率は大幅に向上することが分かった。

【0005】

また、非特許文献1には、このような表面プラズモンを利用したホール型の光学フィルタを用いて、R G Bの透過スペクトルが得られることが記載されている。具体的には、サブ波長のアレイ開口を有した金属薄膜を用いて、436 nm(青色)、538 nm(緑色)、627 nm(赤色)の波長を有する透過スペクトルが得られたことが開示されている。

30

【0006】

また、特許文献2には、表面プラズモンを利用した波長フィルタについて開示されている。

【特許文献1】米国特許5973316号明細書

【特許文献2】国際公開第2002/008810号パンフレット

【非特許文献1】Nature Vol. 424 14, August, 2003(第4図)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

40

上記特許文献1や非特許文献1では、比較的大きな面積を有する金属薄膜にホールを周期的に形成することによって、金属表面に誘起される表面プラズモンの波長に依存した透過スペクトルを持つフィルタを実現している。

【0008】

しかしながら、このようなホール型の金属薄膜フィルタは、金属が占める割合が大きいことから、光吸収が大きい。そのため、上記特許文献1に記載されている金属薄膜フィルタでは、透過率が一番大きいピークであっても、透過率は5~6%程度である。

【0009】

このように透過率があまり高くないフィルタでは、透過スペクトルを利用したい場合、透過スペクトルの強度を確保するために、入射光の強度を大きくする必要がある。このた

50

め、ホール型のフィルタを用いたデバイスのエネルギー効率は低いものになってしまう可能性がある。

【0010】

特に、金属による光の吸収はマイクロ波領域ではさほど多くないものの、可視光領域では光の吸収が多く、可視光領域の透過フィルタとしてホール型の金属薄膜フィルタを用いると、実デバイスへの適用範囲が狭くなってしまう。

【0011】

また同様に、ホール型のフィルタを可視光領域の反射フィルタとして用いたとしても、光の吸収によりエネルギー効率は低いものとなる。

【0012】

そこで、可視光領域を含む波長帯域においてホール型の金属薄膜フィルタよりも光吸収が少なく、透過率または反射率の高い光学フィルタの提供が望まれる。

【0013】

ところで、上記特許文献1や特許文献2に記載のフィルタでは、表面プラズモンの波長に対応するピッチを有する開口や突起を比較的大きな面積を有する金属膜に周期的に形成して光学的特性を制御している。すなわち、この周期構造に沿って伝搬する表面プラズモン波同士の干渉によって、ピッチに対応する波長の表面プラズモン波が選択され、強め合って透過光の強度の増大、反射光の強度の増大が図られる。

【0014】

したがって、上記特許文献1や特許文献2に記載のフィルタにおいては、周期構造のピッチがフィルタの光学特性の支配的な要因となる。そして、所望の光学特性を発現させるために波長を決めるに、これに応じて周期構造のピッチが決定される。つまり、所望の波長を選択すると、開口や突起の密度は制約されることとなり、透過率や反射率を高めるのは難しい。

【0015】

また、上記の文献に記載されたフィルタでは、周期的な開口や突起の並びを必用することから、フィルタの大きさや面積はピッチの何倍かの大きさ等としなければならない。すなわち、特許文献1や特許文献2のフィルタでは、サイズ選択に関する自由度が必ずしも高くない。

【0016】

そこで、比較的大きな表面積を有する金属膜の周期構造に依拠した表面プラズモンを利用するフィルタに比べ、サイズ選択の自由度が高い光学フィルタの提供が望まれる。

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明に係る光学フィルタは、第1の波長の光を透過または反射する光学フィルタであつて、誘電体基板と、前記誘電体基板の表面上に、複数の第1の金属構造体を面内方向に孤立した状態で2次元的に設けた第1の金属構造体群と、前記第1の金属構造体群を覆う誘電体層と、を有し、前記第1の金属構造体は、第1の方向に第1の長さを有し、かつ、第1の方向と直交する第2の方向に第2の長さを有し、該第1の長さと該第2の長さは、前記第1の波長以下の長さであり、前記第1の金属構造体と、前記誘電体基板または前記誘電体層に入射する光とが共鳴することにより前記第1の金属構造体の表面に誘起される局在プラズモンによって、前記第1の波長の透過率を極小値または反射率を極大値とさせることを特徴とする。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、可視光領域を含む波長帯域において、ホール型の金属薄膜フィルタよりも光吸収が少なく、透過率または反射率の高い光学フィルタを提供することができる。

【0019】

また、本発明によれば、比較的大きな表面積を有する金属膜の周期構造に依拠した表面プラズモンを利用するフィルタに比べ、サイズ選択の自由度が高い光学フィルタを提供す

10

20

30

40

50

ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

本発明者らは、ホール型の金属薄膜では光吸收が大きく、透過率および反射率が低いことに着目し、金属構造体を誘電体基板上に周期的に配置したドット型の光学フィルタを検討した。

【0021】

金属微粒子、特に光の波長程度もしくはそれ以下の大きさの粒子は、局在プラズモン共鳴 (LSPR : L o r c a l i z e d S u r f a c e P l a s m o n R e s o n a n c e) を生じさせることができる。 10

【0022】

ここで、プラズモンとは、光などの外部電場により励起される金属表面の自由電子の集団的な振動のことである。電子は電荷を帯びているため、電子が振動することにより、自由電子の粗密分布による分極が生じる。その分極と電磁界とが結合する現象をプラズモン共鳴という。

【0023】

特に、金属の微粒子表面や金属微細構造に発生する自由電子のプラズマ振動と光との共鳴現象を局在プラズモン共鳴 (LSPR) という。

【0024】

すなわち、金属微粒子表面の自由電子の集団的な振動が光などの外部電場により励起され、その振動により電子の密度分布とこれに伴う分極が生じ、粒子の近傍に局在するような電磁場が発生する。 20

【0025】

同一の面積のフィルタ同士を比較した場合、誘電体基板上に金属構造体の複数を（例えば、周期的に）配置したドット型の光学フィルタは、ホール型の光学フィルタに比べて、金属部分を少なくすることができる。そのため、実質的な開口部を大きく取り易い構成であり且つ金属による光の吸収を抑制することができることから、全体的な透過率をホール型よりも高くすることができる。

【0026】

図14に、誘電体基板1401の上に金属1402の複数が（例えば、ある周期で）配置されているドット型の光学フィルタの模式図を示す。このように構成することにより、特定の波長で透過率の極小値を有する透過スペクトルを得ることができる。これは、局在プラズモン共鳴によって、特定の波長の光が吸収、散乱されるためである。LSPRは数nm以上の厚みの金属構造体であれば、微小なものでも発現させることができる。 30

【0027】

ところが、本発明者らが検討を進めたところ、単に誘電体基板1401の上に金属1402を配置しただけでは、光学フィルタとしては好ましくない現象が発現することを見出した。

【0028】

すなわち、単に誘電体基板1401の上に金属1402を配置しただけでは、空気と金属との界面（金属上面1403）のプラズモン共鳴の周波数と、金属1402と誘電体基板1401との界面（金属下面1404）のプラズモン共鳴の周波数とが異なってしまう。この結果、光学スペクトル幅の拡大やピーク分裂などが生じ、光学フィルタとして好ましくない特性が発現してしまうことが分かった。 40

【0029】

また、この光学フィルタを反射フィルタとして用いる場合には、入射光が誘電体基板側から入射するか、あるいは金属側から入射するかにより、反射特性が異なる。そのため、所望の光学特性を発現させるには、ある一方向からの入射しか許さない光学フィルタとなり、このような光学フィルタを使用した光学系の設計自由度を落とす可能性がある。

【0030】

さらに、金属の表面にごみ等が付着すると、ピーク波長のシフト等を生じてしまうという問題もある。

【0031】

そこで、誘電体中に金属が埋め込まれている構造を検討したところ、空気と金属との界面のプラズモン共鳴周波数の違いに起因するスペクトルピークの分裂やピーク幅拡大を抑制することができた。

【0032】

また、金属の酸化防止、更には金属表面にごみ等が付着することによる光学特性の変化(ピーク波長のシフト等)を抑制することも可能になった。

【0033】

ところで、一般的な光学フィルタである誘電体多層膜フィルタや色素フィルタなどをデバイスに用いようとすると、光の波長以上の膜厚が必要となり、具体的には、1 μm程度かそれ以上の膜厚になってしまう。

【0034】

一方、本発明に係る光学フィルタでは、金属厚さが100 nm程度かそれ以下の膜厚のフィルタを構成することが可能である。金属構造体の上に保護層を100 nm程度積層したとしても全層の膜厚が200 nm程度に抑制できるため、従来のフィルタに比して膜厚が薄いフィルタを提供することができる。

【0035】

これにより、本発明に係る光学フィルタをCCDセンサやCMOSセンサ等の受光素子に用いれば、受光素子の小型化が可能となる。また、本発明に係る光学フィルタを受光素子に用いれば、受光素子の高画素数化に伴う各画素の見込み角の減少による受光光量不足を緩和することも可能となる。

【0036】

(第1の実施形態：単層光学フィルタおよび積層光学フィルタ)

以下、本発明に係る実施形態について、図を用いて説明をおこなう。

【0037】

図1(b)は本発明に係る第1の実施形態である光学フィルタの上面図であり、図1(a)はA-A'の断面図である。

【0038】

誘電体基板110の表面上には誘電体層130が設けられ、この誘電体基板110と誘電体層130との間には複数の金属構造体120が設けられている。

【0039】

この金属構造体120は誘電体基板110の面内方向に孤立した状態で2次元的、かつ周期的に設けられており、金属構造体群として構成されている。なお、説明のため、第1の金属構造体群を構成する2つの第1の金属構造体について符号121と122を付している。

【0040】

本発明に係る光学フィルタは、金属構造体単体により発現する局在プラズモン共鳴によるものであるが、金属構造体120を周期的に設けることは以下の点から好ましい。

【0041】

すなわち、プラズモン共鳴が生じる際に、各金属構造体には電界が染み出すため、電界が染み出す範囲内に各金属構造体同士を配置すると、各金属構造体の共鳴条件は互いに影響を受けることになる。この影響を減少させるためには、金属構造体と該金属構造体に隣接する金属構造体とを電磁的に同等な関係となる位置、つまり周期的に配置することが好ましい。

【0042】

このように各金属構造体を周期的に配置すれば、各金属構造体における共鳴条件のずれが抑制され、各構造体において同じ共鳴波長で同位相の局在プラズモン共鳴を誘起可能となる。この結果、共鳴ピークのディップが深く、ピーク幅が狭い透過スペクトルを得るこ

10

20

30

40

50

とができる。また、回折光の発生を抑制するために、透過スペクトル形状への影響も低減できる。

【0043】

ところで、各金属構造体を近接しすぎると、各金属構造体の共鳴条件は互いに強く影響を受ける結果、所望の共鳴波長やスペクトル幅が得られず、透過率も低下する可能性がある。そのため、局在プラズモン共鳴の際に金属構造体の電界はその構造体自身の大きさ程度の距離まで染み出すことを考慮すると、金属構造体同士の間隔はその構造体の大きさ程度に離れていることが好ましい。

【0044】

また、より好ましくは、金属構造体同士の間隔は前述の電界の染み出しが重なり合わない程度に離れていること、つまり金属構造体同士の間隔が金属構造体自身の大きさの2倍程度以上離れていることが好適である。

【0045】

一方、金属構造体同士の間隔が構造体自身の大きさの3倍程度に離れると、透過スペクトルのディップが浅くなってしまう。

【0046】

したがって、周期的に設けられている金属構造体同士の間隔として好適なのは、構造体自身の大きさの1倍以上であり、より好ましくは1倍以上3倍以下であり、より好ましくは2倍程度である。

【0047】

図1において、第1の金属構造体121は、第1の方向140に第1の長さ141を有し、かつ、第1の方向140と直交する第2の方向150に第2の長さ151を有している。ここで、第1の長さ141と第2の長さ151は例えば可視光領域における光の波長以下の長さに設定する。金属構造体に誘起されるプラズモンの波長は最低次のモード（双極子モード）の場合であっても、プラズモンの半波長が金属構造体の大きさと略同一になる。そのため、例えば可視光でプラズモンを励起され得る構造の大きさは可視光の励起波長よりも短くなることから、これらの長さを可視光領域における光の波長以下としている。

【0048】

また、第1の長さ141と第2の長さ151をプラズモン共鳴波長以下（第1の波長以下）とすることも好ましい形態である。

【0049】

ここでは、一例として、第1の金属構造体121は、第1の長さと第2の長さが同一である正方形とし、一辺を120nmとしている。光学特性の設計容易性という点からは正方形は好ましいが、円形状や橢円形状、その他多角形形状の金属も金属構造体として用いることができる。例えば、円形状ならば偏光依存性を抑制することが可能となり且つ作製精度も維持しやすいため好適である。

【0050】

正方形でない金属構造体を用いた場合には、図18に示すように、第1の長さは符号1801、第2の長さは符号1802で示された長さとして取り扱う。

【0051】

金属構造体の形状は、これに限定されるものではなく種々のものを取り得るが、第1の長さ、または第2の長さは、金属構造体の最大幅ととらえることもできる。

【0052】

本実施形態では、金属構造体と、誘電体基板または誘電体層に入射する光とが共鳴することにより、金属構造体の表面に誘起される局在プラズモンによって、可視光領域における所定の波長（第1の波長）の透過率が極小値を示す。

【0053】

図1に示した第1の金属構造体群において、金属構造体120が設けられている周期145および周期155は、可視光領域における光の波長以下、より好ましくはプラズモン

10

20

30

40

50

共鳴波長以下（第1の波長以下）にすることも好適な形態である。注目している光の波長領域よりも金属構造体の周期が大きい場合には、高次の回折光が発生し、0次回折光の強度が低下する可能性があるからである。

【0054】

また、金属構造体120が設けられている周期145および周期155は、第1の金属構造体群のプラズモン共鳴波長（第1の波長）より小さくすることも好ましい形態である。金属構造体の周期がプラズモン共鳴波長と近くなると、ウツズのアノマリを起こす波長の光がプラズモン共鳴と結合し、プラズモン共鳴によるピーク形状が先鋭化すると共に共鳴波長での透過率極小値の深さが浅くなってしまうからである。ここで、ウツズのアノマリとは、入射光が周期構造により回折され、回折光が金属周期構造表面の極近傍を表面と平行に伝播する現象のことをいう。

【0055】

ここでは、一例として、赤色の波長帯域にプラズモン共鳴を生じさせることを目的として、周期145および155は400nmとしている。

【0056】

また、第1の金属構造体121と122との間隔152は、第1の長さ141及び第2の長さ151よりも大きくすることも好ましい形態である。このような間隔に設定すれば、金属体構造体同士の間で近接場相互作用が強く生じることによるスペクトルピーク幅の拡大やピーク波長のシフト等を抑制することができる。

【0057】

また、金属構造体120の厚さ160を可視光領域における光の波長以下、好ましくはプラズモン共鳴波長以下（第1の波長以下）にすることも好適な形態である。フィルタを作製する際の微細加工プロセスにおいて、金属構造体の厚さを厚く設定しすぎると作製誤差が大きくなるからである。ここでは、一例として、厚さ160は30nmとしている。

【0058】

金属構造体120の材料としては、アルミニウム、金、銀、白金などを用いることができる。このうちアルミニウムは、銀と比較してプラズマ周波数が高く、物性的に可視域全体を網羅する光学特性のフィルタの設計が容易である（Ag: ~3.8eV (~325nm)、Al: ~1.5eV (~83nm)）。

【0059】

また、アルミニウムは、銀等と比較して酸化されにくく、化学的に安定であるため、長期間安定して所定の光学特性を発現できる。

【0060】

さらに、アルミニウムは、銀と比較して誘電率の虚部が大きいため銀と比較して膜厚を薄くしても十分な遮光性を発現させることができ、また微細加工が容易である。

【0061】

加えて、アルミニウムは、白金のように化学的に極度に不活性であるためにドライエッティングによる微細加工が困難であるなどの難点も無い。

【0062】

なお、金属構造体120はアルミニウム、金、銀、白金を含む混合物や、合金であってもよい。

【0063】

誘電体基板110の材料としては、例えば可視光領域の光を透過する材料である石英（二酸化ケイ素）、二酸化チタンなどの金属酸化物や、窒化シリコンなどの透過率が高い材料から適宜選択することができる。また、ポリカーボネートやポリエチレンテレフタレートなどの高分子材料も誘電体基板110の材料として用いることができる。

【0064】

誘電体層130の材料としては、誘電体基板110と同様に、石英（二酸化ケイ素）、二酸化チタン、窒化シリコン等から適宜選択することができる。また、ポリカーボネートやポリエチレンテレフタレートなどの高分子材料も誘電体層130の材料として用いるこ

10

20

30

40

50

とができる。

【0065】

ここで、誘電体基板110と誘電体層130の誘電体率の差は5%以下であることが好ましい。誘電体基板110の誘電率と誘電体層130の誘電率が大きく異なると、金属構造体120と誘電体基板110の界面に生じるプラズモンの励起波長と、金属構造体120と誘電体層130の界面に生じるプラズモンの励起波長とが大きく異なるからである。この結果、所望以外の共鳴波長のピークや、ピーク幅の拡大が生じるおそれがある。

【0066】

そのため、誘電体基板が有する誘電率と、誘電体層が有する誘電率とが同一であることがもっとも好ましい。

10

【0067】

また誘電体層の厚みから金属構造体120の厚さ160を減じた厚さ170が厚すぎないことが好ましい。誘電体層の厚みが厚すぎると、誘電体層130が一種のファブリペロ-共振器を構成するため、透過スペクトルに微細なディップが多数あらわれてしまう懸念があるためである。

【0068】

そのため、例えば金属構造体120のプラズモン共鳴の半値全幅の波長範囲内にファブリペロ-共振器の共振器モードが存在しないことが好適である。

【0069】

このためには少なくとも共振器モードの間隔(FSR)がプラズモン共鳴の半値全幅よりも広いことが必要であり、その条件は以下であらわされる。

20

【0070】

【数1】

$$d = \frac{\lambda_{res}^2}{2n\Delta\lambda_{FW}}$$

【0071】

ただし、 λ_{res} は金属構造体のプラズモン共鳴波長、nは誘電体層の屈折率、 $\Delta\lambda_{FW}$ は金属構造体の共鳴スペクトルの半値全幅である。

【0072】

30

ここで、式中のdは誘電体層の厚さに相当している。したがって、たとえば典型的にはプラズモン共鳴の半値全幅は100nmであるから、プラズモン共鳴の波長を650nm、誘電体層の屈折率を1.46とすると、dは1447nmと算出される。このため、注目波長領域が650nm±50nmである場合、この波長域でFSRを100nm以上確保するためには、誘電体層の厚みはこのd以下である必要がある。

【0073】

また、ファブリペロ-共振器の共振器モードが注目波長域よりも短い波長域にしか現れないようにすることも好ましい形態である。

【0074】

ファブリペロ-共振器の共振器モードは、共振器長の2倍と等しい波長において出現する。注目波長域を金属構造体の共鳴幅内の波長域とする場合、注目波長域の最短波長は共鳴波長から共鳴の半値半幅を減じた値である。そのため、この波長よりもファブリペロ-共振器の共振器モードが短くなるために、誘電体層の厚さは以下の式で示す値d以下にする必要がある。

40

【0075】

【数2】

$$d = \frac{\lambda_{res} - \Delta\lambda_{HW}}{2n}$$

【0076】

50

ただし、 λ_{res} は金属構造体のプラズモン共鳴波長、 n は誘電体層の屈折率、 $\Delta\lambda_{HW}$ は金属構造体の共鳴スペクトルの半値半幅である。

【0077】

例えば、共鳴波長が 450 nm、共鳴の半値半幅が 50 nm の場合、屈折率を 1.46 とすると d は 137 nm と算出される。このため、可視光域最短波長である 400 nm よりも短波長側にファブリペロー共振器モードが現れないようにするためには、誘電体層の厚みはこの d 以下にすることが好ましい。

【0078】

一方、誘電体層の厚みが薄すぎることは余り好適ではなく、ある程度の厚みを有することが好適である。つまり誘電体層の厚みから金属構造体 120 の厚みを減じた厚さ 170 が、金属構造体 120 が有する第 1 の長さ 141 や第 2 の長さ 151 以上であることが好適である。また少なくとも厚さ 170 は 100 nm 程度はあることが好ましい。

【0079】

これは金属構造体 120 が発生する近接場の広がりが、典型的には金属構造体 120 自身の大きさ程度もしくは 100 nm 程度であるためである。金属構造体 120 の表面から金属構造体 120 が発生する近接場領域程度の距離内の空間が誘電体層で占められていれば、金属構造体 120 が発生する近接場領域内に異物等が混入し、金属構造体 120 の光学特性が変化することを抑制できる。

【0080】

(計算結果)

図 2 は、上記の構造を用いて数値計算を行なった結果を示したものである。すなわち、金属構造体としてアルミニウムを用いて、第 1 の長さと第 2 の長さを 120 nm、周期 400 nm、厚さ 30 nm とした光学フィルタである。この光学フィルタの透過スペクトルは透過スペクトル 201 のようになり、波長 650 nm 付近の光を強く吸収する光学フィルタとして機能していることがわかる。

【0081】

波長 650 nm は赤色の帯域であるため、Red の頭文字をとって光学フィルタ R とする。この光学フィルタは赤色の波長を反射、吸収するため、透過スペクトルとしては、赤色の補色である青緑色が観察される。

【0082】

さらに、金属構造体の径や周期を変化させることによって、透過スペクトルの波長、スペクトル幅、強度を変化させることも可能である。

【0083】

例えば、長さを 100 nm、周期を 310 nm、厚さを 30 nm とすることで、可視域の緑（波長 550 nm）付近に吸収がある透過スペクトル 202 を有する光学フィルタを構成できる。これを光学フィルタ G とする。この光学フィルタ G の透過スペクトルを観察すると、緑色の補色である赤紫色を観察することができる。

【0084】

同様に、長さを 70 nm、周期を 250 nm、厚さを 30 nm にすることで可視域の青（波長 450 nm）付近に吸収がある透過スペクトル 203 を有する光学フィルタを構成できる。これを光学フィルタ B とする。このフィルタ B の透過スペクトルを観察すると、青色の補色である黄色を観察することができる。

【0085】

なお、本実施形態に係る光学フィルタの反射スペクトルは、透過率が極小値を示す波長近傍で反射率が極大値となる。そのため、本実施形態に係る光学フィルタは、透過フィルタとしてのみならず、所望の波長で反射率を増加する反射フィルタとして用いることも可能である。

【0086】

(設計指針)

以下、金属構造体群を構成するパラメータと光学特性の関係について説明する。

10

20

30

40

50

【0087】

金属構造体に誘起される局在プラズモン共鳴は、金属構造体内での自由電子のプラズマ振動に伴う電荷密度分布であり、この電荷密度分布や金属構造体の光学特性は構造体の形状に影響される。

【0088】

例えば、金属構造体に照射される光の偏光方向と直交する方向の金属構造体の長さ、金属構造体の厚さ、及び金属構造体を配置する周期を一定にしたまま、偏光方向の金属構造体の長さを長くすると、共鳴波長は長波長側に移行する。

【0089】

このため、金属構造体の局在プラズモン共鳴の波長を長波長側に発生させるためには金属構造体の偏光方向の長さを長くすれば良いことが分かる。この傾向を図17に示す。図17(b)に示した表により、金属微粒子の偏光方向の長さが長くなるにつれて、共鳴波長が長波長に移行するだけでなく、ピーク幅は広がり、吸収ピークでの透過率は低下することが分かる。なお、光学フィルタに入射する光の偏光は厳密に金属微粒子の長手方向もしくは短手方向に沿っていることは必ずしも必要ない。

10

【0090】

また、図19(a)に示すように、偏光と直交方向の金属構造体の長さが長くなるにつれて、共鳴波長は短波長側に移行する。また、図19(b)により、偏光と直交方向の金属構造体の長さが長くなるにつれて共鳴幅は広がり、共鳴波長での透過率は減少する傾向にあることが分かる。

20

【0091】

また、図20(a)および(b)に示すように、金属構造体の厚さが増大すると共鳴波長は短波長化とともに、共鳴波長での透過率は減少し、共鳴幅は若干減少する傾向にあることが分かる。

【0092】

このことを用い、図22に示すように、スペクトル形状を透過スペクトル2201から透過スペクトル2202に改善することが可能である。

【0093】

透過スペクトル2201では波長530nm近傍にウッズのアノマリによる鋭いディップがスペクトルに存在している。透過スペクトル2201は、一辺150nmの正方形、膜厚90nmのアルミニウムからなる金属ドットを周期400nmで正三角格子状に配列した場合の光学スペクトルである。一方、透過スペクトル2202は膜厚を150nmに増大した場合のものである。

30

【0094】

すなわち、膜厚を増大させることによりドットアレイの共鳴波長を短波長側にシフトさせ、ウッズのアノマリの鋭いディップと重複させることで、スペクトル形状を単峰化させると共に共鳴幅を狭帯化させることもできる。

【0095】

このように金属膜厚を所定の値にすることで、スペクトル上から好ましく無いディップを隠すことも可能である。

40

【0096】

また、図21(a)および(b)に示すように、金属構造体が設けられた周期が増大すると、共鳴波長は長波長化するとともに、共鳴波長での透過率は増大し、共鳴幅は減少していく傾向にあることが分かる。

【0097】

このような知見を基にして、金属構造体と金属構造体群のパラメータの最適化を図ることも可能であり、所望の波長に共鳴波長を有する光学フィルタを設計することが可能である。

【0098】

本発明者らの検討によれば、光学フィルタの共鳴波長を赤色の帯域(550nm以上か

50

ら 650 nm 未満) とするためには、金属構造体の第1の長さと第2の長さを 110 nm 以上 160 nm 以下の範囲に設定する必要がある。また、金属構造体の厚さを 10 nm 以上 200 nm 以下の範囲とし、かつ周期を 340 nm 以上 450 nm 以下の範囲に設定する必要がある。

【0099】

また、光学フィルタの共鳴波長を緑色の帯域 (450 nm 以上から 550 nm 未満) とするためには、金属構造体の第1の長さと第2の長さを 90 nm 以上 130 nm 未満の範囲に設定する必要がある。また、金属構造体の厚さを 10 nm 以上 200 nm 以下の範囲とし、かつ金属構造体が設けられている周期を 260 nm 以上 340 nm 以下、好ましくは 270 nm 以上 330 nm 以下の範囲に設定する必要がある。

10

【0100】

また、光学フィルタの共鳴波長を青色の帯域 (350 nm 以上から 450 nm 未満) とするためには、金属構造体の第1の長さと第2の長さを 60 nm 以上 100 nm 未満の範囲に設定する必要がある。また、金属構造体の厚さを 10 nm 以上 200 nm 以下の範囲とし、かつ金属構造体が設けられている周期を 180 nm 以上 280 nm 以下、好ましくは 200 nm 以上 270 nm 以下の範囲に設定する必要がある。

【0101】

本実施形態の光学フィルタは、可視光領域に吸収または反射のピーク波長を有するものとして説明した。一方、可視光領域の設計値に比べて金属構造体の大きさを小さく、周期を小さくすることで近紫外領域の光学フィルタとすることができる。同様に、金属構造体の大きさを大きく、周期を大きくすることで近赤外領域の光学フィルタとすることも可能である。

20

【0102】

(第2の実施形態：ベイヤー配列)

本実施形態では、ベイヤー配列となっている RGB フィルタについて説明する。

【0103】

図3において、領域301には例えば前述の光学フィルタR(透過スペクトル201)を配置し、領域302には光学フィルタG(透過スペクトル202)、領域303には光学フィルタB(透過スペクトル203)を配置する。このような配置にすることで本発明に係るフィルタを用いて、ベイヤー配列のカラーフィルタを構成することが可能である。

30

【0104】

なお、このカラーフィルタは、撮像素子用のカラーフィルタとして用いることができる。この場合、領域301等は1画素に対応した面積となるが、領域301等は光電変換素子(光電変換部)が占める領域よりも大きい面積を有していても良い。

【0105】

本実施形態では、領域ごとに金属構造体の大きさが異なり、かつ金属構造体が設けられている周期も異なっているがこの構成に限るものではない。例えば、金属構造体の周期だけが異なる金属構造体群が各領域に配置されていても良い。また、金属構造体の大きさだけが異なる金属構造体群が各領域に配置されていても良い。

【0106】

40

つまり、第1の金属構造体群を2つ以上有し、第1の金属構造体が設けられている周期は互いに異なっており、前記第1の金属構造体群は前記誘電体基板表面の相異なる領域に配置されていても良い。

【0107】

また、第1の金属構造体群を構成する第1の金属構造体とは異なる形状である第2の金属構造体からなる第2の金属構造体群が各領域に配置されていても良い。すなわち、第2の金属構造体は、第1の方向に第3の長さを有し、第2の方向に第4の長さを有し、第3の長さは第1の金属構造体が有する第1の長さと異なるか、または第4の長さは第1の金属構造体が有する第2の長さと異なっている。なお、第3の長さと第4の長さは第2の波長以下であることが好ましい形態である。

50

【0108】

この結果、第2の金属構造体群は、第1の構造体群の共鳴波長（第1の波長）とは異なる波長（第2の波長）で光の透過率を減少させることができる。

【0109】

なお、本明細書において、第1の金属構造体群と第2の金属構造体群とは、構造体群を構成する金属構造体の形状が異なることを意味する。すなわち、金属構造体の周期が異なっていても、形状が同じであれば、第1の金属構造体群という用語を用いる。また、金属構造体の形状が異なっていれば、周期が同一であっても異なっていても、第2の金属構造体群という用語を用いる。

【0110】

10

（第3の実施形態：三角格子）

図16は金属構造体が三角格子状に配列されている実施形態を示した図である。三角格子配列にした場合には、格子の単位ベクトル成分が直交していないため、正方格子状の配列と比較してフィルタの光学特性の入射光偏光に対する依存性を軽減することが可能となる。

【0111】

このような三角格子配列は、正方格子状に配列されている複数の金属構造体群が重複した領域に配置されていると表現することもできる。

【0112】

20

すなわち、第1の金属構造体1601により構成される第1の金属構造体群1602と、第2の金属構造体1603により構成される第2の金属構造体群1604とは、重複した領域に配置していると表現することが可能である。

【0113】

（第4の実施形態：2つ以上の構造体群の重複）

本実施形態でも、第3の実施形態と同じく、複数の金属構造体群が重複して配置されている例について説明する。

【0114】

30

図4（a）は、周期が異なる第1の金属構造体群が重複して配置されている例を示したものである。第1の金属構造体群402を構成する第1の金属構造体401が周期405で設けられており、第1の金属構造体群404を構成する第1の金属構造体403は周期406で設けられている。このように、本実施形態では、金属構造体の配列周期が互いに異なることから、2つの金属構造体群が個々に有する光学特性を同時に発現させることが可能となる。

【0115】

すなわち、図4（a）の光学フィルタは、前記誘電体基板の面内方向に、前記第1の金属構造体群を2つ以上有し、この2つ以上の第1の金属構造体群を構成する第1の構造体が設けられている周期は互いに異なっている。また、この2つ以上の第1の金属構造体群は重複した領域に配置されている。

【0116】

40

また、図4（b）は、第1の金属構造体と第2の金属構造体とが重複した領域に配置されている例を示したものである。第1の金属構造体407は第1の金属構造体群を構成し、第2の金属構造体408は第2の金属構造体群を構成する。このように金属構造体群を構成する金属構造体の形状が異なることから、2つの金属構造体群が有する個々の光学特性を同時に発現させることが可能となる。

【0117】

すなわち、図4（b）の光学フィルタは、第1の金属構造体群とは別に、誘電体基板の面内方向に、複数の第2の金属構造体を孤立した状態で2次元的、かつ周期的に設けた第2の金属構造体群を有している。この第2の金属構造体は、第1の方向に第3の長さを有し、かつ第2の方向に第4の長さを有し、第3の長さと第4の長さは前記第1の波長とは異なる第2の波長以下である。この第3の長さは第1の長さと異なるか、または第4の長

50

さは前記第2の長さと異なっており、第1の金属構造体群と、第2の金属構造体群とは重複した領域に配置されている。この結果、第1の金属構造体の共鳴波長（第1の波長）と、第2の金属構造体の共鳴波長（第2の波長）が異なっている。

【0118】

（第5の実施形態：単列フィルタ）

本実施形態では、単列フィルタについて説明する。

【0119】

図5において、第1の金属構造体509は第1の方向502に第1の長さ504を有し、かつ第1の方向502と直交する方向に第2の方向503に第2の長さ505を有する。そして、第1の金属構造体509は第1の方向502に周期的に配列されており、これにより第1の金属構造体群501を構成している。

10

【0120】

また、第2の金属構造体510は第1の方向502に第3の長さ507を有し、かつ第2の方向503に第4の長さ508を有する。そして、第2の金属構造体510は第1の方向502に周期的に配列されており、これにより第2の金属構造体群506を構成している。

【0121】

これらの金属構造体群501と506はそれぞれ異なる波長の光に対してプラズモン共鳴を生じ、その結果異なる波長の光の透過率を減少させることができる。そのため、図5に示した構造を有する光学フィルタは、光の照射位置によって透過率が低下する波長が変化するため、このフィルタを分光などに用いることが可能である。

20

【0122】

なお、図5に示した金属構造体509は第1の方向に有する周期と、金属構造体510が第1の方向に有する周期とが異なっているが、図6に示すように周期を同一にしても良い。

【0123】

すなわち、本実施形態に係る光学フィルタは、複数の金属構造体を前記誘電体基板の面内方向に孤立した状態で設けて構成された第1の金属構造体群と第2の金属構造体群とを有している。また、第1の金属構造体群と、第2の金属構造体群とは誘電体基板表面の相異なる領域に配置され、第1の金属構造体は、第1の方向に周期的に配置されている。また、この第1の金属構造体の第1の長さと第2の長さは、第1の波長以下の長さである。また、第2の金属構造体群を構成する第2の金属構造体は、前記第1の方向に周期的に配置されている。また、この第2の金属構造体は、第1の方向に第3の長さを有し、かつ第2の方向に第4の長さを有し、第3の長さと第4の長さは、第1の波長とは異なる第2の波長以下の長さである。そして、この第1の長さと第3の長さが異なるか、または、第2の長さと第4の長さが異なっている結果、第1の金属構造体の共鳴波長（第1の波長）と、第2の金属構造体の共鳴波長（第2の波長）が異なっている。

30

【0124】

（第6の実施形態：積層型の光学フィルタ）

本実施形態では、積層された光学フィルタについて説明する。

40

【0125】

図7において、誘電体基板701上には第1の金属構造体群702が形成され、更に第1の誘電体層703に覆われている。そして、第1の誘電体層703上には第2の金属構造体群704が配置され、更にその上に第2の誘電体層（他の誘電体層）705が形成されている。

【0126】

これにより、図2で示した透過スペクトル201と透過スペクトル203の積で表現される透過スペクトルの光学フィルタとすることも可能である。例えば、光学フィルタRと光学フィルタBのフィルタを積層することで、光学フィルタRの透過率と光学フィルタBの積の透過スペクトルを有する光学フィルタとすることができる。このフィルタは波長5

50

50 nm付近に透過率の最大値が生じる。このように単層では補色のフィルタとして機能するフィルタを、積層することで原色のフィルタとして機能させることも可能になる。

【0127】

第1の金属構造体群702と、第2の金属構造体群704の構成は面内の配列の周期が異なるか、あるいは金属構造体の形状が異なっている。

【0128】

第1の金属構造体群702と、第2の金属構造体群704の構成が異なることにより、これら各層は互いに異なる波長に対してプラズモン共鳴を生じる。その結果、本実施形態の光学フィルタは少なくとも二つの波長に対して透過率が極小になる。

【0129】

このことはつまり前述の二つの極小となる波長の間の波長を通すバンドパスフィルタとしての機能を有していることを意味する。

【0130】

したがって、単層である第1の金属構造体群702、と第2の金属構造体群704は補色フィルタの機能を有しているが、これらを積層構成することで両者の特性を併せもつ原色フィルタ機能を発現することができる。

【0131】

すなわち、本実施形態に係る積層型の光学フィルタは、誘電体層表面の上に、更に他の誘電体層が形成された積層型の光学フィルタである。そして、誘電体層表面と他の誘電体層との間に、複数の第2の金属構造体を前記誘電体層表面の面内方向に孤立した状態で2次元的、かつ周期的に設けた第2の金属構造体群を有している。第2の金属構造体群を構成する第2の金属構造体は、第1の方向に第3の長さを有し、かつ第2の方向に第4の長さを有し、第3の長さと第4の長さは、第1の波長とは異なる第2の波長以下の長さである。第1の長さと第3の長さが異なるか若しくは第2の長さと第4の長さが異なるか、又は、第2の金属構造体が設けられている周期と第1の金属構造体が設けられている周期とが異なっている。これにより、第2の金属構造体群は、第1の構造体群の共鳴波長（第1の波長）とは異なる共鳴波長（第2の波長）における透過率を減少させることができる。

【0132】

なお、本実施形態に係る積層型の光学フィルタにおいては、近接場相互作用が殆ど生じない積層間隔で積層することも好ましい形態である。具体的には、100 nm以上の積層間隔とすることが好ましい。

【実施例1】

【0133】

実施例1では、RGBの吸収・反射フィルタの作製方法と光学特性について説明する。

【0134】

図8(a)は厚さ525 μmの石英基板からなる誘電体基板801の表面に、金属薄膜層802として厚さ30 nmのアルミニウムを蒸着し、その上に電子線描画(EB)用レジスト803を塗布により形成したものである。なお、金属薄膜層802の成膜方法は蒸着に限るものでなく、スパッタリング等であってもよい。

【0135】

次に、EB描画装置を用いて、レジスト803をパターニングする。レジストパターンの形状は、一辺が約120 nmの正方形であり、周期約400 nmで正方格子状に配列した形状を作製する。このレジストパターンをエッチングマスクとして、塩素と酸素の混合気体のプラズマでドライエッチングすることで金属薄膜構造体804を形成することができる。なお、ドライエッチングガスは塩素と酸素に限るものではなく、アルゴンやその他のガスでも良い。

【0136】

また、エッチングマスクの作製方法はEB描画に限るものではなく、フォトリソグラフィー等でも良い。さらに、金属薄膜層802のパターニング方法は、誘電体基板801上にEB描画やフォトリソグラフィー等によりレジストパターンを形成し、金属薄膜層80

10

20

30

40

50

2を成膜した後にリフトオフプロセスにより形成しても良い。加えて、収束イオンビーム加工装置（FIB加工装置）を用いて、金属薄膜層802を直接加工しても良い。

【0137】

次に、金属薄膜構造体804の上に、誘電体層805として厚さ300nmの石英薄膜をスパッタリングにより成膜する。このようにして形成された光学フィルタを図8（b）に示す。なお、成膜方法は、スパッタリングに限るものではなく、CVDによる成膜やさらにはSOGなどを塗布しても良い。

【0138】

図9（a）には、このようにして作製した光学フィルタの透過スペクトルを示す。数値計算により透過スペクトルRは符号901のように求まり、本フィルタは波長650nm付近に透過率の最小値（吸収ピーク）を持つことが分かる。吸収ピークを示す波長は可視域の赤色に対応するため、本フィルタは赤を吸収する補色フィルタとして機能することがわかる。

【0139】

また、金属薄膜構造体804の径を約100nm、厚さを約30nm、周期を約310nmで配列することで符号902で示される透過スペクトルGが得られる。同様に、径を約70nm、厚さを30nm、周期を約250nmとすることで符号903で示される透過スペクトルBが得られる。これらはそれぞれRGBを吸収する光フィルタであり、補色フィルタとして機能する。

【0140】

また、本実施例のフィルタの反射スペクトルは、透過率が最小になる波長とほぼ同じ波長で反射率が最大になる。

【0141】

そのため、図9（b）に示すように、本実施例の光学フィルタは、反射フィルタとして用いることで、透過スペクトルRを有するフィルタからは符号904で示される反射スペクトルRを得ることができる。同様に、透過スペクトルGを有するフィルタは符号905で示される反射スペクトルG、透過スペクトルBを有するフィルタは符号906で示される反射スペクトルBを得ることができる。このように、これらの光学フィルタはそれぞれ可視域の赤、緑、青の反射率を増加させる光学フィルタとして機能させることができる。

【0142】

なお、本実施例では金属構造体が正方格子状に配列している例を用いて説明したが、三角格子配列にしてもよい。

【0143】

また、誘電体層805の厚みは300nmに限るものではない。より薄く作製しても構わない。金属構造体が生成する近接場領域の広さを誘電体層でカバーできるように、100nm程度もしくはそれ以上であることが好適である。

【実施例2】

【0144】

実施例2ではベイヤー配列のRGBフィルタの作製方法と光学特性について説明する。図10（a）は厚さ525μmの石英基板からなる誘電体基板1001の表面に、金属薄膜層1002として厚さ20nmのアルミニウムを蒸着し、その上にレジスト1003を塗布したものである。

【0145】

次に、EB描画装置を用いて、レジスト1003をパターニングする。レジストパターンの形状は、一辺が約130nmの正方形を周期約380nmで正方格子状に配列した形状を約10μm角にパターニングした部分をパターン部A1004とする。また、一辺が約110nmの正方形を周期約280nmで正方格子状に配列した形状をパターン部B1005とし、一辺が約80nmの正方形を周期約200nmで正方格子状に配列した形状をパターン部C1006とする。これらの各パターン部を10μmの隙間を空けて図10

10

20

30

40

50

(b) のように配置した構造を作製する。このレジストパターンをエッチングマスクとして、塩素と酸素の混合気体のプラズマでドライエッチングすることで金属薄膜構造体 1007 を作製する。

【0146】

次に、金属薄膜構造体 1007 の上に、誘電体層 1008 として厚さ 500 nm の石英薄膜をスパッタリングにより形成する。このようにして形成された光学フィルタを図 10 (c) に示す。

【0147】

なお、上述のパターン部の間の領域は、混色防止のために遮光層を形成しても良い。また、本実施例のように、各パターン部を構成する金属構造体の厚みを同一にすれば、各パターン部を同一プロセス内で作製することが可能となり、各パターン部間の境目をなくすことも可能である。

【0148】

図 11 に示すように、このようにして作製したパターン部 A、B、C は、符号 1101 で示された透過スペクトル R、符号 1102 で示された透過スペクトル G、符号 1103 で示された透過スペクトル B を有する。これらはそれぞれ RGB に対する補色フィルタとして機能することが出来る。さらに、本実施例のように、全てのパターン部について厚みを同一に作製しておけば、同一バッチにて RGB 補色フィルタを作製することが出来る。

【0149】

本実施例に係る金属構造体を用いた光学フィルタは、同一膜厚であっても構造体のサイズや配列周期を変えるだけで、吸収波長や反射波長の異なる光学フィルタを同時に作製することが出来る。

【0150】

一般的な光学フィルタである色素フィルタのアレイを作製する場合、異なる種類の色素ごとに異なるプロセスで塗り分ける必要がある。しかし、本実施例に係る光学フィルタでは、異なる波長の光学フィルタを同一プロセスで作製することが可能であるため、作製コストを低減することができる。

【0151】

また、誘電体層 1008 の厚みは 500 nm に限るものではない。例えば、青の波長域 (波長 450 nm) において FSR が 100 nm 以上確保できるためには、誘電体層の厚みはその屈折率を 1.46 とするときに約 690 nm 以下であることが好適である。また一方で、金属構造体が生成する近接場領域の広さを誘電体層でカバーできるように、100 nm 程度もしくはそれ以上であることも好適である。

【実施例 3】

【0152】

実施例 3 では積層フィルタの作製方法と光学特性について説明する。

【0153】

図 12 (a) は、厚さ 1 mm の石英基板からなる誘電体基板 1201 の表面に第一の金属薄膜層 1202 としてアルミニウムを厚さ 30 nm で蒸着し、その上に電子線描画 (EB) 用のレジスト 1203 を塗布により形成したものである。

【0154】

次に、EB 描画装置を用いて、レジスト 1203 をパターンングする。レジストパターンの形状は、一辺が約 120 nm の正方形であり、周期約 400 nm で正方格子状に配列した形状を作製する。このレジストパターンをエッチングマスクとして、塩素と酸素の混合気体のプラズマでドライエッチングすることで第一の金属薄膜構造体 1204 を作製する。

【0155】

次に、第一の金属薄膜構造体 1204 の上に、第一の誘電体層 1205 として厚さ 30 0 nm の石英薄膜をスパッタリングにより形成する。第一の誘電体層 1205 の厚さは 3 0 0 nm に限るものではないが、次の工程で作製する第二の金属薄膜構造体層と近接場相

10

20

30

40

50

互作用を及ぼしあわない層間距離を確保することが好ましい。

【0156】

次に、図12(b)に示すように、第一の誘電体層1205の表面に、第二の金属薄膜層1206としてアルミニウムを厚さ30nmで蒸着する。そして、この第二の金属薄膜層1206の上にレジスト層として電子線描画(EB)用レジストを塗布する。そして、EB描画装置にてレジスト層をパターニングする。レジストパターンの形状は、一辺が約70nmの正方形であり、周期約250nmで正方格子状に配列した形状を作製する。このレジストパターンをエッチングマスクとして、塩素と酸素の混合気体のプラズマでドライエッチングすることで第二の金属薄膜構造体1207を作製する。

【0157】

次に、図12(c)に示すように、第二の金属構造体1207の上に、第二の誘電体層1208として厚さ400nmの石英薄膜をスパッタリングにより形成する。

【0158】

図13には、このようにして作製した積層型の光学フィルタの透過スペクトルを示した。このフィルタの第一の金属薄膜構造体の透過スペクトル1301は吸収ピーク波長約650nm付近、第二の金属薄膜構造体の透過スペクトル1302は吸収ピーク波長約450nm付近である。このため、本実施例のフィルタの積層フィルタ透過スペクトル1303はこれらの積の形になる。したがって、本実施例に係る積層型フィルタは緑を透過する光フィルタとして機能することがわかる。つまり、各層単層では補色フィルタとして機能するフィルタを、積層構造としたことで原色フィルタとして機能させることが出来るようになる。

【実施例4】

【0159】

実施例4では、大きさの異なる金属構造体が交互に配列することにより、すなわち2つの金属構造体群が重複して配置することにより、複数の透過スペクトルを複合させた透過スペクトルを有するフィルタを単層で実現できる例について説明する。

【0160】

図15(a)は、一辺が90nmの正方形のアルミニウムからなる金属構造体1501と、一辺が150nmの正方形のアルミニウムからなる金属構造体1502が配列されている例を示したものである。これらの金属構造体の厚さは60nmであり、金属構造体1501と1502は、周期1506で互い違いに正方格子状に配列されている。ここでは周期1506は250nmとしている。

【0161】

図15(b)には、このようにして作製した光学フィルタの透過スペクトル1503を示した。一方、リファレンスとして、一辺90nmの正方形のアルミニウムを厚さ60nm、周期250nmで正方格子状に配列した光学フィルタの透過スペクトル1504を示した。また、一辺150nmの正方形のアルミニウムを厚さ60nm、周期400nmで正方格子状に配列した光学フィルタの透過スペクトル1505を示した。

【0162】

このように、本実施例に係る光学フィルタは、透過スペクトル1503を有するため、単層構造ながら2層のフィルタが有する両方の特性を発現するスペクトルを得ることができる。

【0163】

また、透過スペクトル1503は波長600nm付近に透過率最大値を持つフィルタの特性を有すると考えることもでき、補色フィルタ2層分の機能を一層で発現させることが可能となる。なお、本実施例に係る光学フィルタは、単層の金属構造体のフィルタを積層する場合と比較して更に簡易に作製することが可能となる。

【0164】

本実施例では、面内に2種類の金属構造体の形状が混在する例を挙げたが、面内に存在する金属微粒子形状は3種類以上であってもよく、また周期を変調させた構造体群を配置

10

20

30

40

50

して所望の光学特性を得るように設計しても良い。

【実施例 5】

【0165】

本実施例は、実施例 1 ないし 4 で説明したいずれかの光学フィルタを用いた光検出素子、および光検出素子をアレイ状に並べて撮像素子を構成し、この撮像素子をデジタルカメラに組み込んだ例である。

【0166】

図 23 は、本発明の光学フィルタを用いた光検出素子の模式図である。

光検出素子 2507 は、マイクロレンズ 2501 を通して外部から入射した光を光電変換部 2505 に導入する。光電変換部では入射光に応じた電荷を発生させる。光検出素子は光電変換部 2505 のほかに本発明で開示される光学フィルタ 2502、誘電体層 2503、電気回路部 2504、半導体基板 2506 を含んでいる。光学フィルタ 2502 には例えば図 1 に示す金属構造体 120 のような、光に対してプラズモン共鳴を誘起し得る構造を含んでいる。

【0167】

図 24 は、本発明の光学フィルタを用いた撮像素子の模式図である。

【0168】

図 24 において、画素エリア 2600 は、前述の複数の光検出素子（画素）2601a ~ 2603c を、3 行 × 3 列の 2 次元マトリクス状に配置している。尚、図 24 では、画素エリア 2600 は、3 行 × 3 列の 2 次元マトリクス状としたが、例えば、7680 × 4320 列のマトリクスとすることも可能である。

【0169】

図 24 において、垂直走査回路 2605 および水平走査回路 2604 は、画素エリア 2600 内に配置されている光検出素子（画素）を選択して読み出すための回路である。

【0170】

図 24 のように構成した撮像素子をデジタルカメラに組み込んだ模式図を図 25 に示す。

【0171】

図 25 において、2701 はカメラ本体、2709 は接眼レンズ、2711 はシャッターであり、2716 は、ミラーである。

【0172】

本発明に係る撮像素子は 2706 であり、レンズ鏡筒 2705 内に配された撮影光学系（レンズ）2702 を介し、撮像素子 2706 に光が入射する。これにより被写体像に応じて、撮像素子 2706 の各画素に電荷が発生し、発生した電荷に対応して被写体像を再現できる。被写体像は、モニター用ディスプレイ装置 2707 で再生できる他、メモリーカード等の記録媒体 2708 に記録される。

【0173】

本発明に係る光学フィルタは、一般的な色素で構成されるカラーフィルタと比較して厚みが薄いため、ここで示した本発明の撮像素子を薄く構成できる。その結果、撮像素子表面から撮像素子光電変換部までの距離が短くなるため、光の利用効率が向上する。これにより、本発明に係る撮像素子の感度向上が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0174】

【図 1】第 1 の実施形態を示す模式図

【図 2】第 1 の実施形態により得られる透過スペクトル

【図 3】第 2 の実施形態を示す模式図

【図 4】第 4 の実施形態を示す模式図

【図 5】第 5 の実施形態を示す模式図

【図 6】第 5 の実施形態を示す模式図

【図 7】第 6 の実施形態を示す模式図

10

20

30

40

50

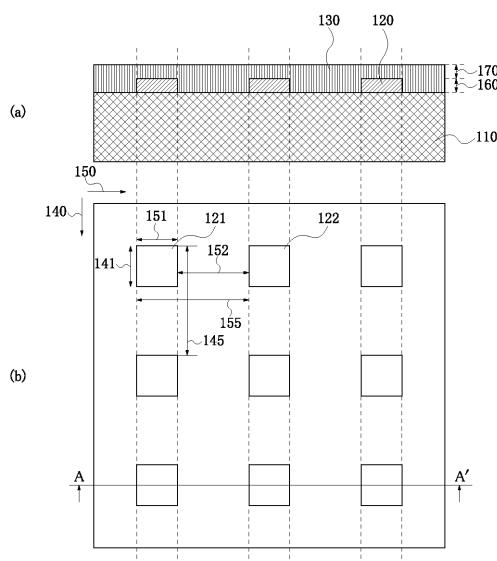
【図 8】実施例 1 に係る光学フィルタの模式図	
【図 9】実施例 1 に係る光学フィルタにより得られる透過スペクトル	
【図 10】実施例 2 に係る光学フィルタの模式図	
【図 11】実施例 2 に係る光学フィルタにより得られる透過スペクトル	
【図 12】実施例 3 に係る光学フィルタの模式図	
【図 13】実施例 3 に係る光学フィルタにより得られる透過スペクトル	
【図 14】本発明の実施形態を説明するときに用いた模式図	
【図 15】実施例 4 に係る光学フィルタの模式図と透過スペクトル	
【図 16】第 3 の実施形態を示す模式図	10
【図 17】金属構造体の長さと共に鳴波長の関係を示す図	
【図 18】金属構造体の長さを規定した模式図	
【図 19】金属構造体の長さと共に鳴波長の関係を示す図	
【図 20】金属構造体の厚さと共に鳴波長の関係を示す図	
【図 21】金属構造体の周期と共に鳴波長の関係を示す図	
【図 22】波長と透過率の関係を示す図	
【図 23】光検出素子の模式図	
【図 24】撮像素子の模式図	
【図 25】デジタルカメラの模式図	
【符号の説明】	
【0175】	20
110 誘電体基板	
120 金属構造体	
121 第 1 の金属構造体	
122 第 1 の金属構造体	
130 誘電体層	
140 第一の方向	
141 第一の長さ	
145 周期	
150 第二の方向	
151 第二の長さ	30
155 周期	
160 金属構造体の厚さ	
170 誘電体層の厚さから金属構造体の厚さを減じた厚さ	
201 透過スペクトル R	
202 透過スペクトル G	
203 透過スペクトル B	
301 領域	
302 領域	
303 領域	
401 第 1 の金属構造体	40
402 第 1 の金属構造体群	
403 第 1 の金属構造体	
404 第 1 の金属構造体群	
405 周期	
406 周期	
407 第 1 の金属構造体	
408 第 2 の金属構造体	
501 第 1 の金属構造体群	
502 第 1 の方向	
503 第 2 の方向	50

5 0 4	第 1 の長さ	
5 0 5	第 2 の長さ	
5 0 6	第 2 の金属構造体群	
5 0 7	第 3 の長さ	
5 0 8	第 4 の長さ	
7 0 1	誘電体基板	
7 0 2	第 1 の金属構造体群	
7 0 3	第 1 の誘電体層	
7 0 4	第 3 の金属構造体群	
7 0 5	第 2 の誘電体層 (他の誘電体層)	10
8 0 1	誘電体基板	
8 0 2	金属薄膜層	
8 0 3	レジスト	
8 0 4	金属薄膜構造体	
8 0 5	誘電体層	
9 0 1	透過スペクトル R	
9 0 2	透過スペクトル G	
9 0 3	透過スペクトル B	
9 0 4	反射スペクトル R	
9 0 5	反射スペクトル G	20
9 0 6	反射スペクトル B	
1 0 0 1	誘電体基板	
1 0 0 2	金属薄膜層	
1 0 0 3	電子線描画用レジスト	
1 0 0 4	パターン部 A	
1 0 0 5	パターン部 B	
1 0 0 6	パターン部 C	
1 0 0 7	金属薄膜構造体	
1 0 0 8	誘電体層	
1 1 0 1	透過スペクトル R	30
1 1 0 2	透過スペクトル G	
1 1 0 3	透過スペクトル B	
1 2 0 1	誘電体基板	
1 2 0 2	第一の金属薄膜層	
1 2 0 3	レジスト	
1 2 0 4	第一の金属薄膜構造体	
1 2 0 5	第一の誘電体層	
1 2 0 6	第二の金属薄膜層	
1 2 0 7	第二の金属薄膜層	
1 2 0 8	第二の誘電体層	40
1 3 0 1	透過スペクトル	
1 3 0 2	透過スペクトル	
1 3 0 3	積層フィルタ透過スペクトル	
1 4 0 1	誘電体基板	
1 4 0 2	金属	
1 4 0 3	金属上面	
1 4 0 4	金属下面	
1 5 0 1	金属構造体	
1 5 0 2	金属構造体	
1 5 0 3	透過スペクトル	50

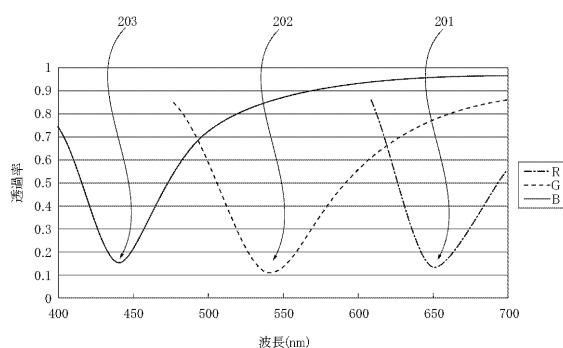
- 1 5 0 4 透過スペクトル
 1 5 0 5 透過スペクトル
 1 5 0 6 周期
 1 6 0 1 第1の金属構造体
 1 6 0 2 第1の金属構造体群
 1 6 0 3 第2の金属構造体
 1 6 0 4 第2の金属構造体群
 1 8 0 1 第1の長さ
 1 8 0 2 第2の長さ
 2 2 0 1 透過スペクトル
 2 2 0 2 透過スペクトル

10

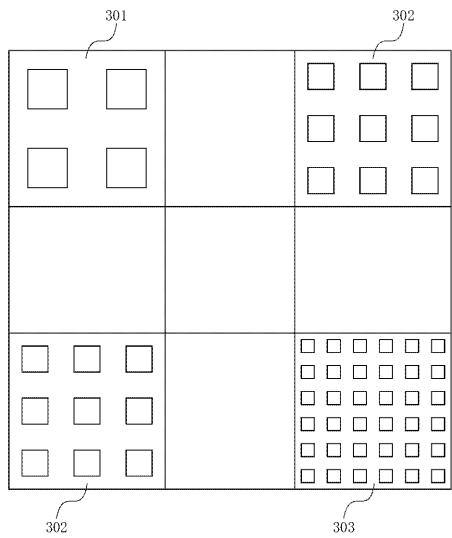
【図1】



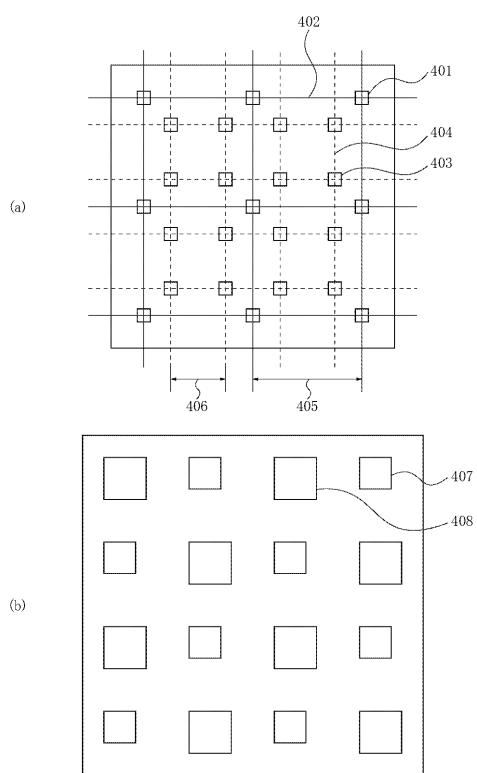
【図2】



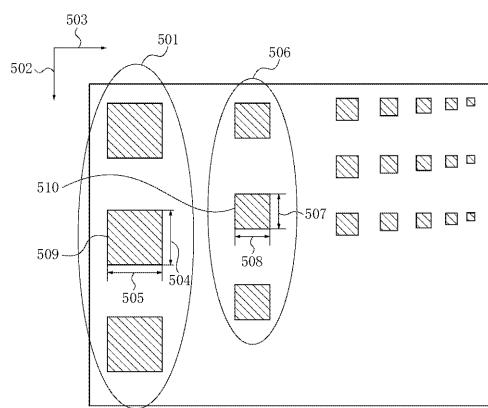
【図3】



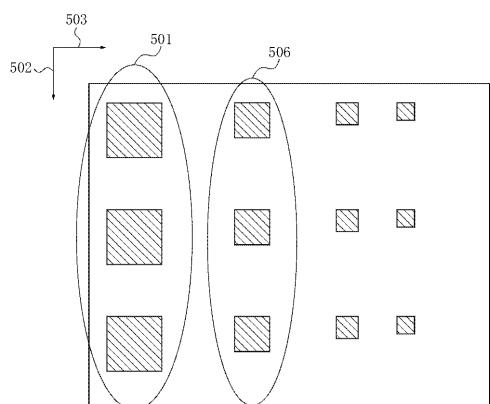
【図4】



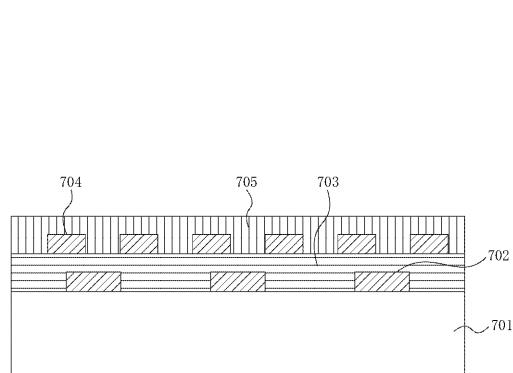
【図5】



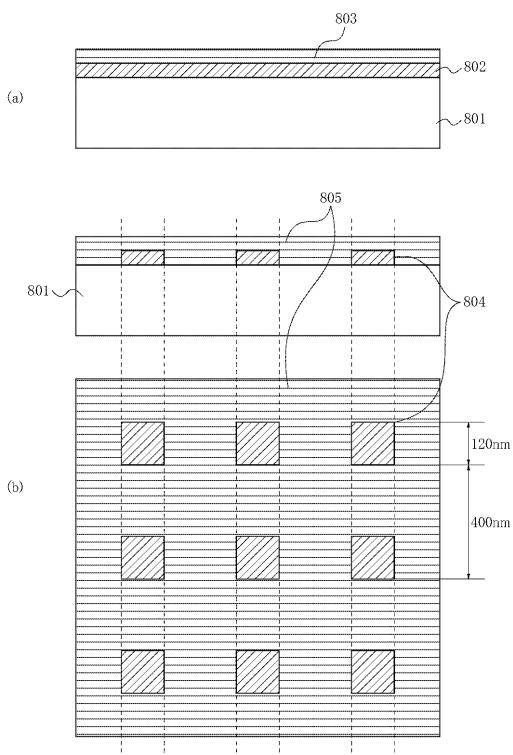
【図6】



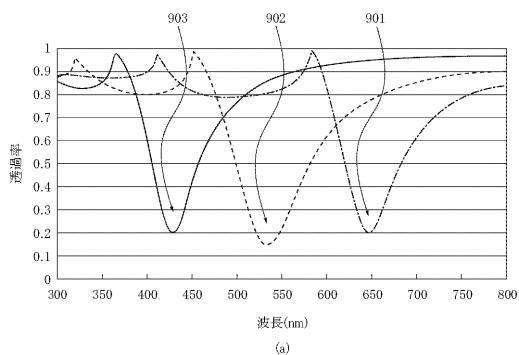
【図7】



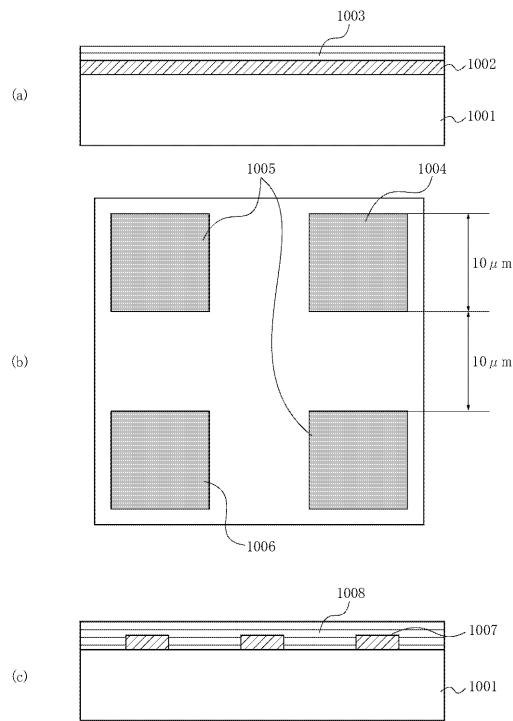
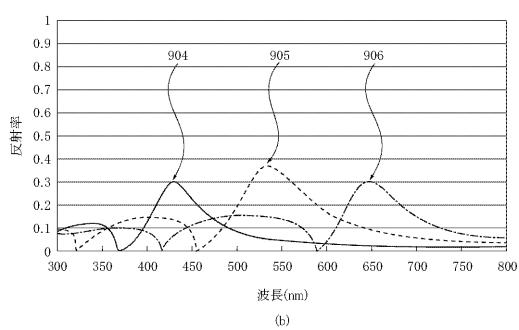
【図8】



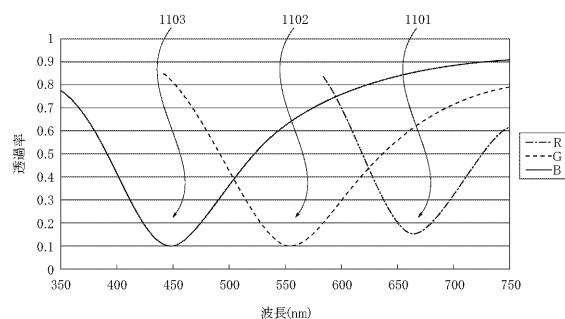
【図9】



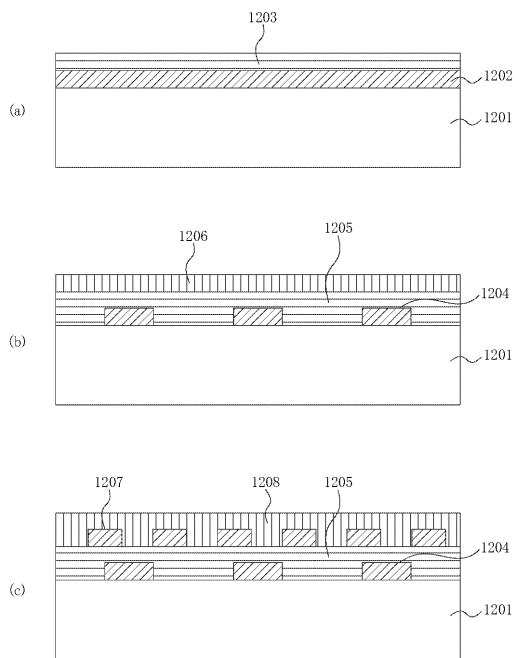
【図10】



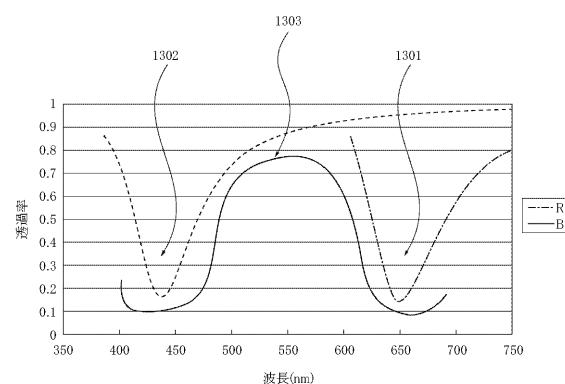
【図11】



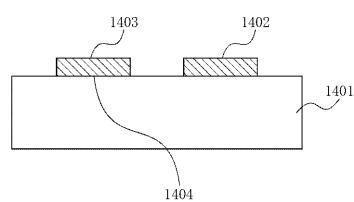
【図12】



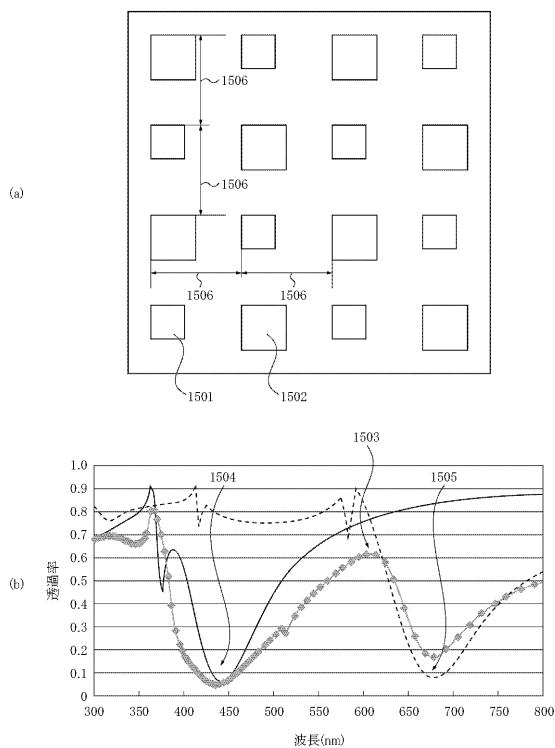
【図13】



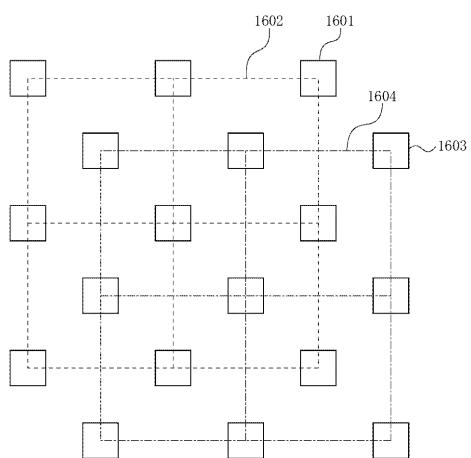
【図14】



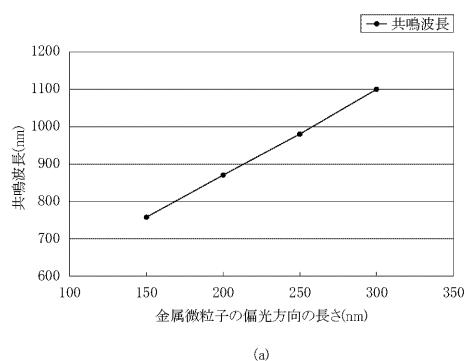
【図15】



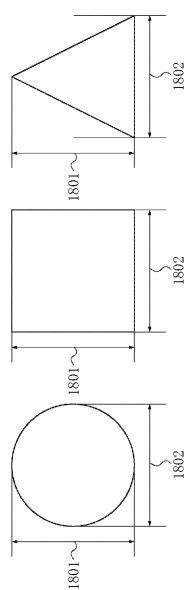
【図16】



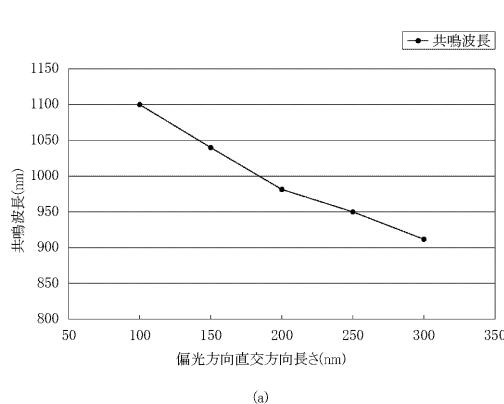
【図17】



【図18】



【図19】



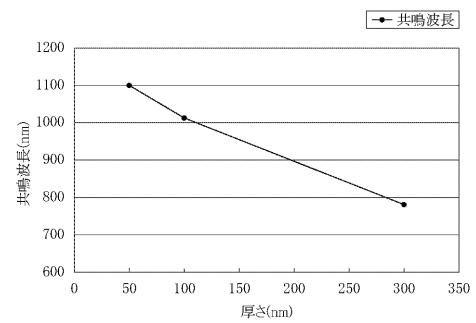
(a)

偏光方向長さ300nm、厚さ50nm、周期500nmで固定

偏光直交方向長さ	共鳴波長	ピーク幅	透過率
100	1100	410	5
150	1040	450	4
200	980	515	3
250	950	545	2
300	910	550	2

(b)

【図20】



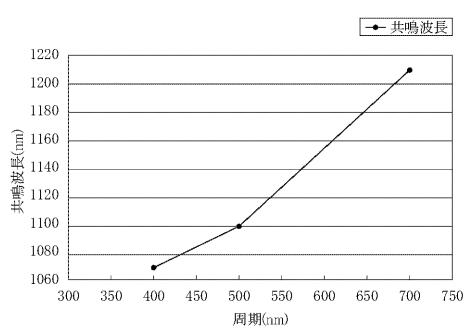
(a)

偏光方向長さ300nm、偏光直交方向長さ100nm、周期500nmで固定

厚さ	共鳴波長	ピーク幅	透過率
50	1100	410	5
100	1010	370	4
300	777	285	1

(b)

【図21】



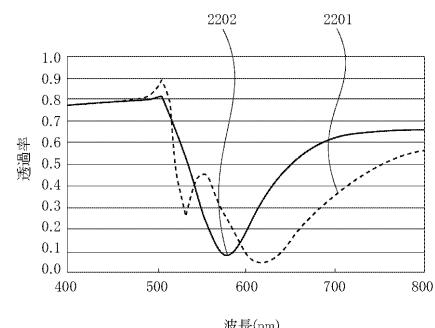
(a)

偏光方向長さ300nm、偏光直交方向長さ100nm、厚さ50nmで固定

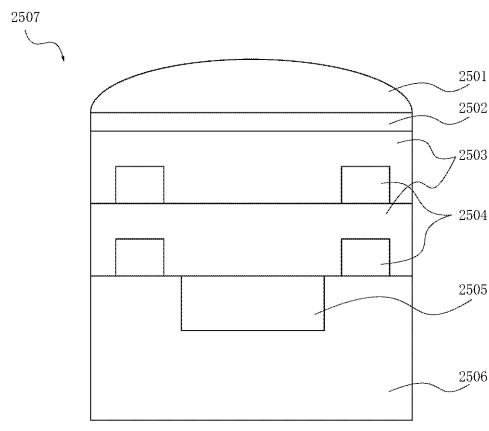
配置周期	共鳴波長	ピーク幅	透過率
400	1070	650	2
500	1100	410	5
700	1210	200	15

(b)

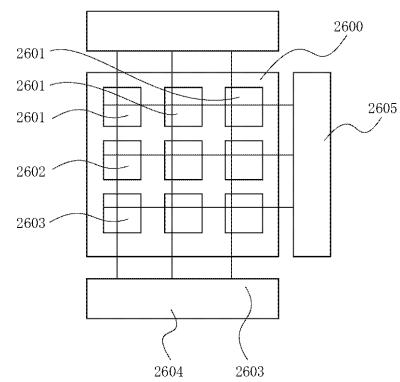
【図22】



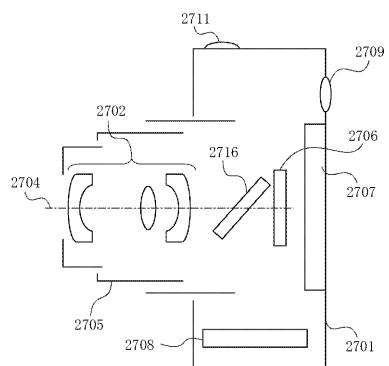
【図23】



【図24】



【図25】



フロントページの続き

(72)発明者 萩野 昌也
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

審査官 外川 敬之

(56)参考文献 国際公開第2007/118895 (WO, A1)
特開2001-133618 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B	5 / 2 0
G 02 B	5 / 2 6
G 02 F	1 / 0 1
G 02 B	5 / 2 2