

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6645912号
(P6645912)

(45) 発行日 令和2年2月14日 (2020.2.14)

(24) 登録日 令和2年1月14日 (2020.1.14)

(51) Int. Cl.	F I
G 0 2 B 5/22 (2006.01)	G O 2 B 5/22
G 0 2 B 5/20 (2006.01)	G O 2 B 5/20
B 3 2 B 7/02 (2019.01)	B 3 2 B 7/02

請求項の数 14 外国語出願 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2016-113285 (P2016-113285)	(73) 特許権者	507342261
(22) 出願日	平成28年6月7日 (2016.6.7)		トヨタ モーター エンジニアリング ア
(65) 公開番号	特開2017-21334 (P2017-21334A)		ンド マニファクチャリング ノース
(43) 公開日	平成29年1月26日 (2017.1.26)		アメリカ, インコーポレイティド
審査請求日	平成29年6月27日 (2017.6.27)		アメリカ合衆国、75024 テキサス州
(31) 優先権主張番号	14/793, 133		、プレイノ、ダブリュ1-3シー・ヘッド
(32) 優先日	平成27年7月7日 (2015.7.7)		クォーターズ・ドライブ、6565
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	100099759
			弁理士 青木 篤
		(74) 代理人	100092624
			弁理士 鶴田 準一
		(74) 代理人	100087413
			弁理士 古賀 哲次
		(74) 代理人	100123593
			弁理士 関根 宣夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 金属吸収体層及び誘電体吸収体層の組合せを有する全方向高彩度赤色構造色

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反射性コア層；

前記反射性コア層にわたって延在しており、かつ、前記反射性コア層に直接接している金属吸収体層；及び

前記金属吸収体層にわたって延在しており、かつ、前記金属吸収体層に直接接している誘電体吸収体層であって、 Fe_2O_3 から作られた誘電体吸収体層；

を有する多層積層体を備え、

前記多層積層体は、 a^*b^*L ab カラーマップ上での $0 \sim 40^\circ$ の間の色相を有する可視光の単一帯域を反射し、前記可視光の単一帯域は、前記多層積層体の外側面に対する垂直方向 $0 \sim 45^\circ$ の間のすべての角度から見た場合に、前記 a^*b^*L ab カラーマップ上での前記 $0 \sim 40^\circ$ の範囲内の色相シフトを有する、全方向高彩度赤色構造色顔料。

【請求項 2】

前記 a^*b^*L ab カラーマップ上で、前記色相が、 $10 \sim 30^\circ$ の間であり、及び前記色相シフトが、前記 $10 \sim 30^\circ$ の範囲内である、請求項 1 に記載の全方向高彩度赤色構造色顔料。

【請求項 3】

前記反射性コア層が、 $50 \sim 200$ ナノメートルの間の厚さを有する、請求項 1 又は 2 に記載の全方向高彩度赤色構造色顔料。

【請求項 4】

前記反射性コア層が、反射性金属及び有色の金属のうちの少なくとも1つから作られる、請求項1～3のいずれか一項に記載の全方向高彩度赤色構造色顔料。

【請求項 5】

前記反射性金属が、Al、Ag、Pt、Sn、Cr、及びこれらの組み合わせのうちの少なくとも1つである、請求項4に記載の全方向高彩度赤色構造色顔料。

【請求項 6】

前記有色の金属が、Au、Cu、真鍮、青銅、及びこれらの組み合わせのうちの少なくとも1つである、請求項4に記載の全方向高彩度赤色構造色顔料。

【請求項 7】

前記金属吸収体層が、5～500ナノメートルの間の厚さを有する、請求項1～6のいずれか一項に記載の全方向高彩度赤色構造色顔料。

【請求項 8】

前記金属吸収体層が、Cu、青銅、真鍮、アモルファスSi、Ge、TiN、及びこれらの組み合わせのうちの少なくとも1つから作られる、請求項1～7のいずれか一項に記載の全方向高彩度赤色構造色顔料。

【請求項 9】

前記誘電体吸収体層が、5～500ナノメートルの間の厚さを有する、請求項1～8のいずれか一項に記載の全方向高彩度赤色構造色顔料。

【請求項 10】

前記反射性コア層が、中心反射性コア層であり、前記金属吸収体層が、前記中心反射性コア層の両側にわたって延在している1対の金属吸収体層であり、前記中心反射性コア層が、前記1対の金属吸収体層の間に挟まれている、請求項1～9のいずれか一項に記載の全方向高彩度赤色構造色顔料。

【請求項 11】

前記誘電体吸収体層が、1対の誘電体吸収体層であり、前記中心反射性コア層及び前記1対の金属吸収体層が、前記1対の誘電体吸収体層の間に挟まれている、請求項10に記載の全方向高彩度赤色構造色顔料。

【請求項 12】

前記反射性コア層が、乾式堆積層である、請求項1～11のいずれか一項に記載の全方向高彩度赤色構造色顔料。

【請求項 13】

前記1対の金属吸収体層が、乾式堆積層である、請求項10に記載の全方向高彩度赤色構造色顔料。

【請求項 14】

前記1対の誘電体吸収体層が、乾式堆積層又は湿式堆積層である、請求項11に記載の全方向高彩度赤色構造色顔料。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2015年1月28日出願の米国特許出願第14/607933号明細書の一部継続出願(CIP)であり、これはさらに、2014年8月28日出願の米国特許出願第14/471834号明細書のCIPであり、これはさらに、2014年8月15日出願の米国特許出願第14/460511号明細書のCIPであり、これはさらに、2014年4月1日出願の米国特許出願第14/242429号明細書のCIPであり、これはさらに、2013年12月23日出願の米国特許出願第14/138499明細書のCIPであり、これはさらに、2013年6月8日出願の米国特許出願第13/913402明細書のCIPであり、これはさらに、2013年2月6日出願の米国特許出願第13/760699明細書のCIPであり、これはさらに、2012年8月10日出願の米国

10

20

30

40

50

特許出願第13/572071明細書のCIPであり、これらのすべては、その全内容が参照により援用される。

【0002】

本発明は、広帯域電磁放射線に暴露され、様々な角度から観察された際に、最小限の又は知覚されない色シフトで高彩度の赤色を呈する多層積層体構造に関する。

【背景技術】

【0003】

多層構造から作られる顔料は知られている。加えて、高彩度全方向構造色を呈する、又は提供する顔料も知られている。しかし、そのような先行技術の顔料では、所望される色特性を得るために、39もの薄膜層が必要であった。

【0004】

薄膜多層顔料の生産に伴うコストが、必要とされる層の数に比例することは理解される。従って、誘電性材料の多層積層体を用いての高彩度全方向構造色の生産に伴うコストは、非常に高くなり得る。従って、必要とされる薄膜層の数が最小限である高彩度全方向構造色が望ましい。

【0005】

上記に加えて、赤色顔料の設計が、青色、緑色などの他の色の顔料の場合に加えて追加の困難に直面することも理解される。特に、赤色の場合の角度非依存性 (angular independence) の制御は、より厚い誘電体層が必要とされ、そしてその結果として、高次高調波設計となる、すなわち、二次及び場合によっては三次高調波の存在が避けられないことから、困難である。また、暗赤色の色相空間は非常に狭い。従って、赤色多層積層体は、より高い角度変動 (angular variance) を有する。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記から考えて、層の数が最小限である高彩度赤色全方向構造色顔料が望ましい。

【課題を解決するための手段】

【0007】

全方向高彩度赤色構造色顔料が提供される。この全方向構造色顔料は、反射性コア層、反射性コア層にわたって延在している金属吸収体層、及び金属吸収体層にわたって延在している誘電体吸収体層を有する多層積層体の形態である。多層積層体は、 a^*b^*Lab カラーマップ上での $0 \sim 40^\circ$ の間、好ましくは $10 \sim 30^\circ$ の間の色相を有する可視光の単一帯域を反射する。加えて、この可視光の単一帯域は、多層積層体の外側面に対する垂直方向 $0 \sim 45^\circ$ の間のすべての角度から見た場合に、 a^*b^*Lab カラーマップ上での 30° 未満の色相シフトを有し、このため、生ずる色シフトは、人間の眼には知覚されない。

【0008】

反射性コア層は、下限上限値を含めて $50 \sim 200$ ナノメートル (nm) の間の厚さを有し、反射性金属、例えばアルミニウム (Al)、銀 (Ag)、白金 (Pt)、スズ (Sn)、これらの組み合わせ、及び同種のものなどから作られてよい。反射性コア層はまた、有色の金属 (colorful metal)、例えば金 (Au)、銅 (Cu)、真鍮、青銅、及び同種のものなどから作られてよい。

【0009】

金属吸収体層は、下限上限値を含めて $5 \sim 500$ nm の間の厚さを有してよく、有色の金属、例えば銅 (Cu)、金 (Au)、青銅 (Cu-Zn合金)、真鍮 (Cu-Sn合金)、アモルファスシリコン (Si)、又は有色の窒化物材料、例えば窒化チタン (TiN) などの材料から作られてよい。誘電体吸収体層は、上限下限を含めて $5 \sim 500$ nm の間の厚さを有してよく、有色の誘電体材料、これらに限定されないが、例えば酸化鉄 (Fe_2O_3) から作られてよい。

【0010】

反射性コア層、金属吸収体層、及び／又は誘電体吸収体層は、乾式堆積層であってよい。しかしながら、誘電体吸収体層は、湿式堆積層であってよい。加えて、反射性コア層は、中心反射性コア層であってよく、金属吸収体層は、中心反射性コア層の両側にわたって延在する１対の金属吸収体層であってよく、すなわち、中心反射性コア層は、１対の金属吸収体層の間に挟まれている。さらに、誘電体吸収体層は、１対の誘電体吸収体層であってよく、それによって、中心反射性コア層及び１対の金属吸収体層は、１対の誘電体吸収体層の間に挟まれている。

【 0 0 1 1 】

そのような全方向高彩度赤色構造色を作るためのプロセスは、反射性コア層を乾式堆積すること、反射性コア層にわたって延在する金属吸収体層を乾式堆積すること、及び金属吸収体層にわたって延在する誘電体吸収体層を乾式堆積又は湿式堆積することによって多層積層体を製造することを含む。この方法により、ハイブリッド製造プロセスを用いて、顔料、コーティング、及び同種のものに用いることができる全方向高彩度赤色構造色は作製されることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】図 1 は、誘電体層、選択性吸収層（S A L）、及び反射体層から作られる全方向構造色多層積層体の概略図である。

【図 2 A】図 2 A は、500 nm の波長を有する電磁放射線（E M R）に暴露された Z n S 誘電体層内のゼロ又はゼロに近い電場点の概略図である。

【図 2 B】図 2 B は、300、400、500、600、及び700 nm の波長を有する E M R に暴露された場合の、図 2 A に示した Z n S 誘電体層の厚さに対する電場の絶対値の二乗（ $|E|^2$ ）をグラフで示したものである。

【図 3】図 3 は、基材又は反射体層上に広がり、誘電体層の外側面に対しての垂直方向に対する角度で電磁放射線に暴露された誘電体層の概略図である。

【図 4】図 4 は、434 nm の波長を有する入射 E M R の場合における、Z n S 誘電体層内のゼロ又はゼロに近い電場点に位置する C r 吸収体層を有する Z n S 誘電体層の概略図である。

【図 5】図 5 は、白色光に暴露された C r 吸収体層を有しない多層積層体（例：図 2 A）及び C r 吸収体層を有する多層積層体（例：図 4）における、反射 E M R 波長に対する反射率パーセントをグラフで示したものである。

【図 6 A】図 6 A は、A 1 反射体層上に延在している Z n S 誘電体層（例：図 2 A）が見せる一次高調波及び二次高調波を示すグラフである。

【図 6 B】図 6 B は、A 1 反射体層にわたって延在している Z n S 誘電体層に加えて、図 6 A に示す二次高調波が吸収されるように Z n S 誘電体層内に配置される C r 吸収体層を有する多層積層体における、反射 E M R 波長に対する反射率パーセントをグラフで示したものである。

【図 6 C】図 6 C は、A 1 反射体層にわたって延在している Z n S 誘電体層に加えて、図 6 A に示す一次高調波が吸収されるように Z n S 誘電体層内に配置される C r 吸収体層を有する多層積層体における、反射 E M R 波長に対する反射率パーセントをグラフで示したものである。

【図 7 A】図 7 A は、0 及び 45 度の入射光への暴露における C r 吸収体層の電場の角度依存性を示す、誘電体層厚さに対する電場の二乗をグラフで示したものである。

【図 7 B】図 7 B は、外側面の垂直方向に対して 0 及び 45° の角度（0° は面に対して垂直）の白色光に暴露された場合の、反射 E M R 波長に対する C r 吸収体層による吸収率パーセントをグラフで示したものである。

【図 8 A】図 8 A は、本明細書で開示される態様における赤色全方向構造色多層積層体の概略図である。

【図 8 B】図 8 B は、0 及び 45° の入射角で図 8 A に示した多層積層体を白色光に暴露した場合の、反射 E M R 波長に対する図 8 A に示した C u 吸収体層の吸収率パーセントを

10

20

30

40

50

グラフで示したものである。

【図 9】図 9 は、 0° の入射角の白色光に暴露された概念実証赤色全方向構造色多層積層体における、反射 E M R 波長に対する反射率パーセントについての計算 / シミュレーションデータと実験データとの比較を示すグラフである。

【図 10】図 10 は、本明細書で開示される態様における全方向構造色多層積層体の場合の波長に対する反射率パーセントをグラフで示したものである。

【図 11】図 11 は、本明細書で開示される態様における全方向構造色多層積層体の場合の波長に対する反射率パーセントをグラフで示したものである。

【図 12】図 12 は、C I E L A B (L a b) 色空間を用いた a^*b^* カラーマップの一部をグラフで示したものであり、従来の塗料及び本明細書で開示される態様における顔料から作られた塗料 (サンプル (b)) の彩度並びに色相のシフトが比較される。

【図 13】図 13 は、本明細書で開示されるもう一つの態様における赤色全方向構造色多層積層体の概略図である。

【図 14】図 14 は、図 13 で示される態様における波長に対する反射率パーセントをグラフで示したものである。

【図 15】図 15 は、図 13 で示される態様における波長に対する吸収率パーセントをグラフで示したものである。

【図 16】図 16 は、図 13 で示される態様における反射率パーセント対波長対観察角度をグラフで示したものである。

【図 17】図 17 は、図 13 で示される態様における観察角度に対する彩度及び色相をグラフで示したものである。

【図 18】図 18 は、 $a^*b^*L a b$ カラーマップに関して、図 13 に示される態様によって反射される色をグラフで示したものである。

【図 19】図 19 は、本明細書で開示される態様における全方向赤色構造色多層積層体を製造するためのプロセスの概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

全方向高彩度赤色構造色顔料が提供される。この全方向高彩度赤色構造色顔料は、反射性コア層、金属吸収体層、及び誘電体吸収体層を有する多層積層体の形態である。金属吸収体層は、反射性コア層にわたって延在し、いくつかの例では、反射性コア層に直接接して又はその上に位置する。誘電体吸収体層は、金属吸収体層にわたって延在し、いくつかの例では、金属吸収体層に直接接して又はその上に配置される。多層積層体は、対称積層体であってよく、すなわち、反射性コア層が、1 対の金属吸収体層に隣接する中心反射性コア層であり、この 1 対の金属吸収体層は、1 対の誘電体吸収体層に隣接している。

【0014】

多層積層体は、 $a^*b^*L a b$ カラーマップ上での $0 \sim 40^\circ$ の間、好ましくは $10 \sim 30^\circ$ の間の色相の赤色を有する可視光の単一帯域を反射する。加えて、この可視光の単一帯域の色相シフトは、多層積層体の外側面に対する垂直方向 $0 \sim 45^\circ$ の間のすべての角度から多層積層体を見た場合に、 $a^*b^*L a b$ カラーマップ上での 30° 未満、好ましくは 20° 未満、より好ましくは 10° 未満である。従って、反射可視光の単一帯域の色相シフトは、 $a^*b^*L a b$ カラーマップ上での $0 \sim 40^\circ$ の領域及び / 又は $10 \sim 30^\circ$ の領域内であり得る。

【0015】

反射性コア層は、下限上限値を含めて $50 \sim 200 \text{ nm}$ の間の厚さの乾式堆積層であってよい。「乾式堆積」の用語は、電子ビーム蒸着を含む物理蒸着 (P V D) 法、スパッタリング、化学蒸着 (C V D) 、プラズマ C V D 、及び同種のものなどの乾式堆積法を意味する。いくつかの例では、反射性コア層は、反射性金属、例えば A l 、 A g 、 P t 、 S n 、これらの組み合わせ、及び同種のものなどから作られる。他の例では、反射性コア層は、有色金属、例えば A u 、 C u 、真鍮、青銅、これらの組み合わせ、及び同種のものなどから作られる。「真鍮」及び「青銅」の用語は、それぞれ、当業者に公知の銅 亜鉛合金

10

20

30

40

50

及び銅 スズ合金を意味することは理解される。

【0016】

金属吸収体層はまた、反射性コア層上に堆積された乾式堆積層であってもよい。もう一つの選択肢として、反射性コア層は、金属吸収体層上に堆積されてもよい。金属吸収体層は、下限上限値を含めて5～500nmの間の厚さを有してよく、有色の金属、例えばCu、青銅、若しくは真鍮、又はアモルファスシリコン(Si)、ゲルマニウム(Ge)、TiN、及び同種のものなどの材料から作られてよい。本開示の目的について、用語「金属吸収体層」は、通常は金属としては知られていない材料、例えばアモルファスSi、Ge、TiN及び同種のものを含むと理解される。

【0017】

誘電体吸収体層は、さらに金属吸収体層上に堆積される乾式堆積層又は湿式堆積層であってよい。もう一つの選択肢として、金属吸収体層は、誘電体吸収体層上に堆積されてよい。誘電体吸収体層は、上限下限を含めて5～500nmの間の厚さを有してよく、かつ誘電体材料、例えば酸化鉄(Fe₂O₃)及び同種のものから作られてよい。また、「湿式堆積」の用語は、ゾルゲル法、スピコート法、湿式化学堆積法(wet chemistry deposition techniques)、及び同種のものなどの湿式堆積法を意味する。

【0018】

多層積層体の全体厚さは、3ミクロン未満、好ましくは2ミクロン未満、より好ましくは1.5ミクロン未満、なおより好ましくは1.0ミクロン以下であってよい。加えて、多層積層体は、合計で9以下の層、好ましくは合計で7以下の層、より好ましくは合計で5以下の層を有してよい。

【0019】

図1を参照すると、下層反射体層(RL)がそれにわたって延在している第一の誘電性材料層DL₁、及びDL₁層にわたって延在している選択性吸収層SALを有する設計が、示される。加えて、もう一つのDL₁層が備えられて、選択性吸収層にわたって広がっていてもよく、又は備えられていなくてもよい。この図にはさらに、すべての入射電磁放射線は、多層構造によって反射されるか、又は選択的に吸収されるかのいずれかであることも示される。

【0020】

図1に示されるような設計は、所望される多層積層体の設計及び製造のための用いられる異なる手法に対応する。特に、誘電体層におけるゼロ又はゼロに近いエネルギー点の厚さ(zero or near-zero energy point thickness)が用いられ、以下で考察される。

【0021】

例えば、図2Aは、A1反射体コア層にわたって延在しているZnS誘電体層の概略図である。ZnS誘電体層は、143nmの総厚さを有し、波長500nmの入射電磁放射線について、ゼロ又はゼロに近いエネルギー点は、77nmに存在する。言い換えると、ZnS誘電体層は、500nmの波長を有する入射電磁放射線(EMR)について、A1反射体層から77nmの距離において、ゼロ又はゼロに近い電場を示す。加えて、図2Bでは、いくつかの異なる入射EMR波長における、ZnS誘電体層にわたるエネルギー場をグラフで示したものを提供する。グラフに示されるように、誘電体層は、500nmの波長について、77nmの厚さにゼロ電場を有するが、300、400、600、及び700nmのEMR波長について、77nmの厚さの電場はゼロではない。

【0022】

ゼロ又はゼロに近い電場点の計算に関して、図3は、屈折率n_sを有する基材又はコア層2上の、総厚さ「D」、増分厚さ「d」、及び屈折率「n」を有する誘電体層4を示す。入射光は、外側面5に対して垂直であるライン6に対する角度θ_iで誘電体層4の外側面5に当たり、同じ角度θ_rで外側面5から反射する。入射光は、ライン6に対する角度θ_tで外側面5を通して誘電体層4の中へと透過し、角度θ_sで基材層2の面3に当たる。

【0023】

単一の誘電体層においては、θ_s = θ_rであり、エネルギー/電場(E)は、E(z)と

10

20

30

40

50

して表すことができ、この場合 $z = d$ である。マクスウェルの式から、電場は、s 偏光について：

【 0 0 2 4 】

【 数 1 】

$$\bar{E}(d) = \{u(z), 0, 0\} \exp(ik\alpha y) \Big|_{z=d} \quad (1)$$

【 0 0 2 5 】

として表すことができ、p 偏光について：

【 0 0 2 6 】

10

【 数 2 】

$$\bar{E}(d) = \left\{ 0, u(z), -\frac{\alpha}{\tilde{\varepsilon}(z)} v(z) \right\} \exp(ik\alpha y) \Big|_{z=d} \quad (2)$$

【 0 0 2 7 】

として表すことができ、式中、 $k = 2\pi / \lambda$ であり、 λ は、反射されることが所望される波長である。また、 $n_s = n_s \sin \theta_s$ であり、ここで、「s」は、図 5 の基材に対応し、

【 0 0 2 8 】

20

【 数 3 】

$$\tilde{\varepsilon}(z)$$

【 0 0 2 9 】

は、 z の関数としての層の誘電率である。従って、s 偏光について、

【 0 0 3 0 】

【 数 4 】

$$|E(d)|^2 = |u(z)|^2 \exp(2ik\alpha y) \Big|_{z=d} \quad (3)$$

30

【 0 0 3 1 】

であり、p 偏光について、

【 0 0 3 2 】

【 数 5 】

$$|E(d)|^2 = \left[|u(z)|^2 + \left| \frac{\alpha}{\sqrt{n}} v(z) \right|^2 \right] \exp(2ik\alpha y) \Big|_{z=d} \quad (4)$$

40

【 0 0 3 3 】

である。

【 0 0 3 4 】

誘電体層 4 の z 方向に沿った電場の変動は、未知のパラメータ $u(z)$ 及び $v(z)$ の計算によって推定することができることは理解され、ここで、それは、以下のように示すことができる：

【 0 0 3 5 】

【数 6】

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}_{z=d} = \begin{pmatrix} \cos\varphi & (i/q)\sin\varphi \\ iq\sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}_{z=0, \text{ 基材}} \quad (5)$$

【0036】

当然、「i」は-1の平方根である。境界条件

【0037】

【数 7】

10

$$u|_{z=0} = 1, v|_{z=0} = q_s$$

【0038】

及び、以下の関係式：

$$s \text{ 偏光について、} q_s = n_s \cos \theta_s \quad (6)$$

$$p \text{ 偏光について、} q_s = n_s / \cos \theta_s \quad (7)$$

$$s \text{ 偏光について、} q = n \cos \theta_F \quad (8)$$

$$p \text{ 偏光について、} q = n / \cos \theta_F \quad (9)$$

$$= k \cdot n \cdot d \cos(\theta_F) \quad (10)$$

20

を用いることで、 $u(z)$ 及び $v(z)$ は、

【0039】

【数 8】

$$\begin{aligned} u(z)|_{z=d} &= u|_{z=0} \cos\varphi + v|_{z=0} \left(\frac{i}{q} \sin\varphi \right) \\ &= \cos\varphi + \frac{i \cdot q_s}{q} \sin\varphi \end{aligned} \quad (11)$$

及び

30

$$\begin{aligned} v(z)|_{z=d} &= i q u|_{z=0} \sin\varphi + v|_{z=0} \cos\varphi \\ &= i q \sin\varphi + q_s \cos\varphi \end{aligned} \quad (12)$$

【0040】

として表すことができる。従って、s 偏光について：

【0041】

【数 9】

40

$$\begin{aligned} |E(d)|^2 &= \left[\cos^2\varphi + \frac{q_s^2}{q^2} \sin^2\varphi \right] e^{2ik\alpha y} \\ &= \left[\cos^2\varphi + \frac{n_s^2}{n^2} \sin^2\varphi \right] e^{2ik\alpha y} \end{aligned} \quad (13)$$

【0042】

であり、ここで、 $= k \cdot n \cdot d \cos(\theta_F)$ であり、p 偏光について：

50

【 0 0 4 3 】

【 数 1 0 】

$$\begin{aligned}
 |E(d)|^2 &= \left[\cos^2 \varphi + \frac{n_s^2}{n^2} \sin^2 \varphi + \frac{\alpha^2}{n} (q_s^2 \cos^2 \varphi + q^2 \sin^2 \varphi) \right] \\
 &= \left[\left(1 + \frac{\alpha^2 q_s^2}{n} \right) \cos^2 \varphi + \left(\frac{n_s^2}{n^2} + \frac{\alpha^2 q^2}{n} \right) \sin^2 \varphi \right]
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

10

【 0 0 4 4 】

であり、ここで：

$$n_s \sin \theta_s = n \sin \theta_F \quad (15)$$

$$q_s = n_s / \cos \theta_s \quad (16) \text{ 及び}$$

$$q_s = n / \cos \theta_F \quad (17)$$

である。

【 0 0 4 5 】

従って、 $\theta_F = 0$ 、又は垂直入射光である単純な状況の場合、 $k \cdot n \cdot d$ 、及び
 $= 0$ であり：

【 0 0 4 6 】

20

【 数 1 1 】

$$\begin{aligned}
 |E(d)|^2 \quad (s \text{ 偏光の場合}) &= |E(d)|^2 \quad (p \text{ 偏光の場合}) = \left[\cos^2 \varphi + \frac{n_s^2}{n^2} \sin^2 \varphi \right] \tag{18} \\
 &= \left[\cos^2 (k \cdot n \cdot d) + \frac{n_s^2}{n^2} \sin^2 (k \cdot n \cdot d) \right] \tag{19}
 \end{aligned}$$

【 0 0 4 7 】

30

であり、これによって、厚さ「 d 」に関して、すなわち、電場がゼロである誘電体層内の位置又は場所に関して式を解くことが可能となる。

【 0 0 4 8 】

ここで図4を参照し、式19を用いて、434nmの波長を有するEMRに暴露された場合における図2Aに示したZnS誘電体層中のゼロ又はゼロに近い電場点を計算した。ゼロ又はゼロに近い電場点は、70nmであると算出された（波長500nmについての77nmとは異なって）。さらに、Al反射体コア層から70nmの厚さ又は距離に15nm厚のCr吸収体層を挿入して、ゼロ又はゼロに近い電場のZnS-Cr界面を得た。そのような本発明の構造では、434nmの波長を有する光はCr-ZnS界面を透過させるが、434nmの波長を有しない光は吸収する。言い換えると、Cr-ZnS界面は、434nmの波長を有する光に関してゼロ又はゼロに近い電場を有し、従って、434nmの光はこの界面を透過する。しかし、Cr-ZnS界面は、434nmの波長を有しない光に対してはゼロ又はゼロに近い電場を有しておらず、従って、そのような光は、Cr吸収体層及び/又はCr-ZnS界面によって吸収され、Al反射体層によって反射されない。

40

【 0 0 4 9 】

所望される434nmの ± 10 nm以内の光のある程度のパーセントは、Cr-ZnS界面を透過することは理解される。しかし、そのような狭い帯域の反射光、例えば434 ± 10 nmは、それでも、人間の眼に鮮明な構造色をもたらすことも理解される。

【 0 0 5 0 】

50

図4の多層積層体中のCr吸収体層の結果を、反射EMR波長に対する反射率パーセントが示される図5に示す。Cr吸収体層なしの図4に示されるZnS誘電体層に対応する破線によって示されるように、狭い反射ピークが、約400nmに存在するが、それよりも非常に広いピークが、約550+nmに存在する。加えて、500nm波長域中にも、著しい量の反射光が依然として存在する。従って、多層積層体が構造色を有する又は呈することを妨げる二重ピークが存在する。

【0051】

対照的に、図5の実線は、Cr吸収体層を持つ図4に示される構造に対応する。図に示されるように、およそ434nmに鋭いピークが存在し、434nmを超える波長に対する反射率の急な減少が、Cr吸収体層によって得られている。実線によって表される鋭いピークが、視覚的には鮮明な/構造色として見えることは理解される。図5にはまた、反射ピーク又は帯域の幅が測定される位置も示されており、すなわち、帯域の幅は、最大反射波長の50%反射率で特定され、これは、半値全幅(FWHM)としても知られる。

【0052】

図4に示される多層積層体の全方向挙動に関して、反射光の一次高調波のみが得られるようにZnS誘電体層の厚さは設計又は設定することができる。これは、「青」色については充分であるが、「赤」色の発生には、さらなる考慮が必要であることは理解される。例えば、より厚い誘電体層が必要とされ、そしてその結果として、高次高調波設計、すなわち、二次及び場合によっては三次高調波の存在が避けられないことから、赤色についての角度非依存性の制御は、困難である。また、暗赤色の色相空間は非常に狭い。従って、赤色多層積層体は、より高い角度変動を有する。

【0053】

赤色について角度変動が高くなることを克服するため、本出願は、角度非依存性である赤色をもたらす独特で新規な設計/構造を開示する。例えば、図6Aは、誘電体層の外側面が、外側面の法線に対して0及び45°から観察されたときに、入射白色光に対して一次及び二次高調波を示す誘電体層を示している。グラフによる図示で示されるように、誘電体層の厚さによって低い角度依存性(小)が得られるが、そのような多層積層体は、青色(一次高調波)及び赤色(二次高調波)の組み合わせを有し、従って、所望される「赤のみ」の色の場合には適さない。従って、不要な高調波系列を吸収するために吸収体層を用いるという概念/構造が開発されてきた。図6Aはまた、サンプルが0及び45°から観測された場合の、ある反射ピークに対する反射帯域の中心波長()の位置、及びその中心波長の分散(dispersion)又はシフト()の例も示す。

【0054】

ここで図6Bを参照すると、図6Aに示される二次高調波は、適切な誘電体層厚さ(例:72nm)にあるCr吸収体層によって吸収され、鮮明な青色が得られる。また、図6Cは、異なる誘電体層厚さ(例:125nm)にあるCr吸収体によって一次高調波を吸収することにより、赤色が得られることを示している。しかし、図6Cはまた、Cr吸収体層の使用が、多層積層体によって所望されるよりも大きい角度依存性、すなわち、所望されるよりも大きい という結果になり得ることも示している。

【0055】

赤色についての のシフトが青色と比較して相対的に大きいことは、暗赤色色相空間が非常に狭いこと、及びCr吸収体層がゼロではない電場に伴う波長を吸収すること、すなわち、電場がゼロ又はゼロに近い場合に光を吸収しないことに起因することは理解される。従って、図7Aは、異なる入射角度では、光波長に対するゼロ又はゼロではない電場点が異なることを示している。このような因子の結果、図7Bに示される角度依存性の吸収、すなわち、0°及び45°の吸収曲線の相違がもたらされる。従って、多層積層体の設計及び角度非依存性の性能をさらに改良するために、電場がゼロであるか又はゼロでないかとは関係なく、例えば青色光を吸収する吸収体層が用いられる。

【0056】

特に、図8Aは、Cr吸収体層の代わりにCu吸収体層が誘電体ZnS層にわたって延

10

20

30

40

50

在している多層積層体を示す。このような「有色」又は「選択的」吸収体層を用いた結果を図 8 B に示し、これは、図 8 A に示される多層積層体における 0° 及び 45° の吸収曲線が、非常に「より緊密に」まとまっていることを示している。従って、図 8 B と図 7 B との比較から、非選択的吸収体層ではなく選択的吸収体層を用いた場合に、吸収の角度非依存性が大きく向上することが示される。

【0057】

上記に基づいて、概念立証多層積層体を設計し、製造した。加えて、概念立証サンプルについての計算/シミュレーション結果及び実際の実験データを比較した。特に、図 9 のグラフのプロットで示されるように、鮮明な赤色が発生し (700 nm を超える波長は、通常は人間の眼では見えない)、計算/シミュレーションと実際の試料から得られた実験光データとは、非常に良好に一致した。言い換えると、計算/シミュレーションは、本明細書で開示される 1 つ以上の実施形態における多層積層体設計及び/若しくは先行技術の多層積層体の結果をシミュレートすることができ、並びに/又はシミュレートに用いられる。

【0058】

図 10 は、反射体の外側面の垂直方向に対して 0° 及び 45° の角度から白色光に暴露された場合の、もう一つの全方向反射体設計における反射 E M R 波長に対する反射率パーセントのプロットを示す。このプロットから示されるように、 550 nm 未満の波長において、 0° 及び 45° の曲線はいずれも、この全方向反射体によって非常に低い反射率、例えば 10% 未満の反射率が得られていることを示している。しかし、これらの曲線から示されるように、反射体は、 $560 \sim 570\text{ nm}$ の間の波長にて急激な反射率の増加を見せ、 700 nm にておよそ 90% の最大値に達している。曲線の右側 (I R 側) のグラフの部分又は領域が、反射体によって提供される反射帯域の I R 部分を表すことは理解される。

【0059】

全方向反射体によって提供される反射率の急激な増加は、 550 nm 未満の波長における低反射率部分から、高反射率部分まで延びる各曲線の U V 側端部 (UV-sided edge)、例えば $>70\%$ によって特徴付けられる。U V 側端部の直線部分 200 は、x 軸に対して 60° を超える角度 () で傾き、反射率軸上でおおよそ 40 である長さ L 及び 1.4 の傾きを有する。この直線部分は、x 軸に対して 70° を超える角度で傾く場合もあり、 75° を超える場合もある。また、反射帯域は、 200 nm 未満の可視 F W H M を有し、いくつかの例では、 150 nm 未満の可視 F W H M であり、他の例では、 100 nm 未満の可視 F W H M である。加えて、図 10 に示される可視反射帯域の中心波長 λ_c は、可視 F W H M における反射帯域の U V 側端部と I R スペクトルの I R 端部とから等距離にある波長として定義される。

【0060】

「可視 F W H M」の用語が、この曲線の U V 側端部と、これを超えると全方向反射体によって提供される反射は人間の眼には見えない I R スペクトル範囲の端部との間の反射帯域の幅を意味することは理解される。この方法により、本明細書で開示される本発明の設計品及び多層積層体は、電磁放射線スペクトルの不可視 I R 部分を用いることで、鮮明な又は構造色を提供する。言い換えると、本明細書で開示される全方向反射体は、反射体が I R 領域にまで延在する電磁放射線のもっと非常に広い帯域を反射し得るという事実にも関わらず、狭い帯域の反射可視光を提供するために、電磁放射線スペクトルの不可視 I R 部分を利用している。

【0061】

ここで図 11 を参照すると、反射体の面に対して 0° 及び 45° の角度からの白色光に暴露された場合の、もう一つの 7 層設計全方向反射体における波長に対する反射率パーセントのプロットが示される。加えて、本明細書で開示される全方向反射体によって提供される全方向特性の定義又は特性決定も示される。特に、本発明の反射体によって提供される反射帯域が、図に示されるように、最大値、すなわちピークを有する場合、各曲線は、最

大反射率を示す又は起こす波長として定義される中心波長 (λ_c) を有する。最大反射波長の用語が、 λ_c に対して用いられてもよい。

【0062】

図11に示されるように、全方向反射体の外側面が、角度 45° から観察される場合、例えば、外側面が、面を見る人間の眼に対して 45° 傾斜される場合 ($\lambda_c(45^\circ)$)、面が、 0° の角度、すなわち、面に対して垂直方向から観察される場合 ($\lambda_c(0^\circ)$) と比較して、 λ_c のシフト又は変位 (displacement) が生ずる。この λ_c のシフト ($\Delta\lambda_c$) は、全方向反射体の全方向特性の尺度を提供する。当然、ゼロシフト、すなわち、シフトがまったく生じない場合、完全に全方向性の反射体ということになる。しかし、本明細書で開示される全方向反射体は、 50 nm 未満の $\Delta\lambda_c$ を提供することができ、これは、人間の眼には、反射体の面が色を変化させていないかのように見え、従って、実用上の観点から、この反射体は、全方向性である。いくつかの例では、本明細書で開示される全方向反射体は、 40 nm 未満の $\Delta\lambda_c$ を提供することができ、他の例では、 30 nm 未満の $\Delta\lambda_c$ であり、さらに他の例では、 20 nm 未満の $\Delta\lambda_c$ であり、なおさらに他の例では、 15 nm 未満の $\Delta\lambda_c$ である。そのような $\Delta\lambda_c$ のシフトは、反射体における波長に対する実際の反射率のプロットによって、及び/又はもう一つの選択肢として、材料及び層の厚さが既知である場合は、反射体のモデリングによって特定することができる。

10

【0063】

反射体の全方向特性のもう一つの定義又は特性決定は、ある一式の角度反射帯域に対する側端部のシフトによって特定することができる。例えば、図11を参照して、 0° から観察された全方向反射体からの反射に対するUV側端部 ($S_{UV}(0^\circ)$) の、 45° から観察された同じ反射体による反射に対するUV側端部 ($S_{UV}(45^\circ)$) と比較したシフト又は変位 (ΔS_{UV}) は、全方向反射体の全方向特性の尺度を提供する。UV側端部のシフト (ΔS_{UV}) が、可視FWHMにおいて測定される、及び/又はされてよいことは理解される。

20

【0064】

当然、ゼロシフト、すなわち、シフトがまったく生じないことは ($\Delta S_{UV} = 0\text{ nm}$)、完全に全方向性の反射体であると特性決定することになる。しかし、本明細書で開示される全方向反射体は、 50 nm 未満の ΔS_{UV} を提供することができ、これは、人間の眼には、反射体の面が色を変化させていないかのように見え、従って、実用上の観点から、この反射体は、全方向性である。いくつかの例では、本明細書で開示される全方向反射体は、 40 nm 未満の ΔS_{UV} を提供することができ、他の例では、 30 nm 未満の ΔS_{UV} であり、さらに他の例では、 20 nm 未満の ΔS_{UV} であり、なおさらに他の例では、 15 nm 未満の ΔS_{UV} である。そのような ΔS_{UV} のシフトは、反射体における波長に対する実際の反射率のプロットによって、及び/又はもう一つの選択肢として、材料及び層の厚さが既知である場合は、反射体のモデリングによって特定することができる。

30

【0065】

全方向反射のシフトはまた、低色相シフトによって評価することもできる。例えば、本明細書で開示される態様における多層積層体から製造された顔料の色相シフトは、図12に示されるように (例えば、 λ_1 参照)、 30° 以下であり、ある例では、色相シフトは、 25° 以下であり、好ましくは 20° 未満、より好ましくは 15° 未満、なおより好ましくは 10° 未満である。対照的に、従来の顔料は、 45° 以上の色相シフトを示す (例えば、 λ_2 参照)。 λ_1 に伴う色相シフトは、一般的には、赤色に相当するが、低色相シフトは、本明細書で開示されるハイブリッド全方向構造色顔料によって反射されるいかなる色に対しても適切であることは理解される。

40

【0066】

本明細書で開示されるもう一つの態様における全方向多層積層体の概略図が、図13の符号10で示される。多層積層体10は、第一の層110及び第二の層120を有する。所望に応じて反射体層100が含まれてよい。反射体コア層と称される場合もある反射体層100のための材料の例としては、これらに限定されないが、Al、Ag、Pt、Cr

50

、Cu、Zn、Au、Sn、及びこれらの組み合わせ又は合金が挙げられ得る。従って、反射体層100は、金属反射体層であってよいが、これは必要条件ではない。加えて、コア反射体層の代表的厚さは、30から200nmの間の範囲である。

【0067】

対称である1対の層が、反射体層100の両側に存在してよく、すなわち、反射体層100は、反射体層100が1対の第一の層の間に挟まれるように、第一の層110とは反対側に配置されるもう一つの第一の層を有してよい。加えて、もう一つの第二の層120が、5層構造が提供されるように、反射体層100の反対側に配置されてよい。従って、本明細書で提供される多層積層体の考察が、1つ又は複数の中心層に対して鏡像構造の可能性も含むことは理解されるべきである。従って、図13は、5層多層積層体の半分の図であり得る。

10

【0068】

上記で考察した態様とは対照的に、第一の層110は、吸収体層であってよく、例えば、下限上限値を含めて5～500nmの間の厚さを有する金属吸収体層である。さらに、第2の層は、上限下限を含めて5～500nmの間の厚さを有する誘電体吸収体層であってよい。金属吸収体層110は、有色の金属材料、例えばCu、青銅、真鍮、又はアモルファスSi、Ge、TiN、及びこれらの組合せなどの材料から作られてよい。誘電体吸収体層120は、Fe₂O₃から作られてよい。

【0069】

図13に示され、かつ下記の表1に示される寸法を有している態様は、図14に示される反射率スペクトルを示した。この図において示されるように、表1に示される厚さを有する、Cu又はその合金、又は他の有色の反射体、例えばTiN層110及びFe₂O₃誘電体吸収体層120は、15～20%未満の反射率を有する概して550～575nm未満の波長、及びa*b*L a b色空間マップ上での0～40°の間、好ましくは10～30°の間の色相に相当する概して575～600nmを超える波長を有する反射率スペクトルをもたらした。加えて、可視光の反射帯域に対する彩度は、70超、好ましくは80超、より好ましくは90又は超である。

20

【0070】

【表1】

30

〈表1〉

層	材料	厚さ (nm)
100	Al	80.0
110	Cu又は合金、例えば真鍮、青銅など	184.5
120	Fe ₂ O ₃	28.6

【0071】

図13に示されるような多層積層体の反射スペクトルを、0°及び45°の0の観察角度について図14に図で示す。図に示されるように、FWHMのUV側端のシフト($S_{UV} = S_{UV}(0^\circ) - S_{UV}(45^\circ)$)は、50nm未満、好ましくは30nm未満、さらにより好ましくは20nm未満、さらにいっそうより好ましくは10nm未満である。可視スペクトルにおける帯域の幅と合わせると、0°及び45°の角度間の反射帯域のシフトは、人間の眼には知覚されない色変化に相当している。

40

【0072】

図15は、図13に示される設計における波長に対する吸収を示す。この図に示されるように、多層積層体10は、およそ575nmまでの波長において、80%を超える可視光スペクトルを吸収する。加えて、態様10は、およそ660nmまでのすべての波長の40%超を吸収する。従って、金属吸収層110及び誘電体吸収層120の組み合わせは

50

、 a^*b^*L a b 色空間上での $0 \sim 40^\circ$ の間、好ましくは $10 \sim 30^\circ$ の間の色相を有する可視反射帯域、すなわち、赤色スペクトルの反射波長を提供する。

【0073】

態様10の場合を、反射率パーセント、反射される波長、及び観察角度の関数としてグラフで表したものを図16に示す。この3D等高線プロットに示されるように、 $400 \sim 550 \sim 575$ nmの間の波長及び0から $45 \sim 50^\circ$ の間の観察角度において、反射率は非常に低く、すなわち、20%未満である。しかし、およそ $550 \sim 600$ nmの間の波長において、反射率パーセントの急激な上昇が見られる。

【0074】

本明細書で開示される本発明の多層積層体の全方向特性を述べるためのもう一つの方法又は技術は、図17に示されるように、観察角度に対する彩度及び色相のプロットである。図17は、図13に示される態様の反射特性を示しており、ここで、0から 45° の間の角度に対する色相は、 $20 \sim 30$ の間であり、その変化又はシフトは 10° 未満、好ましくは 5° 未満である。加えて、彩度は、 $0 \sim 45^\circ$ の間のすべての観察角度に対して $80 \sim 90$ の間であり、ここで、彩度(C^*)は、

【0075】

【数12】

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

【0076】

として定義され、 a^* 及び b^* は、白色光を例とする広帯域電磁放射線に暴露された場合に多層積層体によって反射される色に対するL a b 色空間又はマップ上の座標である。

【0077】

図18は、図13に示される態様の色相(矢印で示されるデータ点を参照)を、 a^*b^*L a b 色空間マップ上で示すか、又はプロットしたものである。マップ上には、 $15 \sim 40^\circ$ の間の領域も示される。これら2つの点が、多層積層体の外側面に垂直な方向に対して 0° の観察角度の場合について示されたものであることは理解される。加えて、 $0 \sim 45^\circ$ の観察角度において、図13に示される態様の場合の色相が、 $15 \sim 40^\circ$ の色相領域から外れないことも理解される。言い換えると、これらの態様は、低い色相シフト、例えば、 30° 未満、好ましくは 20° 未満、なおより好ましくは 10° 未満のシフトを示している。なおさらに、図13に示される態様が、 $0 \sim 40^\circ$ の間の色相を有する可視光の単一带域が提供され、図18上にプロットすることができるよう設計されてもよいことも理解され、好ましくは $10 \sim 30^\circ$ の間の色相を有する可視光の単一带域である。

【0078】

ここで図19を参照すると、全方向高彩度赤色構造色を製造するためのプロセスが、符号20で概略的に示される。プロセス20は、工程202で反射性コア層を乾式堆積すること、及びそれに続いて、工程210で、乾式堆積反射性コア層上に金属吸収体層を乾式堆積することを含む。そして、工程220で、金属吸収体層上に誘電体吸収体層が乾式堆積又は湿式堆積される。乾式堆積反射性コア層上に追加の層を作製するために、工程210及び220が繰り返されてよいことは理解される。加えて、乾式堆積反射性コア層は、湿式堆積誘電体層と同様に、金属吸収体層上に堆積されてもよい。

【0079】

上記の例及び態様は、単に説明することを目的とするものであり、変更、改変、及び同種のものは、当業者に明らかであり、なおさらに本発明の範囲内に含まれる。従って、本発明の範囲は、請求項及びそのすべての均等物によって定められる。

本発明は、さらに下記の実施形態を含む：

態様1

反射性コア層；

10

20

30

40

50

前記反射性コア層にわたって延在している金属吸収体層；及び
前記金属吸収体層にわたって延在している誘電体吸収体層
を有する多層積層体を有し、

前記多層積層体は、 a^*b^*L a b カラーマップ上での $0 \sim 40^\circ$ の間の色相を有する可視光の単一帯域を反射し、前記可視光の単一帯域は、前記多層積層体の外側面に対する垂直方向 $0 \sim 45^\circ$ の間のすべての角度から見た場合に、前記 a^*b^*L a b カラーマップ上での前記 $0 \sim 40^\circ$ の範囲内の色相シフトを有する、全方向高彩度赤色構造色。

態様 2

前記 a^*b^*L a b カラーマップ上で、前記色相が、 $10 \sim 30^\circ$ の間であり、及び前記色相シフトが、前記 $10 \sim 30^\circ$ の範囲内である、前記 1 に記載の全方向高彩度赤色構造色。

10

態様 3

前記反射性コア層が、下限上限を含めて $50 \sim 200$ ナノメートルの間の厚さを有する、前記 1 に記載の全方向高彩度赤色構造色。

態様 4

前記反射性コア層が、Al、Ag、Pt、Sn、及びこれらの組み合わせから成る群より選択される反射性金属から作られる、前記 3 に記載の全方向高彩度赤色構造色。

態様 5

前記反射性コア層が、Au、Cu、真鍮、青銅、及びこれらの組み合わせから成る群より選択される有色の金属から作られる、前記 3 に記載の全方向高彩度赤色構造色。

20

態様 6

前記金属吸収体層が、下限上限を含めて $5 \sim 500$ ナノメートルの間の厚さを有する、前記 3 に記載の全方向高彩度赤色構造色。

態様 7

前記金属吸収体層が、Cu、青銅、真鍮、アモルファス Si、Ge、TiN、及びこれらの組合せから成る群から作られる、前記 6 に記載の全方向高彩度赤色構造色。

態様 8

前記誘電体吸収体層が、上限下限を含めて $5 \sim 550$ ナノメートルの厚さを有する、態様 6 に記載の全方向高彩度赤色構造色。

30

態様 9

前記誘電体吸収体層が、 Fe_2O_3 から作られる、前記 8 に記載の全方向高彩度赤色構造色。

態様 10

前記反射性コア層が、中心反射性コア層であり、前記金属吸収体層が、前記中心反射性コア層の両側にわたって延在している 1 対の金属吸収体層であり、前記中心反射性コア層が、前記 1 対の金属吸収体層の間に挟まれている、前記 6 に記載の全方向高彩度赤色構造色。

態様 11

前記誘電体吸収体層が、1 対の誘電体吸収体層であり、前記中心反射性コア層及び前記 1 対の金属吸収体層が、前記 1 対の誘電体吸収体層の間に挟まれている、前記 10 に記載の全方向高彩度赤色構造色。

40

態様 12

反射性コア層を乾式堆積すること；

前記反射性コア層にわたって延在する金属吸収体層を乾式堆積すること；

前記金属吸収体層にわたって延在する誘電体吸収体層を乾式又は湿式堆積すること

によって多層積層体を製造することを含み、かつ

前記多層積層体は、 a^*b^*L a b カラーマップ上での $0 \sim 40^\circ$ の間の色相を有する可視光を反射し、前記多層積層体の外側面に対する垂直方向 $0 \sim 45^\circ$ の間のすべての角度から見た場合に、前記 a^*b^*L a b カラーマップ上での前記 $0 \sim 40^\circ$ の範囲内の色相シ

50

フトを有する、

全方向高彩度赤色構造色を製造する方法。

態様 1 3

前記多層積層体が、前記 a^*b^*L a b カラーマップ上で、 $10 \sim 30^\circ$ の間の色相を有し、かつ前記 a^*b^*L a b カラーマップ上で、前記 $10 \sim 30^\circ$ の範囲内の色相シフトを有する可視光を反射する、前記 1 2 に記載の方法。

態様 1 4

反射性コア層が、上限下限を含めて $50 \sim 200$ ナノメートルの間の厚さを有する、前記 1 2 に記載の方法。

態様 1 5

前記反射性コア層が、Al、Ag、Pt、Sn、及びこれらの組み合わせから成る群より選択される反射性金属から作られる、前記 1 4 に記載の方法。

態様 1 6

前記反射性コア層が、Au、Cu、真鍮、青銅、及びこれらの組み合わせから成る群より選択される有色の金属から作られる、前記 1 4 に記載の方法。

態様 1 7

前記金属吸収体層が、下限上限を含めて $5 \sim 500$ ナノメートルの間の厚さを有する、前記 1 4 に記載の方法。

態様 1 8

前記金属吸収体層が、Cu、青銅、真鍮、アモルファス Si、Ge、TiN、及びこれらの組み合わせから成る群から作られる、前記 1 7 に記載の方法。

態様 1 9

前記誘電体吸収体層が、上限下限を含めて $5 \sim 500$ ナノメートルの厚さを有し、かつ Fe_2O_3 から作られる、前記 1 7 に記載の方法。

【図 1】

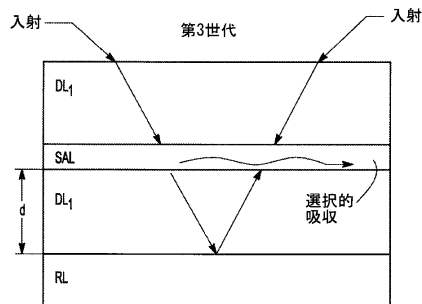


Fig-1

【図 2 A】

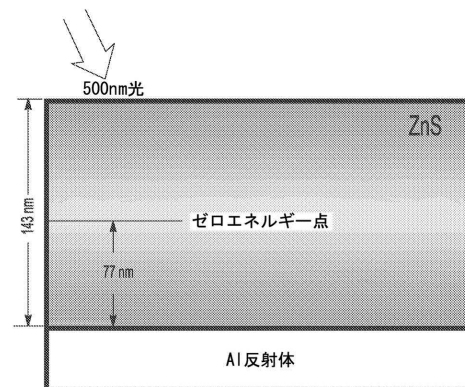
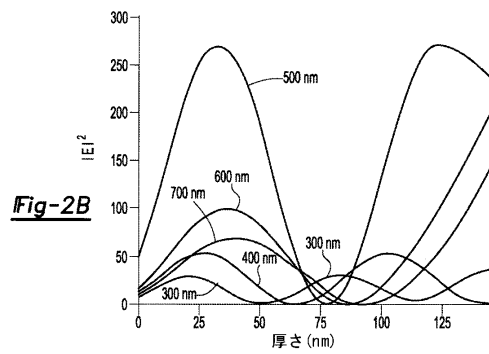


Fig-2A

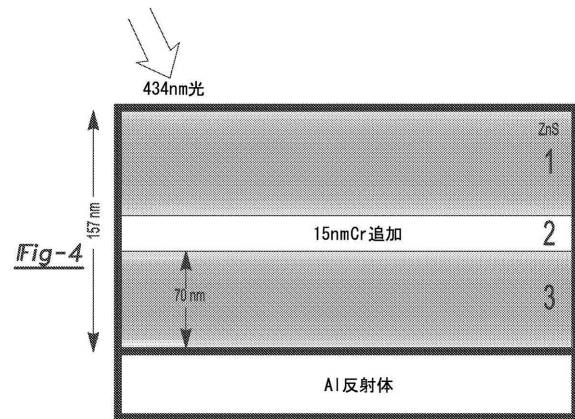
10

20

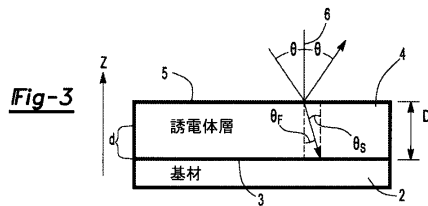
【図 2 B】



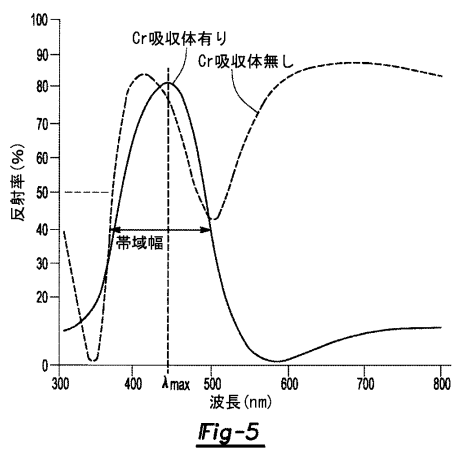
【図 4】



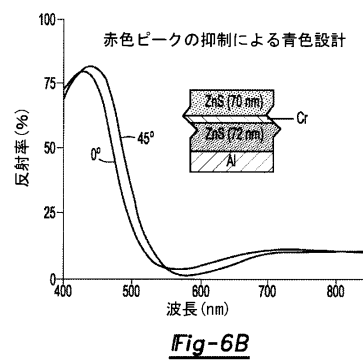
【図 3】



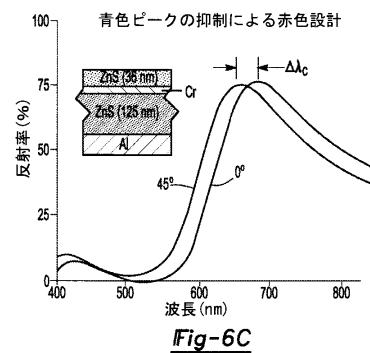
【図 5】



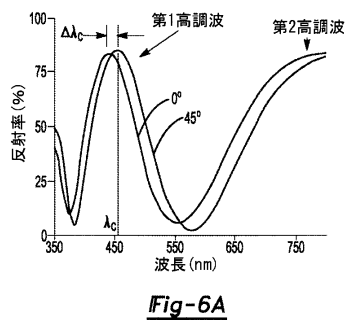
【図 6 B】



【図 6 C】



【図 6 A】



【図 12】

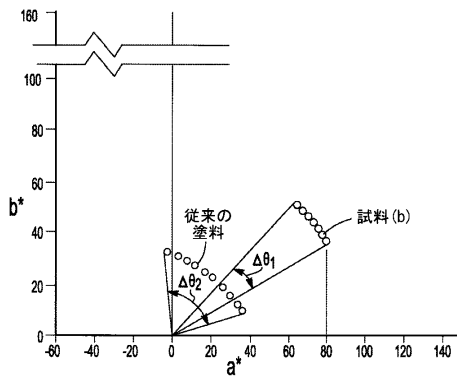


Fig-12

【図 13】

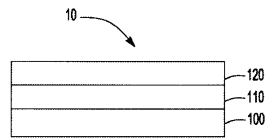


Fig-13

【図 14】

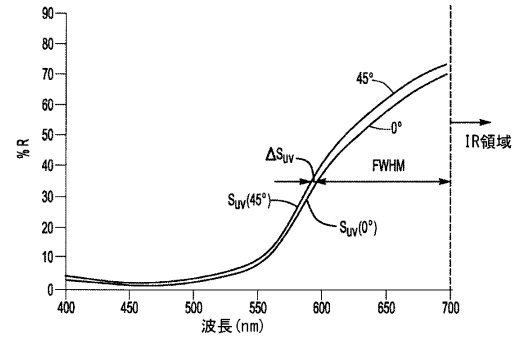


Fig-14

【図 15】

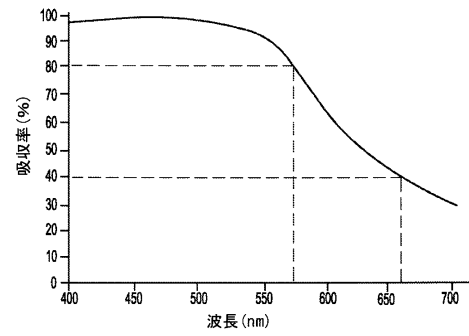


Fig-15

【図 16】

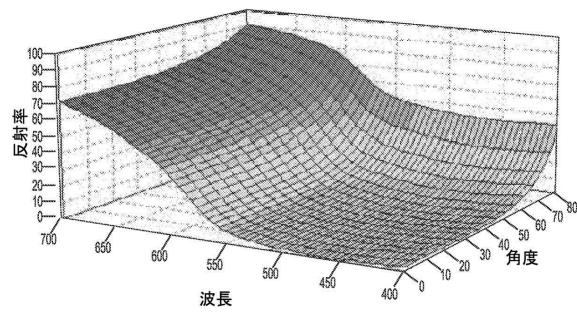


Fig-16

【図 17】

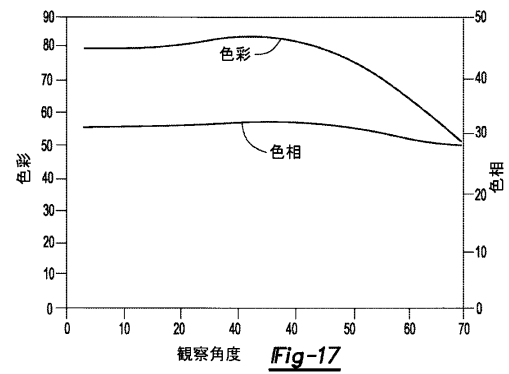
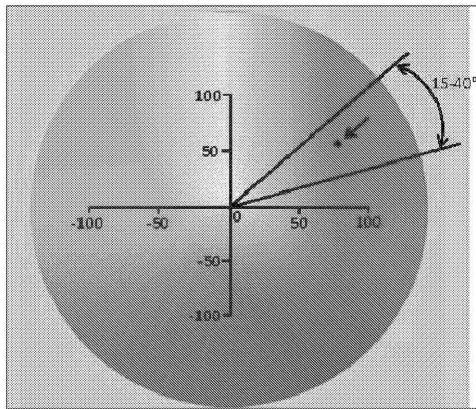
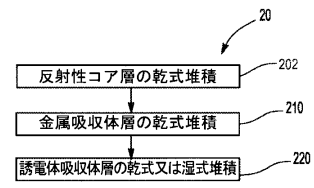


Fig-17

【図 18】

Fig-18

【図 19】

Fig-19

フロントページの続き

(74)代理人 100160543

弁理士 河野上 正晴

(72)発明者 デバシシュ パナージー

アメリカ合衆国, ミシガン 4 8 1 0 2 , アナーバー , スプリング ホロー コート 3 1 0 4

審査官 倉本 勝利

(56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 1 3 8 6 4 2 (U S , A 1)

特開 2 0 1 4 - 2 3 7 8 1 9 (J P , A)

特表 2 0 0 2 - 5 3 0 7 1 2 (J P , A)

米国特許第 0 5 4 3 7 9 3 1 (U S , A)

特開 2 0 1 5 - 1 2 0 3 5 0 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 2 B 5 / 2 0 - 5 / 2 8