

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5914327号

(P5914327)

(45) 発行日 平成28年5月11日(2016.5.11)

(24) 登録日 平成28年4月8日(2016.4.8)

(51) Int.Cl.

F I

B 0 5 D 5/12 (2006.01)

B 0 5 D 5/12

Z

請求項の数 13 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2012-513102 (P2012-513102)	(73) 特許権者	500520743
(86) (22) 出願日	平成22年5月18日 (2010.5.18)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公表番号	特表2012-528233 (P2012-528233A)		The Boeing Company
(43) 公表日	平成24年11月12日 (2012.11.12)		アメリカ合衆国、60606-2016
(86) 国際出願番号	PCT/US2010/035193		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(87) 国際公開番号	W02010/138336	(74) 代理人	100109726
(87) 国際公開日	平成22年12月2日 (2010.12.2)		弁理士 園田 吉隆
審査請求日	平成25年5月9日 (2013.5.9)	(74) 代理人	100101199
(31) 優先権主張番号	12/474,965		弁理士 小林 義敦
(32) 優先日	平成21年5月29日 (2009.5.29)	(72) 発明者	ラド, マイケル エム.
(33) 優先権主張国	米国 (US)		アメリカ合衆国 ワシントン 98058
			, レントン, サウスイースト 199
			番 プレイス 13701

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 落雷の影響を最小にするスペクトル選択性コーティング、及び関連する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板（１４）とプラズマとの相互作用により生じる前記基板の構造損傷を低減する方法であって、

前記プラズマのスペクトル放射が最大になる波長を特定する工程であって、前記波長が前記プラズマの温度の関数である、前記特定する工程と、

紫外線（ＵＶ）波長よりも長く、かつ赤外線（ＩＲ）波長よりも短い顔料粒子を提供する工程と、

紫外線（ＵＶ）波長で反射性を持ち、赤外線（ＩＲ）波長で放射性を持つように、複数の前記顔料粒子を含むスペクトル選択性コーティング（１０）を調製する工程と、

前記スペクトル選択性コーティング（１０）を前記基板（１４）に施す工程と、を含む方法。

【請求項 2】

前記プラズマは雷放電プラズマである、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記基板（１４）は複合材料基板である、請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記基板（１４）は、炭素繊維を含む、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記波長は、500nm以下である、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記波長は 100 nm である、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記スペクトル選択性コーティング (10) は、略球形の粒子群、及びバインダー (12) を含む、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

前記スペクトル選択性コーティング (10) は、略板状の粒子群、及びバインダー (12) を含む、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 9】

前記複数の前記顔料粒子は、第 1 の層の厚さを定義する二酸化シリコン及び第 2 の層の厚さを定義する二酸化チタンを含む 1 / 4 波長厚の積層構造を含む、請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の方法。

10

【請求項 10】

前記複数の前記顔料粒子は、第 1 の層の厚さを定義する第 1 材料及び第 2 の層の厚さを定義する第 2 材料を含む 1 / 4 波長厚の積層構造を含み、前記第 1 材料は前記第 2 材料とは異なる、前記波長の関数としての屈折率を有する、請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 11】

前記 1 / 4 波長厚の積層構造は、アルミニウム層の上に配置される、請求項 9 または請求項 10 に記載の方法。

20

【請求項 12】

基板 (14) と、

該基板とプラズマとの相互作用により生じる前記基板の構造損傷を低減するためのスペクトル選択性コーティング (10) であって、紫外線 (UV) 波長よりも長く、かつ赤外線 (IR) 波長よりも短い複数の顔料粒子を含み、紫外線 (UV) 波長で反射性を持ち、そして赤外線 (IR) 波長で放射性を持つように調製されたスペクトル選択性コーティング (10) と、を備え、

前記複数の前記顔料粒子が、第 1 の層の厚さを定義する二酸化シリコン及び第 2 の層の厚さを定義する二酸化チタンを含む 1 / 4 波長厚の積層構造を含む、構造。

【請求項 13】

30

前記基板 (14) が、炭素繊維を含む、請求項 12 に記載の構造。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本特許出願は、プラズマ損傷及び劣化に強いコーティング及び方法に関するものであり、特に基板に、落雷に耐え、かつ同様のプラズマへの曝露に耐える能力を付与するコーティング及び関連する方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

炭素繊維強化プラスチック (carbon fiber reinforced plastic: CFRP) 材料は、民間航空機の外板パネル及び構造部材を形成するためにアルミニウムに取って代わって益々使用されるようになってきている。CFRP 材料は、炭素複合材料により重量対強度比を高くすることができるので、アルミニウムと比べて有利である。しかしながら、CFRP 材料は、アルミニウム材料よりも、落雷による甚大な損傷を受け易いように思われる。

40

【0003】

通常の落雷に関連する CFRP 材料の劣化は、高温により加速されるように思われる。複合材料内の炭素繊維は、落雷を受けると非常に熱くなる。温度が樹脂の熱分解温度を超えると、樹脂を固体から気体に変えてしまう虞がある。それに応じて、内部ガス圧が上昇すると、層が剥離し、そして場合によっては、下地機構素材または下地構造に孔を空けて

50

しまうことにより、構造に損傷を引き起こすように作用する。高温によって更に、永久的な損傷が繊維に生じることにより、繊維直径が膨張してしまう。局所加熱が材料の熱膨張率と相まって、損傷に更に影響する。落雷による衝撃力は、音響力、電磁力、及び空圧力が原因である。これらの力は、対応する上昇温度における材料の引張り強さの限界を上回ってしまう。

【 0 0 0 4 】

現在の解決策では、電流路を使用して、電流を避雷針ゾーンから離れる方向に効果的に流し、そして分布させて、火花放電を回避しようとする。これらの電流路は、CFRP材料構造に組み込まれ、例えば外側の塗装層（例えば、ポリウレタン層）の下に組み込まれる。しかしながら、電流を流すために高精度に設計される電流路を使用するのにも拘わらず、極めて大きい構造的損傷が依然として観測される。

10

【 0 0 0 5 】

従って、この技術分野の当業者は、落雷による構造的損傷を回避する新規の方法を追求し続ける。

【発明の概要】

【 0 0 0 6 】

1つの態様では、基板の構造損傷を低減する方法が開示され、該構造損傷は、前記基板とプラズマとの相互作用により生じ、前記方法は、前記プラズマのスペクトル放射が最大になるときの波長を特定する工程であって、前記波長が前記プラズマの温度の関数である、前記特定する工程と、前記基板に閾値電磁反射率を前記波長近傍のスペクトル域に亘って付与することができるコーティングを調製する工程と、そして前記コーティングを前記基板に施す工程と、を含む。

20

【 0 0 0 7 】

別の態様では、基板の構造損傷を低減する方法が開示され、該構造損傷は、前記基板と落雷との相互作用により生じ、前記方法は、前記基板に、真空紫外線スペクトルにおける閾値電磁反射率を付与することができるコーティングを調製する工程と、そして前記コーティングを前記基板に施す工程と、を含む。

【 0 0 0 8 】

開示されるスペクトル選択性コーティング、及び落雷の影響を最小限に抑える関連する方法の他の態様は、以下の記述、添付の図面、及び添付の請求項から明らかになる。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図 1】図 1 は、波長及び温度に対する放射エネルギーの変化をモデル化した黒体のスペクトル放射をグラフで示している。

【図 2 A】図 2 A は、放射熱の吸収率を 0.2 に設定した基板に関して外側及び内側表面温度が時間とともに変化する様子をグラフで示している。

【図 2 B】図 2 B は、放射熱の吸収率を 0.1 に設定した基板に関して外側及び内側表面温度が時間とともに変化する様子をグラフで示している。

【図 3 A】図 3 A は、種々の雷放電プラズマ温度に関して実効紫外線吸収率が波長とともに変化する様子をグラフで示している。

40

【図 3 B】図 3 B は、種々の外板温度に関して実効赤外線放射率が波長とともに変化する様子をグラフで示している。

【図 4】図 4 は、種々の金属に対応するプラズマ波長をグラフで示している。

【図 5 A】図 5 A は、球形顔料を含むスペクトル選択性コーティングで被覆される基板の模式断面図である。

【図 5 B】図 5 B は、板状顔料を含むスペクトル選択性コーティングで被覆される基板の模式断面図である。

【図 6】図 6 は、20,000 °K のプラズマに隣接する厚いアルミニウム層のスペクトルの正味反射率をグラフで示している。

【図 7】図 7 は、20,000 °K のプラズマと CFRP 基板との間に配置されるアルミ

50

ニウム層に関して、正味反射率が厚さとともに変化する様子をグラフで示している。

【図 8】図 8 は、本開示の 1 つの態様によるスペクトル選択性コーティングを設けた C F R P 基板のブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

落雷は、基板に直接的、かつ間接的に影響を及ぼす。詳細には、現在、放射熱が、電気抵抗加熱、電磁力及び音響力、及び電気火花放電のような他の直接的影響の他に、極めて大きな直接的影響を及ぼすことが判明している。間接的な影響として、高強度電磁パルス (i n t e n s e e l e c t r o m a g n e t i c p u l s e : E M P)、拘束電荷、及び導体素線束及び航空電子機器の近くにあるときに誘導される電圧を上げることができ

10

【 0 0 1 1 】

通常の落雷による直接的な影響からの保護を行なうことにより、基板 (例えば、航空機の外部構造) に、最大 2 0 0 , 0 0 0 アンペアの電流が流れる雷放電プラズマの初期捕捉及び次の捕捉に耐える能力を、悪影響を伴うことなく付与する。通常の落雷による直接的な影響からの保護を行なうことにより更に、確実に、構造連結部または燃料及び油圧継手に、電流が避雷針と放電点との間を流れるときに火花放電が全く生じることがないようにすることができる。

【 0 0 1 2 】

本開示によれば、落雷による直接的な影響からの保護では更に、雷放電プラズマ (または、他の全ての破壊的な高温プラズマ) と基板との間の放射熱からの保護を行なう。詳細には、本開示の 1 つの態様では、基板にスペクトル選択性コーティングを施し、このスペクトル選択性コーティングは、雷放電プラズマ源から放射される入射紫外線 (u l t r a v i o l e t : U V) エネルギーの反射率の値を高くするように設計され、そして形成される。別の態様では、スペクトル選択性コーティングは、赤外線 (i n f r a r e d : I R) 波長域で放射性を持つので、雷放電プラズマから吸収されるエネルギーを、当該エネルギーを環境に戻す方向に放射し直すことにより放散し易いので、上に説明したように、基板に悪影響する虞のある基板に吸収される熱が最小になる。

20

【 0 0 1 3 】

本明細書において使用されるように、「 s u b s t r a t e 」とは、落雷または損傷をもたらす他のプラズマによって損傷を引き起こし得る全ての基板を広く指している。基板は、U V エネルギーを本質的に反射する訳ではない全ての基板、または U V 反射率を高める必要のある基板とすることができる。C F R P 材料は、適切な複数基板のうちの 1 つの例に過ぎない。

30

【 0 0 1 4 】

落雷は、約 2 8 , 0 0 0 ° K のプラズマ温度、恐らくは、約 2 5 , 0 0 0 ~ 約 3 0 , 0 0 0 ° K の範囲のプラズマ温度を持つと考えられる。従って、黒体からの電磁放射のスペクトル放射輝度に関するプランクの法則をグラフで示す図 1 を参照するに、落雷によるピーク波長は約 1 0 0 n m で生じる。より高いプラズマ温度では、ピーク波長は左側に (すなわち、より高いエネルギーの U V) にシフトする。より低い温度では、ピーク波長は右側 (すなわち、より低いエネルギーの U V) にシフトする。

40

【 0 0 1 5 】

従って、1 つの態様では、開示されるスペクトル選択性コーティングは、雷放電プラズマによる、より短い波長 (例えば、約 1 0 0 n m) の入射 U V エネルギーを反射する、または後方散乱するように構成することができる。別の態様では、開示されるスペクトル選択性コーティングは、真空紫外 (v a c u u m u l t r a v i o l e t : V U V) 領域 (すなわち、2 0 0 n m ~ 1 0 n m) の入射 U V エネルギーを反射する、または後方散乱するように構成することができる。更に別の態様では、開示されるスペクトル選択性コーティングは、落雷特性に影響を与える、U V C (2 8 0 n m 以下)、U V B (3 2 0 n m ~ 2 8 0 n m)、及び U V A (4 0 0 n m ~ 3 2 0 n m) を含む他の U V 領域の入射 U V

50

エネルギーを反射する、または後方散乱するように構成することができる。更に別の態様では、開示されるスペクトル選択性コーティングは、500 nm以下の波長で高い反射率を実現することができる。

【0016】

図2A及び2Bは、基板の外側表面温度及び内側表面温度が、UVエネルギーに対する吸収率の影響を受ける様子を示している。第1基板に20ミル厚のニオブウムコーティング（高融点反射材料）を施して、プラズマの放射熱の吸収率（入射エネルギーの20%がパネル表面に吸収される）を0.2にする。ニオブウムを外側層として選択して、材料相変化及び材料酸化に関連するエネルギー項が現われないようにすることにより、吸収率の影響のみをパラメータ変化として示した。10.28 kAの電流が流れ、かつ30, 500 °Kのプラズマ温度を持つ模擬落雷試験を行なうと、第1基板の外側温度は約3, 354 °Fのピーク温度に達し、そして内側表面は約500 °Fのピーク温度に達した（図2A参照）。これとは異なり、プラズマの放射熱の吸収率が0.1の第2基板は、約1, 869 °Fの外側表面ピーク温度に達し、この場合、それに対応して低い内側表面ピーク温度を示した（図2B参照）。従って、吸収率が低くなると、裏面側の熱浴温度が低くなり、それに応じて、熱放射に関連する損傷も小さくなった。

10

【0017】

同様の分析から、落雷後のIR放射率がより高いという利点がもたらされることが判明し、この場合、放射率がより高いと、周囲環境と比べて表面温度が高いが、雷放電プラズマよりも温度が低いことに起因して、熱を落雷後のパネル表面から効果的に再放射することができる。

20

【0018】

これまでに述べたことから、基板のスペクトル吸収率を制御することができるという利点が得られる。この場合、UV吸収率を0.1に下げることができる 것으로、外側表面ピーク温度は、1, 869 °Fに抑えられる。IR放射率が落雷後に最も高くなる場合、裏面側の熱浴温度が低く抑えられる。低いUV吸収率、及び高いIR放射率が、コーティングの放射率を選択的に調整することにより可能になる。

【0019】

図3Aは、10, 000 °K、15, 000 °K、及び20, 000 °Kの雷放電に関わる温度に曝露される表面の実効コーティング吸収率を示している。この分析は、温度依存スペクトル黒体放射率にスペクトル吸収率を乗じて得られる積を合算し、そして合計黒体放射率で除算することにより行なわれた。これらのパラメータ変数は、2つの吸収率値を含み、一方の吸収率値は、x軸に示す転移波長を下回る波長に対応する値であり、そしてもう一方の吸収率値は、転移波長を上回る波長に対応する値である。転移波長を下回る場合、吸収率は0.3であり、そして転移波長を上回る場合、吸収率は0.8である（ステップ関数）。図示のより高いプラズマ温度の範囲では、実効UV吸収率は、0.5ミクロンの転移波長を下回る波長、及び上回る波長において、0.3という低い値をほぼ維持している。高いIR（約1.0ミクロンよりも大きい波長）吸収率は、所望の低いUV吸収率に悪い影響を与えることはない。これは、これらの温度における放射源のエネルギーのほんの一部しか、IR領域（赤外線領域）で放射されないからである。

30

40

【0020】

図3Bは、x軸に沿ったパラメータ転移波長における1922 °K、1366 °K、及び811 °Kの外板温度に対応する実効IR放射率を示している。転移波長を下回る波長では、吸収率は0.3であり、そして転移波長を上回る波長では、吸収率は0.8である。周囲温度は70 Fである。この場合、実効IR放射率は、より高い外板温度では、転移波長の近傍においてほとんど変化しない。

【0021】

従って、コーティングのスペクトル選択性は、雷放電プラズマ温度の温度領域、及びそれに続く表面温度の温度領域で、約100 nmのUVピーク（2, 897 °Kの放射源の温度に基づく）から約1 µm以上に亘るピークエネルギースペクトル領域群を分離するこ

50

とにより容易になり、この場合、I R 表面放射率は極めて高い。

【 0 0 2 2 】

1つの態様では、開示されるスペクトル選択性コーティングは、UV波長よりも相対的に長く、かつIR波長よりも相対的に短い粒子群を基板の表面に堆積させることにより、UV波長で反射性を持ち、そしてIR波長で放射性を持つように設計し、そして形成することができる。VUV反射率測定を含むUV反射率測定は、この工業分野で入手することができるスペクトル測定器を用いて行なうことができる。1つの例では、これらの粒子は、金属粒子（例えば、ニオブウム粒子）とすることができる。別の例として、これらの粒子は、 SiO_2 及び TiO_2 のみならず、これらの材料の組み合わせを含むことができる。

10

【 0 0 2 3 】

これらの粒子は、可視光に対して透明または半透明なバインダーに混合することができる。例えば、バインダーは、ポリウレタンとすることができる。顔料、バインダー、環境、及びヒトの視覚反応が相互作用することにより、輝度及び色が感知される。これらの特徴量を分割して、方向定量化及びスペクトル定量化を行なうこともできる。

【 0 0 2 4 】

VUVスペクトル領域の光に曝露される金属に関連し、かつUVエネルギーが金属内を移動する金属に関連する現象は、紫外線透過性金属を指している。図4では、放射源の黒体の温度及び波長を示す候補金属（及び非金属）を同定するが、これらの材料では、エネルギー移動が材料内で生じる。例えば、 $30,000^\circ\text{K}$ では、黒体のピーク波長は、 $1.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ (100 nm) 未満の数値に対応する。 $30,000^\circ\text{K}$ のプラズマに曝露されると、この黒体のピークエネルギー波長を上回るプラズマ波長を持つ金属内を、放射エネルギーが移動する。エネルギーが金属内を移動すると、当該エネルギーが更に散乱され、そして吸収されることにより、正味の放射吸収率が高くなる。従って、これらの金属は、UV反射率を高めるために適する候補であると考えすることはできない。候補であると考えのではなく、この黒体のピークエネルギー波長を下回る金属のプラズマ波長を持つ金属を使用して、このようなUV波長域で反射率が大きいコーティング材料を提供することができる。更に、金属光学特性は、結果的に生じる落雷時の温度において機能的に維持される必要がある。

20

【 0 0 2 5 】

サブミクロン波長において透過性を維持する2種類の材料は、シリコーン系ポリマー、及びフルオロポリマーであるが、現在、これらの材料は、VUV（真空紫外）領域では透過性を有しない。シリコーン系ポリマーは、膜が60ミクロン厚さである場合に、 250 nm の波長で85パーセントの透過率を有する。入手可能なVUV（真空紫外線）透過性バインダー材料の代わりに、顔料をポリウレタンのような標準的なバインダーに混合することができる。顔料/バインダーの容積比率を適正に調整することにより、バインダーは、下地顔料粒子（バインダー残渣を含む）の深さにしか侵食されることがなく、表面反射率は全くかほとんど低下しない。

30

【 0 0 2 6 】

この段階で、この技術分野の当業者であれば、(1)機能性顔料粒子をバインダー材料内で基板の上側表面にバインドさせ、そしてバインダー材料に混入させて基板の上側表面に付着させることができること、(2)顔料粒子を、VUV（真空紫外）領域で十分高い透過性を有するバインダー材料に混入させることができること、(3)顔料粒子を、VUV（真空紫外）領域で透過性を有しない（または、ほとんど有しない）バインダー材料に混入させることができること、及び(4)(1)～(3)の処理を組み合わせることができることを理解できるであろう。

40

【 0 0 2 7 】

別の態様では、開示されるスペクトル選択性コーティングは、IR波長で反射率を低く抑えることもできるので、「cold mirror（コールドミラー）」と同様に機能する。コールドミラーは、可視光スペクトルを反射するとともに、IR波長を効率的に透

50

過する特殊な誘電体ミラー、ダイクロイックフィルタである。

【 0 0 2 8 】

通常、光学的な目的のために作製されるコールドミラーは、複合パネルコーティングに要求される適用範囲と比べると、かつ複合パネルコーティングに許容されるコストと比べると、比較的狭く、かつ高価である。これらのコールドミラーは、複数の材料層を積層することにより作製され、これらの材料層は、光学特性及び層厚を利用することにより、波面が干渉によって強め合い、そして弱め合う (constructive and destructive interference)。ダイクロイックフィルタは、落雷のピーク放射エネルギーに関連する波長 (すなわち、約 1 0 0 n m) に対応して普通に利用することができる訳ではない。

【 0 0 2 9 】

コーティングの所望のダイクロイック機能を実現する 1 つの方法では、U V 波長と比べると比較的大きく、かつ I R 波長と比べると比較的小さい表面粒子群の分散を利用する。図 5 A に示すように、球形コーティング顔料粒子群 1 0 をバインダー 1 2 に懸濁させ、そして基板 1 4 (例えば、C F R P 基板) の上に層状に堆積させて、スペクトル選択性コーティングを形成することができる。同様に、図 5 B に示すように、板状コーティング顔料粒子群 1 6 をバインダー 1 8 に懸濁させ、そして基板 2 0 の上に層状に堆積させることができる。

【 0 0 3 0 】

M I E 理論によれば、粒子の光学特性に依存するが、短い波長が後方散乱され、そして長い波長が前方散乱される。粒子材料は、多重積層体から形成することもでき、これらの材料は、種々の堆積プロセスにより作製され、粉々にされ、そしてふるいにかけることにより、適切なサイズの分散粒子を生成する。

【 0 0 3 1 】

アルミニウムは、太陽の V U V (真空紫外線) を分析するために設計される宇宙利用光センサに関する普通の反射材料選択肢である。図 6 は、プラズマに隣接する非酸化アルミニウムの全スペクトル反射率を示している。全スペクトル反射率は、進行方向に垂直な電界成分 (T E 波)、及び進行方向に垂直な磁界成分 (T M 波) の両方に関する値を含む。拡張型ランバート並行光源をアルミニウムの前面に配置する場合、光子はアルミニウムにより、波長及び入射角の関数として反射される。表面を、モンテカルロ法を使用して調査することにより、厚いアルミニウム層の正味反射率を 2 0 , 0 0 0 ° K の放射環境でシミュレーションする。正味反射率は、スペクトル / 空間反射率、及び入射光子の入射角の確率関数に基づいて 0 . 8 7 とすることができる。

【 0 0 3 2 】

図 7 は、アルミニウムが 2 0 , 0 0 0 ° K の雷放電プラズマと C F R P 基板との間に挟まれる場合のアルミニウムの正味反射率が厚さとともに変化する様子を示している。アルミニウムに関する 1 つの問題は、約 8 0 パーセントの正味反射率を達成するためにアルミニウムを約 1 0 μ m (すなわち、約 0 . 5 ミル) にする必要があることである。従って、コーティング顔料として、アルミニウムは、非常に厚いコーティング厚さ、及び重量を必要とする。というわけで、アルミニウムは、適切なパッシベーション層付き (アルミニウムは高速に酸化されるため) の適用膜として、より一層受け入れられ易くなる可能性があるが、ニオブウムのような金属の方が、熱い環境に一層適している。

【 0 0 3 3 】

図 8 は、2 0 , 0 0 0 ° K の雷放電プラズマに曝露されるコーティングを施した基板を示しており、コーティングは、S i O ₂ 及び T i O ₂ を 1 / 4 波長の厚みで 8 重に積層する処理を施した 1 μ m 厚のアルミニウム層を含む。S i O ₂ から成る部分コーティング層の厚さ T _{S i O 2} は、次の式 1 を使用して次のように求めることができ、

(式 1)

10

20

30

40

$$T_{\text{SiO}_2} = \frac{\lambda_{\text{peak}}}{4 \cdot n_{\text{SiO}_2}(\lambda_{\text{peak}})}$$

そして、 TiO_2 から成る部分コーティング層の厚さ T_{TiO_2} は、次の式 2 を使用して次のように求めることができ、
(式 2)

$$T_{\text{TiO}_2} = \frac{\lambda_{\text{peak}}}{4 \cdot n_{\text{TiO}_2}(\lambda_{\text{peak}})}$$

10

上の式では、 λ_{peak} はピーク波長であり、 $n_{\text{SiO}_2}(\lambda_{\text{peak}})$ は、波長の関数としての SiO_2 の屈折率であり、そして $n_{\text{TiO}_2}(\lambda_{\text{peak}})$ は、波長の関数としての TiO_2 の屈折率である。

【 0 0 3 4 】

この技術分野の当業者であれば、アルミニウム層は、別の構成として、 TiO_2 層と SiO_2 層との間に配置してもよいことを理解できるであろう。また、この技術分野の当業者であれば、アルミニウム以外の金属を使用してもよいことを理解できるであろう。

20

【 0 0 3 5 】

例えば、ピーク波長が 100 ナノメートルの場合、これらの顔料粒子層の組成及び厚さは、表 1 に示す通りである。

表 1

層	組成	厚さ (nm)
1 A	二酸化チタン	2 6
1 B	二酸化シリコン	1 5
2 A	二酸化チタン	2 6
2 B	二酸化シリコン	1 5
3 A	二酸化チタン	2 6
3 B	二酸化シリコン	1 5
4 A	二酸化チタン	2 6
4 B	二酸化シリコン	1 5
5 A	二酸化チタン	2 6
5 B	二酸化シリコン	1 5
6 A	二酸化チタン	2 6
6 B	二酸化シリコン	1 5
7 A	二酸化チタン	2 6
7 B	二酸化シリコン	1 5
8 A	二酸化チタン	2 6
8 B	二酸化シリコン	1 5
9	アルミニウム	1 0 0

10

20

【 0 0 3 6 】

合計顔料厚みは、約 1 . 4 μm 未満とすることができ、そして合計顔料厚みによって、約 9 6 パーセントの正味反射率が実現する。積層体の複数層の厚さは、真空中と比べると、屈折率の実部成分だけ短くなり得る。

30

【 0 0 3 7 】

従って、開示されるスペクトル選択性コーティングは、落雷に起因する極度に高い放射熱による材料損傷及び構造損傷を無くす、または低減する手段となる。落雷に続く熱浴時間は、I R 域の熱放射率を最大にすることにより最も短くすることができる。従って、この技術分野の当業者であれば、開示されるスペクトル選択性コーティングは、導電性 / 接着性バインダー材料を含む利用可能な導電率設計に関連付けて使用することにより、落雷に起因するパネル損傷を最小にする、または防止することができる。

【 0 0 3 8 】

更に、この技術分野の当業者であれば、パラメータ変数から、約 0 . 5 μm のスペクトル転移波長を境にして、約 0 . 5 μm 以下の約 0 . 1 μm のような波長において高い反射率を示し、かつ約 0 . 5 μm 以上の約 0 . 8 μm のような波長において高い放射率を示すように、落雷中の、そして落雷後の材料温度を大幅に低くすることができることが明らかになったことが理解できるであろう。

40

【 0 0 3 9 】

更には、この技術分野の当業者であれば、反射率選択性コーティングは、UV エネルギーを後方散乱するとともに、I R をコーティング内で前方散乱することができる大きさに形成される分散粒子群を含むコーティングを開発することにより実現することができることを理解できるであろう。I R を前方散乱することにより、吸収が行なわれる。コーティングは同様に、I R 域の放射率を高くするので、落雷後の放射エネルギーを周囲環境に効

50

果的に放射することになる。高いUV反射率は、複数層を1/4波長の厚みにアルミニウムの上に積み重ねることにより実現することができる。

【0040】

開示されるスペクトル選択性コーティング、及び落雷の影響を最小限に抑える関連する方法の種々の態様を示し、そして記載してきたが、種々の変形をこの技術分野の当業者であれば、本明細書を一読することにより想到することができる。本出願は、このような変形を包含し、そして請求項の範囲によってのみ限定される。

また、本願は以下に記載する態様を含む。

(態様1)

基板とプラズマとの相互作用により生じる前記基板の構造損傷を低減する方法であって

10

、
前記プラズマのスペクトル放射が最大になる波長を特定する工程であって、前記波長が前記プラズマの温度の関数である、前記特定する工程と、

前記基板に閾値電磁反射率を前記波長近傍のスペクトル域に亘って付与することができるコーティングを調製する工程と、

前記コーティングを前記基板に施す工程と、
を含む方法。

(態様2)

前記プラズマは雷放電プラズマである、態様1に記載の方法。

(態様3)

前記基板は複合材料基板である、態様1に記載の方法。

20

(態様4)

前記複合材料基板は炭素繊維を含む、態様3に記載の方法。

(態様5)

前記波長は、約500nm以下である、態様1に記載の方法。

(態様6)

前記波長は約100nmである、態様1に記載の方法。

(態様7)

前記コーティングは、略球形の粒子群、及びバインダーを含む、態様1に記載の方法。

(態様8)

前記コーティングは、略板状の粒子群、及びバインダーを含む、態様1に記載の方法。

30

(態様9)

前記コーティングは、赤外線スペクトル域で放射性を持つ、態様1に記載の方法。

(態様10)

前記コーティングは、複数の顔料粒子を含み、前記複数の前記顔料粒子は、二酸化シリコン及び二酸化チタンを含む1/4波長厚の積層構造を含む、態様1に記載の方法。

(態様11)

前記コーティングは、複数の顔料粒子を含み、前記複数の前記顔料粒子は、第1材料及び第2材料を含む1/4波長厚の積層構造を含み、前記第1材料は前記第2材料とは異なる屈折率を有する、態様1に記載の方法。

40

(態様12)

前記1/4波長厚の積層構造は、アルミニウム層の上に配置される、態様11に記載の方法。

(態様13)

前記閾値電磁反射率は、約90パーセント以上である、態様1に記載の方法。

(態様14)

前記閾値電磁反射率は、約99パーセント以上である、態様1に記載の方法。

(態様15)

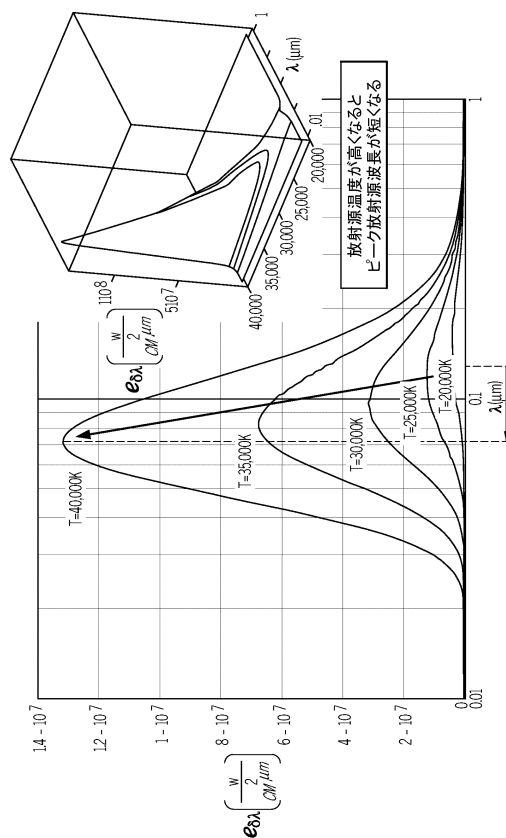
基板と、

態様1、2及び5～14のいずれかに記載のコーティングと、

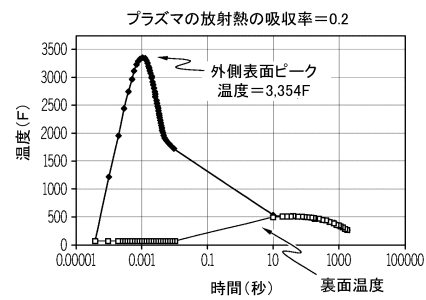
50

を備える構造。

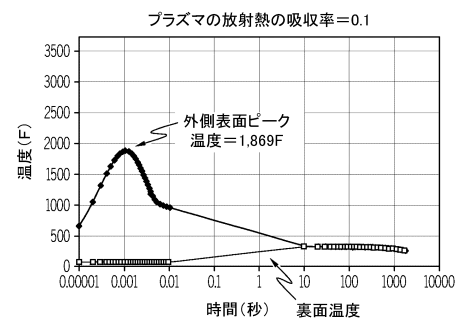
【図 1】



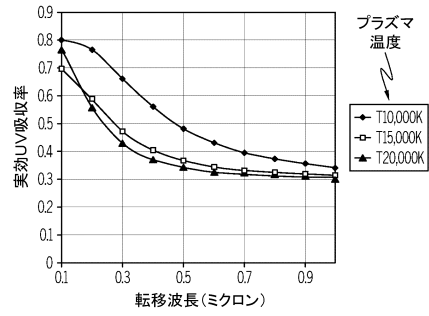
【図 2 A】



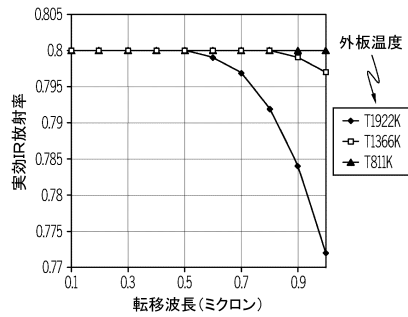
【図 2 B】



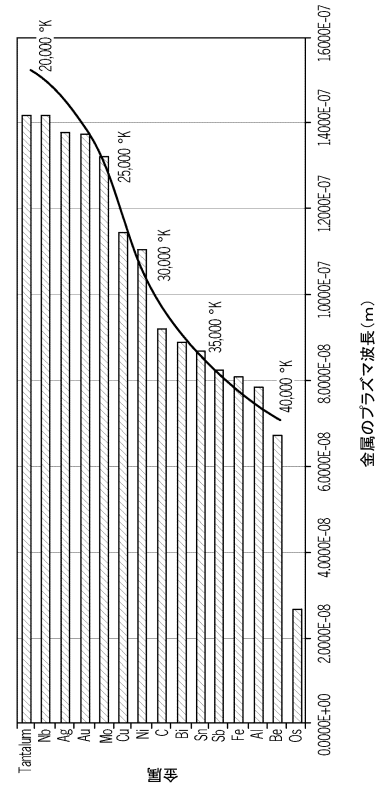
【図 3 A】



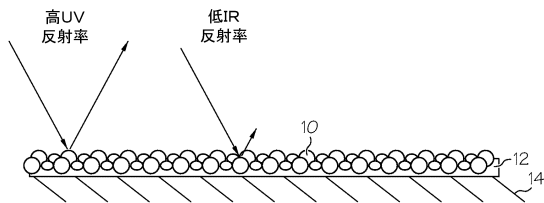
【図 3 B】



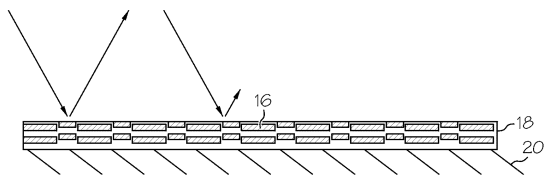
【図 4】



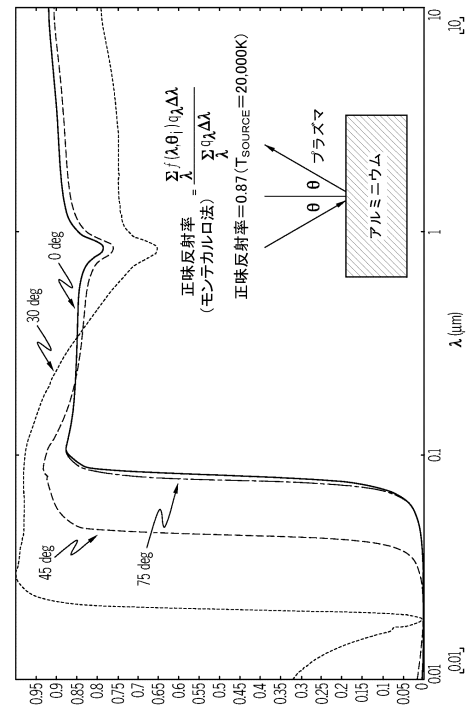
【図 5 A】



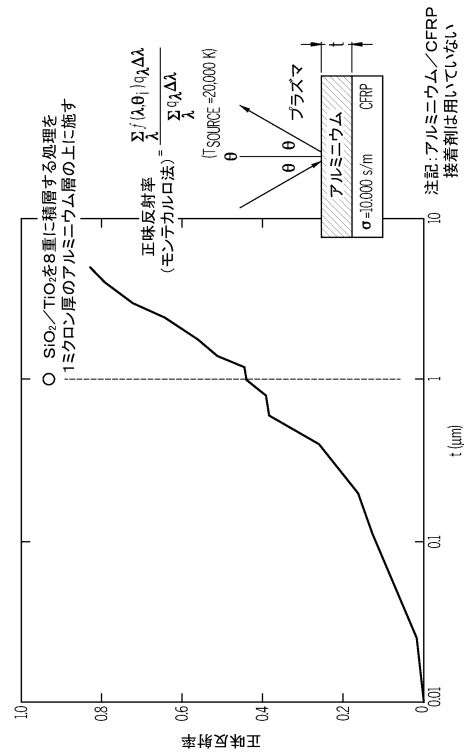
【図 5 B】



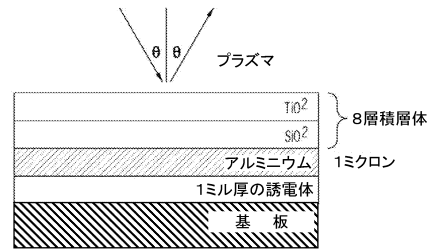
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

審査官 平井 裕彰

(56)参考文献 特開 2 0 1 0 - 0 0 0 4 6 0 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

B 0 5 D 1 / 0 0 ~ 7 / 2 6

B 3 2 B 1 / 0 0 ~ 4 3 / 0 0

B 6 4 C 1 / 0 0 ~ 1 / 4 0

C 0 9 D 1 / 0 0 ~ 2 0 1 / 1 0