

(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2011-100111
(P2011-100111A)

(43) 公開日 平成23年5月19日(2011.5.19)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
G02B 5/28 (2006.01)	G02B 5/28	2 H048
G02B 1/11 (2006.01)	G02B 1/10	A 2 K009
G02B 1/10 (2006.01)	G02B 1/10	Z 4 F100
G02B 5/26 (2006.01)	G02B 5/26	4 K029
B32B 9/00 (2006.01)	B32B 9/00	A

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 60 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2010-211690 (P2010-211690)	(71) 出願人	000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(22) 出願日	平成22年9月22日 (2010.9.22)	(74) 代理人	100095728 弁理士 上柳 雅善
(31) 優先権主張番号	特願2009-234903 (P2009-234903)	(74) 代理人	100107261 弁理士 須澤 修
(32) 優先日	平成21年10月9日 (2009.10.9)	(74) 代理人	100127661 弁理士 宮坂 一彦
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	古里 大喜 東京都日野市日野421-8 エプソントヨコム株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2009-234904 (P2009-234904)	F ターム (参考)	2H048 FA05 FA12 FA18 FA24 GA04 GA17 GA24 GA36 GA61
(32) 優先日	平成21年10月9日 (2009.10.9)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

最終頁に続く

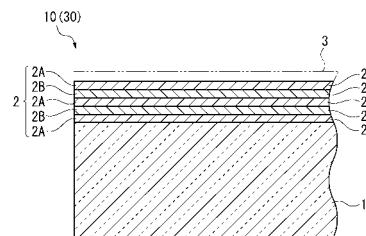
(54) 【発明の名称】光学物品、光学物品の製造方法、電子機器

(57) 【要約】

【課題】防塵性能の高い光学物品を提供する。

【解決手段】基板1の上に複数層からなる無機薄膜2を有する防塵ガラス10であって、無機薄膜2は、複数の酸化ケイ素層2Aと、複数の金属酸化物の層2Bと、が積層され、金属酸化物は、ジルコニウム、タンタルまたはチタンのいずれかを含んだ金属酸化物であり、酸化ケイ素の層2Aには、低密度の酸化ケイ素層と、この低密度の酸化ケイ素層より密度の高い高密度の酸化ケイ素層とがあり、無機薄膜2の最表層2Sは、低密度の酸化ケイ素層であり、無機薄膜2の最表層2Sの表面粗さは0.55nm以上0.70nm以下である。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基板上に複数層からなる無機薄膜を有する光学物品であって、

前記無機薄膜は、複数の酸化ケイ素の層と、複数の金属酸化物の層と、が積層され、

前記金属酸化物は、ジルコニウム、タンタルまたはチタンの少なくともいずれかを含む金属酸化物であり、

前記酸化ケイ素の層には、低密度の酸化ケイ素層、またはこの低密度の酸化ケイ素層より密度が高い高密度の酸化ケイ素層、のいずれかが混在し、

前記無機薄膜の最表層は前記低密度の酸化ケイ素層であり、且つ表面粗さが0.55nm以上0.70nm以下であることを特徴とする光学物品。 10

【請求項 2】

請求項1に記載された光学物品において、

前記最表層に近い側に積層される金属酸化物の層は、酸化ジルコニウムの層であり、

前記無機薄膜の最表層は前記低密度の酸化ケイ素層であり、且つ表面粗さが0.6nm以上0.7nm以下であることを特徴とする光学物品。

【請求項 3】

請求項2に記載された光学物品において、

前記酸化ジルコニウムの層には、低密度の酸化ジルコニウム層、またはこの低密度の酸化ジルコニウム層より密度が高い高密度の酸化ジルコニウム層のいずれかが混在し、少なくとも前記無機薄膜の最表層に隣在する層は、前記低密度の酸化ジルコニウム層であることを特徴とする光学物品。 20

【請求項 4】

請求項3に記載された光学物品において、

前記低密度の酸化ケイ素層の密度は、2.00g/cm³以上2.20g/cm³以下であり、前記低密度の酸化ジルコニウム層の密度は、4.8g/cm³以上5.4g/cm³以下であることを特徴とする光学物品。

【請求項 5】

請求項1に記載された光学物品において、

前記最表層に近い側に積層される金属酸化物の層は、酸化タンタルの層であり、

前記無機薄膜の最表層は前記低密度の酸化ケイ素層であり、且つ表面粗さは0.55nm以上0.65nm以下であることを特徴とする光学物品。 30

【請求項 6】

請求項5に記載された光学物品において、

前記酸化タンタルの層には、低密度の酸化タンタル層、またはこの低密度の酸化タンタル層より密度が高い高密度の酸化タンタル層のいずれかが混在し、少なくとも前記無機薄膜の最表層に隣在する層は、前記低密度の酸化タンタル層であることを特徴とする光学物品。

【請求項 7】

請求項6に記載された光学物品において、

前記低密度の酸化タンタル層の密度は、2.00g/cm³以上2.15g/cm³以下であり、前記低密度の酸化タンタル層の密度は、7.7g/cm³以上8.0g/cm³以下であることを特徴とする光学物品。 40

【請求項 8】

請求項1に記載された光学物品において、

前記最表層に近い側に積層される金属酸化物の層は、酸化チタンの層であり、

前記無機薄膜の最表層は前記低密度の酸化ケイ素層であり、且つ表面粗さは0.6nm以上0.7nm以下であることを特徴とする光学物品。

【請求項 9】

請求項8に記載された光学物品において、

前記酸化チタンの層には、低密度の酸化チタン層、またはこの低密度の酸化チタン層よ

り密度が高い高密度の酸化チタン層、のいずれかが混在し、少なくとも前記無機薄膜の最表層に隣在する層は、前記低密度の酸化チタン層であることを特徴とする光学物品。

【請求項 10】

請求項 9 に記載された光学物品において、

前記低密度の酸化ケイ素層の密度は、 2.00 g/cm^3 以上 2.15 g/cm^3 以下であり、前記低密度の酸化チタン層の密度は 4.50 g/cm^3 以上 4.75 g/cm^3 以下であることを特徴とする光学物品。

【請求項 11】

請求項 1 から請求項 10 のいずれかに記載された光学物品において、

前記低密度の酸化ケイ素の層と低密度の金属酸化物の層の膜厚の合計は、 500 nm 以下であることを特徴とする光学物品。 10

【請求項 12】

請求項 1 から請求項 11 のいずれかに記載された光学物品において、

前記無機薄膜の最表層の表面にはフッ素含有有機ケイ素化合物膜が形成されていることを特徴とする光学物品。

【請求項 13】

請求項 2 から請求項 4 のいずれかに記載された光学物品において、

前記無機薄膜の表面抵抗が $3.1 \times 10^{10} \text{ } \Omega$ 以下であり、 $9.1 \times 10^9 \text{ } \Omega$ 以上であることを特徴とする光学物品。

【請求項 14】

請求項 5 から請求項 7 のいずれかに記載された光学物品において、

前記無機薄膜の表面抵抗が $1.4 \times 10^{11} \text{ } \Omega$ 以下であり、 $7.7 \times 10^9 \text{ } \Omega$ 以上であることを特徴とする光学物品。 20

【請求項 15】

請求項 8 から請求項 10 のいずれかに記載された光学物品において、

前記無機薄膜の表面抵抗が $1.4 \times 10^{11} \text{ } \Omega$ 以下であり、 $5.7 \times 10^{10} \text{ } \Omega$ 以上であることを特徴とする光学物品。

【請求項 16】

請求項 1 から請求項 15 のいずれかに記載された光学物品を製造する方法であって、

前記無機薄膜のうち少なくとも最表層を、加速電圧が 300 V 以上 450 V 以下のアシストパワーのイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着により成膜することを特徴とする光学物品の製造方法。 30

【請求項 17】

請求項 16 に記載された光学物品の製造方法において、

前記複数層は 5 層以上あり、これらの層のうち最表層を含み互いに隣在する少なくとも 4 層を、前記アシストパワーのイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着により成膜することを特徴とする光学物品の製造方法。

【請求項 18】

請求項 1 から請求項 15 のいずれかに記載された光学物品と、この光学物品を収納するケースとを備え、

前記光学物品は I R - U V カットフィルターであり、この I R - U V カットフィルターには撮像素子が対向配置されていることを特徴とする電子機器。 40

【請求項 19】

請求項 1 から請求項 15 のいずれかに記載された光学物品と、この光学物品を収納するケースとを備え、

前記光学物品は反射防止膜を有し、且つ、レーザー光源と光ディスクに対向する対物レンズとの間の光路に配置されていることを特徴とする電子機器。

【請求項 20】

請求項 1 から請求項 15 のいずれかに記載された光学物品と、この光学物品を収納するケースとを備え、

10

20

30

40

50

前記光学物品は反射防止膜を有し、且つ、光源とダイクロイックプリズムとの間の光路に配置されることを特徴とする電子機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は光学多層膜フィルター等の光学物品、その製造方法、並びに、光学物品を備えた電子機器に関する。

【背景技術】

【0002】

デジタルカメラ等の撮像装置、ピックアップ等の再生装置、プロジェクター等の映像装置等の電子機器では、一般に、反射防止膜が形成された防塵ガラスや、IR - UVカットフィルター、IRカットフィルター、ローパスフィルター等の光学多層膜フィルターが利用されている。これらの防塵ガラスや光学多層膜フィルター等の光学物品は、ガラスや水晶等の基板に蒸着等によって酸化ケイ素等の低屈折率無機薄膜と酸化チタン等の高屈折率無機薄膜とが交互に積層して設けられる構造である。

【0003】

従来、光学的性質を劣化させることなく帯電防止効果を得ることができる多層膜フィルターがある。この多層膜フィルターは、酸化ケイ素の薄膜と酸化チタンの薄膜とを交互に積層して無機薄膜を構成し、この無機薄膜の最表層を構成する酸化ケイ素の層を1.09 ~ 2.04 g / cm³の低密度とし、この層以外の酸化ケイ素の密度を最表層の密度より高い2.21 g / cm³以上としたものである（特許文献1）。

この特許文献1の従来例では、無機薄膜を形成するために、最表層以外の成膜を加速電圧が1000V、加速電流が1200mAのイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着で実施し、最表層の酸化ケイ素の成膜をイオンアシストではない電子ビーム蒸着で実施する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許4207083号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1で示される従来例では、最表層の表面抵抗が下がって帯電防止効果を得るので、防塵性能を高いものにすることができる。

しかし、撮像装置や映像装置の高画素化に伴い、小さなゴミや埃が付着することで、製品に影響を及ぼすので、より高い防塵性能が望まれる。

【0006】

本発明の目的は、防塵性能の高い光学物品、光学物品の製造方法、電子機器を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態または適用例として実現することができる。

【適用例1】

本適用例にかかる光学物品は、基板上に複数層からなる無機薄膜を有する光学物品であって、前記無機薄膜は、複数の酸化ケイ素の層と、複数の金属酸化物の層と、が積層され、前記金属酸化物は、ジルコニアム、タンタルまたはチタンの少なくともいずれかを含む金属酸化物であり、前記酸化ケイ素の層には、低密度の酸化ケイ素層、またはこの低密度の酸化ケイ素層より密度が高い高密度の酸化ケイ素層、のいずれかが混在し、前記無機薄膜の最表層は前記低密度の酸化ケイ素層であり、且つ表面粗さが0.55nm以上0.70nm以下であることを特徴とする。

10

20

30

40

50

【0008】

この構成の本適用例では、無機薄膜の最表層を構成する層を低密度の酸化ケイ素層とすることで、本来高い絶縁性能を示す酸化ケイ素の薄膜の絶縁性が低下し、導電性が高くなる。

しかも、その最表層の酸化ケイ素の薄膜は、その表面粗さが0.55nm以上且つ0.7nm以下という特許文献1の最表層の表面粗さ(0.8nm~0.95nm)より改善された値を採用したから、防塵性能を向上させることができる。つまり、特許文献1で示される従来例は、成膜をイオンアシストではない電子ビーム蒸着で実施しているので、最表層の酸化ケイ素の薄膜の表面粗さは悪化しているものと推測できる。これに対して、本適用例では、最表層の酸化ケイ素の層の表面粗さを改善して滑らかなものにしたので、表面に埃や塵が付着しにくくなり、防塵性能が高いものになる。なお、本発明の明細書に記載の表面粗さとは算術平均粗さRaである。

【0009】

[適用例2]

上記適用例にかかる光学物品は、前記最表層に近い側に積層される金属酸化物の層は、酸化ジルコニウムの層であり、前記無機薄膜の最表層は前記低密度の酸化ケイ素層であり、且つ表面粗さが0.6nm以上0.7nm以下であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、最表層の酸化ケイ素層の表面粗さは、特許文献1の最表層の表面粗さより大きく改善された値であるため、防塵性能をより向上させることができる。

さらに、本適用例の層の1つを構成する酸化ジルコニウム(ジルコニアとも称する)は、Zrが従来例の薄膜の1つを構成する酸化チタンのTiよりも電気陰性度が小さいため、表面の脱離エネルギーが下がる。その結果、従来例に比べて本適用例は防塵性能が高くなる。なお、最表層とは無機薄膜を構成する層において、基板から最も離れた位置の層を意味する。この最表層が光学物品の表面を構成する、あるいは構成しないかのいずれかである。

【0010】

[適用例3]

上記適用例にかかる光学物品は、前記酸化ジルコニウムの層には、低密度の酸化ジルコニウム層、またはこの低密度の酸化ジルコニウム層より密度が高い高密度の酸化ジルコニウム層のいずれかが混在し、少なくとも前記無機薄膜の最表層に隣在する層は、前記低密度の酸化ジルコニウム層であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、最表層の酸化ケイ素層と、その次の層の酸化ジルコニウム層とがともに低密度層から構成されるので、絶縁性がより低下し、導電性の向上を図ることができる。

【0011】

[適用例4]

上記適用例にかかる光学物品は、前記低密度の酸化ケイ素層の密度は、2.00g/cm³以上2.20g/cm³以下であり、前記低密度の酸化ジルコニウム層の密度は、4.8g/cm³以上5.4g/cm³以下であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、低密度の酸化ケイ素層と低密度の酸化ジルコニウム層との合理的な密度の範囲を設定することで、導電性の向上を確実に行うことができる。つまり、低密度の酸化ケイ素層の密度が2.20g/cm³を超えると、層の密度を低くすることによる効果が得られず、2.00g/cm³未満であると、成膜が困難となる。同様に、低密度の酸化ジルコニウム層の密度が5.4g/cm³を超えると、層の密度を低くすることによる効果が得られず、4.8g/cm³未満であると、密着性が低下し、膜剥離等の問題を引き起こすため、成膜が困難となる。

【0012】

[適用例5]

上記適用例にかかる光学物品は、前記最表層に近い側に積層される金属酸化物の層は、酸化タンタルの層であり、前記無機薄膜の最表層は前記低密度の酸化ケイ素層であり、且

つ表面粗さは0.55nm以上0.65nm以下であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、最表層の酸化ケイ素層の表面粗さは、特許文献1の最表層の表面粗さより大きく改善された値であるため、防塵性能をより向上させることができる。

さらに、本適用例の層の1つを構成する酸化タンタルは、Taが従来例の薄膜の1つを構成する酸化チタンのTiよりも電気陰性度が小さいため、表面の脱離エネルギーが下がる。その結果、従来例に比べて本適用例は防塵性能が高くなる。なお、最表層とは無機薄膜を構成する層において、基板から最も離れた位置の層を意味する。この最表層が光学物品の表面を構成する、あるいは構成しないかのいずれかである。

【0013】

[適用例6]

上記適用例にかかる光学物品は、前記酸化タンタルの層には、低密度の酸化タンタル層、またはこの低密度の酸化タンタル層より密度が高い高密度の酸化タンタル層のいずれかが混在し、少なくとも前記無機薄膜の最表層に隣在する層は、前記低密度の酸化タンタル層であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、最表層の酸化ケイ素層と、その次の層の酸化タンタル層とともに低密度層から構成されるので、絶縁性がより低下し、導電性の向上を図ることができる。

【0014】

[適用例7]

上記適用例にかかる光学物品は、前記低密度の酸化タンタル層の密度は、2.00g/cm³以上2.15g/cm³以下であり、前記低密度の酸化タンタル層の密度は、7.7g/cm³以上8.0g/cm³以下であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、低密度の酸化ケイ素層と低密度の酸化タンタル層との合理的な密度の範囲を設定することで、導電性の向上を確実に行うことができる。つまり、低密度の酸化ケイ素層の密度が2.15g/cm³を超えると、層の密度を低くすることによる効果が得られず、2.00g/cm³未満であると、成膜が困難となる。同様に、低密度の酸化タンタル層の密度が8.00g/cm³を超えると、層の密度を低くすることによる効果が得られず、7.70g/cm³未満であると、透明性が失われ、高透過率を必要とする光学薄膜には使用できない。

【0015】

[適用例8]

上記適用例にかかる光学物品は、前記最表層に近い側に積層される金属酸化物の層は、酸化チタンの層であり、前記無機薄膜の最表層は前記低密度の酸化ケイ素層であり、且つ表面粗さは0.6nm以上0.7nm以下であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、最表層の酸化ケイ素層の表面粗さは、特許文献1の最表層の表面粗さより大きく改善された値であるため、防塵性能をより向上させることができる。

【0016】

[適用例9]

上記適用例にかかる光学物品は、前記酸化チタンの層には、低密度の酸化チタン層、またはこの低密度の酸化チタン層より密度が高い高密度の酸化チタン層、のいずれかが混在し、少なくとも前記無機薄膜の最表層に隣在する層は、前記低密度の酸化チタン層であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、最表層の酸化ケイ素層と、その次の酸化チタン層とともに低密度層から構成されるので、絶縁性がより低下し、導電性の向上を図ることができる。

【0017】

[適用例10]

上記適用例にかかる光学物品は、前記低密度の酸化ケイ素層の密度は、2.00g/cm³以上2.15g/cm³以下であり、前記低密度の酸化チタン層の密度は4.50g/cm³以上4.75g/cm³以下であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、低密度の酸化ケイ素層と低密度の酸化チタン層との合理的な

10

20

30

40

50

密度の範囲を設定することで、導電性の向上を確実に行うことができる。つまり、低密度の酸化ケイ素層の密度が 2.15 g/cm^3 を超えると、層の密度を低くすることによる効果が得られず、 2.00 g/cm^3 未満であると、成膜が困難となる。同様に、低密度の酸化チタン層の密度が 4.75 g/cm^3 を超えると、層の密度を低くすることによる効果が得られず、 4.50 g/cm^3 未満であると、成膜が困難となる。

【0018】

[適用例11]

上記適用例にかかる光学物品は、前記低密度の酸化ケイ素の層と低密度の金属酸化物の層の膜厚の合計は、 500 nm 以下であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、前記低密度の酸化ケイ素の層と前記低密度の金属酸化物の層の膜厚の合計を 500 nm 以下、好ましくは、 400 nm 以下とすることで、必要以上に膜厚を厚くする必要がなく最表層の表面抵抗を維持できる。つまり、最表層の表面抵抗を低いものにするには複数層の合計膜厚が厚いほうが好ましいが、 500 nm を超えて、表面抵抗がほぼ変わらないため、最表層の低表面抵抗を維持するのに効果をなさない。

【0019】

[適用例12]

上記適用例にかかる光学物品は、前記無機薄膜の最表層の表面にはフッ素含有有機ケイ素化合物膜が形成されていることを特徴とする。

この構成の本適用例では、最表層である酸化ケイ素の薄膜の表面にフッ素含有有機ケイ素化合物膜を形成することで、表面エネルギーを低下させることができ、埃の付着を抑制することができる。

【0020】

[適用例13]

上記適用例にかかる光学物品は、前記無機薄膜の表面抵抗が $3.1 \times 10^{10} /$ 以下であり、 $9.1 \times 10^9 /$ 以上であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、表面抵抗が十分に低下するので、防塵効果を確実に得ることができる。

【0021】

[適用例14]

上記適用例にかかる光学物品は、前記無機薄膜の表面抵抗が $1.4 \times 10^{11} /$ 以下であり、 $7.7 \times 10^9 /$ 以上であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、表面抵抗が十分に低下するので、防塵効果を確実に得ることができる。

【0022】

[適用例15]

上記適用例にかかる光学物品は、前記無機薄膜の表面抵抗が $1.4 \times 10^{11} /$ 以下であり、 $5.7 \times 10^{10} /$ 以上であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、表面抵抗が十分に低下するので、防塵効果を確実に得ることができる。

【0023】

[適用例16]

本適用例にかかる光学物品の製造方法は、上述の構成の光学物品を製造する方法であって、前記無機薄膜のうち少なくとも最表層を、加速電圧が 300 V 以上 450 V 以下のアシストパワーのイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着により成膜することを特徴とする。

この構成の本適用例では、少なくとも最表層を、加速電圧が 300 V 以上 450 V 以下という低イオンアシスト条件での電子ビーム蒸着(IAD)で成膜することで、最表層の酸化ケイ素の薄膜の表面粗さを 0.65 nm 以上且つ 0.80 nm 未満という従来例に比べて改善した値にすることができる。そのため最表層の表面から埃や塵が付着することを防止して防塵性能を高いものにできる。

10

20

30

40

50

【0024】

[適用例17]

上記適用例にかかる光学物品の製造方法は、前記複数層は5層以上あり、これらの層のうち最表層を含み互いに隣在する少なくとも4層を、前記アシストパワーのイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着により成膜することを特徴とする。

この構成の本適用例では、低アシストパワーで成膜する対象を適切な範囲にしたので、合理的な成膜を実施することができる。ここで、低アシストパワーでの電子ビーム蒸着の対象を4層以上としたのは、3層以下では表面抵抗が十分に低下するものではなく防塵効果を十分に得られないことが生じるが、4層以上とすれば表面抵抗が十分に低下するので、防塵効果を確実に得ることができる。5層以上とした場合では4層の場合と表面抵抗があまり変わらず防塵効果に差異がないので、少なくとも4層あれば十分である。

【0025】

[適用例18]

本適用例にかかる電子機器は、上述の光学物品と、この光学物品を収納するケースとを備え、前記光学物品はIR-UVカットフィルターであり、このIR-UVカットフィルターには撮像素子が対向配置されていることを特徴とする。

この構成の本適用例では、防塵性能の高いIR-UVカットフィルターを撮像素子、例えば、CCDに対向配置するので、CCDで撮像される画像に埃等が残ることがないので、高品質の撮像装置を提供することができる。

【0026】

[適用例19]

本適用例にかかる電子機器は、上述の光学物品と、この光学物品を収納するケースとを備え、前記光学物品は反射防止膜を有し、且つ、レーザー光源と光ディスクに対向する対物レンズとの間の光路に配置されていることを特徴とする。

この構成の本適用例では、防塵性能の高い反射防止膜付き光学物品、例えば、ビームスプリッターをレーザー光源と対物レンズとの間に配置するので、レーザー光源や対物レンズ等で光ディスクに記録された情報の再生や光ディスクへの情報の記録が埃付着により劣化することを抑制することができるので精度の高い光ピックアップ装置を提供することができる。

【0027】

[適用例20]

本適用例にかかる電子機器は、上述の光学物品と、この光学物品を収納するケースとを備え、前記光学物品は反射防止膜を有し、且つ、光源とダイクロイックプリズムとの間の光路に配置されることを特徴とする。

この構成の本適用例では、防塵性能の高い反射防止膜付き光学物品、例えば、防塵ガラスを光源とダイクロイックプリズムとの間に配置するので、レーザー光源やダイクロイックプリズム等を通じて投影される画像の精度が高いプロジェクターを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の第一実施形態にかかる電子機器を示す概略図。

【図2】第一実施形態の光学物品の断面図。

【図3】基板に成膜するための装置の概略図。

【図4】第二実施形態にかかる電子機器を示す概略図。

【図5】第二実施形態の光学物品の概略図。

【図6】第三実施形態にかかる電子機器を示す概略図。

【図7】(A)は表面抵抗測定器の概略図であり、(B)は表面電位計の概略図。

【図8】実施例1における膜厚と表面抵抗との関係を示すグラフ。

【図9】実施例1、比較例5及び比較例7における時間と残存電荷量との関係を示すグラフ。

10

20

30

40

50

【図10】実施例5における膜厚と表面抵抗との関係を示すグラフ。

【図11】実施例9における膜厚と表面抵抗との関係を示すグラフ。

【図12】実施例9及び比較例25における時間と残存電荷量との関係を示すグラフ。

【図13】実施例13における膜厚と表面抵抗との関係を示すグラフ。

【図14】実施例17、比較例37及び比較例39における表面抵抗を示すグラフ。

【図15】実施例17における膜厚と表面抵抗との関係を示すグラフ。

【図16】実施例17、比較例37及び比較例39における時間と残存電荷量との関係を示すグラフ。

【図17】実施例21における膜厚と表面抵抗との関係を示すグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。ここで、各実施形態において、同一の構成要素は同一符号を付して説明を省略もしくは簡略にする。

【第一実施形態】

まず、第一実施形態を図1及び図2に基づいて説明する。

第一実施形態は電子機器をプロジェクターとし、そのプロジェクターに組み込まれる光学物品を防塵ガラスとした例である。

図1はプロジェクターの概略構成図である。

図1において、プロジェクター100は、インテグレーター照明光学系110と、色分離光学系120と、リレー光学系130と、光源から射出された光束を画像情報に応じて変調する電気光学装置140と、電気光学装置140で変調された光束を拡大投写する投写レンズ150とを備えて構成される。

インテグレーター照明光学系110は、電気光学装置140を構成する3枚の透過型液晶パネル141（赤、緑、青の色光毎にそれぞれ液晶パネル141R, 141G, 141Bとする）の画像形成領域をほぼ均一に照明するための光学系であり、光源装置111と、第1レンズアレイ112と、第2レンズアレイ113と、偏光変換素子114と、重畳レンズ115とを備えている。

【0030】

光源装置111は、光源ランプ116とリフレクター117とを備え、光源ランプ116から射出された輻射状の光線をリフレクター117で反射して平行光線とし、この平行光線を外部へと射出する。

第1レンズアレイ112は、光軸方向から見てほぼ矩形状の輪郭を有する小レンズがマトリクス状に配列された構成を有している。

第2レンズアレイ113は、第1レンズアレイ112と略同様な構成を有しており、小レンズがマトリクス状に配列された構成を有している。この第2レンズアレイ113は、重畳レンズ115とともに、第1レンズアレイ112の各小レンズの像を透過型液晶パネル141上に結像させる機能を有する。

偏光変換素子114は、第2レンズアレイ113と重畳レンズ115との間に配置されるとともに、第2レンズアレイ113と一体でユニット化されている。このような偏光変換素子114は、第2レンズアレイ113からの光を1種類の偏光光に変換するものである。

【0031】

色分離光学系120は、2枚のダイクロイックミラー121, 122と、反射ミラー123とを備え、ダイクロイックミラー121、122によりインテグレーター照明光学系110から射出された複数の部分光束を赤（R）、緑（G）、青（B）の3色の色光に分離する。

リレー光学系130は、入射側レンズ131と、リレーレンズ133と、反射ミラー132、134とを備え、色分離光学系120で分離された色光である赤色光を透過型液晶パネル141Rまで導く機能を有する。

ダイクロイックミラー121を透過した赤色光と緑色光のうちで、緑色光は、ダイクロ

10

20

30

40

50

イックミラー 122 によって反射し、フィールドレンズ 151 を通って、緑色用の透過型液晶パネル 141G に到達する。一方、赤色光は、ダイクロイックミラー 122 を透過してリレー光学系 130 を通り、さらにフィールドレンズ 151 を通って、赤色光用の透過型液晶パネル 141R に到達する。

【0032】

電気光学装置 140 は、入射された光束を画像情報に応じて変調してカラー画像を形成するものであり、光変調装置としての透過型液晶パネル 141R, 141G, 141B と、各透過型液晶パネル 141R, 141G, 141B の光入射面に設けられる防塵ガラス 10 と、クロスダイクロイックプリズム 142 とを備える。

クロスダイクロイックプリズム 142 は、各色光毎に変調された光学像を合成してカラー画像を形成するものであり、赤色光を反射する誘電体多層膜と青色光を反射する誘電体多層膜とが 4 つの直角プリズムの界面に沿って略 X 字状に設けられ、これらの誘電体多層膜により 3 つの色光が合成される。

【0033】

防塵ガラス 10 の概略構成が図 2 に示されている。

図 2 において、防塵ガラス 10 は、基板 1 の光入射面に反射防止膜 2 が設けられ、この反射防止膜 2 の表面にフッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 が必要に応じて設けられた構造である。つまり、フッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 は反射防止膜 2 の表面に設けられてもよく、設けられなくてもよい。

基板 1 としては、例えば、石英、水晶、無アルカリガラス等を用いることができる。

反射防止膜 2 は、低屈折率の酸化ケイ素 (SiO₂) 層 2A と、高屈折率の金属酸化物の層 2B とが交互に積層された 5 層構造である。

基板 1 から最も離れた第 1 層は最表層 2S であり、この最表層 2S は酸化ケイ素層 2A である。この最表層 2S に近接した第 2 層 22 が金属酸化物の層 2B である。この第 2 層 22 に近接した第 3 層 23 が酸化ケイ素層 2A であり、この第 3 層 23 に近接した第 4 層 24 が金属酸化物の層 2B である。この第 4 層 24 に近接した第 5 層 25 は基板 1 に接しており、この第 5 層 25 は酸化ケイ素層 2A である。

この金属酸化物の層 2B を構成する金属酸化物は、ジルコニウム、タンタルまたはチタンのいずれかを含んだ金属酸化物である。

【0034】

ここで、酸化ケイ素層 2A は、低密度層と、この低密度層より密度の高い高密度層とのいずれかから構成される。最表層 2S の酸化ケイ素層 2A は低密度層である。第 3 層 23 を構成する酸化ケイ素層 2A は低密度層でもよく、あるいは、低密度層より密度の高い高密度層でもよい。第 1 層を構成する酸化ケイ素層 2A は高密度層である。

フッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 は、その膜厚が薄いものであり、その下に形成される最表層 2S の酸化ケイ素層 2A は低密度層であるため絶縁性が低い状態となる。そのため、フッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 に図示しないアースケーブルを介して表面に発生した電荷は外部に逃がすことができる。

【0035】

酸化ケイ素層 2A の密度や最表層 2S の表面粗さは金属酸化物の層 2B の材料によって相違する。

金属酸化物が酸化ジルコニウム (ZrO₂) である場合には、低密度の酸化ケイ素層 2A の密度は、2.00 g / cm³ 以上 2.20 g / cm³ 以下である。高密度の酸化ケイ素層 2A の密度は 2.20 g / cm³ を超えればよい。しかも、最表層 2S の表面粗さは 0.65 nm 以上 0.80 nm 以下である。

【0036】

第 2 層 22 を構成する金属酸化物の層 2B は低密度層であってもよく高密度層であってもよい。第 4 層 24 を構成する金属酸化物の層 2B は第 2 層 22 と同様に、低密度層であってもよく高密度層であってもよい。

酸化ジルコニウムである金属酸化物の層 2B の低密度層は 4.8 g / cm³ 以上 5.4

10

20

30

40

50

g / cm^3 以下の密度である。酸化ジルコニウムである金属酸化物の層 2 B であって高密度層の密度は $5.4 g / cm^3$ を超える密度であればよい。

第 2 層 2 2 から第 5 層 2 5 までは低密度層であっても高密度層であってもよいが、本実施形態では、最表層 2 S 以外に、第 3 層 2 3 と第 5 層 2 5 との少なくとも 1 つが高密度層であることが必要であり、例えば、第 5 層 2 5 が高密度層であり、他の層が低密度層であってもよい。

これらの第 1 層から第 5 層 2 5 までの反射防止膜 2 の合計の膜厚は $500 nm$ 以下、好みしくは、 $400 nm$ 以下である。

【0037】

金属酸化物が酸化タンタル (Ta_2O_5) である場合には、低密度の酸化ケイ素層 2 A の密度は、 $2.00 g / cm^3$ 以上 $2.15 g / cm^3$ 以下である。高密度の酸化ケイ素層 2 A の密度は $2.15 g / cm^3$ を超えればよい。しかも、最表層 2 S の表面粗さは $0.55 nm$ 以上 $0.65 nm$ 以下である。

第 2 層 2 2 を構成する金属酸化物の層 2 B は低密度層であってもよく高密度層であってもよい。第 4 層 2 4 を構成する金属酸化物の層 2 B は第 2 層 2 2 と同様に、低密度層であってもよく高密度層であってもよい。

酸化タンタルである金属酸化物の層 2 B の低密度層は $7.7 g / cm^3$ 以上 $8.00 g / cm^3$ 以下の密度である。酸化タンタルである金属酸化物の層 2 B であって高密度層の密度は $8.00 g / cm^3$ を超える密度であればよい。

第 2 層 2 2 から第 5 層 2 5 までは低密度層であっても高密度層であってもよいが、本実施形態では、最表層 2 S 以外に、第 3 層 2 3 と第 5 層 2 5 との少なくとも 1 つが高密度層であることが必要であり、例えば、第 5 層 2 5 が高密度層であり、他の層が低密度層であってもよい。

これらの第 1 層から第 5 層 2 5 までの反射防止膜 2 の合計の膜厚は $500 nm$ 以下、好みしくは、 $400 nm$ 以下である。

【0038】

金属酸化物が酸化チタン (TiO_2) である場合には、低密度の酸化ケイ素層 2 A の密度は、 $2.00 g / cm^3$ 以上 $2.15 g / cm^3$ 以下である。高密度の酸化ケイ素層 2 A の密度は $2.15 g / cm^3$ を超えればよい。しかも、最表層 2 S の表面粗さは $0.6 nm$ 以上 $0.7 nm$ 以下である。

第 2 層 2 2 を構成する金属酸化物の層 2 B は低密度層であってもよく高密度層であってもよい。第 4 層 2 4 を構成する金属酸化物の層 2 B は第 2 層 2 2 と同様に、低密度層であってもよく高密度層であってもよい。

酸化チタンである金属酸化物の層 2 B の低密度層は $4.50 g / cm^3$ 以上 $4.75 g / cm^3$ 以下の密度である。酸化チタンである金属酸化物の層 2 B であって高密度層の密度は $4.75 g / cm^3$ を超える密度であればよい。

第 2 層 2 2 から第 5 層 2 5 までは低密度層であっても高密度層であってもよいが、本実施形態では、最表層 2 S 以外に、第 3 層 2 3 と第 5 層 2 5 との少なくとも 1 つが高密度層であることが必要であり、例えば、第 5 層 2 5 が高密度層であり、他の層が低密度層であってもよい。

これらの第 1 層から第 5 層 2 5 までの反射防止膜 2 の合計の膜厚は $500 nm$ 以下、好みしくは、 $400 nm$ 以下である。

【0039】

次に、防塵ガラス 1 0 を製造する方法について説明する。

図 3 は、基板に成膜するための装置の概略図である。

図 3 において、成膜装置は、アースされた室 5 0 と、この室 5 0 の天井部分に回動自在に支持されたドーム 5 1 を備えており、このドーム 5 1 は、その中央部に設けられた回転軸 5 1 A を介してモーター 5 2 により回動される。ドーム 5 1 には成膜対象となる基板 1 が複数取り付けられており、これらの基板 1 に対向するように室 5 0 の下部に第一蒸着源 5 3 と第二蒸着源 5 4 とが設けられている。第一蒸着源 5 3 には酸化ケイ素が収納され、

10

20

30

40

50

第二蒸着源 5 4 には、酸化ジルコニウム、酸化タンタルまたは酸化チタンの金属酸化物が収納されている。

これらの第一蒸着源 5 3 と第二蒸着源 5 4との間にはイオン源 5 5 と電子銃 5 6 とが配置されている。第一蒸着源 5 3 と第二蒸着源 5 4 とには、それぞれ電子ビームが照射されることで内部に収納される酸化ケイ素や酸化ジルコニウム、酸化タンタル、または酸化チタンが溶かされる。

イオン源 5 5 はイオンを放出してアシストするものである。電子銃 5 6 は電子ビームを照射するものである。

ドーム 5 1 の中央部には監視装置 5 7 が設けられている。この監視装置 5 7 は、基板 1 に成膜される膜厚を管理する光学モニターと、レート管理する水晶モニターとを備える。

【 0 0 4 0 】

この構成の成膜装置を用いて基板 1 に 5 層からなる反射防止膜 2 を形成するには、基板 1 をドーム 5 1 にセットする。その後、ドーム 5 1 を回転させながら、電子銃 5 6 で電子ビームを照射して第一蒸着源 5 3 に収納される酸化ケイ素や第二蒸着源 5 4 に収納される酸化ジルコニウム、酸化タンタル、または酸化チタンを蒸着させる。この際、イオン源 5 5 からイオン化した酸素を加速照射することにより、基板 1 の上に酸化ケイ素層 2 A と酸化ジルコニウム、酸化タンタルまたは酸化チタンの金属酸化物の層 2 B とを交互に成膜する。

ここで、最表層 2 S から第 4 層 2 4 までの成膜のためのアシストパワーは、酸化ケイ素層 2 A と金属酸化物の層 2 B とにかかわらず、300 V 以上 450 V 以下の加速電圧 (450 mA 以上 550 mA 以下の加速電流) の低アシストパワーであり、第 5 層 2 5 を成膜するためのアシストパワーは、450 V を超える加速電圧、例えば、1000 V (1200 mA の加速電流) の高アシストパワーである。

【 0 0 4 1 】

基板 1 に反射防止膜 2 が成形されたなら、この反射防止膜 2 の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 を必要に応じて形成する。

このフッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 を成膜するため、反射防止膜 2 が形成された基板 1 及び蒸着源を真空装置の内部にセットし、減圧排気を行う。そして、基板 1 の温度を 60 とした状態で蒸発源を約 600 に加熱し、フッ素含有有機ケイ素化合物を蒸発させて反射防止膜 2 の上に成膜する。

【 0 0 4 2 】

[第二実施形態]

次に、第二実施形態を図 4 及び図 5 に基づいて説明する。

第二実施形態は電子機器をデジタルスチールカメラの撮像装置とし、その撮像装置に組み込まれる光学物品を光学多層膜フィルターとした例である。

図 4 は撮像装置の概略構成図である。

図 4 において、撮像装置 2 0 0 は、撮像モジュール 2 1 0 と、光入射側に配置されるレンズ 2 2 0 と、撮像モジュール 2 1 0 から出力される撮像信号の記録・再生等を行う本体部 2 3 0 とを含んで構成されている。この本体部 2 3 0 には、撮像信号の補正等を行う信号処理部と、撮像信号を磁気テープ等の記録媒体に記録する記録部と、この撮像信号を再生する再生部と、再生された映像を表示する表示部などの構成要素が含まれる。

撮像モジュール 2 1 0 は、光学多層膜フィルター 2 0 と、光学ローパスフィルター 2 1 1 と、光学像を電気的に変換する撮像素子の CCD (電荷結合素子) 2 1 2 と、この撮像素子 2 1 2 を駆動する駆動部 2 1 3 とを含んで構成されている。

【 0 0 4 3 】

光学多層膜フィルター 2 0 は、CCD 2 1 2 の前面に、固定治具 2 1 4 によって CCD 2 1 2 と一体的に構成され、IR と UV とをカットする機能の他、CCD 2 1 2 の防塵ガラス機能を併せて有している。

固定治具 2 1 4 は金属によって構成されており、光学多層膜フィルター 2 0 と電気的に接続されている。そして、固定治具 2 1 4 は、アースケーブル 2 1 5 によってアース (地

落) されている。

【0044】

光学多層膜フィルター20の概略構成が図5に示されている。

図5において、光学多層膜フィルター20は、基板1の光入射面にIR-UVカット膜4が設けられ、このIR-UVカット膜4の表面にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3が必要に応じて設けられた構造である。つまり、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3はIR-UVカット膜4の表面に設けられてもよく、設けられなくてもよい。

IR-UVカット膜4は、低屈折率の酸化ケイ素(SiO₂)層2Aと、高屈折率の金属酸化物の層2Bとが交互に積層された39層構造である。

基板1から最も離れた第1層が最表層2Sであり、この最表層2Sは低屈折率の酸化ケイ素層2Aから構成される。最表層2Sに接して第2層22の金属酸化物の層2Bが設けられ、この第2層22に近接して第3層の酸化ケイ素層が設けられる。この第3層に金属酸化物の層からなる第4層が設けられ、この第4層に酸化ケイ素層からなる第5層が設けられ、最終的には、第37層の酸化ケイ素層に第38層238の金属酸化物の層2Bが設けられ、この第38層238に第39層239の酸化ケイ素層2Aが設けられる。第39層239は基板1に接している。

【0045】

ここで、酸化ケイ素層2Aは、低密度層と、この低密度層より密度の高い高密度層とのいずれかから構成される。少なくとも最表層2Sの酸化ケイ素層2Aは低密度層である。金属酸化物の層2Bは、低密度層と、この低密度層より密度の高い高密度層とのいずれかから構成される。

本実施形態では、第6層26から第39層239までは低密度層であっても高密度層であってもよいが、最表層2S以外に、第3層23と第5層25との少なくとも1つが低密度層であることが必要であり、例えば、第5層25が高密度層であり、他の層が低密度層であってもよい。

これらの最表層2Sから第5層までのIR-UVカット膜4の合計の膜厚は500nm以下、好ましくは、400nm以下である。なお、第二実施形態では、IR-UVカット膜4に代えてIRカット膜を基板1に設けた構造でもよい。

酸化ケイ素層2Aの密度と最表層の表面粗さは金属酸化物の層2Bの材料によって相違する。

【0046】

金属酸化物が酸化ジルコニウムである場合には、低密度の酸化ケイ素層2Aは、2.00g/cm³以上2.20g/cm³以下の密度である。高密度の酸化ケイ素層2Aの密度は2.20g/cm³を超える密度であればよい。

本実施形態では、最表層2Sは低密度の酸化ケイ素層2Aであり、その表面粗さは0.65nm以上0.80nm以下である。

低密度の酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bは4.80g/cm³以上5.4g/cm³以下の密度である。高密度の酸化チタンである金属酸化物の層2Bの密度は5.4g/cm³を超える密度であればよい。

金属酸化物が酸化タンタルである場合には、低密度の酸化ケイ素層2Aは、2.00g/cm³以上2.15g/cm³以下の密度である。高密度の酸化ケイ素層2Aの密度は2.15g/cm³を超える密度であればよい。

本実施形態では、最表層2Sは低密度の酸化ケイ素層2Aであり、その表面粗さは0.55nm以上0.65nm以下である。

低密度の酸化タンタルである金属酸化物の層2Bは7.70g/cm³以上8.00g/cm³以下の密度である。高密度の酸化チタンである金属酸化物の層2Bの密度は8.00g/cm³を超える密度であればよい。

金属酸化物が酸化チタンである場合には、低密度の酸化ケイ素層2Aは、2.00g/cm³以上2.15g/cm³以下の密度である。高密度の酸化ケイ素層2Aの密度は2.15g/cm³を超える密度であればよい。

10

20

30

40

50

本実施形態では、最表層 2 S は低密度の酸化ケイ素層 2 A であり、その表面粗さは 0.6 nm 以上 0.7 nm 以下である。

低密度の酸化チタンである金属酸化物の層 2 B は 4.50 g / cm³ 以上 4.75 g / cm³ 以下の密度である。高密度の酸化チタンである金属酸化物の層 2 B の密度は 4.75 g / cm³ を超える密度であればよい。

【0047】

次に、光学多層膜フィルター 2 0 を製造する方法について説明する。

この光学多層膜フィルター 2 0 は図 3 で示される装置を用いて基板 1 の上に IR - UV カット膜 4 を形成する。

そのため、基板 1 に 3 9 層からなる IR - UV カット膜 4 を形成するには、基板 1 をドーム 5 1 にセットし、その後、ドーム 5 1 を回転させながら、電子銃 5 6 で電子ビームを照射して第一蒸着源 5 3 に収納される酸化ケイ素や第二蒸着源 5 4 に収納される酸化ジルコニウム、酸化タンタル、または酸化チタンを蒸着させる。この際、イオン源 5 5 からイオン化した酸素を加速照射することにより、基板 1 の上に酸化ケイ素層 2 A と酸化ジルコニウム、酸化タンタル、または酸化チタンである金属酸化物の層 2 B とを交互に成膜する。

【0048】

ここで、第二実施形態では、最表層 2 S から 4 番目の第 4 層を成膜するためのアシストパワーは、酸化ケイ素層 2 A と酸化ジルコニウム、酸化タンタル、または酸化チタンである金属酸化物の層 2 B とにかくわらず、300 V 以上 450 V 以下の加速電圧 (450 mA 以上 550 mA 以下の加速電流) の低アシストパワーである。そして、第 5 層から第 3 9 層 2 3 9 までの成膜は 450 V を超える加速電圧、例えば、1000 V (1200 mA の加速電流) の高アシストパワーで成膜する。なお、本実施形態では、最表層 2 S から 5 番目以後の層、例えば、最表層 2 S から第 3 9 層 2 3 9 までを低アシストパワーで成膜するものであってもよい。

第二実施形態においても、基板 1 に形成された IR - UV カット膜 4 に必要に応じてフッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 を設けるものでもよいが、その場合は、第一実施形態と同様の方法に従う。

【0049】

[第三実施形態]

次に、第三実施形態を図 6 に基づいて説明する。

第三実施形態は電子機器を光ピックアップ装置とし、その光ピックアップ装置に組み込まれる光学物品をビームスプリッターとした例である。

図 6 は記録再生装置の概略構成図である。

図 6 において、光ピックアップ 3 0 0 は、焦点位置の異なる 3 種の光ディスク (CD 3 0 1、DVD 3 0 2、BD 3 0 3) に対して互いに波長の異なる 3 種類のレーザービームを照射し、それぞれ所定の信号を検出するように構成されている。

具体的には、光ピックアップ 3 0 0 は、CD 3 0 1 に関する光学系として、レーザービームを発生するレーザーダイオード 3 1 0、コリメートレンズ 3 1 1、偏光ビームスプリッター 3 0、レンズ 3 1 3、ダイクロイックプリズム 3 1 4、1/4 波長板 3 1 5、開口フィルター 3 1 6、対物レンズ 3 1 7、及びレーザービームで CD 3 0 1 から読み取った信号を検出する信号検出系 3 1 8 を含んで構成される。

【0050】

光ピックアップ 3 0 0 は、DVD 3 0 2 に関する光学系として、レーザービームを発生する LD 3 2 1、レンズ 3 2 2、偏光ビームスプリッター 3 0、及びレーザービームで DVD 3 0 2 から読み取った信号を検出する信号検出系 3 2 3 を含んで構成される。

光ピックアップ 3 0 0 は、BD 3 0 3 に関する光学系として、レーザービームを発生する LD 3 3 1、レンズ 3 3 2、偏光ビームスプリッター 3 0、レンズ 3 3 3、ダイクロイックプリズム 3 3 4 及びレーザービームで BD 3 0 3 から読み取った信号を検出する信号検出系 3 3 5 を含んで構成される。

10

20

30

40

50

偏光ビームスプリッター30の概略構成は基板1の形状を除いては図2で示される防塵ガラス10と同じである。つまり、偏光ビームスプリッター30は、基板1に反射防止膜2が設けられ、この反射防止膜2の表面にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3が必要に応じて設けられた構造である。さらに、基板1に反射防止膜2を成膜し、この反射防止膜2にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3を成膜する方法は第一実施形態と同じである。

【実施例】

【0051】

本実施形態の実施例について説明する。まず、酸化ジルコニウム層と酸化ケイ素層とを有する光学物品の実施例について説明する。

【酸化ジルコニウム層と酸化ケイ素層とを有する光学物品】

本発明の第一実施形態の光学物品に対応する実施例1～4、比較例1～10及び参考例1、2について説明する。なお、蒸着実験に関しては、シンクロロン製蒸着機（商品名S1D-1350）を用いた。また、実験は、所定形状のサンプル、例えば、直径30mm、膜厚0.3mmの白板ガラス（屈折率n=1.52）の表面に、各実施例及び比較例に応じた条件で反射防止膜を作製した。

【0052】

【実施例1】

実施例1は、基板1の上に反射防止膜2が形成されており、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3は設けられていない。

実施例1の反射防止膜2の層構成が表1から表3に示されている。これらの表において、最表層2Sは、その密度が2.069g/cm³の低密度層であり、その屈折率nが1.449の酸化ケイ素層2Aである。最表層2Sの膜厚は84.5nmであり、その光学膜厚は1.449×84.5nm=122.1105nmである。この光学膜厚の設計波長（実施例1では510nm）に対する相対値4nd（以下、単に、設計波長に対する相対値と称する）は0.977である。つまり、光学薄膜設計では、設計波長の1/4を基本とするため、その値に対する光学薄膜ndの値は0.963となる。第2層22は、その密度が5.17g/cm³の低密度層であり、その屈折率nが1.977の酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bである。第2層22の膜厚は98.8nmであり、設計波長に対する相対値4ndは1.534である。第3層23は、その密度が2.069g/cm³の低密度層であり、その屈折率nが1.449の酸化ケイ素層2Aである。第3層23の膜厚は18.4nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.210である。第4層24は、その密度が5.17g/cm³の低密度層であり、その屈折率nが1.977の酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bである。第4層24の膜厚は20.2nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.313である。第5層25は、その密度が2.213g/cm³の高密度層であり、その屈折率nが1.481の酸化ケイ素層2Aである。第5層25の膜厚は172.5nmであり、設計波長に対する相対値4ndが1.985である。最表層2Sから第5層25までの合計の膜厚は394.33nmである。

【0053】

以上の構成の反射防止膜2を基板1に形成するため、実施例1では、最表層2Sから第4層24までの層を低アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着（IAD）で成膜する。成膜温度は150℃であり、酸化ケイ素層2Aであって低密度層を成膜する場合の真空圧は1.8×10⁻²Paであり、アシストパワーは加速電圧が300V、加速電流が450mAである。酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bを成膜する真空圧は1.8×10⁻²Paであり、アシストパワーは加速電圧が300V、加速電流が450mAである。これにより、最表層2Sの表面粗さは0.65nm～0.75nmとなる。第5層25は高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着（IAD）で成膜するものであり、この場合のアシストパワーは加速電圧が1000Vであり、加速電流が1200mAである。

【0054】

10

20

30

40

50

[実施例2]

実施例2は実施例1とは反射防止膜2の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3が設けられている点で相違する。

フッ素含有有機ケイ素化合物膜3は、例えば、信越化学工業株式会社製フッ素含有有機ケイ素化合物（製品名KY-130）をフッ素系溶剤（住友スリーエム株式会社製：ノベックHFE-7200）で希釈して固形分濃度3%の溶液を調製し、これを多孔質セラミック製ペレットに1g含浸させ乾燥したものを蒸発源として使用する。

【0055】

[実施例3]

実施例3は実施例1とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、実施例3では、加速電圧が400V、加速電流が500mAの低アシストパワーである。そのため、酸化ケイ素層2Aであって最表層2Sと第3層23の低密度層の密度が2.086g/cm³であり、酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bであって第2層22と第4層24の低密度層の密度が5.23g/cm³である。第5層25の密度は実施例1と同じである。

[実施例4]

実施例4は実施例3とは反射防止膜2の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3が設けられている点で相違する。

【0056】

[比較例1]

比較例1は実施例1とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例1では、最表層2Sから第4層24までの層を、加速電圧が600V、加速電流が700mAの中アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着（IAD）で成膜する。そのため、酸化ケイ素の薄膜であって最表層と第3層の低密度層の密度が2.172g/cm³であり、酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bであって第2層と第4層の低密度層の密度が5.36g/cm³である。比較例1では、最表層の表面粗さは0.77nm～0.85nmであって、実施例1～4に比べて高い。

[比較例2]

比較例2は比較例1とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

【0057】

[比較例3]

比較例3は実施例1とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例3では、最表層2Sから第4層24までの層を、加速電圧が800V、加速電流が900mAの中アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着（IAD）で成膜する。そのため、酸化ケイ素の薄膜であって最表層と第3層の低密度層の密度が2.201g/cm³であり、酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bであって第2層と第4層の低密度層の密度が5.41g/cm³である。比較例3では、最表層の表面粗さは0.77nm～0.85nmであって、実施例1～4に比べて高い。

[比較例4]

比較例4は比較例3とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

[比較例5]

比較例5は実施例1とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例5では、全ての層を、加速電圧が1000V、加速電流が1200mAの高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着（IAD）で成膜する。そのため、酸化ケイ素の薄膜であって最表層と第3層の低密度層の密度が2.213g/cm³であり、酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bであって第2層と第4層の低密度層の密度が5.45g/cm³である。比較例5では、最表層の表面粗さは0.80nm～0.90nmであって、実施例1～4に比べて高い。

10

20

30

40

50

[比較例 6]

比較例 6 は比較例 5 とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

[0 0 5 8]

[比較例 7]

比較例 7 は層構成が実施例 1 と同じであるが、最表層の成膜方法が電子蒸着 (E B) である。成膜温度は 200 である。酸化ケイ素の成膜時の真空圧は 8.0×10^{-3} Pa であり、酸化ジルコニウムの成膜時の真空圧は 5.0×10^{-3} Pa である。そのため、酸化ケイ素層の密度が 2.037 g/cm^3 であり、酸化ジルコニウムの金属酸化物の層の密度が 7.52 g/cm^3 である。比較例 7 では、最表層の表面粗さは $0.95 \text{ nm} \sim 1.200 \text{ nm}$ あって、実施例 1 ~ 4 に比べて高い。

[比較例 8]

比較例 8 は比較例 7 とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

[比較例 9]

比較例 9 は膜厚が 86.0 nm の酸化ケイ素層からなる最表層、膜厚が 102.7 nm の酸化チタンの薄膜からなる第 2 層、膜厚が 30.6 nm の酸化ケイ素の薄膜からなる第 3 層、膜厚が 12.1 nm の酸化チタンの薄膜からなる第 4 層、及び膜厚が 136.6 nm の酸化ケイ素の薄膜からなる第 5 層の反射防止膜である。比較例 9 の層構成を表 4 に示す。この層構成の比較例 9 では、特許文献 1 で示される従来例と同様の方法で成膜した。つまり、比較例 9 では、最表層の成膜がイオンアシストを用いない電子蒸着 (E B) であり、最表層以外の層の成膜方法は比較例 5 と同様とする。第 2 層から第 5 層までは加速電圧が 1000 V 、加速電流が 1200 mA の高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (IAD) で成膜した。成膜温度は 200 である。酸化ケイ素の成膜時の真空圧は 8.0×10^{-3} Pa であり、酸化チタンの成膜時の真空圧は 1.5×10^{-2} Pa である。そのため、酸化ケイ素の薄膜の密度は 2.037 g/cm^3 であり、酸化チタンの薄膜の密度が 4.87 g/cm^3 である。比較例 9 では、最表層の表面粗さは $0.80 \text{ nm} \sim 0.95 \text{ nm}$ あって、実施例 1 ~ 4 に比べて高い。

[比較例 10]

比較例 10 は比較例 9 とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

本発明に関連する参考例について説明する。

[参考例 1]

参考例 1 は、比較例 9 と同様に表 4 で示される層構成である点で実施例 1 と異なるが、成膜方法は実施例 1 と同様に、最表層から第 4 層までを低アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (IAD) で成膜し、第 5 層を高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (IAD) で成膜した。参考例 1 では、最表層の表面粗さは $0.6 \text{ nm} \sim 0.7 \text{ nm}$ あって、実施例 1 ~ 4 に比べて低い。

[参考例 2]

参考例 2 は参考例 1 とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

以上において、最表層の表面粗さは最表層を成膜する際のアシストパワーに対応することがわかる。つまり、実施例 1 ~ 4 では、最表層の成膜を、加速電圧を $300 \text{ V} \sim 400 \text{ V}$ (加速電流 $450 \text{ mA} \sim 500 \text{ mA}$) という低アシストパワーで実施することで、最表層の表面粗さが $0.55 \text{ nm} \sim 0.65 \text{ nm}$ となるが、比較例 1 ~ 4 では、最表層の成膜を、加速電圧 $600 \text{ V} \sim 800 \text{ V}$ (加速電流 $700 \text{ mA} \sim 900 \text{ mA}$) という中アシストパワーで実施することで、最表層の表面粗さが $0.6 \text{ nm} \sim 0.7 \text{ nm}$ や $0.62 \text{ nm} \sim 0.75 \text{ nm}$ となり、さらに、比較例 5, 6 では、最表層の成膜を、加速電圧 1000 V (加速電流 1200 mA) という高アシストパワーで実施することで、最表層の表面粗さが $0.65 \text{ nm} \sim 0.75 \text{ nm}$ となる。また、参考例 1, 2 は、実施例 1, 2 と同じアシ

10

20

30

40

50

ストップワードでの成膜であるが、実施例1，2とは異なり偶数層が酸化チタンの薄膜であるため、表面粗さが0.6 nm～0.7 nmとなる。なお、実施例1，2が参考例1，2に比べて表面粗さが良いのは、原子量など材料の物性に起因する。

【0059】

【表1】

Layer	材料	d(nm)	4nd
入射媒質	Air		
最表層	SiO ₂	84.5	0.963
第2層	ZrO ₂	98.8	1.534
第3層	SiO ₂	18.4	0.210
第4層	ZrO ₂	20.2	0.313
第5層	SiO ₂	172.5	1.985
出射媒質	Glass		

nは屈折率

総膜厚: 394.33 nm

設計波長: 510 nm

10

20

【0060】

【表2】

	1～4層の成膜方式	成膜温度	奇数層(SiO ₂)レート(Å/sec)	奇数層(SiO ₂)真空圧(O ₂)	奇数層(SiO ₂)アシストパワー	奇数層(SiO ₂)密度(g/cm ³)	奇数層(SiO ₂)屈折率(at550nm)
実施例1,2	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	300V 450mA	2.069	1.449
実施例3,4	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	400V 500mA	2.086	1.453
比較例1,2	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	600V 700mA	2.172	1.461
比較例3,4	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	800V 900mA	2.201	1.473
比較例5,6	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例7,8	EB	200°C	7	8.0E-3Pa	—	2.037	1.44
比較例9,10	EB	200°C	7	8.0E-3Pa	—	2.037	1.44
参考例1,2	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	300V 450mA	2.069	1.449

30

40

【0061】

【表3】

	1~4層の成膜方式	成膜温度	偶数層レート(Å/sec)	偶数層真空圧(O2)	偶数層アシストパワー	偶数層密度(g/cm ³)	偶数層屈折率(at550nm)	表面粗さ(nm)	表面抵抗(Ω/□)
実施例1,2	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	300V 450mA	5.17	1.977	0.6~0.7	9.12E+09
実施例3,4	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	400V 500mA	5.23	1.985	0.6~0.7	1.77E+10
比較例1,2	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	600V 700mA	5.36	2.009	0.62~0.72	8.58E+10
比較例3,4	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	800V 900mA	5.41	2.026	0.68~0.78	2.12E+12
比較例5,6	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	5.45	2.042	0.7~0.8	1.00E+15
比較例7,8	EB	200°C	3	5.0E-3Pa	—	4.98	1.942	0.85~1.0	6.32E+11
比較例9,10	IAD	200°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.8~0.95	8.16E+12
参考例1,2	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	300V 450mA	4.65	2.466	0.6~0.7	5.77E+10

10

【0062】

【表4】

Layer	材料	d(nm)	4nd
入射媒質	Air		
最表層	SiO ₂	86.0	0.979
第2層	TiO ₂	102.7	2.014
第3層	SiO ₂	30.6	0.349
第4層	TiO ₂	12.1	0.237
第5層	SiO ₂	136.6	1.573
出射媒質	Glass		

20

nは屈折率

総膜厚: 367.9 nm

設計波長: 510 nm

30

【0063】

[実験結果]

1) 表面抵抗(シート抵抗)の測定

表面抵抗の測定のため図7(A)で示される表面抵抗測定器504を用いる。この表面抵抗測定器504は、三菱ケミカル製、ハイレスターUP MCP-HT45である。この表面抵抗測定器504はプローブ501がフィルターのサンプル502の表面と当接している。サンプル502を載置するステージ506はテフロン(登録商標)製である。この測定条件は1000V, 30secである。測定時の環境は湿度55%±5%、気温25±3である。

各実施例、比較例及び参考例でのサンプルにおける表面抵抗を測定した。その結果を表3に示す。表3に示される通り、実施例1~4が比較例5~8に比べて表面抵抗が低いことがわかる。表面抵抗が低いことは静電気による塵や埃の表面への付着を軽減することを意味する。

40

50

【0064】

2) 表面抵抗と総膜厚との関係

図8には実施例1における膜厚と表面抵抗との関係が示されている。

図8において、X0は全部の層が高アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($1.0 \times 10^{15} / \text{nm}$)であり、X1は膜厚84.5nmの最表層のみ低アシストパワー(加速電圧300V、加速電流450mA)で電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($3.17 \times 10^{12} / \text{nm}$)であり、X2は最表層と第2層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($3.13 \times 10^{10} / \text{nm}$)であり、X3は最表層から第3層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($1.11 \times 10^{10} / \text{nm}$)であり、X4は最表層から第4層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($9.12 \times 10^9 / \text{nm}$)であり、X5は全ての層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($9.09 \times 10^9 / \text{nm}$)である。図8に示される通り、低アシストパワーで電子ビーム蒸着する対象を、最表層を含み互いに接合する層の数が2層以上の場合、表面抵抗の値が小さくなることがわかる。さらに、最表層から第4層までの場合と最表層から全ての層(5層)までの場合とでは表面抵抗の値があまり変化しないことがわかる。そのため、本実施例では、最表層から第4層まで(膜厚221.9nm)を低アシストパワーで電子ビーム蒸着すれば十分であることがわかる。

【0065】

3) 電荷抜け

電荷抜けはサンプルの最表層を擦って帯電させ、最表層に残存する電荷量(相対値)を時間の経過とともに表示したものである。この電荷抜けを図9に示す。図9では、グラフAで比較例5が示され、グラフBで比較例7が示され、グラフCで実施例1が示される。表面電荷の測定は、図7(B)で示される表面電位計500を用いる。この表面電位計500はトレックジャパン製、Model 1341である。この表面電位計500はプローブ501とフィルターのサンプル502の表面との距離が10mmである。サンプル502を載置するステージ503は金属製で、アースした状態で測定が行われる。測定時の環境は湿度55%±5%、気温25±3である。

図9で示される通り、実施例1のグラフCが比較例5のグラフAや比較例7のグラフBに比べて時間経過に伴う残存電荷量が小さい。この結果、実施例1は比較例5や比較例7に比べて塵や埃が表面に付着しにくいことがわかる。

【0066】

4) 防塵性能

防塵性能試験を、(4-1)ポリエチレンパウダー法、(4-2)関東ローム法、(4-3)コットンリンタ法で実施した。

(4-1) ポリエチレンパウダー方法

ポリエチレンパウダー法は、トレイに敷き詰めたポリエチレンパウダー(セイシン製:SK-PE-20L)の上にサンプルを1cm上から落とし、その後、ゆっくり引き上げ、サンプルに付着したパウダーの着塵量と残存量とを量るものである。着塵量はパウダーが付着したサンプルを簡単に払い、サンプルの表面を撮像し、画像解析により塵面積を計算する。残存量はパウダーがついたサンプルの表面をエアーブロー(サンプルからの距離が3cm、圧力が約50KPa、回数3回)で除塵した後、サンプルの表面を撮像し、画像解析により塵面積を計算する。

(4-2) 関東ローム法

関東ローム法は、路上、野外の塵を想定してJISで規格化されたパウダー(JIS試験粉体1,7種)を試験に使用するもので、トレイに敷き詰めたパウダーにサンプルを落とし、塵を落とした後、サンプルを逆さまにして指で2回はじき、サンプルに付着したパウダーの着塵量と残存量とを量るものである。着塵量と残存量との求め方はポリエチレンパウダー法と同じである。

(4-3) コットンリンタ法

10

20

30

40

50

コットンリンタ法は、トレイに敷き詰められたコットンリンタと称される纖維塵を試験に使用するもので、トレイに敷き詰めたパウダーにサンプルを落とし、塵を落とした後、サンプルを逆さまにして指で2回はじき、サンプルに付着したパウダーの着塵量と残存量とを量るものである。着塵量と残存量との求め方はポリエチレンパウダー法と同じである。

【0067】

これらの方法で実施した防塵性能の結果を表5に示す。

表5では、(4-1)ポリエチレンパウダー法、(4-2)関東ローム法及び(4-3)コットンリンタ法の結果が示される。

表5に示される通り、ポリエチレンパウダー法では、実施例1, 3が比較例1, 3, 5, 7, 9や参考例1に比べて着塵量及び残存量とも小さく、実施例2, 4が比較例2, 4, 6, 8, 10や参考例2に比べて着塵量及び残存量とも小さいことがわかる。なお、実施例1, 3が参考例1に比べて着塵量及び残存量とも小さく、実施例2, 4が参考例2に比べて着塵量及び残存量とも小さいのは、前述の通り、 Z_r が T_i に比べて電気陰性度が小さいことに起因するものと思われる。

電気陰性度とは、分子内で結合している原子が電子を引きつける能力を数値で表したものであり、その数値を求める方法がいくつもあるが、ポウリングの方法で求められた数値が一般的である。ポウリングの方法による電気陰性度は T_i が1.54に対して Z_r が1.33と小さい。電気陰性度はゴミが表面から脱離するのに最低限必要なエネルギーとも解釈できる。そのため、電気陰性度が小さい元素を含む酸化物を使用することにより、防塵性能を向上させることができる。

また、実施例及び比較例とも、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けた実施例2, 4、比較例2, 4, 6, 8, 10及び比較例2がフッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けない実施例1, 3、比較例1, 3, 5, 7, 9及び比較例1に比べて着塵量及び残存量とも大きいことがわかる。関東ローム法及びコットンリンタ法では、ポリエチレンパウダー法と同様に、実施例、比較例及び参考例とも、実施例1, 2が比較例1~10や参考例1, 2に比べて着塵量及び残存量とも小さいことがわかる。また、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けた実施例2, 4、比較例2, 4, 6, 8, 10及び参考例2がフッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けない実施例1, 3、比較例1, 3, 5, 7, 9及び比較例1に比べて着塵量及び残存量とも大きいことがわかる。以上の結果は、フッ素含有有機ケイ素化合物膜により表面エネルギーが低下したため、表面に塵や埃がつきにくくなることに起因する。

【0068】

10

20

30

【表5】

	最表層の成膜方式	加速電圧(V)	加速電流(mA)	フッ素含有有機珪素化合物	ポリエチレンパウダー		関東ローム		コットンリタ	
					着塵量	残存量	着塵量	残存量	着塵量	残存量
実施例1	IAD	300	450	無し	0.11%	0.01%	0.12%	0.01%	1.87%	0.23%
実施例2	IAD	300	450	有り	0.01%	0.00%	0.01%	0.00%	0.54%	0.01%
実施例3	IAD	400	500	無し	0.12%	0.00%	0.14%	0.01%	1.94%	0.27%
実施例4	IAD	400	500	有り	0.05%	0.01%	0.02%	0.00%	0.68%	0.02%
比較例1	IAD	600	700	無し	0.34%	0.05%	0.38%	0.11%	2.12%	0.36%
比較例2	IAD	600	700	有り	0.06%	0.01%	0.09%	0.02%	0.85%	0.03%
比較例3	IAD	800	900	無し	1.15%	0.22%	0.81%	0.15%	2.95%	0.65%
比較例4	IAD	800	900	有り	0.11%	0.02%	0.58%	0.09%	1.77%	0.11%
比較例5	IAD	1000	1200	無し	2.15%	0.31%	0.98%	0.22%	4.41%	0.78%
比較例6	IAD	1000	1200	有り	0.47%	0.11%	0.67%	0.15%	2.12%	0.19%
比較例7	EB	0	0	無し	0.33%	0.05%	0.52%	0.07%	2.43%	0.40%
比較例8	EB	0	0	有り	0.11%	0.02%	0.34%	0.03%	0.98%	0.05%
比較例9	EB	0	0	無し	7.74%	1.34%	1.06%	0.09%	3.82%	0.81%
比較例10	EB	0	0	有り	0.93%	0.12%	12.90%	5.92%	4.58%	0.35%
参考例1	IAD	300	450	無し	3.78%	0.59%	0.29%	0.02%	2.87%	0.63%
参考例2	IAD	300	450	有り	0.16%	0.01%	0.19%	0.01%	1.84%	0.14%

10

20

【0069】

次に、本発明の第二実施形態の光学物品に対応する実施例5～8、比較例11～20及び参考例3、4について説明する。なお、蒸着実験に関しては、実施例1～4、比較例1～10及び参考例1、2の実験と同様に、シンクロロン製蒸着機を用い、所定形状の白板ガラスの表面に、各実施例及び比較例に応じた条件で反射防止膜を作製した。

[実施例5]

実施例5は、基板1の上にIR-UVカット膜4が形成されており、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3は設けられていない。

実施例5のIR-UVカット膜4の層構成が表6から表10に示されている。表6は各層と材料及び膜厚との関係が示され、表7及び表8は最表層の成膜条件等が示され、表9及び表10は第5層から第39層までの成膜条件等が示されている。

表6から表8において、最表層2Sは、その密度が 2.069 g/cm^3 の低密度層であり、その屈折率nが1.449の酸化ケイ素層2Aである。最表層2Sの膜厚は72.9nmであり、設計波長に対する相対値4ndは0.435である。第2層22は、その密度が 5.17 g/cm^3 の低密度層であり、その屈折率nが1.977の酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bである。第2層22の膜厚は81.4nmであり、設計波長に対する相対値4ndは0.660である。第3層は、その密度が 2.069 g/cm^3 の低密度層であり、その屈折率nが1.449の酸化ケイ素層2Aである。第3層の膜厚は148.9nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.887である。第4層は、その密度が 5.17 g/cm^3 の低密度層であり、その屈折率nが1.977の酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bである。第4層の膜厚は85.9nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.697である。

表6、表9及び表10において、第5層は、その密度が 2.213 g/cm^3 の高密度層であり、その屈折率nが1.481の酸化ケイ素層2Aである。第5層の膜厚は143.6nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.866である。第6層は、その密度が 4.87 g/cm^3 の高密度層であり、その屈折率nが2.489の酸化チタンである金属酸化物の層2Bである。第6層の膜厚は85.2nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.791である。以後、第7層から第39層は表1、表9及び表10に記載された層構成とされ、最表層2Sから第39層までの合計の膜厚は4735.45nmである。

30

40

50

【0070】

以上の構成のIR-UVカット膜4を基板1に形成するため、実施例5では、最表層2Sから第4層までの層を低アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜する。成膜温度は150であり、酸化ケイ素層2Aであって低密度層を成膜する場合の真空圧は 1.8×10^{-2} Paであり、アシストパワーは加速電圧が300V、加速電流が450mAである。酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bを成膜する場合の真空圧は 1.8×10^{-2} Paであり、アシストパワーは加速電圧が300V、加速電流が450mAである。第5層から第39層は高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜するものであり、この場合のアシストパワーは酸化ケイ素層2Aを形成する場合と酸化チタンである金属酸化物の層2Bを形成する場合とも同じで、加速電圧が1000Vであり、加速電流が1200mAである。最表層2Sの表面粗さは0.65nm～0.75nmである。

10

[実施例6]

実施例6は実施例5とはIR-UVカット膜4の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3が設けられている点で相違する。

フッ素含有有機ケイ素化合物膜3は、実施例1と同様のものが用いられる。

【0071】

[実施例7]

実施例7は実施例5とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、実施例7では、加速電圧が400V、加速電流が500mAの低アシストパワーである。そのため、酸化ケイ素層2Aであって最表層2Sと第3層の低密度層の密度が 2.086 g/cm^3 であり、酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bであって第2層22と第4層の低密度層の密度が 5.23 g/cm^3 である。第5層25から第39層の密度は実施例1と同じである。

20

[実施例8]

実施例8は実施例7とはIR-UVカット膜4の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3が設けられている点で相違する。

【0072】

[比較例11]

比較例11は実施例5とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例9では、最表層2Sから第4層24までの層を、加速電圧が600V、加速電流が700mAの中アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜する。そのため、酸化ケイ素の薄膜であって最表層と第3層の低密度層の密度が 2.172 g/cm^3 であり、酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bであって第2層と第4層の低密度層の密度が 5.36 g/cm^3 である。

30

比較例9では、最表層の表面粗さは0.77nm～0.85nmであって、実施例5～8に比べて高い。

[比較例12]

比較例12は比較例10とはIR-UVカット膜4の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3が設けられている点で相違する。

40

【0073】

[比較例13]

比較例13は実施例5とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例13では、最表層2Sから第4層24までの層を、加速電圧が800V、加速電流が900mAの中アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜する。そのため、酸化ケイ素の薄膜であって最表層と第3層の低密度層の密度が 2.201 g/cm^3 であり、酸化ジルコニウムである金属酸化物の層2Bであって第2層と第4層の低密度層の密度が 5.41 g/cm^3 である。

比較例13では、最表層の表面粗さは0.77nm～0.85nmであって、実施例5～8に比べて高い。

50

[比較例 14]

比較例 14 は比較例 13 とは IR - UV カット膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

【0074】

[比較例 15]

比較例 15 は実施例 1 とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例 15 では、全ての層を、加速電圧が 1000V、加速電流が 1200mA の高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (IAD) で成膜する。そのため、酸化ケイ素の薄膜であって最表層と第 3 層の低密度層の密度が 2.213 g/cm³ であり、酸化ジルコニウムである金属酸化物の層 2B であって第 2 層と第 4 層の低密度層の密度が 5.45 g/cm³ である。

比較例 15 では、最表層の表面粗さは 0.80 nm ~ 0.90 nm であって、実施例 5 ~ 8 に比べて高い。

[比較例 16]

比較例 16 は比較例 15 とは IR - UV カット膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

【0075】

[比較例 17]

比較例 17 は層構成が実施例 5 と同じであるが、その成膜方法は実施例 5 とは異なり、最表層から第 4 層までをイオンアシストを用いない電子蒸着 (EB) である。第 5 層から第 39 層までは加速電圧が 1000V、加速電流が 1200mA の高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (IAD) で成膜した。最表層から第 4 層までの酸化ケイ素の成膜時の真空圧は 8.0 × 10⁻³ Pa であり、酸化ジルコニウムの成膜時の真空圧は 5.0 × 10⁻³ Pa である。そのため、最表層から第 4 層における酸化ケイ素である金属酸化物の層の密度が 2.037 g/cm³ であり、酸化ジルコニウムである金属酸化物の層の密度が 7.52 g/cm³ である。比較例 17 では、最表層の表面粗さは 0.95 nm ~ 1.20 nm であって、実施例 5 ~ 8 に比べて高い。

[比較例 18]

比較例 18 は比較例 17 とは IR - UV カット膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

[比較例 19]

比較例 19 は膜厚が 71.8 nm の酸化ケイ素層からなる最表層、膜厚が 84.2 nm の酸化チタンである金属酸化物の層からなる第 2 層、膜厚が 147.2 nm の酸化ケイ素層からなる第 3 層、膜厚が 83.6 nm の酸化チタンである金属酸化物の層からなる第 4 層、膜厚が 140.2 nm の酸化ケイ素層からなる第 5 層、及び膜厚が 83.1 nm の酸化チタンである金属酸化物の層からなる第 6 層を有し、且つ、全体で 39 層であり合計の膜厚が 4726.25 nm となった IR - UV カット膜である。比較例 19 の層構成を表 11 に示す。この層構成の比較例 19 では、特許文献 1 で示される従来例と同様の方法で成膜した。つまり、比較例 19 では、最表層の成膜がイオンアシストを用いない電子蒸着 (EB) であり、最表層以外の層の成膜方法は比較例 5 と同様とする。第 2 層から第 5 層までは加速電圧が 1000V、加速電流が 1200mA の高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (IAD) で成膜した。成膜温度は 150 °C である。最表層の酸化ケイ素の成膜時の真空圧は 8.0 × 10⁻³ Pa であり、最表層の酸化ケイ素の薄膜の密度が 2.037 g/cm³ である。比較例 19 では、最表層の表面粗さは 0.80 nm ~ 0.95 nm であって、実施例 1 ~ 4 に比べて高い。

[比較例 20]

比較例 20 は比較例 19 とは IR - UV カット膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

[参考例 3]

参考例 3 は、比較例 19 と同様に表 11 で示される層構成である点で実施例 1 と異なる

10

20

30

40

50

が、成膜方法は実施例 1 と同様に、最表層から第 4 層までを低アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (I A D) で成膜し、第 5 層以降を高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (I A D) で成膜した。参考例 3 では、最表層の表面粗さは 0.55 nm ~ 0.65 nm であって、実施例 1 ~ 4 に比べて高い。

[参考例 4]

参考例 4 は参考例 3 とは I R - U V カット膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

【 0 0 7 6 】

【 表 6 】

Layer	材料	d(nm)	4nd	成膜条件
入射媒質	Air			
最表層	SiO ₂	72.9	0.435	低アシストパワー
第2層	ZrO ₂	81.4	0.660	低アシストパワー
第3層	SiO ₂	148.9	0.887	低アシストパワー
第4層	ZrO ₂	85.9	0.697	低アシストパワー
第5層	SiO ₂	143.6	0.866	高アシストパワー
第6層	TiO ₂	85.2	0.791	高アシストパワー
第7層	SiO ₂	139.2	0.839	高アシストパワー
第8層	TiO ₂	81.4	0.756	高アシストパワー
第9層	SiO ₂	139.8	0.843	高アシストパワー
第10層	TiO ₂	81.1	0.753	高アシストパワー
第11層	SiO ₂	139.4	0.841	高アシストパワー
第12層	TiO ₂	81.0	0.752	高アシストパワー
第13層	SiO ₂	139.4	0.841	高アシストパワー
第14層	TiO ₂	82.0	0.761	高アシストパワー
第15層	SiO ₂	140.8	0.849	高アシストパワー
第16層	TiO ₂	83.3	0.773	高アシストパワー
第17層	SiO ₂	143.2	0.863	高アシストパワー
第18層	TiO ₂	86.7	0.805	高アシストパワー
第19層	SiO ₂	150.6	0.908	高アシストパワー
第20層	TiO ₂	100.4	0.932	高アシストパワー
第21層	SiO ₂	179.7	1.083	高アシストパワー
第22層	TiO ₂	110.0	1.021	高アシストパワー
第23層	SiO ₂	169.7	1.023	高アシストパワー
第24層	TiO ₂	101.5	0.942	高アシストパワー
第25層	SiO ₂	175.7	1.059	高アシストパワー
第26層	TiO ₂	115.0	1.067	高アシストパワー
第27層	SiO ₂	189.1	1.140	高アシストパワー
第28層	TiO ₂	116.5	1.081	高アシストパワー
第29層	SiO ₂	191.2	1.153	高アシストパワー
第30層	TiO ₂	119.4	1.108	高アシストパワー
第31層	SiO ₂	189.9	1.145	高アシストパワー
第32層	TiO ₂	117.5	1.091	高アシストパワー
第33層	SiO ₂	193.2	1.165	高アシストパワー
第34層	TiO ₂	116.7	1.083	高アシストパワー
第35層	SiO ₂	184.2	1.110	高アシストパワー
第36層	TiO ₂	119.1	1.105	高アシストパワー
第37層	SiO ₂	46.2	0.278	高アシストパワー
第38層	TiO ₂	11.8	0.109	高アシストパワー
第39層	SiO ₂	82.9	0.500	高アシストパワー
出射媒質	Glass			

nは屈折率

総膜厚: 4735.45 nm

設計波長: 967 nm

10

20

30

40

50

【0077】

【表7】

	1~4層の成膜方式	成膜温度	奇数層(SiO ₂)レート(Å/sec)	奇数層(SiO ₂)真空圧(O ₂)	奇数層(SiO ₂)アシストパワー	奇数層(SiO ₂)密度(g/cm ³)	奇数層(SiO ₂)屈折率(at550nm)
実施例5,6	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	300V 450mA	2.069	1.449
実施例7,8	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	400V 500mA	2.086	1.453
比較例11,12	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	600V 700mA	2.172	1.461
比較例13,14	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	800V 900mA	2.201	1.473
比較例15,16	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例17,18	EB	150°C	7	8.0E-3Pa	—	2.037	1.44
比較例19,20	EB	150°C	7	8.0E-3Pa	—	2.037	1.44
参考例3,4	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	300V 450mA	2.069	1.449

10

20

【0078】

【表8】

	1~4層の成膜方式	成膜温度	偶数層レート(Å/sec)	偶数層真空圧(O ₂)	偶数層アシストパワー	偶数層密度(g/cm ³)	偶数層屈折率(at550nm)
実施例5,6	IAD	150°C	4	1.8E-2Pa	300V 450mA	5.17	1.977
実施例7,8	IAD	150°C	4	1.8E-2Pa	400V 500mA	5.23	1.985
比較例11,12	IAD	150°C	4	1.8E-2Pa	600V 700mA	5.36	2.009
比較例13,14	IAD	150°C	4	1.8E-2Pa	800V 900mA	5.41	2.026
比較例15,16	IAD	150°C	4	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	5.45	2.042
比較例17,18	EB	150°C	7	5.0E-3Pa	—	4.98	1.942
比較例19,20	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489
参考例3,4	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	300V 450mA	4.65	2.466

30

40

【0079】

【表9】

	第5層～ の成膜 方式	成膜 温度	奇数層 (SiO ₂) レート (Å/sec)	奇数層 (SiO ₂) 真空圧 (O ₂)	奇数層 (SiO ₂) アシストパワー	奇数層 (SiO ₂) 密度 (g/cm ³)	奇数層 (SiO ₂) 屈折率 (at550nm)
実施例5,6	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
実施例7,8	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例 11,12	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例 13,14	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例 15,16	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例 17,18	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例 19,20	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
参考例3,4	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481

10

【0080】

【表10】

20

	第5層～ の成膜 方式	成膜 温度	偶数層 レート (Å/sec)	偶数層 真空圧 (O ₂)	偶数層 アシストパワー	偶数層 密度 (g/cm ³)	偶数層 屈折率 (at550nm)	表面粗さ (nm)	表面抵抗 (Ω/□)
実施例5,6	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.65～0.75	3.54E+09
実施例7,8	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.65～0.75	1.13E+10
比較例 11,12	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.77～0.85	1.89E+11
比較例 13,14	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.77～0.85	2.68E+12
比較例 15,16	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.8～0.9	5.21E+13
比較例 17,18	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.95～1.2	7.91E+11
比較例 19,20	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.80～0.95	7.26E+12
参考例3,4	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.55～0.65	6.87E+10

30

【0081】

【表11】

Layer	材料	d(nm)	4nd	成膜条件
入射媒質	Air			
最表層	SiO ₂	71.8	0.433	低アシストパワー
第2層	TiO ₂	84.2	0.782	低アシストパワー
第3層	SiO ₂	147.2	0.887	低アシストパワー
第4層	TiO ₂	83.6	0.776	低アシストパワー
第5層	SiO ₂	140.2	0.845	高アシストパワー
第6層	TiO ₂	83.1	0.772	高アシストパワー
第7層	SiO ₂	139.2	0.839	高アシストパワー
第8層	TiO ₂	81.4	0.756	高アシストパワー
第9層	SiO ₂	139.8	0.843	高アシストパワー
第10層	TiO ₂	81.1	0.753	高アシストパワー
第11層	SiO ₂	139.4	0.841	高アシストパワー
第12層	TiO ₂	81.0	0.752	高アシストパワー
第13層	SiO ₂	139.4	0.841	高アシストパワー
第14層	TiO ₂	82.0	0.761	高アシストパワー
第15層	SiO ₂	140.8	0.849	高アシストパワー
第16層	TiO ₂	83.3	0.773	高アシストパワー
第17層	SiO ₂	143.2	0.863	高アシストパワー
第18層	TiO ₂	86.7	0.805	高アシストパワー
第19層	SiO ₂	150.6	0.908	高アシストパワー
第20層	TiO ₂	100.4	0.932	高アシストパワー
第21層	SiO ₂	179.7	1.083	高アシストパワー
第22層	TiO ₂	110.0	1.021	高アシストパワー
第23層	SiO ₂	169.7	1.023	高アシストパワー
第24層	TiO ₂	101.5	0.942	高アシストパワー
第25層	SiO ₂	175.7	1.059	高アシストパワー
第26層	TiO ₂	115.0	1.067	高アシストパワー
第27層	SiO ₂	189.1	1.140	高アシストパワー
第28層	TiO ₂	116.5	1.081	高アシストパワー
第29層	SiO ₂	191.2	1.153	高アシストパワー
第30層	TiO ₂	119.4	1.108	高アシストパワー
第31層	SiO ₂	189.9	1.145	高アシストパワー
第32層	TiO ₂	117.5	1.091	高アシストパワー
第33層	SiO ₂	193.2	1.165	高アシストパワー
第34層	TiO ₂	116.7	1.083	高アシストパワー
第35層	SiO ₂	184.2	1.110	高アシストパワー
第36層	TiO ₂	119.1	1.105	高アシストパワー
第37層	SiO ₂	44.8	0.270	高アシストパワー
第38層	TiO ₂	11.8	0.110	高アシストパワー
第39層	SiO ₂	82.9	0.500	高アシストパワー
出射媒質	Glass			

nは屈折率

総膜厚: 4726.25 nm

設計波長: 967 nm

10

20

30

40

【0082】

[実験結果]

1) 表面抵抗(シート抵抗)の測定

表面抵抗の測定のため、実施例1～4、比較例1～8及び比較例1, 2と同様の装置を用いて表面抵抗測定をした。その結果を表10に示す。

表10に示される通り、実施例5～8が比較例11～20や参考例3, 4に比べて表面

50

抵抗が低いことがわかる。表面抵抗が低いことは塵や埃が表面に付着しにくいことを意味する。

2) 表面抵抗と総膜厚との関係

図10には実施例5における膜厚と表面抵抗との関係が示されている。

図10において、Y0は全部の層が高アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($1.0 \times 10^{15} /$)であり、Y1は膜厚72.94nmの最表層のみ低アシストパワー(加速電圧300V、加速電流450mA)で電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($3.12 \times 10^{12} /$)であり、Y2は最表層と第2層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($1.46 \times 10^{11} /$)であり、Y3は最表層から第3層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($5.61 \times 10^9 /$)であり、Y4は最表層から第4層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($3.54 \times 10^9 /$)であり、Y5は最表層から第5層までの層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($3.51 \times 10^9 /$)であり、Y6は最表層から第6層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($3.49 \times 10^9 /$)であり、Y39は最表層から第39層までの全層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($3.48 \times 10^9 /$)である。

図10に示される通り、最表層を含み互いに接合する層の数が多いと表面抵抗の値が小さくなることがわかるが、最表層から第4層までの場合と最表層から全ての層(39層)までの場合とでは表面抵抗の値があまり変化しないことがわかる。そのため、本実施例では、最表層から第4層まで(膜厚389.1nm)を低アシストパワーで電子ビーム蒸着すれば十分であることがわかる。

【0083】

表12では、ポリエチレンパウダー法、関東ローム法及びコットンリンタ法による防塵性能の結果が示される。

表12に示される通り、ポリエチレンパウダー法では、実施例5, 7が比較例11, 13, 15, 17, 19や参考例1に比べて着塵量及び残存量とも小さく、実施例6, 8が比較例12, 14, 16, 18, 20や参考例4に比べて着塵量及び残存量とも小さいことがわかる。なお、実施例5, 7が参考例3に比べて着塵量及び残存量とも小さく、実施例6, 8が参考例4に比べて着塵量及び残存量とも小さいのは、前述の通り、 Z_r が T_i に比べて電気陰性度が小さいことに起因するものと思われる。

電気陰性度はゴミが表面から脱離するのに最低限必要なエネルギーとも解釈でき、値が小さいほどゴミが取れやすくなる。そのため、電気陰性度が小さい元素を含む酸化物を使用することにより、防塵性能を向上させることができる。

また、実施例、比較例及び参考例とも、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けた実施例6, 8、比較例12, 14, 16, 18, 20及び参考例4がフッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けない実施例5, 7、比較例11, 13, 15, 17, 19及び参考例3に比べて着塵量及び残存量とも大きいことがわかる。関東ローム法及びコットンリンタ法では、ポリエチレンパウダー法と同様に、実施例、比較例及び参考例とも、実施例5～8が比較例11～20や比較例3, 4に比べて着塵量及び残存量とも小さいことがわかる。以上の結果は、表面粗さが改善されることで、表面に塵や埃がつきにくくなることに起因する。

【0084】

【表12】

	最表層の成膜方式	加速電圧(V)	加速電流(mA)	フッ素含有有機珪素化合物	ポリエチレンパウダー		関東ローム		コットンリンタ	
					着塵量	残存量	着塵量	残存量	着塵量	残存量
実施例5	IAD	300	450	無し	0.09%	0.01%	0.10%	0.01%	1.77%	0.22%
実施例6	IAD	300	450	有り	0.01%	0.00%	0.01%	0.00%	0.52%	0.01%
実施例7	IAD	400	500	無し	0.10%	0.01%	0.13%	0.01%	1.92%	0.28%
実施例8	IAD	400	500	有り	0.04%	0.00%	0.02%	0.01%	0.67%	0.02%
比較例11	IAD	600	700	無し	0.31%	0.04%	0.36%	0.10%	2.03%	0.33%
比較例12	IAD	600	700	有り	0.05%	0.01%	0.07%	0.02%	0.84%	0.04%
比較例13	IAD	800	900	無し	1.08%	0.20%	0.82%	0.16%	3.23%	0.70%
比較例14	IAD	800	900	有り	0.12%	0.03%	0.77%	0.12%	2.34%	0.10%
比較例15	IAD	1000	1200	無し	3.98%	0.61%	1.24%	0.27%	5.67%	1.23%
比較例16	IAD	1000	1200	有り	0.58%	0.14%	0.69%	0.16%	3.08%	0.25%
比較例17	EB	0	0	無し	0.28%	0.04%	0.47%	0.06%	1.98%	0.33%
比較例18	EB	0	0	有り	0.09%	0.02%	0.32%	0.03%	0.89%	0.06%
比較例19	EB	0	0	無し	8.94%	1.87%	1.03%	0.27%	5.89%	1.76%
比較例20	EB	0	0	有り	0.77%	0.10%	15.66%	7.14%	4.78%	0.54%
参考例3	IAD	300	450	無し	21.18%	3.98%	3.47%	1.23%	15.67%	2.98%
参考例4	IAD	300	450	有り	4.92%	1.73%	31.56%	15.46%	14.73%	2.63%

10

20

【0085】

次に、酸化タンタル層と酸化ケイ素層とを有する光学物品の実施例について説明する。

[酸化タンタル層と酸化ケイ素層とを有する光学物品]

本発明の第一実施形態の光学物品に対応する実施例9～12、比較例21～26及び参考例5、6について説明する。

[実施例9]

実施例9は、基板1の上に反射防止膜2が形成されており、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3は設けられていない。

実施例9の反射防止膜2の層構成が表13から表15に示されている。これらの表において、最表層2Sは、その密度が 2.069 g/cm^3 の低密度層であり、その屈折率nが1.449の酸化ケイ素の層2Aである。最表層2Sの膜厚は85.7nmであり、その光学膜厚は $1.449 \times 85.7\text{ nm} = 124.1793\text{ nm}$ である。この光学膜厚の設計波長(実施例1では510nm)に対する相対値4nd(以下、単に、設計波長に対する相対値と称する)は0.977である。つまり、光学薄膜設計では、設計波長の1/4を基本とするため、その値に対する光学薄膜ndの値は0.977となる。第2層22は、その密度が 7.91 g/cm^3 の低密度層であり、その屈折率nが2.144の酸化タンタルである金属酸化物の層2Bである。第2層22の膜厚は115.6nmであり、設計波長に対する相対値4ndは1.958である。第3層23は、その密度が 2.069 g/cm^3 の低密度層であり、その屈折率nが1.449の酸化ケイ素層2Aである。第3層23の膜厚は30.5nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.348である。第4層24は、その密度が 7.91 g/cm^3 の低密度層であり、その屈折率nが2.144の酸化タンタルである金属酸化物の層2Bである。第4層24の膜厚は12.1nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.206である。第5層25は、その密度が 2.213 g/cm^3 の高密度層であり、その屈折率nが1.481の酸化ケイ素層2Aである。第5層25の膜厚は151.3nmであり、設計波長に対する相対値4ndが1.742である。最表層2Sから第5層25までの合計の膜厚は395.3nmである。

30

40

【0086】

以上の構成の反射防止膜2を基板1に形成するため、実施例9では、最表層2Sから第

50

4層24までの層を低アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜する。成膜温度は150であり、酸化ケイ素層2Aであって低密度層を成膜する場合の真空圧は 1.8×10^{-2} Paであり、アシストパワーは加速電圧が300V、加速電流が450mAである。酸化タンタルである金属酸化物の層2Bを成膜する真空圧は 1.8×10^{-2} Paであり、アシストパワーは加速電圧が300V、加速電流が450mAである。これにより、最表層2Sの表面粗さは0.55nm~0.65nmとなる。第5層25は高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜するものであり、この場合のアシストパワーは加速電圧が1000Vであり、加速電流が1200mAである。

【0087】

10

[実施例10]

実施例10は実施例9とは反射防止膜2の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3が設けられている点で相違する。

フッ素含有有機ケイ素化合物膜3は、例えば、信越化学工業株式会社製フッ素含有有機ケイ素化合物(製品名KY-130)をフッ素系溶剤(住友スリーエム株式会社製:ノベックHFE-7200)で希釈して固形分濃度3%の溶液を調製し、これを多孔質セラミック製ペレットに1g含浸させ乾燥したものを蒸発源として使用する。

【0088】

20

[実施例11]

実施例11は実施例9とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、実施例11では、加速電圧が400V、加速電流が500mAの低アシストパワーである。そのため、酸化ケイ素層2Aであって最表層2Sと第3層23の低密度層の密度が2.086g/cm³であり、酸化タンタルである金属酸化物の層2Bであって第2層22と第4層24の低密度層の密度が7.98g/cm³である。第5層25の密度は実施例9と同じである。

[実施例12]

実施例12は実施例11とは反射防止膜2の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3が設けられている点で相違する。

【0089】

30

[比較例21]

比較例21は実施例9とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例21では、最表層2Sから第4層24までの層を、加速電圧が600V、加速電流が700mAの中アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜する。そのため、酸化ケイ素層であって最表層と第3層の低密度層の密度が2.172g/cm³であり、酸化タンタルである金属酸化物の層2Bであって第2層と第4層の低密度層の密度が8.09g/cm³である。比較例21では、最表層の表面粗さは0.57nm~0.67nmであって、実施例9~12に比べて高い。

[比較例22]

比較例22は比較例21とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

【0090】

40

[比較例23]

比較例23は実施例9とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例23では、最表層2Sから第4層24までの層を、加速電圧が800V、加速電流が900mAの中アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜する。そのため、酸化ケイ素層であって最表層と第3層の低密度層の密度が2.201g/cm³であり、酸化タンタルである金属酸化物の層2Bであって第2層と第4層の低密度層の密度が8.15g/cm³である。比較例23では、最表層の表面粗さは0.6nm~0.7nmであって、実施例9~12に比べて高い。

[比較例24]

50

比較例 2 4 は比較例 2 3 とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

[比較例 2 5]

比較例 2 5 は実施例 9 とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例 2 5 では、全ての層を、加速電圧が 1 0 0 0 V、加速電流が 1 2 0 0 m A の高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (I A D) で成膜する。そのため、酸化ケイ素層であって最表層と第 3 層の低密度層の密度が 2 . 2 1 3 g / cm³ であり、酸化タンタルである金属酸化物の層 2 B であって第 2 層と第 4 層の低密度層の密度が 8 . 1 9 g / cm³ である。比較例 2 5 では、最表層の表面粗さは 0 . 6 2 n m ~ 0 . 7 2 n m であって、実施例 9 ~ 1 3 に比べて高い。

10

[比較例 2 6]

比較例 2 6 は比較例 2 5 とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

【 0 0 9 1 】

[参考例 5]

参考例 5 は、膜厚が 8 6 . 0 n m の酸化ケイ素の薄膜からなる最表層、膜厚が 1 0 2 . 7 n m の酸化チタンの薄膜からなる第 2 層、膜厚が 3 0 . 6 n m の酸化ケイ素の薄膜からなる第 3 層、膜厚が 1 2 . 1 n m の酸化チタンの薄膜からなる第 4 層、及び膜厚が 1 3 6 . 6 n m の酸化ケイ素層からなる第 5 層の反射防止膜であり、実施例 9 とは偶数層の真空圧と屈折率とが相違する。参考例 5 の層構成を表 1 6 に示す。参考例 5 では、最表層の表面粗さは 0 . 6 n m ~ 0 . 7 n m であって、実施例 9 ~ 1 2 に比べて高い。参考例 5 は実施例 9 と同様のアシストパワーで成膜した。

20

[参考例 6]

参考例 6 は参考例 5 とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

以上において、最表層の表面粗さは最表層を成膜する際のアシストパワーに対応することがわかる。つまり、実施例 9 ~ 1 2 では、最表層の成膜を、加速電圧を 3 0 0 V ~ 4 0 0 V (加速電流 4 5 0 m A ~ 5 0 0 m A) という低アシストパワーで実施することで、最表層の表面粗さが 0 . 5 5 n m ~ 0 . 6 5 n m となるが、比較例 2 1 ~ 2 4 では、最表層の成膜を、加速電圧 6 0 0 V ~ 8 0 0 V (加速電流 7 0 0 m A ~ 9 0 0 m A) という中アシストパワーで実施することで、最表層の表面粗さが 0 . 6 n m ~ 0 . 7 n m や 0 . 6 2 n m ~ 0 . 7 5 n m となり、さらに、比較例 2 5 , 2 6 では、最表層の成膜を、加速電圧 1 0 0 0 V (加速電流 1 2 0 0 m A) という高アシストパワーで実施することで、最表層の表面粗さが 0 . 6 2 n m ~ 0 . 7 2 n m となる。また、参考例 5 , 6 では、実施例 9 , 1 0 と同じアシストパワー下での成膜であるが、実施例 9 , 1 0 とは異なり偶数層が酸化チタンの薄膜であるため、表面粗さが 0 . 6 n m ~ 0 . 7 n m となる。

30

【 0 0 9 2 】

【表13】

Layer	材料	d(nm)	4nd
入射媒質	Air		
最表層	SiO ₂	85.7	0.977
第2層	Ta ₂ O ₅	115.6	1.958
第3層	SiO ₂	30.5	0.348
第4層	Ta ₂ O ₅	12.1	0.206
第5層	SiO ₂	151.3	1.742
出射媒質	Glass		

nは屈折率

総膜厚: 395.3 nm
設計波長: 510 nm

10

【0093】

【表14】

	1~4層の成膜方式	成膜温度	奇数層(SiO ₂)レート(Å/sec)	奇数層(SiO ₂)真空圧(O ₂)	奇数層(SiO ₂)アシストパワー	奇数層(SiO ₂)密度(g/cm ³)	奇数層(SiO ₂)屈折率(at550nm)
実施例9,10	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	300V 450mA	2.069	1.449
実施例11,12	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	400V 500mA	2.086	1.453
比較例21,22	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	600V 700mA	2.172	1.461
比較例23,24	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	800V 900mA	2.201	1.473
比較例25,26	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
参考例5,6	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	300V 450mA	2.069	1.449

20

30

【0094】

【表15】

	1~4層の成膜方式	成膜温度	偶数層レート(Å/sec)	偶数層真空圧(O ₂)	偶数層アシストパワー	偶数層密度(g/cm ³)	偶数層屈折率(at550nm)	表面粗さ(nm)	表面抵抗(Ω/□)
実施例9,10	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	300V 450mA	7.91	2.144	0.55~0.65	8.50E+10
実施例11,12	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	400V 500mA	7.98	2.167	0.55~0.65	3.10E+11
比較例21,22	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	600V 700mA	8.09	2.201	0.57~0.67	9.85E+12
比較例23,24	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	800V 900mA	8.15	2.217	0.6~0.7	1.00E+15
比較例25,26	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	8.19	2.221	0.62~0.72	1.00E+15
参考例5,6	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	300V 450mA	4.65	2.466	0.6~0.7	5.77E+10

40

【0095】

【表16】

Layer	材料	d(nm)	4nd
入射媒質	Air		
最表層	SiO ₂	86.0	0.979
第2層	TiO ₂	102.7	2.014
第3層	SiO ₂	30.6	0.349
第4層	TiO ₂	12.1	0.237
第5層	SiO ₂	136.6	1.573
出射媒質	Glass		

nは屈折率

総膜厚: 367.9 nm

設計波長: 510 nm

10

【0096】

[実験結果]

1) 表面抵抗(シート抵抗)の測定

表面抵抗の測定のため図7(A)で示される表面抵抗測定器504を用いる。この表面抵抗測定器504とステージ506は、前述の構成であり、測定条件及び測定時の環境も前述の実験と同様である。

各実施例、比較例及び参考例でのサンプルにおける表面抵抗を測定した。その結果を表15に示す。表15に示される通り、実施例9~12が比較例25~28に比べて表面抵抗が低いことがわかる。表面抵抗が低いことは塵や埃が表面に付着しにくいことを意味する。

【0097】

2) 表面抵抗と総膜厚との関係

図11には実施例9における膜厚と表面抵抗との関係が示されている。

図11において、X0は全部の層が高アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($1.5 \times 10^{15} /$)であり、X1は膜厚 85.74 nm の最表層のみ低アシストパワー(加速電圧 300 V 、加速電流 450 mA)で電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($3.17 \times 10^{12} /$)であり、X2は最表層と第2層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($1.47 \times 10^{11} /$)であり、X3は最表層から第3層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($1.01 \times 10^{11} /$)であり、X4は最表層から第4層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($8.88 \times 10^{10} /$)であり、X5は全ての層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($8.50 \times 10^{10} /$)である。

図11に示される通り、低アシストパワーで電子ビーム蒸着する対象を、最表層を含み互いに接合する層の数が多いと表面抵抗の値が小さくなることがわかるが、最表層から第4層までの場合と最表層から全ての層(5層)までの場合とでは表面抵抗の値があまり変化しないことがわかる。そのため、本実施例では、最表層から第4層まで(膜厚 244.0 nm)を低アシストパワーで電子ビーム蒸着すれば十分であることがわかる。

【0098】

3) 電荷抜け

電荷抜けはサンプルの最表層を擦って帯電させ、最表層に残存する電荷量(相対値)を時間の経過とともに表示したものである。この電荷抜けを図12に示す。図12では、グラフAで比較例25が示され、グラフBで実施例9が示される。表面電荷の測定は、図7(B)で示される表面電位計500を用いる。この表面電位計500は前述の実験で用いられたものと同じであり、プローブ501とフィルターのサンプル502の表面との距離が 10 mm である。サンプル502を載置するステージ503は金属製で、アースした状態で測定が行われる。測定時の環境は前述の実験と同じである。

20

30

40

50

図12で示される通り、実施例9のグラフBが比較例25のグラフAに比べて時間経過に伴う残存電荷量が小さい。この結果、実施例9は比較例25に比べて静電気による塵や埃の表面への付着を軽減することがわかる。

【0099】

4) 防塵性能

防塵性能試験を、(4-1)ポリエチレンパウダー法、(4-2)関東ローム法、(4-3)コットンリンタ法で実施した。これらの方法の具体的な仕様は前述の通りである。

表17では、(4-1)ポリエチレンパウダー法、(4-2)関東ローム法及び(4-3)コットンリンタ法の結果が示される。

表17に示される通り、ポリエチレンパウダー法では、実施例9, 10が比較例21～24や参考例5, 6に比べて着塵量及び残存量とも小さいことがわかる。なお、実施例9, 11が参考例5に比べて着塵量及び残存量とも小さく、実施例10, 12が参考例6に比べて着塵量及び残存量とも小さいのは、前述の通り、TaがTiに比べて電気陰性度が小さいことに起因するものと思われるまた、実施例及び比較例とも、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けた実施例10, 12、比較例22, 24, 26及び参考例6がフッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けない実施例9, 11、比較例21, 23, 25及び参考例5に比べて着塵量及び残存量とも大きいことがわかる。関東ローム法及びコットンリンタ法では、ポリエチレンパウダー法と同様に、実施例、比較例及び参考例とも、実施例9, 10が比較例21～24や参考例5, 6に比べて着塵量及び残存量とも小さいことがわかる。

電気陰性度とは、分子内で結合している原子が電子を引きつける能力を数値で表したものであり、その数値を求める方法がいくつかあるが、ポウリングの方法で求められた数値が一般的である。ポウリングの方法による電気陰性度はTiが1.54に対してTaが1.50と小さい。電気陰性度はゴミが表面から脱離するのに最低限必要なエネルギーとも解釈できる。そのため、電気陰性度が小さい元素を含む酸化物を使用することにより、防塵性能を向上させることができる。

また、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けた実施例10, 12、比較例22, 24, 26及び参考例6がフッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けない実施例9, 11、比較例21, 23, 25及び参考例5に比べて着塵量及び残存量とも大きいことがわかる。以上の結果は、フッ素含有有機ケイ素化合物膜により表面エネルギーが低下したため、表面に塵や埃がつきにくくなることに起因する。

【0100】

【表17】

	最表層の成膜方式	加速電圧(V)	加速電流(mA)	フッ素含有有機ケイ素化合物	ポリエチレンパウダー		関東ローム		コットンリンタ	
					着塵量	残存量	着塵量	残存量	着塵量	残存量
実施例9	IAD	300	450	無し	2.72%	0.49%	0.17%	0.01%	3.13%	0.65%
実施例10	IAD	300	450	有り	0.07%	0.01%	0.23%	0.01%	2.25%	0.19%
実施例11	IAD	400	500	無し	3.13%	0.55%	0.21%	0.01%	3.26%	0.65%
実施例12	IAD	400	500	有り	0.10%	0.01%	0.27%	0.01%	2.47%	0.22%
比較例21	IAD	600	700	無し	8.98%	1.24%	0.92%	0.09%	4.19%	0.78%
比較例22	IAD	600	700	有り	0.91%	0.16%	1.12%	0.11%	3.97%	0.38%
比較例23	IAD	800	900	無し	11.02%	2.78%	2.10%	0.52%	8.63%	1.52%
比較例24	IAD	800	900	有り	3.52%	0.99%	1.95%	0.48%	9.71%	0.55%
比較例25	IAD	1000	1200	無し	19.20%	3.84%	3.15%	0.81%	12.54%	1.95%
比較例26	IAD	1000	1200	有り	3.81%	1.02%	5.23%	1.25%	11.78%	0.63%
参考例5	IAD	300	450	無し	3.78%	0.59%	0.29%	0.02%	2.87%	0.63%
参考例6	IAD	300	450	有り	0.16%	0.01%	0.19%	0.01%	1.84%	0.14%

【0101】

10

20

30

40

50

次に、本発明の第二実施形態の光学物品に対応する実施例13～16、比較例27～32及び参考例7，8について説明する。なお、蒸着実験に関しては、実施例9～12、比較例21～26及び参考例5，6の実験と同様に、シンクロン製蒸着機を用い、所定形状の白板ガラスの表面に、各実施例及び比較例に応じた条件で反射防止膜を作製した。

【実施例13】

実施例13は、基板1の上にIR-UVカット膜4が形成されており、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3は設けられていない。

実施例13のIR-UVカット膜4の層構成が表18から表22に示されている。表18は各層と材料及び膜厚との関係が示され、表19及び表20は最表層の成膜条件等が示され、表21及び表22は第5層から第39層までの成膜条件等が示されている。

表18から表20において、最表層2Sは、その密度が 2.069 g/cm^3 の低密度層であり、その屈折率nが1.449の酸化ケイ素層2Aである。最表層2Sの膜厚は70.3nmであり、設計波長に対する相対値4ndは0.419である。第2層22は、その密度が 7.91 g/cm^3 の低密度層であり、その屈折率nが2.144の酸化タンタルである金属酸化物の層2Bである。第2層22の膜厚は86.3nmであり、設計波長に対する相対値4ndは0.745である。第3層は、その密度が 2.069 g/cm^3 の低密度層であり、その屈折率nが1.449の酸化ケイ素層2Aである。第3層の膜厚は146.6nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.874である。第4層は、その密度が 7.91 g/cm^3 の低密度層であり、その屈折率nが2.144の酸化タンタルである金属酸化物の層2Bである。第4層の膜厚は88.6nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.765である。

表18、表21及び表22において、第5層は、その密度が 2.213 g/cm^3 の高密度層であり、その屈折率nが1.481の酸化ケイ素層2Aである。第5層の膜厚は140.2nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.845である。第6層は、その密度が 4.87 g/cm^3 の高密度層であり、その屈折率nが2.489の酸化チタンである金属酸化物の層2Bである。第6層の膜厚は83.1nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.772である。以後、第7層から第39層は表18、表21及び表22に記載された層構成とされ、最表層2Sから第39層までの合計の膜厚は4731.39nmである。

【0102】

以上の構成のIR-UVカット膜4を基板1に形成するため、実施例13では、最表層2Sから第4層までの層を低アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜する。成膜温度は150°であり、酸化ケイ素層2Aであって低密度層を成膜する場合の真空圧は $1.8 \times 10^{-2}\text{ Pa}$ であり、アシストパワーは加速電圧が300V、加速電流が450mAである。酸化タンタルである金属酸化物の層2Bを成膜する真空圧は $1.8 \times 10^{-2}\text{ Pa}$ であり、アシストパワーは加速電圧が300V、加速電流が450mAである。第5層から第39層は高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜するものであり、この場合のアシストパワーは酸化ケイ素層2Aを形成する場合と酸化チタンである金属酸化物の層2Bを形成する場合とも同じで、加速電圧が1000Vであり、加速電流が1200mAである。最表層2Sの表面粗さは0.55nm～0.65nmである。

【実施例14】

実施例14は実施例13とはIR-UVカット膜4の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3が設けられている点で相違する。

フッ素含有有機ケイ素化合物膜3は、実施例9と同様のものが用いられる。

【実施例15】

実施例15は実施例13とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、実施例15では、加速電圧が400V、加速電流が500mAの低アシストパワーである。そのため、酸化ケイ素層2Aであって最表層2Sと第3層の低密度層の密度が 2.086 g/cm^3 であり、酸化タンタルである金属酸化物の層2Bであって第2層22と第4

10

20

30

40

50

層の低密度層の密度が 7.98 g / cm³ である。

[実施例 16]

実施例 16 は実施例 15 とは IR - UV カット膜 4 の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 が設けられている点で相違する。

【0103】

[比較例 27]

比較例 27 は実施例 13 とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例 27 では、最表層 2S から第 4 層 24 までの層を、加速電圧が 600 V、加速電流が 700 mA の中アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (IAD) で成膜する。そのため、酸化ケイ素の薄膜であって最表層と第 3 層の低密度層の密度が 2.172 g / cm³ であり、酸化タンタルである金属酸化物の層 2B であって第 2 層と第 4 層の低密度層の密度が 8.09 g / cm³ である。

比較例 27 では、最表層の表面粗さは 0.57 nm ~ 0.67 nm であって、実施例 13 ~ 16 に比べて高い。

[比較例 28]

比較例 28 は比較例 27 とは IR - UV カット膜 4 の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 が設けられている点で相違する。

【0104】

[比較例 29]

比較例 29 は実施例 13 とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例 29 では、最表層 2S から第 4 層 24 までの層を、加速電圧が 800 V、加速電流が 900 mA の中アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (IAD) で成膜する。そのため、酸化ケイ素層であって最表層と第 3 層の低密度層の密度が 2.201 g / cm³ であり、酸化タンタルである金属酸化物の層 2B であって第 2 層と第 4 层の低密度層の密度が 8.15 g / cm³ である。

比較例 29 では、最表層の表面粗さは 0.6 nm ~ 0.7 nm であって、実施例 13 ~ 16 に比べて高い。

[比較例 30]

比較例 30 は比較例 29 とは IR - UV カット膜 4 の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 が設けられている点で相違する。

【0105】

[比較例 31]

比較例 31 は実施例 13 とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例 31 では、全ての層を、加速電圧が 1000 V、加速電流が 1200 mA の高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (IAD) で成膜する。そのため、酸化ケイ素層であって最表層と第 3 層の低密度層の密度が 2.213 g / cm³ であり、酸化タンタルである金属酸化物の層 2B であって第 2 層と第 4 层の低密度層の密度が 8.19 g / cm³ である。

比較例 31 では、最表層の表面粗さは 0.62 nm ~ 0.72 nm であって、実施例 13 ~ 16 に比べて高い。

[比較例 32]

比較例 32 は比較例 31 とは IR - UV カット膜 4 の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 が設けられている点で相違する。

【0106】

[参考例 7]

参考例 7 は、膜厚が 71.8 nm の酸化ケイ素の薄膜からなる最表層、膜厚が 84.2 nm の酸化チタンである金属酸化物の層 2B からなる第 2 層、膜厚が 147.2 nm の酸化ケイ素層からなる第 3 層、膜厚が 83.6 nm の酸化チタンである金属酸化物の層 2B からなる第 4 層、膜厚が 140.2 nm の酸化ケイ素層からなる第 5 層、及び膜厚が 83.1 nm の酸化チタンである金属酸化物の層 2B からなる第 6 層を有し、且つ、全体で 3

10

20

30

40

50

9層であり合計の膜厚が4726.25 nmとなったIR-UVカット膜である。参考例7の層構成を表23に示す。参考例7では最表層の表面粗さが0.55 nm～0.65 nmであって、実施例13～16に比べて高い。参考例7は実施例13と同様の方法で成膜した。また、設計波長は967 nmである。

[参考例8]

参考例8は参考例7とはIR-UVカット膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

[0107]

[表18]

Layer	材料	d(nm)	4nd	成膜条件
入射媒質	Air			
最表層	SiO ₂	70.3	0.419	低アシストパワー
第2層	Ta ₂ O ₅	86.3	0.745	低アシストパワー
第3層	SiO ₂	146.6	0.874	低アシストパワー
第4層	Ta ₂ O ₅	88.6	0.765	低アシストパワー
第5層	SiO ₂	140.2	0.845	高アシストパワー
第6層	TiO ₂	83.1	0.772	高アシストパワー
第7層	SiO ₂	139.2	0.839	高アシストパワー
第8層	TiO ₂	81.4	0.756	高アシストパワー
第9層	SiO ₂	139.8	0.843	高アシストパワー
第10層	TiO ₂	81.1	0.753	高アシストパワー
第11層	SiO ₂	139.4	0.841	高アシストパワー
第12層	TiO ₂	81.0	0.752	高アシストパワー
第13層	SiO ₂	139.4	0.841	高アシストパワー
第14層	TiO ₂	82.0	0.761	高アシストパワー
第15層	SiO ₂	140.8	0.849	高アシストパワー
第16層	TiO ₂	83.3	0.773	高アシストパワー
第17層	SiO ₂	143.2	0.863	高アシストパワー
第18層	TiO ₂	86.7	0.805	高アシストパワー
第19層	SiO ₂	150.6	0.908	高アシストパワー
第20層	TiO ₂	100.4	0.932	高アシストパワー
第21層	SiO ₂	179.7	1.083	高アシストパワー
第22層	TiO ₂	110.0	1.021	高アシストパワー
第23層	SiO ₂	169.7	1.023	高アシストパワー
第24層	TiO ₂	101.5	0.942	高アシストパワー
第25層	SiO ₂	175.7	1.059	高アシストパワー
第26層	TiO ₂	115.0	1.067	高アシストパワー
第27層	SiO ₂	189.1	1.140	高アシストパワー
第28層	TiO ₂	116.5	1.081	高アシストパワー
第29層	SiO ₂	191.2	1.153	高アシストパワー
第30層	TiO ₂	119.4	1.108	高アシストパワー
第31層	SiO ₂	189.9	1.145	高アシストパワー
第32層	TiO ₂	117.5	1.091	高アシストパワー
第33層	SiO ₂	193.2	1.165	高アシストパワー
第34層	TiO ₂	116.7	1.083	高アシストパワー
第35層	SiO ₂	184.2	1.110	高アシストパワー
第36層	TiO ₂	119.1	1.105	高アシストパワー
第37層	SiO ₂	44.8	0.270	高アシストパワー
第38層	TiO ₂	11.8	0.110	高アシストパワー
第39層	SiO ₂	82.9	0.500	高アシストパワー
出射媒質	Glass			

nは屈折率

総膜厚: 4731.39 nm

設計波長: 967 nm

10

20

30

40

50

【 0 1 0 8 】

【 表 1 9 】

	1～4層の成膜方式	成膜温度	奇数層(SiO ₂)レート(Å/sec)	奇数層(SiO ₂)真空圧(O ₂)	奇数層(SiO ₂)アシストパワー	奇数層(SiO ₂)密度(g/cm ³)	奇数層(SiO ₂)屈折率(at550nm)
実施例13,14	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	300V 450mA	2.069	1.449
実施例15,16	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	400V 500mA	2.086	1.453
比較例27,28	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	600V 700mA	2.172	1.461
比較例29,30	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	800V 900mA	2.201	1.473
比較例31,32	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
参考例7,8	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	300V 450mA	2.069	1.449

10

20

【 0 1 0 9 】

【 表 2 0 】

	1～4層の成膜方式	成膜温度	偶数層レート(Å/sec)	偶数層真空圧(O ₂)	偶数層アシストパワー	偶数層密度(g/cm ³)	偶数層屈折率(at550nm)
実施例13,14	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	300V 450mA	7.91	2.144
実施例15,16	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	400V 500mA	7.98	2.167
比較例27,28	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	600V 700mA	8.09	2.201
比較例29,30	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	800V 900mA	8.15	2.217
比較例31,32	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	8.19	2.221
参考例7,8	IAD	150°C	3	1.8E-2Pa	300V 450mA	4.65	2.466

30

【 0 1 1 0 】

【表21】

	第5層～ の成膜 方式	成膜 温度	奇数層 (SiO ₂) レート (Å/sec)	奇数層 (SiO ₂) 真空圧 (O ₂)	奇数層 (SiO ₂) アシストパワー	奇数層 (SiO ₂) 密度 (g/cm ³)	奇数層 (SiO ₂) 屈折率 (at550nm)
実施例13,14	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
実施例15,16	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例27,28	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例29,30	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例31,32	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
参考例7,8	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481

10

【0 1 1 1】

【表22】

	第5層～ の成膜 方式	成膜 温度	偶数層 レート (Å/sec)	偶数層 真空圧 (O ₂)	偶数層 アシストパワー	偶数層 密度 (g/cm ³)	偶数層 屈折率 (at550nm)	表面粗さ (nm)	表面抵抗 (Ω/□)
実施例 13,14	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.55～0.65	7.71E+10
実施例 15,16	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.55～0.65	2.93E+11
比較例 27,28	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.57～0.67	2.46E+13
比較例 29,30	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.6～0.7	7.80E+14
比較例 31,32	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.62～0.72	1.00E+15
参考例7,8	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.6～0.7	6.87E+10

20

30

【0 1 1 2】

【表23】

Layer	材料	d(nm)	4nd	成膜条件
入射媒質	Air			
最表層	SiO ₂	71.8	0.433	低アシストパワー
第2層	TiO ₂	84.2	0.782	低アシストパワー
第3層	SiO ₂	147.2	0.887	低アシストパワー
第4層	TiO ₂	83.6	0.776	低アシストパワー
第5層	SiO ₂	140.2	0.845	高アシストパワー
第6層	TiO ₂	83.1	0.772	高アシストパワー
第7層	SiO ₂	139.2	0.839	高アシストパワー
第8層	TiO ₂	81.4	0.756	高アシストパワー
第9層	SiO ₂	139.8	0.843	高アシストパワー
第10層	TiO ₂	81.1	0.753	高アシストパワー
第11層	SiO ₂	139.4	0.841	高アシストパワー
第12層	TiO ₂	81.0	0.752	高アシストパワー
第13層	SiO ₂	139.4	0.841	高アシストパワー
第14層	TiO ₂	82.0	0.761	高アシストパワー
第15層	SiO ₂	140.8	0.849	高アシストパワー
第16層	TiO ₂	83.3	0.773	高アシストパワー
第17層	SiO ₂	143.2	0.863	高アシストパワー
第18層	TiO ₂	86.7	0.805	高アシストパワー
第19層	SiO ₂	150.6	0.908	高アシストパワー
第20層	TiO ₂	100.4	0.932	高アシストパワー
第21層	SiO ₂	179.7	1.083	高アシストパワー
第22層	TiO ₂	110.0	1.021	高アシストパワー
第23層	SiO ₂	169.7	1.023	高アシストパワー
第24層	TiO ₂	101.5	0.942	高アシストパワー
第25層	SiO ₂	175.7	1.059	高アシストパワー
第26層	TiO ₂	115.0	1.067	高アシストパワー
第27層	SiO ₂	189.1	1.140	高アシストパワー
第28層	TiO ₂	116.5	1.081	高アシストパワー
第29層	SiO ₂	191.2	1.153	高アシストパワー
第30層	TiO ₂	119.4	1.108	高アシストパワー
第31層	SiO ₂	189.9	1.145	高アシストパワー
第32層	TiO ₂	117.5	1.091	高アシストパワー
第33層	SiO ₂	193.2	1.165	高アシストパワー
第34層	TiO ₂	116.7	1.083	高アシストパワー
第35層	SiO ₂	184.2	1.110	高アシストパワー
第36層	TiO ₂	119.1	1.105	高アシストパワー
第37層	SiO ₂	44.8	0.270	高アシストパワー
第38層	TiO ₂	11.8	0.110	高アシストパワー
第39層	SiO ₂	82.9	0.500	高アシストパワー
出射媒質	Glass			

nは屈折率

総膜厚: 4726.25 nm

設計波長: 967 nm

10

20

30

40

50

【0113】

[実験結果]

1) 表面抵抗(シート抵抗)の測定

表面抵抗の測定のため、実施例9～12、比較例21～26及び比較例5, 6と同様の装置を用いて表面抵抗測定をした。その結果を表22に示す。

表22に示される通り、実施例13～16が比較例27～32や参考例7, 8に比べて表面抵抗が低いことがわかる。表面抵抗が低いことは静電気による塵や埃の表面への付着を軽減することを意味する。

2) 表面抵抗と総膜厚との関係

図13には実施例13における膜厚と表面抵抗との関係が示されている。

図13において、Y0は全部の層が高アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($1.0 \times 10^{15} / \text{nm}$)であり、Y1は膜厚70.29nmの最表層のみ低アシストパワー(加速電圧300V、加速電流450mA)で電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($3.17 \times 10^{12} / \text{nm}$)であり、Y2は最表層と第2層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($1.46 \times 10^{11} / \text{nm}$)であり、Y3は最表層から第3層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($7.95 \times 10^{10} / \text{nm}$)であり、Y4は最表層から第4層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($7.71 \times 10^{10} / \text{nm}$)であり、Y5は最表層から第5層までの層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($7.67 \times 10^{10} / \text{nm}$)であり、Y6は最表層から第6層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($7.61 \times 10^{10} / \text{nm}$)であり、Y39は最表層から第39層までの全層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($7.59 \times 10^{10} / \text{nm}$)である。

図13に示される通り、最表層を含み互いに接合する層の数が多いと表面抵抗の値が小さくなることがわかるが、最表層から第4層までの場合と最表層から全ての層(39層)までの場合とでは表面抵抗の値があまり変化しないことがわかる。そのため、本実施例では、最表層から第4層まで(膜厚391.86nm)を低アシストパワーで電子ビーム蒸着すれば十分であることがわかる。

【0114】

表24では、ポリエチレンパウダー法、関東ローム法及びコットンリンタ法による防塵性能の結果が示される。

表24に示される通り、ポリエチレンパウダー法では、実施例13, 15が比較例27, 29, 31や参考例7に比べて着塵量及び残存量とも小さく、実施例14, 16が比較例28, 30や参考例8に比べて着塵量及び残存量とも小さいことがわかる。なお、実施例13, 15が参考例7に比べて着塵量及び残存量とも小さく、実施例14, 16が参考例8に比べて着塵量及び残存量とも小さいのは、前述の通り、TaがTiに比べて電気陰性度が小さいことに起因するものと思われる。

電気陰性度はゴミが表面から脱離するのに最低限必要なエネルギーとも解釈でき、値が小さいほどゴミが取れやすくなる。そのため、電気陰性度が小さい元素を含む酸化物を使用することにより、防塵性能を向上させることができる。

また、実施例、比較例及び参考例とも、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けた実施例14, 16、比較例28, 30, 32及び参考例8がフッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けない実施例13, 15、比較例27, 29, 31及び参考例7に比べて着塵量及び残存量とも大きいことがわかる。関東ローム法及びコットンリンタ法では、ポリエチレンパウダー法と同様に、実施例、比較例及び参考例とも、実施例13～16が比較例27～32や参考例7, 8に比べて着塵量及び残存量とも小さいことがわかる。以上の結果は、表面粗さが改善されることで、表面に塵や埃がつきにくくなることに起因する。

【0115】

10

20

30

40

【表24】

	最表層の成膜方式	加速電圧(V)	加速電流(mA)	フッ素含有有機珪素化合物	ホリエチレンパウダー		関東ローム		コットンリント	
					着塵量	残存量	着塵量	残存量	着塵量	残存量
実施例13	IAD	300	450	無し	2.23%	0.38%	0.15%	0.01%	2.98%	0.58%
実施例14	IAD	300	450	有り	0.05%	0.01%	0.17%	0.01%	1.97%	0.17%
実施例15	IAD	400	500	無し	2.98%	0.51%	0.21%	0.01%	3.11%	0.63%
実施例16	IAD	400	500	有り	0.08%	0.01%	0.22%	0.01%	2.29%	0.20%
比較例27	IAD	600	700	無し	7.67%	1.05%	0.91%	0.10%	4.23%	0.89%
比較例28	IAD	600	700	有り	0.87%	0.17%	1.03%	0.10%	3.76%	0.36%
比較例29	IAD	800	900	無し	10.95%	2.68%	1.95%	0.41%	7.97%	1.32%
比較例30	IAD	800	900	有り	3.21%	0.96%	2.61%	0.87%	8.15%	0.67%
比較例31	IAD	1000	1200	無し	20.12%	4.11%	3.02%	0.79%	13.86%	2.34%
比較例32	IAD	1000	1200	有り	4.33%	1.49%	5.89%	1.30%	11.92%	1.08%
参考例7	IAD	300	450	無し	3.01%	0.45%	0.27%	0.02%	2.58%	0.52%
参考例8	IAD	300	450	有り	0.12%	0.01%	0.15%	0.01%	1.55%	0.12%

10

20

20

30

40

40

【0116】

次に、酸化チタン層と酸化ケイ素層とを有する光学物品の実施例について説明する。

[酸化チタン層と酸化ケイ素層とを有する光学物品]

本発明の第一実施形態の光学物品に対応する実施例17～20及び比較例33～40について説明する。

なお、蒸着実験に関しては、シンクロロン製蒸着機（商品名S I D - 1 3 5 0）を用いた。また、実験は、所定形状のサンプル、例えば、直径30mm、厚さ0.3mmの白板ガラス（屈折率n = 1.52）の表面に、各実施例及び比較例に応じた条件で反射防止膜を作製した。

[実施例17]

実施例17は、基板1の上に反射防止膜2が形成されており、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3は設けられていない。

実施例17の反射防止膜2の層構成が表25から表27に示されている。これらの表において、最表層2Sは、その密度が2.069g/cm³の低密度層であり、その屈折率nが1.449の酸化ケイ素層2Aである。最表層2Sの膜厚は86.0nmであり、その光学膜厚は1.449 × 86.0nm = 124.614nmである。この光学膜厚の設計波長（実施例1では510nm）に対する相対値4nd（以下、単に、設計波長に対する相対値と称する）は0.979である。つまり、光学薄膜設計では、設計波長の1/4を基本とするため、その値（127.5）に対する光学薄膜nd（1.449 × 86.0）の値は0.979となる。第2層22は、その密度が4.65g/cm³の低密度層であり、その屈折率nが2.466の酸化チタンである金属酸化物の層2Bである。第2層22の膜厚は102.7nmであり、設計波長に対する相対値4ndは2.014である。第3層23は、その密度が2.069g/cm³の低密度層であり、その屈折率nが1.449の酸化ケイ素層2Aである。第3層23の膜厚は30.6nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.349である。第4層24は、その密度が4.65g/cm³の低密度層であり、その屈折率nが2.466の酸化チタンである金属酸化物の層2Bである。第4層24の膜厚は12.1nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.237である。第5層25は、その密度が2.213g/cm³の高密度層であり、その屈折率nが1.481の酸化ケイ素層2Aである。第5層25の膜厚は136.6nmであり、設計波長に対する相対値4ndが1.573である。最表層2Sから第5層25までの合計の厚さは367.9nmである。

【0117】

以上の構成の反射防止膜2を基板1に形成するため、実施例17では、最表層2Sから第4層24までの層を低アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着（

50

I A D) で成膜する。成膜温度は 150 であり、酸化ケイ素層 2 A であって低密度層を成膜する場合の真空圧は 1.8×10^{-2} Pa であり、アシストパワーは加速電圧が 300 V、加速電流が 450 mA である。酸化チタンである金属酸化物の層 2 B を成膜する真空圧は 2.1×10^{-2} Pa であり、アシストパワーは加速電圧が 300 V、加速電流が 450 mA である。これにより、最表層 2 S の表面粗さは 0.6 nm ~ 0.7 nm となる。第 5 層 2 5 は高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (I A D) で成膜するものであり、この場合のアシストパワーは加速電圧が 1000 V であり、加速電流が 1200 mA である。

【0118】

[実施例 18]

実施例 18 は実施例 17 とは反射防止膜 2 の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 が設けられている点で相違する。

フッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 は、例えば、信越化学工業株式会社製フッ素含有有機ケイ素化合物（製品名 KY-130）をフッ素系溶剤（住友スリーエム株式会社製：ノベック HFE-7200）で希釈して固形分濃度 3 % の溶液を調製し、これを多孔質セラミック製ペレットに 1 g 含浸させ乾燥したものを蒸発源として使用する。

【0119】

[実施例 19]

実施例 19 は実施例 17 とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、実施例 19 では、加速電圧が 400 V、加速電流が 500 mA の低アシストパワーである。そのため、酸化ケイ素層 2 A であって最表層 2 S と第 3 層 2 3 の低密度層の密度が 2.086 g/cm^3 であり、酸化チタンである金属酸化物の層 2 B であって第 2 層 2 2 と第 4 層 2 4 の低密度層の密度が 4.69 g/cm^3 である。第 5 層 2 5 の密度は実施例 17 と同じである。

[実施例 20]

実施例 20 は実施例 19 とは反射防止膜 2 の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜 3 が設けられている点で相違する。

【0120】

[比較例 33]

比較例 33 は実施例 17 とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例 33 では、最表層 2 S から第 4 層 2 4 までの層を、加速電圧が 600 V、加速電流が 700 mA の中アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (I A D) で成膜する。そのため、酸化ケイ素層であって最表層と第 3 層の低密度層の密度が 2.172 g/cm^3 であり、酸化チタンである金属酸化物の層 2 B であって第 2 層と第 4 層の低密度層の密度が 4.79 g/cm^3 である。比較例 33 では、最表層の表面粗さは 0.62 nm ~ 0.72 nm であって、実施例 17 ~ 20 に比べて高い。

[比較例 34]

比較例 34 は比較例 33 とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

【0121】

[比較例 35]

比較例 35 は実施例 17 とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例 35 では、最表層 2 S から第 4 層 2 4 までの層を、加速電圧が 800 V、加速電流が 900 mA の中アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (I A D) で成膜する。そのため、酸化ケイ素層であって最表層と第 3 層の低密度層の密度が 2.201 g/cm^3 であり、酸化チタンである金属酸化物の層 2 B であって第 2 層と第 4 層の低密度層の密度が 4.89 g/cm^3 である。比較例 35 では、最表層の表面粗さは 0.65 nm ~ 0.75 nm であって、実施例 17 ~ 20 に比べて高い。

[比較例 36]

比較例 36 は比較例 35 とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けら

10

20

30

40

50

れている点で相違する。

【0122】

[比較例37]

比較例37は実施例17とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例37では、全ての層を、加速電圧が1000V、加速電流が1200mAの高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜する。そのため、酸化ケイ素層であって最表層と第3層の低密度層の密度が2.213g/cm³であり、酸化チタンである金属酸化物の層2Bであって第2層と第4層の低密度層の密度が4.87g/cm³である。比較例37では、最表層の表面粗さは0.67nm~0.77nmであって、実施例17~20に比べて高い。

10

[比較例38]

比較例38は比較例37とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

【0123】

[比較例39]

比較例39は層構成が実施例17と同じであるが、その成膜方法は実施例17とは異なり、特許文献1で示される従来例と同様である。つまり、比較例39では、最表層の成膜がイオンアシストを用いない電子蒸着(EB)であり、最表層以外の層の成膜方法は比較例37と同様とする。第2層から第5層までは加速電圧が1000V、加速電流が1200mAの高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜した。最表層の酸化ケイ素の成膜時の真空圧は8.0×10⁻³Paである。そのため、最表層の酸化ケイ素層の密度が2.037g/cm³である。比較例39では、最表層の表面粗さは0.8nm~0.95nmであって、実施例17~20に比べて高い。

20

[比較例40]

比較例40は比較例39とは反射防止膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

以上において、最表層の表面粗さは最表層を成膜する際のアシストパワーに対応することがわかる。つまり、実施例17~20では、最表層の成膜を、加速電圧を300V~400V(加速電流450mA~500mA)という低アシストパワーで実施することで、最表層の表面粗さが0.60nm~0.70nmとなるが、比較例33~36では、最表層の成膜を、加速電圧600V~800V(加速電流700mA~900mA)という中アシストパワーで実施することで、最表層の表面粗さが0.62nm~0.75nmとなり、さらに、比較例37, 38では、最表層の成膜を、加速電圧1000V(加速電流1200mA)という高アシストパワーで実施することで、最表層の表面粗さが0.67nm~0.77nmとなる。

30

【0124】

【表25】

Layer	材料	d(nm)	4nd
入射媒質	Air		
最表層	SiO ₂	86.0	0.979
第2層	TiO ₂	102.7	2.014
第3層	SiO ₂	30.6	0.349
第4層	TiO ₂	12.1	0.237
第5層	SiO ₂	136.6	1.573
出射媒質	Glass		

40

nは屈折率

総膜厚: 367.9 nm

設計波長: 510 nm

50

【 0 1 2 5 】

【 表 2 6 】

	1~4層の成膜方式	成膜温度	SiO ₂ レート(Å/sec)	SiO ₂ 真空圧(O ₂)	SiO ₂ アシストパワー	SiO ₂ 密度(g/cm ³)	SiO ₂ 屈折率(at550nm)
実施例17,18	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	300V 450mA	2.069	1.449
実施例19,20	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	400V 500mA	2.086	1.453
比較例33,34	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	600V 700mA	2.172	1.461
比較例35,36	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	800V 900mA	2.201	1.473
比較例37,38	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例39,40	EB	150°C	7	8.0E-3Pa	—	2.037	1.44

10

【 0 1 2 6 】

【 表 2 7 】

	1~4層の成膜方式	成膜温度	TiO ₂ レート(Å/sec)	TiO ₂ 真空圧(O ₂)	TiO ₂ アシストパワー	TiO ₂ 密度(g/cm ³)	TiO ₂ 屈折率(at550nm)	表面粗さ(nm)	表面抵抗(Ω/□)
実施例17,18	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	300V 450mA	4.65	2.466	0.6~0.7	5.77E+10
実施例19,20	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	400V 500mA	4.69	2.473	0.6~0.7	2.23E+11
比較例33,34	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	600V 700mA	4.79	2.487	0.62~0.72	4.85E+12
比較例35,36	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	800V 900mA	4.89	2.497	0.65~0.75	1.00E+15
比較例37,38	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.67~0.77	1.00E+15
比較例39,40	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.8~0.95	8.16E+12

20

30

【 0 1 2 7 】

[実験結果]

1) 表面抵抗(シート抵抗)の測定

表面抵抗の測定のため図7(A)で示される表面抵抗測定器504を用いる。この表面抵抗測定器504とステージ506は、前述の構成であり、測定条件及び測定時の環境も前述の実験と同様である。

各実施例及び比較例でのサンプルにおける表面抵抗を測定した。その結果を表27に示す。これらの実験結果のうち代表的な例を図14にグラフとして示す。

図14では、低アシストパワーで蒸着をした実施例17と、高アシストパワーで蒸着をした比較例37と、従来例に対応する比較例39とを示す。これらの実施例17及び比較例37,39は、その表面にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられていない。

図14に示される通り、実施例17は比較例37,39に比べて表面抵抗が低いことがわかる。他の実施例及び比較例を表27で参照しても、実施例17~20が比較例37~40に比べて表面抵抗が低いことがわかる。表面抵抗が低いことは静電気による塵や埃の付着を軽減することを意味する。

【 0 1 2 8 】

2) 表面抵抗と総膜厚との関係

図15には実施例1における膜厚と表面抵抗との関係が示されている。

図15において、X0は全部の層が高アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗(1.0 × 10⁻¹⁵ /)であり、X1は厚さ86.0nmの最表層のみ低アシ

40

50

ストパワー（加速電圧 300V、加速電流 450mA）で電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗 (3.17×10^{12} /) であり、X2 は最表層と第2層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗 (1.44×10^{11} /) であり、X3 は最表層から第3層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗 (7.28×10^{10} /) であり、X4 は最表層から第4層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗 (5.77×10^{10} /) であり、X5 は全ての層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗 (5.74×10^{10} /) である。図15に示される通り、低アシストパワーで電子ビーム蒸着する対象を、最表層を含み互いに接合する層の数が多いと表面抵抗の値が小さくなることがわかるが、最表層から第4層までの場合と最表層から全ての層（5層）までの場合とでは表面抵抗の値があまり変化しないことがわかる。そのため、本実施例では、最表層から第4層まで（膜厚 240nm）を低アシストパワーで電子ビーム蒸着すれば十分であることがわかる。

10

【0129】

3) 電荷抜け

電荷抜けはサンプルの最表層を擦って帯電させ、最表層に残存する電荷量（相対値）を時間の経過とともに表示したものである。この電荷抜けを図16に示す。図16では、グラフAで比較例37が示され、グラフBで比較例39が示され、グラフCで実施例17が示される。表面電荷の測定は、図7（B）で示される表面電位計500を用いる。この表面電位計500は前述の実験で用いられたものと同じであり、プローブ501とフィルターのサンプル502の表面との距離が10mmである。サンプル502を載置するステージ503は金属製で、アースした状態で測定が行われる。測定時の環境は前述の実験と同じである。

20

図16で示される通り、実施例17のグラフCが比較例37のグラフAや比較例39のグラフBに比べて時間経過に伴う残存電荷量が小さい。この結果、実施例17は比較例37や比較例39に比べて静電気による塵や埃の付着が軽減されることがわかる。

【0130】

4) 防塵性能

防塵性能試験を、（4-1）ポリエチレンパウダー法、（4-2）関東ローム法、（4-3）コットンリンタ法で実施した。これらの方法の具体的な仕様は前述の通りである。

30

これらの方法で実施した防塵性能の結果を表28に示す。

表28では、（4-1）ポリエチレンパウダー法、（4-2）関東ローム法及び（4-3）コットンリンタ法の結果が示される。

表28に示される通り、ポリエチレンパウダー法では、実施例17, 18が比較例33～36に比べて着塵量及び残存量とも小さいことがわかる。また、実施例及び比較例とも、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けた実施例18, 20及び比較例34, 36, 38, 40がフッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けない実施例17, 19及び比較例33, 35, 37, 39に比べて着塵量及び残存量とも大きいことがわかる。関東ローム法及びコットンリンタ法では、ポリエチレンパウダー法と同様に、実施例及び比較例とも、実施例17, 18が比較例33～36に比べて着塵量及び残存量とも小さいことがわかる。また、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けた実施例18, 20及び比較例34, 36, 38, 40がフッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けない実施例17, 19及び比較例33, 35, 37, 39に比べて着塵量及び残存量とも大きいことがわかる。以上の結果は、表面粗さが改善されることで、表面に塵や埃がつきにくくなることに起因する。

40

【0131】

【表28】

	最表層の成膜方式	加速電圧(V)	加速電流(mA)	フッ素含有有機珪素化合物	ポリエチレンパウダー		関東ローム		コットンリンタ	
					着塵量	残存量	着塵量	残存量	着塵量	残存量
実施例17	IAD	300	450	無し	3.78%	0.59%	0.29%	0.02%	2.87%	0.63%
実施例18	IAD	300	450	有り	0.16%	0.01%	0.19%	0.01%	1.84%	0.14%
実施例19	IAD	400	500	無し	3.94%	0.65%	0.35%	0.03%	3.12%	0.65%
実施例20	IAD	400	500	有り	0.17%	0.02%	0.31%	0.02%	1.97%	0.16%
比較例33	IAD	600	700	無し	8.95%	1.78%	1.04%	0.09%	4.58%	0.97%
比較例34	IAD	600	700	有り	1.02%	0.19%	8.97%	2.45%	4.47%	0.41%
比較例35	IAD	800	900	無し	15.20%	3.02%	2.20%	0.49%	9.93%	1.89%
比較例36	IAD	800	900	有り	3.23%	0.98%	13.45%	6.28%	10.50%	0.65%
比較例37	IAD	1000	1200	無し	17.01%	3.50%	2.73%	0.54%	10.83%	2.13%
比較例38	IAD	1000	1200	有り	3.78%	1.08%	14.40%	7.01%	11.20%	0.71%
比較例39	EB	0	0	無し	7.74%	1.34%	1.06%	0.09%	3.82%	0.81%
比較例40	EB	0	0	有り	0.93%	0.12%	12.90%	5.92%	4.58%	0.35%

10

【0132】

20

次に、本発明の第二実施形態の光学物品に対応する実施例21～24及び比較例41～48について説明する。なお、蒸着実験に関しては、実施例17～20及び比較例33～40の実験と同様に、シンクロン製蒸着機を用い、所定形状の白板ガラスの表面に、各実施例及び比較例に応じた条件で反射防止膜を作製した。

[実施例21]

実施例21は、基板1の上にIR-UVカット膜4が形成されており、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3は設けられていない。

実施例21のIR-UVカット膜4の層構成が表29から表33に示されている。表29は各層と材料及び膜厚との関係が示され、表30及び表31は最表層の成膜条件等が示され、表32及び表33は第5層から第39層までの成膜条件等が示されている。なお、実施例21では、設計波長が967nmである。

30

表29から表31において、最表層2Sは、その密度が2.069g/cm³の低密度層であり、その屈折率nが1.449の酸化ケイ素層2Aである。最表層2Sの膜厚は71.8nmであり、設計波長に対する相対値4ndは0.433である。第2層22は、その密度が4.65g/cm³の低密度層であり、その屈折率nが2.466の酸化チタンである金属酸化物の層2Bである。第2層22の膜厚は84.2nmであり、設計波長に対する相対値4ndは0.782である。第3層は、その密度が2.069g/cm³の低密度層であり、その屈折率nが1.449の酸化ケイ素層2Aである。第3層の膜厚は147.2nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.887である。第4層は、その密度が4.65g/cm³の低密度層であり、その屈折率nが2.466の酸化チタンである金属酸化物の層2Bである。第4層の膜厚は83.6nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.776である。

40

表29、表32及び表33において、第5層は、その密度が2.213g/cm³の高密度層であり、その屈折率nが1.481の酸化ケイ素層2Aである。第5層の膜厚は140.2nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.845である。第6層は、その密度が4.87g/cm³の高密度層であり、その屈折率nが2.489の酸化チタンである金属酸化物の層2Bである。第6層の膜厚は83.1nmであり、設計波長に対する相対値4ndが0.772である。以後、第7層から第39層は表1、表9及び表10に記載された層構成とされ、最表層2Sから第39層までの合計の厚さは4726.25nmである。

50

【0133】

以上の構成のIR-UVカット膜4を基板1に形成するため、実施例21では、最表層2Sから第4層までの層を低アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜する。成膜温度は150°であり、酸化ケイ素層2Aであって低密度層を成膜する場合の真空圧は 1.8×10^{-2} Paであり、アシストパワーは加速電圧が300V、加速電流が450mAである。酸化チタンである金属酸化物の層2Bを成膜する場合の真空圧は 2.1×10^{-2} Paであり、アシストパワーは加速電圧が300V、加速電流が450mAである。第5層から第39層は高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜するものであり、この場合のアシストパワーは酸化ケイ素層2Aを形成する場合と酸化チタンである金属酸化物の層2Bを形成する場合とも同じで、加速電圧が1000Vであり、加速電流が1200mAである。最表層2Sの表面粗さは0.6nm～0.7nmである。

10

[実施例22]

実施例22は実施例21とはIR-UVカット膜4の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3が設けられている点で相違する。

フッ素含有有機ケイ素化合物膜3は、実施例18と同様のものが用いられる。

【0134】

[実施例23]

実施例23は実施例21とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、実施例23では、加速電圧が400V、加速電流が500mAの低アシストパワーである。そのため、酸化ケイ素層2Aであって最表層2Sと第3層の低密度層の密度が2.086g/cm³であり、酸化チタンである金属酸化物の層2Bであって第2層22と第4層の低密度層の密度が4.69g/cm³である。第5層25から第39層の密度は実施例1と同じである。

20

[実施例24]

実施例24は実施例23とはIR-UVカット膜4の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3が設けられている点で相違する。

フッ素含有有機ケイ素化合物膜3は、実施例18と同様のものが用いられる。

【0135】

[比較例41]

比較例41は実施例21とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例41では、最表層2Sから第4層24までの層を、加速電圧が600V、加速電流が700mAの中アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜する。そのため、酸化ケイ素の薄膜であって最表層と第3層の低密度層の密度が2.172g/cm³であり、酸化チタンである金属酸化物の層2Bであって第2層と第4層の低密度層の密度が4.79g/cm³である。

30

比較例41では、最表層の表面粗さは0.62nm～0.72nmであって、実施例21～24に比べて高い。

[比較例42]

比較例42は比較例41とはIR-UVカット膜4の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜3が設けられている点で相違する。

40

【0136】

[比較例43]

比較例43は実施例21とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例43では、最表層2Sから第4層24までの層を、加速電圧が800V、加速電流が900mAの中アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着(IAD)で成膜する。そのため、酸化ケイ素層であって最表層と第3層の低密度層の密度が2.201g/cm³であり、酸化チタンである金属酸化物の層2Bであって第2層と第4層の低密度層の密度が4.89g/cm³である。

比較例43では、最表層の表面粗さは0.65nm～0.75nmであって、実施例21～24に比べて高い。

50

[比較例 4 4]

比較例 4 4 は比較例 4 3 とは IR - UV カット膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

【 0 1 3 7 】

[比較例 4 5]

比較例 4 5 は実施例 2 1 とは低密度層を成膜するアシストパワーが相違する。つまり、比較例 4 5 では、全ての層を、加速電圧が 1 0 0 0 V、加速電流が 1 2 0 0 m A の高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (I A D) で成膜する。そのため、酸化ケイ素の薄膜であって最表層と第 3 層の低密度層の密度が 2 . 2 1 3 g / c m ³ であり、酸化チタンである金属酸化物の層 2 B であって第 2 層と第 4 層の低密度層の密度が 4 . 8 7 g / c m ³ である。

比較例 4 5 では、最表層の表面粗さは 0 . 6 7 n m ~ 0 . 7 7 n m であって、実施例 2 1 ~ 2 4 に比べて高い。

[比較例 4 6]

比較例 4 6 は比較例 4 5 とは IR - UV カット膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

【 0 1 3 8 】

[比較例 4 7]

比較例 4 7 は層構成が実施例 2 1 と同じであるが、その成膜方法は実施例 2 1 とは異なり、特許文献 1 で示される従来例と同様である。つまり、比較例 4 7 では、最表層の成膜がイオンアシストを用いていない電子蒸着 (E B) であり、最表層以外の層の成膜方法は比較例 3 7 と同様とする。第 2 層から第 3 9 層までは加速電圧が 1 0 0 0 V、加速電流が 1 2 0 0 m A の高アシストパワーによるイオンアシストを用いた電子ビーム蒸着 (I A D) で成膜した。最表層の酸化ケイ素の成膜時の真空圧は 8 . 0 × 1 0 ⁻³ P a である。そのため、酸化ケイ素層の密度は 2 . 0 3 7 g / c m ³ である。比較例 4 7 では、最表層の表面粗さは 0 . 8 n m ~ 0 . 9 5 n m であって、実施例 2 1 ~ 2 4 に比べて高い。

[比較例 4 8]

比較例 4 8 は比較例 4 7 とは IR - UV カット膜の上にフッ素含有有機ケイ素化合物膜が設けられている点で相違する。

【 0 1 3 9 】

10

20

30

【表29】

Layer	材料	d(nm)	4nd	成膜条件
入射媒質	Air			
最表層	SiO ₂	71.8	0.433	低アシストパワー
第2層	TiO ₂	84.2	0.782	低アシストパワー
第3層	SiO ₂	147.2	0.887	低アシストパワー
第4層	TiO ₂	83.6	0.776	低アシストパワー
第5層	SiO ₂	140.2	0.845	高アシストパワー
第6層	TiO ₂	83.1	0.772	高アシストパワー
第7層	SiO ₂	139.2	0.839	高アシストパワー
第8層	TiO ₂	81.4	0.756	高アシストパワー
第9層	SiO ₂	139.8	0.843	高アシストパワー
第10層	TiO ₂	81.1	0.753	高アシストパワー
第11層	SiO ₂	139.4	0.841	高アシストパワー
第12層	TiO ₂	81.0	0.752	高アシストパワー
第13層	SiO ₂	139.4	0.841	高アシストパワー
第14層	TiO ₂	82.0	0.761	高アシストパワー
第15層	SiO ₂	140.8	0.849	高アシストパワー
第16層	TiO ₂	83.3	0.773	高アシストパワー
第17層	SiO ₂	143.2	0.863	高アシストパワー
第18層	TiO ₂	86.7	0.805	高アシストパワー
第19層	SiO ₂	150.6	0.908	高アシストパワー
第20層	TiO ₂	100.4	0.932	高アシストパワー
第21層	SiO ₂	179.7	1.083	高アシストパワー
第22層	TiO ₂	110.0	1.021	高アシストパワー
第23層	SiO ₂	169.7	1.023	高アシストパワー
第24層	TiO ₂	101.5	0.942	高アシストパワー
第25層	SiO ₂	175.7	1.059	高アシストパワー
第26層	TiO ₂	115.0	1.067	高アシストパワー
第27層	SiO ₂	189.1	1.140	高アシストパワー
第28層	TiO ₂	116.5	1.081	高アシストパワー
第29層	SiO ₂	191.2	1.153	高アシストパワー
第30層	TiO ₂	119.4	1.108	高アシストパワー
第31層	SiO ₂	189.9	1.145	高アシストパワー
第32層	TiO ₂	117.5	1.091	高アシストパワー
第33層	SiO ₂	193.2	1.165	高アシストパワー
第34層	TiO ₂	116.7	1.083	高アシストパワー
第35層	SiO ₂	184.2	1.110	高アシストパワー
第36層	TiO ₂	119.1	1.105	高アシストパワー
第37層	SiO ₂	44.8	0.270	高アシストパワー
第38層	TiO ₂	11.8	0.110	高アシストパワー
第39層	SiO ₂	82.9	0.500	高アシストパワー
出射媒質	Glass			

nは屈折率

総膜厚: 4726.25 nm

設計波長: 967 nm

10

20

30

40

【0140】

【表30】

	1~4層の成膜方式	成膜温度	SiO ₂ レート(Å/sec)	SiO ₂ 真空圧(O ₂)	SiO ₂ アシストパワー	SiO ₂ 密度(g/cm ³)	SiO ₂ 屈折率(at550nm)
実施例21,22	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	300V 450mA	2.069	1.449
実施例23,24	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	400V 500mA	2.086	1.453
比較例41,42	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	600V 700mA	2.172	1.461
比較例43,44	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	800V 900mA	2.201	1.473
比較例45,46	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例47,48	EB	150°C	7	8.0E-3Pa	—	2.037	1.44

10

【0141】

【表31】

	1~4層の成膜方式	成膜温度	TiO ₂ レート(Å/sec)	TiO ₂ 真空圧(O ₂)	TiO ₂ アシストパワー	TiO ₂ 密度(g/cm ³)	TiO ₂ 屈折率(at550nm)
実施例21,22	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	300V 450mA	4.65	2.466
実施例23,24	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	400V 500mA	4.69	2.473
比較例41,42	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	600V 700mA	4.79	2.487
比較例43,44	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	800V 900mA	4.89	2.497
比較例45,46	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489
比較例47,48	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489

20

【0142】

【表32】

	第5層~の成膜方式	成膜温度	SiO ₂ レート(Å/sec)	SiO ₂ 真空圧(O ₂)	SiO ₂ アシストパワー	SiO ₂ 密度(g/cm ³)	SiO ₂ 屈折率(at550nm)
実施例21,22	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
実施例23,24	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例41,42	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例43,44	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例45,46	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481
比較例47,48	IAD	150°C	7	1.8E-2Pa	1000V 1200mA	2.213	1.481

40

【0143】

【表33】

	第5層～の成膜方式	成膜温度	TiO ₂ レート(Å/sec)	TiO ₂ 真空圧(O ₂)	TiO ₂ アシストパワー	TiO ₂ 密度(g/cm ³)	TiO ₂ 屈折率(at550nm)	表面粗さ(nm)	表面抵抗(Ω/□)
実施例21,22	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.6～0.7	6.87E+10
実施例23,24	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.6～0.7	2.87E+11
比較例41,42	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.62～0.72	2.35E+13
比較例43,44	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.65～0.75	1.00E+15
比較例45,46	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.67～0.77	1.00E+15
比較例47,48	IAD	150°C	3	2.1E-2Pa	1000V 1200mA	4.87	2.489	0.8～0.95	7.26E+12

10

【0144】

[実験結果]

1) 表面抵抗(シート抵抗)の測定

表面抵抗の測定のため、実施例17～20及び比較例33～40と同様の装置を用いて表面抵抗測定をした。その結果を表33に示す。

表33に示される通り、実施例21～24が比較例41～48に比べて表面抵抗が低いことがわかる。表面抵抗が低いことは静電気による塵や埃の付着を軽減することを意味する。

20

【0145】

2) 表面抵抗と総膜厚との関係

図17には実施例21における膜厚と表面抵抗との関係が示されている。

図17において、Y0は全部の層が高アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($1.0 \times 10^{15} /$)であり、Y1は厚さ71.8nmの最表層のみ低アシストパワー(加速電圧300V、加速電流450mA)で電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($3.17 \times 10^{12} /$)であり、Y2は最表層と第2層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($1.44 \times 10^{11} /$)であり、Y3は最表層から第3層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($7.28 \times 10^{10} /$)であり、Y4は最表層から第4層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($6.87 \times 10^{10} /$)であり、Y5は最表層から第5層までの層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($6.85 \times 10^{10} /$)であり、Y6は最表層から第6層までを低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($6.81 \times 10^{10} /$)であり、Y39は最表層から第39層までの全層を低アシストパワーで電子ビーム蒸着をした場合の表面抵抗($6.75 \times 10^{10} /$)である。

30

図17に示される通り、最表層を含み互いに接合する層の数が多いと表面抵抗の値が小さくなることがわかるが、最表層から第4層までの場合と最表層から全ての層(39層)までの場合とでは表面抵抗の値があまり変化しないことがわかる。そのため、本実施例では、最表層から第4層まで(膜厚386.8nm)を低アシストパワーで電子ビーム蒸着すれば十分であることがわかる。

40

【0146】

表34では、ポリエチレンパウダー法、関東ローム法及びコットンリンタ法による防塵性能の結果が示される。

表34に示される通り、ポリエチレンパウダー法では、実施例21,23が比較例41,43,45,47に比べて着塵量及び残存量とも小さく、実施例22,24が比較例42,44,46,48に比べて着塵量及び残存量とも小さいことがわかる。また、実施例及び比較例とも、フッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けた実施例22,24及び比較例42,44,46,48がフッ素含有有機ケイ素化合物膜3を設けない実施例21,23及び比較例41,43,45,47に比べて着塵量及び残存量とも大きいことがわかる。

50

関東ローム法及びコットンリンタ法では、ポリエチレンパウダー法と同様に、実施例及び比較例とも、実施例21～24が比較例41～48に比べて着塵量及び残存量とも小さいことがわかる。以上の結果は、表面粗さが改善されることで、表面に塵や埃がつきにくくなることに起因する。

【0147】

【表34】

	最表層の成膜方式	加速電圧(V)	加速電流(mA)	フッ素含有有機珪素化合物	ポリエチレンパウダー		関東ローム		コットンリンタ	
					着塵量	残存量	着塵量	残存量	着塵量	残存量
実施例21	IAD	300	450	無し	3.01%	0.45%	0.27%	0.02%	2.58%	0.52%
実施例22	IAD	300	450	有り	0.12%	0.01%	0.15%	0.01%	1.55%	0.12%
実施例23	IAD	400	500	無し	3.88%	0.63%	0.38%	0.03%	3.43%	0.68%
実施例24	IAD	400	500	有り	0.16%	0.02%	0.33%	0.02%	1.94%	0.17%
比較例41	IAD	600	700	無し	8.12%	1.54%	1.23%	0.08%	4.67%	0.95%
比較例42	IAD	600	700	有り	0.98%	0.17%	6.78%	2.10%	4.93%	0.44%
比較例43	IAD	800	900	無し	17.50%	3.22%	2.76%	0.87%	10.98%	2.03%
比較例44	IAD	800	900	有り	4.02%	1.22%	20.97%	9.67%	11.23%	2.17%
比較例45	IAD	1000	1200	無し	21.18%	3.98%	3.47%	1.23%	15.67%	2.98%
比較例46	IAD	1000	1200	有り	4.92%	1.73%	31.56%	15.46%	14.73%	2.63%
比較例47	EB	0	0	無し	8.94%	1.87%	1.03%	0.27%	5.89%	1.76%
比較例48	EB	0	0	有り	0.77%	0.10%	15.66%	7.14%	4.78%	0.54%

10

20

【0148】

なお、本発明は、上述した一実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲で以下に示される変形をも含むものである。

例えば、本発明では、光学物品は前述の構成のものに限定されない。例えば第一実施形態では、本発明の対象となる光学物品を、例えば、偏光変換素子114としてもよい。さらに、第二実施形態では、本発明の対象となる光学物品を、例えば、光学ローパスフィルター211としてもよい。要するに本発明では、基板1の上に反射防止膜2やUV-IRカット膜を含め光学多層膜が形成される光学物品であればいかなるものでも適用される。

【産業上の利用可能性】

【0149】

本発明は、プロジェクター、デジタルスチールカメラの撮像装置、光ピックアップ、その他の電子機器に組み込まれる光学物品に利用することができる。

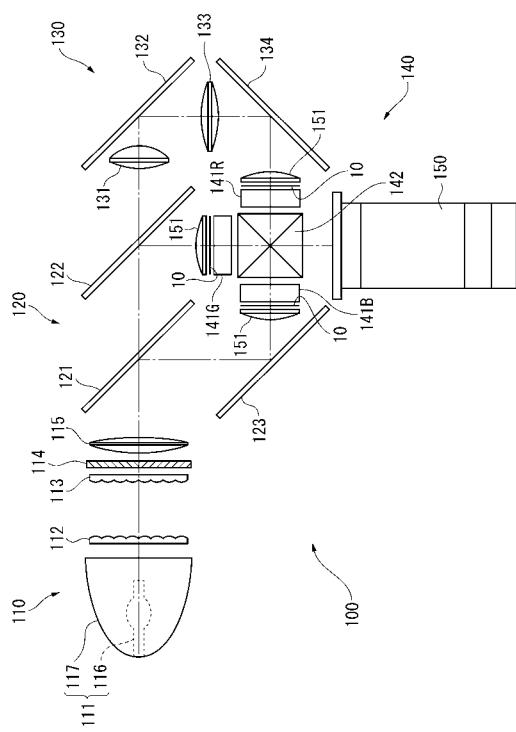
30

【符号の説明】

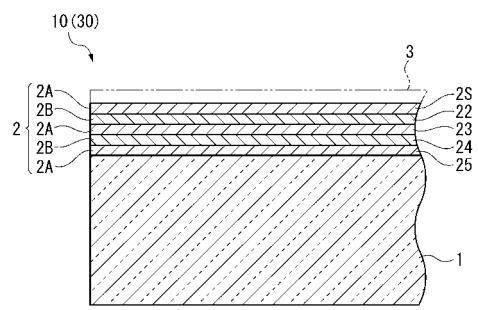
【0150】

1…基板、2…反射防止膜(無機薄膜)、2A…酸化ケイ素層、2B…金属酸化物の層、2S…最表層、3…フッ素含有有機ケイ素化合物膜、4…IR-UVカット膜(無機薄膜)、10…防塵ガラス(光学物品)、20…光学多層膜フィルター(光学物品)、100…プロジェクター(電子機器)、200…撮像装置(電子機器)、300…光ピックアップ(電子機器)

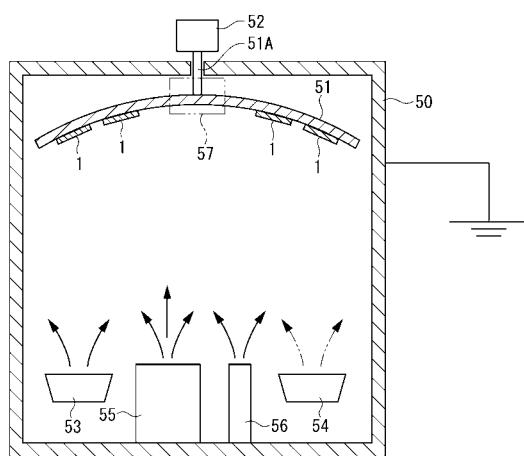
【図1】



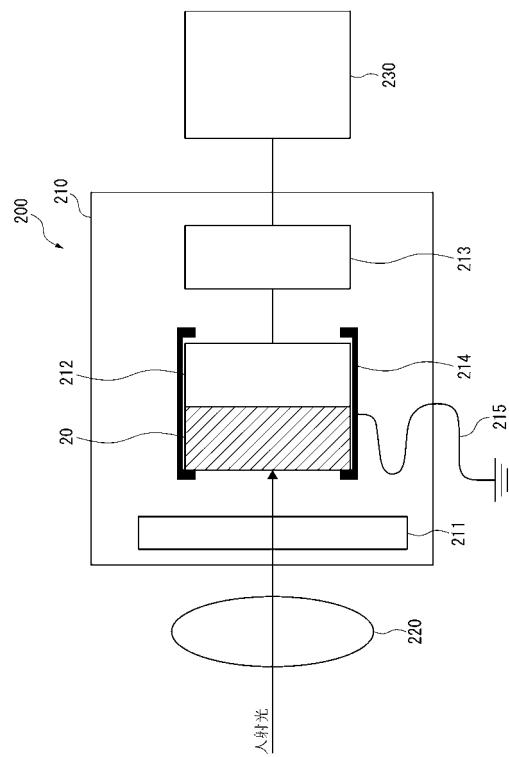
【図2】



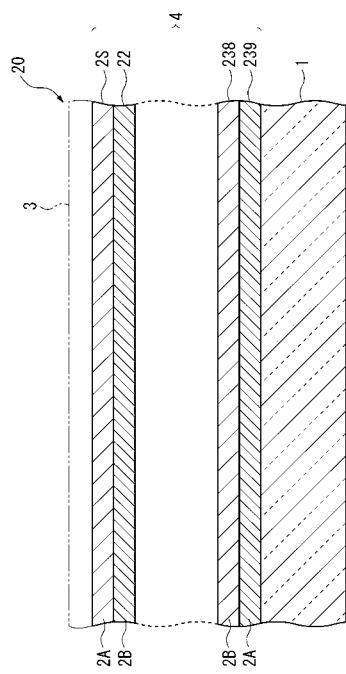
【図3】



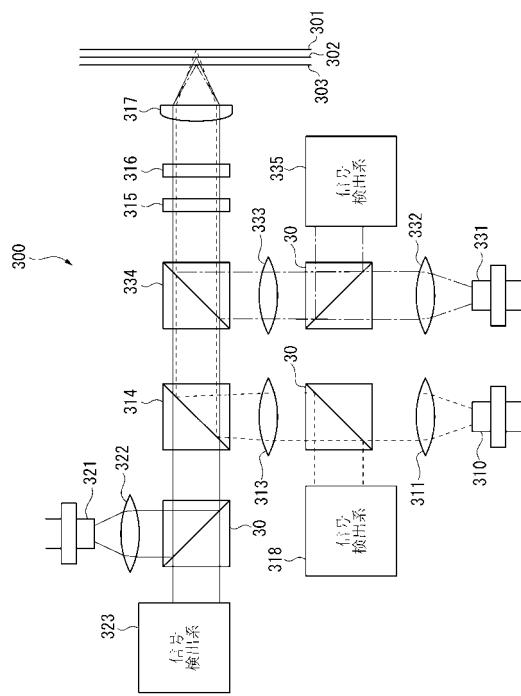
【図4】



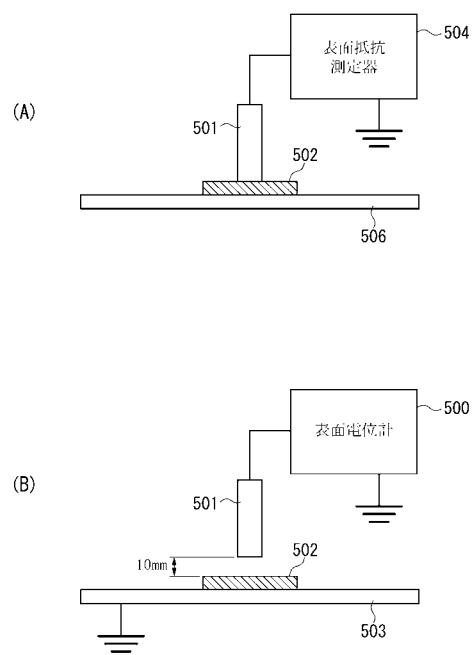
【図5】



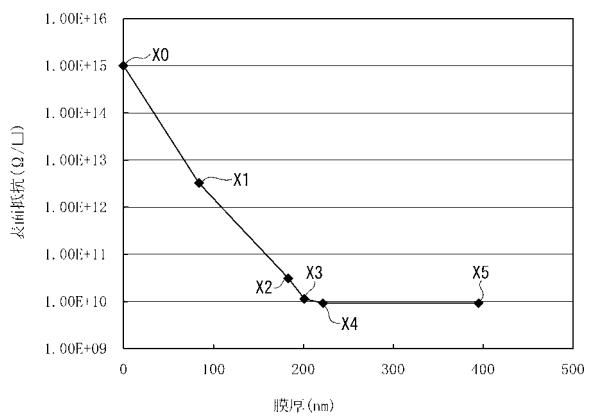
【図6】



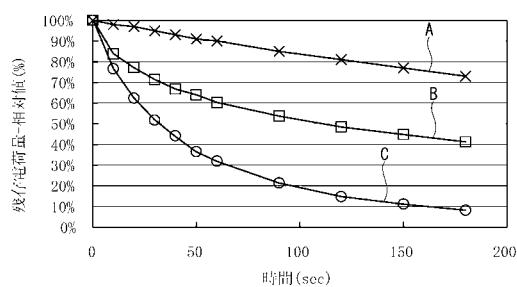
【図7】



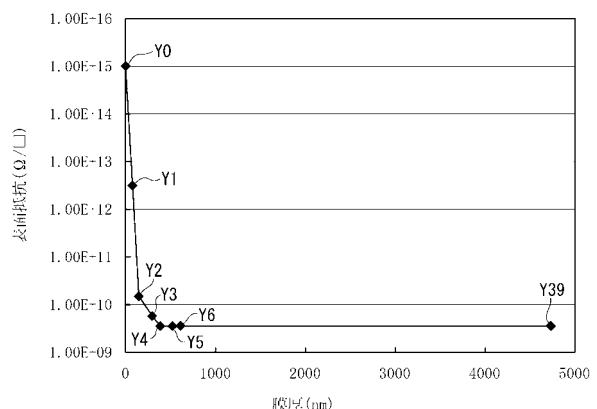
【図8】



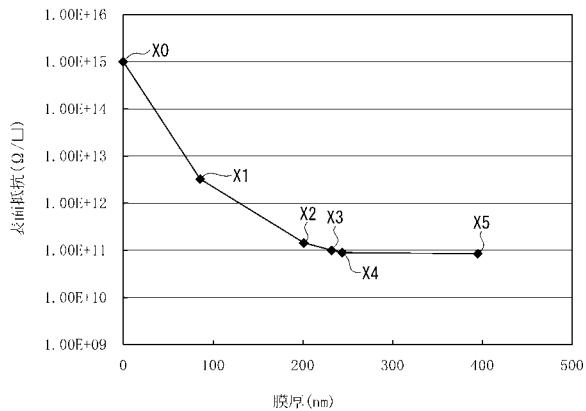
【図 9】



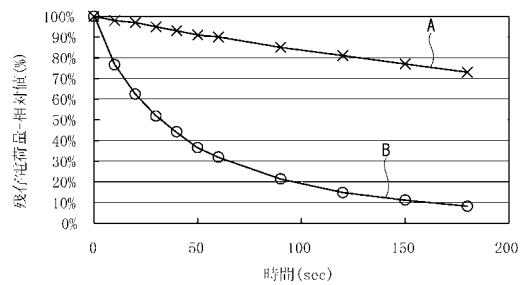
【図 10】



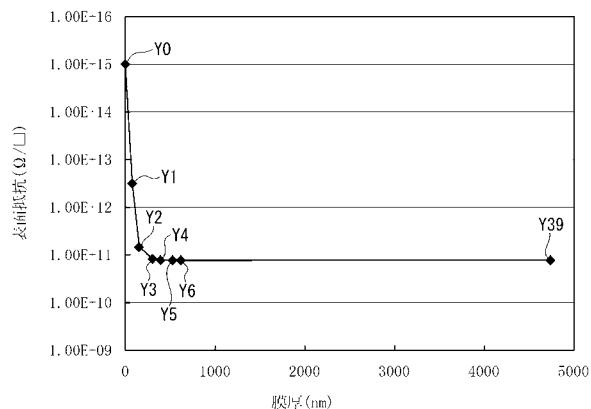
【図 11】



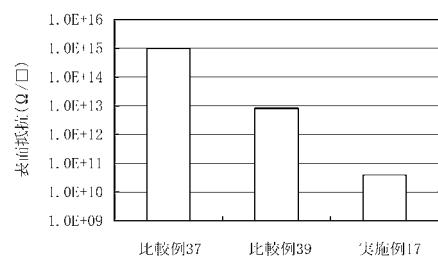
【図 12】



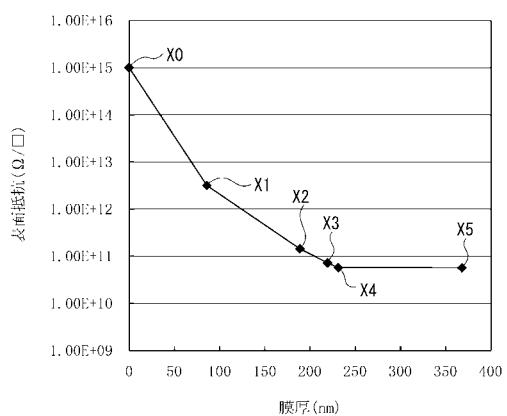
【図 1 3】



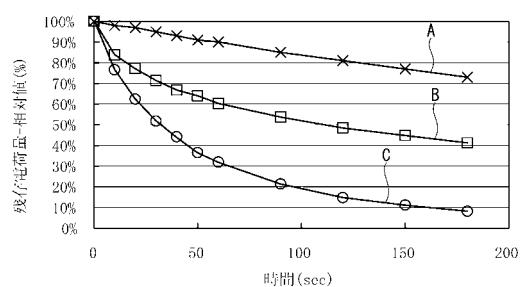
【図 1 4】



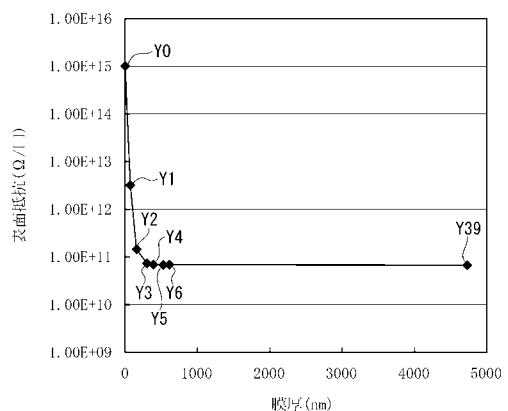
【図 1 5】



【図 1 6】



【図 17】



フロントページの続き

(51) Int.CI.	F I	テーマコード(参考)
C 2 3 C 14/08 (2006.01)	C 2 3 C 14/08	N
C 2 3 C 14/06 (2006.01)	C 2 3 C 14/06	Q

F ターム(参考) 2K009 AA02 BB02 CC03 CC26 CC42 DD03 EE05
4F100 AA20B AA21C AA27C AH05D AH06D AT00A BA05 BA07 BA10A BA10B
EH66B EH66C GB41 JA13B JG04B JG04C JK15 JM02B JM02C YY00
YY00B YY00C
4K029 AA09 AA24 BA43 BA46 BA48 BA62 BB02 BC07 CA09 DB21