

明 細 書

発明の名称：複合光学セラミックス素子の製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、複合光学セラミックス素子の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1には、レーザ発振可能な領域を含む透明性結晶体と、当該透明性結晶体に接合されている第2結晶体とを含む複合レーザ素子の製造方法が記載されている。この方法では、まず、透明性結晶体を構成し得る粉末組成物の圧粉体と、第2結晶体を構成し得る粉末組成物の圧粉体とを接触させる。その後、両圧粉体を融点の70～90%の温度範囲で加熱することにより、透明性結晶体及び第2結晶体の接合をつくる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2005-327997号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、複合セラミックスを利用したレーザとして、レーザ媒質となる第1セラミックス部の外側に、光レーザ媒質にて発生した放出光を吸収する遷移元素を含む第2セラミックス部を環状に設けたものが知られている。このようなレーザを製造する方法としては、例えば、第1セラミックス部と第2セラミックス部とを別途に製造し、それらに対して精密加工・精密研磨を施したうえで互いに圧着する方法がある。

[0005] しかし、この製造方法では、予め製造された第1セラミックス部と第2セラミックス部とが十分に密着せず、接合部分に空隙が生じて接合不良が発生しやすい。また、接合部分に空隙が生じると（接合部分に空気が介在すると）、光学特性が劣化するおそれがある。さらに、この製造方法では、第1セラミックス部と第2セラミックス部との接合部分で遷移元素の濃度が急激に

変化する。このことは、使用時に急激な熱勾配を生じさせて熱歪みの原因となる。したがって、この製造方法では、これらの問題点に起因して、レーザー光の品質劣化が生じたり、レーザー媒質が損傷したりして、光学特性が劣化するおそれがある。

[0006] これに対して、特許文献1では、上述したように2つの圧粉体を接触させる方法が開示されている。2つの圧粉体を接触させる場合には、予め各圧粉体を製造して両圧粉体を接触させる方法の他、いずれか一方の圧粉体だけを製造して容器に装填した後に、該圧粉体と容器の隙間に他方の粉末組成物を充填して加圧する場合も含まれるとされている。このように、特許文献1では、複合レーザー素子の製造に際して、レーザー発振可能な透明性結晶体の粉末組成物と、第2結晶体の粉末組成物と、の少なくとも一方を圧粉体とすることが記載されている。

[0007] このような特許文献1の方法では、接合される2つの結晶体の粉末組成物のうちの少なくとも一方が圧粉体とされることから、依然として接合部分で空隙が生じ得る。また、接合部分で遷移元素の濃度が急激に変化することによる急激な熱勾配、及びその影響に依る熱歪みの発生については、接合部分に遷移元素の濃度が徐々に変化する緩衝領域を設けることで抑制可能と考えられるが、特許文献1の方法では、同様の理由により緩衝領域が十分に形成されるとは考え難い。したがって、特許文献1の方法では、光学特性の劣化の抑制に改善の余地がある。

[0008] そこで、本開示は、光学特性の劣化を抑制可能な複合光学セラミックス素子の製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本開示に係る複合光学セラミックス素子の製造方法は、第1セラミックス部と第1セラミックス部に接合された第2セラミックス部とを含む複合光学セラミックス素子の製造方法であって、第1遷移元素を含み、第1セラミックス部のための第1粉末と、第1遷移元素を含まず、第2セラミックス部のための第2粉末と、を用意する第1工程と、第1工程の後に、第1領域に第

1 粉末を配置すると共に、第1領域に隣り合う第2領域に第2粉末を配置し、第1領域と第2領域との境界部分において第1粉末と第2粉末とを接触させて接触状態を形成する第2工程と、第2工程の後に、接触状態を維持しつつ第1粉末及び第2粉末を焼結することにより、第1粉末及び第2粉末のそれぞれから第1セラミックス部及び第2セラミックス部のそれぞれを形成し、複合体を形成する第3工程と、を備える。

[0010] この製造方法では、まず、第1遷移元素を含む第1粉末と第1遷移元素の濃度が第1粉末と異なる第2粉末とを用意する。続いて、第1領域に第1粉末を配置すると共に第2領域に第2粉末を配置して第1粉末と第2粉末とを接触させて接触状態を形成する。そして、その接触状態を維持しつつ第1粉末及び第2粉末を焼結することにより、第1粉末及び第2粉末のそれぞれから第1セラミックス部及び第2セラミックス部のそれぞれを形成し、複合体を形成する。このように、流動性のある第1粉末と第2粉末とを接触させると、その接触領域において互いに混ざり合って第1遷移元素が拡散される。よって、その後に焼結させると、第1セラミックス部と第2セラミックス部との間に空隙が生じにくいというえに、第1遷移元素が拡散することによって第1遷移元素の濃度が徐々に変化する緩衝領域が十分に形成される。したがって、複合光学セラミックス素子の光学特性の劣化を抑制可能である。なお、この製造方法では、従来の方法のようなセラミックスの形状の精密加工や接合面の精密研磨が不要となり、コストの低減が図られる。また、第2粉末において「第1遷移元素の濃度が第1粉末と異なる」とは、第2粉末が第1遷移元素を含まない場合も含まれる。

[0011] 本開示に係る複合光学セラミックス素子の製造方法では、第1粉末及び／又は第2粉末は、セラミックスの原料粉末を含んでもよい。第1粉末及び／又は第2粉末は、予め形成されたセラミックスを粉砕して粉末状としたものでもよいが、この場合のように、セラミックスの原料粉末を含んでもよい。この場合には、セラミックスを粉砕した粉末を利用する場合と比較して、焼結時の収縮率が向上し、接合部分の密着性が増すことによって接合不良（空

隙の発生等)を抑制することができる。よって、接合不良の発生による光学特性の劣化を確実に抑制可能である。

[0012] 本開示に係る複合光学セラミックス素子の製造方法では、第2粉末は、第1遷移元素と異なる第2遷移元素を含み、第1粉末が第2遷移元素を含む場合、第1粉末における第2遷移元素の濃度は、第2粉末における第2遷移元素の濃度と異なってもよい。このように、第1粉末は第2遷移元素を含まなくてもよいが、第2遷移元素を含む場合には第2セラミックス部における第2遷移元素の濃度と異なるようにすることができる。

[0013] 本開示に係る複合光学セラミックス素子の製造方法では、第2工程では、第1領域と第2領域とを仕切部材で隔てた状態で第1領域及び第2領域のそれぞれに第1粉末及び第2粉末のそれぞれを配置した後に、当該仕切部材を取り除くことにより接触状態を形成してもよい。このようにすれば、例えば第1領域と第2領域とを含む容器を用意して、当該容器に仕切部材を設けておけば、仕切部材の形状に応じて複雑な形状の接合部分を有する複合光学セラミックス素子を容易に製造できる。

[0014] 本開示に係る複合光学セラミックス素子の製造方法は、第3工程の後に、複合体の少なくとも1つの面を研磨することにより光学面を形成する第4工程を備えてもよい。この場合、光学面を有する複合光学セラミックス素子を製造できる。

[0015] 本開示に係る複合光学セラミックス素子の製造方法では、第2工程では、第1領域を囲むように環状に形成された第2領域に第2粉末を配置して接触状態を形成することにより、第1粉末と第2粉末との接触領域を環状に形成してもよい。この場合、環状の接触領域の内側から外側に向かう方向について、緩衝領域を形成可能である。

[0016] 本開示に係る複合光学セラミックス素子の製造方法では、第2工程の後であって第3工程の前において、接触状態を維持しつつ第1粉末及び第2粉末を圧縮成形する第5工程を備えてもよい。この場合、取り扱いが容易となる。

発明の効果

[0017] 本開示によれば、光学特性の劣化を抑制可能な複合光学セラミックス素子の製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1]図1は、本実施形態に係る複合光学セラミックス素子を示す図である。
- [図2]図2は、図1に示された光学素子をより具体化して示す平面図である。
- [図3]図3は、図2に示された光学素子における遷移元素の濃度を示す図である。
- [図4]図4は、図1～3に示された光学素子の製造方法の一工程を示すフローチャートである。
- [図5]図5は、図4に示された製造方向の一工程を示す図である。
- [図6]図6は、図4に示された製造方向の一工程を示す図である。
- [図7]図4に示された製造方向の一工程を示す図である。
- [図8]図4に示された製造方向の一工程を示す図である。
- [図9]図4に示された製造方向の一工程を示す図である。
- [図10]図4に示された製造方法により得られた光学素子の一例の画像である。
- [図11]図11は、本実施形態に係る製造方法により製造された別の光学素子を示す図である。
- [図12]図12は、第1変形例に係る光学素子を示す平面図である。
- [図13]図13は、図12に示された光学素子における遷移元素の濃度を示す図である。図3の(a)は、図2の領域ARにおける遷移元素の濃度分布を拡大して示す概念図であり、図3の(b)は、遷移元素の濃度分布を示すグラフである。図13は、図12に示された領域CRにおける遷移元素の濃度を示す図である。
- [図14]図14は、第2変形例に係る光学素子を示す図である。
- [図15]図15は、第3変形例に係る光学素子を示す図である。
- [図16]図16は、その他の変形例に係る光学素子を示す図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、一実施形態について図面を参照して説明する。各図の説明において、同一又は相当する要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する場合がある。

[0020] 図1は、本実施形態に係る複合光学セラミックス素子を示す図である。図1の(a)は平面図であり、図1の(b)は斜視図である。図1に示される複合光学セラミックス素子（以下、「光学素子」という）は、一例としてレーザ素子である。光学素子1は、柱状（ここでは円柱状）の第1セラミックス部10と、第1セラミックス部10を囲むように設けられた筒状（ここでは円筒状）の第2セラミックス部20と、を含む。

[0021] 第1セラミックス部10は、例えばレーザ媒質であり、セラミックスと第1遷移元素とを含む。第1セラミックス部10のセラミックスは、一例としてYAG ($Y_3Al_5O_{12}$) であり、第1遷移元素は、一例としてNdである。第2セラミックス部20は、例えばレーザ媒質にて発生した放出光を吸収することで放出光の反射を防ぐ（寄生発振を抑制する）機能を有するものであり、セラミックスと第2遷移元素とを含む。第2セラミックス部20のセラミックスは、一例として、第1セラミックス部10のセラミックスと同様であり、例えばYAG ($Y_3Al_5O_{12}$) である。第2遷移元素は、第1遷移元素と異なるものであり、一例としてSmである。

[0022] 光学素子1は、第1セラミックス部10から第2セラミックス部20に向かう方向（例えば径方向）に交差する方向における第1端面1a及び第2端面1bを含む。第1端面1a及び第2端面1bは、例えば光学素子1の径方向に沿った面である。第1端面1a及び第2端面1bは、例えば、光学素子1における光の入出射面や反射面といったように、一定の光学的な機能を有する光学面である。

[0023] ただし、光学素子1は、レーザ素子に限定されず、シンチレータ素子や白色光源等を含む発光体であり得る。また、光学素子1は、光吸収体であってもよい。セラミックス及び遷移元素についても、種々の材料が用いられ得る。

。一例として、セラミックスとしては、 $\text{Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ 、 $\text{Y}_3(\text{Al}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ 、 $\text{Ga}_3\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$ 等のガーネット構造を有する酸化物、 Sc_2O_3 、 Gd_2O_3 、 Lu_2O_3 等の希土類元素の酸化物、サファイア(Al_2O_3)、アレキサンドライト(BeAl_2O_4)等のアルミニウム系酸化物、 LiSrAlF_6 、 LiCaAlF_6 等のフッ化物、 SrHfO_3 等のHf酸化物等が挙げられる。

[0024] 図2は、図1に示された光学素子をより具体化して示す平面図である。図3は、図2に示された光学素子における遷移元素の濃度を示す図である。図3の(a)は、図2の領域ARにおける遷移元素の濃度分布を拡大して示す概念図であり、図3の(b)は、遷移元素の濃度分布を示すグラフである。図1～3に示されるように、第1セラミックス部10と第2セラミックス部20とは接合部分CPを形成している。接合部分CPは、第2セラミックス部20の外形と同様に筒状（ここでは円筒状）に形成されている。なお、ここでは、第2セラミックス部20の側面が光学素子1の側面1sを構成している。

[0025] 光学素子1では、第1セラミックス部10から第2セラミックス部20に向かう方向（ここでは径方向の中心から外側に向かう方向）について、第1遷移元素の濃度Aが漸減する緩衝領域30が形成されている（グラフGA参照）。また、光学素子1では、第2セラミックス部20から第1セラミックス部10に向かう方向（ここでは径方向の外側から中心に向かう方向）について、第2遷移元素の濃度Bが漸減する緩衝領域30が形成されている（グラフGB参照）。緩衝領域30は、例えば接合部分CPを中心に筒状（ここでは円筒状）に形成される。

[0026] 換言すれば、第1遷移元素の濃度A及び／又は第2遷移元素の濃度Bが一定値（例えば半値）以下に低下する位置を接合部分CPとし、その接合部分CPの周囲の領域を緩衝領域30とすることもできる。なお、第1遷移元素の濃度Aと第2遷移元素の濃度Bとが一定値に低下する長さが一致する必要はない（一致してもよい）。この場合、第1遷移元素の濃度Aを基準とした

緩衝領域30の長さL30と、第2遷移元素の濃度Bを基準とした緩衝領域30の長さL30とが一致しなくてもよい（一致してもよい）。

[0027] なお、光学素子1の平面視における全体の寸法（幅、ここでは直径）は、例えば25mm～100mm程度であり、そのうち第2セラミックス部20の幅は例えば5mm程度である。そして、緩衝領域30の長さL30（径方向の長さ）は、一例として100μm以上である。光学素子1の平面視における全体の寸法に対する緩衝領域30の長さL30の割合は、一例として、0.1%以上とすることができる。

[0028] 引き続き、上述した光学素子1の製造方法、すなわち、本実施形態に係る複合光学セラミックス素子の製造方法について説明する。図4は、図1～3に示された光学素子の製造方法の一工程を示すフローチャートである。図4に示されるように、この製造方法では、まず、第1セラミックス部10の元となる第1粉末、及び第2セラミックス部20の元となる第2粉末を用意する（工程S1：第1工程）。

[0029] この工程S1では、まず、第1遷移元素を含む原料混合粉末である第1粉末を用意する。そのために、セラミックス及び第1遷移元素の原料粉末を適切な比率で秤量する。続いて、当該原料粉末に対してバインダ等の添加剤を加え、湿式粉碎及び混合によりスラリを調整する。続いて、当該スラリを乾燥して乾式粉碎を行う。これにより、第1遷移元素を含んだセラミックスの原料混合粉末である第1粉末が得られる。すなわち、第1粉末は、セラミックスの原料粉末を含む。一方で、同様の工程により、第1遷移元素と異なる第2遷移元素を含む原料混合粉末である第2粉末を用意する。ここでは、第2粉末は、第1遷移元素を含まない。すなわち、ここでは、第2粉末における第1遷移元素の濃度は、第1粉末と異なり0%である。また、第2粉末も、第1粉末と同様にセラミックスの原料粉末を含む。なお、第1粉末の用意及び第2粉末の用意の順序は問われない。また、原料粉末とは、焼結後の目標セラミックスになる（混合）原料を意味する。一例としてYAG（ $Y_3Al_5O_{12}$ ）セラミックスの原料は Y_2O_3 及び Al_2O_3 であり、第1遷移元素原

料は一例として Nd_2O_3 であり、第2遷移元素原料は一例として Sm_2O_3 である。ここでは、第1粉末は、第2遷移元素（Sm）を含まない、すなわち、第1粉末における第2遷移元素の濃度は0%である。

[0030] ここで、必要に応じて、第1粉体及び／又は第2粉体を造粒する工程が実施されてもよい。造粒により、各粉体の流動性を高めるとともに、各粉体の粒子径を均一とすることで、両粉体の接触時に粉体同士が互いに混ざり合いやすくすることができる。第1粉体及び第2粉体の粒子径（平均2次粒子径）は一例として $1\mu\text{m}$ 以上 $50\mu\text{m}$ 以下である。粒子径が $1\mu\text{m}$ 以上であれば、各粉体の流動性が向上する。また、粒子径が $50\mu\text{m}$ 以下であれば、成形体の透明性が増す。粒子径をコントロールすることにより、各粉体の流動性及び、緩衝領域の長さを調整することができる。

[0031] 続いて、図5の（a）に示されるように、容器Qを用意する（工程S2）。容器Qは、例えば金型である外容器Q1と、外容器Q1の内部に挿抜可能に配置された内容器Q2と、を含む。外容器Q1は、一方が開放された箱状に形成されている。外容器Q1の内壁面は、光学素子1の側面1sの形状を規定する。したがって、外容器Q1の内壁面は、光学素子1の外形（ここでは第2セラミックス部20の外形）と同様の外形を有している。ここでは、外容器Q1の内壁面は円筒状である。

[0032] 内容器Q2は、両端が開放された筒状に形成されている。内容器Q2の形状は、第1セラミックス部10の外形及び接合部分CPの形状を規定する。したがって、ここでは、内容器Q2は円筒状に形成されている。内容器Q2は、外容器Q1に比べて薄く構成されており、例えば紙、樹脂フィルム、金属フィルム、金属板等から形成され得る。内容器Q2は、外容器Q1の内壁面から離間して配置される。これにより、容器Qには、内容器Q2の内部の第1領域R1と、内容器Q2と外容器Q1との間の第2領域R2と、が形成される。

[0033] 換言すれば、内容器Q2は、容器Qにおいて第1領域R1と第2領域R2とを隔てる仕切部材である。第1領域R1は、第1セラミックス部10に対

応して柱状（円柱状）に形成され、第2領域R 2は、第2セラミックス部20に対応して、第1領域R 1を取り囲むように筒状（円筒状）に形成される。

[0034] 内容器Q 2（仕切部材）の厚みは、例えば0.1 mm～1 mm程度である。内容器Q 2の厚みが0.1 mm以上であれば、第1領域R 1と第2領域R 2との間の距離が大きくなり、内容器Q 2が取り除かれたときに第1粉末と第2粉末とが混ざりやすくなり、十分な長さの境界領域が形成される。内容器Q 2の厚みが1 mm以下であれば、内容器Q 2が取り除かれたときに、第1粉末と第2粉末の境界付近において、第1領域R 1と第2領域R 2の形状が保たれやすくなる（界面が粗くならない）。また、第1領域R 1と第2領域R 2との間の距離が小さくなりやすく、境界領域が必要以上に長くなることを防止することができる。

[0035] 内容器Q 2（仕切部材）は、第1領域R 1及び第2領域R 2を、鉛直方向（重力の作用する方向）に仕切っている。鉛直方向に第1領域R 1と第2領域R 2とを仕切ることによって、内容器Q 2（仕切部材）が取り除かれたときに、仕切部材が鉛直方向に垂直な方向に第1領域R 1と第2領域R 2とを仕切っている場合と比べて、第1粉体及び第2粉体の境界領域において、粉体同士が混ざりやすくなる。

[0036] 続く工程では、図5の（b）に示されるように、工程S 1で用意された第2粉末P 2を第2領域R 2に配置する（工程S 3：第2工程）。第2粉末P 2は、粉状であり流動性を有している。したがって、第2粉末P 2は、この工程S 3で第2領域R 2に導入されることにより、全体として、第2領域R 2の形状と同様の形状を一時的に呈する。

[0037] 続く工程では、図6の（a）に示されるように、工程S 1で用意された第1粉末P 1を第1領域R 1に配置する（工程S 4：第2工程）。第1粉末P 1は、粉状であり流動性を有している。したがって、第1粉末P 1は、この工程S 4で第1領域R 1に導入されることにより、全体として、第1領域R 1の形状と同様の形状を一時的に呈する。このように、これらの工程S 3、

S 4 では、第 1 領域 R 1 と第 2 領域 R 2 とを内容容器 Q 2 で隔てた状態で、第 1 領域 R 1 及び第 2 領域 R 2 のそれぞれに第 1 粉末 P 1 及び第 2 粉末 P 2 のそれぞれを配置することとなる。なお、工程 S 3 と工程 S 4 との順序は限定されない。

[0038] 続く工程では、第 1 粉末 P 1 と第 2 粉末 P 2 とを含む成形体を形成する（工程 S 5：第 2 工程）。この工程 S 5 について、より具体的に説明する。工程 S 5 では、まず、図 6 の（a），（b）に示されるように、第 1 領域 R 1 と第 2 領域 R 2 とを隔てている内容容器 Q 2 を取り除くことにより、第 1 領域 R 1 と第 2 領域 R 2 との境界部分において第 1 粉末 P 1 と第 2 粉末 P 2 とを接触させて接触状態を形成する。

[0039] これにより、第 1 領域 R 1 と第 2 領域 R 2 との接触領域 P a が形成される。接触領域 P a は、内容容器 Q 2 と同様に筒状（ここでは円筒状）に形成される。接触領域 P a では、第 1 粉末 P 1 と第 2 粉末 P 2 とが互いに分散されて部分的に混合された状態となる。このように、以上の工程 S 3～S 5 では、流動性を有する粉末同士を接触させることとなる。

[0040] 続いて、図 7 の（a）に示されるように、工程 S 5 では、上記のとおり、第 1 粉末 P 1 と第 2 粉末 P 2 との接触状態が形成された状態において、加圧部材 Q 3 により第 1 粉末 P 1 及び第 2 粉末 P 2 の全体をプレスすることにより圧縮成形を行い、第 1 粉末 P 1 と第 2 粉末 P 2 とが一体化された成形体 P A を形成する（成形体 P A については図 7 の（b）参照）（第 5 工程）。これにより、第 1 粉末 P 1 と第 2 粉末 P 2 とが、接触状態を維持しつつも一体化され、後の工程での取り扱いが容易となる。なお、この第 1 粉末 P 1 及び第 2 粉末 P 2 の全体をプレスする工程では、成形体 P A の密度を高めるため、必要に応じて「冷間等方圧加圧処理（CIP）」を施してもよい。

[0041] 続く工程では、図 7 の（b）に示されるように、工程 S 5 で形成された成形体 P A を所定の加熱装置 D 1 に配置し、成形体 P A を加熱する（工程 S 6）。これにより、成形体 P A（すなわち第 1 粉末 P 1 及び第 2 粉末 P 2）に含まれる有機物等の添加物を除去・脱脂する（仮焼成を行う）。

- [0042] 続いて、図8の(a)に示されるように、工程S6を経た成形体PAを所定の加熱装置D2に配置する(工程S7:第3工程)。そして、図8の(b)に示されるように、成形体PAを焼成することにより、第1粉末P1から第1セラミックス部10を形成すると共に第2粉末P2から第2セラミックス部20を形成し、それらの複合体PBを構成する(工程S7:第3工程)(本焼成を行う)。上述したように、成形体PAでは、第1粉末P1と第2粉末P2との接触状態が維持されている。したがって、この工程S7では、第1粉末P1と第2粉末P2との接触状態を維持しつつ第1粉末P1及び第2粉末P2を焼結することにより、第1粉末P1及び第2粉末P2のそれぞれから第1セラミックス部10及び第2セラミックス部20のそれぞれを形成して複合体PBを形成することとなる。なお、加熱装置D1と加熱装置D2とは同一の装置であってもよい異なる装置であってもよい。
- [0043] その後、図9に示されるように、工程S7で形成された複合体PBの少なくとも1つの面を研磨することにより、光学面を形成する(工程S8:第4工程)。ここでは、複合体PBにおける第1セラミックス部10から第2セラミックス部20に向かう方向に交差する方向の両端面を研磨することによって、光学面である第1端面1a及び第2端面1bを形成する。これにより、光学素子1が得られる。以上のようにして得られた光学素子1の一例の画像を図10に示す。図10に示される光学素子1では、第1セラミックス部10及び第2セラミックス部20のセラミックスとしてYAGが用いられ、第1遷移元素としてNdが用いられ、第2遷移元素としてSmが用いられている。
- [0044] ここで、本実施形態において第2セラミックス部20は第2遷移元素であるSmの効果により、第1セラミックス部10にて発生した放出光を吸収することで、放出光の反射を防ぐ(寄生発振を抑制する)機能を有する。放出光の吸収により第2セラミックス部20には顕著な熱が発生するが、十分に長い緩衝領域30が形成されていることで、光学素子1の使用時において、急激な熱勾配による熱歪みを確実に抑制することができる。

- [0045] 図11は、本実施形態に係る製造方法により製造された別の光学素子を示す図である。図11の(a)は平面視による画像であり、図11の(b)は図11の(a)の領域BRの拡大画像であり、図11の(c)は遷移元素の濃度分布を示すグラフである。図11の各グラフは、図11の(b)に示される6点での濃度計測結果を示している。図11に示されるように、第1セラミックス部10と第2セラミックス部20との界面付近では、第1セラミックス部10及び第2セラミックス部20の一方側から他方側に向かうにつれて遷移元素(Sm又はNd)の相対濃度が漸減又は漸増するように、数百 μm から1mm程度の緩衝領域が形成されていることが把握される。
- [0046] 以上説明したように、本実施形態に係る製造方法では、まず、第1遷移元素を含む第1粉末P1と第1遷移元素を含まない(ここでは第2遷移元素を含む)第2粉末P2とを用意する。続いて、第1領域R1に第1粉末P1を配置すると共に第2領域R2に第2粉末P2を配置して第1粉末P1と第2粉末P2とを接触させて接触状態を形成する。そして、その接触状態を維持しつつ第1粉末P1及び第2粉末P2を焼結することにより、第1粉末P1及び第2粉末P2のそれぞれから第1セラミックス部10及び第2セラミックス部20のそれぞれを形成し、複合体PBを形成する。
- [0047] このように、流動性のある第1粉末P1と第2粉末P2とを接触させると、その接触領域Paにおいて互いに混ざり合って第1遷移元素が拡散される。よって、その後に焼結させると、第1セラミックス部10と第2セラミックス部20との間に空隙(欠陥)が生じにくいというに、第1遷移元素が拡散することによって第1遷移元素の濃度が徐々に変化する緩衝領域30が十分に形成される。これにより、光学素子1の使用時において、急激な熱勾配による熱歪みが抑制される。したがって、複合光学セラミックス素子(光学素子1)の光学特性の劣化を抑制可能である。なお、この製造方法では、従来の方法のようなセラミックスの形状の精密加工や接合面の精密研磨が不要となり、コストの低減が図られる。なお、ここでの「拡散」とは、熱による原子の拡散ではなく、粉体同士が接触した際に生じる、粉体同士が混ざり合う

ことによる拡散を意味している。

[0048] なお、特許文献 1 に記載された方法では、少なくとも、圧粉体を形成するための圧力成形と、圧粉体と粉末とを一体化するための圧力成形と、の 2 回の圧力成形が必要となる。また、圧粉体と粉末とを合わせて圧力成形する場合には、互いの密度差が大きくなり大型素子の作製が困難である。これに対して、本実施形態に係る製造方法では、互いに接触された粉末同士を一括して圧力成形するため、1 回の圧力成形で足りる。また、粉末同士で一括成形するため、互いの密度差が相対的に小さく、大型素子の作製が容易となる。

[0049] また、本実施形態に係る製造方法では、第 1 粉末 P 1 及び第 2 粉末 P 2 は、セラミックスの原料粉末を含む。第 1 粉末 P 1 及び／又は第 2 粉末 P 2 は、予め形成されたセラミックスを粉砕して粉末状としたものでもよいが、本実施形態のように、セラミックスの原料粉末を含んでもよい。この場合には、セラミックスを粉砕した粉末を利用する場合と比較して、焼結時の収縮率が向上し、接合部分の密着性が増すことによって接合不良（空隙の発生等）を抑制することができる。よって、接合不良の発生による光学特性の劣化を確実に抑制可能である。

[0050] 本実施形態に係る製造方法では、工程 S 2 ～ S 5 では、第 1 領域 R 1 と第 2 領域 R 2 とを内容器 Q 2 で隔てた状態で第 1 領域 R 1 及び第 2 領域 R 2 のそれぞれに第 1 粉末 P 1 及び第 2 粉末 P 2 のそれぞれを配置した後に、当該内容器 Q 2 を取り除くことにより接触状態を形成する。このようにすれば、内容器 Q 2 の形状に応じて複雑な形状の接合部分 C P を有する光学素子 1 を容易に製造できる。

[0051] 本実施形態に係る製造方法は、工程 S 7 の後に、複合体 P B の端面を研磨することにより光学面である第 1 端面 1 a 及び第 2 端面 1 b 光学面を形成する工程 S 8 を備えている。このため、光学面を有する光学素子 1 を製造できる。

[0052] 本実施形態に係る製造方法では、工程 S 2 ～ S 5 では、第 1 領域 R 1 を囲むように筒状に形成された第 2 領域 R 2 に第 2 粉末 P 2 を配置して接触状態

を形成することにより、第1粉末P1と第2粉末P2との接触領域Paを筒状に形成する。このため、筒状の接触領域Paの内側から外側に向かう方向に対応するように、緩衝領域30を形成可能である。

[0053] 以上の実施形態は、複合光学セラミックス素子の製造方法の一例である。したがって、本開示に係る複合光学セラミックス素子の製造方法は任意に変形され得る。引き続いて、変形例について説明する。

[第1変形例]

[0054] 図12は、第1変形例に係る光学素子を示す平面図である。図13は、図12に示された光学素子における遷移元素の濃度を示す図である。図13の(a)は、図12の領域CRにおける遷移元素の濃度分布を拡大して示す概念図であり、図13の(b)は、遷移元素の濃度分布を示すグラフである。図12及び図13に示されるように、第1変形例に係る光学素子（複合光学セラミックス素子）1Aは、上記実施形態に係る光学素子1と比較して、第2セラミックス部20が第2遷移元素を含まない点で相違している。このように、第2セラミックス部20が遷移元素を含まない場合であっても、上記実施形態に係る製造方法を用いることにより、光学素子1Aに対して、第1セラミックス部10から第2セラミックス部20に向かう方向に第1遷移元素の濃度が漸減する緩衝領域30を形成できる。

[第2変形例]

[0055] 図14は、第2変形例に係る光学素子を示す図である。図14の(a)は平面図であり図14の(b)は斜視図である。図14に示されるように、第2変形例に係る光学素子（複合光学セラミックス素子）1Bは、上記実施形態に係る光学素子1と比較して、第1セラミックス部10が角柱状（四角柱状）に形成されており、第2セラミックス部20が矩形筒状に形成されている点で相違している。この場合、工程S2において矩形筒状の外容器Q1及び矩形筒状の内容容器Q2を用意することにより、これらの形状を実現しつつ接合部分CP及び緩衝領域30も角筒状に形成することが可能である。この場合であっても、上記実施形態と同様の効果が奏される。

[0056] 特に、本変形例のように、接合部分C Pが角部を有する場合、角部に応力が集中しやすく、第1セラミックス部1 0と第2セラミックス部2 0との角部の界面について接合不良（空隙の発生等）が生じやすい。本開示に係る方法によれば、そのような場合であっても、接合不良による光学特性の劣化を効果的に抑制することができる。

[第3変形例]

[0057] 図1 5は、第3変形例に係る光学素子を示す図である。図1 5の（a）は平面図であり、図1 5の（b）は斜視図である。図1 5に示されるように、第3変形例に係る光学素子（複合光学セラミックス素子）1 Cは、上記実施形態に係る光学素子1と比較して、第2セラミックス部2 0を囲うように筒状（ここでは円筒状）の第3セラミックス部4 0が形成されている点で相違している。

[0058] このような光学素子1 Cを製造する際には、一例として、まず、工程S 2において、外容器Q 1と内容器Q 2の間に内容器Q 2を囲うように筒状（円筒状）の中間容器を設ける。これにより、外容器Q 1と中間容器との間に第3領域を形成すると共に、中間容器と内容器Q 2との間を第2領域R 2とする。そして、工程S 5の前において、外容器Q 1と中間容器との間の第3領域に、第3セラミックス部4 0のための第3粉末を配置する。また、第2領域R 2に第2粉末P 2を配置し、第1領域R 1に第1粉末P 1を配置する。そして、以降の工程を実施する。これにより、光学素子1 Cが得られる。

[0059] したがって、光学素子1 Cでは、第1セラミックス部1 0と第2セラミックス部2 0との間に接合部分C P 1及び緩衝領域3 0が形成され、第2セラミックス部2 0と第3セラミックス部4 0との間に緩衝領域5 0が形成される。緩衝領域5 0では、第2セラミックス部2 0から第3セラミックス部4 0に向かう方向（ここでは径方向の中心から外側に向かう方向）に第2遷移元素の濃度が漸減すると共に、第3セラミックス部4 0が遷移元素を含む場合には、当該遷移元素の濃度が第3セラミックス部4 0から第2セラミックス部2 0に向かう方向（ここでは径方向の外側から中心に向かう方向）に漸

減する。以上により、この場合であっても、第1実施形態と同様の効果が奏される。

[0060] 特に、本変形例のように、3つ以上のセラミックス部が複合される場合には、各セラミックス部のための異なる材料同士の密度及び収縮率の違いにより接合不良（空隙の発生等）が生じやすい。本開示に係る方法によれば、そのような場合であっても、接合不良による光学特性の劣化を効果的に抑制することができる。また、本変形例のように、3つ以上のセラミックス部が複合される場合であっても、一括して成形することができるため、製造工程を簡略化できる。

[その他の実施形態]

[0061] その他、図16に示されるように、工程S2で用意する外容器Q1及び内容器Q2の形状を適宜設定することにより、第1セラミックス部10及び第2セラミックス部20を任意の形状に形成可能であると共に、別のセラミックス部を形成することも可能である。図16の(a)に示された光学素子1Dでは、第1セラミックス部10が多角形柱状に形成されており、図16の(b)に示された光学素子1Eでは、第2セラミックス部20の中に複数の柱状（ここでは円柱状）の第1セラミックス部10が形成されている。図16の(b)の場合、工程S2で複数の内容器Q2を用意しつつ、以降同様の工程を実施することにより、それぞれの第1セラミックス部10の周りに筒状（円筒状）の緩衝領域30（不図示）を形成することができる。

[0062] なお、以上の例において、第1粉末P1は、第1遷移元素の他に遷移元素を含まなくてもよいし、第1遷移元素に加えて他の遷移元素（例えば第2遷移元素）を含んでもよい。第1粉末P1が第2元素を含む場合、第1粉末P1における第2遷移元素の濃度は、第2粉末P2における第2遷移元素と異なってもよい。また、第2粉末P2は、第1粉末P1と同様の第1遷移元素を含んでいてもよい。この場合、第2粉末P2における第1遷移元素の濃度は、第1粉末P1における第1遷移元素の濃度と異なる。一例として、第2粉末P2が第1遷移元素を含む場合、第2粉末P2における第1遷移元素の

濃度は、第1粉末P1における第1遷移元素の濃度未満であり得る。

[0063] また、第1粉末P1及び／又は第2粉末P2は、セラミックスの原料粉末に加えて、或いは、セラミックの原料粉末に代えて、予め形成されたセラミックスを粉砕して形成される粉末状のセラミックスを含んでいてもよい。

[0064] さらに、以上の例では、第1セラミックス部10を第2セラミックス部20が囲う形態の光学素子1の製造方法を挙げた。しかし、平板状の第1セラミックス部10と平板状の第2セラミックス部20とが積層される形態の光学素子を製造する場合であっても、同様の製造方法が適用され得る。すなわち、第1セラミックス部10のための第1粉末P1に対して第2セラミックス部20のための第2粉末P2を積層して接触状態を形成し、その接触状態を維持しつつ焼結すれば、積層方向に緩衝領域30を形成して同様の効果を奏することが可能となる。

産業上の利用可能性

[0065] 光学特性の劣化を抑制可能な複合光学セラミックス素子の製造方法が提供される。

符号の説明

[0066] 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E…光学素子（複合光学セラミックス素子）、1a…第1端面（光学面）、1b…第2端面（光学面）、10…第1セラミックス部、20…第2セラミックス部、30…緩衝領域、CP…接合部分、P1…第1粉末、P2…第2粉末、R1…第1領域、R2…第2領域、Q2…内容器（仕切部材）、PB…複合体。

請求の範囲

- [請求項1] 第1セラミックス部と前記第1セラミックス部に接合された第2セラミックス部とを含む複合光学セラミックス素子の製造方法であって、
- 第1遷移元素を含み、前記第1セラミックス部のための第1粉末と、前記第1遷移元素の濃度が前記第1粉末と異なり、前記第2セラミックス部のための第2粉末と、を用意する第1工程と、
- 前記第1工程の後に、第1領域に前記第1粉末を配置すると共に、前記第1領域に隣り合う第2領域に前記第2粉末を配置し、前記第1領域と前記第2領域との境界部分において前記第1粉末と前記第2粉末とを接触させて接触状態を形成する第2工程と、
- 前記第2工程の後に、前記接触状態を維持しつつ前記第1粉末及び前記第2粉末を焼結することにより、前記第1粉末及び前記第2粉末のそれぞれから前記第1セラミックス部及び前記第2セラミックス部のそれぞれを形成し、複合体を形成する第3工程と、
- を備える複合光学セラミックス素子の製造方法。
- [請求項2] 前記第1粉末及び／又は前記第2粉末は、セラミックスの原料粉末を含む、
- 請求項1に記載の複合光学セラミックス素子の製造方法。
- [請求項3] 前記第2粉末は、前記第1遷移元素と異なる第2遷移元素を含み、
- 前記第1粉末が前記第2遷移元素を含む場合、前記第1粉末における前記第2遷移元素の濃度は、前記第2粉末における前記第2遷移元素の濃度と異なる、
- 請求項1又は2に記載の複合光学セラミックス素子の製造方法。
- [請求項4] 前記第2工程では、前記第1領域と前記第2領域とを仕切部材で隔てた状態で前記第1領域及び前記第2領域のそれぞれに前記第1粉末及び前記第2粉末のそれぞれを配置した後に、当該仕切部材を取り除くことにより前記接触状態を形成する、

請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の複合光学セラミックス素子の製造方法。

[請求項5] 前記第 3 工程の後に、前記複合体の少なくとも 1 つの面を研磨することにより光学面を形成する第 4 工程を備える、

請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の複合光学セラミックス素子の製造方法。

[請求項6] 前記第 2 工程では、前記第 1 領域を囲むように筒状に形成された前記第 2 領域に前記第 2 粉末を配置して前記接触状態を形成することにより、前記第 1 粉末と前記第 2 粉末との接触領域を筒状に形成する、

請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の複合光学セラミックス素子の製造方法。

[請求項7] 前記第 2 工程の後であって前記第 3 工程の前において、前記接触状態を維持しつつ前記第 1 粉末及び前記第 2 粉末を圧縮成形する第 5 工程を備える、

請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の複合光学セラミックス素子の製造方法。