

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7337713号  
(P7337713)

(45)発行日 令和5年9月4日(2023.9.4)

(24)登録日 令和5年8月25日(2023.8.25)

(51)国際特許分類 F I  
G 0 2 F 1/03 (2006.01) G 0 2 F 1/03 5 0 5

請求項の数 24 (全19頁)

(21)出願番号	特願2020-2430(P2020-2430)	(73)特許権者	000004064 日本碍子株式会社 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号
(22)出願日	令和2年1月9日(2020.1.9)	(74)代理人	110000110 弁理士法人 快友国際特許事務所
(62)分割の表示	特願2019-549494(P2019-549494) )の分割	(72)発明者	鶴野 雄大 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
原出願日	令和1年7月11日(2019.7.11)	(72)発明者	多井 知義 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
(65)公開番号	特開2020-76998(P2020-76998A)	(72)発明者	近藤 順悟 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
(43)公開日	令和2年5月21日(2020.5.21)	審査官	奥村 政人
審査請求日	令和4年7月8日(2022.7.8)		
(31)優先権主張番号	PCT/JP2018/041548		
(32)優先日	平成30年11月8日(2018.11.8)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電気光学素子のための複合基板とその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

電気光学素子のための複合基板であって、  
電気光学効果を有する電気光学結晶基板と、  
前記電気光学結晶基板に接しているとともに、前記電気光学結晶基板よりも屈折率の低い低屈折率層と、  
前記低屈折率層に少なくとも接合層を介して接合された支持基板と、を備え、  
前記低屈折率層と前記支持基板との間に存在する複数の界面の少なくとも一つは、前記電気光学結晶基板と前記低屈折率層との間の界面よりも、粗面度が大きい界面であり、  
前記電気光学結晶基板は、c軸が前記電気光学結晶基板に平行な平面と10°以内の角度を成すオフセット基板である、  
複合基板。

【請求項2】

前記電気光学結晶基板は、分極反転部が形成されている、請求項1に記載の複合基板。

【請求項3】

前記低屈折率層の厚みは、0.1μmから10μmまでの範囲内である、請求項1又は2に記載の複合基板。

【請求項4】

前記電気光学結晶基板の厚みは、0.1μmから10μmまでの範囲内である、請求項1から3のいずれか一項に記載の複合基板。

## 【請求項 5】

前記粗面度が大きい界面の粗面度は、前記電気光学結晶基板と前記低屈折率層との間の界面の粗面度の3倍以上である、請求項1から4のいずれか一項に記載の複合基板。

## 【請求項 6】

前記粗面度が大きい界面の粗面度は、前記電気光学結晶基板と前記低屈折率層との間の界面の粗面度の5倍以上である、請求項1から5のいずれか一項に記載の複合基板。

## 【請求項 7】

前記電気光学結晶基板と前記低屈折率層との間の界面の算術平均粗さ(Ra)は、0.03nmから0.5nmまでの範囲内であり、

前記粗面度が大きい界面の算術平均粗さ(Ra)は、0.5nmから500nmまでの範囲内である、請求項1から6のいずれか一項に記載の複合基板。

10

## 【請求項 8】

前記粗面度が大きい界面の算術平均粗さ(Ra)は、0.5nmから10nmまでの範囲内である、請求項1から7のいずれか一項に記載の複合基板。

## 【請求項 9】

前記粗面度の大きい界面は、前記低屈折率層と前記接合層との間の界面である、請求項1から8のいずれか一項に記載の複合基板。

## 【請求項 10】

前記低屈折率層と前記接合層との間の界面の算術平均粗さ(Ra)は、前記低屈折率層の厚みの1000分の1以上である、請求項9に記載の複合基板。

20

## 【請求項 11】

前記低屈折率層と前記接合層との間の界面の算術平均粗さ(Ra)は、0.5nm以上であり、

前記低屈折率層の厚みは、0.5μm以上である、請求項9又は10に記載の複合基板。

## 【請求項 12】

前記粗面度の大きい界面は、前記接合層と前記支持基板との間の界面である、請求項1から11のいずれか一項に記載の複合基板。

## 【請求項 13】

前記低屈折率層と前記接合層との間に位置する中間層をさらに備え、

前記粗面度の大きい界面は、前記中間層と前記接合層との間の界面である、請求項1から12のいずれか一項に記載の複合基板。

30

## 【請求項 14】

前記接合層と前記支持基板との間に位置する中間層をさらに備え、

前記粗面度の大きい界面は、前記中間層と前記支持基板との間の界面である、請求項1から13のいずれか一項に記載の複合基板。

## 【請求項 15】

導電体で構成された導電層をさらに備え、

前記粗面度が大きい界面は、前記電気光学結晶基板と前記導電層との間に位置する複数の界面のいずれかである、請求項1から14のいずれか一項に記載の複合基板。

## 【請求項 16】

前記導電層は、前記接合層の少なくとも一部である、請求項15に記載の複合基板。

40

## 【請求項 17】

前記電気光学結晶基板は、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、チタン酸リン酸カリウム、ニオブ酸カリウム・リチウム、ニオブ酸カリウム、タンタル酸・ニオブ酸カリウム、及び、ニオブ酸リチウムとタンタル酸リチウムとの固溶体、のうちのいずれかの基板である、請求項1から16のいずれか一項に記載の複合基板。

## 【請求項 18】

前記低屈折率層は、酸化シリコン、酸化タンタル、酸化アルミニウム、フッ化マグネシウム、及び、フッ化カルシウム、のうちの少なくとも一つで構成されている、請求項1から17のいずれか一項に記載の複合基板。

50

## 【請求項 19】

前記接合層は、酸化タンタル、酸化ニオブ、シリコン、酸化アルミニウム、酸化チタン、金、銀、銅、アルミニウム、白金、及び、それらの金属のうち少なくとも二つを含む合金、のうちの少なくとも一つで構成されている、請求項 1 から 18 のいずれか一項に記載の複合基板。

## 【請求項 20】

前記支持基板は、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、シリコン、ガラス、サイアロン、ムライト、窒化アルミニウム、窒化シリコン、酸化マグネシウム、サファイア、石英、水晶、窒化ガリウム、炭化シリコン、酸化ガリウムのうちのいずれかの基板である、請求項 1 から 19 のいずれか一項に記載の複合基板。

10

## 【請求項 21】

電気光学素子のための複合基板の製造方法であって、  
電気光学効果を有する電気光学結晶基板の表面に、前記電気光学結晶基板よりも屈折率の低い低屈折率層を形成する工程と、  
前記電気光学結晶基板上に設けられた前記低屈折率層の表面に、接合層を形成する工程と、

前記低屈折率層上に形成された前記接合層の表面に、支持基板を接合する工程と、  
を備え、  
前記低屈折率層の形成前における前記電気光学結晶基板の前記表面の粗面度よりも、前記接合層の形成前における前記低屈折率層の前記表面の粗面度の方が大きく、

20

前記電気光学結晶基板は、c軸が前記電気光学結晶基板に平行な平面と10°以内の角度を成すオフセット基板である、  
製造方法。

## 【請求項 22】

前記接合層を形成する工程と前記支持基板を接合する工程との間に、前記接合層の前記表面を平滑化する工程をさらに備える、請求項 21 に記載の製造方法。

## 【請求項 23】

前記低屈折率層を形成する工程では、前記低屈折率層をスパッタリングによって形成する、請求項 21 又は 22 に記載の製造方法。

## 【請求項 24】

前記支持基板を接合する工程の前に、前記支持基板の表面に接合層を形成する工程をさらに備える、請求項 21 から 23 のいずれか一項に記載の製造方法。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本明細書で開示する技術は、電気光学効果を利用する電気光学素子（例えば、光変調器）のための複合基板に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

光変調器といった電気光学素子が知られている。電気光学素子は、電気光学効果を利用して、電気信号を光信号に変換することができる。電気光学素子は、例えば光電波融合通信に不可欠な要素であり、高速かつ大容量な通信を実現するために、さらなる開発が進められている。

40

## 【0003】

特開 2010-85789 号公報に、光変調器が開示されている。この光変調器は、電気光学素子の一種であり、複合基板を用いて構成されている。複合基板は、電気光学結晶基板と、電気光学結晶基板に接合層を介して接合された支持基板とを備える。支持基板や接合層には、電気光学結晶基板よりも低い屈折率を有する材料が採用されている。

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

50

## 【 0 0 0 4 】

上記の光変調器を含め、従来の電気光学素子では、支持基板の厚みを大きくするほど、複合基板の機械的な強度（即ち、電気光学素子の機械的な強度）を高めることができる。その一方で、支持基板の厚みを大きくしていくと、電気光学素子を高周波帯域（例えば、10ギガヘルツ以上）で使用したときに、複合基板内で電磁波が共振するおそれが高くなる。このような共振が発生すると、電気光学素子の出力信号に意図しないリップル（変動）が生じるなど、電気光学素子の正常な動作が妨げられる。

## 【 0 0 0 5 】

そのことから、本明細書では、複合基板における電磁波の共振を抑制し得る技術が提供される。

10

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 6 】

電気光学結晶基板に高周波の電気信号が印加されると、それに起因する電磁波が、複合基板の表面や界面で反射されながら、複合基板内を厚み方向に沿って繰り返し伝播する。そして、このような電磁波が同位相で互いに重なり合うことで、上述した複合基板内での共振が生じてしまう。そのことから、本明細書が開示する技術では、複合基板内に存在する複数の界面の少なくとも一つを、粗面度が大きい界面とする。このような構成によると、複合基板を厚み方向に伝播する電磁波は、粗面度が大きい界面において様々に屈折又は反射され、電磁波が伝播する経路に無数のバリエーションが生じる。これにより、複合基板内を厚み方向に沿って伝播する電磁波が、同位相で互いに重なり合うことを抑制することができる。

20

## 【 0 0 0 7 】

上述した粗面度の大きい界面の位置は、特に限定されない。但し、粗面度の大きい界面が、電気光学結晶基板に接する界面であると、電気光学結晶基板を伝わる光が、粗面度の大きい界面によって散乱又は吸収されるおそれがある。そのことから、本技術では、電気光学結晶基板に接する低屈折率層を設け、電気光学結晶基板と低屈折率層との間の界面については、平滑な界面とする。これにより、電気光学結晶基板を伝わる光の散乱及び吸収が抑制され、電気光学結晶基板内に光を閉じ込めることができる。そして、粗面度の大きい界面については、低屈折率層と支持基板との間に設けることで、上述した電磁波の共振を抑制することもできる。

30

## 【 0 0 0 8 】

本技術の一側面により、電気光学素子のための複合基板が開示される。この複合基板は、電気光学効果を有する電気光学結晶基板と、電気光学結晶基板に接しているとともに、電気光学結晶基板よりも屈折率の低い低屈折率層と、低屈折率層に少なくとも接合層を介して接合された支持基板とを備える。低屈折率層と支持基板との間に存在する複数の界面の少なくとも一つは、電気光学結晶基板と低屈折率層との間の界面よりも、粗面度が大きい界面である。

## 【 0 0 0 9 】

上記した構成によると、複合基板内に粗面度の大きい界面が存在することで、複合基板内で電磁波が共振することを抑制することができる。その一方で、電気光学結晶基板と低屈折率層との間の界面は比較的平滑であることから、電気光学結晶基板を伝わる光の散乱や吸収が抑制され、電気光学結晶基板内に光を閉じ込めることができる。

40

## 【 0 0 1 0 】

本技術の他の一側面により、電気光学素子のための複合基板の製造方法も開示される。この製造方法は、電気光学効果を有する電気光学結晶基板の表面に、電気光学結晶基板よりも屈折率の低い低屈折率層を形成する工程と、電気光学結晶基板上に設けられた低屈折率層の表面に、接合層を形成する工程と、低屈折率層上に形成された接合層の表面に、支持基板を接合する工程とを備える。この製造方法において、低屈折率層の形成前における電気光学結晶基板の表面よりも、接合層の形成前における低屈折率層の表面の方が、粗面度が大きい。

50

## 【 0 0 1 1 】

上記した製造方法によると、電気光学結晶基板と、電気光学結晶基板に接する低屈折率層と、低屈折率層に少なくとも接合層を介して接合された支持基板とを備える複合基板を製造することができる。特に、この製造方法では、低屈折率層の形成前における電気光学結晶基板の表面よりも、接合層の形成前における低屈折率層の表面の方が、粗面度が大きい。従って、製造された複合基板において、低屈折率層と接合層との間の界面を、電気光学結晶基板と低屈折率層との間の界面よりも、粗面度が大きい界面とすることができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 2 】

【 図 1 】 実施例 1 の複合基板 1 0 を模式的に示す斜視図。

10

## 【 0 0 1 3 】

【 図 2 】 実施例 1 の複合基板 1 0 の断面構造を模式的に示す図。

## 【 0 0 1 4 】

【 図 3 】 実施例 1 の複合基板 1 0 の製造方法の一工程を示す図。

## 【 0 0 1 5 】

【 図 4 】 実施例 1 の複合基板 1 0 の製造方法の一工程を示す図。

## 【 0 0 1 6 】

【 図 5 】 実施例 1 の複合基板 1 0 の製造方法の一工程を示す図。

## 【 0 0 1 7 】

【 図 6 】 実施例 1 の複合基板 1 0 の製造方法の一工程を示す図。

20

## 【 0 0 1 8 】

【 図 7 】 実施例 1 の複合基板 1 0 の製造方法の一工程を示す図。

## 【 0 0 1 9 】

【 図 8 】 複合基板 1 0 の一変形例を示しており、電気光学結晶基板 1 2 に電気信号を印加する電極 3 2、3 4 と、電気光学結晶基板 1 2 内に設けられた光導波路領域 3 6 が付加されている。

## 【 0 0 2 0 】

【 図 9 】 複合基板 1 0 の一変形例を示しており、電気光学結晶基板 1 2 の上面 1 2 a にリッジ部 1 3 が形成されている。

## 【 0 0 2 1 】

【 図 1 0 】 複合基板 1 0 の一変形例を示しており、リッジ部 1 3 に電気信号を印加する電極 4 2、4 4 が付加されている。この変形例では、電気光学結晶基板 1 2 の c 軸 ( c - a x i s ) が、電気光学結晶基板 1 2 に対して平行である。

30

## 【 0 0 2 2 】

【 図 1 1 】 複合基板 1 0 の一変形例を示しており、リッジ部 1 3 に電気信号を印加する電極 5 2、5 4 が付加されている。この変形例では、電気光学結晶基板 1 2 の c 軸 ( c - a x i s ) が、電気光学結晶基板 1 2 に対して垂直である。

## 【 0 0 2 3 】

【 図 1 2 】 実施例 2 の複合基板 1 0 a の断面構造を模式的に示す図。

## 【 0 0 2 4 】

【 図 1 3 】 実施例 2 の複合基板 1 0 a の製造方法を説明する図。

40

## 【 0 0 2 5 】

【 図 1 4 】 実施例 3 の複合基板 1 0 b の断面構造を模式的に示す図。

## 【 0 0 2 6 】

【 図 1 5 】 実施例 3 の複合基板 1 0 b の製造方法を説明する図。

## 【 0 0 2 7 】

【 図 1 6 】 実施例 4 の複合基板 1 0 c の断面構造を模式的に示す図。

## 【 0 0 2 8 】

【 図 1 7 】 実施例 4 の複合基板 1 0 c の製造方法を説明する図。

【 発明を実施するための形態 】

50

## 【 0 0 2 9 】

本技術の一実施形態において、粗面度が大きい界面の算術平均粗さ（ $R_a$ ）は、当該界面で屈折又は反射されるべき電磁波の波長を考慮して、 $0.5\text{ nm}$ から $10\text{ nm}$ までの範囲内とすることができる。このような構成によると、電気光学結晶基板に印加された電気信号に起因する電磁波を、当該界面において効果的に屈折又は反射して複合基板における電磁波の共振を抑制することができる。

## 【 0 0 3 0 】

ここで、算術平均粗さ（ $R_a$ ）は、JIS B 0031・JIS B 0601で定義されており、その計算手順は以下の通りである。まず、粗さ曲線からその平均線の方向に基準長さ $l$ だけを抜き取る。次いで、この抜き取り部分について、平均線の方向に $X$ 軸を定めるとともに、縦倍率の方向に $Y$ 軸を定めて、粗さ曲線を $y = f(x)$ の式で表す。そして、平均線に対する $f(x)$ の偏差の絶対値を基準長さ $l$ に亘って積分し、その積分値を基準長さ $l$ で除算することによって、算術平均粗さ（ $R_a$ ）が計算される。なお、粗面度を表す指標としては、最大高さ（ $R_y$ ）もよく知られており、一般に、最大高さ（ $R_y$ ）は算術平均粗さ（ $R_a$ ）の5倍から10倍になるといわれている。この関係に基づいて、粗面度が大きい界面の最大高さ（ $R_y$ ）は、 $2.5\text{ nm}$ から $100\text{ nm}$ の範囲内であってもよい。

## 【 0 0 3 1 】

本技術の一実施形態において、低屈折率層の厚みは、 $0.1\text{ }\mu\text{ m}$ から $10\text{ }\mu\text{ m}$ までの範囲内であってもよい。なお、低屈折率層の厚みの下限値については、例えば電気光学素子の性能向上という観点から、 $0.65\text{ }\mu\text{ m}$ 以上としてもよく、さらには $0.7\text{ }\mu\text{ m}$ 以上としてもよい。さらに、粗面度の大きい界面の粗面度をより大きくして複合基板における電磁波の共振を抑制するという観点では、下限値は $1.5\text{ }\mu\text{ m}$ 以上が一層好ましく、さらに $3\text{ }\mu\text{ m}$ 以上が好ましい。一方、低屈折率層の厚みの上限値については、例えば複合基板に生じ得る熱応力を抑制するという観点から、 $9\text{ }\mu\text{ m}$ 以下としてもよく、さらには $7\text{ }\mu\text{ m}$ 以下としてもよい。

## 【 0 0 3 2 】

本技術の一実施形態において、電気光学結晶基板の厚みは、 $0.1\text{ }\mu\text{ m}$ から $10\text{ }\mu\text{ m}$ までの範囲内であってもよい。なお、電気光学結晶基板の厚みの下限値については、例えば光の伝搬損失を低減するという観点から、 $0.3\text{ }\mu\text{ m}$ 以上としてもよく、さらには $0.45\text{ }\mu\text{ m}$ 以上としてもよい。一方、電気光学結晶基板の厚みの上限値については、例えば電気光学素子の性能向上という観点から、 $5\text{ }\mu\text{ m}$ 以下としてもよく、さらには $2.8\text{ }\mu\text{ m}$ 以下としてもよい。

## 【 0 0 3 3 】

本技術の一実施形態において、粗面度が大きい界面の粗面度は、電気光学結晶基板と低屈折率層との間の界面の粗面度の3倍以上であってよく、又は、5倍以上若しくは10倍以上であってもよい。それらの二つの界面の間で粗面度の差を大きくするほど、本技術の効果を高めることができる。

## 【 0 0 3 4 】

本技術の一実施形態において、電気光学結晶基板と低屈折率層との間の界面の算術平均粗さ（ $R_a$ ）は、 $0.03\text{ nm}$ （ナノメートル）から $0.5\text{ nm}$ までの範囲内であってよく、粗面度が大きい界面の算術平均粗さ（ $R_a$ ）は、 $0.5\text{ nm}$ から $500\text{ nm}$ までの範囲内であってもよい。複合基板がこれらの数値要件を満たしていると、本技術の効果を奏する複合基板を、比較的簡素な手順で製造することができる。

## 【 0 0 3 5 】

本技術の一実施形態において、粗面度の大きい界面は、低屈折率層と接合層との間の界面であってもよい。この場合、低屈折率層と接合層との間の界面の算術平均粗さ（ $R_a$ ）は、低屈折率層の厚みの $1000$ 分の1以上であってよい。加えて、又は代えて、低屈折率層と接合層との間の界面の算術平均粗さ（ $R_a$ ）は、 $0.5\text{ nm}$ 以上であってよく、低屈折率層の厚みは、 $0.5\text{ }\mu\text{ m}$ （マイクロメートル）以上であってよい。複合基板がこれ

10

20

30

40

50

らの数値要件を満たしている、本技術の効果を奏する複合基板を、比較的簡素な手順で製造することができる。

【0036】

上記に加え、又は代えて、粗面度の大きい界面は、接合層と支持基板との間の界面であってもよい。このような構成であっても、複合基板内に粗面度の大きい界面が存在することで、複合基板における電磁波の共振を抑制することができる。

【0037】

上記に加え、又は代えて、複合基板は、低屈折率層と接合層との間に位置する中間層をさらに備えてもよい。この場合、粗面度の大きい界面は、中間層と接合層との間の界面であってもよい。このような構成であっても、複合基板内に粗面度の大きい界面が存在することで、複合基板における電磁波の共振を抑制することができる。なお、中間層を構成する材料は、低屈折率層又は接合層に採用し得る材料であってよく、また、低屈折率層及び接合層に実際に採用された材料とは異なる材料であってもよい。

10

【0038】

上記に加え、又は代えて、複合基板は、接合層と支持基板との間に位置する中間層をさらに備えてもよい。この場合、粗面度の大きい界面は、中間層と支持基板との間の界面であってもよい。このような構成であっても、複合基板内に粗面度の大きい界面が存在することで、複合基板における電磁波の共振を抑制することができる。

【0039】

本技術の一実施形態において、複合基板は、導電体で構成された導電層をさらに備えてもよい。この場合、粗面度が大きい界面は、電気光学結晶基板と導電層との間の範囲に位置するとよい。複合基板内に導電層が存在していると、複合基板を伝播する電磁波は、導電層を通過することなく遮蔽されるので、主に電気光学結晶基板12と導電層との間の範囲を伝播する。そのことから、粗面度が大きい界面は、電磁波が主に伝播する電気光学結晶基板と導電層との間の範囲に位置するとよい。

20

【0040】

上記した実施形態において、導電層は、接合層又は中間層の少なくとも一部であってもよい。言い換えると、接合層及び/又は中間層が、電気光学結晶基板12と粗面度が大きい界面との間に位置しないときは、その接合層及び/又は中間層の一部又は全部は、金属といった導電体で構成されてもよい。

30

【0041】

本技術の一実施形態において、電気光学結晶基板は、ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ :LN)、タンタル酸リチウム ( $\text{LiTaO}_3$ :LT)、チタン酸リン酸カリウム ( $\text{KTiOPO}_4$ :KTP)、ニオブ酸カリウム・リチウム ( $\text{K}_x\text{Li}_{(1-x)}\text{NbO}_2$ :KLN)、ニオブ酸カリウム ( $\text{KNbO}_3$ :KN)、タンタル酸・ニオブ酸カリウム ( $\text{KNb}_x\text{Ta}_{(1-x)}\text{O}_3$ :KTN)、及び、ニオブ酸リチウムとタンタル酸リチウムとの固溶体、のうちのいずれかの基板であってもよい。

【0042】

本技術の一実施形態において、低屈折率層は、酸化シリコン ( $\text{SiO}_2$ )、酸化タンタル ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ )、酸化アルミニウム ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、フッ化マグネシウム ( $\text{MgF}_2$ )、及び、フッ化カルシウム ( $\text{CaF}_2$ ) のうちの少なくとも一つで構成されていてもよい。

40

【0043】

本技術の一実施形態において、接合層は、酸化タンタル ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ )、酸化ニオブ ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ )、シリコン (Si)、酸化アルミニウム ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ )、金 (Au)、銀 (Ag)、銅 (Cu)、アルミニウム (Al)、白金 (Pt)、及び、それらの金属のうちの少なくとも二つを含む合金、のうちの少なくとも一つで構成されていてもよい。

【0044】

本技術の一実施形態において、支持基板は、ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ :LN)、タンタル酸リチウム ( $\text{LiTaO}_3$ :LT)、シリコン (Si)、ガラス、サイアロン

50

( $\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{Al}_2\text{O}_3$ )、ムライト( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ )、窒化アルミニウム( $\text{AlN}$ )、窒化シリコン( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )、酸化マグネシウム( $\text{MgO}$ )、サファイア、石英、水晶、窒化ガリウム( $\text{GaN}$ )、炭化シリコン( $\text{SiC}$ )、酸化ガリウム( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ )のうちのいずれかの基板であってよい。支持基板は、電磁波の共振を抑制するという観点から、導電性又は半導電性を有してもよい。例えば、ニオブ酸リチウムやタンタル酸リチウムは、通常、絶縁性材料であるが、酸素欠損状態となることで、導電性を獲得することができる。いわゆるブラックLNやブラックLTはそのような材料の一例であり、ブラックLNやブラックLTの基板を、支持基板として採用することができる。

#### 【0045】

前述したように、本技術は、複合基板の製造方法に具現化される。この製造方法では、粗面度の大きい低屈折率層の表面に、接合層が形成される。従って、接合層の表面についても、その粗面度が比較的に大きくなり得る。しかしながら、接合層の表面に支持基板を接合するときは、接合層の表面が平滑であることが好ましい。そのことから、本技術の一実施形態では、製造方法が、接合層を形成する工程と支持基板を接合する工程との間に、接合層の表面を平滑化する工程をさらに備えてもよい。このような構成によると、電気光学結晶基板と支持基板との間を良好に接合することができる。

#### 【0046】

本技術の一実施形態では、低屈折率層を形成する工程において、低屈折率層をスパッタリングによって形成してもよい。低屈折率層をスパッタリングによって形成すると、低屈折率層の表面の粗面度は自然と大きくなる。そのことから、低屈折率層をスパッタリングによって形成することで、粗面度の大きな表面を有する低屈折率層を容易に形成することができる。なお、スパッタリングによる低屈折率層の形成では、低屈折率層の厚みが大きいときほど、低屈折率層の表面の粗面度は大きくなる。また、低屈折率層を形成する工程では、必要に応じて、低屈折率層の表面を粗面化する処理(例えば、ラッピング、サンドブラスト、エッチング等)が実施されてもよい。

#### 【0047】

本技術の一実施形態では、製造方法が、支持基板を接合する工程の前に、支持基板の表面に接合層を形成する工程をさらに備えてもよい。この場合、特に限定されないが、支持基板上に形成される接合層は、低屈折率層上に形成される接合層と同じ材料で構成されてもよい。このような構成によると、電気光学結晶基板と支持基板との間を良好に接合することができる。

#### 【0048】

以下では、本発明の代表的かつ非限定的な具体例について、図面を参照して詳細に説明する。この詳細な説明は、本発明の好ましい例を実施するための詳細を当業者に示すことを単純に意図しており、本発明の範囲を限定することを意図したものではない。また、以下に開示される追加的な特徴ならびに発明は、さらに改善された複合基板、並びにそれらの使用及び製造方法を提供するために、他の特徴や発明とは別に、又は共に用いることができる。

#### 【0049】

また、以下の詳細な説明で開示される特徴や工程の組み合わせは、最も広い意味において本発明を実施する際に必須のものではなく、特に本発明の代表的な具体例を説明するためにのみ記載されるものである。さらに、上記及び下記の代表的な具体例の様々な特徴、ならびに、独立及び従属クレームに記載されるものの様々な特徴は、本発明の追加的かつ有用な実施形態を提供するにあたって、ここに記載される具体例のとおり、あるいは列挙された順番のとおり組み合わせなければならないものではない。

#### 【0050】

本明細書及び/又はクレームに記載された全ての特徴は、実施例及び/又はクレームに記載された特徴の構成とは別に、出願当初の開示ならびにクレームされた特定事項に対する限定として、個別に、かつ互いに独立して開示されることを意図するものである。さら

10

20

30

40

50

に、全ての数値範囲及びグループ又は集団に関する記載は、出願当初の開示ならびにクレームされた特定事項に対する限定として、それらの中間の構成を開示する意図を持ってなされている。

#### 【実施例】

##### 【0051】

(実施例1) 図面を参照して、実施例1の複合基板10とその製造方法について説明する。本実施例の複合基板10は、例えば光変調器といった、各種の電気光学素子に採用することができる。図1に示すように、本実施例の複合基板10は、いわゆるウエハの形態で製造され、電気光学素子の製造者へ提供される。一例ではあるが、複合基板10の直径は、およそ10センチメートル(4インチ)である。通常、一枚の複合基板10から、複数の電気光学素子が製造される。なお、複合基板10は、ウエハの形態に限定されず、様々な形態で製造され、提供されてもよい。

10

##### 【0052】

図1、図2に示すように、複合基板10は、電気光学結晶基板12と、低屈折率層14と、接合層16と、支持基板18とを備える。電気光学結晶基板12は、低屈折率層14及び接合層16を介して、支持基板18に接合されている。これらの基板12、18及び層14、16は、複合基板10の全体に亘って、互いに平行に広がっている。

##### 【0053】

電気光学結晶基板12は、複合基板10の最上層に位置しており、その上面12aは外部に露出している。電気光学結晶基板12の一部又は全部は、複合基板10から製造される電気光学素子において、光を伝える光導波路となる。電気光学結晶基板12は、電気光学効果を有する材料の結晶で構成されている。従って、電気光学結晶基板12に電界が印加されると、電気光学結晶基板12の屈折率が変化する。特に、電気光学結晶基板12のc軸に沿って電界が印加されると、電気光学結晶基板12の屈折率は大きく変化する。

20

##### 【0054】

ここで、電気光学結晶基板12のc軸は、電気光学結晶基板12に平行であってもよい。即ち、電気光学結晶基板12は、例えばxカット又はyカットの基板であってもよい。あるいは、電気光学結晶基板12のc軸は、電気光学結晶基板12に垂直であってもよい。即ち、電気光学結晶基板12は、例えばzカットの基板であってもよい。電気光学結晶基板12の厚み $T_{12}$ は、特に限定されないが、例えば $0.1\mu\text{m}$ 以上であって、 $10\mu\text{m}$ 以下であってよい。

30

##### 【0055】

ここで、電気光学結晶基板12の厚み $T_{12}$ が小さくなるほど、光の伝搬損失が増大したり、光ファイバとの結合損失が増大したりする傾向がある。そのことから、電気光学結晶基板12の厚み $T_{12}$ は、 $0.3\mu\text{m}$ 以上であることが好ましく、 $0.45\mu\text{m}$ 以上であることがより好ましい。その一方で、電気光学結晶基板12の厚み $T_{12}$ が大きくなるほど、電気光学素子の高速動作や低駆動電圧化を図ることが難しくなる。これらの観点から、電気光学結晶基板12の厚み $T_{12}$ は、 $5\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $2.8\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。

##### 【0056】

電気光学結晶基板12を構成する材料は、特に限定されないが、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、チタン酸リン酸カリウム、ニオブ酸カリウム・リチウム、ニオブ酸カリウム、タンタル酸・ニオブ酸カリウム、ニオブ酸リチウムとタンタル酸リチウムとの固溶体のいずれかであってよい。なお、電気光学結晶基板12は、屈折率に加えて、又は代えて、他の光学定数を変化させる電気光学効果を有してもよい。

40

##### 【0057】

低屈折率層14は、電気光学結晶基板12の下方において、電気光学結晶基板12に接している。低屈折率層14は、電気光学結晶基板12よりも低い屈折率を有する。これにより、電気光学結晶基板12と低屈折率層14との間の界面F1では、電気光学結晶基板12を伝わる光が全反射されやすく、電気光学結晶基板12から漏れ出すことが抑制され

50

る。低屈折率層 14 を構成する材料は、特に限定されないが、酸化シリコン、酸化タンタル、酸化アルミニウム、フッ化マグネシウム、及び、フッ化カルシウムのうちの少なくとも一つであってもよい。低屈折率層 14 の厚み  $T_{14}$  は、特に限定されないが、例えば  $0.1 \mu\text{m}$  以上であって、 $10 \mu\text{m}$  以下であってもよい。

#### 【0058】

なお、低屈折率層 14 の厚み  $T_{14}$  が小さくなるほど、電気光学素子の速度整合条件を満足することが難しくなり、電気光学素子の高速動作が困難になる。この観点から、低屈折率層 14 の厚み  $T_{14}$  は、 $0.65 \mu\text{m}$  以上であることが好ましく、 $0.7 \mu\text{m}$  以上であることがより好ましい。また低屈折率層 14 の厚み  $T_{14}$  が大きくなるほど、熱膨張係数差に起因する熱応力によって、電気光学結晶基板 12 や支持基板 18 にクラックが発生するおそれが高くなる。特に、直接接合を利用した複合基板 10 では、樹脂等で構成された低弾性率の接合層が存在しないことから、熱膨張係数差に起因する熱応力が高まりやすい。そのことから、低屈折率層 14 の厚み  $T_{14}$  は、 $9 \mu\text{m}$  以下であることが好ましく、 $7 \mu\text{m}$  以下であることがより好ましい。

10

#### 【0059】

加えて、屈折率は誘電率の平方根に比例するので、低屈折率層 14 の誘電率は、電気光学結晶基板 12 の誘電率よりも低くなる。従って、複合基板 10 が低屈折率層 14 を備えていると、複合基板 10 から製造された電気光学素子において、速度整合条件を満足させることや、特性インピーダンスを調整することが容易になる。また、浮遊容量や誘電損失が低減できることから、電気光学素子の高速での動作や低電圧化が可能となる。

20

#### 【0060】

接合層 16 は、低屈折率層 14 と支持基板 18 との間に位置している。接合層 16 の厚み  $T_{16}$  は、特に限定されないが、 $0.01 \mu\text{m}$  以上であって、 $1 \mu\text{m}$  以下であってよい。詳しくは後述するが、複合基板 10 の製造方法では、電気光学結晶基板 12 に低屈折率層 14 及び接合層 16 を形成し、その接合層 16 に対して支持基板 18 を直接接合によって接合する。接合層 16 は、この直接接合のために設けられた被膜であり、直接接合に適した材料で構成されることができる。この点に関して、接合層 16 を構成する材料は、酸化タンタル、酸化ニオブ、シリコン、酸化アルミニウム、及び、酸化チタンのうちの少なくとも一つであってもよい。あるいは、接合層 16 を構成する材料は、金、銀、銅、アルミニウム、白金、及び、それらの金属のうちの少なくとも二つを含む合金のうちの少なくとも一つであってもよい。

30

#### 【0061】

支持基板 18 は、複合基板 10 の最下層に位置しており、その下面 18b は外部に露出している。支持基板 18 は、複合基板 10 の強度を高めるために設けられており、これによって、電気光学結晶基板 12 の厚みを薄くすることができる。支持基板 18 の厚み  $T_{18}$  は、特に限定されないが、例えば  $100 \mu\text{m}$  以上であって、 $1000 \mu\text{m}$  以下であってもよい。支持基板 18 は、特に限定されないが、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、シリコン、ガラス、サイアロン、ムライト、窒化アルミニウム、窒化シリコン、酸化マグネシウム、サファイア、石英、水晶、窒化ガリウム、炭化シリコン、及び、酸化ガリウムのうちのいずれかの基板であってよい。なお、複合基板 10 の熱変形（特に反り）を抑制するために、支持基板 18 の線膨張係数は、電気光学結晶基板 12 の線膨張係数に近いほどよい。この点に関して、支持基板 18 を構成する材料は、電気光学結晶基板 12 を構成する材料と同じであってもよい。

40

#### 【0062】

本実施例の複合基板 10 では、支持基板 18 の厚み  $T_{18}$  を大きくするほど、複合基板 10 の機械的な強度（即ち、電気光学素子の機械的な強度）を高めることができる。その一方で、支持基板 18 の厚み  $T_{18}$  を大きくしていくと、電気光学素子を高周波帯域（例えば、 $10$  ギガヘルツ以上）で使用したときに、複合基板 10 内で電磁波が共振するおそれが高くなる。このような共振が発生すると、電気光学素子の出力信号に意図しないリップル（変動）が生じるなど、電気光学素子の正常な動作が妨げられるおそれがある。

50

## 【0063】

上記の問題に関して、本実施例の複合基板10では、低屈折率層14と接合層16との間の界面F2が、電気光学結晶基板12と低屈折率層14との間の界面F1よりも、粗面度の大きい界面となっている。このような構成によると、複合基板10を厚み方向に伝播する電磁波は、粗面度の大きい界面F2において様々な屈折又は反射され、電磁波が伝播する経路に無数のバリエーションが生じる。これにより、複合基板10内を厚み方向に沿って伝播する電磁波が、同位相で互いに重なり合うことを抑制することができる。

## 【0064】

特に、低屈折率層14と接合層16との間の界面F2は、例えば接合層16と支持基板18との間の界面F3よりも、電気光学結晶基板12に対して近くに位置している。粗面度の大きい界面F2が、電気光学結晶基板12の近くに位置しているほど、電気光学結晶基板12の近傍において、電磁波を様々な方向に屈折又は反射することができる。これにより、電磁波の伝播経路のバリエーションをより増大することができ、基板共振が効果的に抑制されることによって、例えばリップルによる損失を有意に低減することができる。また、本実施例の複合基板10は、多層構造を有しており、誘電率の異なる界面F1、F2、F3が複数存在することから、電磁波が多重に反射される構造となっている。従って、粗面度の大きい界面F2の算術平均粗さ(Ra)が、10nm以下という範囲であっても、基板共振を十分に抑制することができる。

10

## 【0065】

本実施例の複合基板10において、低屈折率層14と接合層16との間の界面F2の粗面度は、電気光学結晶基板12と低屈折率層14との間の界面F1の粗面度の3倍以上であってよい。あるいは、界面F2の粗面度は、界面F1の粗面度の5倍以上若しくは10倍以上であってもよい。それらの二つの界面F1、F2の間で粗面度の差を大きくするほど、本技術の効果を十分に高めることができる。

20

## 【0066】

本実施例の複合基板10において、電気光学結晶基板12と低屈折率層14との間の界面F1の算術平均粗さ(Ra)は、0.03nmから0.5nmまでの範囲内であってよい。そして、低屈折率層14と接合層16との間の界面F2の算術平均粗さ(Ra)は、0.5nmから500nmまでの範囲内であってもよい。複合基板10がこれらの数値要件を満たしているとき、本技術の効果を奏する複合基板10を、比較的簡素な手順で製造することができる。

30

## 【0067】

基板共振のさらなる抑制という観点では、界面F2の算術平均粗さ(Ra)は、0.6nm以上であることがより好ましく、1.5nm以上であることがさらに好ましい。その一方で、界面F2の算術平均粗さ(Ra)を大きくしていくと、接合層16の膜質が低下することによって、接合強度の低下を招くおそれがある。そのことから、界面F2の算術平均粗さ(Ra)は、10nm以下であることがより好ましく、7nm以下であることがさらに好ましい。

## 【0068】

本実施例の複合基板10において、低屈折率層14と接合層16との間の界面F2の算術平均粗さ(Ra)は、低屈折率層14の厚みT14の1000分の1以上であってよい。加えて、又は代えて、低屈折率層14と接合層16との間の界面F2の算術平均粗さ(Ra)は、0.5nm以上であってよく、低屈折率層14の厚みは、0.5μm以上であってよい。複合基板10がこれらの数値要件を満たしているとき、本技術の効果を奏する複合基板10を、比較的簡素な手順で製造することができる。

40

## 【0069】

一例として、電気光学結晶基板12をニオブ酸リチウムの基板とし、その厚みT12を1.5μmとした第1のサンプルを作成した。このサンプルでは、低屈折率層14を酸化シリコンで構成し、その厚みT14を0.7μmとするとともに、接合層16を酸化タンタルで構成するとともに、その厚みT16を0.05nmとした。支持基板18は、ニオ

50

ブ酸リチウムの基板であり、その厚み $T_{18}$ は $1000\ \mu\text{m}$ である。そして、電気光学結晶基板12と低屈折率層14との間の界面F1の算術平均粗さ(Ra)は、 $0.2\ \text{nm}$ であり、低屈折率層14と接合層16との間の界面F2の算術平均粗さ(Ra)は、 $0.7\ \text{nm}$ であった。第1のサンプルを用いて光変調器を製造し、電気光学結晶基板12に $0\sim 110\ \text{GHz}$ の電気信号を印加したところ、光変調器の出力信号にリップルは検出されなかった。

#### 【0070】

他の一例として、上記した第1のサンプルにおいて、低屈折率層14の厚み $T_{14}$ を $2.5\ \mu\text{m}$ に変更した第2のサンプルを作成した。このサンプルでは、電気光学結晶基板12と低屈折率層14との間の界面F1の算術平均粗さ(Ra)が、 $0.2\ \text{nm}$ であり、低屈折率層14と接合層16との間の界面F2の算術平均粗さ(Ra)は、 $2.5\ \text{nm}$ であった。第2のサンプルを用いて光変調器を製造し、電気光学結晶基板12に $0\sim 110\ \text{GHz}$ の電気信号を印加したところ、光変調器の出力信号にリップルは検出されなかった。

10

#### 【0071】

以下、図3 - 図7を参照して、複合基板10の製造方法について説明する。まず、図3に示すように、電気光学結晶基板12を用意して、電気光学結晶基板12の下面12bに低屈折率層14を形成する。このとき、低屈折率層14の下面14bの粗面度は、電気光学結晶基板12の下面12bの粗面度よりも大きくする。具体例として、電気光学結晶基板12を用意した段階において、電気光学結晶基板12の下面12bの算術平均粗さ(Ra)は、 $0.03\ \text{nm}$ から $0.5\ \text{nm}$ までの範囲であるとよい。そして、低屈折率層14の下面14bの算術平均粗さ(Ra)は、 $0.5\ \text{nm}$ から $500\ \text{nm}$ までの範囲内であるとよい。

20

#### 【0072】

低屈折率層14の形成は、特に限定されないが、スパッタリングによって行うことができる。低屈折率層14をスパッタリングによって形成すると、低屈折率層14の下面14bの粗面度は、電気光学結晶基板12の下面12bの粗面度よりも、自然と大きくなる。特に、低屈折率層14を酸化シリコンで構成すると、その傾向はより顕著に現れる。従って、低屈折率層14をスパッタリングによって形成すると、低屈折率層14の下面14bを粗面化する処理を省略する、あるいは、簡素化することができる。但し、低屈折率層14を形成する手法は、スパッタリングに限定されず、例えば物理蒸着(PVD: Physical Vapor Deposition)又は化学蒸着(CVD: Chemical Vapor Deposition)といった各種の蒸着や、熱酸化であってもよい。また、低屈折率層14の形成後に、必要に応じて、低屈折率層14の下面14bを粗面化する処理(例えば、ラッピング、サンドブラスト、エッチング等)が実施されてもよい。

30

#### 【0073】

電気光学結晶基板12は、 $x$ カット又は $y$ カットの基板( $c$ 軸が基板に平行)であってもよいし、 $z$ カットの基板( $c$ 軸が基板に垂直)であってもよい。また、分極反転部が形成される場合、電気光学結晶基板12は、 $c$ 軸が基板の水平面と $10^\circ$ 以内の角度を成すオフセット基板であってもよい。

#### 【0074】

次に、図4に示すように、低屈折率層14の下面14bに、接合層16を形成する。接合層16は、低屈折率層14と同様に、スパッタリングによって形成することができる。但し、低屈折率層14を形成する工程は、スパッタリングに限定されず、例えば蒸着(物理蒸着又は化学蒸着)であってもよい。次に、図5に示すように、接合層16の下面16bを、例えば研磨することによって平滑化する。接合層16は、粗面度の大きい低屈折率層14の下面14bに形成されているので、接合層16の下面16bの粗面度も比較的に大きくなり得る。そのことから、後述する支持基板18を接合する工程の前に、必要に応じて、接合層16の下面16bを平滑化しておくともよい。

40

#### 【0075】

次に、図6に示すように、支持基板18を用意して、接合層16の下面16bに支持基

50

板 18 を接合する。支持基板 18 の接合は、特に限定されないが、直接接合によって行うことができる。最後に、図 7 に示すように、電気光学結晶基板 12 の上面 12 a を研磨して、電気光学結晶基板 12 を所望の厚みに加工する。

【 0 0 7 6 】

図 8 に示すように、複合基板 10 には、電極 32、34 がさらに設けられてもよい。これらの電極 32、34 は、電気光学結晶基板 12 へ電気信号を印加するために、電気光学結晶基板 12 の上面 12 a に設けられる。電極 32、34 を構成する材料は、導電体であればよく、例えば金、銀、銅、アルミニウム、プラチナといった金属であってよい。電極 32、34 は、電気光学結晶基板 12 と接触する下地層（最下層）として、電極 32、34 のはがれやマイグレーションを防止するために、チタン（Ti）、クロム（Cr）、ニッケル（Ni）、白金等の層を有してもよい。電極 32、34 の数、位置、形状については、特に限定されない。電極 32、34 の数については、複合基板 10 から製造される電気光学素子の数や、各々の電気光学素子が必要とする電極 32、34 の数に応じて、適宜定めることができる。複合基板 10 に電極 32、34 が予め設けられていると、電気光学素子の製造者は、複合基板 10 から電気光学素子を容易に製造することができる。

10

【 0 0 7 7 】

加えて、又は代えて、電気光学結晶基板 12 内には、不純物をドーピングすることによって、光導波路領域 36 が設けられてもよい。電気光学結晶基板 12 では、チタン又は亜鉛といった特定の不純物をドーピングすることで、屈折率を選択的に（即ち、局所的に）高めることができ、これによって光導波路領域 36 を形成することができる。光導波路領域 36 の数、位置、形状についても、特に限定されない。例えば、光導波路領域 36 の数については、複合基板 10 から製造される電気光学素子の数や、各々の電気光学素子が必要とする光導波路領域 36 の数に応じて、適宜定めることができる。複合基板 10 に光導波路領域 36 が予め設けられていると、電気光学素子の製造者は、複合基板 10 から電気光学素子を容易に製造することができる。

20

【 0 0 7 8 】

図 9 に示すように、電気光学結晶基板 12 の上面 12 a には、リッジ部 13 が形成されてもよい。リッジ部 13 は、上面 12 a に沿って細長く伸びる突出部である。リッジ部 13 は、複合基板 10 が製造される電気光学素子において、リッジ型光導波路を構成する。複合基板 10 にリッジ部 13 が予め形成されていると、リッジ型光導波路を必要とする電気光学素子の製造を、容易に行うことができる。リッジ部 13 の幅  $W$  は、特に限定されないが、 $1\ \mu\text{m}$  以上であって、 $10\ \mu\text{m}$  以下であってよい。リッジ部 13 の高さ  $TR$  についても、特に限定されないが、電気光学結晶基板 12 の厚み  $T_{12}$  の 10 パーセント以上であって、95 パーセント以下であってよい。リッジ部 13 の数、位置、形状についても、特に限定されない。一例ではあるが、複合基板 10 がマッハツェンダー型の電気光学変調器の製造に用いられるときは、少なくとも一部が平行に伸びる二つのリッジ部 13 が形成されるとよい。

30

【 0 0 7 9 】

図 10 に示すように、リッジ部 13 を有する複合基板 10 には、第 1 の電極 42 及び第 2 の電極 44 がさらに設けられてもよい。ここで、電気光学結晶基板 12 の  $c$  軸（ $c$ -axis）が、電気光学結晶基板 12 に対して平行である場合、第 1 の電極 42 はリッジ部 13 の一方の側面 13 a に設けられるとよい。そして、第 2 の電極 44 は、リッジ部 13 の他方の側面 13 b に設けられ、リッジ部 13 を挟んで第 1 の電極 42 に対向するとよい。このような構成によると、電気光学素子において光導波路となるリッジ部 13 に対して、第 1 の電極 42 及び第 2 の電極 44 は  $c$  軸と平行に電界を印加することができる。

40

【 0 0 8 0 】

図 11 に示すように、電気光学結晶基板 12 の  $c$  軸（ $c$ -axis）は、電気光学結晶基板 12 に対して垂直であってよい。この場合でも、電気光学結晶基板 12 の上面 12 a には、リッジ部 13 が形成されてもよい。また、電気光学結晶基板 12 の上面 12 a には、第 1 の電極 52 及び第 2 の電極 54 が設けられてもよい。但し、第 1 の電極 52 は、

50

リッジ部 13 の頂上面 13c に設けられるとよく、第 2 の電極 54 は、電気光学結晶基板 12 の上面 12a のうちのリッジ部 13 の部分を除いた範囲に設けられるとよい。このような構成によると、電気光学素子において光導波路となるリッジ部 13 に対して、第 1 の電極 52 及び第 2 の電極 54 は c 軸と平行に電界を印加することができる。

#### 【0081】

(実施例 2) 図 12、13 を参照して、実施例 2 の複合基板 10a について説明する。図 12 に示すように、実施例 2 の複合基板 10a は、低屈折率層 14 と接合層 16 との間に位置する中間層 20 をさらに備えており、この点で実施例 1 の複合基板 10 と相違する。そして、低屈折率層 14 と接合層 16 との間の界面 F2 に代えて、中間層 20 と接合層 16 との間の界面 F5 が、電気光学結晶基板 12 と低屈折率層 14 との間の界面 F1 よりも粗面度の大きい界面となっている。このような構成によっても、複合基板 10a 内に粗面度の大きい界面 F5 が存在することで、複合基板 10a における電磁波の共振を抑制することができる。なお、中間層 20 と接合層 16 との間の界面 F5 に代えて、又は加えて、低屈折率層 14 と中間層 20 との間の界面 F4 が、電気光学結晶基板 12 と低屈折率層 14 との間の界面 F1 よりも粗面度の大きい界面であってもよい。粗面度の大きい界面が複数存在することで、粗面度の大きい界面が一つだけ存在する場合よりも、複合基板 10a 内を厚み方向に沿って伝播する電磁波が、同位相で互いに重なり合う可能性がさらに低くなり、電磁波の共振をさらに抑制することができる。

10

#### 【0082】

図 13 に示すように、本実施例の複合基板 10a についても、電気光学結晶基板 12 を、支持基板 18 に接合することによって製造することができる。この場合、電気光学結晶基板 12 には、低屈折率層 14 と接合層 16 との間に、中間層 20 を予め形成すればよい。そして、中間層 20 を形成するときは、中間層 20 の下面 20b の粗面度を大きくするとよい。これにより、製造された複合基板 10 において、中間層 20 と接合層 16 との間の界面 F5 を、電気光学結晶基板 12 と低屈折率層 14 との間の界面 F1 よりも粗面度の大きい界面とすることができる。

20

#### 【0083】

中間層 20 を構成する材料は、低屈折率層 14 又は接合層 16 に採用し得る材料であってもよく、また、低屈折率層 14 及び接合層 16 へ実際に採用された材料とは異なる材料であってもよい。但し、中間層 20 は、電気光学結晶基板 12 と粗面度の大きい界面 F4 との間に位置するので、電磁波が中間層 20 によって遮蔽されないように、中間層 20 を構成する材料には、金属といった導電体の採用を避けるとよい。

30

#### 【0084】

(実施例 3) 図 14、15 を参照して、実施例 3 の複合基板 10b について説明する。図 14 に示すように、実施例 3 の複合基板 10b では、接合層 16 と支持基板 18 との間の界面 F3 が、電気光学結晶基板 12 と低屈折率層 14 との間の界面 F1 よりも粗面度の大きい界面となっている。このような構成であっても、複合基板 10b 内に粗面度の大きい界面 F3 が存在することで、複合基板 10b における電磁波の共振を抑制することができる。なお、接合層 16 と支持基板 18 との間の界面 F3 に加えて、その他の界面 F2 をさらに、電気光学結晶基板 12 と低屈折率層 14 との間の界面 F1 よりも粗面度の大きい界面としてもよい。

40

#### 【0085】

図 15 に示すように、本実施例の複合基板 10a についても、電気光学結晶基板 12 を、支持基板 18 に接合することによって製造することができる。但し、支持基板 18 の上面 18a を粗面化した上で、その上面 18a に接合層 16' を事前に形成しておくともよい。これにより、製造された複合基板 10 において、接合層 16 と支持基板 18 との間の界面 F3 を、電気光学結晶基板 12 と低屈折率層 14 との間の界面 F1 よりも、粗面度の大きい界面とすることができる。また、電気光学結晶基板 12 と支持基板 18 とのそれぞれに接合層 16、16' が形成されていることで、両基板 12、18 を容易に接合することができる。

50

## 【 0 0 8 6 】

(実施例 4) 図 1 6、1 7 を参照して、実施例 4 の複合基板 1 0 c について説明する。図 1 6 に示すように、実施例 4 の複合基板 1 0 c は、接合層 1 6 と支持基板 1 8 との間に位置する中間層 2 2 をさらに備えており、この点で実施例 3 の複合基板 1 0 と相違する。また、接合層 1 6 と支持基板 1 8 との間の界面 F 3 に代えて、中間層 2 0 と接合層 1 6 との間の界面 F 6 が、電気光学結晶基板 1 2 と低屈折率層 1 4 との間の界面 F 1 よりも粗面度の大きい界面となっている。このような構成によっても、複合基板 1 0 c 内に粗面度の大きい界面 F 6 が存在することで、複合基板 1 0 c における電磁波の共振を抑制することができる。なお、中間層 2 0 と接合層 1 6 との間の界面 F 6 に加えて、その他の界面 F 2、F 7 をさらに、電気光学結晶基板 1 2 と低屈折率層 1 4 との間の界面 F 1 よりも粗面度の

10

## 【 0 0 8 7 】

図 1 7 に示すように、本実施例の複合基板 1 0 c についても、電気光学結晶基板 1 2 を、支持基板 1 8 に接合することによって製造することができる。この場合、支持基板 1 8 には、中間層 2 2 と接合層 1 6 ' とを予め形成すればよい。そして、中間層 2 2 を形成するときは、中間層 2 2 の上面 2 2 a の粗面度を大きくするとよい。これにより、製造された複合基板 1 0 において、接合層 1 6 と中間層 2 2 との間の界面 F 6 を、電気光学結晶基板 1 2 と低屈折率層 1 4 との間の界面 F 1 よりも、粗面度の大きい界面とすることができる。

## 【 0 0 8 8 】

実施例 1 - 4 の複合基板 1 0、1 0 a - 1 0 c において、接合層 1 6 や中間層 2 0、2 2 は、金属といった導電層で構成されていてもよい。但し、そのような導電層が存在していると、複合基板 1 0、1 0 a - 1 0 c を伝播する電磁波は、導電層を通過することなく遮蔽されるので、主に電気光学結晶基板 1 2 と導電層との間の範囲を伝播する。そのことから、粗面度が大きい界面は、電磁波が主に伝播する電気光学結晶基板 1 2 と導電層との間の範囲に位置するとよい。

20

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 8 9 】

1 0 : 複合基板  
 1 2 : 電気光学結晶基板  
 1 3 : リッジ部  
 1 4 : 低屈折率層  
 1 6、1 6 ' : 接合層  
 1 8 : 支持基板  
 2 0、2 2 : 中間層  
 3 2、3 4、4 2、4 4、5 2、5 4 : 電極  
 3 6 : 光導波路領域  
 F 1 ~ F 7 : 界面

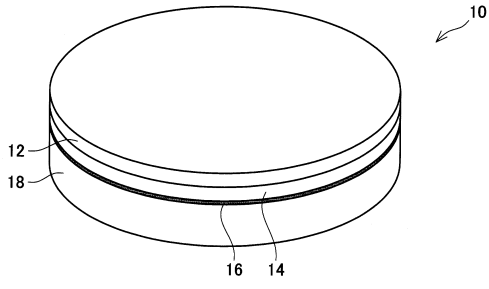
30

40

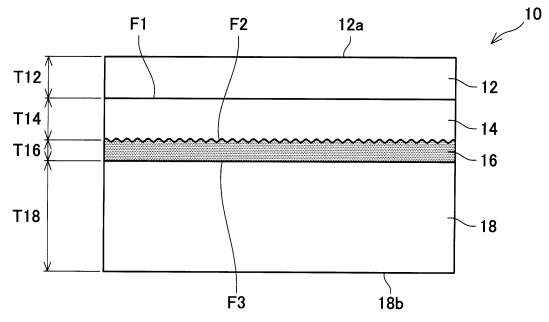
50

【図面】

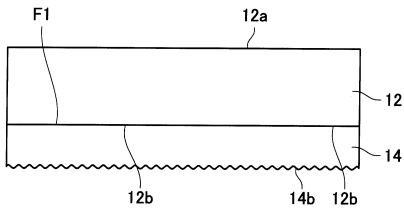
【図 1】



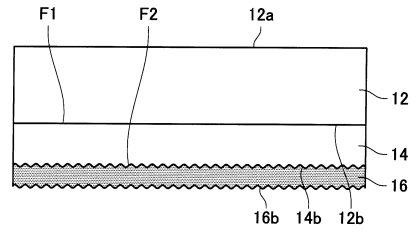
【図 2】



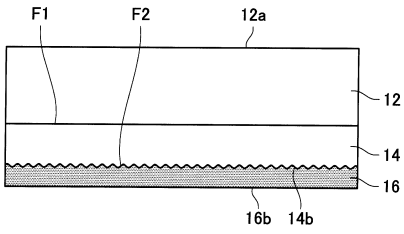
【図 3】



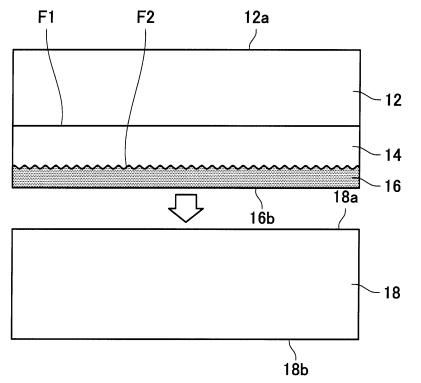
【図 4】



【図 5】



【図 6】



10

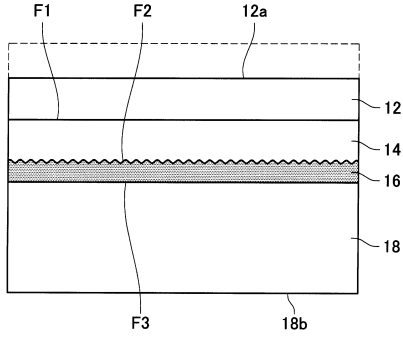
20

30

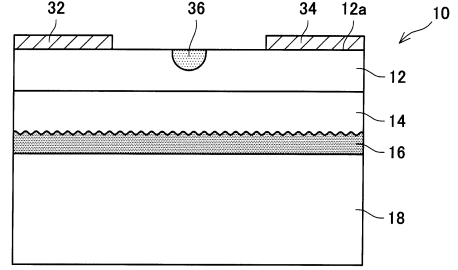
40

50

【図 7】

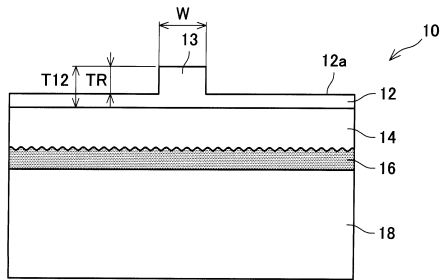


【図 8】

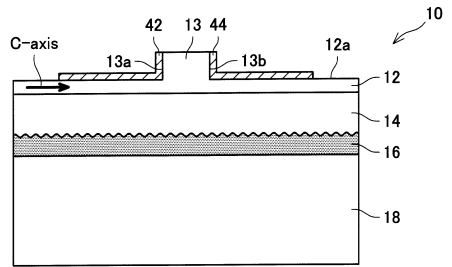


10

【図 9】

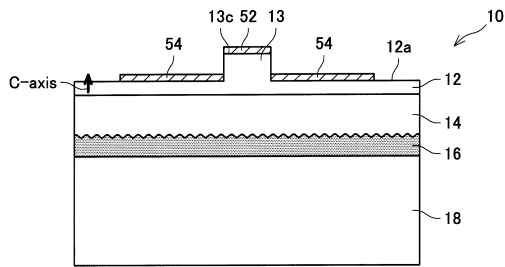


【図 10】

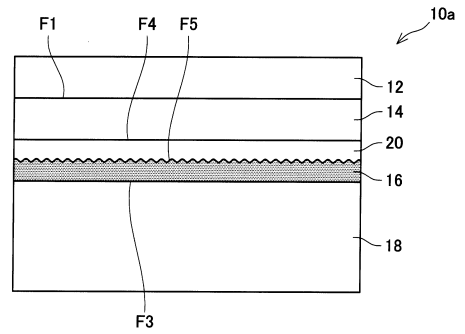


20

【図 11】



【図 12】

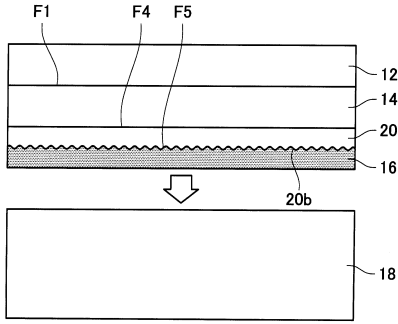


30

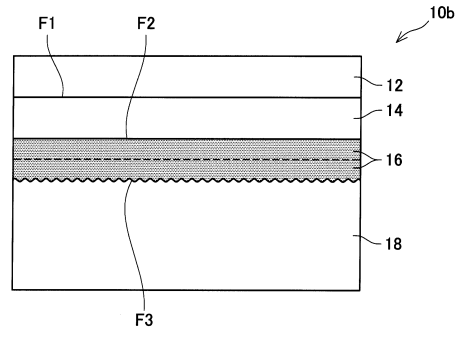
40

50

【 図 1 3 】

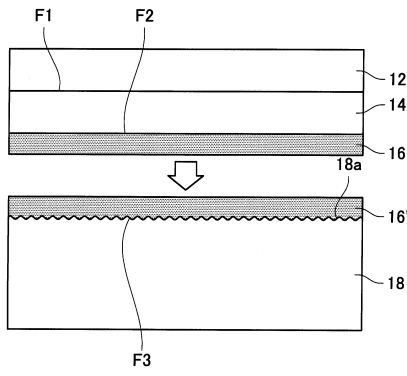


【 図 1 4 】

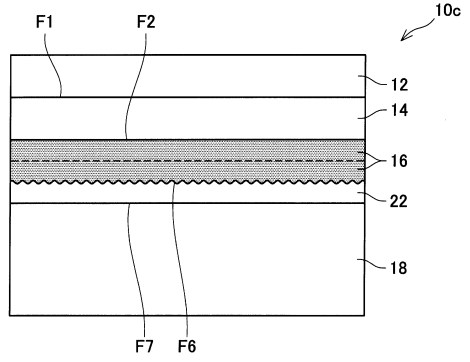


10

【 図 1 5 】

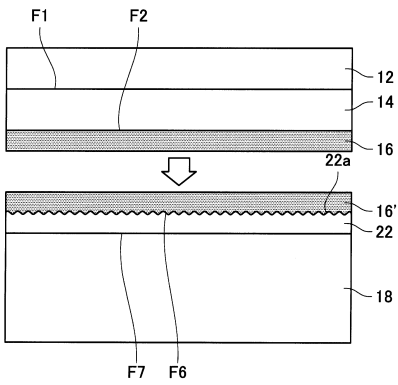


【 図 1 6 】



20

【 図 1 7 】



30

40

50

---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-284963(JP,A)  
特開2007-264548(JP,A)  
特開2002-040502(JP,A)  
特開2004-219845(JP,A)  
特開2004-145261(JP,A)  
特開2018-093329(JP,A)  
米国特許第06069729(US,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
G02F 1/00 - 1/125  
G02F 1/21 - 7/00  
G02B 6/12 - 6/14  
IEEE Xplore