

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7098666号
(P7098666)

(45)発行日 令和4年7月11日(2022.7.11)

(24)登録日 令和4年7月1日(2022.7.1)

(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	
C 3 0 B	29/30 (2006.01)	C 3 0 B	29/30		

請求項の数 20 (全23頁)

(21)出願番号	特願2020-6927(P2020-6927)	(73)特許権者	000004064 日本碍子株式会社 愛知県名古屋瑞穂区須田町2番56号
(22)出願日	令和2年1月20日(2020.1.20)	(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2019-528149(P2019-528149))の分割	(72)発明者	多井 知義 愛知県名古屋瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
原出願日	平成30年5月22日(2018.5.22)	(72)発明者	近藤 順悟 愛知県名古屋瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
(65)公開番号	特開2020-98345(P2020-98345A)	審査官	坂上 大貴
(43)公開日	令和2年6月25日(2020.6.25)		
審査請求日	令和3年1月20日(2021.1.20)		

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、少なくともアモルファス層を介して接合された支持基板と、
前記電気光学結晶基板と前記アモルファス層との間に位置し、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、
前記低屈折率層と前記アモルファス層との間に位置し、前記低屈折率層に接しているとともに、前記低屈折率層とは異なる材料で構成された第1接合層と、
前記アモルファス層と前記支持基板の間に位置するとともに、前記電気光学結晶基板よりも屈折率の低い第2低屈折率層と、
前記アモルファス層と前記第2低屈折率層との間に位置し、前記第2低屈折率層に接しているとともに、前記第2低屈折率層とは異なる材料で構成された第2接合層と、
を備え、
前記アモルファス層は、前記アモルファス層に一方側から接する層又は基板を構成する元素と、前記アモルファス層に他方側から接する層又は基板を構成する元素とで構成されており、
前記アモルファス層に前記一方側から接する層又は基板は、前記第1接合層であり、
前記アモルファス層に前記他方側から接する層又は基板は、前記第2接合層である、
複合基板。

【請求項 2】

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 に記載の複合基板。

【請求項 3】

前記第 2 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 又は 2 に記載の複合基板。

【請求項 4】

前記第 2 低屈折率層を構成する材料は、低屈折率層を構成する材料と同じである、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の複合基板。

10

【請求項 5】

前記支持基板は、サイアロン、ムライト、窒化シリコン、酸化マグネシウム、窒化ガリウム、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 4 のいずれか一項に記載の複合基板。

【請求項 6】

前記低屈折率層の厚みは、0.1 マイクロメートル以上であって、10 マイクロメートル以下である、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】

前記第 2 低屈折率層の厚みは、0.1 マイクロメートル以上であって、10 マイクロメートル以下である、請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の複合基板。

20

【請求項 8】

前記電気光学結晶基板の厚みは、0.1 マイクロメートル以上であって、10 マイクロメートル以下である、請求項 6 又は 7 に記載の複合基板。

【請求項 9】

前記第 2 低屈折率層と前記支持基板との間に位置する導電層をさらに備える、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】

前記導電層は、金、銀、銅、アルミニウム、白金、又は、それらのうちの少なくとも二つを含む合金の層を有する、請求項 9 に記載の複合基板。

30

【請求項 11】

前記導電層の厚みは、0.05 マイクロメートル以上であって、5 マイクロメートル以下である、請求項 10 に記載の複合基板。

【請求項 12】

前記導電層は、支持基板と接触する下地層として、チタン、クロム、ニッケル、又は白金の層を有する、請求項 10 又は 11 に記載の複合基板。

【請求項 13】

前記電気光学結晶基板の表面には、リッジ部が形成されている、請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載の複合基板。

【請求項 14】

前記電気光学結晶基板の c 軸は、前記電気光学結晶基板に対して平行であり、前記リッジ部の一方の側面に設けられた第 1 の電極と、前記リッジ部の他方の側面に設けられ、前記リッジ部を挟んで前記第 1 の電極に対向する第 2 の電極とをさらに備える、請求項 13 に記載の複合基板。

40

【請求項 15】

前記電気光学結晶基板の c 軸は、前記電気光学結晶基板に対して垂直であり、前記リッジ部の頂上面に設けられた第 1 の電極と、前記電気光学結晶基板の表面のうちの前記リッジ部の部分を除いた範囲に設けられた第 2 の電極とをさらに備える、請求項 13 に記載の複合基板。

【請求項 16】

50

前記リッジ部内には、不純物を含有する光導波路領域が、前記リッジ部の長手方向に沿って形成されている、請求項 13 から 15 のいずれか一項に記載の複合基板。

【請求項 17】

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に、前記電気光学結晶基板に接す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、前記低屈折率層に接するとともに前記低屈折率層とは異なる材料で構成された第 1 接合層とを成膜する工程と、
 支持基板に、前記電気光学結晶基板よりも屈折率の低い第 2 低屈折率層と、前記低屈折率層に接するとともに前記第 2 低屈折率層とは異なる材料で構成された第 2 接合層とを成膜する工程と、
 前記電気光学結晶基板に成膜された前記第 1 接合層を、前記支持基板に成膜された第 2 接合層の表面に直接接合する工程と、
 を備える製造方法。

10

【請求項 18】

前記直接接合は、真空チャンバ内において常温で行われる、請求項 17 に記載の製造方法。

【請求項 19】

前記直接接合は、各接合面に中性化ビームを照射して行われる、請求項 18 に記載の製造方法。

【請求項 20】

前記直接接合は、直径 4 インチの面積に対して 1000 ~ 20000 ニュートンの荷重で行われる、請求項 19 に記載の製造方法。

20

【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採用されており、高速かつ大容量な通信を実現するために、その開発が進められている。

30

【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、複合基板を用いて構成されている。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合された支持基板とを備える。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来の複合基板では、電気光学結晶基板と支持基板との間が、接着剤によって接合されている。このような構成であると、接着剤が経時的に劣化することによって、複合基板に剥離が生じることや、さらにこの剥離が原因となって、電気光学結晶基板にクラックといった損傷が生じることがある。このような問題を避けるために、接着剤を用いることなく、電気光学結晶基板と支持基板とを直接接合することが考えられる。しかしながら、電気光学結晶基板と支持基板とを直接接合すると、電気光学結晶基板と支持基板との間には、電気光学結晶基板の元素と支持基板の元素から構成されるアモルファス層が形成される。このアモルファス層は結晶性がなく、光学物性も双方の基板とは異なり、電気光学結晶基板とアモルファス層との間の界面も平坦ではない。このような平坦でない界面は、電気光学結晶基板を伝わる光を、散乱（例えば、乱反射や漏出）、吸収させるおそれがある。

40

【0005】

従って、本明細書は、上述した問題を回避又は低減し得る複合基板及びその製造方法を提

50

供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本明細書は、電気光学素子のための複合基板を開示する。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、少なくともアモルファス層を介して接合された支持基板と、電気光学結晶基板とアモルファス層との間に位置するとともに、電気光学結晶基板よりも屈折率の低い低屈折率層とを備える。アモルファス層は、アモルファス層に一方側から接する層又は基板を構成する元素と、アモルファス層に他方側から接する層又は基板を構成する元素とで構成されている。

【0007】

上記した複合基板は、次の製造方法によって製造することができる。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に、電気光学結晶基板よりも屈折率の低い低屈折率層を含む、少なくとも一つの層を成膜する工程と、少なくとも一つの層が成膜された電気光学結晶基板を、支持基板の表面に直接接合する工程とを備える。ここでいう直接接合とは、接合される二つの部材の間で原子が拡散し合い、それらの原子間で共有結合が形成される接合を意味する。なお、直接接合に先立って、支持基板の表面には、少なくとも一つの層が成膜されていてもよい。

【0008】

上記した製造方法によると、接着剤を必要とすることなく、電気光学結晶基板に支持基板が接合された複合基板を製造することができる。製造された複合基板では、直接接合に起因するアモルファス層が形成されるが、アモルファス層と電気光学結晶基板の間には低屈折率層が介在し、アモルファス層が電気光学結晶基板に接しない。従って、電気光学結晶基板を伝わる光が、アモルファス層やこのアモルファス層と電気光学結晶基板との間の平坦でない界面で、散乱又は吸収されることがない。加えて、電気光学結晶基板に接する低屈折率層は、電気光学結晶基板よりも屈折率が低いことから、光ファイバにおけるクラッドのように、電気光学結晶基板を伝わる光の漏出を抑制することができる。この複合基板を用いることで、高性能、かつ耐久性に優れた電気光学素子を製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】実施例1の複合基板10を模式的に示す斜視図。

【0010】

【図2】実施例1の複合基板10の断面構造を模式的に示す図。

【0011】

【図3】実施例1の複合基板10の製造方法の一工程を示す図。

【0012】

【図4】実施例1の複合基板10の製造方法の一工程を示す図。

【0013】

【図5】実施例1の複合基板10の製造方法の一工程を示す図。

【0014】

【図6】複合基板10の一変形例を示しており、電気光学結晶基板12に電界を形成する電極32、34と、電気光学結晶基板12内に設けられた光導波路領域36が付加されている。

【0015】

【図7】複合基板10の一変形例を示しており、電気光学結晶基板12の上面12aにリッジ部13が形成されている。

【0016】

【図8】複合基板10の一変形例を示しており、図7に示す変形例と比較して、第1の電極42及び第2の電極44が付加されている。この変形例では、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。

【0017】

10

20

30

40

50

【図 9】複合基板 10 の一変形例を示しており、図 7 に示す変形例と比較して、第 1 の電極 52 及び第 2 の電極 54 が付加されている。この変形例では、電気光学結晶基板 12 の c 軸 (c - a x i s) が、電気光学結晶基板 12 に対して垂直である。

【0018】

【図 10】実施例 2 の複合基板 10 a の断面構造を模式的に示す図。

【0019】

【図 11】実施例 2 の複合基板 10 a の製造方法を説明する図。

【0020】

【図 12】実施例 3 の複合基板 10 b の断面構造を模式的に示す図。

【0021】

【図 13】実施例 3 の複合基板 10 b の製造方法を説明する図。

【0022】

【図 14】実施例 4 の複合基板 10 c の断面構造を模式的に示す図。

【0023】

【図 15】実施例 4 の複合基板 10 c の製造方法を説明する図。

【0024】

【図 16】実施例 5 の複合基板 10 d の断面構造を模式的に示す図。

【0025】

【図 17】実施例 5 の複合基板 10 d の製造方法を説明する図。

【0026】

【図 18】実施例 6 の複合基板 10 e の断面構造を模式的に示す図。

【0027】

【図 19】実施例 6 の複合基板 10 e の製造方法を説明する図。

【0028】

【図 20】実施例 7 の複合基板 10 f の断面構造を模式的に示す図。

【0029】

【図 21】実施例 7 の複合基板 10 f の製造方法を説明する図。

【0030】

【図 22】実施例 8 の複合基板 10 g の断面構造を模式的に示す図。

【0031】

【図 23】実施例 8 の複合基板 10 g の製造方法を説明する図。

【0032】

【図 24】実施例 9 の複合基板 10 h の断面構造を模式的に示す図。

【0033】

【図 25】実施例 9 の複合基板 10 h の製造方法を説明する図。

【0034】

【図 26】実施例 10 の複合基板 10 i の断面構造を模式的に示す図。

【0035】

【図 27】実施例 10 の複合基板 10 i の製造方法を説明する図。

【0036】

【図 28】実施例 11 の複合基板 10 j の断面構造を模式的に示す図。

【0037】

【図 29】実施例 11 の複合基板 10 j の製造方法を説明する図。

【発明を実施するための形態】

【0038】

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 ($LiNbO_3$: LN)、タンタル酸リチウム ($LiTaO_3$: LT)、チタン酸リン酸カリウム ($KTiOPO_4$: KTP)、ニオブ酸カリウム・リチウム ($K_xLi(1-x)NbO_2$: KLN)、ニオブ酸カリウム ($KNbO_3$: KN)、タンタル酸・ニオブ酸カリウム ($KNb_xTa(1-x)O_3$: KTN)、ニオブ酸リチウムとタンタル酸リチウムとの固溶体、

10

20

30

40

50

のうちのいずれかの基板であってよい。

【0039】

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 (SiO_2)、酸化タンタル (Ta_2O_5)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、フッ化マグネシウム (MgF_2) 及びフッ化カルシウム (CaF_2) のうちの少なくとも一つで構成されていてもよい。

【0040】

本技術の一実施形態において、支持基板は、シリコン (Si)、ガラス、サイアロン ($\text{Si}_3\text{N}_4 - \text{Al}_2\text{O}_3$)、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 (AlN)、窒化シリコン (Si_3N_4)、酸化マグネシウム (MgO)、サファイア、石英、水晶、窒化ガリウム (GaN)、炭化シリコン (SiC)、酸化ガリウム (Ga_2O_3) のうちのいずれかの基板であってよい。

10

【0041】

本技術の一実施形態において、アモルファス層に一方側から接する層又は基板は、低屈折率層であってよい。このような複合基板は、低屈折率層が成膜された電気光学結晶基板を、支持基板に直接接合して製造することができる。このとき、支持基板の表面には、少なくとも一つの層が予め成膜されていてもよい。

【0042】

本技術の一実施形態では、複合基板が、低屈折率層とアモルファス層との間に位置する第1導電層をさらに備えてもよい。この場合、アモルファス層に一方側から接する層又は基板は、第1導電層であってよい。このような複合基板は、低屈折率層上に第1導電層が成膜された電気光学結晶基板を、支持基板に直接接合して製造することができる。このとき、支持基板の表面には、少なくとも一つの層が予め成膜されていてもよい。第1導電層は、複合基板から製造された電気光学素子において、電気光学結晶基板へ電気信号（即ち、電界）を加える電極として利用することができる。あるいは、第1導電層は、電気光学素子から電界が漏れ出ることを抑制するシールドとして利用することができる。

20

【0043】

第1導電層は、金 (Au)、銀 (Ag)、銅 (Cu)、アルミニウム (Al)、白金 (Pt)、又は、それらのうちの少なくとも二つを含む合金の層を有してもよい。なお、第1導電層は、単層構造であってよいし、多層構造を有してもよい。

【0044】

第1導電層のアモルファス層に接する表層は、白金で構成されていてもよい。白金は直接接合に適した材料である。そのことから、第1導電層の表層が白金で構成されていると、第1導電層が成膜された電気光学結晶基板を、支持基板に対して良好に直接接合することができる。

30

【0045】

上記した実施形態において、複合基板は、低屈折率層とアモルファス層との間に位置する第1接合層をさらに備えてもよい。この場合、アモルファス層に一方側から接する層又は基板は、第1接合層であってよい。第1接合層を構成する材料は、特に限定されないが、例えば酸化タンタル (Ta_2O_5)、酸化ニオブ (Nb_2O_5)、シリコン (Si)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、酸化チタン (TiO_2) といった、直接接合に適した材料であるとよい。

40

【0046】

上記した実施形態において、複合基板は、低屈折率層と接合層との間に位置する第1導電層をさらに備えてもよい。第1導電層は、複合基板から製造された電気光学素子において、電気光学結晶基板へ電気信号（即ち、電界）を加える電極として利用することができる。あるいは、第1導電層は、電気光学素子から電界が漏れ出ることを抑制するシールドとして利用することができる。

【0047】

本技術の一実施形態において、アモルファス層に他方側から接する層又は基板は、支持基板であってよい。このような複合基板は、電気光学結晶基板を、支持基板の表面に直接接

50

合して製造することができる。このとき、電気光学結晶基板には、低屈折率層に加えて、第1導電層及び/又は第1接合層が設けられていてもよい。

【0048】

本技術の一実施形態において、複合基板は、アモルファス層と支持基板との間に位置する第2接合層をさらに備えてもよい。この場合、アモルファス層に他方側から接する層又は基板は、第2接合層であってよい。第2接合層を構成する材料は、特に限定されないが、例えば酸化タンタル(Ta_2O_5)、酸化ニオブ(Nb_2O_5)、シリコン(Si)、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、酸化チタン(TiO_2)といった、直接接合に適した材料であるとよい。

【0049】

上記した実施形態において、複合基板は、第2接合層と支持基板との間に位置するとともに、電気光学結晶基板よりも屈折率の低い第2低屈折率層をさらに備えてもよい。一般に、屈折率は誘電率の平方根に比例するので、第2低屈折率層は低い誘電率を有している。従って、複合基板が第2低屈折率層を備えていると、複合基板から製造される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。

【0050】

上記した実施形態において、複合基板は、第2低屈折率層と支持基板との間に位置する第2導電層をさらに備えてもよい。第2導電層は、複合基板から製造された電気光学素子において、電気光学結晶基板へ電気信号(即ち、電界)を加える電極として利用することができる。あるいは、第2導電層は、電気光学素子から電界が漏れ出ることを抑制するシールドとして利用することができる。

【0051】

本技術の一実施形態において、複合基板は、アモルファス層と支持基板との間に位置する第2導電層をさらに備えてもよい。この場合、アモルファス層に他方側から接する層又は基板は、第2導電層であってよい。このような複合基板は、第2導電層が成膜された支持基板に、電気光学結晶基板を直接接合して製造することができる。第2導電層は、複合基板から製造された電気光学素子において、電気光学結晶基板へ電気信号(即ち、電界)を加える電極として利用することができる。あるいは、電気光学素子から電界が漏れ出ることを抑制するシールドとして利用することができる。

【0052】

第2導電層は、金(Au)、銀(Ag)、銅(Cu)、アルミニウム(Al)、白金(Pt)、又は、それらのうちの少なくとも二つを含む合金の層を有してもよい。なお、第2導電層は、単層構造であってもよいし、多層構造を有してもよい。

【0053】

第2導電層のアモルファス層に接する表層は、白金で構成されていてもよい。白金は直接接合に適した材料である。そのことから、第2導電層の表層が白金で構成されていると、第2導電層が成膜された支持基板を、電気光学結晶基板に対して良好に直接接合することができる。

【0054】

本技術の一実施形態において、複合基板は、アモルファス層と支持基板の間に位置するとともに、電気光学結晶基板よりも屈折率の低い第2低屈折率層をさらに備えてもよい。この場合、アモルファス層に他方側から接する層又は基板は、第2低屈折率層であってよい。前述したように、屈折率は誘電率の平方根に比例するので、第2低屈折率層は低い誘電率を有している。従って、複合基板が第2低屈折率層を備えていると、複合基板から製造された電気光学素子において誘電損失が低減される。

【0055】

上記した実施形態において、複合基板は、第2低屈折率層と支持基板との間に位置する第2導電層をさらに備えてもよい。第2導電層は、複合基板から製造された電気光学素子に

10

20

30

40

50

において、電気光学結晶基板へ電気信号（即ち、電界）を加える電極として利用することができる。あるいは、第2導電層は、電気光学素子から電界が漏れ出ることを抑制するシールドとして利用することができる。

【0056】

本技術の一実施形態において、電気光学結晶基板の表面には、リッジ部が形成されていてもよい。複合基板にリッジ部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。なお、リッジ部に加えて、又は代えて、電気光学結晶基板には、不純物（例えばチタン又は亜鉛）がドーピングされた光導波路領域が形成されていてもよい。但し、不純物がドーピングされた光導波路領域は、不純物のドーピングによる屈折率の増加量が小さく、光の閉じ込め効果が小さいので、光の近視野像（ニアフィールド径）は比較的が大きくなる。その結果、複合基板から製造される電気光学素子では、電界効率が低下することから、必要とされる駆動電圧が大きくなる。このため素子サイズも大きくなる。電気光学素子の低駆動電圧化や小型化の観点では、光の閉じ込め効果が大きいリッジ型光導波路の方が好ましい。

10

【0057】

上記した実施形態において、電気光学結晶基板のc軸（即ち、結晶主軸）が、電気光学結晶基板に対して平行であってもよい。即ち、電気光学結晶基板は、xカット又はyカットの基板であってもよい。この場合、複合基板は、リッジ部の一方の側面に設けられた第1の電極と、リッジ部の他方の側面に設けられ、リッジ部を挟んで第1の電極に対向する第2の電極とをさらに備えてもよい。これらの第1及び第2の電極は、複合基板から電気光学素子を製造するときに、リッジ型光導波路へ電気信号（即ち、電界）を加える電極として利用することができる。

20

【0058】

あるいは、電気光学結晶基板のc軸（即ち、結晶主軸）が、電気光学結晶基板に対して垂直であってもよい。即ち、電気光学結晶基板は、zカットの基板であってもよい。この場合、複合基板は、リッジ部の頂上面に設けられた第1の電極と、電気光学結晶基板の表面のうちのリッジ部の部分を除いた範囲に設けられた第2の電極とをさらに備えてもよい。これらの第1及び第2の電極は、複合基板から製造された電気光学素子において、リッジ型光導波路へ電気信号（即ち、電界）を加える電極として利用することができる。

30

【0059】

電気光学結晶基板がリッジ部を有する実施形態では、不純物を含有する光導波路領域が、リッジ部の長手方向に沿って形成されていてもよい。このような構成によると、リッジ部を変更することなく、不純物をドーピングする領域を変更することによって、所望の光導波路を容易に形成することができる。

【0060】

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。

40

【0061】

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。

【0062】

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

50

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】

【0063】

図面を参照して、実施例の複合基板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(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

【0064】

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、支持基板14と、低屈折率層16と、アモルファス層18とを備える。電気光学結晶基板12は、低屈折率層16及びアモルファス層18を介して、支持基板14に接合されている。これらの基板12、14及び層16、18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。

20

【0065】

電気光学結晶基板12は、外部に露出する上面12aと、複合基板10内に位置する下面12bとを有する。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。詳しくは、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。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T12は、特に限定されないが、例えば0.1マイクロメートル以上であって、10マイクロメートル以下であってよい。

30

【0066】

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(LiNbO₃:LN)、タンタル酸リチウム(LiTaO₃:LT)、チタン酸リン酸カリウム(KTiOPO₄:KTP)、ニオブ酸カリウム・リチウム(K_xLi(1-x)NbO₂:KLN)、ニオブ酸カリウム(KNbO₃:KN)、タンタル酸・ニオブ酸カリウム(KNb_xTa(1-x)O₃:KTN)、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

【0067】

支持基板14は、複合基板10内に位置する上面14aと、外部に露出する下面14bとを有する。支持基板14には、電気光学結晶基板12が接合されている。支持基板14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14は、特に限定されないが、例えばシリコン(Si)、ガラス、サイアロン(Si₃N₄-Al₂O₃)、ムライト(3Al₂O₃・2SiO₂, 2Al₂O₃・SiO₂)、窒化アルミニウム(AlN)、窒化シリコン(Si₃N₄)、酸化マグネシウム(MgO)、サファイア、石英、水晶、窒化ガリウム(GaN)、炭化シリコン(SiC)、酸化ガリウム(Ga₂O₃)のうちのいずれか

50

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 14 を構成する材料の線膨張係数は、電気光学結晶基板 12 を構成する材料の線膨張係数に近いほどよい。特に限定されないが、支持基板 24 を構成する材料の線膨張係数は、電気光学結晶基板 12 を構成する材料の線膨張係数の ± 50 パーセント以内であるとよい。

【0068】

低屈折率層 16 は、電気光学結晶基板 12 とアモルファス層 18 との間に位置しており、電気光学結晶基板 12 の下面 12b に沿って設けられている。低屈折率層 16 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 の下面 12b（即ち、低屈折率層 16 に接する界面）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る。低屈折率層 16 は、特に限定されないが、例えば酸化シリコン（ SiO_2 ）、酸化タンタル（ Ta_2O_5 ）、酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）、フッ化マグネシウム（ MgF_2 ）及びフッ化カルシウム（ CaF_2 ）のうちの少なくとも一つで構成されていてもよい。低屈折率層 16 の厚み T_{16} は、特に限定されないが、例えば 0.1 マイクロメートル以上であって、10 マイクロメートル以下であってよい。

10

【0069】

一般に、屈折率は誘電率の平方根に比例する。低屈折率層 16 の屈折率は、電気光学結晶基板 12 の屈折率よりも低いことから、低屈折率層 16 の誘電率は、電気光学結晶基板 12 の誘電率よりも低い。従って、複合基板 10 が低屈折率層 16 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

【0070】

アモルファス層 18 は、低屈折率層 16 と支持基板 14 との間に位置している。アモルファス層 18 は、アモルファス構造を有しており、アモルファス層 18 に上方から接する低屈折率層 16 を構成する元素と、アモルファス層 18 に下方から接する支持基板 14 を構成する元素とで構成されている。アモルファス層 18 の厚み T_{18} は、特に限定されないが、0.1 ナノメートル以上であって、100 ナノメートル以下であってよい。後述するように、複合基板 10 は、低屈折率層 16 が成膜された電気光学結晶基板 12 に、支持基板 14 を直接接合することによって、製造することができる。アモルファス層 18 は、この直接接合において生成される層であり、低屈折率層 16 及び支持基板 14 の原子がそれぞれ拡散することによって形成される。従って、アモルファス層 18 の上面 18a（即ち、低屈折率層 16 に接する界面）、及び、アモルファス層 18 の下面 18b（即ち、支持基板 14 に接する界面）は、必ずしも平坦ではない。

30

【0071】

一般に、直接接合に起因するアモルファス層は、その上下に位置する材料を構成する元素から構成され、結晶性がなく、外部から異なる元素が取り込まれることもあり、光学特性が上下に位置する材料と異なる。またアモルファス層の界面が平坦でなく、光学的に吸収や散乱が生じ得る。このため、仮に、アモルファス層 18 が電気光学結晶基板 12 へ直接接触していると、電気光学結晶基板 12 を伝わる光が、アモルファス層 18 によって減衰する。これに対して、本実施例の複合基板 10 では、アモルファス層 18 と電気光学結晶基板 12 との間に低屈折率層 16 が介在しており、アモルファス層 18 が電気光学結晶基板 12 に接していない。従って、電気光学結晶基板 12 を伝わる光が、アモルファス層 18 やこの上面 18a で散乱されることがない。加えて、電気光学結晶基板 12 に接する低屈折率層 16 は、電気光学結晶基板 12 よりも屈折率が低いことから、光ファイバにおけるクラッドのように、電気光学結晶基板 12 を伝わる光の漏出を抑制し、光導波路伝搬することができる。

40

【0072】

以上のように、本実施例の複合基板 10 では、電気光学結晶基板 12 が支持基板 14 によ

50

って補強されているので、電気光学結晶基板 12 の厚み T_{12} を比較的小さくすることができる。また、低屈折率層 16 により光の閉じ込め効果に優れた光導波路構造を形成することができるので、不純物がドーブされていない高品質なバルク結晶中で光を伝搬させることができる。さらに、電気光学結晶基板 12 と支持基板 14 との間は、接着剤を用いることなく直接接合されているので、接着剤の変質及び変形がなく、高い信頼性を有している。また、接着剤による誘電損失もない。そして、直接接合に起因するアモルファス層 18 は、低屈折率層 16 によって電気光学結晶基板 12 から隔てられているので、電気光学結晶基板 12 を伝わる光は、損失なく出力側へ伝搬されることができる。

【0073】

次に、図 3 - 図 5 を参照して、複合基板 10 の製造方法について説明する。先ず、図 3 に示すように、電気光学結晶基板 12 を用意する。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。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° 以内の角度を成すオフセット基板であってもよい。あるいは、 z カットの基板 (c 軸が基板に垂直) であってもよい。次に、図 4 に示すように、電気光学結晶基板 12 の下面 12b に、低屈折率層 16 を成膜する。低屈折率層 16 の成膜は、特に限定されないが、蒸着 (物理蒸着又は化学蒸着) によって行うことができる。なお、電気光学結晶基板 12 の下面 12b は、電気光学結晶基板 12 の一方の主表面である。次に、図 5 に示すように、支持基板 14 を用意し、低屈折率層 16 が成膜された電気光学結晶基板 12 の下面 12b に、支持基板 14 を直接接合する。このとき、支持基板 14 と低屈折率層 16 との間に、前述したアモルファス層 18 が形成される。これにより、図 1、図 2 に示す複合基板 10 が製造される。

【0074】

上記した直接接合について、具体的な手順や加工条件は特に限定されない。互いに接合される層又は基板の各材料に応じて、適宜定めることができる。一例ではあるが、本実施例の製造方法では、先ず、高真空チャンパー内 (例えば、 1×10^{-6} パスカ程度) において、各接合面に中性化ビームを照射する。これより、各接合面が活性化される。次いで、真空雰囲気中で、活性化された接合面同士を接触させ、常温で接合する。この接合時の荷重は、例えば、 $100 \sim 20000$ ニュートンとすることができる。この製造方法において、中性化ビームによる表面活性化を行う際には、チャンパーに不活性ガスを導入し、チャンパー内に配置した電極へ、直流電源から高電圧を印加する。これにより、電極 (正極) とチャンパー (負極) との間に生じる電界により、電子が運動して、不活性ガスによる原子とイオンのビームが生成される。グリッドに達したビームのうち、イオンビームはグリッドで中和されるので、中性原子のビームが高速原子ビーム源から出射される。ビームを構成する原子種は、不活性ガス元素 (例えば、アルゴン (Ar)、窒素 (N) 等) が好ましい。ビーム照射による活性化時の電圧は $0.5 \sim 2.0$ キロボルト、電流は $50 \sim 200$ ミリアンペアとすることができる。

【0075】

図 6 に示すように、複合基板 10 には、電気光学結晶基板 12 に電界を形成するための電極 32、34 が、電気光学結晶基板 12 の上面 12a に設けられてもよい。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 (Au)、銀 (Ag)、銅 (Cu)、アルミニウム (Al)、プラチナ (Pt) といった金属であってもよい。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 (Pt) 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。例えば、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。図 6 に示す電極 32、34 は、後述する他の実施例の複合基板 10a - 10j にも、同様に設けることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 6 】

加えて、又は代えて、電気光学結晶基板 1 2 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 3 6 が設けられてもよい。電気光学結晶基板 1 2 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 3 6 を形成することができる。光導波路領域 3 6 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 3 6 の数については、複合基板 1 0 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 3 6 の数に応じて、適宜定めることができる。複合基板 1 0 に光導波路領域 3 6 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 1 0 から電気光学素子を容易に製造することができる。図 6 に示す光導波路領域 3 6 は、後述する他の実施例の複合基板 1 0 a - 1 0 j にも、同様に設けることができる。

10

【 0 0 7 7 】

図 7 に示すように、電気光学結晶基板 1 2 の上面 1 2 a には、リッジ部 1 3 が形成されてもよい。リッジ部 1 3 は、上面 1 2 a に沿って細長く伸びる突出部である。リッジ部 1 3 は、複合基板 1 0 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 1 0 にリッジ部 1 3 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 1 3 の幅 W は、特に限定されないが、1 マイクロメートル以上であって、1 0 マイクロメートル以下であってよい。リッジ部 1 3 の高さ T R についても、特に限定されないが、電気光学結晶基板 1 2 の厚み T 1 2 の 1 0 パーセント以上であって、9 5 パーセント以下であってよい。リッジ部 1 3 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 1 0 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 1 3 が形成されるとよい。図 7 に示すリッジ部 1 3 は、後述する他の実施例の複合基板 1 0 a - 1 0 j にも、同様に設けることができる。

20

【 0 0 7 8 】

図 8 に示すように、リッジ部 1 3 を有する複合基板 1 0 には、第 1 の電極 4 2 及び第 2 の電極 4 4 がさらに設けられてもよい。ここで、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場合、第 1 の電極 4 2 はリッジ部 1 3 の一方の側面 1 3 a に設けられるとよい。そして、第 2 の電極 4 4 は、リッジ部 1 3 の他方の側面 1 3 b に設けられ、リッジ部 1 3 を挟んで第 1 の電極 4 2 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 1 3 に対して、第 1 の電極 4 2 及び第 2 の電極 4 4 は c 軸と平行に電界を印加することができる。第 1 の電極 4 2 及び第 2 の電極 4 4 を構成する材料は、導電体であればよく、例えば金 (A u)、銅 (C u)、アルミニウム (A l) といった金属であってよい。電極 4 2、4 4 は、電気光学結晶基板 1 2 と接触する下地層（最下層）として、電極 4 2、4 4 のはがれやマイグレーションを防止するために、チタン (T i)、クロム (C r)、ニッケル (N i)、白金 (P t) 等の層を有してもよい。また、第 1 の電極 4 2 と電気光学結晶基板 1 2 や、第 2 の電極 4 4 と電気光学結晶基板 1 2 との間には、電気光学結晶基板 1 2 よりも屈折率の低い低屈折率膜が設けられてもよい。このような低屈折率膜は、クラッド層として機能し、リッジ部 1 3 を伝わる光の損失を抑制することができる。図 8 に示す第 1 の電極 4 2 及び第 2 の電極 4 4 は、リッジ部 1 3 と共に、後述する他の実施例の複合基板 1 0 a - 1 0 j にも、同様に設けることができる。

30

40

【 0 0 7 9 】

図 9 に示すように、電気光学結晶基板 1 2 の c 軸 (c - a x i s) は、電気光学結晶基板 1 2 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 1 2 の上面 1 2 a には、リッジ部 1 3 が形成されてもよい。また、電気光学結晶基板 1 2 の上面 1 2 a には、第 1 の電極 5 2 及び第 2 の電極 5 4 が設けられてもよい。但し、第 1 の電極 5 2 は、リッジ部 1 3 の頂上面 1 3 c に設けられるとよく、第 2 の電極 5 4 は、電気光学結晶基板 1 2 の上面 1 2 a のうちのリッジ部 1 3 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 1 3 に対して、第 1 の電極

50

5 2 及び第 2 の電極 5 4 は c 軸と平行に電界を印加することができる。図 9 に示す第 1 の電極 5 2 及び第 2 の電極 5 4 は、リッジ部 1 3 と共に、後述する他の実施例の複合基板 1 0 a - 1 0 j にも、同様に設けることができる。なお、複合基板 1 0 a - 1 0 j が導電層 2 0、2 0' を備える場合、導電層 2 0、2 0' を第 2 の電極 5 4 の代わりに利用することもできる。この場合、第 2 の電極 5 4 は必ずしも必要とされず、省略することができる。

【0080】

(実施例 2) 図 1 0、1 1 を参照して、実施例 2 の複合基板 1 0 a について説明する。図 1 0 に示すように、実施例 2 の複合基板 1 0 a は第 1 導電層 2 0 をさらに備えており、この点において実施例 1 の複合基板 1 0 と相違する。第 1 導電層 2 0 は、低屈折率層 1 6 とアモルファス層 1 8 との間に位置しており、アモルファス層 1 8 に上方から接している。従って、本実施例におけるアモルファス層 1 8 は、第 1 導電層 2 0 を構成する元素と、支持基板 1 4 を構成する元素とで構成されている。第 1 導電層 2 0 は、複合基板 1 0 a から製造された電気光学素子において、電気光学結晶基板 1 2 へ電気信号(即ち、電界)を加える電極として利用することができる。あるいは、第 1 導電層 2 0 は、電気光学素子から電界が漏れ出ることを抑制するシールドとして利用することができる。

10

【0081】

第 1 導電層 2 0 を構成する材料は、導電体であればよく、例えば金(Au)、銀(Ag)、銅(Cu)、アルミニウム(Al)、白金(Pt)、又は、それらのうちの少なくとも二つを含む合金の層を有してよい。第 1 導電層 2 0 は、単層構造であってもよいし、多層構造を有してもよい。第 1 導電層 2 0 は、低屈折率層 1 6 と接触する下地層として、第 1 導電層 2 0 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(Pt)等の層を有してもよい。第 1 導電層 2 0 の厚み T 2 0 は、特に限定されないが、0.05 マイクロメートル以上であって、5 マイクロメートル以下であってよい。

20

【0082】

図 1 1 に示すように、本実施例の複合基板 1 0 a についても、電気光学結晶基板 1 2 を支持基板 1 4 に直接接合することによって、製造することができる。但し、本実施例の製造方法では、直接接合を実施するのに先立って、電気光学結晶基板 1 2 の下面 1 2 b には、低屈折率層 1 6 と第 1 導電層 2 0 とが形成される。低屈折率層 1 6 は、電気光学結晶基板 1 2 の下面 1 2 b 上に成膜され、第 1 導電層 2 0 は、低屈折率層 1 6 上に成膜される。従って、本実施例における直接接合は、第 1 導電層 2 0 と支持基板 1 4 との間で実施される。この場合、第 1 導電層 2 0 の表層 2 0 a は、白金で構成されていてもよい。白金は直接接合に適した材料である。そのことから、第 1 導電層 2 0 の表層 2 0 a が白金で構成されていると、第 1 導電層 2 0 が成膜された電気光学結晶基板 1 2 を、支持基板 1 4 に対して良好に直接接合することができる。なお、第 1 導電層 2 0 の成膜は、例えばスパッタリングや蒸着(物理蒸着又は化学蒸着)によって行うことができる。

30

【0083】

(実施例 3) 図 1 2、1 3 を参照して、実施例 3 の複合基板 1 0 b について説明する。図 1 2 に示すように、実施例 3 の複合基板 1 0 b は第 1 接合層 2 2 をさらに備えており、この点において実施例 2 の複合基板 1 0 b と相違する。第 1 接合層 2 2 は、第 1 導電層 2 0 とアモルファス層 1 8 との間に位置しており、アモルファス層 1 8 に上方から接している。従って、本実施例におけるアモルファス層 1 8 は、第 1 接合層 2 2 を構成する元素と、支持基板 1 4 を構成する元素とで構成されている。

40

【0084】

第 1 接合層 2 2 を構成する材料は、特に限定されないが、例えば酸化タンタル(Ta₂O₅)、酸化ニオブ(Nb₂O₅)、シリコン(Si)、酸化アルミニウム(Al₂O₃)、酸化チタン(TiO₂)といった、直接接合に適した材料であるとよい。第 1 接合層 2 2 の厚み T 2 2 は、特に限定されないが、0.01 マイクロメートル以上であって、0.5 マイクロメートル以下であってよい。第 1 接合層 2 2 は、第 1 導電層 2 0 によって電気光学結晶基板 1 2 から隔てられているので、複合基板 1 0 b の特性に対して実質的な影響

50

を与えない。

【0085】

図13に示すように、本実施例の複合基板10bについても、電気光学結晶基板12を支持基板14に直接接合することによって、製造することができる。但し、本実施例の製造方法では、直接接合を実施するのに先立って、電気光学結晶基板12の下面12bに、低屈折率層16と第1導電層20と第1接合層22とが形成される。低屈折率層16は、電気光学結晶基板12の下面12b上に成膜され、第1導電層20は、低屈折率層16上に成膜される。そして、第1接合層22は、第1導電層20上に成膜される。従って、本実施例における直接接合は、第1接合層22と支持基板14との間で実施される。第1接合層22は、直接接合に適した材料で構成されているので、第1接合層22が成膜された電気光学結晶基板12を、支持基板14に対して良好に直接接合することができる。なお、第1接合層22の成膜は、特に限定されないが、スパッタリングや蒸着（物理蒸着又は化学蒸着）によって行うことができる。

10

【0086】

（実施例4）図14、15を参照して、実施例4の複合基板10cについて説明する。図14に示すように、実施例4の複合基板10cは第2接合層22'をさらに備えており、この点において実施例3の複合基板10cと相違する。第2接合層22'は、アモルファス層18と支持基板14との間に位置しており、アモルファス層18に下方から接している。従って、本実施例におけるアモルファス層18は、第1接合層22を構成する元素と、第2接合層22'を構成する元素とで構成されている。

20

【0087】

第2接合層22'を構成する材料は、特に限定されないが、例えば酸化タンタル（ Ta_2O_5 ）、酸化ニオブ（ Nb_2O_5 ）、シリコン（ Si ）、酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）、酸化チタン（ TiO_2 ）といった、直接接合に適した材料であるとよい。第2接合層22'の厚み $T_{22'}$ は、特に限定されないが、0.01マイクロメートル以上であって、0.5マイクロメートル以下であってよい。第2接合層22'は、第1導電層20によって電気光学結晶基板12から隔てられているので、複合基板10bの特性に対して実質的な影響を与えない。

【0088】

図15に示すように、本実施例の複合基板10cについても、電気光学結晶基板12を支持基板14に直接接合することによって、製造することができる。但し、本実施例の製造方法では、直接接合を実施するのに先立って、支持基板14の上面14aに、第2接合層22'が成膜される。なお、電気光学結晶基板12の下面12bに、実施例3と同様に、低屈折率層16と第1導電層20と第1接合層22とが形成される。従って、本実施例における直接接合は、第1接合層22と第2接合層22'との間で実施される。第1接合層22及び第2接合層22'は、直接接合に適した材料で構成されているので、第1接合層22が成膜された電気光学結晶基板12を、第2接合層22'が成膜された支持基板14に対して、良好に直接接合することができる。なお、第2接合層22'の成膜についても、第1接合層22と同様に、蒸着（物理蒸着又は化学蒸着）によって行うことができる。

30

【0089】

（実施例5）図16、17を参照して、実施例5の複合基板10dについて説明する。図16に示すように、実施例5の複合基板10dは第1導電層20を備えておらず、この点において実施例3の複合基板10cと相違する。即ち、第1導電層20は、必ずしも必要とされない。図17に示すように、本実施例の複合基板10dについても、電気光学結晶基板12を支持基板14に直接接合することによって、製造することができる。本実施例の製造方法では、直接接合を実施するのに先立って、電気光学結晶基板12の下面12bに、低屈折率層16と第1接合層22とが形成される。低屈折率層16は、電気光学結晶基板12の下面12b上に成膜され、第1接合層22は、低屈折率層16上に成膜される。従って、本実施例における直接接合は、第1接合層22と支持基板14との間で実施される。

40

50

【 0 0 9 0 】

(実施例 6) 図 18、19 を参照して、実施例 6 の複合基板 10 e について説明する。図 18 に示すように、実施例 6 の複合基板 10 e は、第 2 接合層 22' をさらに備えており、この点において実施例 5 の複合基板 10 d と相違する。言い換えると、本実施例の複合基板 10 e は、第 1 導電層 20 を備えておらず、この点において実施例 4 の複合基板 10 e と相違する。図 19 に示すように、本実施例の複合基板 10 e についても、電気光学結晶基板 12 を支持基板 14 に直接接合することによって、製造することができる。本実施例の製造方法では、直接接合を実施するのに先立って、電気光学結晶基板 12 の下面 12 b に、低屈折率層 16 と第 1 接合層 22 とが形成される。また、支持基板 14 の上面 14 a に、第 2 接合層 22' が成膜される。従って、本実施例における直接接合は、第 1 接合層 22 と第 2 接合層 22' との間で実施される。

10

【 0 0 9 1 】

(実施例 7) 図 20、21 を参照して、実施例 7 の複合基板 10 f について説明する。図 20 に示すように、実施例 7 の複合基板 10 f は第 2 導電層 20' をさらに備えており、この点において実施例 1 の複合基板 10 と相違する。第 2 導電層 20' は、アモルファス層 18 と支持基板 14 との間に位置しており、アモルファス層 18 に下方から接している。従って、本実施例におけるアモルファス層 18 は、低屈折率層 16 を構成する元素と、第 2 導電層 20' を構成する元素とで構成されている。第 2 導電層 20' は、複合基板 10 f から製造された電気光学素子において、電気光学結晶基板 12 へ電気信号(即ち、電界)を加える電極として利用することができる。あるいは、第 2 導電層 20' は、電気光学素子から電界が漏れ出ることを抑制するシールドとして利用することができる。

20

【 0 0 9 2 】

第 2 導電層 20' を構成する材料は、導電体であればよく、例えば金(Au)、銀(Ag)、銅(Cu)、アルミニウム(Al)、白金(Pt)、又は、それらのうちの少なくとも二つを含む合金の層を有してよい。第 2 導電層 20' は、単層構造であってもよいし、多層構造を有してもよい。第 2 導電層 20' は、支持基板 14 と接触する下地層として、第 2 導電層 20' 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(Pt)等の層を有してもよい。第 2 導電層 20' の厚み T20' は、特に限定されないが、0.05 マイクロメートル以上であって、5 マイクロメートル以下であってよい。

30

【 0 0 9 3 】

図 21 に示すように、本実施例の複合基板 10 f についても、電気光学結晶基板 12 を支持基板 14 に直接接合することによって、製造することができる。但し、本実施例の製造方法では、直接接合を実施するのに先立って、支持基板 14 の上面 14 a に第 2 導電層 20' が成膜される。電気光学結晶基板 12 の下面 12 b には、実施例 1 と同様に、低屈折率層 16 が成膜される。従って、本実施例における直接接合は、低屈折率層 16 と第 2 導電層 20' との間で実施される。この場合、第 2 導電層 20' の表層 20 a' は、白金で構成されていてもよい。前述したように、白金は直接接合に適した材料である。そのことから、第 2 導電層 20' の表層 20 a' が白金で構成されていると、電気光学結晶基板 12 を、第 2 導電層 20' が成膜された支持基板 14 に対して、良好に直接接合することができる。なお、第 2 導電層 20' の成膜は、例えばスパッタリングや蒸着(物理蒸着又は化学蒸着)によって行うことができる。

40

【 0 0 9 4 】

(実施例 8) 図 22、23 を参照して、実施例 8 の複合基板 10 g について説明する。図 22 に示すように、実施例 8 の複合基板 10 g は第 2 低屈折率層 16' をさらに備えており、この点において実施例 7 の複合基板 10 f と相違する。第 2 低屈折率層 16' は、低屈折率層 16 と同様に、電気光学結晶基板 12 よりも低い屈折率を有する。第 2 低屈折率層 16' は、アモルファス層 18 と支持基板 14 との間に位置しており、アモルファス層 18 に下方から接している。従って、本実施例におけるアモルファス層 18 は、低屈折率層 16 を構成する元素と、第 2 低屈折率層 16' を構成する元素とで構成されている。第 2 低屈折

50

率層 16' の厚み $T_{16'}$ は、特に限定されないが、例えば 0.1 マイクロメートル以上であって、10 マイクロメートル以下であってもよい。

【0095】

第2低屈折率層 16' は、特に限定されないが、酸化シリコン (SiO_2)、酸化タンタル (Ta_2O_5)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、フッ化マグネシウム (MgF_2) 及びフッ化カルシウム (MgF_2) のうちの少なくとも一つで構成されていてもよい。第2低屈折率層 16' を構成する材料は、低屈折率層 16 を構成する材料と同じであってもよい。あるいは、第2低屈折率層 16' を構成する材料は、低屈折率層 16 を構成する材料とは異なってもよい。前述したように、屈折率は誘電率の平方根に比例する。第2低屈折率層 16' の屈折率は、電気光学結晶基板 12 の屈折率よりも低いことから、第2低屈折率層 16' の誘電率は、電気光学結晶基板 12 の誘電率よりも低い。従って、複合基板 10 が第2低屈折率層 16' 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。

10

【0096】

図 23 に示すように、本実施例の複合基板 10g についても、電気光学結晶基板 12 を支持基板 14 に直接接合することによって、製造することができる。本実施例の製造方法では、直接接合を実施するのに先立って、支持基板 14 の上面 14a に第2導電層 20' と第2低屈折率層 16' とが形成される。第2導電層 20' は、支持基板 14 の上面 14a 上に成膜され、第2低屈折率層 16' は、第2導電層 20' 上に成膜される。電気光学結晶基板 12 の下面 12b には、実施例 1 と同様に、低屈折率層 16 が成膜される。従って、本実施例における直接接合は、低屈折率層 16 と第2低屈折率層 16' との間で実施される。なお、第2低屈折率層 16' の成膜は、低屈折率層 16 と同様に、スパッタリングや蒸着（物理蒸着又は化学蒸着）によって行うことができる。

20

【0097】

（実施例 9）図 24、25 を参照して、実施例 9 の複合基板 10h について説明する。図 24 に示すように、実施例 9 の複合基板 10h は、第1接合層 22 と第2接合層 22' とをさらに備えており、この点において実施例 8 の複合基板 10g と相違する。第1接合層 22 は、低屈折率層 16 とアモルファス層 18 との間に位置しており、アモルファス層 18 に上方から接している。第2接合層 22' は、アモルファス層 18 と第2低屈折率層 16' との間に位置しており、アモルファス層 18 に下方から接している。従って、本実施例におけるアモルファス層 18 は、第1接合層 22 を構成する元素と、第2接合層 22' を構成する元素とで構成されている。

30

【0098】

前述したように、第1接合層 22 と第2接合層 22' とのそれぞれは、例えば酸化タンタル (Ta_2O_5)、酸化ニオブ (Nb_2O_5)、シリコン (Si)、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、酸化チタン (TiO_2) といった、直接接合に適した材料で構成されることができる。第1接合層 22 と第2接合層 22' は、同じ材料で構成されてもよいし、異なる材料で構成されてもよい。第1接合層 22 と第2接合層 22' の厚み T_{22} 、 $T_{22'}$ は、特に限定されないが、0.01 マイクロメートル以上であって、0.5 マイクロメートル以下であってもよい。第1接合層 22 と第2接合層 22' の厚み T_{22} 、 $T_{22'}$ は、同じであってもよいし、異なってもよい。

40

【0099】

図 25 に示すように、本実施例の複合基板 10h についても、電気光学結晶基板 12 を支持基板 14 に直接接合することによって、製造することができる。本実施例の製造方法では、直接接合を実施するのに先立って、電気光学結晶基板 12 の下面 12b に、低屈折率層 16 と第1接合層 22 とが形成される。低屈折率層 16 は、電気光学結晶基板 12 の下面 12b 上に成膜され、第1接合層 22 は、低屈折率層 16 上に成膜される。支持基板 14 の上面 14a には、第2導電層 20' と第2低屈折率層 16' と第2接合層 22' が形成さ

50

れる。第2導電層20'は、支持基板14の上面14a上に成膜され、第2低屈折率層16'は、第2導電層20'上に成膜される。そして、第2接合層22'が、第2低屈折率層16'上に成膜される。従って、本実施例における直接接合は、第1接合層22と第2接合層22'との間で実施される。第1接合層22及び第2接合層22'の成膜は、スパッタリングや蒸着（物理蒸着又は化学蒸着）によって行うことができる。

【0100】

（実施例10）図26、27を参照して、実施例10の複合基板10iについて説明する。図26に示すように、実施例10の複合基板10iは、第2導電層20'を備えておらず、この点において実施例9の複合基板10hと相違する。即ち、第2導電層20'は、必ずしも必要とされない。図27に示すように、本実施例の複合基板10iについても、電気光学結晶基板12を支持基板14に直接接合することによって、製造することができる。本実施例の製造方法では、直接接合を実施するのに先立って、電気光学結晶基板12の下面12bに、低屈折率層16と第1接合層22とが形成される。低屈折率層16は、電気光学結晶基板12の下面12b上に成膜され、第1接合層22は、低屈折率層16上に成膜される。支持基板14の上面14aには、第2低屈折率層16'と第2接合層22'とが形成される。第2低屈折率層16'は、支持基板14の上面14a上に成膜され、第2接合層22'は、第2低屈折率層16'上に成膜される。従って、本実施例における直接接合は、第1接合層22と第2接合層22'との間で実施される。

10

【0101】

（実施例11）図28、29を参照して、実施例11の複合基板10jについて説明する。図28に示すように、実施例11の複合基板10jは、第1接合層22及び第2接合層22'を備えておらず、この点において実施例10の複合基板10iと相違する。即ち、第1接合層22及び第2接合層22'は、必ずしも必要とされない。図29に示すように、本実施例の複合基板10jについても、電気光学結晶基板12を支持基板14に直接接合することによって、製造することができる。本実施例の製造方法では、直接接合を実施するのに先立って、電気光学結晶基板12の下面12bに低屈折率層16が成膜され、支持基板14の上面14aに第2低屈折率層16'が成膜される。従って、本実施例における直接接合は、低屈折率層16と第2低屈折率層16'との間で実施される。

20

【符号の説明】

【0102】

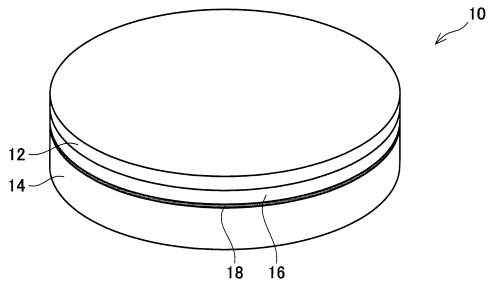
- 10：複合基板
- 12：電気光学結晶基板
- 13：リッジ部
- 14：支持基板
- 16：低屈折率層
- 16'：第2低屈折率層
- 18：アモルファス層
- 20：第1導電層
- 20'：第2導電層
- 22：第1接合層
- 22'：第2接合層

30

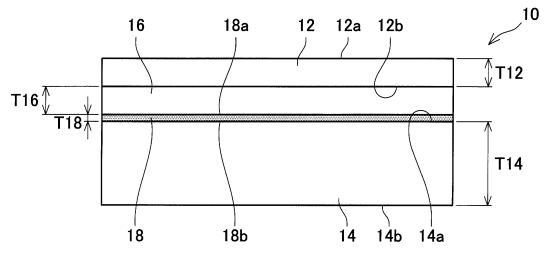
40

【図面】

【図 1】

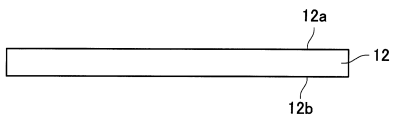


【図 2】

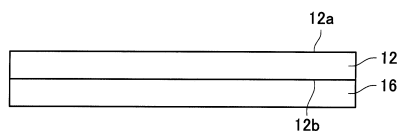


10

【図 3】

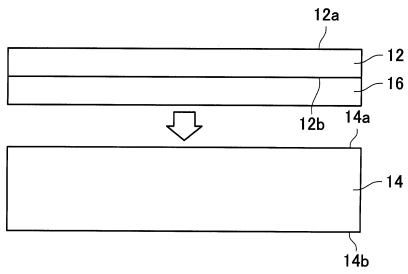


【図 4】

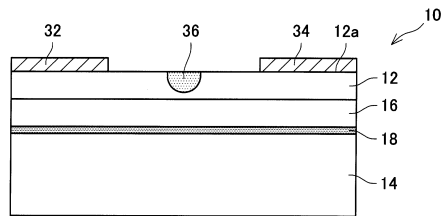


20

【図 5】



【図 6】

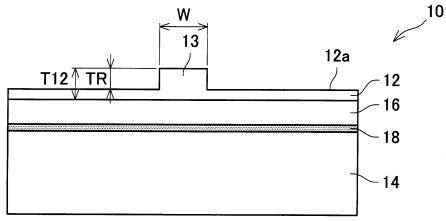


30

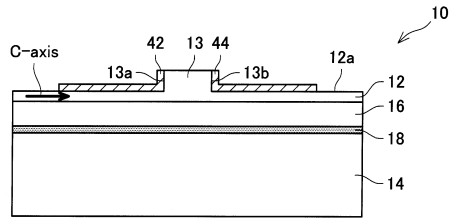
40

50

【 図 7 】

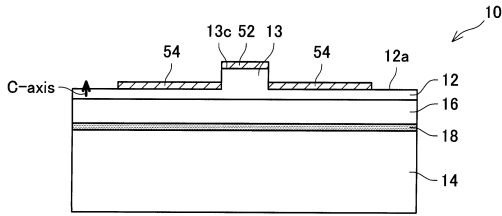


【 図 8 】

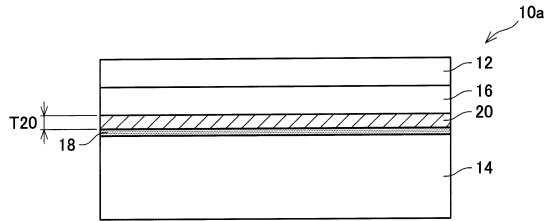


10

【 図 9 】

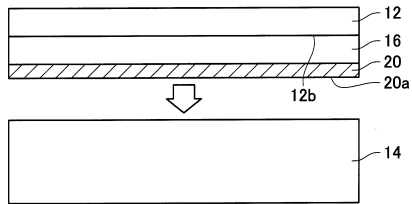


【 図 10 】

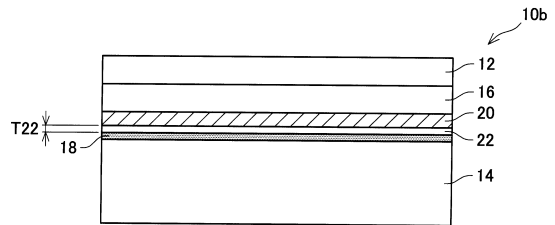


20

【 図 11 】



【 図 12 】

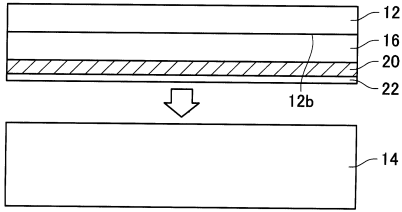


30

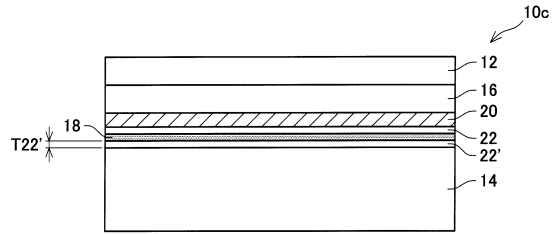
40

50

【図 13】

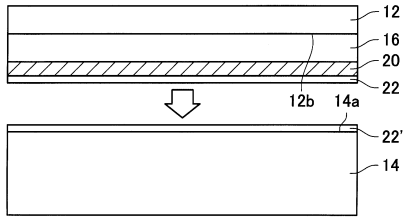


【図 14】

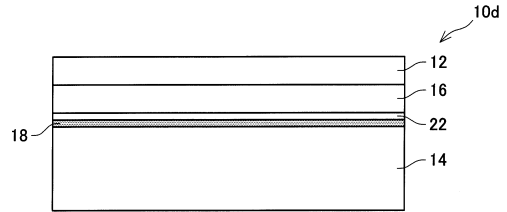


10

【図 15】

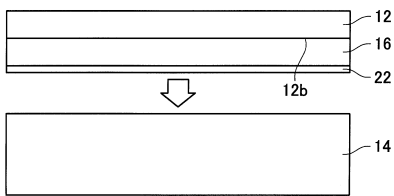


【図 16】

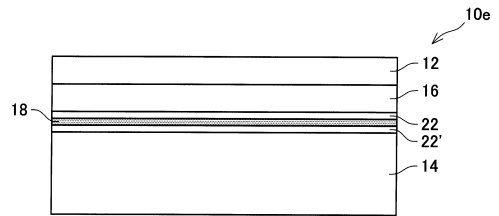


20

【図 17】



【図 18】

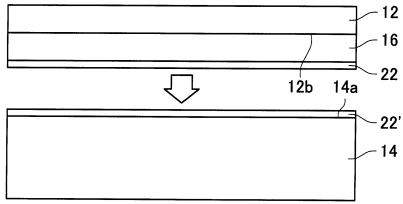


30

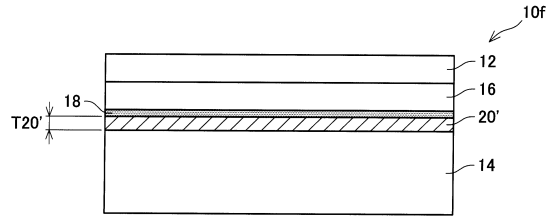
40

50

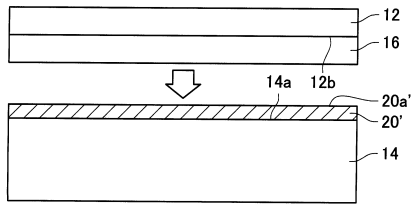
【 図 19 】



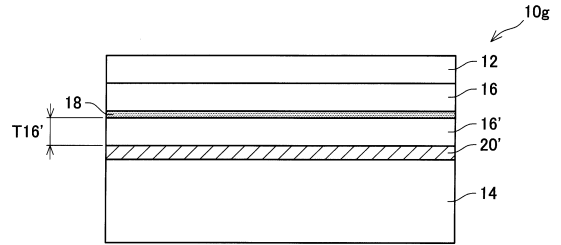
【 図 20 】



【 図 21 】

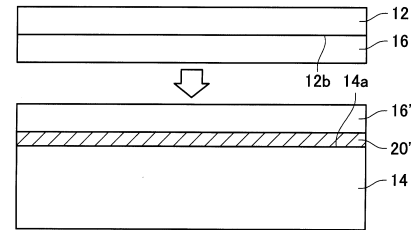


【 図 22 】

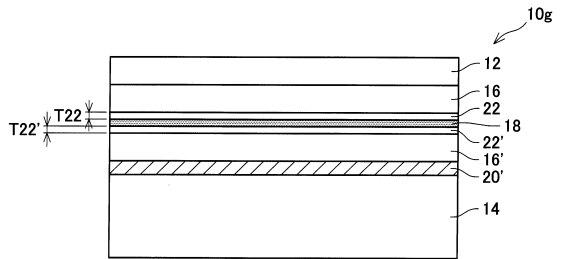


10

【 図 23 】



【 図 24 】



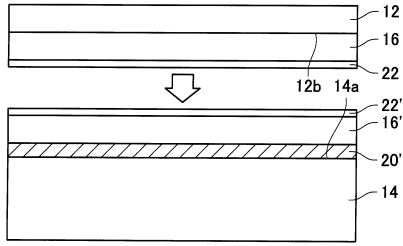
20

30

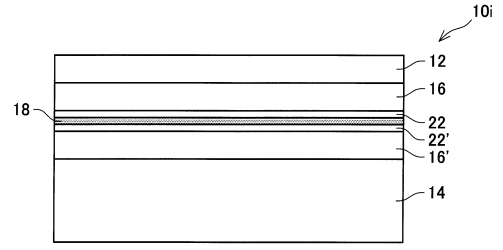
40

50

【 2 5 】

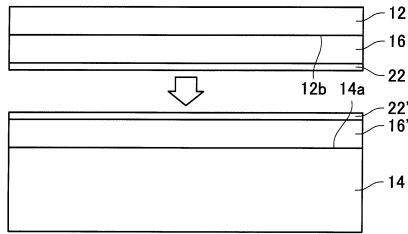


【 2 6 】

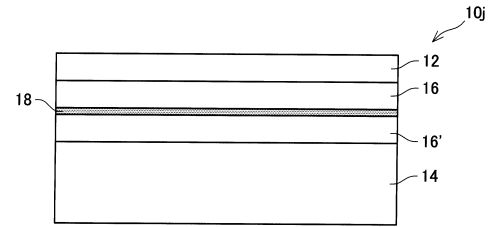


10

【 2 7 】

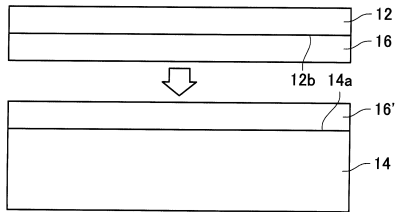


【 2 8 】



20

【 2 9 】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-349778(JP,A)
特開2018-073984(JP,A)
国際公開第2018/056210(WO,A1)
特開2003-156723(JP,A)
特開2015-075568(JP,A)
国際公開第2007/114367(WO,A1)
特開平06-289346(JP,A)
米国特許第06593212(US,B1)
米国特許出願公開第2018/0123309(US,A1)
常温接合界面の原子構造, 1991年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 日本, 1991年, pp.159-160
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02F 1/00 - 1/125
1/21 - 7/00
G02B 6/12 - 6/14
C30B 1/00 - 35/00
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)