

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年9月26日(26.09.2019)



(10) 国際公開番号

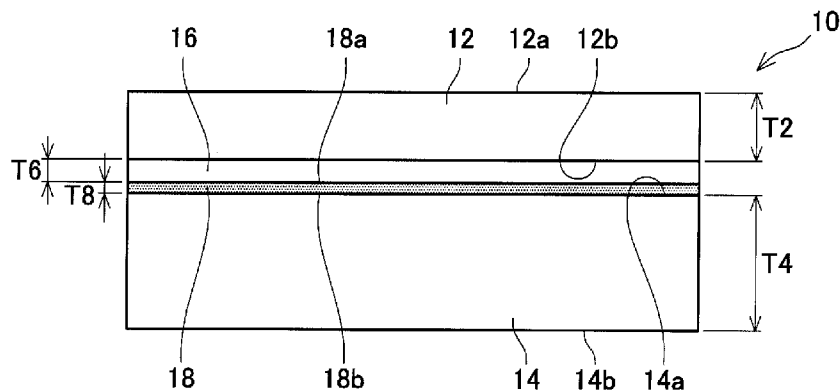
WO 2019/180922 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/035 (2006.01) *G02B 6/12* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/011764
- (22) 国際出願日: 2018年3月23日(23.03.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日本碍子株式会社(**NGK INSULATORS, LTD.**) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 近藤 順悟(**KONDO Jungo**); 〒4678530 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 Aichi (JP). 江尻 哲也(**EJIRI Tetsuya**); 〒4678530 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 Aichi (JP). 山口 省一郎(**YAMAGUCHI Shoichiro**); 〒4678530 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 Aichi (JP).

- (74) 代理人: 特許業務法人 快友国際特許事務所 (**KAI-U PATENT LAW FIRM**); 〒4516009 愛知県名古屋市中区牛島町6番1号 名古屋ルーセントタワー9階 Aichi (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,

(54) **Title:** COMPOSITE SUBSTRATE FOR ELECTRO-OPTICAL DEVICE

(54) 発明の名称: 電気光学素子のための複合基板



(57) **Abstract:** Disclosed is a composite substrate for an electro-optical device. This composite substrate is equipped with: an electro-optical crystal substrate having an electro-optical effect; a low-dielectric-constant substrate which has a lower dielectric constant than does the electro-optical crystal substrate and on which the electro-optical crystal substrate is layered; a low-refractive-index layer which has a lower refractive index than does the electro-optical crystal substrate, and is positioned between the low-dielectric-constant substrate and the electro-optical crystal substrate; and an amorphous layer which is positioned between the low-dielectric-constant substrate and the low-refractive-index layer, and is configured from the elements constituting the low-dielectric-constant substrate and the elements constituting the low-refractive-index layer. It is possible to produce this composite substrate by directly joining an electro-optical crystal substrate, on which a low-refractive-index layer is formed as a film, to a low-dielectric-constant substrate.

ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：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、電気光学結晶基板が積層されているとともに、電気光学結晶基板よりも誘電率の低い低誘電率基板と、低誘電率基板と電気光学結晶基板との間に位置しており、電気光学結晶基板よりも屈折率の低い低屈折率層と、低誘電率基板と低屈折率層との間に位置しており、前記低誘電率基板を構成する元素と低屈折率層を構成する元素とで構成されたアモルファス層とを備える。この複合基板は、低屈折率層が成膜された電気光学結晶基板を、低誘電率基板へ直接接合することによって、製造することができる。

明 細 書

発明の名称：電気光学素子のための複合基板

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] 例えば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。

[0003] 例えば、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、電気光学効果を有する電気光学結晶基板を備えており、その内部に光導波路が形成されている。電気光学結晶基板には、電気光学結晶基板よりも誘電率の低い補強基板が接合されている。この補強基板は、電気光学結晶基板を機械的に補強するだけでなく、誘電損失を低減することによって、光変調器の高速動作や低電圧での駆動を容易とする。このような電気光学結晶基板と低誘電率基板とを組み合わせた複合基板は、光変調器だけでなく、様々な電気光学素子にも好適に採用することができる。

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低誘電率基板との間が、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で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低誘電率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低誘電率基板とを直接接合すると、電気光学結晶基板と低誘電率基板との間には、電気光

学結晶基板の元素と低誘電率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。

[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、電気光学結晶基板が積層されているとともに、電気光学結晶基板よりも誘電率の低い低誘電率基板と、低誘電率基板と電気光学結晶基板との間に位置しており、電気光学結晶基板よりも屈折率の低い低屈折率層と、低誘電率基板と低屈折率層との間に位置しており、低誘電率基板を構成する元素と低屈折率層を構成する元素とで構成されたアモルファス層とを備える。

[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の主表面上に、電気光学結晶基板よりも屈折率の低い低屈折率層を成膜する工程と、低屈折率層が成膜された電気光学結晶基板の主表面に、電気光学結晶基板よりも誘電率の低い低誘電率基板を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。

[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、電気光学結晶基板と低誘電率基板とが積層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、低誘電率基板と低屈折率層との間に形成される。即ち、アモルファス層と電気光学結晶基板と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、高速動作や低電圧での駆動を可能とする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]実施例の複合基板 10 を模式的に示す斜視図。
- [0010] [図2]実施例の複合基板 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、低誘電率基板 14 とアモルファス層 18 との間に第 2 低屈折率層 20 が付加されている。
- [0016] [図8]図 7 に示す変形例の複合基板 10 の製造方法を示す図。
- [0017] [図9]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。
- [0018] [図10]複合基板 10 の一変形例を示しており、図 9 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。なお、この変形では、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 に対して平行である。
- [0019] [図11]複合基板 10 の一変形例を示しており、図 10 に示す変形例と比較して、低誘電率基板 14 の下面 14b に沿って導電層 22 が付加されている。
- [0020] [図12]複合基板 10 の一変形例を示しており、図 11 に示す変形例と比較して、導電層 22 に接合された支持基板 24 が付加されている。

[0021] [図13]複合基板10の一変形例を示しており、図9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。なお、この変形では、電気光学結晶基板12のc軸(c-axis)が、電気光学結晶基板12に対して垂直である。

[0022] [図14]複合基板10の一変形例を示しており、図13に示す変形例と比較して、低誘電率基板14の下面14bに沿って導電層22が付加されている。

[0023] [図15]複合基板10の一変形例を示しており、図14に示す変形例と比較して、導電層22に接合された支持基板24が付加されている。

[図16]複合基板10の一変形例を示しており、図9に示す変形例と比較して、リッジ部13内に光導波路領域56が付加されている。

[図17]複合基板10の一変形例を示しており、図13に示す変形例と比較して、リッジ部13内に光導波路領域56が付加されている。

[図18]複合基板10の一変形例を示しており、図14に示す変形例と比較して、リッジ部13内に光導波路領域56が付加されている。

[図19]複合基板10の一変形例を示しており、図15に示す変形例と比較して、リッジ部13内に光導波路領域56が付加されている。

発明を実施するための形態

[0024] 本技術の一実施形態において、低屈折率層は、電気光学結晶基板よりも誘電率が低くてもよい。このような構成によると、低屈折率層における誘電損失を低減することができ、電気光学素子の高速動作や低電圧での駆動をさらに容易とすることができる。特に限定されないが、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、ガラス、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ることができる。

[0025] 本技術の一実施形態において、複合基板は、低誘電率基板とアモルファス層との間に位置しており、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、アモルファス層は、低誘電率基板を構成する元素に代えて、低屈折率層を構成する元素と第2低屈折率層を構成する元素とで構成されているとよい。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に、第2低屈折層が成膜された低誘電率基板を、直接接合して製造することができる。このとき、低屈折率層と第2低屈折率層との各材料が同一、又は構造が類似していると、高品質の直接接合を比較的容易に行うことができる。

[0026] 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）が導入された光導波路領域が形成されていてもよい。但し、不純物が導入された光導波路領域は、不純物導入による屈折率の段差が小さく、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）は比較的に大きくなる。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、リッジ型光導波路の方が好ましい。

[0027] 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。

[0028] 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。

[0029] 複合基板が第1の電極と第2の電極を有する実施形態では、第1の電極と電気光学結晶基板との間と、第2の電極と前記電気光学結晶基板との間との少なくとも一方に、電気光学結晶基板よりも屈折率の低い低屈折率膜が形成されていてもよい。このような構成によると、電気光学結晶基板と第1の電極（又は第2の電極）との間の界面において、電気光学結晶基板を伝わる光が電極で吸収や散乱されることを抑制することができる。

[0030] 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、不純物を導入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。

[0031] 本技術の一実施形態において、複合基板は、低誘電率基板に対して電気光学結晶基板とは反対側に位置する導電層をさらに備えてもよい。このような導電層は、複合基板から製造された電気光学素子において、低誘電率基板から電界が漏れ出ることを抑制することができる。

[0032] 上記した実施形態において、複合基板は、導電層に接合された支持基板をさらに備えてもよい。このような構成によると、支持基板によって複合基板の機械的な強度を維持しながら、電気光学結晶基板及び低誘電率基板の厚みを小さくすることができる。複合基板から製造された電気光学素子では、電気光学結晶基板及び低誘電率基板の厚みが小さくなるほど、電気信号が複合基板内で共振する周波数（共振周波数）を高周波側にシフトすることができる。例えば、電気光学結晶基板及び低誘電率基板の合計の厚みが60マイクロメートル以下であれば、共振周波数は300ギガヘルツ以上となる。この場合、電気光学素子は、100ギガヘルツといった高周波（いわゆるミリ波帯）の電気信号が基板共振によって減衰する問題を回避することができる。

[0033] 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。

[0034] 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。

[0035] 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

[0036] 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。

[0037] 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 を備え

る。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 T_2 は、特に限定されないが、例えば 1 マイクロメートル以上であって、50 マイクロメートル以下であってよい。

[0038] 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 (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 ($\text{K}_x\text{Li}_{(1-x)}\text{NbO}_2$: 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 ($\text{KNb}_x\text{Ta}_{(1-x)}\text{O}_3$: 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。

[0039] 複合基板 10 は、低誘電率基板 14 をさらに備える。低誘電率基板 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。低誘電率基板 14 には、その上面 14a 側に、上述した電気光学結晶基板 12 が積層されている。低誘電率基板 14 は、電気光学結晶基板 12 よりも誘電率の低い材料で構成されている。低誘電率基板 14 の誘電率（比誘電率）は、特に限定されないが、5 以下であるとよい。例として、低誘電

率基板 14 を構成する材料には、例えば石英やガラスが挙げられる。低誘電率基板 14 の厚み T_4 も、特に限定されないが、電気光学結晶基板 12 の厚み T_2 より大きくてもよい。電気光学結晶基板 12 に隣接する低誘電率基板 14 は、電気光学結晶基板 12 へ電界が印加されたときに、誘電損失を低減することができる。従って、複合基板 10 を用いることにより、高速動作や低電圧での駆動が可能な電気光学素子を製造することができる。

[0040] 複合基板 10 は、低屈折率層 16 をさらに備える。低屈折率層 16 は、電気光学結晶基板 12 の下面 12b に沿って設けられており、低誘電率基板 14 と電気光学結晶基板 12 との間に位置している。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 を構成する材料は、特に限定されないが、例えば酸化シリコン、酸化タンタル、酸化アルミニウム、ガラス、フッ化マグネシウム及びフッ化カルシウムの一又は複数であってよい。低屈折率層 16 の厚み T_6 も、特に限定されないが、例えば 0.3 マイクロメートル以上であって、1 マイクロメートル以下であってもよい。一例ではあるが、本実施例における低屈折率層 16 は、誘電損失の抑制や電気信号の実効誘電率を小さくし、効率よく光変調できるように、電気光学結晶基板 12 よりも誘電体損（ $\tan \delta$ ）又は誘電率が低い材料で構成されている。

[0041] 複合基板 10 は、アモルファス層 18 をさらに備える。アモルファス層 18 は、低誘電率基板 14 と低屈折率層 16 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、低誘電率基板 14 を構成する元素と、低屈折率層 16 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_8 は、特に限定されないが、0.5 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、低誘電率基板 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及び低誘電率基板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、低誘電率基板14に接する界面）は、必ずしも平坦ではない。

[0042] 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との間に影響されない厚みの低屈折率層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。

[0043] 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に隣接して低誘電率基板14が設けられているので、電気光学結晶基板12へ電界が印加されたときに、誘電損失を低減することができる。また、電気光学結晶基板12と低誘電率基板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、接着剤による誘電損失がなく、変質及び変形もないので信頼性も確保できる。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。

[0044] 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。まず、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）であってもよいし、分極反転部が形成される場合は 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、低誘電率基板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、低誘電率基板14を直接接合する。このとき、低誘電率基板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。

[0045] 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、例えば金といった金属であってもよい。電極32、34と電気光学結晶基板12との間には、電極32、34のはがれ防止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）等の層が介在してもよい。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。

[0046] 加えて、又は代えて、電気光学結晶基板12内には、不純物を導入することによって、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導入することで、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。

[0047] 図 7 に示すように、複合基板 10 には、第 2 低屈折率層 20 がさらに設けられてもよい。第 2 低屈折率層 20 は、低誘電率基板 14 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 よりも屈折率の低い材料で構成されている。また、第 2 低屈折率層 20 は、誘電損失を抑制するために、電気光学結晶基板 12 よりも誘電率の低い材料で構成されてもよい。第 2 低屈折率層 20 は、例えば、酸化シリコン、酸化タンタル、酸化アルミニウム、ガラス、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ることができる。第 2 低屈折率層 20 は、低屈折率層 16 と同じ材料で構成されてもよいし、異なる材料で形成されてもよい。

[0048] 図 8 は、図 7 に示す複合基板 10 の製造方法を示す。図 8 に示すように、第 2 低屈折率層 20 を有する複合基板 10 は、低屈折率層 16 が成膜された電気光学結晶基板 12 の下面 12b に、第 2 低屈折率層 20 が成膜された低誘電率基板 14 を直接接合することによって、製造することができる。この製造方法によると、低屈折率層 16 と第 2 低屈折率層 20 との間に、図 7 に示すアモルファス層 18 が形成される。ここで、低屈折率層 16 と第 2 低屈折率層 20 との材料が同一、又は構造が類似していると、高品質の直接接合を比較的容易に行うことができる。

[0049] 図 9 に示すように、電気光学結晶基板 12 の上面 12a には、リッジ部 13 が形成されてもよい。リッジ部 13 は、上面 12a に沿って細長く延びる突出部である。リッジ部 13 は、複合基板 10 が製造される電気光学素子に

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 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。リッジ部 13 の高さ T_1 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_2 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延びる二つのリッジ部 13 が形成されるとよい。

[0050] 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 13a 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 13b 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。第 1 の電極 42 及び第 2 の電極 44 を構成する材料は、導電体であればよく、例えば金といった金属材料であってよい。また、第 1 の電極 42 と電気光学結晶基板 12 や、第 2 の電極 44 と電気光学結晶基板 12 との間には、電気光学結晶基板 12 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 13 を伝わる光の損失を抑制することができる。

[0051] 図 11 に示すように、複合基板 10 には、低誘電率基板 14 の下面 14b に沿って、導電層 22 が設けられてもよい。このような導電層 22 は、複合基板 10 から製造された電気光学素子において、接地電極として使用されることができる。この場合、導電層 22 は、第 1 の電極 42 及び第 2 の電極 4

4によって印加された電界が、低誘電率基板14の下面14bから漏出することを抑制することができる。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、銅、アルミニウムといった金属であってよい。なお、図11に示す導電層22は、上述した他の複合基板10にも同様に設けることができる。

[0052] 加えて、図12に示すように、複合基板10には、導電層22に接合された支持基板24をさらに備えてもよい。このような構成によると、支持基板24によって複合基板10の機械的な強度を維持しながら、電気光学結晶基板12及び低誘電率基板14の厚みを小さくすることができる。複合基板10から製造された電気光学素子では、電気光学結晶基板12及び低誘電率基板14の厚みが小さくなるほど、電気信号に対する共振周波数が高くなる。例えば、電気光学結晶基板12及び低誘電率基板14の合計の厚みが60マイクロメートル以下であれば、共振周波数は300ギガヘルツ以上となる。この場合、電気光学素子は、100ギガヘルツといった高周波（いわゆるミリ波帯）の電気信号を問題なく処理することができる。支持基板24を構成する材料は特に限定されない。但し、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。一例ではあるが、支持基板24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。なお、図12に示す支持基板24は、導電層22と共に、上述した他の複合基板10にも同様に設けることができる。

[0053] 図13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もよい。この場合でも、電気光学結晶基板12の上面12a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12a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、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。

[0054] 図14に示すように、図13に示した複合基板10にも、低誘電率基板14の下面14bに沿って、導電層22が設けられてもよい。前述したように、導電層22は、複合基板10から製造された電気光学素子において、接地電極として使用されることができる。また、図15に示すように、その導電層22には、図12に示した複合基板10と同様に、支持基板24が接合されてもよい。これにより、複合基板10の機械的な強度を維持しながら、電気光学結晶基板12及び低誘電率基板14の厚みを小さくすることができる。前述したように、電気光学結晶基板12及び低誘電率基板14の厚みを小さくすることで、電気信号に対する共振周波数を、例えばミリ波帯といった高周波帯域よりも十分に高くすることができる。

[0055] 図16－図19に例示するように、本明細書が開示する各種の複合基板10では、不純物を含有する光導波路領域56が、リッジ部13の内部において、リッジ部13の長手方向に沿って形成されていてもよい。なお、図16に示す複合基板10は、図9に示す複合基板10において、リッジ部13内に光導波路領域56が付加されたものである。図17に示す複合基板10は、図13に示す複合基板10において、リッジ部13内に光導波路領域56が付加されたものである。図18に示す複合基板10は、図14に示す複合基板10において、リッジ部13内に光導波路領域56が付加されたものである。そして、図19に示す複合基板10は、図15に示す複合基板10において、リッジ部13内に光導波路領域56が付加されたものである。図示省略するが、図10－図12に示す他の複合基板10においても同様に、不純物を含有する光導波路領域が、リッジ部13の内部において、リッジ部13の長手方向に沿って形成されていてもよい。

符号の説明

- [0056] 1 0 : 複合基板
1 2 : 電気光学結晶基板
1 3 : リッジ部
1 3 a、1 3 b : リッジ部の側面
1 3 c : リッジ部の頂上面
1 4 : 低誘電率基板
1 6 : 低屈折率層
1 8 : アモルファス層
2 0 : 第2低屈折率層
2 2 : 導電層
2 4 : 支持基板
3 2、3 4、4 2、4 4、5 2、5 4 : 電極
3 6、5 6 : 光導波路領域

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が積層されているとともに、前記電気光学結晶基板よりも誘電率の低い低誘電率基板と、
前記低誘電率基板と前記電気光学結晶基板との間に位置しており、
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、
前記低誘電率基板と前記低屈折率層との間に位置しており、前記低誘電率基板を構成する元素と前記低屈折率層を構成する元素とで構成されたアモルファス層と、
を備える複合基板。
- [請求項2] 前記低屈折率層は、前記電気光学結晶基板よりも誘電率が低い、請求項1に記載の複合基板。
- [請求項3] 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、ガラス、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2に記載の複合基板。
- [請求項4] 前記低誘電率基板と前記アモルファス層との間に位置しており、前記電気光学結晶基板よりも屈折率の低い第2低屈折率層をさらに備え、
前記アモルファス層は、前記低誘電率基板を構成する元素に代えて、前記低屈折率層を構成する元素と前記第2低屈折率層を構成する元素とで構成されている、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] 前記第2低屈折率層を構成する材料は、前記低屈折率層を構成する材料と同じである、請求項4に記載の複合基板。
- [請求項6] 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6に記載の複合基板。

[請求項8] 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6に記載の複合基板。

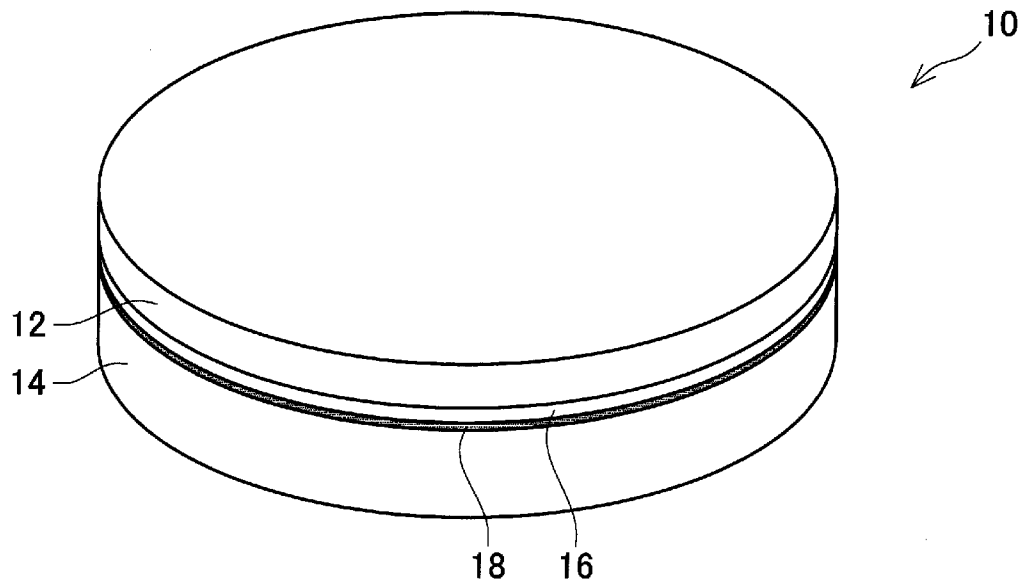
[請求項9] 前記リッジ部内には、不純物を含有する光導波路領域が、前記リッジ部の長手方向に沿って形成されている、請求項6から8のいずれか一項に記載の複合基板。

[請求項10] 前記低誘電率基板に対して前記電気光学結晶基板とは反対側に位置する導電層をさらに備える、請求項1から9のいずれか一項に記載の複合基板。

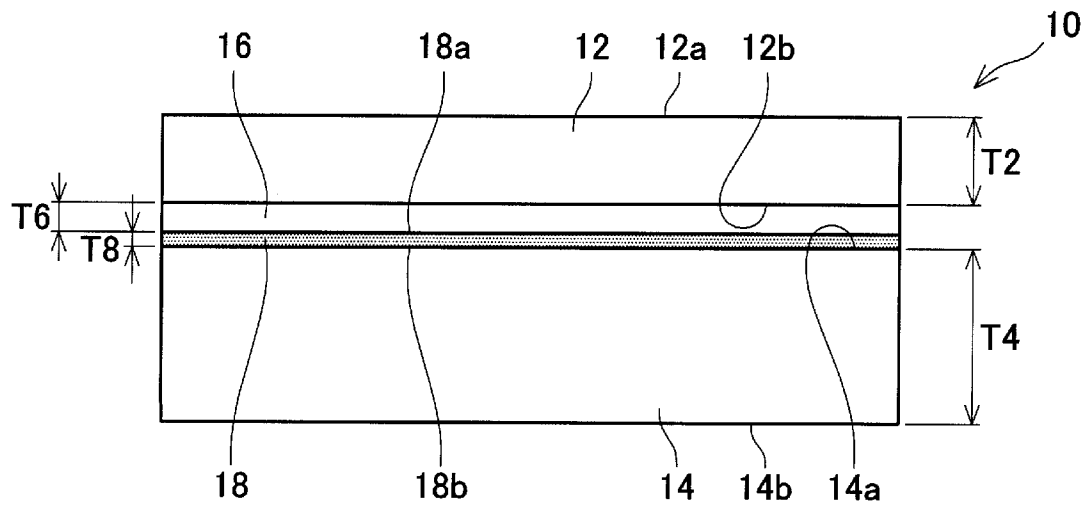
[請求項11] 前記導電層に接合された支持基板をさらに備える、請求項10に記載の複合基板。

[請求項12] 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主表面に、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成膜する工程と、
前記低屈折率層が成膜された前記電気光学結晶基板の前記主表面に、前記電気光学結晶基板よりも誘電率の低い低誘電率基板を直接接合する工程と、
を備える製造方法。

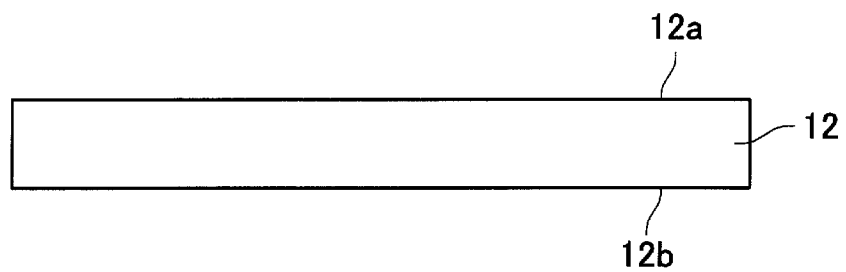
[図1]



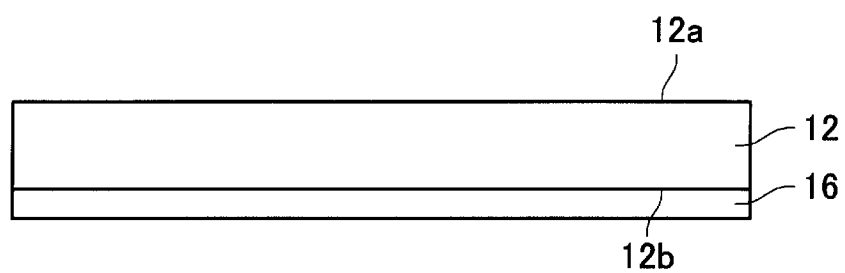
[図2]



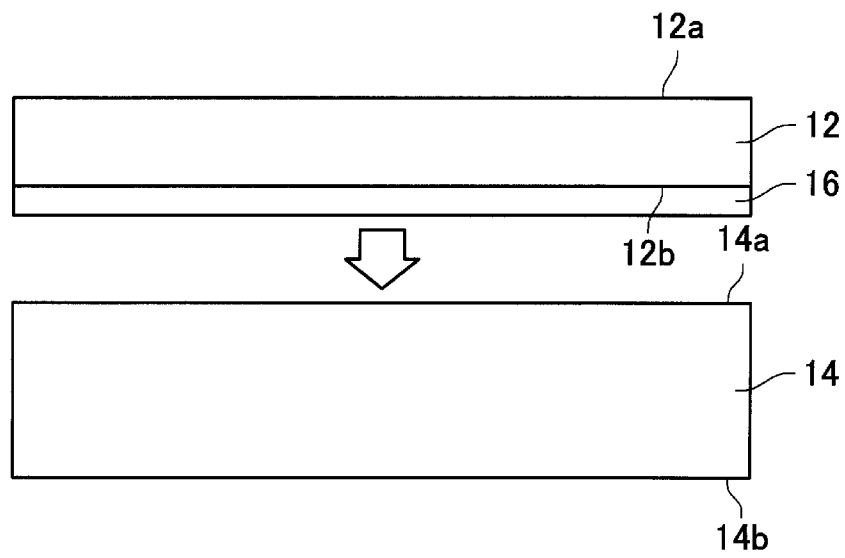
[図3]



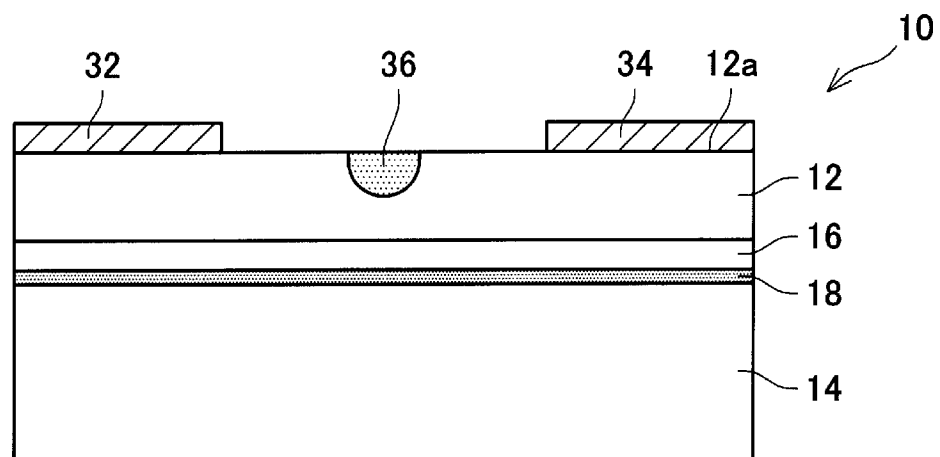
[図4]



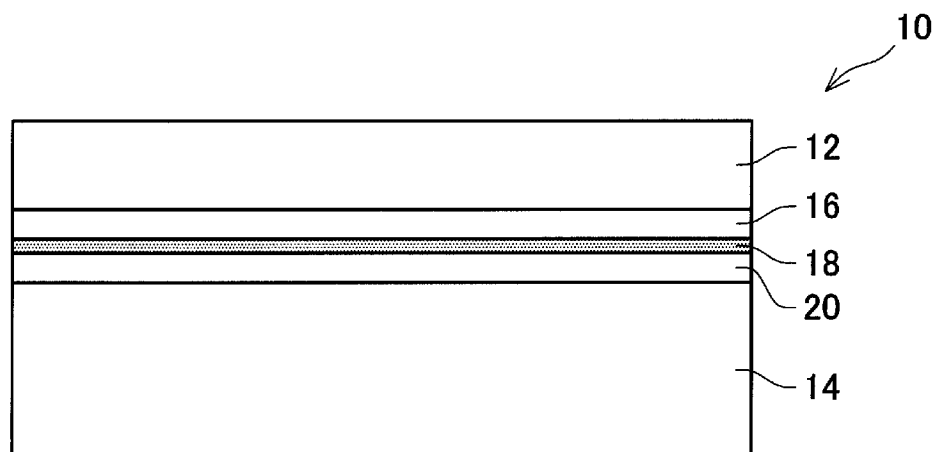
[図5]



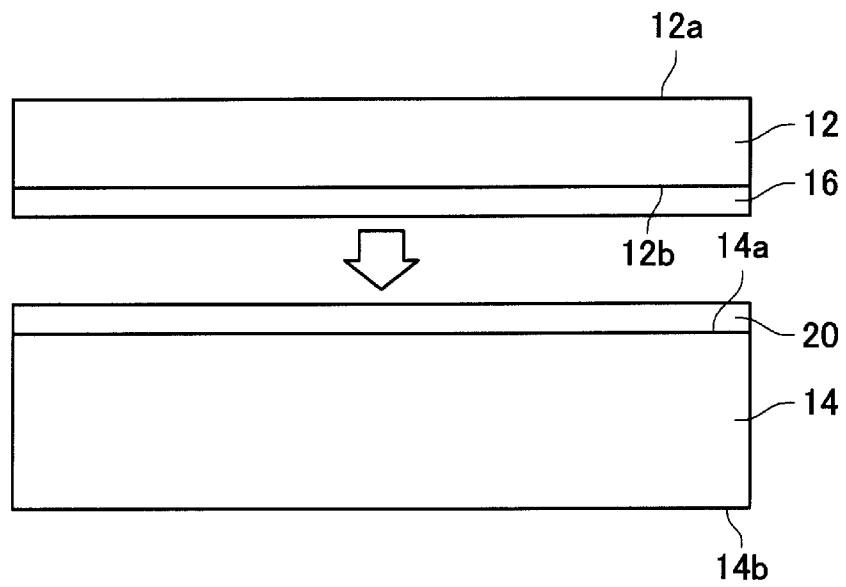
[図6]



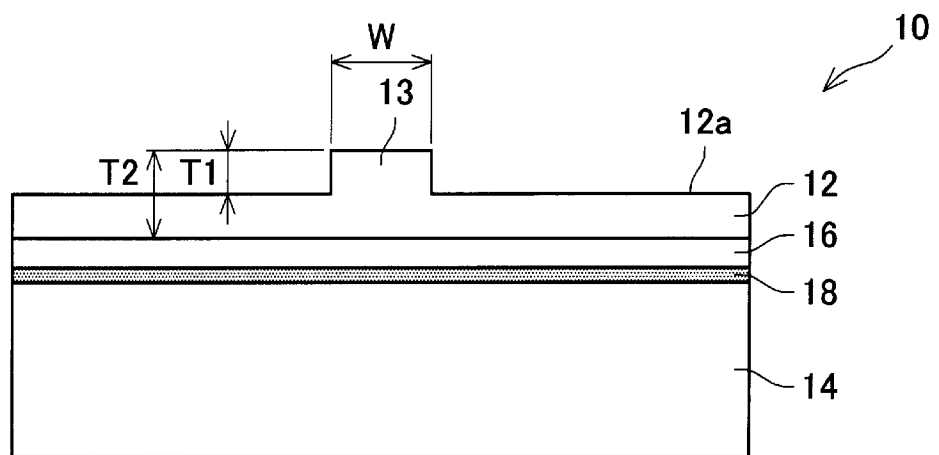
[図7]



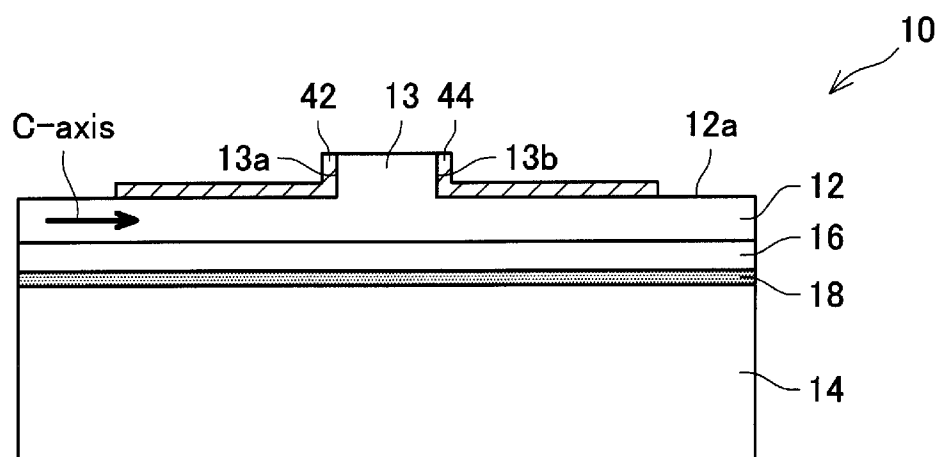
[図8]



[図9]



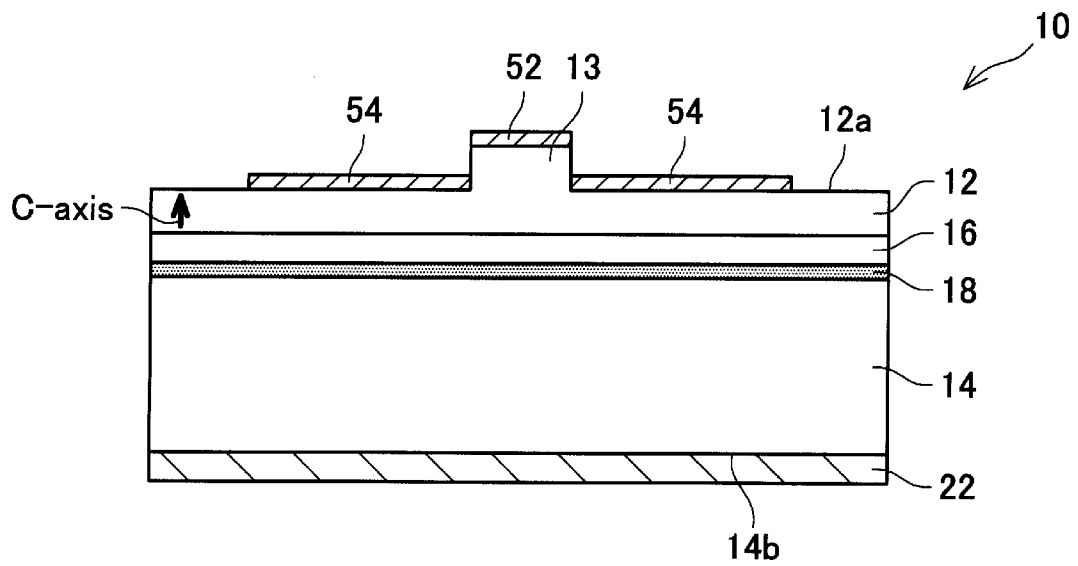
[図10]



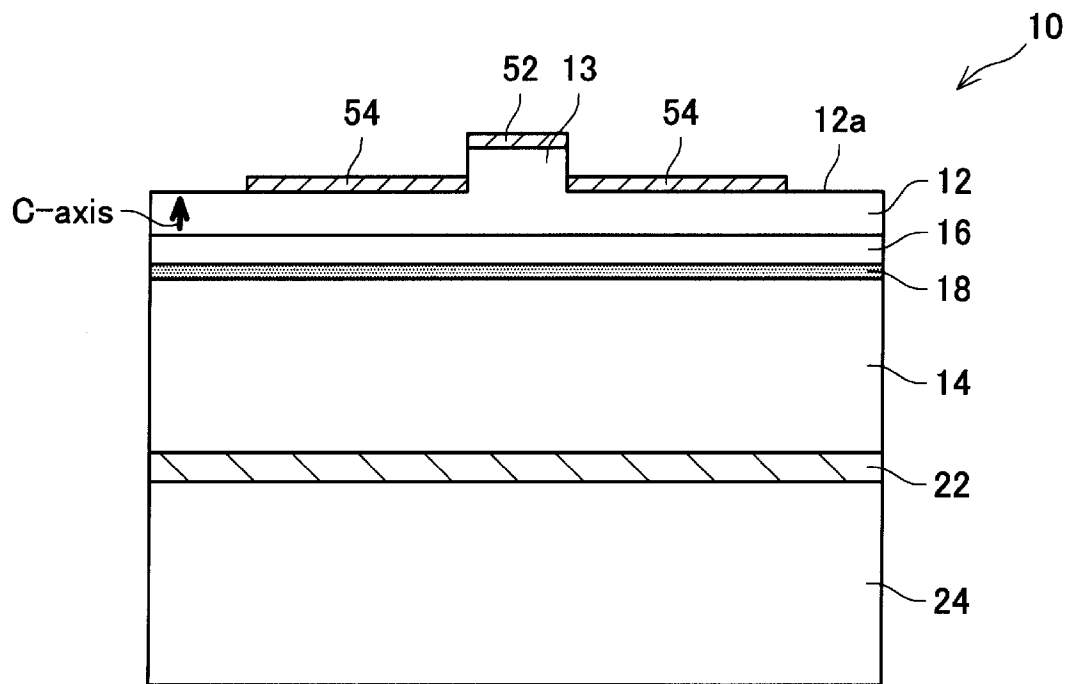
A cross-sectional view of a semiconductor device 10. The device consists of a substrate 14 with a bottom layer 22. A central region 12 contains a stack of layers: 16, 18, and 14b. A top layer 12a is positioned above the central region. A central opening 13 is formed in the top layer 12a, with side walls 42 and 44. The side walls 42 and 44 are formed by a layer 13a and a layer 13b, respectively. A C-axis is indicated by an arrow pointing to the right.

A cross-sectional view of a semiconductor device 10. The device consists of a substrate 24 with a base layer 22. Above the base layer is a thick layer 14, which contains a thin, patterned layer 18. Above layer 14 is a thin layer 16, and on top of that is a top layer 12. The top layer 12 has a central recessed region 13. The left side of the top layer is labeled 13a and the right side is labeled 13b. The recessed region 13 is defined by side walls 42 and 44. A hatched layer 12a is located on the top surface of the top layer 12, outside the recessed region 13. An arrow labeled 'C-axis' points to the right, indicating the crystallographic direction.

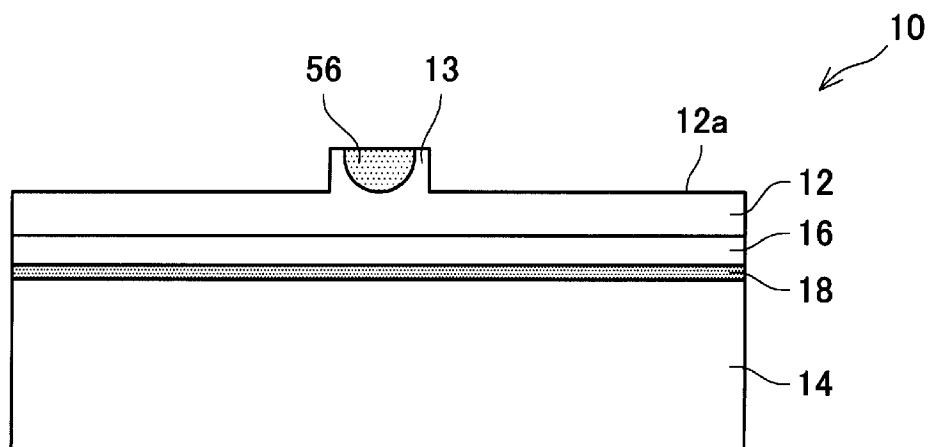
[図14]



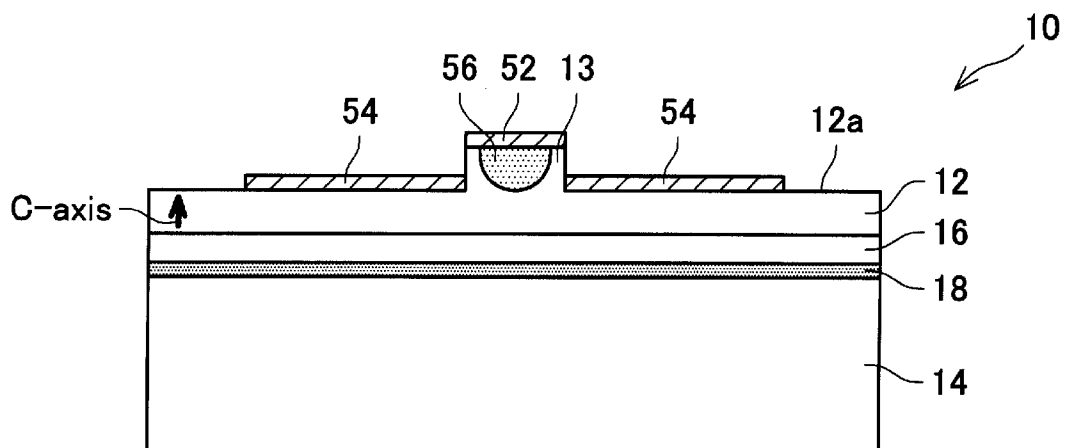
[図15]



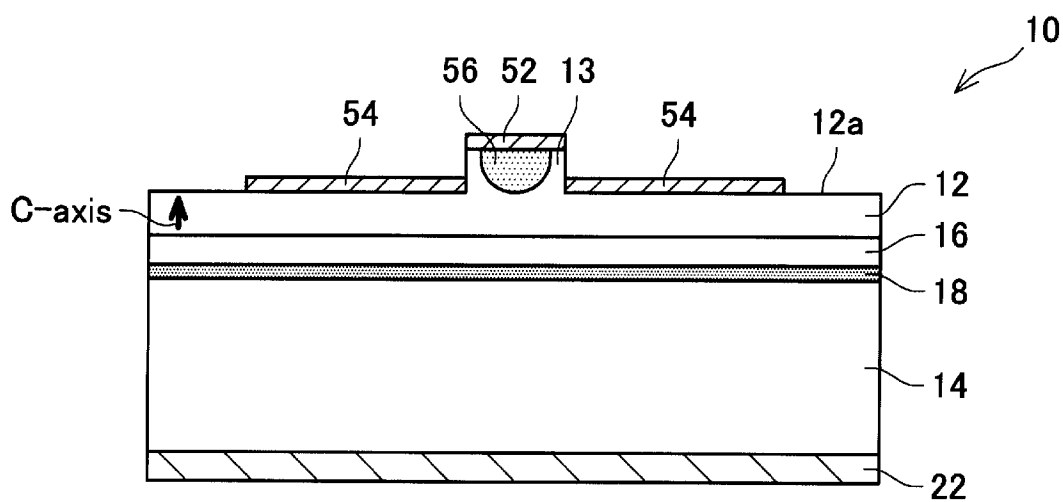
[図16]



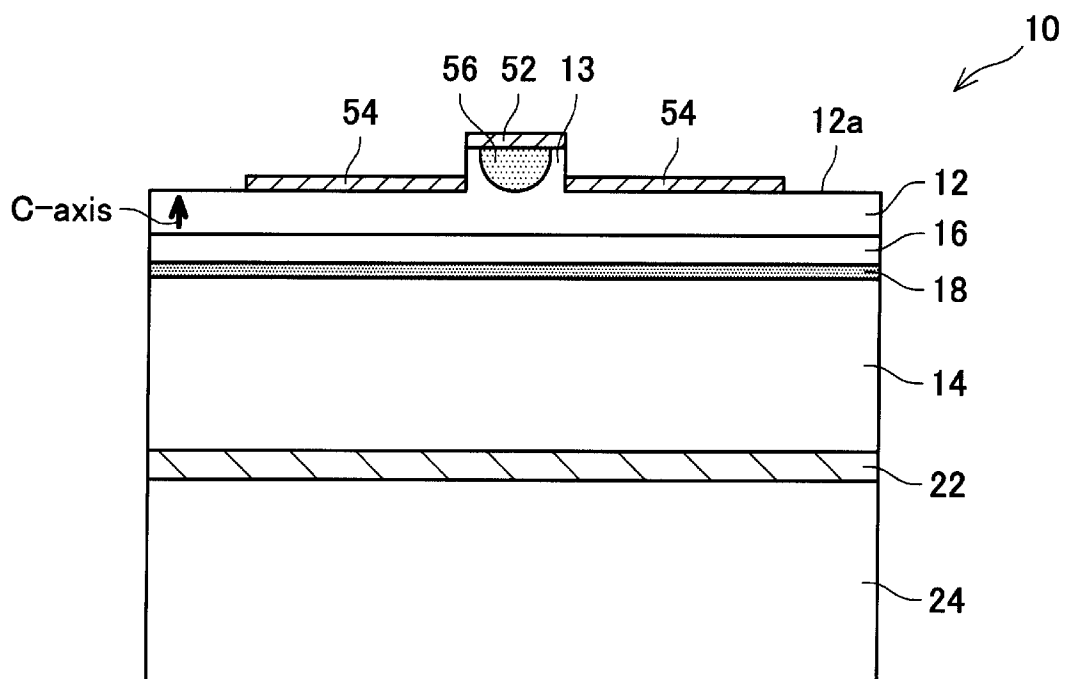
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/011764

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G02F1/035 (2006.01) i, G02B6/12 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G02F1/035, G02B6/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	WO 2018/008183 A1 (NGK INSULATORS LTD.) 11 January 2018, paragraphs [0042]-[0052], fig. 2 (Family: none)	1-3, 6-7, 12 8-11
X Y	JP 6-289346 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 18 October 1994, paragraphs [0026], [0027], [0038], fig. 2, 5 & US 5373579 A, column 18, line 44 to column 18, line 44, fig. 16, 19 & US 5418883 A & US 5546494 A & EP 816879 A1 & EP 818693 A1 & EP 585565 A2	1-7, 12 8-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
30.05.2018

Date of mailing of the international search report
12.06.2018

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/011764

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2012-78375 A (SUMITOMO OSAKA CEMENT CO., LTD.) 19 April 2012, paragraphs [0019]-[0028], fig. 5, 6 (Family: none)	8-11
A	JP 2004-145261 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 20 May 2004, entire text, all drawings & JP 2008-250352 A & US 2003/0223722 A1 & US 2008/0037944 A1 & CN 1461956 A & CN 1916673 A & CN 1936629 A	1-12
A	US 2007/0297732 A1 (COLLINEAR CORP.) 27 December 2007, entire text, all drawings (Family: none)	1-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02F1/035(2006.01)i, G02B6/12(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02F1/035, G02B6/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	WO 2018/008183 A1（日本碍子株式会社）2018.01.11, 段落 [0042]-[0052], 図2（ファミリーなし）	1-3, 6-7, 12 8-11
X Y	JP 6-289346 A（松下電器産業株式会社）1994.10.18, 段落 [0026]-[0027], [0038], 図2, 5 & US 5373579 A, 第18欄第44行-第 18欄第44行, 図16, 19 & US 5418883 A & US 5546494 A & EP 816879 A1 & EP 818693 A1 & EP 585565 A2	1-7, 12 8-11

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30.05.2018

国際調査報告の発送日

12.06.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

佐藤 宙子

2 L

9316

電話番号 03-3581-1101 内線 3295

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2012-78375 A (住友大阪セメント株式会社) 2012. 04. 19, 段落 [0019]-[0028], 図 5-6 (ファミリーなし)	8-11
A	JP 2004-145261 A (松下電器産業株式会社) 2004. 05. 20, 全文、全 図 & JP 2008-250352 A & US 2003/0223722 A1 & US 2008/0037944 A1 & CN 1461956 A & CN 1916673 A & CN 1936629 A	1-12
A	US 2007/0297732 A1 (COLLINEAR CORP.) 2007. 12. 27, 全文、全図 (フ ァミリーなし)	1-12