

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-196301

(P2019-196301A)

(43) 公開日 令和1年11月14日(2019.11.14)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)	
<b>CO3C</b>	<b>27/02</b>	<b>(2006.01)</b>	CO3C	27/02	Z 2H042
<b>GO2B</b>	<b>1/115</b>	<b>(2015.01)</b>	GO2B	1/115	2H148
<b>GO2B</b>	<b>5/00</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2B	5/00	A 2H149
<b>GO2B</b>	<b>5/22</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2B	5/22	2K009
<b>GO2B</b>	<b>5/26</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2B	5/26	4F100

審査請求 未請求 請求項の数 23 O L 外国語出願 (全 39 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2019-85714 (P2019-85714)  
 (22) 出願日 平成31年4月26日 (2019. 4. 26)  
 (31) 優先権主張番号 10 2018 110 193.7  
 (32) 優先日 平成30年4月27日 (2018. 4. 27)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
 ドイツ(DE)

(71) 出願人 504299782  
 ショット アクチエンゲゼルシャフト  
 Schott AG  
 ドイツ連邦共和国 マインツ ハッテンベルクシュトラーセ 10  
 Hattenbergstr. 10, D-55122 Mainz, Germany  
 (74) 代理人 100114890  
 弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト  
 (74) 代理人 100098501  
 弁理士 森田 拓  
 (74) 代理人 100116403  
 弁理士 前川 純一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 被覆された光学素子、被覆された光学素子を有する部品およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】被覆された光学素子を有する部品またはモジュールの製造を容易化且つ改善する  
 【解決手段】アルカリ含有ガラス(5)の光学的に透明な基板(3)と表面(7)上のコーティング(9)とを含む光学素子(1)であって、前記コーティング(9)が表面(7)の前記コーティング(9)で被覆された領域内でアルカリ含有ガラス(5)の陽極接合を可能にし、且つ前記陽極接合は前記コーティングの外側表面(91)で形成する、前記光学素子(1)によって解決される。

【選択図】なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

アルカリ含有ガラス(5)の光学的に透明な基板(3)と表面(7)上のコーティング(9)とを含む光学素子(1)であって、前記コーティング(9)が表面(7)の前記コーティング(9)で被覆された領域内でアルカリ含有ガラス(5)の陽極接合を可能にし、且つ前記陽極接合は前記コーティングの外側表面(91)で形成する、前記光学素子(1)。

## 【請求項 2】

前記コーティングは、少なくともその外側表面(91)でアルカリ不含であることを特徴とする、請求項 1 に記載の光学素子(1)。

## 【請求項 3】

前記コーティング(9)の外側表面(91)が親水性または極性であることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の光学素子(1)。

## 【請求項 4】

前記コーティング(9)の外側表面(91)が、

・  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiO}_x$ (つまり一般にシリコン酸化物)、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlO}_x$ (つまり一般にアルミニウム酸化物)、

・ 金属、

・ 金属酸化物、例えば  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$  および  $\text{HfO}_2$ 、

・ フッ化物および硫化物、例えば  $\text{MgF}_2$ 、 $\text{ZnS}$ 、フッ化バリウム( $\text{BaF}_2$ )、フッ化カルシウム( $\text{CaF}_2$ )、フッ化セリウム( $\text{CeF}_3$ )、フッ化ランタン( $\text{LaF}_3$ )、フッ化ネオジウム( $\text{NdF}_3$ )、フッ化イットルビウム( $\text{YbF}_3$ )、フッ化アルミニウム( $\text{AlF}_3$ )、フッ化ジスプロシウム( $\text{DyF}_3$ ) および フッ化イットリウム( $\text{YF}_3$ )、

・ それらの混合物、つまり、上記で挙げられた材料の 1 つ以上を含有する材料(従って、それらの上記の材料の少なくとも 1 つを含有する、ドーブ材料および混合材料も)、例えば Al ドーブ  $\text{SiO}_2$  または Si ドーブ  $\text{TiO}_2$

の 1 つを含むことを特徴とする、請求項 1 から 3 までのいずれか 1 項に記載の光学素子(1)。

## 【請求項 5】

前記基板が、前記コーティング(9)によって完全に被覆された面、特に平面を有することを特徴とする、請求項 1 から 4 までのいずれか 1 項に記載の光学素子(1)。

## 【請求項 6】

前記コーティング(9)の厚さが、 $2\text{nm} \sim 50\mu\text{m}$ 、好ましくは  $20\text{nm} \sim 20\mu\text{m}$  の範囲であることを特徴とする、請求項 1 から 5 までのいずれか 1 項に記載の光学素子(1)。

## 【請求項 7】

前記コーティング(9)が少なくとも 2 つの層を含むことを特徴とする、請求項 1 から 6 までのいずれか 1 項に記載の光学素子(1)。

## 【請求項 8】

前記コーティング(9)が、陽極接合によって他の表面に接合しない非接合材料の層と、前記コーティング(9)で被覆されている表面領域上でアルカリ含有ガラスの陽極接合を可能にする材料のさらなる層とを含むことを特徴とする、請求項 7 に記載の光学素子(1)。

## 【請求項 9】

前記さらなる層が、厚さ  $1\text{nm} \sim 20\text{nm}$ 、好ましくは  $4\text{nm} \sim 20\text{nm}$ 、および特に  $5\text{nm} \sim 15\text{nm}$  を有することを特徴とする、請求項 8 に記載の光学素子(1)。

## 【請求項 10】

前記コーティング(9)の最上層の厚さが、 $50\text{nm} \sim 1000\text{nm}$  の範囲である、請求項 6 または 7 に記載の光学素子(1)。

10

20

30

40

50

## 【請求項 1 1】

前記コーティング(9)の外側表面(91)の粗さ(Rq)が、0.1~2nm R M Sであることを特徴とする、請求項1から10までのいずれか1項に記載の光学素子(1)。

## 【請求項 1 2】

前記コーティング(9)が、

- ・ 反射防止コーティング、
- ・ 単数または複数の保護層を有するか有さないミラーコーティング(金属、誘電体または組み合わせ)、

- ・ フィルタコーティング、特にダイクロイックフィルタ、偏光フィルタ、バンドパスフィルタ、ローパスフィルタ、ハイパスフィルタ、NDフィルタ、シングルまたはマルチノッチフィルタまたはビームスプリッタコーティング

の1つであることを特徴とする、請求項1から11までのいずれか1項に記載の光学素子(1)。

## 【請求項 1 3】

前記コーティング(9)が窒化物、酸窒化物、炭窒化物または炭化物、またはそれらの混合物を含むことを特徴とする、請求項1から12までのいずれか1項に記載の光学素子(1)。

## 【請求項 1 4】

アルカリ含有ガラス(5)の光学的に透明な基板(3)と前記基板(3)の表面(7)上のコーティング(9)とを有する光学素子(1)、および前記光学的に透明な基板(3)に接続された第2の基板(11)を含む部品(2)であって、前記第2の基板(11)は、前記コーティング(9)で被覆された表面(7)の領域で前記光学的に透明な基板(3)に陽極接合によって接続されるので、前記コーティング(9)は前記光学的に透明な基板(3)と前記第2の基板(11)との間に配置され、且つ前記光学的に透明な基板(3)と前記第2の基板(11)との両方と直接接触する、前記部品(2)。

## 【請求項 1 5】

前記第2の基板(11)は、前記光学素子に接合されているシリコン部分、特にシリコン酸化物で被覆されたシリコン部分、または金属部分を含むことを特徴とする、請求項14に記載の部品(2)。

## 【請求項 1 6】

前記部品(2)が、MEMSデバイス、特にMOEMSデバイスであることを特徴とする、請求項14または15に記載の部品(2)。

## 【請求項 1 7】

前記基板(3)のガラス(5)が、前記コーティング(9)の界面でアルカリ空乏領域(6)を有することを特徴とする、請求項14から16までのいずれか1項に記載の部品(2)。

## 【請求項 1 8】

前記光学素子(1)が、2つの対向する平行平面を有する基板(3)を用いた窓である、請求項14から17までのいずれか1項に記載の部品(2)。

## 【請求項 1 9】

前記コーティング(9)と前記第2の基板(11)との間の陽極接合(4)の接合強度が7MPaを上回り、好ましくは少なくとも10MPaの値を有することを特徴とする、請求項14から18までのいずれか1項に記載の部品(2)。

## 【請求項 2 0】

前記コーティング(9)が、以下の特徴：

- ・ 前記コーティング(9)の材料は、陽極接合される能力がない、
- ・ 前記コーティング(9)自体は、陽極接合界面で電荷空乏領域を確立するために十分な量でアルカリイオンを含有しない、
- ・ mol%でのアルカリ含有率は、前記アルカリ含有ガラスのアルカリ含有率の1/

10

20

30

40

50

10未満である、  
の少なくとも1つを有する、請求項14から19までのいずれか1項に記載の部品(2)。

【請求項21】

光学的に透明なウェハ(30)と、多数の光電子素子または光機械素子を有する第2のウェハ(32)とを含むウェハパッケージ(31)であって、前記光学的に透明なウェハ(30)の、前記第2のウェハ(32)に面する側は、コーティング(9)で被覆され、且つ前記光学的に透明なウェハ(30)と第2のウェハ(32)とが接合領域(35)で、陽極接合(4)によって一緒に接合され、前記コーティング(9)は接合領域(35)にわたって広がるので、前記コーティング(9)が前記第2のウェハ(32)と接触し、前記コーティング(9)と第2のウェハ(32)との間に陽極接合(4)が形成される、前記ウェハパッケージ(31)。

10

【請求項22】

光学素子(1)を有する部品(2)の製造方法であって、以下の段階：

- ・ アルカリ含有ガラス(5)の光学的に透明な基板(3)を準備する段階、
- ・ 前記基板(3)の表面上にコーティング(9)を堆積し、前記コーティング(9)が、前記アルカリ含有ガラス(5)の、コーティング(9)で被覆されている表面領域上での陽極接合を可能にする段階、
- ・ 第2の基板(11)を、前記光学的に透明な基板(3)上の前記コーティング(9)と接触させる段階、
- ・ 前記光学的に透明な基板(3)を、前記ガラス(5)中でのアルカリイオンの拡散を可能にする温度まで加熱する段階、および
- ・ 前記光学的に透明な基板(3)と前記第2の基板(11)との積層体にわたって電圧を印加して、アルカリイオンが前記ガラスのバルク内で移動してアルカリ空乏領域(6)が作られ、且つ前記印加電圧および界面でのイオン空乏領域により生成される電場の影響下で、前記コーティング(9)を有する前記光学的に透明な基板(3)と、前記第2の基板(11)とを一緒に接合する段階を含む、前記方法。

20

【請求項23】

- ・ 基板(3)と被覆されたガラス(5)との積層体を、250 を上回るが前記ガラス(5)のガラス転移温度(Tg)未満である温度まで加熱し、
- ・ 前記電場を生成するために印加される電圧は250Vを上回るが好ましくは1500V未満であり、且つ
- ・ 前記透明な基板(3)のガラス(5)の破壊強度を上回る接合強度が達成される、請求項22に記載の方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は一般に、薄膜を被覆された光学素子、例えば反射防止コーティングを有する素子、または誘電体波長フィルタで被覆された、または部分的に反射性または吸収性コーティングで被覆された素子に関する。特に、本発明は、光学素子が陽極接合によって、前記コーティングが施与される界面でさらなる素子に固定される配置に関する。

40

【背景技術】

【0002】

米国特許出願公開第2003/0021004号明細書(US2003/0021004 A1)は、光学MEMSデバイスの製造方法を開示し、ここでは、光学的に透過性の基板を準備し、光学コーティングを前記基板の一方の表面または両方の表面上に堆積して、光学コーティングおよび基板を通る方向の経路に沿った光学信号の伝搬を可能または改善し、前記基板は典型的には能動的または受動的な光学素子を取り囲み、前記光学素子は光センサ、光エミッタまたは受動的な、可動性の、動作可能な微細構造であってよく、前記微細構造の動作は

50

、前記微細構造が光学信号と相互作用することを引き起こす。前記光学コーティングは、微細構造の能動または受動または動作可能な部分の下/上のみ、つまり光学信号の経路内に存在し、且つ第1の基板上の、第2の基板への接合が行われる領域には存在しないように、かかる基板がパターンングされるように施与される。

【0003】

陽極接合は、MEMSデバイスの製造における、特にデバイスのパッケージングのための標準的な方法である。その接合のために、アルカリ含有ガラスが使用される。適しているのは、ソーダ含有ホウケイ酸ガラスまたはソーダライムガラスである。陽極接合を行うために、アルカリイオンがガラス内で可動になるまでガラスを加熱する。電場が印加されて、アルカリイオンがガラスに接触する電極に向かって動く。これにより界面で電荷の空乏領域がもたらされ、それが基板を共に押す静電力を及ぼす。基板表面の密な接触は、基板間の物理結合および化学結合の形成をもたらす。

10

【0004】

米国特許出願公開第2003/0021004号明細書内にも開示されるように、コーティングの構造化を例えば選択エッチング、リソグラフィパターンング、およびリフトオフまたは物理的なマスク形成によって行うことができる。しかしながら、これは費用がかかり、且つ、例えばMEMSデバイスの製造における追加的なプロセス段階を必要とする。さらには、構造化はコーティングを害するかまたは劣化させることがある。

【先行技術文献】

【特許文献】

20

【0005】

【特許文献1】米国特許出願公開第2003/0021004号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従って、本発明の課題は、被覆された光学素子を有する部品またはモジュールの製造を容易化且つ改善することである。前記課題は、独立請求項の主題によって解決される。本発明の改良態様は、従属請求項内に定義される。

【課題を解決するための手段】

【0007】

30

本発明の1つの態様によれば、アルカリ含有ガラスの光学的に透明な基板と表面上のコーティングとを含む光学素子が提供される。この特定のコーティングは、前記コーティングで被覆される表面領域内でのアルカリ含有ガラスの陽極接合を妨害するものではなく/可能にし、前記陽極接合はそれぞれ前記コーティングの外側表面で形成または確立されている。

【0008】

これまでのところ、陽極接合は、ガラスと基板との間の直接的な界面を必要とすると考えられていた。被覆されたガラスの場合、ガラスと基板との間のコーティングの存在が接合を妨害すると考えられていた。パターンング段階は、コーティングを有さない接合領域を保持して、ガラスとSiとの、またはガラスと金属との直接的な接触を有する必要があると考えられていた。これは、コーティングの前、またはコーティング後の選択/局所エッチング段階の前にマスク形成段階を必要とする。これは追加的且つ費用のかかるプロセス段階である。それはベアガラスが基板に曝露されるパターンの正確なアライメントも必要とする。特に、小さなパーツ(MEMS)の場合、このアライメントは先進的な/高価なプロセス装置を必要とする。しかしながら、驚くべきことに、接合プロセスと適合性のあるコーティングがある。従って、1つの実施態様によれば、コーティングは以下の特徴の1つまたは両方を有する：

40

- ・ コーティングの材料は、陽極接合される能力がない、
- ・ コーティング自体は、陽極接合界面で電荷空乏領域を確立するために十分な量のアルカリイオンを含有しない、

50

・ mol%でのアルカリ含有率は、アルカリ含有ガラスのアルカリ含有率の1/10未満である。

【0009】

コーティングに対する、信頼性のある接合を得るために、コーティングの外側表面が親水性または極性であることが有利である。これは、コーティング表面と、光学素子に接続されるべきさらなる素子との間の化学結合の形成を容易にする。

【0010】

さらなる態様によれば、光学機能性モジュールまたは部品が提供され、前記部品は本発明による光学素子、つまり、アルカリ含有ガラスの光学的に透明な基板と、前記基板表面上のコーティングとを有する光学素子、および前記光学的に透明な基板に接続された第2の基板を含み、前記第2の基板は、前記コーティングで被覆された表面領域で前記光学的に透明な基板に陽極接合によって接続されるので、前記コーティングは前記光学的に透明な基板と前記第2の基板との間に配置され、且つ前記光学的に透明な基板と前記第2の基板との両方と直接接触する。

10

【0011】

この構成における陽極接合による基板の接続は、コーティングと第2の基板の表面との間の界面で確立される。このように、コーティングは接触領域で除去される必要はない。

【0012】

コーティングは、単独の層からなってもよいし、少なくとも2つの連続層を含有してもよい。

20

【0013】

一般に、単純且つ有利な実施態様において、基板はコーティングによって完全に被覆された面、特に平面を有する。典型的な実施態様において、基板はそれぞれ2つの対向する平面または側を有するディスク形状である。この構成において、少なくとも1つの面は、上記で説明されたようにコーティングで完全に被覆され得る。しかしながら、前記面上に周縁のコーティング除外領域が備えられることがある。

【0014】

好ましくは、第2の基板はシリコン基板、例えばシリコンウェハ、または金属基板である。MEMS部品を製造するために、ガラス基板に陽極接合されたシリコン基板が用いられることがある。従って、本発明の1つの実施態様によれば、光学部品はMEMSデバイス、特にMOEMSデバイスである。光学素子に接合されるべき他の基板が完全にシリコンまたは金属製である必要はない。しかしながら、光学素子に接合される箇所は好ましくはシリコンまたは金属部分である。従って、より一般的には、第2の基板は、光学素子に接合されるシリコンまたは金属部分を含む。シリコンはシリコン酸化物、特に自然酸化層で被覆され得る。この場合、シリコン酸化物は光学素子に接合する部分の表面を形成する。

30

【0015】

一般に、さらなる実施態様によれば、第2の基板もガラス基板に接合する側の上にコーティングを備え得る。そのようなコーティングは、例えば金属または酸化物コーティングであってよい。例えば、ガラス基板に接合される側は、アルミニウムコーティングまたはSiO<sub>2</sub>コーティングを備え得る。

40

【0016】

最上層のために、または一般にはコーティングの外側表面のために適した材料は、

- ・ SiO<sub>2</sub>、SiO<sub>x</sub>（つまり一般にシリコン酸化物）、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、AlO<sub>x</sub>（つまり一般にアルミニウム酸化物）、
- ・ 金属、
- ・ 金属酸化物、例えばSc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、ZrO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>およびHfO<sub>2</sub>、
- ・ フッ化物および硫化物、例えばMgF<sub>2</sub>、ZnS、フッ化バリウム（BaF<sub>2</sub>）、フッ化カルシウム（CaF<sub>2</sub>）、フッ化セリウム（CeF<sub>3</sub>）、フッ化ランタン（LaF<sub>3</sub>）

50

、フッ化ネオジム ( $\text{NdF}_3$ )、フッ化イッテルビウム ( $\text{YbF}_3$ )、フッ化アルミニウム ( $\text{AlF}_3$ )、フッ化ジスプロシウム ( $\text{DyF}_3$ ) およびフッ化イットリウム ( $\text{YF}_3$ )、

- ・ それらの混合物、つまり上記で挙げられた材料の1つ以上を含有する材料 (従って、それらの上記の材料の少なくとも1つを含有する、ドーブ材料および混合材料も)、例えば  $\text{Al}$  ドーブ  $\text{SiO}_2$  または  $\text{Si}$  ドーブ  $\text{TiO}_2$  である。

【0017】

典型的には、コーティング、または少なくともその最上層、またはその外側表面は、陽極接合を可能にするために無機である。

【0018】

本発明の有利な実施態様によれば、コーティングは少なくとも2つの層を含む。多層コーティングでは、より複雑な光学機能を実現でき、例えば多層反射防止またはダイクロイックフィルタである。

【0019】

コーティングは、それ自体は陽極接合によって表面で接合され得ない材料の層も含み得る。この場合、この層は接合可能な材料、例えば  $\text{SiO}_2$  層または  $\text{Al}_2\text{O}_3$  層で被覆される。この最上層は必ずしも光学機能を有する必要はないが、他の基板への化学結合を確立する機能を有する。従って、本発明の1つの実施態様において、コーティングは少なくとも2つの層を含む。

【0020】

従って、本発明の改良態様において、コーティングは、陽極接合によって他の表面に接合しない非接合材料の層を含む。コーティングは、アルカリ含有ガラスの、コーティングで被覆されている表面領域上での陽極接合を可能にする、つまり電荷空乏領域の影響下で他の基板への物理結合または化学結合を確立する材料のさらなる層を含む。

【0021】

前記部品を製造するために、本発明はさらに、光学素子を有する部品の製造方法を包含し、前記方法は以下の段階を含む：

- ・ アルカリ含有ガラスの光学的に透明な基板を準備する段階、
- ・ 前記基板表面上にコーティングを堆積し、前記コーティングが、前記アルカリ含有ガラスの、前記コーティングで被覆されている表面領域上での陽極接合を可能にする段階、
- ・ 第2の基板を前記光学的に透明な基板上のコーティングと接触させる段階、
- ・ 前記光学的に透明な基板を、前記ガラス内でアルカリイオンの拡散を可能にする温度まで加熱する段階、および
- ・ 前記光学的に透明な基板と前記第2の基板との積層体にわたって電圧を印加して、アルカリイオンがガラスのバルク内で移動してアルカリ空乏領域を作り、且つ前記印加電圧および界面でのイオン空乏領域により生成される電場の影響下で、前記コーティングを有する光学的に透明な基板と、前記第2の基板とを一緒に接合する段階。

【0022】

前記陽極接合は、コーティングとの界面でのガラスにおける持続的な空乏領域によって特徴付けられることができ、そこでアルカリ含有率はガラスのバルクまたは基板の反対の面に対して低減されている。従って、本発明の1つの実施態様によれば、光学素子の基板のガラスはコーティングとの界面でアルカリ空乏領域を有するが、ただしその空乏は経時的に平坦化される。

【0023】

従って、従来の製造のように陽極接合が確立される。しかしながら、それとは異なり、アルカリ空乏は接合された表面で直接的に生じるのではなく、ガラスからコーティングへの界面で生じる。

【0024】

前記方法の好ましい実施態様において、

10

20

30

40

50

- ・ 基板と被覆されたガラスとの積層体を、250 を上回るがガラスのガラス転移温度 ( $T_g$ ) 未満の温度に加熱し、
- ・ 電場を生成するために印加される電圧は250 Vを上回り、且つ
- ・ 透明基板のガラスの破壊強度を超える接合強度が達成される。しかしながら、電圧破壊および素子の最終的な損傷を回避するために、印加電圧を1500 V未満に制限することが好ましい。

## 【0025】

好ましい実施態様によれば、前記部品は、コーティングと第2の基板との間の陽極接合の接合強度が7 MPaを上回る。好ましくは、接合強度は少なくとも10 MPaである。

## 【0026】

本発明および好ましい実施態様を、以下で図面を参照しながらさらに説明する。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0027】

【図1】図1は、コーティングを有する光学素子の断面を示す。

【図2】図2は、多層コーティングを有する光学素子の断面を示す。

【図3】図3は、追加された薄層を有する図1の実施態様の変化態様を図示する。

【図4】図4は、多層の非接合材料を有する変化態様を示す。

【図5】図5は、接合材料と非接合材料との交互の多層を有する変化態様を示す。

【図6】図6は、基板両面上にコーティングを有する図4の実施態様の変化態様である。

【図7】図7は、2つの被覆されたウェハを示す。

【図8】図8は、被覆された光学素子を有する部品の2つの例を示す。

【図9】図9は、デバイスウェハに接合された透明なウェハを有するウェハパッケージを示す。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0028】

好ましい実施態様の詳細な説明

図1は本発明による光学素子1を示す。光学素子1は、アルカリ含有ガラス5の光学的に透明な基板3と、前記基板3の表面7上のコーティング9とを含む。前記基板のガラスは陽極接合を可能にする種類のものである。従って、ガラスのアルカリイオンは、軟化点未満の高められた温度で、ガラスマトリックス内で動くことができる。コーティング9と共に、前記コーティング9で被覆される表面7の領域内でアルカリ含有ガラス5の陽極接合が可能であり、且つ前記陽極接合は前記コーティングの外側表面91で形成する。好ましくは、前記基板3は2つの対向する面13、15を有し、1つの面13が、表面7を形成し、その上にコーティング9が堆積されている。

## 【0029】

意外なことに、且つ図1の特定の実施態様に限定されることなく、コーティング9自体は陽極接合される能力がある材料である必要はない。具体的には、コーティング自体が、接合界面で、つまりコーティングの外側表面91で電荷空乏領域を確立するために十分な量のアルカリイオンを含有する必要はない。しかしながら、印加される電圧に起因して、界面17でのアルカリ空乏はガラス内でまだ生じるので、接続されるべき基板間で強い静電場が作り上げられる。コーティングの全体的な厚さは好ましくは2 nm ~ 50  $\mu$ m、特に20 nm ~ 20  $\mu$ mの範囲である。前記場の強度は厚さの増加と共に低下するが、50  $\mu$ mの上限でも、安定且つ強固な接合がまだ可能である。コーティング内側で著しいイオンの移動は起きないと仮定すると、その電場の力は接合を開始するかまたは少なくとも十分な強度の接合力を確立するためには低すぎるであろう。コーティングの厚さと場の強度との間の関係は、おおよそ反比例であると仮定される。つまり、コーティングの厚さを2倍すると、静電力は半分になる。接合を妨害するコーティングの厚さは、印加され得る最大電圧と、接合を達成するための表面の親和力との両方に依存する。この親和力は例えば、親水性材料の場合は表面でのOH<sup>-</sup>基の密度、欠陥および包含物の密度に依存し得る。従って、厚さについて明確な制限はない。

10

20

30

40

50

## 【0030】

示されるとおり、基板3の平面13はコーティング9で完全に被覆されている。コーティングのさらなる構造化をすることなく、前記光学素子を陽極接合のために使用できる。本発明の1つの実施態様によれば、図1の特定の例示的な例に限定されることなく、前記光学素子は前記コーティングで完全に被覆された1つの面を有するガラスウェハである。堆積プロセスにおいて、例えばウェハを保持するクランプに起因して、被覆されるウェハ端部で小さな領域があることがある。これは、ウェハ端部でコーティングを有さない小さな領域をもたらし得る。同様に、取り扱い上の理由から、周縁のコーティング除外領域が備えられることがある。連続的なコーティングを有するが好ましくは端部で空いたままの小さい領域または端部で周縁のコーティング除外領域を有するウェハも、完全に被覆された面を有するウェハとしてみなされる。

10

## 【0031】

接合を容易にするために、最上層の材料は好ましくは親水性または極性である。一般に、親水性または極性の材料は、接触角が45°未満、好ましくは25°未満である材料とみなされる。表面での接触角は、汚染に起因してより大きいこともある。しかしながら、表面で層を形成する材料が親水性である限り、これはあまり重要ではない。従って、上記で特定される接触角は、表面の洗浄後に達成されることもできる。

## 【0032】

光学コーティング9の最後の層として施与される場合、完全に被覆されたウェハを陽極接合可能にする被覆材料は、場合により、Siの自然酸化膜および金属、例えばコバルトに対して親水性接合を示す全ての材料である。

20

## 【0033】

これは確かにSiO<sub>2</sub>、SiO<sub>x</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、AlO<sub>x</sub>および金属層を含む。さらに、金属酸化物、例えばSc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、ZrO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>およびHfO<sub>2</sub>が適している。さらに、フッ化物および硫化物、例えばMgF<sub>2</sub>、ZnS、フッ化バリウム(BaF<sub>2</sub>)、フッ化カルシウム(CaF<sub>2</sub>)、フッ化セリウム(CeF<sub>3</sub>)、フッ化ランタン(LaF<sub>3</sub>)、フッ化ネオジウム(NdF<sub>3</sub>)、フッ化イッテルビウム(YbF<sub>3</sub>)、フッ化マグネシウム(MgF<sub>2</sub>)、フッ化アルミニウム(AlF<sub>3</sub>)、フッ化ジスプロシウム(DyF<sub>3</sub>)およびフッ化イットリウム(YF<sub>3</sub>)を使用して、例えば、特別な光学特性、例えばMgF<sub>2</sub>の場合のような低い屈折率を使用できる。

30

## 【0034】

前記コーティングは、上述の化合物の少なくとも1つを含むドーブまたは混合された材料、例えばAlドーブされたSiO<sub>2</sub>、またはSiドーブされたTiO<sub>2</sub>を含有してもよい。

## 【0035】

図2は図1の実施態様の改良態様を示す。該実施態様において、コーティング9は少なくとも2つの層を含む。図2の例において、コーティングは3つの層92、93、94を含む。さらに、示されるとおり、コーティング9は基板の対向する面13、15の両方に施与され得る。一般に、図1および図2の例に限定されることなく、1以上の層を有するコーティング9は特に以下の1つであってよい：

40

- ・ 反射防止コーティング、
- ・ 単数または複数の保護層を有するか有さないミラーコーティング(金属、誘電体または組み合わせ)、
- ・ フィルタコーティング、特にダイクロイックフィルタ、偏光フィルタ、バンドパスフィルタ、ローパスフィルタ、ハイパスフィルタ、ND(neutral density)フィルタ、シングルまたはマルチノッチフィルタまたはビームスプリッタコーティングであって、場合によりダイクロイックまたは偏光特性を提供するもの。

## 【0036】

さらに、前記コーティングは、硬度および/または引掻耐性を付与する材料または層を含み得る。この種のコーティング材料は特に、窒化物、酸窒化物、炭窒化物または炭化物

50

、例えば炭化ケイ素、窒化アルミニウム、窒化チタンまたは窒化ケイ素、または混合材料である。

【0037】

さらに、高いL I D T、低吸収、低反射または低回折損失を有する材料または層の設計を用いることができる。

【0038】

前記コーティングは非接合材料も含み得る。例えば、図2に示される実施態様において、層92、93の一方または両方が、それ自体は陽極接合に適していない材料製であってよい。この場合、コーティング9は、陽極接合によって他の表面に接合しない非接合材料の層を含み、さらなる層が準備される。このさらなる層は、アルカリ含有ガラスの陽極接合を、コーティングで被覆される表面領域上で可能にする材料のものである。従って、図2の例において、最上層94は陽極接合によって他の材料に接合する材料のものである。例えば、最上層94は、 $S i O_2$ 層、 $S i O_x$ 層または $A l_2 O_3$ 層であってよい。特に、コーティング自体が、陽極接合を可能にする電荷空乏領域を作るために十分な量でアルカリイオンを含有する必要はない。具体的には、コーティングのアルカリ含有率は、存在する場合、 $m o l \%$ で測定されるガラスのアルカリ含有率の10分の1未満であってよい。

10

【0039】

コーティング9は実質的に1つ以上の非接合材料からなることもできる。そのようなコーティングを用いるために、光学機能を有さないが陽極接合を可能にするだけの接合可能材料(典型的には $S i O_2$ または $A l_2 O_3$ )の薄層を非接合材料の上部に堆積され得る。図3は、非接合材料の層92を有するこの変化態様の例を示す。この層92の上に、接合材料(例えば上述の $S i O_2$ または $A l_2 O_3$ )のさらなる薄層を堆積する。この層93は他の基板への化学結合を確立するためだけに役立つので、非常に薄くてよい。本発明の1つの実施態様によれば、コーティング9は非結合材料の層92、および前記非結合材料の層92の上部の結合材料のさらなる層93を含み、前記さらなる層はコーティング9の外側表面を形成し、且つ $1 n m \sim 20 n m$ 、好ましくは $4 n m \sim 20 n m$ 、および特に $5 n m \sim 15 n m$ の厚さを有する。

20

【0040】

コーティングの全体的な厚さは好ましくは $2 n m \sim 50 \mu m$ 、特に $20 n m \sim 20 \mu m$ の範囲である。

30

【0041】

他の実施態様によれば、特に多層積層体の最上層も光学機能への寄与を有する場合、その層の厚さは好ましくは $50 n m \sim 1000 n m$ である。これは、単層のコーティングが可視光範囲(典型的には $400 \sim 700 n m$ の波長)について光学機能を有する場合、その単層のコーティングの厚さの好ましい範囲でもある。N I RまたはI R範囲で光学特性を有する層については、典型的な層厚は波長に伴って線形的に増加し、好ましくは $125 n m \sim 1000 n m$ 厚の層に至る。

【0042】

図4は、多層の非接合材料を有する変化態様を示す。この変化態様によれば、コーティング9は層の多層積層体である。特に、コーティング9は交互の層96、97の積層体を含み得る。両方の層の種類96、97の材料が非接合、つまり陽極接合のために適していないことがある。この実施態様において、積層体は、接合材料の層95で終端しており、それが結果としてコーティング9の外側表面91を形成する。その終端層は光学機能を有することがある。その層は、上記のとおり非常に薄く、コーティング9の光学特性に著しく寄与しなくてもよい。

40

【0043】

図5の実施態様において、コーティング9は交互の層95、96の多層積層体を含み、ここで層95は接合可能材料のものであり、層96は非接合可能材料のものである。交互の層95、96の順は、接合可能材料の最上層95で終端する。

【0044】

50

図6の実施態様に示すとおり、交互の層系を有する多層コーティング9は、基板3の両面上に堆積され得る。示された実施態様において、両方のコーティングは、それらの一連の層および接合材料の層95で終端していることに関して同一である。終端層95は、他の基板に接合されないコーティング上では省略してもよい。

【0045】

一般に、描かれた例のいずれかに限定されることなく、コーティング9の層数は1から300まで変化し得る。典型的には、例えば反射防止機能のためには、それは1~8層である。複雑なフィルタ(例えばノッチフィルタ)のためには、それは300~600層であってもよい。

【0046】

堆積技術は、いかなる薄膜堆積方法であってもよく、限定されずにPVD(物理気相堆積)、CVD(化学気相堆積)またはALD(原子層堆積)を含み、特にPVDについて、限定されずに電子ビーム蒸着、イオンビームスパッタ、マグネトロンスパッタ、イオンアシスト蒸着、熱蒸着、または任意の他の薄膜被覆技術であってもよい。以下で議論される例は、イオンアシスト蒸着を使用して成された。

【0047】

基板が透明である波長範囲は、250nmから4 $\mu$ mまでであり得る。従って、本発明による光学的に透明との用語は、可視の波長範囲に限定されるのではなく、赤外光および紫外光も含む。より具体的には、可視範囲(400~700nm)、近赤外(850~2500nm)および中赤外(2500~3500nm)、および特に電気通信およびレーザー範囲の用途のために典型的なレーザー波長(905、950、1030、1050、1064、1535、1550および1570nm)、およびLEDおよびOLED光源のための波長(赤色、緑色および青色における可視波長)および例えばOPOによって生成される任意の波長が、本発明による光学部品に関係する。従って、基板はそれらの波長または波長範囲の少なくとも1つに対して透明であると理解される。

【0048】

外側表面91の粗さ(Rq)は有利には0.1~2nm RMSであるが、0.1nm RMS未満(下限なし)、または2nm RMSより高くてもよい。粗さは堆積のパラメータによって、例えばプラズマ堆積プロセスにおける出力密度によって影響され得る。陽極接合を容易にし、且つ接合を強化するためには、粗さが少ないことが一般に有利である。

【0049】

図7は2つの基板3を示す。両方の基板3はウェハ30であり、それをウェハレベルの陽極接合プロセスにおいて用いることができ、その後部品を分離できる。左側のウェハ(a)は、本発明により加工され得るウェハ30である。ウェハ30の面13は、コーティング9で完全に被覆されており、周縁のコーティング除外領域33は空いたままである。右側のウェハ(b)は従来プロセスにおいて使用されるウェハ30である。コーティング9は、周縁のコーティング除外領域33の内側の領域を完全に被覆するのではなく、空いたままの縞状の接合領域35でさらに構造化されている。それらの領域は、ウェハをさらなる基板に陽極接合して、そのさらなる基板がウェハ材料に直接接触することが想定されている。しかしながら、この構造化はさらなる加工を必要とする。また、ウェハ間のアライメントは、さらなるウェハ上の接合構造が接合領域35と合致するように、より正確でなければならない。示された実施態様において、ウェハは丸い形状である。しかしながら、他の形状のウェハも可能である。例えば、ウェハは角形、特に正方形、またはより一般には多角形の形状を有し得る。

【0050】

図8は、被覆された光学素子1の部品2の2つの例を示す。例(a)は本発明による部品2であり、例(b)は従来通りに製造されている。両方の例は、アルカリ含有ガラス5の基板3を、さらなる基板11に接合することにより製造されている。部品(a)および(b)はMEMSデバイスであり、部品(a)は本発明による部品であり、部品(b)

10

20

30

40

50

は比較例である。

【0051】

特に、その製造は、以下の段階：

- ・ アルカリ含有ガラス5の光学的に透明な基板3を準備する段階、
- ・ コーティング9を基板3の表面上に堆積する段階、
- ・ 第2の基板11を、前記光学的に透明な基板3上の前記コーティング9と接触させる段階、
- ・ 前記光学的に透明な基板3を、前記ガラス5内のアルカリイオンの拡散を可能にする温度まで加熱する段階、および
- ・ 前記光学的に透明な基板3および前記第2の基板11の積層体にわたって電圧を印加し、前記光学的に透明な基板3と前記第2の基板11とを一緒に接合させる段階、を含む。

10

【0052】

例(b)において、コーティング9は、接合領域35においては除去されており、ガラス5が第2の基板11と直接接触する。

【0053】

しかしながら、本発明によれば、コーティングは1つ以上の接合領域35上にかかっている。従って、第2の基板11は、ガラスの代わりにコーティング9と接触される。電圧が印加されると、印加電圧によりもたらされる静電場の影響下で、アルカリイオンが動いてガラス5とコーティング9との界面から離れる。このように、コーティングとの界面でガラス中にアルカリ空乏領域6が生成され、その界面で高い静電力が生じて、光学的に透明な基板3と第2の基板11とが一緒に接合される。従って、従来の製造と類似して、陽極接合4が確立されるが、しかしながら、アルカリ空乏が前記接合プロセスの間に形成される際、陽極接合界面4で直接的にというよりはむしろ、ガラス5からコーティング9への界面で形成される。その陽極接合4は、同等の強度も有する。7MPaを上回る接合強度を確立でき、その接合強度10MPaを超えることすらある。

20

【0054】

基板3はさらに、対向する面の上にコーティング10を備え得る。コーティング9、10は、同一または異なってもよく、例えばコーティング9は図3、図4および図5の実施態様のとおり、接合材料の追加的な層を有する。

30

【0055】

MOEMSデバイス20は一般に、1つ以上の光学的な能動または受動素子、例えば光センサ、光源、または1つ以上の動作可能な光機械素子21を含む。それらの素子は、光学素子1を透過した光と相互作用する。例えば、本発明の1つの実施態様によれば、且つ図8の特定の実施態様に限定されることなく、部品2の第2の基板は、印加電圧または電流によって傾かせることが可能なミラーの形態の光機械素子21を含む。

【0056】

光学素子1を透過し且つ光機械素子21によって影響を及ぼされた光は、光学素子1を通じて反射して戻り、第2の基板11を透過するか、または部品2内で吸収されることができる。一般に光は、MOEMSデバイス20内の光学的に受動的または能動的な素子によって、反射、屈折または一般には転送または放出され得る。

40

【0057】

一般に、且つ描かれた実施態様に限定されることなく、部品2の光学素子1は特に、2つの対向する平行平面を有する基板3を用いた窓であってよい。前記の窓は特に、光機械素子または光電子素子、例えば光電子的な光源、センサ、およびアクチュエータを封入するために役立つことができる。

【0058】

図8の例においても示されるように、第2の基板11は接合突起部を含むことがあり、その上に光学的に透明な基板3が取り付けられる。接合突起部25は、隆起状の支持体であってよい。特に、接合突起部25は、部品2の光電子素子または光機械素子を囲むまた

50

は取り囲む接合フレームであってもよい。一般に、接合突起部は、第2の基板の本体と共に搭載されてもよいし、その上の追加的な構造であってもよい。例えば第2の基板は、隆起部が光電子素子または光機械素子の周りに立ったままであるようにエッチングまたは構造化されたシリコン基板であってもよい。接合突起部25は、金属構造物、例えば鉄ニッケル合金、例えばコパールから製造された突起であってもよい。この金属はシリコンに近い線熱膨張係数を有する。一般に、第2の基板11も透明な基板3に接合する側の上にコーティングを備えていることがある。また、同様の熱膨張係数を有するガラス5を選択することが有利である。

#### 【0059】

陽極接合の手順はウェハレベルで実施される。これは、ガラスウェハと第2のウェハと一緒に接合され、且つ製造されるべき部品は陽極接合後の特定の時間でウェハのパッケージから分離されることを意味する。このように、図7に示される構造化および引き続く接合突起部へのアライメントを省略できるので、本発明は特に有利である。図9は本発明によるウェハパッケージ31の例を示す。ウェハパッケージ31は一般に、光学的に透明なウェハ30と、多数の光電子素子または光機械素子を有する第2のウェハ32とを含み、光学的に透明なウェハ30の第2のウェハに面する側がコーティング9で被覆され、且つ光学的に透明なウェハ30と第2のウェハとが接合領域35で陽極接合4によって一緒に接合され、コーティング9は接合領域35にわたって広がるので、コーティング9が第2のウェハ32と接触し、コーティングと第2のウェハ32との間に陽極接合が形成される。接合領域35は、本発明による部品2を、分離ライン40に沿ってウェハパッケージ31から分離できるように形成されている。従って、部品2の光学的に透明な基板3および第2の基板11は、それぞれ第1のウェハおよび第2のウェハ30、32の部分から形成される。

#### 【0060】

好ましくは、接合領域35は図8の例のように接合突起部25によって定義される。好ましくは、接合突起部25は、第2のウェハ上でデバイス、例えば光機械素子または光電子素子22のまわりを一周する接合フレーム28として形成される。このように、ウェハ30、32と一緒に接合された後に素子が封入される。

#### 【実施例】

#### 【0061】

以下に、本発明による光学部品2の製造例を記載する。基板3はMEMPAxウェハである。MEMPAxは、シリコンの線熱膨張係数と非常に近く合致する線熱膨張係数 ( $20 \text{ ; } 300$ ) =  $3.3 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ を有するホウケイ酸ガラスである。

#### 【0062】

反射防止コーティングを前記MEMPAxウェハ上に堆積した。該コーティング9は4層のコーティングであり、波長905nm(NIRレーザー用途のために典型的)に対して最適化されている。その4層とは、231nmの $\text{Ta}_2\text{O}_5$ (最下層)/95nmの $\text{SiO}_2$ /178nmの $\text{Ta}_2\text{O}_5$ /125nmの $\text{SiO}_2$ (最上層)であった。コーティング9の外側表面91、つまり厚さ125nmを有する $\text{SiO}_2$ 層の表面は、粗さ1~1.5nm RMSを有する。このウェハをシリコンウェハに接合し、前記コーティングはシリコンウェハに直接的に接触した。

#### 【0063】

接合のために静電電圧1250Vを印加し、接合を開始させるために必要なイオンの移動、ひいては静電力が、イオン電流から観察すると360で開始した。その温度をさらに380へと高め、イオン電流の立ち上がりを観察された後、その印加電圧および温度を10~15分間保持した。それらは陽極接合のために典型的なプロセスパラメータである。より長い接合時間、より高い温度または他の接合プロセスパラメータの最適化は、より大きな接合領域および/またはより高い接合エネルギーをもたらし得る。

#### 【0064】

当業者にとっては、本発明が図に示された特定の実施態様に限定されないことが明らか

10

20

30

40

50

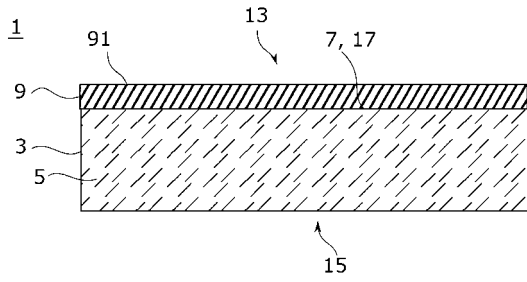
である。むしろ、実施態様は特許請求の範囲内で変化することができ、異なる例の特徴を組み合わせることができる。とりわけ、本発明は図 8 に開示されるような M E M S デバイスまたは M O E M S デバイスに限定されない。むしろ、本発明は、電子分野のパッケージングのために一般に適用でき、可能性のある用途は L E D および O L E D およびレーザー光源の気密パッケージング、光学センサ、N I R センサおよび M I R センサのパッケージングであり、ここでコーティングを必要とする光学的に透明な素子は典型的にはガラス部品であり（必ずしもウェハではない）、且つパッケージングはメタルのケーシングであってよい。

【符号の説明】

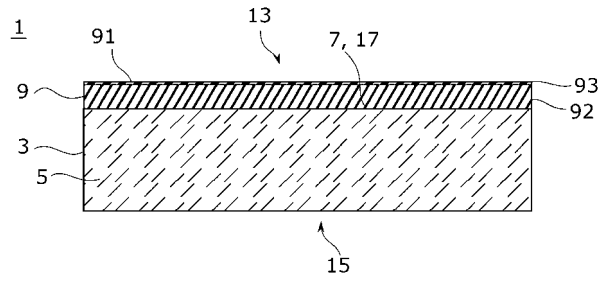
【 0 0 6 5 】

- |          |                |    |
|----------|----------------|----|
| 1        | 光学素子           |    |
| 2        | 部品             |    |
| 3        | 透明基板           |    |
| 4        | 陽極接合           |    |
| 5        | アルカリ含有ガラス      |    |
| 6        | アルカリ空乏領域       |    |
| 7        | 基板 3 の表面       |    |
| 9、10     | コーティング         |    |
| 11       | 第 2 の基板        |    |
| 13、15    | 3 の面           | 10 |
| 17       | 3、9 の間の界面      |    |
| 20       | M O E M S デバイス |    |
| 21       | 光機械素子          |    |
| 22       | 光電子素子          |    |
| 25       | 接合突起部          |    |
| 26       | 透明ウェハ          |    |
| 27       | デバイスウェハ        |    |
| 28       | 接合フレーム         |    |
| 30       | ウェハ            |    |
| 31       | ウェハパッケージ       | 30 |
| 32       | 第 2 のウェハ       |    |
| 33       | コーティング除外領域     |    |
| 35       | 接合領域           |    |
| 40       | 分離ライン          |    |
| 91       | 9 の外側表面        |    |
| 92、93、94 | コーティング 9 の層    |    |
| 95       | 接合（可能）材料の層     |    |
| 96、97    | 非接合（可能）材料の層    |    |

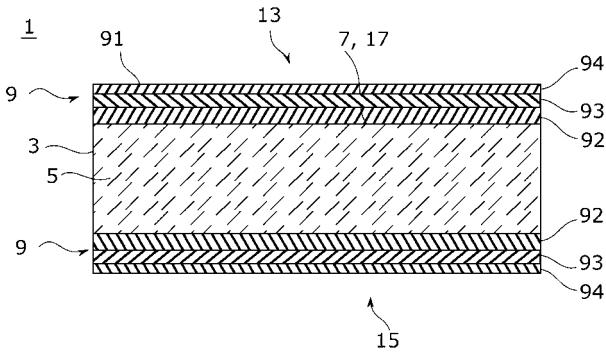
【 図 1 】



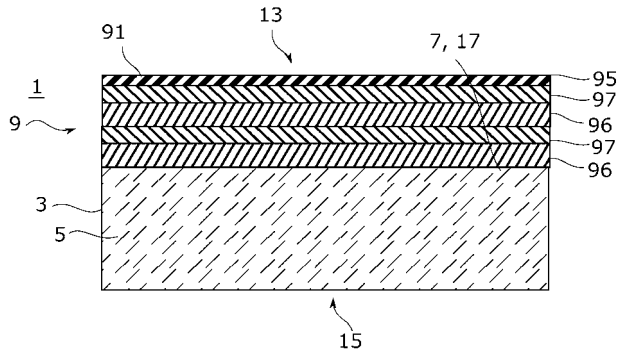
【 図 3 】



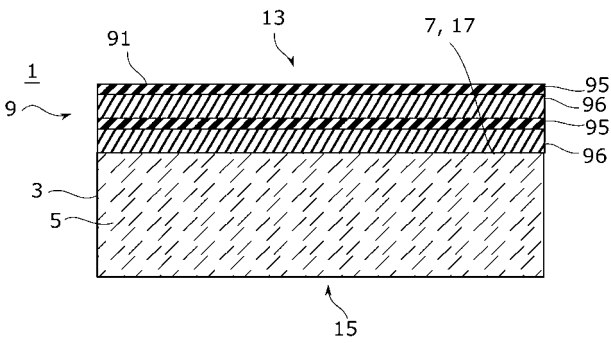
【 図 2 】



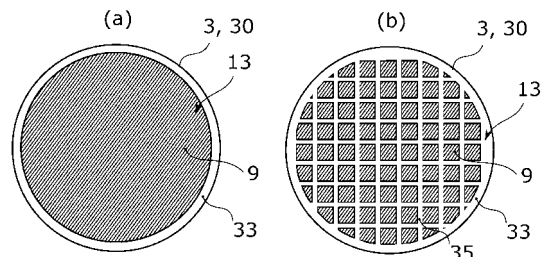
【 図 4 】



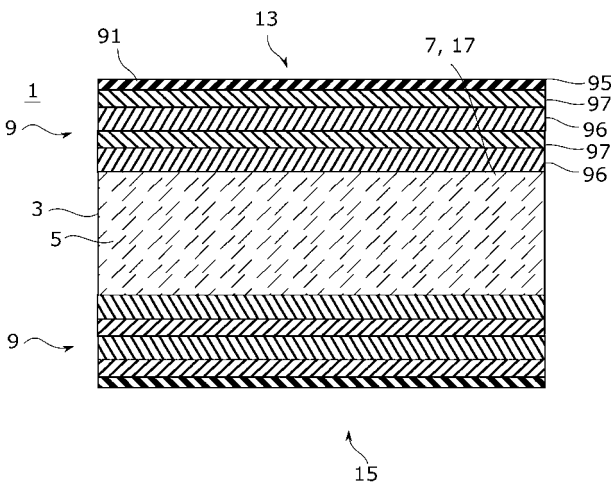
【 図 5 】



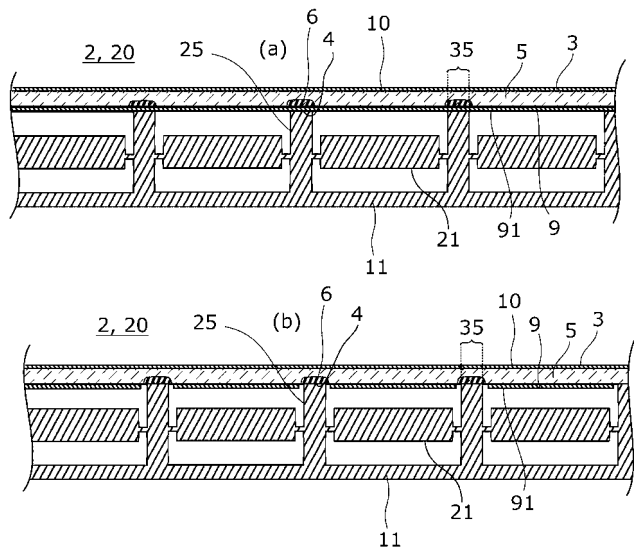
【 図 7 】



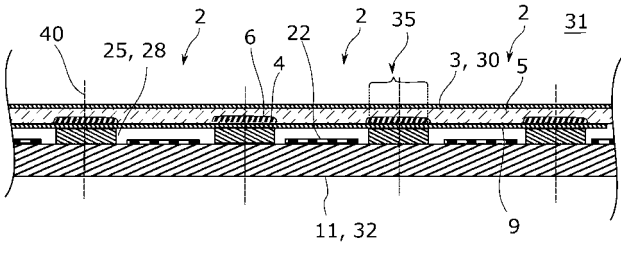
【 図 6 】



【 図 8 】



【 図 9 】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I		テーマコード(参考)
<b>G 0 2 B 5/30 (2006.01)</b>	G 0 2 B	5/30	4 G 0 5 9
<b>C 0 3 C 17/34 (2006.01)</b>	C 0 3 C	17/34	Z 4 G 0 6 1
<b>B 3 2 B 7/023 (2019.01)</b>	B 3 2 B	7/023	
<b>B 3 2 B 9/00 (2006.01)</b>	B 3 2 B	9/00	A
<b>B 3 2 B 17/06 (2006.01)</b>	B 3 2 B	17/06	

(74)代理人 100135633

弁理士 二宮 浩康

(74)代理人 100162880

弁理士 上島 類

(72)発明者 マルセロ ダヴィド アッカーマン

スイス国 ニューシャテル リュ サン - モリス 1 2

(72)発明者 ミハエル グンナー ガルニエ

スイス国 ラ・ショー - ド - フォン ラ・ジュール - プレ 3 1

(72)発明者 ディアク アピッツ

スイス国 ローザンヌ アヴニユ ド シャイール 7 1

(72)発明者 ウルフ ゲオアク ブラウネック

ドイツ連邦共和国 グロース - ウムシュタット パッペルヴェーク 3アー

Fターム(参考) 2H042 AA06 AA11

2H148 CA09 CA11 CA24 FA05 FA07 FA09 FA24

2H149 AA22 AB26 BA02 BA04 BB01 BB28 DA02 DA12 FC02 FC07

FC08

2K009 AA03 AA05 BB02 CC02 CC03 DD02

4F100 AA05C AA12B AA15B AA17C AA19C AA20C AA21C AA27C AB01C AG00A

AT00A BA03 BA07 BA10A BA10C DD07C EH66 GB41 JB05C JN06

JN06B JN08 JN08B YY00B YY00C

4G059 AA01 AC04 EA01 EA05 EA12 GA02 GA12

4G061 AA25 BA03 CA03 CD02

## 【 外国語明細書 】

**Coated optical element, component with a coated optical element and method to produce the same**Specification

- 5                   The invention generally concerns thin-film coated optical elements such as elements with an antireflective coating, or coated with a dielectric wavelength filter, or a partially reflective or absorptive coating. In particular, the invention relates to arrangements where the optical element is fixed to a further element by anodic bonding at the interface where said coating is applied.
- 10                   US 2003/0021004 A1 discloses a method for producing an optical MEMS device, wherein an optically transmissive substrate is provided, an optical coating is deposited on one or both surfaces of the substrate to enable or improve the transmission of an optical signal along a path directed through the optical coating and the substrate; The substrate typically encloses an active or passive optical element, which can be an optical sensor, optical emitter or a passive
- 15                   movable, actuatable microstructure, whereby actuation of the microstructure causes the microstructure to interact with the optical signal. The optical coating applied to such substrates is patterned such that it exists only under/above the active or passive or actuatable portion of microstructure, i.e., in the path of the optical signal, and not at the areas on the first substrate where bonding to second substrate is effected.
- 20                   Anodic bonding is a standard method in the fabrication of MEMS-devices, particular for packaging the device. Alkali-containing glasses are used for the bonding. Suitable are soda containing borosilicate glasses or soda-lime glasses. To effect the anodic bonding, the glass is heated until the alkali-ions become mobile within the glass. An electrical field is applied so that the alkali ions move towards the electrode contacting the glass. This results in a charge depletion
- 25                   zone at the interface, which exerts electrostatic forces pressing the substrates together. The close contact of the substrate surfaces results in formation of physical and chemical bonds between the substrates.
- Structuring the coating as it is also disclosed in US 2003/0021004 A1 may, e.g., be accomplished by selective etching, lithographic patterning and lift-off or physical masking. This,
- 30                   however, is costly and requires additional process steps, e.g. in the production of MEMS devices. Moreover, the structuring may harm or degrade the coating.

It is therefore an object of the invention to facilitate and improve fabrication of components or modules with coated optical elements. This object is solved by the subject matter of the independent claims. Advantageous refinements of the invention are defined in the dependent claims.

5           According to one aspect of the invention, an optical element comprising an optically transparent substrate of alkali containing glass and a coating on a surface is provided. This specific coating is not prohibitive to / enables anodic bonding of the alkali containing glass within the area of the surface that is covered with the coating and with the anodic bond forming, or being established, respectively, at the outer surface of the coating.

10           It has so far been assumed that anodic bonding requires a direct interface between the glass and the substrate. In the case of coated glass, it was assumed that the presence of the coating between the glass and substrate is prohibitive for bonding. It was assumed that a patterning step is necessary to keep the bonding area free of coating, to have direct glass-Si or glass-metal contact. This requires masking steps prior to coating or selective / local etching steps  
15 after coating. This is an additional and costly process step. It also requires the correct alignment of the pattern where the bare glass is exposed to the substrate. Especially in the case of small parts (MEMS), this alignment is requires advanced / expensive process equipment. However, surprisingly, there are coatings which are compatible with the bonding process. Thus, according to an embodiment, the coating has one or both of the following features:

- 20
- the material of the coating is not capable of being anodically bonded,
  - the coating itself does not contain alkali ions in sufficient amount to establish a charge depletion zone at the interface of the anodic bond,
  - the alkali content in mol% is less than 1/10<sup>th</sup> of the alkali content of the alkali containing glass.

To obtain a reliable bond to the coating it is advantageous if the outer surface of the  
25 coating is hydrophilic or polar. This facilitates formation of chemical bonds between the surface of the coating and the further element to be connected to the optical element.

According to a further aspect, an optically functional module or component is provided, the component comprising an optical element according to the invention, i.e. with an optically transparent substrate of alkali containing glass and a coating on a surface of the substrate, and a  
30 second substrate connected to the optically transparent substrate, wherein the second substrate is connected to the optically transparent substrate by an anodic bond at an area of the surface covered with the coating so that the coating is arranged between the optically transparent

substrate and the second substrate and is in direct contact with both the optically transparent substrate and the second substrate.

The connection of the substrate by the anodic bond in this configuration is established at the interface between the coating and the surface of the second substrate. This way, the coating does not need to be removed in the contact area.

The coating may consist of a single layer or may contain a sequence of at least two layers.

Generally, in a simple and advantageous embodiment the substrate has a face, in particular a plane face that is fully covered by the coating. In a typical embodiment the substrate is disc shaped having two opposed plane faces or sides, respectively. In this configuration, at least one of the faces may be fully covered with the coating as explained above. However, a circumferential coating exclusion zone on the face can be provided.

Preferably, the second substrate is a silicon substrate such as a silicon wafer or a metal substrate. Silicon substrates anodically bonded to glass substrates may be employed to fabricate MEMS components. Thus, according to one embodiment of the invention, the optical component is a MEMS-device, in particular a MOEMS device. The other substrate to be bonded to the optical element does not need to be entirely made of silicon or metal. However, the section bonded to the optical element is preferably a silicon or metal part. Thus, more generally, the second substrate comprises a silicon or metal part that is bonded to the optical element. The silicon may be covered with silicon oxide, in particular covered with a native oxide layer. In this case the silicon oxide forms the surface of the part that bonds to the optical element.

Generally, according to a further embodiment, the second substrate may as well be provided with a coating on the side that is bonded to the glass substrate. Such a coating may, e.g., be a metallic or oxidic coating. For example, the side to be bonded to the glass substrate may be provided with an aluminium coating or an SiO<sub>2</sub>-coating.

Suitable materials for the topmost layer or, generally, for the outer surface of the coating are

- SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>x</sub> (i.e. generally silicon oxide), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> AlO<sub>x</sub> (i.e. generally aluminium oxide),
- metal,
- metal oxides like Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> and HfO<sub>2</sub>,
- fluorides and sulfides like MgF<sub>2</sub>, ZnS, Bariumfluoride (BaF<sub>2</sub>), Calciumfluoride (CaF<sub>2</sub>), Ceriumfluoride (CeF<sub>3</sub>), Lanthanfluoride (LaF<sub>3</sub>), Neodymfluoride (NdF<sub>3</sub>), Ytterbiumfluoride (YbF<sub>3</sub>),

Aluminiumfluoride ( $\text{AlF}_3$ ), Dysprosiumfluoride ( $\text{DyF}_3$ ), and Yttriumfluoride ( $\text{YF}_3$ ),  
- mixtures thereof, i.e. materials which contain one or more of the mentioned materials listed  
above (thus also doped and mixed materials containing at least one of these mentioned  
materials), e.g. Al-doped  $\text{SiO}_2$ , or Si-doped  $\text{TiO}_2$ .

5           Typically, the coating or at least its topmost layer, or its outer surface is inorganic to  
allow for an anodic bond.

          According to an advantageous embodiment of the invention, the coating comprises at  
least two layers. With multilayer coatings, more complex optical functions may be realised, such  
as multilayer antireflective or dichroic filters.

10           The coating may also comprise a layer of a material that itself cannot be bonded at its  
surface by anodic bonding. In this case, this layer is covered with a layer of bondable material,  
e.g. a  $\text{SiO}_2$ - or  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -layer. This topmost layer does not necessarily need to have an optical  
function but functions to establish chemical bonds to the other substrate. Accordingly, in one  
embodiment of the invention the coating comprises at least two layers.

15           Thus, in refinement of the invention, the coating comprises a layer of a non-bonding  
material that does not bond to other surfaces by anodic bonding. The coating comprises a further  
layer of a material that enables anodic bonding of the alkali containing glass on the area of the  
surface that is covered with the coating, i.e. which establishes physical or chemical bonds to  
another substrate under influence of the charge depletion zone.

20           To produce the component, the invention further encompasses a method for fabricating  
a component with an optical element, the method comprising the steps of  
- providing an optically transparent substrate of an alkali containing glass,  
- depositing a coating on a surface of the substrate, the coating enabling anodic bonding of the  
alkali containing glass on the area of the surface that is covered with the coating,  
25 - bringing a second substrate into contact with the coating on the optically transparent substrate,  
- heating the optically transparent substrate up to a temperature that enables diffusion of alkali  
ions in the glass, and  
- applying a voltage across the stack of the optically transparent substrate and the second  
substrate so that alkali ions migrate within the bulk of the glass creating an alkali depletion zone  
30 and the optically transparent substrate with coating under the influence of the electrostatic field  
generated by said applied voltage and ion depletion zone at the interface and the second  
substrate are bonded together.

The anodic bond may be characterised by a lasting depletion zone in the glass at the interface to the coating in which the alkali content is reduced with respect to the bulk of the glass or the opposite face of the substrate. Thus, according to one embodiment of the invention, the glass of the substrate of the optical element has an alkali depletion zone at the interface to the coating, although the depletion may level out over time.

As in a conventional fabrication, thus, an anodic bond is established. In difference thereto, however, the alkali-depletion occurs not directly at the bonded surfaces but rather at the interface from the glass to the coating.

In a preferred embodiment of the method,

- 10 - the stack of substrate and coated glass is heated to a temperature above 250 °C but below the glass transition temperature (T<sub>g</sub>) of the glass, and
- the voltage applied to generate the electric field is above 250V, and
- a bond strength is achieved surpassing the fracture strength of the glass of the transparent substrate. To avoid voltage breakdown and eventual damage of the device, it is preferred,
- 15 however to limit the applied voltage to less than 1500 V.

According to a preferred embodiment, the component has a bond strength of the anodic bond between the coating and the second substrate that exceeds 7 MPa. Preferably, the bond strength is at least 10 MPa.

The invention and preferred embodiments are further illustrated below with reference to the accompanying drawings.

#### Brief description of the drawings:

- 25 Fig. 1 shows a cross section of an optical element with a coating.
- Fig. 2 shows a cross section of an optical element with a multilayer coating.
- Fig. 3 depicts a variant of the embodiment of Fig. 1 with an added thin layer.
- Fig. 4 shows a variant with a multilayer of non-bonding materials.
- Fig. 5 shows a variant with a multilayer of alternating bonding and non-bonding materials.
- 30 Fig. 6 is a variant of the embodiment of Fig. 4 with a coating on both faces of the substrate.
- Fig. 7 shows two coated wafers.

Fig. 8 shows two examples of components with a coated optical element.

Fig. 9 shows a wafer package with a transparent wafer bonded to a device wafer.

#### Detailed description of preferred embodiments

5

Fig. 1 shows an optical element 1 according to the invention. The optical element 1 comprises an optically transparent substrate 3 of alkali containing glass 5 and a coating 9 on a surface 7 of the substrate 3. The glass of the substrate is of a type that allows for anodic bonding. Accordingly, the alkali ions of the glass are movable within the glass matrix at elevated  
10 temperatures below the softening point. With the coating 9 an anodic bonding of the alkali containing glass 5 is possible within the area of the surface 7 that is covered with the coating 9 and with the anodic bond forming at the outer surface 91 of the coating. Preferably, the substrate 3 comprises two opposed faces 13, 15, where one of the faces 13 forms the surface 7 onto which the coating 9 is deposited.

15

Surprisingly and without restriction to the specific embodiment of Fig. 1, the coating 9 itself does not need to be of a material which is capable of being anodically bonded. Specifically, the coating itself does not need to contain alkali ions in sufficient amount to establish a charge depletion zone at the interface of the bond, i.e. at the outer surface 91 of the coating. However, alkali depletion at the interface 17 still occurs in the glass due to the applied voltage so that a  
20 strong electrostatic field builds up between the substrates to be connected. The overall thickness of the coating is preferably in the range of from 2 nm to 50  $\mu\text{m}$ , in particular from 20 nm to 20  $\mu\text{m}$ . Although the field strength drops with increasing layer thickness, the upper limit of 50  $\mu\text{m}$  may still allow for stable and rigid bonds. Assuming that no considerable ion migration takes place inside the coating, the force of the electrical field will be too low to initiate bonding or at least to  
25 establish a bonding force of satisfactory strength. The relation between the thickness of the coating and the field strength is assumed to be roughly inversely linear. I.e. doubling the thickness of the coating will halve the electrostatic force. The coating thickness that is prohibitive for bonding will depend both on the maximum voltage that can be applied and the affinity of the surface for achieving the bond. This affinity may depend, e.g. on the density of OH-groups at the  
30 surface in case of hydrophilic materials, the density of defects and inclusions. Thus, there is no definite limit on the thickness.

As shown, the plane face 13 of the substrate 3 is fully covered by the coating 9. The optical element can be used for the anodic bonding without further structuring of the coating. According to one embodiment of the invention, without restriction to the specific illustrative example of Fig. 1, the optical element is a glass wafer with one of its faces fully covered with the coating. In the deposition process there may be small areas at the wafer edge that are covered, e.g. due to clamps holding the wafer. This may result in small areas at the wafer edge without coating. As well, a circumferential coating exclusion zone can be provided for handling reasons. A wafer with a continuous coating but preferably only small areas left open at the edge or a circumferential coating exclusion zone at the edge is still regarded as a wafer with a fully covered face.

To facilitate the bonding, the topmost layer material is preferably hydrophilic or polar. Generally, a hydrophilic or polar material is regarded as a material having a water contact angle of less than  $45^\circ$ , preferably of less than  $25^\circ$ . The contact angle at the surface may be larger due to contamination. However, this is not too critical as long as the layer forming material at the surface is hydrophilic. Thus, the contact angle as specified above may also be achieved after cleaning the surface.

Coating materials that, when applied as last layer of an optical coating 9 make the full coated wafer anodically bondable are potentially all materials which show hydrophilic bonding to the native oxide of Si and metals like Kovar.

This certainly includes:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiO}_x$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{AlO}_x$  and metal layers. Further, metal oxides like  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  and  $\text{HfO}_2$  are suitable. Further, fluorides and sulfides like  $\text{MgF}_2$ ,  $\text{ZnS}$ , Bariumfluoride ( $\text{BaF}_2$ ), Calciumfluoride ( $\text{CaF}_2$ ), Ceriumfluoride ( $\text{CeF}_3$ ), Lanthanfluoride ( $\text{LaF}_3$ ), Neodymfluoride ( $\text{NdF}_3$ ), Ytterbiumfluoride ( $\text{YbF}_3$ ), Magnesiumfluoride ( $\text{MgF}_2$ ), Aluminiumfluoride ( $\text{AlF}_3$ ), Dysprosiumfluoride ( $\text{DyF}_3$ ), and Yttriumfluoride ( $\text{YF}_3$ ) can be used, e.g. to utilize special optical characteristics like a low refractive index as it is the case with  $\text{MgF}_2$ .

The coating may also contain doped and mixed materials containing at least one of the above mentioned compounds, e.g. Al-doped  $\text{SiO}_2$ , or Si-doped  $\text{TiO}_2$ .

Fig. 2 shows a refinement of the embodiment of Fig. 1. In the embodiment, the coating 9 comprises at least two layers. In the example of Fig. 2, the coating comprises three layers 92, 93, 94. Further, as shown, a coating 9 may be applied to both opposing faces 13, 15 of the substrate. Generally, without restriction to the examples of Fig. 1 and Fig. 2, the coating 9 with

one or more layers may in particular be one of

- an anti-reflection coating,
- a mirror coating (metallic, dielectric or combined) with or without protection layer(s),
- a filter coating, in particular a dichroic, polarizing, band-pass, low-pass, high-pass, neutral density, single or multiple notch filter or beam splitter coating, potentially offering dichroic or polarizing properties.

5

Further, the coating may include materials or layers that impart hardness and/or scratch resistance. Coating materials of this type are in particular nitrides, oxynitrides, carbonitrides or carbides, such as silicon carbide, aluminium nitride, titanium nitride or silicon nitride or mixed materials.

10

In addition, materials or layer designs with high LIDT, low absorption, low reflective or diffractive losses may be employed.

The coating may also include non-bonding materials. For example, in the embodiment shown in Fig. 2, one or both of the layers 92, 93 may be from materials that are not itself suitable for anodic bonding. In this case, i.e., if the coating 9 comprises a layer of a non-bonding material that does not bond to other surfaces by anodic bonding, a further layer is provided. This further layer is of a material that enables anodic bonding of the alkali containing glass on the area of the surface that is covered with the coating. In the example of Fig. 2, accordingly, the topmost layer 94 is of a material that bonds to other materials by anodic bonding. For example, the topmost layer 94 may be a  $\text{SiO}_2$ -,  $\text{SiO}_x$ - or  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -layer. In particular, the coating itself does not need to contain alkali ions in an amount sufficient to create a charge depletion zone that allows for an anodic bond. Specifically, the alkali content of the coating, if any, may be less than one tenth of the alkali content of the glass measured in mol%.

15

20

The coating 9 may also substantially consist of one or more non-bonding materials. To employ such a coating, a thin layer of a bondable material which has no optical function (typically  $\text{SiO}_2$  or  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), but which is there solely to allow for anodic bonding, may be deposited on top of the non-bonding material. Fig. 3 shows an example for this variant with a layer 92 of a non-bonding material. On this layer 92, a further, thin layer of a bonding material (such as the aforementioned  $\text{SiO}_2$  or  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) is deposited. As this layer 93 only serves to establish the chemical bonds to the other substrate, it may be very thin. According to one embodiment of the invention, the coating 9 comprises a layer 92 of a non-bonding material and a further layer 93 of a bonding material on top of the layer 92 of non-bonding material, the further layer forming the outer surface

25

30

of the coating 9 and having a thickness of between 1 nm and 20 nm, preferably between 4 nm and 20 nm, and particularly between 5 nm and 15 nm.

The overall thickness of the coating is preferably in the range of from 2 nm to 50  $\mu\text{m}$ , in particular from 20 nm to 20  $\mu\text{m}$ .

5 According to another embodiment, in particular, when the topmost layer of a multilayer stack also has a contribution to the optical function, the thickness of the layer preferably is from 50 nm to 1000 nm. This is also the preferred range of thickness of a single layer coating, when this coating has an optical function for the visible range of light (wavelength typically from 400 to 700 nm). For layers having optical properties in the NIR or IR range, the typical layer thickness  
10 increases linearly with the wavelength, leading to layers of preferably 125 nm to 1000nm thickness.

Fig. 4 shows a variant with a multilayer of non-bonding materials. According to this variant, the coating 9 is a multilayer stack of layers. In particular, the coating 9 may comprise a stack of alternating layers 96, 97. The material of both layer types 96, 97 are potentially non-  
15 bonding, i.e. not suitable for anodic bonding. In this embodiment, the stack is terminated with a layer 95 of a bonding material which consequently forms the outer surface 91 of the coating 9. The terminating layer may have an optical function. As well, the layer can be very thin as explained above, so that it does not contribute considerably to the optical properties of the coating 9.

20 In the embodiment of Fig. 5, the coating 9 comprises a multilayer stack of alternating layers 95, 96, where layers 95 are of a bondable material and layers 96 are of a non-bondable material. The sequence of alternating layers 95, 96 is terminated with a topmost layer 95 of a bondable material.

A multilayer coating 9 with an alternate layer system may be deposited on both faces of  
25 a substrate 3, as shown in the embodiment of Fig. 6. In the embodiment shown, both coatings are identical regarding their succession of layers and the termination by a layer 95 of a bonding material. The terminating layer 95 may also be omitted on the coating that is not bonded to another substrate.

Generally, without restriction to any of the depicted examples, the number of layers of  
30 the coating 9 can range from 1 to more than 300. Typically, e.g. for an antireflection functionality, it will be 1 to 8 layers. For complex filters (e.g. a notch filter), it can be even between 300 and 600 layers.

The deposition technique can be any thin film deposition method, including but not limited to PVD (physical vapour deposition), CVD (chemical vapour deposition) or ALD (atomic layer deposition), and specifically for PVD these could be but are not limited to e-beam evaporation, Ion Beam Sputtering, Magnetron Sputtering, Ion Assisted Deposition, thermal evaporation, or any other thin film coating technique. An example discussed below has been made using Ion Assisted Deposition.

The wavelength range in which the substrate is transparent may be from 250nm up to 4  $\mu$ m. Accordingly, the term optically transparent according to the invention is not limited to the visible wavelength range but also includes infrared and ultraviolet light. More specifically the visible range (400 to 700 nm), the near infrared (850 to 2500 nm) and the mid-infrared (2500 to 3500 nm), and especially the typical laser wavelength for telecommunication and laser ranging applications (905, 950, 1030, 1050, 1064, 1535, 1550 and 1570 nm) and the wavelengths for LED and OLED light sources (visible wavelength in red green and blue) and any wavelength generated e.g. by an OPO are relevant for an optical component according to the invention. Thus, it is contemplated that the substrate is transparent to at least one of these wavelengths or wavelength ranges.

The roughness ( $R_q$ ) of the outer surface 91 is advantageously between 0.1 and 2 nm RMS, but can be less than 0.1 nm RMS (no lower limit) or higher than 2 nm RMS. The roughness may be influenced by the deposition parameters, e.g. by the power density in a plasma deposition process. A low roughness generally is advantageous to facilitate the anodic bonding and to strengthen the bond.

Fig. 7 shows two substrates 3. Both substrates 3 are wafers 30 which may be employed in a wafer level anodic bonding process after which components can be separated. The wafer (a) on the left side is a wafer 30 that can be processed according to the invention. Face 13 of wafer 30 is fully covered with the coating 9 with a circumferential coating exclusion zone 33 left open. Wafer (b) on the right side is a wafer 30 as it is used in a conventional process. The coating 9 does not fully cover the area inside the circumferential coating exclusion zone 33 but is further structured with stripe shaped bonding areas 35 left open. These areas are envisaged to anodically bond the wafer to a further substrate so that the further substrate has direct contact to the wafer material. However, this structuring requires further processing. Also, the alignment between the wafers must be more precise so that bonding structures on the further wafer match the bonding areas 35. In the embodiments shown, the wafers are round shaped. However, other

shapes of wafers are possible as well. For example, the wafer may have rectangular, in particular quadratic or more generally a polygonal shape.

Fig. 8 shows two examples of components 2 with a coated optical element 1. Example (a) is a component 2 according to the invention, example (b) is conventionally produced. Both examples are fabricated by bonding a substrate 3 of alkali containing glass 5 to a further substrate 11. The components (a) and (b) are MOEMS devices, component (a) is a component according to the invention and component (b) is a comparative example.

Specifically, the fabrication comprises the steps of

- providing an optically transparent substrate 3 of an alkali containing glass 5,
- 10 - depositing a coating 9 on a surface of the substrate 3,
- bringing a second substrate 11 into contact with the coating 9 on the optically transparent substrate 3,
- heating the optically transparent substrate 3 up to a temperature that enables diffusion of alkali ions in the glass 5, and
- 15 - applying a voltage across the stack of the optically transparent substrate 3 and the second substrate 11 so that the optically transparent substrate 3 and the second substrate 11 are bonded together.

In example (b), the coating 9 has been removed in the bonding areas 35 so that the glass 5 is in direct contact with the second substrate 11.

20 According to the invention, however, the coating spans over the one or more bonding areas 35. Thus, the second substrate 11 is brought into contact with the coating 9 instead of the glass. When the voltage is applied, alkali ions move away from the interface of the glass 5 and the coating 9 under the influence of the electrostatic field exerted by the applied voltage. This way, an alkali depletion zone 6 in the glass at the interface to the coating is produced, generating  
25 a high electrostatic force at the interface, and the optically transparent substrate 3 and the second substrate 11 are bonded together. Akin to the conventional fabrication, thus, an anodic bond 4 is established, however, with the alkali-depletion if formed during the bonding process at the interface from the glass 5 to the coating 9 rather than directly at the anodic bond interface 4. The anodic bond 4 also has comparable strength. A bond strength of more than 7 MPa may be  
30 established and the bond strength may even exceed 10 MPa.

The substrate 3 may further be provided with a coating 10 on the opposite face. The coatings 9, 10 may be the same or may be different, e.g. with the coating 9 having an additional layer of a bonding material as in the embodiments of Fig. 3, Fig. 4 and Fig. 5.

5 The MOEMS device 20 generally comprises one or more optically active or passive elements, such as light sensors, light sources or one or more actuatable optomechanical elements 21. These elements interact with light transmitted through the optical element 1. For example, according to one embodiment of the invention and without restriction to the specific embodiment of Fig. 8, the second substrate of component 2 comprises optomechanical elements 21 in the form of mirrors which are tiltable by an applied voltage or current.

10 The light transmitted through the optical element 1 and influenced by the optomechanical element 21 may be reflected back through the optical element 1, transmitted through the second substrate 11 or absorbed within the component 2. Generally, the light may be reflected, refracted or generally redirected or emitted by the optically active or passive element in the MOEMS device 20.

15 Generally and without restriction to the depicted embodiments, the optical element 1 of the component 2 may in particular be a window with a substrate 3 having two opposite plane parallel faces. The window in particular may serve to encapsulate optomechanical or optoelectronic elements, e.g. optoelectronic light sources, sensors and actuators.

20 As also shown in the example of Fig. 8, the second substrate 11 may comprise bonding protrusions onto which the optically transparent substrate 3 is attached. The bonding protrusions 25 may be ridge-like supports. In particular, the bonding protrusion 25 may also be a bonding frame which surrounds and encloses the optoelectronic or optomechanical elements of the component 2. Generally, a bonding protrusion may be integrated with the body of the second substrate or may be an additional structure thereon. For example, the second substrate may be a  
25 silicon substrate etched or structured such that ridges remain standing around the optoelectronic or optomechanical elements. The bonding protrusion 25 may also be metal structures, such as protrusions produced from an iron-nickel alloy such as Kovar. This metal has a thermal linear expansion coefficient close to silicon. Generally, the second substrate 11 may as well be provided with a coating on the side that is bonded to the transparent substrate 3. As well, it is  
30 advantageous to choose a glass 5 with a similar thermal expansion coefficient.

The procedure of the anodic bonding preferably is performed on wafer level. This means that a glass wafer and a second wafer are joined together and the components to be

fabricated are separated from the wafer package at a given time after anodic bonding. This way the invention is particularly advantageous, as a structuring as shown in Fig. 7 and a subsequent alignment to bonding protrusions can be omitted. Fig. 9 shows an example of a wafer package 31 according to the invention. The wafer package 31 generally includes an optically transparent wafer 30 and a second wafer 32 with a multitude of optoelectronic or optomechanical elements, wherein the side of the optically transparent wafer 30 facing the second wafer is covered with a coating 9, and wherein the optically transparent wafer 30 and the second wafer are bonded together at bonding areas 35 with anodic bonds 4, wherein the coating 9 extends across the bonding areas 35 so that the coating 9 contacts the second wafer 32 and the anodic bonds are formed between the coating and the second wafer 32. The bonding areas 35 are formed so that components 2 according to the invention can be separated from the wafer package 31 along separation lines 40. Thus, the optically transparent substrate 3 and the second substrate 11 of a component 2 are formed from sections of the first and second wafers 30, 32, respectively.

Preferably, the bonding areas 35 are defined by bonding protrusions 25 as in the example of Fig. 8. Preferably, the bonding protrusions 25 are shapes as bonding frames 28 which encircle the devices on the second wafer, e.g. optomechanical or optoelectronic elements 22. This way, the elements are encapsulated after the wafers 30, 32 are joined and bonded together.

In the following, an example for the fabrication of an optical component 2 according to the invention is described. The substrate 3 is a MEMpax-wafer. MEMpax is a borosilicate glass with a linear thermal expansion coefficient  $\alpha(20^{\circ}\text{C}; 300^{\circ}\text{C})=3.3 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ , which is very closely matched to that of Silicon.

An antireflection coating was deposited on the MEMpax wafer. The coating 9 is a 4-layer coating optimised for a wavelength of 905 nm (typical for a NIR laser application). The 4 layers were: 231 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  (lowest layer) / 95nm  $\text{SiO}_2$  / 178 nm  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  / 125nm  $\text{SiO}_2$  (topmost layer). The outer surface 91 of the coating 9, i.e. the surface of the  $\text{SiO}_2$ -layer with a thickness of 125 nm has a roughness of 1 to 1.5 nm RMS. This wafer was bonded to a silicon wafer with the coating directly contacting the silicon wafer.

For bonding, an electrostatic voltage of 1250 V was applied and the ion migration, and hence electrostatic force required to initiate the bonding started, as observed from the ion current, at 360 degree C. The temperature was further increased to 380 degrees C, and the applied voltage and temperature was maintained for 10 to 15 minutes after the onset of ion current was observed. These are typical process parameters for anodic bonding. Longer bond time, higher

temperature or other optimizations of the bonding process parameters can result in a larger bonded area and/or a higher bond energy.

5 It is apparent to a person skilled in the art that the invention is not restricted to the specific embodiments as shown in the figures. Rather, the embodiments can be varied within the scope of the claims and the features of different examples may be combined. Inter alia, the invention is not restricted to MEMS- or MOEMS-devices as disclosed in Fig. 8. Rather, the invention can be generally applied for electronic packaging, with potential applications being hermetic packaging for LED and OLED and laser light sources, Optical, NIR and MIR sensor  
10 packaging, where the optically transparent element requiring coating is typically a glass component (not necessarily a wafer) and the packaging it is bonded to may be a metal casing.

## List of reference signs.

1	optical element
2	component
3	transparent substrate
4	anodic bond
5	alkali containing glass
6	alkali depletion zone
7	surface of substrate 3
9, 10	coating
11	second substrate
13, 15	faces of 3
17	interface between 3, 9
20	MOEMS-device
21	optomechanical element
22	optoelectronic element
25	bonding protrusion
26	transparent wafer
27	device wafer
28	bond frame
30	wafer
31	wafer package
32	second wafer
33	coating exclusion zone
35	bonding area
40	separation line
91	outer surface of 9
92, 93, 94	layers of coating 9
95	layer of a bondable material
96, 97	layer of a non-bondable material

Patent claims:

1. A Optical element (1) comprising an optically transparent substrate (3) of alkali containing glass (5) and a coating (9) on a surface (7), the coating (9) enabling anodic bonding of the alkali containing glass (5) within the area of the surface (7) that is covered with the coating (9) and with the anodic bond forming at the outer surface (91) of the coating.  
5
2. The Optical element (1) according to the preceding claim, characterized in that the coating is alkali-free at least at its outer surface (91).  
10
3. The Optical element according to any one of the preceding claims, characterized in that the outer surface of the coating (9) is hydrophilic or polar.
4. The Optical element according to any one of the preceding claims, characterized in that the outer surface (91) of the coating (9) comprises one of  
15
  - SiO<sub>2</sub>, SiO<sub>x</sub> (i.e. generally silicon oxide), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AlO<sub>x</sub> (i.e. generally aluminium oxide),
  - metal,
  - metal oxides like Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> and HfO<sub>2</sub>,
  - fluorides and sulfides like MgF<sub>2</sub>, ZnS, Barium fluoride (BaF<sub>2</sub>), Calcium fluoride (CaF<sub>2</sub>),  
20 Cerium fluoride (CeF<sub>3</sub>), Lanthanum fluoride (LaF<sub>3</sub>), Neodymiumfluoride (NdF<sub>3</sub>),  
Ytterbium fluoride (YbF<sub>3</sub>), Aluminum fluoride (AlF<sub>3</sub>), Dysprosium fluoride (DyF<sub>3</sub>), and  
Yttrium fluoride (YF<sub>3</sub>),
  - mixtures thereof, i.e. materials which contain one or more of the mentioned materials listed above (thus also doped and mixed materials containing at least one of these  
25 mentioned materials), e.g. Al-doped SiO<sub>2</sub>, or Si-doped TiO<sub>2</sub>.
5. The Optical element according to any one of the preceding claims, characterized in that the substrate has a face, particular a plane face that is fully covered by the coating (9).  
30
6. The Optical element according to any one of the preceding claims, characterized in that the thickness of the coating is in the range of from 2 nm to 50 μm, preferably from

20 nm to 20  $\mu\text{m}$ .

- 5
7. The Optical element according to any one of the preceding claims, characterized in that the coating (9) comprises at least two layers.
8. The Optical element according to the preceding claim characterised in that the coating comprises a layer of a non-bonding material that does not bond to other surfaces by anodic bonding and a further layer of a material that enables anodic bonding of the alkali containing glass on the area of the surface that is covered with the coating.
- 10
9. The Optical element according to the preceding claim characterised in that the further layer has a thickness of between 1 nm and 20 nm, preferably between 4 nm and 20 nm, and particularly between 5 nm and 15 nm.
- 15
10. The Optical element according to claim 6 or claim 7, wherein the thickness of the topmost layer of the coating is in the range of from 50 nm to 1000 nm.
11. The Optical element according to any one of the preceding claims, characterised in that the roughness ( $R_q$ ) of the outer surface (91) of the coating (9) is between 0.1 and 2 nm RMS.
- 20
12. The Optical element according to any one of the preceding claims, characterized in that the coating (9) is one of
- 25
- an anti-reflection coating,
  - a mirrors coating (metallic, dielectric or combined) with or without protection layer(s),
  - a filter coating, in particular a dichroic, polarizing, band-pass, low-pass, high-pass, neutral density, single or multiple notch filter or beam splitter coating.
- 30
13. The Optical element according to any one of the preceding claims, characterised in that the coating comprises a nitride, an oxynitride, a carbonitride or a carbide or a mixture thereof.

14. A component (2) comprising an optical element (1) with an optically transparent substrate (3) of alkali containing glass (5) and a coating (9) on a surface (7) of the substrate (3), and a second substrate connected to the optically transparent substrate (3), wherein the second substrate is connected to the optically transparent substrate (3) by an anodic bond at an area of the surface (7) covered with the coating (9) so that the coating (9) is arranged between the optically transparent substrate (3) and the second substrate (11) and is in direct contact with both the optically transparent substrate (3) and the second substrate (11).
- 5
- 10 15. The component according to the preceding claim, characterized in that the second substrate (11) comprises a silicon part, particularly a silicon oxide covered silicon part or a metal part that is bonded to the optical element.
- 15 16. The component (2) according to any one of the two preceding claims, characterised in that the component (2) is a MEMS-device, in particular a MOEMS device.
17. The component (2) according to one of the two preceding claims, characterised in that the glass (5) of the substrate (3) has an alkali depletion zone (6) at the interface to the coating (9).
- 20 18. The component according to any one of the four preceding claims, wherein the optical element (1) is a window with a substrate (3) having two opposite plane parallel faces.
19. The component according to any one of the preceding claims, characterised in that the bond strength of the anodic bond (4) between the coating (9) and the second substrate (11) exceeds 7 MPa, preferably having a value of at least 10 MPa.
- 25 20. The component according to any one of the preceding claims, with the coating (9) having at least one of the following features:
- 30 -the material of the coating is not capable of being anodically bonded,  
- the coating itself does not contain alkali ions in sufficient amount to establish a charge depletion zone at the interface of the anodic bond

- the alkali content in mol% is less than 1/10th of the alkali content of the alkali containing glass..

21. A wafer package (31) which includes an optically transparent wafer (30) and a second  
5 wafer (32) with a multitude of optoelectronic or optomechanical elements, wherein the  
side of the optically transparent wafer (30) facing the second wafer is covered with a  
coating (9), and wherein the optically transparent wafer (30) and the second wafer (32)  
are bonded together at bonding areas (35) with anodic bonding (4), wherein the coating  
10 (9) extends across the bonding areas (35) so that the coating (9) contacts the second  
wafer (32) and the anodic bonds (4) are formed between the coating (9) and the second  
wafer (32).

22. A method for fabricating a component (2) with an optical element (1), the method  
comprising the steps of  
15 - providing an optically transparent substrate (3) of an alkali containing glass (5),  
- depositing a coating (9) on a surface of the substrate (3), the coating (9) enabling  
anodic bonding of the alkali containing glass (5) on the area of the surface that is  
covered with the coating (9),  
- bringing a second substrate (11) into contact with the coating (9) on the optically  
20 transparent substrate (3),  
- heating the optically transparent substrate (3) up to a temperature that enables  
diffusion of alkali ions in the glass (5), and  
- applying a voltage across the stack of the optically transparent substrate (3) and the  
second substrate (11) so that alkali ions migrate within the bulk of the glass creating an  
25 alkali depletion zone (6) and the optically transparent substrate (3) with coating (9)  
under the influence of the electrostatic field generated by said applied voltage and ion  
depletion zone at the interface and the second substrate (11) are bonded together.

23. The method according to claim 22, wherein  
30 - the stack of substrate (3) and coated glass (5) is heated to a temperature above  
250 °C but below the glass transition temperature (T<sub>g</sub>) of the glass (5), and  
- the voltage applied to generate the electric field is above 250V, but preferably less

than 1500 V, and

- a bond strength is achieved surpassing the fracture strength of the glass (5) of the transparent substrate (3).

**Abstract:**

Optical element (1) comprising an optically transparent substrate (3) of alkali containing glass (5) and a coating (9) on a surface (7), the coating (9) enabling anodic bonding of the alkali containing glass (5) within the area of the surface (7) that is covered with the coating (9) and with the anodic bond forming at the outer surface (91) of the coating.

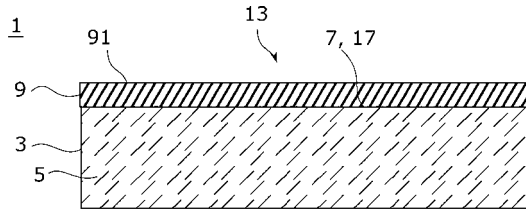


Fig. 1

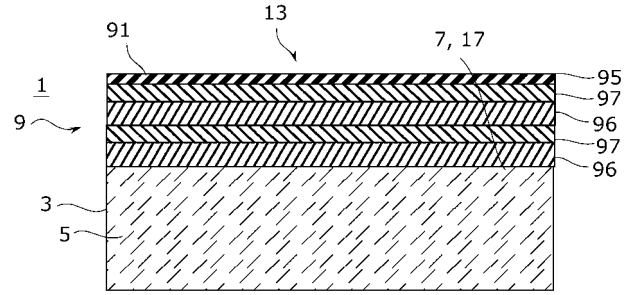


Fig. 4

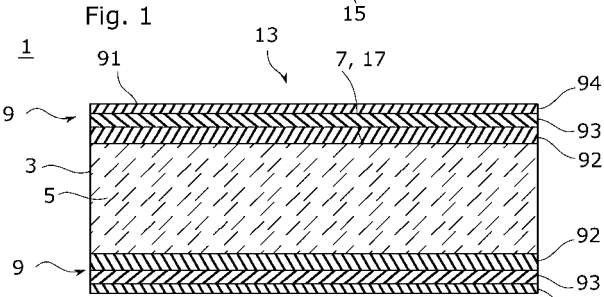


Fig. 2

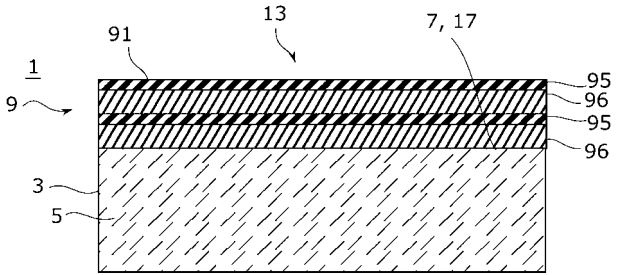


Fig. 5

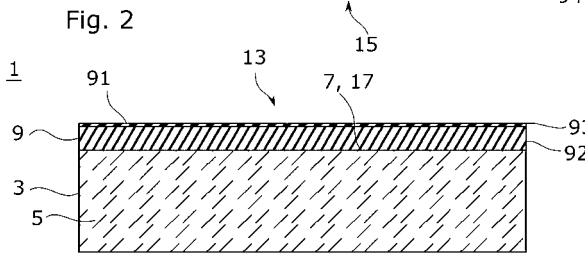


Fig. 3

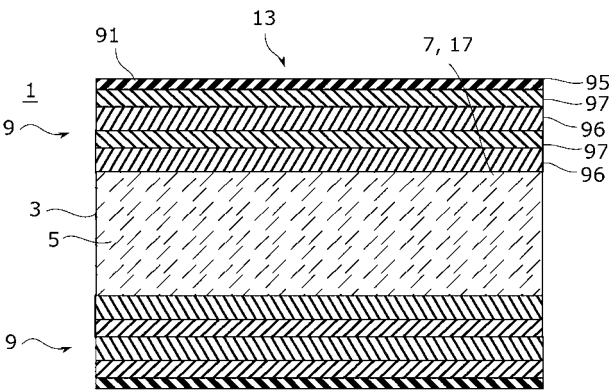


Fig. 6

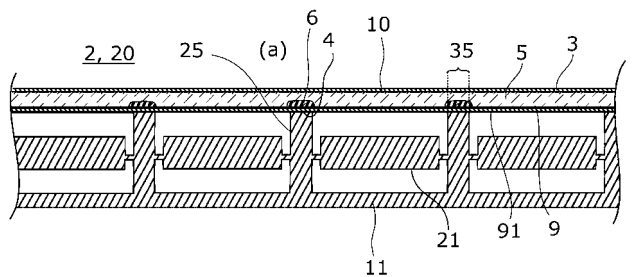


Fig. 8

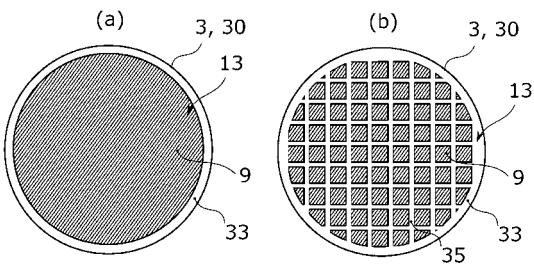
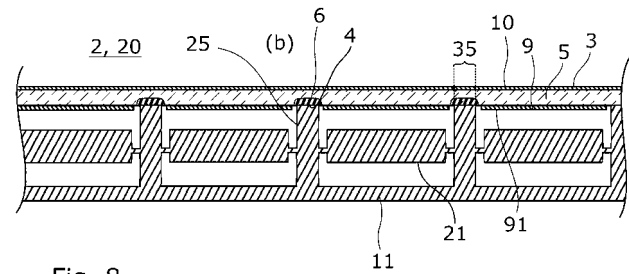


Fig. 7

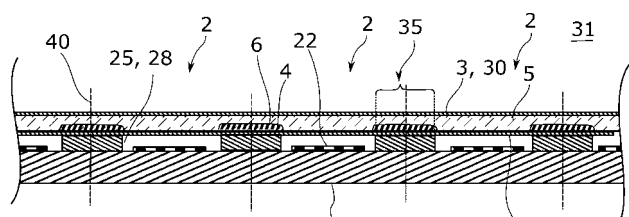


Fig. 9