



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107615448 B

(45) 授权公告日 2021.07.20

(21) 申请号 201680032041.6

(22) 申请日 2016.06.01

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107615448 A

(43) 申请公布日 2018.01.19

(30) 优先权数据
2015-112333 2015.06.02 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2017.12.01

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2016/066283 2016.06.01

(87) PCT国际申请的公布数据
W02016/194977 JA 2016.12.08

(73) 专利权人 信越化学工业株式会社

地址 日本东京千代田区大手町二丁目6番1号(邮递区号:100-0004)

(72) 发明人 秋山昌次 川合信

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司 11205

代理人 马爽 臧建明

(51) Int.Cl.

H01L 21/02 (2006.01)

H01L 21/265 (2006.01)

H01L 21/425 (2006.01)

H01L 27/12 (2006.01)

H01L 41/187 (2006.01)

H01L 41/312 (2006.01)

审查员 马伟彬

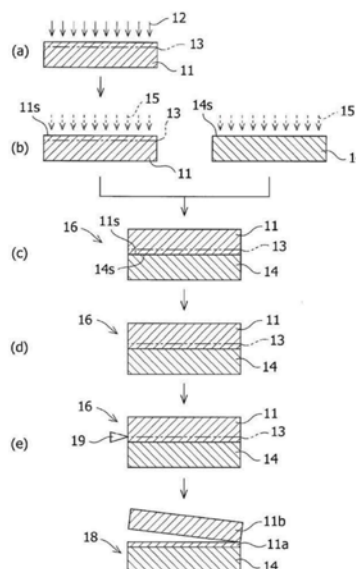
权利要求书1页 说明书13页 附图2页

(54) 发明名称

具备氧化物单晶薄膜的复合晶片的制造方法

(57) 摘要

本发明提供一种复合晶片及其制造方法,复合晶片在支持晶片和氧化物单晶薄膜的贴合界面不易产生破裂或剥落,且在支持晶片上的整个面转印有作为钽酸锂或铌酸锂的氧化物单晶的薄膜。所述方法包括:从表面注入氢原子离子或氢分子离子,从而在氧化物单晶晶片的内部形成离子注入层的工序;对氧化物单晶晶片的经离子注入的表面和支持晶片的表面中的至少一者实施表面活化处理的工序;将氧化物单晶晶片的经离子注入的表面和支持晶片的表面贴合而获得接合体的工序;在90℃以上且不会产生破裂的温度下对接合体进行热处理的工序;以及对经热处理的接合体赋予超声波振动,沿着离子注入层剥离而获得被转印于支持晶片上的氧化物单晶薄膜的工序。



1. 一种复合晶片的制造方法,其为在支持晶片上具备氧化物单晶薄膜的复合晶片的制造方法,所述复合晶片的制造方法至少包括:

从作为钽酸锂晶片或铌酸锂晶片的氧化物单晶晶片的表面注入氢原子离子或氢分子离子,从而在所述氧化物单晶晶片的内部形成离子注入层的工序;

对所述氧化物单晶晶片的经离子注入的表面和要与所述氧化物单晶晶片贴合的支持晶片的表面中的至少一者实施表面活化处理的工序;

实施所述表面活化处理之后,将所述氧化物单晶晶片的经离子注入的表面和所述支持晶片的表面贴合而获得接合体的工序;

在90℃以上且不会产生破裂的温度下对所述接合体进行热处理的工序;

对经热处理的所述接合体赋予超声波振动的工序;以及

沿着所述离子注入层剥离而获得被转印于所述支持晶片上的氧化物单晶薄膜的工序,且

所述氢原子离子的注入量为 $5.0 \times 10^{16} \text{atom/cm}^2 \sim 2.75 \times 10^{17} \text{atom/cm}^2$,所述氢分子离子的注入量为 $2.5 \times 10^{16} \text{atoms/cm}^2 \sim 1.37 \times 10^{17} \text{atoms/cm}^2$;

其中,用以获得所述接合体的所述贴合时的温度和赋予所述超声波振动时的所述接合体的温度之差是0℃~40℃以内。

2. 根据权利要求1所述的复合晶片的制造方法,其中,所述支持晶片是选自由蓝宝石、硅、带氧化膜的硅以及玻璃所组成的群组中的晶片,

关于所述热处理的工序中的所述温度,当所述支持晶片为蓝宝石晶片时是90℃~225℃,当所述支持晶片为硅晶片或带氧化膜的硅晶片时是90℃~200℃,当所述支持晶片为玻璃晶片时是90℃~110℃。

3. 根据权利要求1或2所述的复合晶片的制造方法,其中,用以获得所述接合体的所述贴合时的温度是10℃~50℃。

4. 根据权利要求1或2所述的复合晶片的制造方法,其中,所述表面活化处理选自臭氧水处理、紫外线臭氧处理、离子束处理及等离子体处理。

5. 根据权利要求1或2所述的复合晶片的制造方法,其中,赋予所述超声波振动的工序包括:使振子接触所述接合体的侧面。

6. 根据权利要求1或2所述的复合晶片的制造方法,其中,赋予所述超声波振动的工序包括:经由液体对所述接合体赋予所述超声波振动。

具备氧化物单晶薄膜的复合晶片的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种复合晶片的制造。更详细来说,涉及一种在支持晶片上具备氧化物单晶薄膜的复合晶片及其制造方法。

背景技术

[0002] 近年来,在以智能手机为代表的小型通信设备的领域,通信量的急剧增大或多功能化正在进行。正对应通信量的增大来增加频带数,另一方面,要求小型通信设备不使其形状按比例扩大即实现多功能化。因此,小型通信设备中使用的各种零件必须进一步小型化、高性能化。

[0003] 钽酸锂(Lithium Tantalate:LT)或铌酸锂(Lithium Niobate:LN)等氧化物单晶是一般的压电材料,被广泛用作表面声波(surface acoustic wave:SAW)元件的材料。在将氧化物单晶用于压电材料的情况下,由于表示电磁能转换为机械能的效率的机电耦合系数的值大,因此可实现宽频带化,但温度稳定性低,由于温度变化而导致可应对的频率发生偏移。对于温度的低稳定性是由氧化物单晶的热膨胀系数所引起。

[0004] 作为提升将氧化物单晶用于压电材料的情况下的温度稳定性的方法,例如提出有:将具有比氧化物单晶小的热膨胀系数的材料、具体为蓝宝石晶片贴合于氧化物单晶晶片,并通过磨削等使氧化物单晶晶片侧薄化至数 μm ~数十 μm ,由此抑制氧化物单晶的热膨胀的影响(非专利文献1)。但是,此方法由于在贴合后对氧化物单晶晶片进行切削,因此导致将氧化物单晶晶片的大部分舍弃,材料的使用效率差。另外,由于用作氧化物单晶的钽酸锂或铌酸锂是昂贵的材料,因此也为了抑制生产成本,而期望在制品中的利用效率高且废弃的量少的方法。

[0005] 绝缘体上硅(silicon on insulator,SOI)晶片的制造方法、例如智能剥离(Smart-Cut)法简单来说如下方法:将支持晶片贴合于形成有氢离子层的硅晶片后,施加 500°C 左右的热处理,由此使离子注入层热剥离(专利文献1)。为了提高氧化物单晶晶片在制品中的利用效率,正尝试应用氧化物单晶晶片代替智能剥离法的硅晶片,在支持晶片上形成氧化物单晶的薄膜(非专利文献2、非专利文献3)。

[0006] 非专利文献2报告有:在形成有离子注入层的钽酸锂晶片的表面形成厚度 121nm 的Cr的金属层,隔着金属层而与厚度数百 nm 的 SiO_2 基板贴合,在 200°C ~ 500°C 下进行热处理并在离子注入层使所述钽酸锂晶片剥离,隔着金属层将钽酸锂薄膜转印于 SiO_2 基板上之后,将钽酸锂晶片贴合于 SiO_2 基板的转印有钽酸锂薄膜的一面的相反侧,从而制作绝缘体上钽酸锂-金属(lithium-tantalate-metal-on-insulator,LTMOI)结构。另外,非专利文献3报告有:将硅晶片贴合于形成有离子注入层的钽酸锂晶片,在 200°C 下进行热处理并在离子注入层使所述钽酸锂晶片剥离,从而将钽酸锂薄膜热转印于硅晶片上。

[0007] [现有技术文献]

[0008] [专利文献]

[0009] 专利文献1:日本专利第3048201号公报

[0010] [非专利文献]

[0011] 非专利文献1:太阳诱电(TAIYO YUDEN)股份有限公司,“智能手机的射频(radio frequency, RF)前端所使用的表面声波双工器(SAW-Duplexer)的温度补偿技术”,[在线(online)],2012年11月8日,电波新闻高科技(Dempa Shimbun High-technology),[2015年3月20日搜索],互联网(统一资源定位器(Uniform Resource Locator,URL):<http://www.yuden.co.jp/jp/product/tech/column/20121108.html>)

[0012] 非专利文献2:阿托兹(A Tauzin)等人,“利用智能剥离TM技术的金属电极上的3英寸单晶LiTaO₃膜(3-inch single-crystal LiTaO₃ films onto metallic electrode using Smart CutTM technology)”,电子快报(Electronics Letters),2008年6月19日,第44卷,第13期,第822页

[0013] 非专利文献3:刘威尔(Weill Liu)等人,“利用薄膜转移技术在硅基板上制作单晶LiTaO₃膜(Fabrication of single-crystalline LiTaO₃ film on silicon substrate using thin film transfer technology)”,真空科学与技术杂志(J.Vac.Sci.Technol.) B26(1),2008年1月/2月,第206页

发明内容

[0014] [发明所要解决的问题]

[0015] 钽酸锂(LT)或铌酸锂(LN)等氧化物单晶硬且非常脆,另外,如图3所示,与硅、玻璃以及蓝宝石相比,热膨胀系数极大。因此,氧化物单晶存在如下问题:若与硅、玻璃以及蓝宝石等不同种类的晶片贴合之后在高温下进行热处理,则由于两晶片的热膨胀系数之差而在所贴合的晶片之间发生剥落或破裂。例如,钽酸锂和一般被用作支持晶片的尤其是热膨胀系数大的蓝宝石之差如根据图6可确认那样,有 $7 \times 10^{-6}/K (=7\text{ppm}/K)$ 以上。

[0016] 非专利文献2为如下报告:通过设为在钽酸锂的晶片和薄膜之间夹着金属层和SiO₂基板的结构,可抑制在热处理时由热膨胀之差引起的晶片的剥落或破裂,从而实现钽酸锂薄膜的转印。但是,此方法中,由于将基底的基板设为与薄膜相同的钽酸锂,因此无法解决所述作为压电材料的课题即温度稳定性。另外,若不将热处理设为200℃以上,则无法转印薄膜。进而,由于是夹入金属层的结构,因此可应用的用途受到限制。另外,为了抑制晶片的破裂而必须超出需要地使用昂贵的钽酸锂,从而制造成本变高。

[0017] 非专利文献3记载了在200℃~800℃下尝试热处理,但具体来说,作为使用智能剥离法将钽酸锂薄膜转印于硅晶片上的例子,仅为200℃,另外,所述例子中并未记载是否将钽酸锂薄膜转印到了硅晶片的整个面。本发明人等人使用与非专利文献3同样的方法,针对利用200℃下的热处理来剥离进行验证实验,结果,钽酸锂薄膜未被转印于硅晶片的整个面,而仅在极小的一部分确认到转印。尤其在硅晶片的外周部分,钽酸锂薄膜完全未被转印。关于所述情况,认为:在热处理过程中由于两晶片的热膨胀之差而产生贴合晶片的翘曲,在硅晶片的外周部分从与钽酸锂晶片的贴合界面剥落。另外,关于将热处理温度设为200℃以上的情况,如上所述,也推测为:无法抑制由两晶片的热膨胀之差引起的贴合晶片的翘曲,从而无法将钽酸锂薄膜稳定地转印于硅晶片的整个面。

[0018] [解决问题的技术手段]

[0019] 本发明人等人进行了努力研究,结果,与预想相反,不同于将热膨胀系数接近的材

料组合来抑制应力产生的现有的方法 (approach), 反而通过选择热膨胀系数与氧化物单晶大不相同的 (具体来说, 热膨胀系数比氧化物单晶小7ppm/K以上的) 材料作为支持晶片, 而发现了低成本且在贴合界面不易产生剥落或破裂的、在支持晶片上具备氧化物单晶薄膜的复合晶片的制造方法。具体来说, 发现: 将使用规定的氢离子注入量而形成有离子注入层的氧化物单晶晶片、和热膨胀系数比氧化物单晶小的支持晶片在通过表面活化处理等对晶片之间赋予了键合力的状态下贴合, 并在不会产生热剥离的程度的低温下施加热处理之后, 对接合体的离子注入层赋予超声波振动, 由此可维持着贴合界面的接合而迅速推进离子注入层的脆化并将所述氧化物单晶晶片剥离。

[0020] 即, 本发明根据一实施方式, 可提供一种复合晶片的制造方法, 其为在支持晶片上具备氧化物单晶薄膜的复合晶片的制造方法, 所述复合晶片的制造方法至少包括:

[0021] 从作为钽酸锂晶片或铌酸锂晶片的氧化物单晶晶片的表面注入氢原子离子或氢分子离子, 从而在所述氧化物单晶晶片的内部形成离子注入层的工序;

[0022] 对所述氧化物单晶晶片的经离子注入的表面和要与所述氧化物单晶晶片贴合的支持晶片的表面中的至少一者实施表面活化处理的工序;

[0023] 实施所述表面活化处理之后, 将所述氧化物单晶晶片的经离子注入的表面和所述支持晶片的表面贴合而获得接合体的工序;

[0024] 在90°C以上且不会产生破裂的温度下对所述接合体进行热处理的工序; 以及

[0025] 对所述经热处理的接合体赋予超声波振动的工序, 且沿着所述离子注入层剥离而获得被转印于所述支持晶片上的氧化物单晶薄膜的工序, 且

[0026] 所述氢原子离子的注入量为 $5.0 \times 10^{16} \text{atom/cm}^2 \sim 2.75 \times 10^{17} \text{atom/cm}^2$, 所述氢分子离子的注入量为 $2.5 \times 10^{16} \text{atoms/cm}^2 \sim 1.37 \times 10^{17} \text{atoms/cm}^2$ 。

[0027] [发明的效果]

[0028] 根据本发明的制造方法, 可获得一种如下复合晶片: 在支持晶片和氧化物单晶薄膜的贴合界面处的密接性高, 且不易产生剥落或破裂, 在支持晶片上的整个面转印有厚度均匀的氧化物单晶薄膜。另外, 可在复合晶片的制造中再次使用将氧化物单晶薄膜转印于支持晶片上而分离后的氧化物单晶晶片, 从而能够实现低成本化。

附图说明

[0029] 图1中的(a)至(e)是本发明的一实施方式的复合晶片的制造方法的示意图。

[0030] 图2是对接合体赋予超声波振动的工序的另一实施方式的概念图。

[0031] 图3是对各种材料的热膨胀系数进行比较的图。

[0032] [符号的说明]

[0033] 11: 氧化物单晶晶片

[0034] 11s: 氧化物单晶晶片的经离子注入的表面

[0035] 11a: 氧化物单晶薄膜

[0036] 11b: 氧化物单晶晶片的一部分

[0037] 12: 氢离子

[0038] 13: 离子注入层

[0039] 14: 支持晶片

- [0040] 14s:支持晶片的表面
- [0041] 15:离子束
- [0042] 16:接合体
- [0043] 18:复合晶片
- [0044] 19:超声波切割机的楔状的刀
- [0045] 31:水槽
- [0046] 32:液体
- [0047] 33:振子

具体实施方式

[0048] 以下,详细地说明用以实施本发明的实施方式,但本发明的范围并不限定于所述实施方式。

[0049] 本发明根据一实施方式,涉及一种在支持晶片上具备氧化物单晶薄膜的复合晶片的制造方法。

[0050] 支持晶片例如也可为包含比所贴合的氧化物单晶晶片的热膨胀系数小7ppm/K以上的材料的晶片。支持晶片可列举:蓝宝石晶片、硅晶片、带氧化膜的硅晶片以及玻璃晶片等。支持晶片的大小并无特别限定,例如也可为直径75mm~150mm、厚度0.2mm~0.8mm的晶片。支持晶片也可以使用市售的晶片,但并无特别限定。例如,带氧化膜的硅晶片是至少在贴合的表面具有氧化膜的硅晶片,也可以在大气环境下以700℃~1200℃对硅晶片进行热处理,由此在硅晶片的表面上制作氧化膜。带氧化膜的硅晶片的氧化膜的厚度并无特别限定,但优选10nm~500nm。

[0051] 氧化物单晶是包含锂、及钽或铌等金属元素、以及氧的化合物,例如可列举钽酸锂(LiTaO₃)或铌酸锂(LiNbO₃)。氧化物单晶尤其在激光器件或压电器件、表面声波器件等用途中优选钽酸锂单晶或铌酸锂单晶。氧化物单晶通常以晶片的形状来使用。氧化物单晶晶片的大小并无特别限定,例如也可为直径75mm~150mm、厚度0.2mm~0.8mm的晶片。氧化物单晶晶片可以使用市售的晶片,但也可以直接使用利用直拉(Czochralski)法等的已经报导的制造方法(例如日本专利特开2003-165795号、日本专利再公表2004-079061号)或者将这些专利中记载的工序加以组合来制作。

[0052] 支持晶片及氧化物单晶晶片在所贴合的表面,表面粗糙度均方根(Root Mean Square,RMS)优选为1.0nm以下。若表面粗糙度RMS大于1.0nm,则存在如下情况:在贴合界面产生空隙,而成为剥落的原因。因此,在表面粗糙度RMS大于1.0nm的情况下,也可以通过化学机械研磨(Chemical Mechanical Polishing: CMP)而成为所需的表面粗糙度。再者,表面粗糙度RMS例如可利用原子力显微镜(Atomic Force Microscope:AFM)来评价。

[0053] 氧化物单晶晶片从其表面注入氢离子,从而在氧化物单晶晶片的内部形成离子注入层。离子注入层通过以从氧化物单晶晶片的表面起在所需的深度可形成离子注入层那样的注入能量注入规定剂量的氢原子离子(H⁺)或氢分子离子(H₂⁺)而形成。作为此时的条件,例如可将注入能量设为50KeV~200KeV。在氢原子离子(H⁺)的情况下,注入量为5.0×10¹⁶atom/cm²~2.75×10¹⁷atom/cm²。若不足5.0×10¹⁶atom/cm²,则在之后的工序中不会发生离子注入层的脆化。若超过2.75×10¹⁷atom/cm²,则当离子注入时在经离子注入的一面产

生微腔,在晶片表面形成凹凸而无法获得所需的表面粗糙度。另外,在氢分子离子(H_2^+)的情况下,注入量为 $2.5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^2 \sim 1.37 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$ 。若不足 $2.5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^2$,则在之后的工序中不会发生离子注入层的脆化。若超过 $1.37 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^2$,则当离子注入时在经离子注入的一面产生微腔,在晶片表面形成凹凸而无法获得所需的表面粗糙度。氢原子离子的注入量也可为氢分子离子的注入量的两倍。

[0054] 其次,对氧化物单晶晶片的经离子注入的表面和要与氧化物单晶晶片贴合的支持晶片的表面中的至少一者实施表面活化处理。实施表面活化处理的表面可以是氧化物单晶晶片的经离子注入的表面和要与氧化物单晶晶片贴合的支持晶片的表面两者,至少为一者。通过实施表面活化处理,在贴合之后可以不使用用以提高接合强度的高温下的热处理,即使在比较低的温度下也能获得所需的接合强度。特别是在使用钽酸锂或铌酸锂等硬且脆的氧化物单晶晶片、和与氧化物单晶晶片相比热膨胀系数非常小的支持晶片,如上所述实施表面活化处理并贴合的情况下,通过之后的比较低的温度下的热处理,由于氧化物单晶晶片和支持晶片的热膨胀系数之差而在与贴合界面并行的方向上产生的大的剪切应力不能在通过表面活化处理赋予了可足以对抗剪切应力的接合强度的贴合界面,而在离子注入层以不剥离的程度促进破坏。

[0055] 作为表面活化处理的方法,可列举:臭氧水处理、紫外线(ultraviolet,UV)臭氧处理、离子束处理及等离子体处理等。在利用臭氧进行处理的情况下,例如在纯水中导入臭氧气体而制成臭氧水,使晶片浸渍于臭氧水中,由此可利用活性的臭氧使表面活化。另外,在进行UV臭氧处理的情况下,例如将晶片保持于对大气或氧气照射短波长的UV光(例如波长195nm左右)而产生了活性的臭氧的环境中,由此可使表面活化。在进行离子束处理的情况下,例如可通过在高真空中(例如不足 $1 \times 10^{-5} \text{ Pa}$)将Ar等离子束照射于晶片表面,且使活性度高的悬挂键(dangling bond)露出来进行。在利用等离子体进行处理的情况下,例如将晶片载置于真空腔室中,在减压(例如0.2毫托(mTorr)~1.0mTorr)下使等离子体用气体暴露5秒~60秒左右,从而对表面进行等离子体处理。作为等离子体用气体,在使表面氧化的情况下可使用氧气,在不使表面氧化的情况下可使用氢气、氮气、氩气或者它们的混合气体。通过利用等离子体进行处理,晶片表面的有机物发生氧化而被去除,进而表面的OH基增加并活化。

[0056] 其次,实施表面活化处理之后,将氧化物单晶晶片的经离子注入的表面和支持晶片的表面贴合而获得接合体。优选为在将氧化物单晶晶片和支持晶片贴合时的温度为室温附近(包括室温)的温度、例如 $10^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ 下进行。理想为作为最终制品的复合晶片大多在室温左右使用,且在贴合时也依据这一温度范围。再者,贴合时的温度也可为进行贴合的场所的温度,即周围或装置内的环境温度。贴合时的温度例如可通过对贴合装置内的环境温度进行设定来控制。再者,室温是不对对象物进行加热和冷却的周围温度,虽无特别限定,但例如为 $10^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$,优选 25°C 左右。

[0057] 其次,在 90°C 以上且例如不会在贴合界面产生破裂的温度下对接合体进行热处理。若不足 90°C ,则存在如下情况:在氧化物单晶晶片和支持晶片的贴合界面处的接合强度不充分,从而在贴合界面产生剥落。热处理的温度可配合所使用的支持晶片而变化。关于热处理的工序中的温度,例如在支持晶片为蓝宝石晶片的情况下,优选 $90^\circ\text{C} \sim 225^\circ\text{C}$,更优选 $90^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ 。在支持晶片为硅晶片或带氧化膜的硅晶片的情况下,优选 $90^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$,更优

选90℃~175℃。另外,在支持晶片为玻璃晶片的情况下,优选90℃~110℃,更优选90℃~100℃。通过在90℃以上且不会产生破裂的温度下对接合体进行热处理,不仅能够提升在支持晶片和氧化物单晶晶片的贴合界面处的接合力,还能在之后的工序中使离子注入层容易脆化。作为热处理单元,例如可列举热处理炉或烘箱等,但并无特别限定。再者,接合体的温度例如也可为使用热处理装置内附带的热电偶等对炉子或烘箱内的环境温度测定所得的温度。关于所述温度下的热处理的时间,只要不产生破裂或剥离,则无特别限定,可设为10分钟到数十小时,例如100小时。例如,在热处理温度为90℃以上且不足110℃的情况下优选设为10分钟~100小时,在热处理温度为110℃以上且不足175℃的情况下优选设为10分钟~60小时,在热处理温度为175℃以上且不足200℃的情况下优选设为10分钟~24小时,在热处理温度为200℃以上且不足225℃的情况下优选设为10分钟~12小时。根据本发明,无需使接合体具备保护晶片即可进行热处理,因此能够使工序更加简化。

[0058] 经热处理的接合体优选放置到成为室温附近(包括室温)的温度,例如10℃~50℃,或者使用鼓风机等冷却机进行冷却、调节。例如也可以使经热处理的接合体静置于已调节成25℃的房间而成为所需的温度。通过使接合体成为与贴合时同样的室温附近的温度,可减少接合体的应力,且在之后的赋予超声波振动的工序中,能够使接合体不易产生破裂或缺陷。

[0059] 其次,对经热处理的接合体赋予超声波振动并沿着离子注入层剥离,从而获得被转印于支持晶片上的氧化物单晶薄膜。超声波是具有高振动数的弹性振动波(声波)。作为对接合体赋予超声波振动的方法,并无特别限定,可通过使振子、例如超声波切割机之类的施加有超声波的楔形状的刀接触接合体的侧面、例如离子注入层的端部来赋予。作为超声波的频率,只要可使离子注入层脆化而不对贴合界面造成影响,则无特别限定,但优选20kHz~40kHz。作为对接合体赋予超声波振动的另一方法,例如也可以使用具备超声波清洗机之类的振子的水槽,使接合体浸渍于施加有超声波的水槽中并经由液体来赋予。在经由液体对接合体赋予超声波振动的情况下,能够通过使接合体浸渍于施加有超声波振动的水槽中1分钟~60分钟而更切实地使离子注入层剥离。作为所述情况下的频率,优选26kHz~1.6MHz。还能够将所述两种方法并用来进行。

[0060] 在赋予超声波振动时,视情况,优选将真空吸盘或静电吸盘等增强材固定于接合体的单侧或两侧的表面。例如,可以将增强材安装于接合体的支持晶片侧的表面、或接合体的氧化物单晶晶片侧的表面、或者接合体的支持晶片侧和氧化物单晶晶片侧这两个侧面的表面。真空吸盘并无特别限定,可列举多孔聚乙烯、氧化铝等的真空吸盘。静电吸盘并无特别限定,可列举碳化硅或氮化铝等陶瓷制的静电吸盘。真空吸盘及静电吸盘的形状并无特别限定,但优选大于接合体的直径。通过使用增强材,在对接合体赋予超声波振动时可进一步防止在离子注入层以外的剥离或接合体的破裂,从而可切实地进行剥离。

[0061] 赋予超声波振动时的接合体的温度优选不进行加热或冷却、或者进行加热或冷却而设为室温附近(包括室温)的温度,例如10℃~50℃,更优选设为25℃~30℃。赋予超声波振动时的接合体的温度可为周围的环境温度,例如为使用热处理装置内附带的热电偶等对炉子或烘箱内的环境温度测定所得的温度,也可为车间的室内温度,或者也可为水槽内的水的温度。赋予超声波振动时的接合体的温度在与所述获得接合体的工序中的贴合时的温度之间具有规定的优选温度范围。例如用以获得接合体的贴合时的温度和赋予超声波振动

时的接合体的温度之差优选 $0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 以内,差越接近 0°C 则越理想。若超过规定的优选温度范围,则存在在接合体的贴合界面产生剥落或破裂的情况。通过将贴合时和赋予超声波振动时的接合体的温度之差设为规定的范围,可将由热膨胀引起的翘曲的应力设为最低限度,且可极力抑制缺陷等的产生。再者,获得接合体的工序一般是在洁净室(clean room)等环境下($25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$)进行,这种情况下,对于赋予超声波振动的工序,也理想为在同样的环境温度、即 $25^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 左右进行。

[0062] 通过使用以上方法,可获得具备支持晶片、以及支持晶片上的钽酸锂薄膜或铌酸锂薄膜即氧化物单晶薄膜的复合晶片。所获得的复合晶片的氧化物单晶薄膜的厚度对应于氢离子注入时的氢离子的注入深度,优选 $100\text{nm}\sim 1000\text{nm}$,视需要也可以对所述复合晶片的表面进行研磨。

[0063] 本发明的复合晶片的制造工序并无特别限定,将其一实施方式示于图1中的(a)至(e)。从氧化物单晶晶片11的表面注入氢离子12,从而在氧化物单晶晶片11的内部形成离子注入层13(工序a)。对氧化物单晶晶片11的经离子注入的表面11s和与氧化物单晶晶片贴合的支持晶片14的表面14s两者照射离子束15来实施表面活化处理(工序b)。实施表面活化处理之后,将氧化物单晶晶片的经离子注入的表面11s和与氧化物单晶晶片贴合的支持晶片的表面14s贴合而获得接合体16(工序c)。以 90°C 以上的温度对所获得的接合体16进行热处理(工序d)。使超声波切割机的楔状的刀19接触经热处理的接合体16的侧面、即离子注入层13的端部并对接合体16赋予超声波振动,沿着离子注入层13将氧化物单晶晶片的一部分11b剥离,而将氧化物单晶薄膜11a转印于支持晶片14上,由此可获得复合晶片18(工序e)。或者,图2中示出工序e的另一实施方式,也可以在工序e中,使经热处理的接合体16浸渍于具备振子33的水槽31,对水槽31施加超声波,并经由液体32对接合体16赋予超声波振动,沿着离子注入层13将氧化物单晶晶片的一部分11b剥离,而将氧化物单晶薄膜11a转印于支持晶片14上,由此获得复合晶片18。

[0064] [实施例]

[0065] <实验1>

[0066] 使用直径 100mm 、厚度 0.35mm 的蓝宝石晶片作为支持晶片。使用直径 100mm 、厚度 0.35mm 的钽酸锂晶片作为氧化物单晶晶片。利用原子力显微镜对蓝宝石晶片及钽酸锂晶片的用于彼此贴合的一面的表面粗糙度RMS进行评价,结果为 1.0nm 以下。

[0067] 首先,在氮气环境下使用等离子体活化装置对蓝宝石晶片及钽酸锂晶片的用于彼此贴合的一面实施等离子体处理,从而进行表面活化。其次,在室温(25°C)下将经表面活化的蓝宝石晶片及钽酸锂晶片的表面贴合而获得接合体。其次,将接合体分别加热至 70°C 、 80°C 、 90°C 、 100°C 、 110°C 、 125°C 、 150°C 、 175°C 、 200°C 、 225°C 、 250°C 或 275°C ,在各温度下进行24小时加热处理。加热单元使用热处理烘箱,利用热电偶测定烘箱内的环境温度并作为接合体的温度。将所获得的接合体的外观检查的结果示于表1。再者,外观检查以目视进行,将无破裂或缺陷者设为 \bigcirc ,将有微小的裂纹者设为 \triangle ,将晶片破损者设为 \times 。若将支持晶片设为蓝宝石,则对于将热处理温度设为 $70^{\circ}\text{C}\sim 225^{\circ}\text{C}$ 的样品,可确认到未发生破裂或缺陷而接合。

[0068] <实验2>

[0069] 使用直径 100mm 、厚度 0.35mm 的硅晶片作为支持晶片,将接合体分别加热至 70°C 、

80℃、90℃、100℃、110℃、125℃、150℃、175℃、200℃或225℃,在各温度下进行24小时加热处理,除此之外,与实验1同样地进行。再者,硅晶片及钽酸锂晶片的用于彼此贴合的一面的表面粗糙度RMS为1.0nm以下。将所获得的接合体的外观检查的结果示于表1。若将支持晶片设为硅,则对于将热处理温度设为70℃~200℃的样品,可确认到未发生破裂或缺陷而接合。

[0070] <实验3>

[0071] 使用在直径100mm、厚度0.35mm的硅晶片上附有100nm的氧化膜的硅晶片作为支持晶片,将接合体分别加热至70℃、80℃、90℃、100℃、110℃、125℃、150℃、175℃、200℃或225℃,在各温度下进行24小时加热处理,除此之外,与实验1同样地进行。再者,带氧化膜的硅晶片及钽酸锂晶片的用于彼此贴合的一面的表面粗糙度RMS为1.0nm以下。将所获得的接合体的外观检查的结果示于表1。再者,带氧化膜的硅晶片通过预先以1100℃对硅晶片加热一小时左右而制成使100nm的热氧化膜成长于硅晶片上的硅晶片。若将支持晶片设为带氧化膜的硅,则对于将热处理温度设为70℃~200℃的样品,可确认到未发生破裂或缺陷而接合。

[0072] <实验4>

[0073] 使用直径100mm、厚度0.35mm的玻璃晶片作为支持晶片,将接合体分别加热至70℃、80℃、90℃、100℃、110℃或125℃,在各温度下进行24小时加热处理,除此之外,与实验1同样地进行。再者,玻璃晶片及钽酸锂晶片的用于彼此贴合的一面的表面粗糙度RMS为1.0nm以下。将所获得的接合体的外观检查的结果示于表1。若将支持晶片设为玻璃,则对于将热处理温度设为70℃~110℃的样品,可确认到未发生破裂或缺陷而接合。

[0074] [表1]

支持晶片的种类(实验)	进行热处理的工序中的接合体的温度/℃											
	70	80	90	100	110	125	150	175	200	225	250	275
[0075] 蓝宝石(实验1)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	×
硅(实验2)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	-	-
带氧化膜的硅(实验3)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	-	-
玻璃(实验4)	○	○	○	○	○	△	-	-	-	-	-	-

[0076] 实验1~实验4使用了钽酸锂晶片,但即使使用钽酸锂晶片作为氧化物单晶晶片来进行与实验1~实验4同样的实验,也获得了与表1相同的结果。另外,即使在将表面活化处理设为臭氧水处理、UV臭氧处理、真空离子束处理来代替等离子体处理的情况下,也获得了完全相同的结果。从这些结果明确了:所述活化方法中的任一种的情况均有效,且钽酸锂和钽酸锂之间无差异。

[0077] <实施例1>

[0078] 使用直径100mm、厚度0.35mm的蓝宝石晶片作为支持晶片。使用直径100mm、厚度0.35mm的钽酸锂晶片作为氧化物单晶晶片。蓝宝石晶片及钽酸锂晶片的用于彼此贴合的一面的表面粗糙度RMS为1.0nm以下。

[0079] 首先,使用氢原子离子在注入量 7.0×10^{16} atom/cm²、加速电压100KeV的条件下从

钽酸锂晶片的表面进行离子注入,从而在钽酸锂晶片的内部形成离子注入层。其次,在 7×10^{-6} Pa下使用真空离子束装置且以Ar为离子源对经离子注入的钽酸锂晶片的表面和与钽酸锂晶片贴合的蓝宝石晶片的表面实施真空离子束处理,从而进行表面活化。其次,在室温(25℃)下将经表面活化的蓝宝石晶片及钽酸锂晶片的表面贴合而获得接合体。其次,将接合体分别加热至90℃、100℃、110℃、125℃、150℃、175℃、200℃或225℃,在各温度下进行24小时加热处理。再者,使用热处理烘箱作为加热单元,利用热电偶测定烘箱内的环境温度并作为接合体的温度。将经热处理的接合体静置直至下降到室温,之后在室温(25℃)下,使用具备楔状的刀的超声波切割机在使切割机刀接触接合体的离子注入层的端部的状态下施加超声波(30kHz)并沿着离子注入层剥离,从而获得将钽酸锂薄膜转印于蓝宝石晶片上的复合晶片。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表2。再者,外观检查以目视进行,将在晶片整个面上实现了薄膜的转印者设为○,将薄膜的转印为局部不良者设为△,将未实现薄膜的转印者设为×。

[0080] <比较例1>

[0081] 在70℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例1同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表2。

[0082] <比较例2>

[0083] 在80℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例1同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表2。

[0084] <实施例2>

[0085] 使用直径100mm、厚度0.35mm的硅晶片作为支持晶片,将接合体分别加热至90℃、100℃、110℃、125℃、150℃、175℃或200℃,在各温度下进行24小时加热处理,除此之外,与实施例1同样地进行。再者,硅晶片及钽酸锂晶片的用于彼此贴合的一面的表面粗糙度RMS为1.0nm以下。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表2。

[0086] <比较例3>

[0087] 在70℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例2同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表2。

[0088] <比较例4>

[0089] 在80℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例2同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表2。

[0090] <实施例3>

[0091] 使用在直径100mm、厚度0.35mm的硅晶片上附有100nm的氧化膜的硅晶片作为支持晶片,将接合体分别加热至90℃、100℃、110℃、125℃、150℃、175℃或200℃,在各温度下进行24小时加热处理,除此之外,与实施例1同样地进行。再者,带氧化膜的硅晶片及钽酸锂晶片的用于彼此贴合的一面的表面粗糙度RMS为1.0nm以下。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表2。再者,带氧化膜的硅晶片通过预先以1100℃对硅晶片加热一小时左右而制成使100nm的热氧化膜成长于硅晶片上的硅晶片。

[0092] <比较例5>

[0093] 在70℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例3同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表2。

[0094] <比较例6>

[0095] 在80℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例3同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表2。

[0096] <实施例4>

[0097] 使用直径100mm、厚度0.35mm的玻璃晶片作为支持晶片,将接合体分别加热至90℃、100℃或110℃,在各温度下进行24小时加热处理,除此之外,与实施例1同样地进行。再者,玻璃晶片及钽酸锂晶片的用于彼此贴合的一面的表面粗糙度RMS为1.0nm以下。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表2。

[0098] <比较例7>

[0099] 在70℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例4同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表2。

[0100] <比较例8>

[0101] 在80℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例4同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表2。

[0102] [表2]

支持晶片的种类 (实施例、比较例)	进行热处理的工序中的接合体的温度/℃										
	70	80	90	100	110	125	150	175	200	225	250
蓝宝石 (实施例1、比较例1、比较例2)	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	-
硅 (实施例2、比较例3、比较例4)	×	△	○	○	○	○	○	○	○	-	-
带氧化膜的硅 (实施例3、比较例5、比较例6)	×	△	○	○	○	○	○	○	○	-	-
玻璃 (实施例4、比较例7、比较例8)	×	△	○	○	○	-	-	-	-	-	-

[0103] 如表2所示,对于将支持晶片设为蓝宝石且将热处理温度设为90℃~225℃的样品、将支持晶片设为硅且将热处理温度设为90℃~200℃的样品、将支持晶片设为带氧化膜的硅且将热处理温度设为90℃~200℃的样品、以及将支持晶片设为玻璃且将热处理温度设为90℃~110℃的样品,确认到钽酸锂薄膜被转印到了支持晶片上的整个面。

[0104] 在任一支持晶片上,在将热处理温度设为70℃的情况下,均未在离子注入层产生剥离,且均在贴合的两晶片的界面产生了剥落。另外,在将热处理温度设为80℃的情况下,在支持晶片上出现了转印有钽酸锂薄膜的部分和局部未转印的部分。认为在70℃及80℃下,在离子注入界面的脆化不充分,另外,两晶片的贴合的接合力不足,从而未达到整面转印。

[0105] 也使用钽酸锂晶片作为氧化物单晶晶片进行了与实施例1~实施例4同样的实验,但获得了与表2相同的结果。另外,即使在将表面活化处理设为臭氧水处理、UV臭氧处理、等离子体处理来代替真空离子束处理的情况下,结果也完全相同。

[0106] <实施例5>

[0107] 使用氢原子离子,在注入量为 5.0×10^{16} atom/cm²、 7.5×10^{16} atom/cm²、 10×10^{16} atom/cm²、 12.5×10^{16} atom/cm²、 15×10^{16} atom/cm²、 17.5×10^{16} atom/cm²、 20×10^{16} atom/cm²、 22.5×10^{16} atom/cm²、 25×10^{16} atom/cm²或 27.5×10^{16} atom/cm²、加速电压100KeV的条件下从钽酸锂晶片的表面分别进行离子注入,从而在钽酸锂晶片的内部形成离子注入层,且

在90℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,与实施例1同样地实施。

[0109] <比较例9>

[0110] 使用氢原子离子,在注入量为 4.0×10^{16} atom/cm²、加速电压100KeV的条件下从钽酸锂晶片的表面进行离子注入,从而在钽酸锂晶片的内部形成离子注入层,除此之外,与实施例5同样地实施。

[0111] <参考例1>

[0112] 使用直径100mm、厚度0.35mm的钽酸锂晶片作为氧化物单晶晶片。钽酸锂晶片的用于彼此贴合的一面的表面粗糙度RMS为1.0nm以下。使用氢原子离子,在注入量 30×10^{16} atom/cm²、加速电压100KeV的条件下从钽酸锂晶片的表面进行离子注入,从而在钽酸锂晶片的内部形成离子注入层。结果,在贴合前的钽酸锂晶片的表面上观察到凹凸而未成为贴合时所需的表面粗糙度,因此未进行贴合。钽酸锂晶片的表面上的凹凸认为是由于所注入的氢未完全固溶并在内部起泡而产生的。

[0113] <实施例6>

[0114] 使用氢原子离子,在注入量为 5.0×10^{16} atom/cm²、 7.5×10^{16} atom/cm²、 10×10^{16} atom/cm²、 12.5×10^{16} atom/cm²、 15×10^{16} atom/cm²、 17.5×10^{16} atom/cm²、 20×10^{16} atom/cm²、 22.5×10^{16} atom/cm²、 25×10^{16} atom/cm²或 27.5×10^{16} atom/cm²、加速电压100KeV的条件下从钽酸锂晶片的表面分别进行离子注入,从而在钽酸锂晶片的内部形成离子注入层,且在90℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,与实施例2同样地实施。

[0115] <比较例10>

[0116] 使用氢原子离子,在注入量为 4.0×10^{16} atom/cm²、加速电压100KeV的条件下从钽酸锂晶片的表面进行离子注入,从而在钽酸锂晶片的内部形成离子注入层,除此之外,与实施例6同样地实施。

[0117] <实施例7>

[0118] 使用氢原子离子,在注入量为 5.0×10^{16} atom/cm²、 7.5×10^{16} atom/cm²、 10×10^{16} atom/cm²、 12.5×10^{16} atom/cm²、 15×10^{16} atom/cm²、 17.5×10^{16} atom/cm²、 20×10^{16} atom/cm²、 22.5×10^{16} atom/cm²、 25×10^{16} atom/cm²或 27.5×10^{16} atom/cm²、加速电压100KeV的条件下从钽酸锂晶片的表面分别进行离子注入,从而在钽酸锂晶片的内部形成离子注入层,且在90℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,与实施例3同样地实施。

[0119] <比较例11>

[0120] 使用氢原子离子,在注入量为 4.0×10^{16} atom/cm²、加速电压100KeV的条件下从钽酸锂晶片的表面进行离子注入,从而在钽酸锂晶片的内部形成离子注入层,除此之外,与实施例7同样地实施。

[0121] <实施例8>

[0122] 使用氢原子离子,在注入量为 5.0×10^{16} atom/cm²、 7.5×10^{16} atom/cm²、 10×10^{16} atom/cm²、 12.5×10^{16} atom/cm²、 15×10^{16} atom/cm²、 17.5×10^{16} atom/cm²、 20×10^{16} atom/cm²、 22.5×10^{16} atom/cm²、 25×10^{16} atom/cm²或 27.5×10^{16} atom/cm²、加速电压100KeV的条件下从钽酸锂晶片的表面分别进行离子注入,从而在钽酸锂晶片的内部形成离子注入层,且在90℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,与实施例4同样地实施。

[0123] <比较例12>

[0124] 使用氢原子离子,在注入量为 4.0×10^{16} atom/cm²、加速电压100KeV的条件下从钽酸锂晶片的表面进行离子注入,从而在钽酸锂晶片的内部形成离子注入层,除此之外,与实施例8同样地实施。

[0125] 在将氢原子离子注入量设为 5.0×10^{16} atom/cm²~ 27.5×10^{16} atom/cm²的实施例5~实施例8的情况下,即使在使用任一支持晶片的情况下,均确认到钽酸锂薄膜被转印到了支持晶片上的整个面。另一方面,在将氢原子离子注入量设为 4.0×10^{16} atom/cm²的比较例9~比较例12的情况下,即使在使用任一支持晶片的情况下,均未在钽酸锂晶片的离子注入层产生剥离。所述情况认为是由于离子注入量不充分,且在之后的工序中未达到脆化。

[0126] 再者,在实施例5~实施例8中使用了氢原子离子,但即使使用氢分子离子且将其注入量设为氢原子离子的注入量的一半,也获得了同样的结果。另外,即使使用铌酸锂晶片作为氧化物单晶晶片,也获得了与实施例5~实施例8相同的结果。

[0127] <实施例9>

[0128] 将经热处理的接合体静置直至下降到室温,之后使用超声波清洗机,使接合体浸渍于25℃的水槽中,并对水槽施加超声波(26kHz)120秒钟,经由水对接合体赋予超声波振动并沿着离子注入层剥离,而获得将钽酸锂薄膜转印于蓝宝石晶片上的复合晶片,除此之外,以与实施例1同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表3。再者,外观检查以目视进行,将在晶片整个面上实现了薄膜的转印者设为○,将薄膜的转印为局部不良者设为△,将未实现薄膜的转印者设为×。

[0129] <比较例13>

[0130] 在70℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例9同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表3。

[0131] <比较例14>

[0132] 在80℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例9同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表3。

[0133] <实施例10>

[0134] 将经热处理的接合体静置直至下降到室温,之后使用超声波清洗机,使接合体浸渍于25℃的水槽中,并对水槽施加超声波(26kHz)120秒钟,经由水对接合体赋予超声波振动并沿着离子注入层剥离,而获得将钽酸锂薄膜转印于硅晶片上的复合晶片,除此之外,以与实施例2同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表3。

[0135] <比较例15>

[0136] 在70℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例10同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表3。

[0137] <比较例16>

[0138] 在80℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例10同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表3。

[0139] <实施例11>

[0140] 将经热处理的接合体静置直至下降到室温,之后使用超声波清洗机,使接合体浸渍于25℃的水槽中,并对水槽施加超声波(26kHz)120秒钟,经由水对接合体赋予超声波振动并沿着离子注入层剥离,而获得将钽酸锂薄膜转印于带氧化膜的硅晶片上的复合晶片,

除此之外,以与实施例3同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表3。

[0141] <比较例17>

[0142] 在70℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例11同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表3。

[0143] <比较例18>

[0144] 在80℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例11同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表3。

[0145] <实施例12>

[0146] 将经热处理的接合体静置直至下降到室温,之后使用超声波清洗机,使接合体浸渍于25℃的水槽中,并对水槽施加超声波(26kHz) 120秒钟,经由水对接合体赋予超声波振动并沿着离子注入层剥离,而获得将钽酸锂薄膜转印于玻璃晶片上的复合晶片,除此之外,以与实施例4同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表3。

[0147] <比较例19>

[0148] 在70℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例12同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表3。

[0149] <比较20>

[0150] 在80℃下对接合体进行24小时加热处理,除此之外,以与实施例12同样的方式实施。将所获得的复合晶片的外观检查的结果示于表3。

[0151] [表3]

支持晶片的种类 (实施例、比较例)	进行热处理的工序中的接合体的温度/℃										
	70	80	90	100	110	125	150	175	200	225	250
蓝宝石 (实施例 9、比较例 13、比较例 14)	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	-
硅 (实施例 10、比较例 15、比较例 16)	×	△	○	○	○	○	○	○	○	-	-
带氧化膜的硅 (实施例 11、比较例 17、比较例 18)	×	△	○	○	○	○	○	○	○	-	-
玻璃 (实施例 12、比较例 19、比较例 20)	×	△	○	○	○	-	-	-	-	-	-

[0152] 如表3所示,对于将支持晶片设为蓝宝石且将热处理温度设为90℃~225℃的样品、将支持晶片设为硅且将热处理温度设为90℃~200℃的样品、将支持晶片设为带氧化膜的硅且将热处理温度设为90℃~200℃的样品、以及将支持晶片设为玻璃且将热处理温度设为90℃~110℃的样品,确认到钽酸锂薄膜被转印到了支持晶片上的整个面。

[0153] 在任一支持晶片上,在将热处理温度设为70℃的情况下,均未在离子注入层产生剥离,且均在贴合的两晶片的界面产生了剥落。另外,在将热处理温度设为80℃的情况下,在支持晶片上出现了转印有钽酸锂薄膜的部分和局部未转印的部分。认为在70℃及80℃下,在离子注入界面的脆化不充分,另外,两晶片的贴合的接合力不足,从而未达到整面转印。

[0154] 也使用钽酸锂晶片作为氧化物单晶晶片进行了与实施例9~实施例12同样的实验,但获得了与表3相同的结果。另外,即使在将表面活化处理设为臭氧水处理、UV臭氧处理、等离子体处理来代替真空离子束处理的情况下,结果也完全相同。

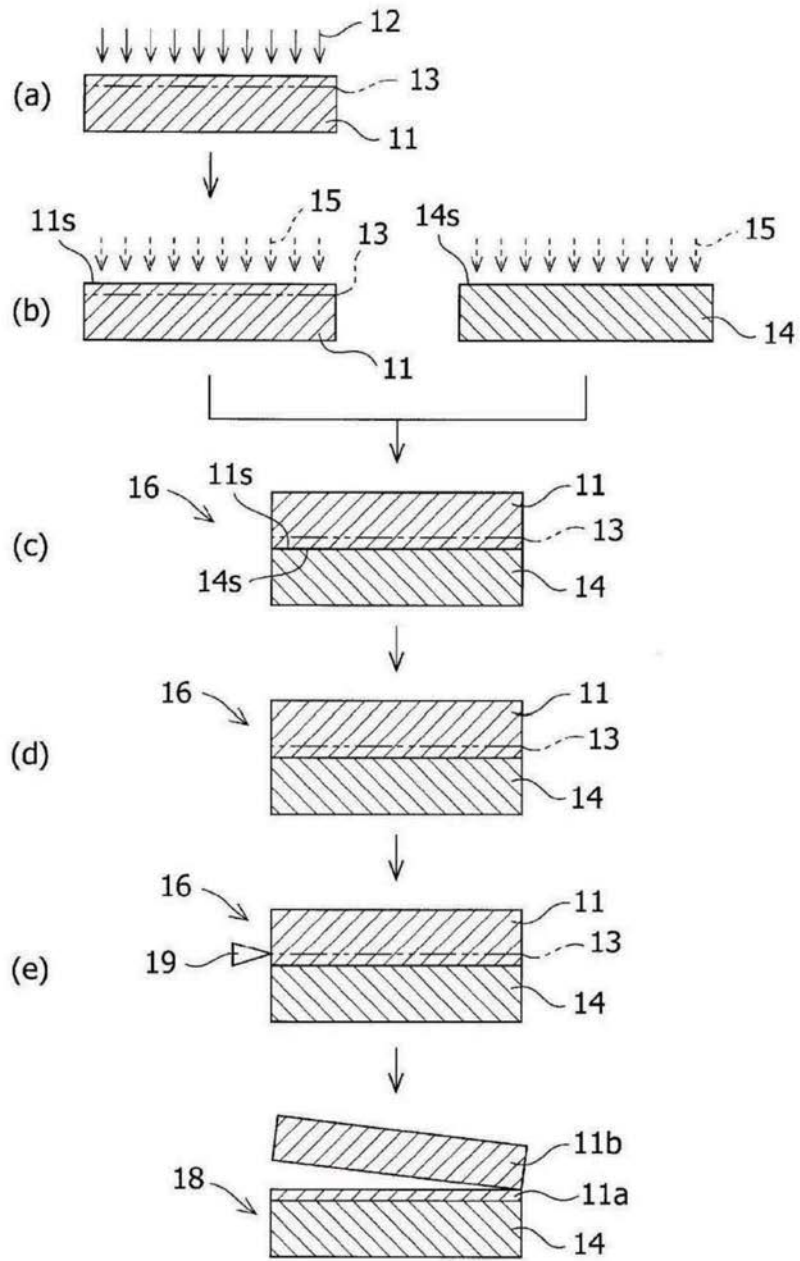


图1

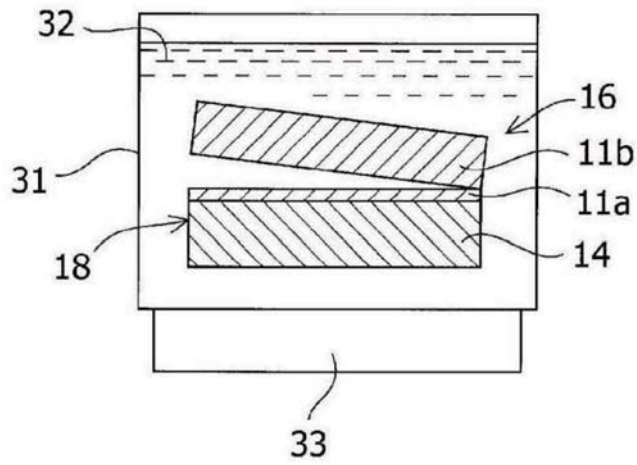


图2

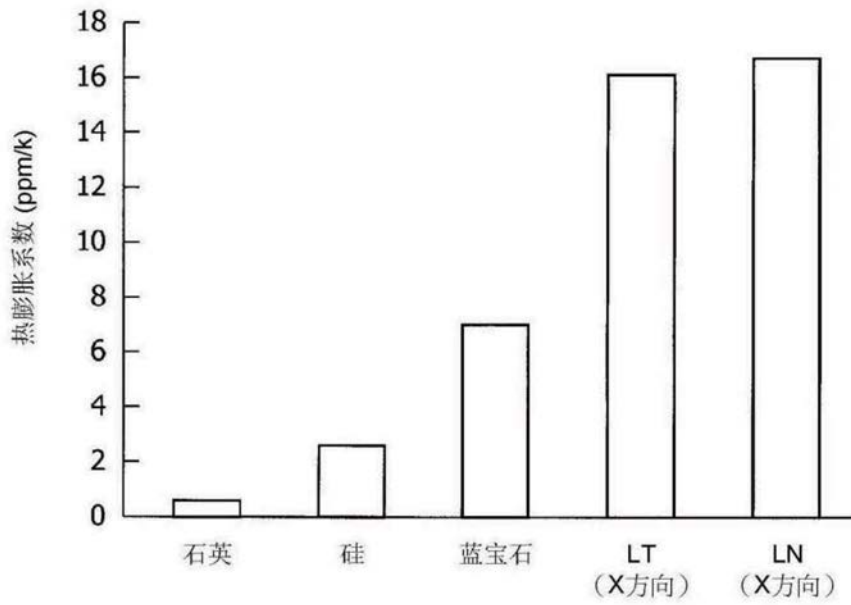


图3