



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108292699 B

(45) 授权公告日 2021.06.29

(21) 申请号 201680067866.1  
 (22) 申请日 2016.10.17  
 (65) 同一申请的已公布的文献号  
 申请公布号 CN 108292699 A  
 (43) 申请公布日 2018.07.17  
 (30) 优先权数据  
 1559993 2015.10.20 FR  
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日  
 2018.05.21  
 (86) PCT国际申请的申请数据  
 PCT/FR2016/052674 2016.10.17  
 (87) PCT国际申请的公布数据  
 W02017/068269 FR 2017.04.27  
 (73) 专利权人 索泰克公司  
 地址 法国伯尔宁

(72) 发明人 迪迪埃·朗德吕  
 (74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127  
 代理人 黄纶伟  
 (51) Int.Cl.  
 H01L 41/313 (2006.01)  
 H03H 9/02 (2006.01)  
 (56) 对比文件  
 JP 2012199762 A, 2012.10.18  
 CN 1505263 A, 2004.06.16  
 WO 2014/129432 A1, 2014.08.28  
 WO 2014/129432 A1, 2014.08.28  
 WO 2015012005 A1, 2015.01.29  
 US 2015/042207 A1, 2015.02.12  
 WO 2014/010696 JA, 2014.01.16  
 审查员 张燕

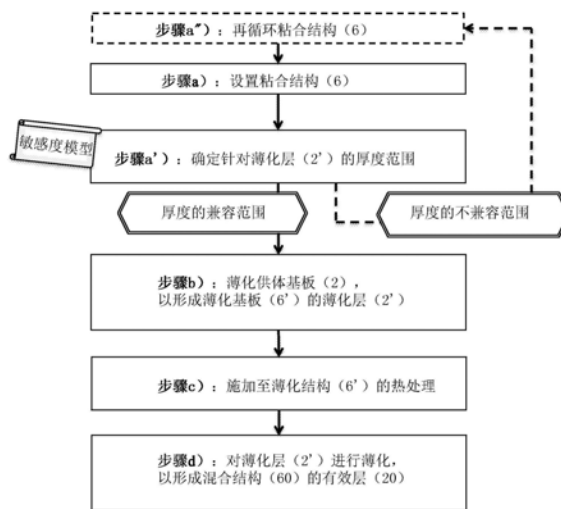
权利要求书1页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

用于制造混合结构的方法

(57) 摘要

本发明涉及用于制造混合结构(60)的方法, 该混合结构包括具有有效厚度并且设置在支承基板(1)上的压电材料的有效层(20), 该支承基板具有基板厚度和低于该有效层(20)的热膨胀系数的热膨胀系数, 该方法包括以下步骤: a) 设置粘合结构的步骤, 该粘合结构包括压电材料供体基板和支承基板(1), 粘合结构具有处于这两个基板之间的粘合界面(5); b) 薄化供体基板的第一步骤, 以形成具有中间厚度并且设置在支承基板(1)上的薄层, 这种组装形成薄化结构; c) 在退火温度热下处理薄化结构的步骤; d) 在步骤c) 之后薄化薄化层以形成有效层(20)的第二步骤。



1. 一种制造混合结构(60)的方法,该混合结构(60)具有设置在支承基板(1)上的具有有效厚度的压电材料的有效层(20),该支承基板(1)具有支承厚度和小于所述有效层(20)的热膨胀系数的热膨胀系数,所述方法包括以下步骤:

a) 设置粘合结构(6)的步骤,该粘合结构(6)包括压电材料的供体基板(2)和所述支承基板(1),所述粘合结构(6)具有处于这两个基板之间的粘合界面(5);

b) 薄化所述供体基板(2)的第一步骤,该第一步骤用于形成薄层(2'),该薄层(2')具有中间厚度,该薄层(2')被设置在所述支承基板(1)上;这整体形成薄化结构(6');

c) 在退火温度下的所述薄化结构(6')的热处理步骤;

d) 所述薄层(2')的第二薄化步骤,该第二薄化步骤在步骤c)之后,用于形成所述有效层(20);

所述方法的特征在于,所述方法包括以下步骤:在步骤b)之前确定中间厚度的范围的步骤a'),以避免在所述步骤c)期间所述薄化结构(6')劣化,根据阈值厚度和最大厚度来限定所述范围,并且在所述范围中选择所述薄层(2')的所述中间厚度,

其中,所述阈值厚度根据第一敏感度模型来确定,该第一敏感度模型的输入参数包括所述支承厚度、所述供体基板(2)的热膨胀系数和所述支承基板(1)的热膨胀系数、所述退火温度、以及在所述粘合结构(6)的所述粘合界面(5)处找到的未胶合区域的最大尺寸。

2. 根据权利要求1所述的制造混合结构(60)的方法,其中,所述最大厚度根据第二敏感度模型来确定,该第二敏感度模型的输入参数包括所述支承厚度、所述供体基板(2)的热膨胀系数和所述支承基板(1)的热膨胀系数、以及所述退火温度。

3. 根据权利要求1所述的制造混合结构(60)的方法,所述方法包括以下步骤:再循环步骤a''),该再循环步骤a'')在步骤a')之后并且在步骤b)之前,在确定步骤a')确立比所述最大厚度大的所述阈值厚度或者比所述有效厚度小的所述最大厚度时,该再循环步骤a'')再循环所述粘合结构(6)。

4. 根据权利要求3所述的制造混合结构(60)的方法,其中,所述再循环步骤a'')包括以下步骤:在所述粘合结构(6)的所述粘合界面(5)处分离。

5. 根据权利要求4所述的制造混合结构(60)的方法,其中,所述再循环步骤a'')包括以下步骤:根据所述分离把所述供体基板(2)和所述支承基板(1)重新用于新阶段a),以提供粘合结构(6)。

6. 根据权利要求1所述的制造混合结构(60)的方法,其中,所述第二薄化步骤d)还可以包括以下步骤:薄化所述支承基板(1)。

7. 根据权利要求1所述的制造混合结构(60)的方法,其中,所述有效层(20)由选自这样的组的材料组成,该组包括:钽酸锂(LiTaO<sub>3</sub>)、铌酸锂(LiNbO<sub>3</sub>)、氮化铝(AlN)、氧化锌(ZnO)。

8. 根据权利要求1所述的制造混合结构(60)的方法,其中,所述支承基板(1)由选自这样的组的材料组成,该组包括:硅、III-V族半导体、碳化硅、玻璃、蓝宝石。

9. 根据权利要求8所述的制造混合结构(60)的方法,其中,所述支承基板(1)包括一个或更多个表面层。

## 用于制造混合结构的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及制造混合结构的领域,尤其是包括压电材料层的结构。

### 背景技术

[0002] 在声表面波或体积装置领域(英文术语分别为针对“表面声波(Surface Acoustic Wave)”的“SAW”和针对“体声波(Bulk Acoustic Wave)”的“BAW”),包括置于硅基板上的钽酸锂(LiTaO<sub>3</sub>)层的异质结构受到越来越大的关注:一方面,由于它们的硅支承基板与标准微电子设备和方法兼容,其提供增长机会和降低成本;另一方面,由于它们具有技术优势,如对温度的依赖性较小、SAW装置的频率响应,如在K.Hashimoto、M.Radota等人的文章“Recent development of temperature compensated SAW devices”,IEEE Ultrasound.Symp.2011,pages 79to 86,2011.Symp.2011,pages 79to 86,2011中说明的。

[0003] 例如,LiTaO<sub>3</sub>/Si异质结构可以分别通过粘合两个LiTaO<sub>3</sub>和Si基板并且通过分子粘合这两个LiTaO<sub>3</sub>和Si基板而经组装制备。为了在这些异质结构上制造声波装置,有利的是,能够施加高于200°C或250°C的温度,以允许使用确保装置性能良好的材料和工艺。

[0004] 保持LiTaO<sub>3</sub>层与Si支承基板之间的粘合界面,是管理该结构在温度下并且尤其超过200°C时的良好机械强度的重要因素之一。

[0005] 因此,在声波装置的制造步骤之前,增强异质结构的界面能量显得很重要;在通过分子粘合将层粘合到支承基板上而制造的异质结构的情况下,粘合界面具体可以通过在大约200°C至300°C的温度范围内施加热处理来增强。因此,由于两种材料的热膨胀系数(根据Anglo-Saxon术语,针对“热膨胀系数(Coefficient of Thermal Expansion)”的CTE)的显著差异,因此存在将这种热处理施加至异质结构而不破坏它的问题。

[0006] 另一方面,当需要具有非常薄的LiTaO<sub>3</sub>层的异质结构(例如用于制造体积声波装置)时,一种解决方案是利用SmartCut®方法转印所述层,包括:通过引入诸如氢或氦之类的轻物质而埋置在LiTaO<sub>3</sub>供体基板(donor substrate)中的易碎图样(fragile plan),将该供体基板直接粘合(通过分子粘合)到硅支承基板上,并且在所埋置易碎图样的水平面处分离以在Si上转印LiTaO<sub>3</sub>表面层。已知转印后的表面层在其厚度上仍然具有缺陷和轻物质。因此,有利的是,固化(cure)该层,以在合适的温度范围内执行退火:以允许固化缺陷和排空轻物质,而不会破坏所转印薄层的质量或异质结构的机械强度。例如,对于LiTaO<sub>3</sub>层来说,适合的温度范围处于400°C与600°C之间。

[0007] 还有问题是,LiTaO<sub>3</sub>/Si异质结构,考虑到这两种材料之间热膨胀系数的非常大的差异,几乎不支持这些高热累积(budget)。

[0008] 在制造混合结构或异质结构期间,当设置在支承基板上的表面层尽可能薄时,通常执行具有高温的热处理,以限制所述混合结构中的应力和变形(如可以在基板的曲率中注意到的那样)。例如,可以涉及固体二氧化硅上硅类型或蓝宝石上硅的混合结构,当硅表面层的厚度小于大约100nm时,其可以耐受850°C的退火,并且块状二氧化硅基板的厚度大约为700微米,没有遭受过分的破坏。对于较高厚度的表面层来说,通常为1微米,在未破坏

的情况下的最大适用温度例如降低至大约600℃。对于更大厚度的上层来说,例如,700微米,在未破坏的情况下的最大适用温度例如降低至大约100℃-150℃。

[0009] 对于由设置在硅基板(例如,直径150mm和625微米厚)上的LiTaO<sub>3</sub>层(例如,10微米厚)组成的混合结构来说,本申请人使用了这种最先进的知识:其将为增强粘合界面所需的退火温度(即,250℃)施加至最终混合结构(在625微米Si上的10微米LiTaO<sub>3</sub>),这是最优质的可能表面层。本申请人然后观察到意想不到的结果:因与LiTaO<sub>3</sub>层的局部屈曲变形相对应的所谓的“屈曲”现象而导致层的显著劣化,致使该混合结构不可用。

[0010] 本发明目的

[0011] 因此,本发明的目的之一是,提出一种制造混合结构的方法并找到针对以前技术的缺点的解决方案。显著地,本发明的目的是,提出一种用于施加所需热处理而不破坏混合结构的方法。

## 发明内容

[0012] 本发明涉及一种制造混合结构的方法,该混合结构包括设置在支承基板上的具有有效厚度的压电材料的有效层,该支承基板具有支承厚度和小于该有效层的热膨胀系数的热膨胀系数,所述方法应当包括以下步骤:

[0013] a) 设置粘合结构的步骤,该粘合结构包括压电材料的供体基板和所述支承基板,所述粘合结构具有处于这两个基板之间的粘合界面;

[0014] b) 薄化所述供体基板的的第一步骤,该第一步骤用于形成薄层,该薄层具有中间厚度,设置在所述支承基板上;这种组装形成薄化结构;

[0015] c) 在退火温度热下的所述薄化结构的热处理步骤;

[0016] d) 所述薄化层的第二薄化步骤,该第二薄化步骤在步骤c)之后用于形成所述有效层;

[0017] 所述方法的显著之处在于,其包括以下步骤:在步骤b)之前确定中间厚度的范围(步骤a'),以避免在所述步骤c)期间所述薄化结构(6')劣化,根据阈值厚度和最大厚度来限定所述范围,并且在该范围中选择所述薄化层的所述中间厚度。

[0018] 根据本发明的制造方法因此使得可以将热处理施加至为巩固所述粘合界面所需的退火温度,或固化存在于所述薄化层(其将变成所述有效层)中的全部或部分缺陷,直至先前已经确定了薄化层的兼容厚度范围的薄化结构。所述热处理通常不施加于具有直至其有效厚度的所述有效层的最终混合结构,从而不会对所述有效层产生破坏,尤其是当在所述粘合界面处发现未胶合区域(unglued area)(粘合缺陷,或在所述基板的组装面上预先存在雕刻图案)时。

[0019] 根据本发明的有利特征,单独或组合采取如下方案:

[0020] • 所述阈值厚度根据第一敏感度模型来确定,该第一敏感度模型的输入参数包括所述支承厚度、所述供体基板的热膨胀系数和所述支承基板的热膨胀系数、所述退火温度以及在所述粘合结构的所述粘合界面处找到的未胶合区域的最大尺寸;

[0021] • 所述最大厚度根据第二敏感度模型来确定,该第二敏感度模型的输入参数包括(所述支承基板1的)所述支承厚度、所述供体基板2的热膨胀系数和所述支承基板1的热膨胀系数,以及步骤c)热处理中所需的退火温度。

[0022] • 所述制造工序包括以下步骤:再循环步骤a”),该再循环步骤a”)在步骤a’)之后并且在步骤b)之前,在所述确定步骤a’)确立比最大厚度高的阈值厚度或者比所述有效厚度低的最大厚度时,该再循环步骤a”)再循环所述粘合结构。

[0023] • 再循环步骤a”)包括以下步骤:在所述粘合结构的所述粘合界面处分离;

[0024] • 再循环步骤a”)包括以下步骤:将根据所述分离产生的所述供体基板和支承基板重新用于设置粘合结构的新步骤a);

[0025] • 所述第二薄化步骤d)还可以包括以下步骤:薄化所述支承基板;

[0026] • 所述有效层由选自以下材料中的一种材料组成:钽酸锂 ( $\text{LiTaO}_3$ )、铌酸锂 ( $\text{LiNbO}_3$ )、氮化铝 (AlN)、氧化锌 (ZnO);

[0027] • 所述支承基板由选自这样的组的材料组成,该组包括:硅、III-V族半导体、碳化硅、玻璃、蓝宝石;

[0028] • 所述支承基板包括一个或更多个表面层。

[0029] 本发明还涉及一种混合结构,该混合结构包括组装至支承基板的具有小于50微米的有效厚度的压电材料的有效层,该支承基板的热膨胀系数小于所述有效层的热膨胀系数,所述混合结构的特征在于,所述有效层与所述支承基板之间的粘合界面具有大于 $1000\text{mJ}/\text{m}^2$ 的粘合能量,以及尺寸介于1微米与1000微米之间的至少一个未粘合区。

## 附图说明

[0030] 根据下面参照附图的本发明的详细描述,本发明的其它特征和优点将显现,其中:

[0031] 图1a至图1c示出了根据本发明制造混合结构的方法;

[0032] 图2a至图2c示出了由根据本发明的确定步骤产生的、厚度范围对比有效厚度的三种不同配置;

[0033] 图3示出了根据本发明的制造工序的不同阶段。

## 具体实施方式

[0034] 本发明涉及一种制造混合结构60的方法,该混合结构具有设置在支承基板1上的压电材料的有效层20,该支承基板具有支承厚度和小于该有效层20的热膨胀系数的热膨胀系数(图1c)。

[0035] 该方法包括设置粘合结构6的步骤a),该粘合结构6包括压电材料的供体基板2和支承基板1。所述粘合结构6具有处于这两个基板1、2之间的粘合界面5(图1a)。例如,供体基板2可以由选自这样的组的材料组成,该组包括:钽酸锂 ( $\text{LiTaO}_3$ )、铌酸锂 ( $\text{LiNbO}_3$ )、氮化铝 (AlN)、氧化锌 (ZnO)。所述支承基板1可以由选自这样的组的材料组成,该组包括:硅、III-V族半导体、碳化硅、玻璃、蓝宝石。基板1、2中的一个和/或另一个可以可选地在其待组装面上包括组件(全部或部分微电子电路)或蚀刻图案:该组件可以由具有不同性质并具有图案的堆叠层形成;该蚀刻图案可以由旨在确保生成在混合结构60上的最终装置功能的空腔形成。有利地通过供体基板2与基板支承件1之间的分子粘合来进行粘合结构6的组装。可选的是,中间层(如氧化硅层、氮化硅或增强粘附分子粘合的其它层)可以在组装之前添加至一个或两个基板。有利的是,基板1、2在组装之前也经受清洁和/或前表面活化,以增强组装后形成的粘合界面5的质量和能量。

[0036] 术语“未胶合区”此后被称作粘合界面处的局部区域,在该区域处,这两个基板的表面未紧密接触,除了形成排除区的组装基板的边缘处的未粘合外周隆起外。“未粘合区域”通常被胶合区域包围。未胶合区可能与粘合缺陷有关,例如由于在粘合结构6的粘合界面5处存在颗粒或其它污染物(碳氢化合物或其它)。由于其相应待组装面上存在组件或空腔或激光标记(例如,应用于确保基板的可追溯性),其也可能涉及在供体基板2或支承基板1上存在蚀刻图案或局部形貌(local topography)。

[0037] 在所述组装步骤之后,该方法包括对应于第一步骤的步骤b),该第一步骤薄化供体基板2以形成设置在支承基板1上的具有中间厚度的薄层2';这整体形成薄化结构6'(图1b)。通过本领域技术人员公知的机械薄化、机械化学和/或化学蚀刻或者通过Smart Cut®工艺,将供体基板2在其后面4处进行薄化。例如,供体基板2可以通过“研磨”(机械薄化)然后通过化学机械抛光而薄化。该薄化步骤在热处理步骤c)之前,热处理步骤c)的功能可以是巩固粘合界面,5或固化变为有效层20的薄化层2'中的缺陷。因此,步骤b)薄化导致获得与在下面的步骤c)中所需的热处理兼容的薄化结构6'是重要的。

[0038] 如此,该制造方法的显著之处在于,其在薄化步骤b)之前包括步骤a'),以确定针对薄化层2'的中间厚度范围,旨在避免在热处理步骤c)期间薄化结构劣化。所述范围由阈值厚度和最大厚度来限定,因此在该范围中选择薄化层2'的中间厚度。

[0039] 该阈值厚度根据第一敏感度模型来确定,该第一敏感度模型的输入参数包括(支承基板1的)支承厚度,供体基板2热膨胀系数和支承基板1的热膨胀系数,热处理步骤c)中所需的退火温度,以及在粘合结构6的粘合界面5处找到的未粘合区域的最大尺寸。

[0040] 根据反映基板上处于压缩中的薄层的松弛度的等式来建立第一敏感度模型。诸如“屈曲(buckling)”这样的薄层松弛现象需要在薄层与基板之间的界面处存在未胶合区。开始薄层松弛所需的屈曲临界应力(其对应于所述层的局部屈曲变形)可以表达为:

$$[0041] \quad \sigma_{buckling} = \frac{\pi^2}{12} \frac{E_2}{(1 - \nu_2^2)} \left( \frac{h_2}{r} \right)^2 \quad \{\text{等式 1}\}$$

[0042] 其中,E2是薄层的杨氏模量,V2是薄层的Poisson比,h2是层的厚度,而r是薄层与基板之间未粘合区域的半径。应力变换针对薄层截面(长度×厚度)上每单位面积施加的力。为了克服所述截面的长度而仅考虑薄层的厚度h2,可以表达由长度归一化的临界力 $F_{buckling}^{norm.}$ ,单位采用N/m:

$$[0043] \quad F_{buckling}^{norm.} = \sigma_{buckling} \cdot h_2 = \frac{\pi^2}{12} \frac{E_2 \cdot h_2}{(1 - \nu_2^2)} \left( \frac{h_2}{r} \right)^2 \quad \{\text{等式 2}\}$$

[0044] 考虑到该薄层对应于薄化层2':E2、V2因此分别是构成薄化层2'的压电材料的杨氏模量和Poisson比;h2是中间厚度,而r是存在于粘合结构6的粘合界面5处的未粘合区域的最大半径。在粘合界面5处发现的未粘合区域的尺寸例如可以通过根据作为粘合结构6的部分的材料按白光或红外光进行成像来确定,或者通过声学显微镜(用于检测小尺寸的未胶合区尤其有利的技术)来确定。未粘合至粘合界面5的区域的最大半径(其可能与粘合缺

陷或供体基部2和支承基板1的组装面中的一个或另一个上预先存在的图案有关)因此可以针对每个粘合结构6取出。

[0045] 等式 {等式2} 指示“屈曲”现象完全更容易开始(即,它将需要较低的归一化力),因为薄化层2'的中间厚度 $h_2$ 将较弱,而最大值半径 $r$ 未胶合区将会很大 $F_{buckling}^{norm.}$ 。

[0046] 支承基板1的支承厚度 $h_1$ 及其机械特性( $E_1$ ,其杨氏模量)也是已知的;在步骤c)的热处理期间施加至薄化结构6'的所需退火温度也是已知的。因此可以表达在步骤c)的热处理期间施加至薄化层2'的归一化压缩中的力: $F^{norm.}$

$$[0047] \quad F^{norm.} = \frac{(E_1 \cdot h_1^3 + E_2 \cdot h_2^3)}{6(h_1 + h_2) \cdot \rho} \quad \{\text{等式 3}\}$$

[0048] 其中, $\rho$ 是薄化结构6的曲率半径:

$$[0049] \quad \frac{1}{\rho} = \frac{\Delta CTE \cdot \Delta T}{K(h_1, h_2)} \quad \{\text{等式 4}\}$$

[0050] 其中, $\Delta CTE$ 是薄化层2'与支承基板1的相应材料的热膨胀系数之间的差异; $\Delta T$ 是室温与所施加退火温度之间的 $\Delta T$ 温度;以及项 $K(h_1, h_2)$ ,其被表达为:

$$[0051] \quad K(h_1, h_2) = \frac{h_1 + h_2}{2} + \frac{(E_1 \cdot h_1^3 + E_2 \cdot h_2^3)}{6(h_1 + h_2)} \cdot \left( \frac{1}{E_1 \cdot h_1} + \frac{1}{E_2 \cdot h_2} \right) \quad \{\text{等式 5}\}$$

[0052] 阈值厚度范围由此可以通过求解等式 {等式5}  $F^{norm.} = F_{buckling}^{norm.}$  来确定。

$$[0053] \quad \frac{(E_1 \cdot h_1^3 + E_2 \cdot h_{2seuil}^3) \cdot \Delta CTE \cdot \Delta T}{6(h_1 + h_{2seuil}) \cdot K(h_1, h_{2seuil})} = \frac{\pi^2 E_2 \cdot h_{2seuil}}{12 (1 - \nu_2^2)} \left( \frac{h_{2seuil}}{r} \right)^2 \quad \{\text{等式 6}\}$$

[0054] 其中,所述阈值厚度 $h_{2seuil}$ 。

[0055] 阈值厚度对应于中间厚度,在该中间厚度以下,“屈曲”现象出现的可能性很高,考虑到薄化结构6'的特性(构成它的材料的类型、在粘合界面5处发现的未胶合区的最大尺寸、支承基板的厚度),和要在热处理步骤c)期间施加的退火温度。应注意到,“屈曲”现象还可能伴随着未粘合区域的扩大,优选垂直于具有最高膨胀系数的晶轴。这种放大可能更多地与粘合界面5的能量较低一样重要。巩固粘合界面5的能量,因此,在避免出现“屈曲”的配置中极度重要。

[0056] 因此,第一敏感度模型将阈值厚度连接至薄化结构6'的一组特征参数和其必须经历的热应力。

[0057] 根据第二敏感度模型来确定最大厚度,该第二敏感度模型的输入参数包括(支承基板1的)支承厚度、供体基板2的热膨胀系数和支承基板1的热膨胀系数,以及步骤c)热处理中所需的退火温度。

[0058] 根据反映构成支承基板1的材料的破裂的等式来建立第二敏感度模型,该材料在热处理期间受迫于薄化结构6'中的延伸。在包括具有不同性质的薄层2'和支承基板1并且

被施加热处理的薄层结构6'的情况下,储存在支承基板1中的弹性能量E,被表达如下:

$$[0059] \quad E = \frac{1}{E_1} \left( \frac{(F^{norm.})^2}{h_1} + \frac{E_1^2 \cdot h_1^3}{12 \cdot \rho^2} \right) \quad \{\text{等式 7}\}$$

[0060] 当弹性能量E超过由下式给出的临界值时,出现构成支承基板1的材料的破裂:

$$[0061] \quad E_{rupture} = \frac{K_{1c}^2}{E_1} \quad \{\text{等式 8}\}$$

[0062] 其中,K<sub>1c</sub>是构成支承基板1的材料的韧度。

[0063] 最大厚度范围由此可以通过求解等式:  $E = E_{rupture}$ , 来确定

$$[0064] \quad \left( \frac{1}{h_1} \left[ \frac{(E_1 \cdot h_1^3 + E_2 \cdot h_{2plafond}^3) \cdot \Delta CTE \cdot \Delta T}{6(h_1 + h_{2plafond}) \cdot K(h_1, h_{2plafond})} \right]^2 + \frac{E_1^2 \cdot h_1^3 \cdot (\Delta CTE \cdot \Delta T)^2}{12 \cdot [K(h_1, h_{2plafond})]^2} \right) = K_{1c}^2 \quad \{\text{等式 9}\}$$

[0065] 其中,所述最大厚度 $h_{2plafond}$ 。

[0066] 最大厚度对应于薄化层2'的中间厚度,超过该厚度,支承基板1出现破裂的概率很高,考虑薄化结构6'的特性(构成它的材料的类型、支承基板1的厚度),和在步骤c)的热处理期间施加的退火温度。

[0067] 因此,第二敏感度模型将最大厚度连接至薄化结构6'的一组特征参数和其必须经历的热应力。

[0068] 异质结构因构成它的两种材料的差别膨胀,而使得薄化结构6'在经热处理时经历应力和变形。其因采用可导致不同故障模式的曲率而变形:支承基板1断裂、薄化层2'的屈曲、结构中形成位错或滑动平面(尤其是在薄化层2'中)、薄化结构6'边缘剥离等。实验地,本申请人认识到,在包括压电材料层和具有较低热膨胀系数的材料的支承基板的薄化结构6'的情况下,两种主要的破裂模式一方面是支承基板1的断裂(材料的超过临界破裂能量的破裂现象),另一方面是在薄化层2'的未粘合区域的水平面处的局部屈曲(薄层在压缩时的松弛现象,称为“屈曲”)。本申请人根据等式{等式6}和{等式9}建立的两个敏感度模型因此非常适合于确定针对薄化层2'的厚度范围,对于异质薄化结构6'的情况来说,其中所述薄化层2'由压电材料构成。

[0069] 在步骤a')之后,由此获得由所确定阈值厚度和最大厚度限定的厚度范围,如图2a至图2c所示。

[0070] 根据实现该制造方法的第一变型例,用于最终混合结构60的预期有效层20的有效厚度小于限定厚度范围(图2a):这是与所设想的最终结构兼容的厚度范围的情况。如上所述,根据本发明的制造方法包括步骤b),该步骤b)在用于确定与其兼容的厚度范围的步骤a')之后使供体基板2薄化以形成薄化层2'。然后,将薄化层2'的中间厚度选择成处于所述范围中,即,在阈值厚度与最大厚度之间。然后,该工序包括:在薄化结构6'所需的退火温度下进行热处理的步骤c)。例如,根据预期的混合结构的类型并且根据热处理的目的,退火温度可以在200°C与600°C之间变化:巩固粘合界面5、固化薄化层2'的厚度中的缺陷或轻物质

扩散(旨在变成有效层20)等。热处理可以包括处于低温(例如,100°C)的炉的入口和出口、温度逐步上升和下降(例如,在0.5与5°/min之间),以及在所需退火温度(例如,在200°C与600°C之间)承受持续30分钟到几个小时。

[0071] 在热处理步骤c)之后,该方法包括对应于第二步骤的步骤d),该第二步骤d)薄化该薄化层2'以形成设置在支承基板1上的具有有效厚度的有效层20;这整体形成最终混合结构60。层2'由此再次通过机械薄化技术、机械化学和/或化学蚀刻技术、和/或根据mart Cut®方法的薄化技术在其后面4处进行薄化。例如,层2'可以通过机械化学抛光序列,随后清洗来加以薄化。这样形成的混合结构20然后可以用于生产电子装置,其特性(粘合界面5的粘合能和/或有效层20的质量)已通过实现根据本发明的方法而得到改进。通常来说,装置的开发步骤不需要在与该方法的步骤c)的退火温度一样高的温度下施加热处理。

[0072] 根据该制造方法的第二实现变型例,用于最终混合结构60的预期有效层20的有效厚度处于该限定厚度范围内(图2b):这是与所设想最终结构兼容的厚度范围的情况。如上所述,根据本发明的制造方法包括步骤b),该步骤b)在步骤a')之后使供体基板2薄化以形成薄化层2'。薄层2'的中间厚度有利地被选择在该范围内,并且特别地,它被选择为等于或大致大于该有效厚度。然后,该工序包括:在薄化结构6'所需的退火温度下进行热处理的步骤c)。例如,根据预期的混合结构60的类型并且根据热处理的目的,退火温度可以在200°C与600°C之间变化。

[0073] 在步骤c)的热处理之后,该方法包括对应于第二步骤的步骤d),该第二步骤薄化该薄化层2',以形成设置在支承基板1上的具有有效厚度的有效层20;这整体形成最终混合结构60。根据该第二实现变型例,薄化该薄化层的步骤b)已经使中间厚度大致达到该有效厚度。因此,步骤d)可以基本上由具有低去除率的抛光步骤(根据英文术语的“接触抛光”)和清洁序列组成,以改善有效层20的表面4的表面状况。这样形成的混合结构20然后可以被用于开发电子装置,尤其是声波装置的开发。

[0074] 根据实现按照本发明的制造方法的第三变型例,预期用于最终混合结构60的有效层20的有效厚度大于限定厚度范围(图2c);换句话说,该有效厚度大于最大厚度。这种配置反映了这样的事实,即,所限定的厚度范围(由敏感度模型并且根据粘合结构6的特性和所需退火温度来确定)与预期最终混合结构20不兼容。

[0075] 这种与预期混合结构不兼容的厚度范围配置(图2c)可能是由于支承厚度不足造成的。根据本发明的方法的制造方法然后包括再循环粘合结构6的步骤a'')。步骤a'')包括实现粘合界面5处粘合结构6的剥离,从而导致供体基板2和支承基板1分离。可以通过在接合结构6的两个供体基板2和支承基板1的倒角边缘之间插入斜角形工具来执行该分离。在分离之后,该再循环步骤a'')进一步包括将分离的供体基板2和支承基板1重新用于新的步骤a)来提供粘合结构6。可以采取再循环步骤a'')的优点,以使用更大厚度的支承基板1并提供新的粘合结构6。支承厚度的增加显著增加了最大厚度的值,其目的是找到一系列兼容厚度;即,具有大于预期有效厚度的最大厚度。根据该方法的第二薄化步骤d)在这种情况下还包括薄化支承基板1的后表面的薄化步骤,以使其回到针对最终混合结构60的所需支承厚度。这个额外的薄化步骤可能包括机械薄化、机械化学薄化或化学薄化。

[0076] 厚度范围与预期混合结构不兼容的配置(图2c)也可能与退火温度过高的事实有关。然后可以选择降低要热处理步骤c)中施加的退火温度。再循环步骤a'')还可以用于在组

装之前将不同的表面制备(可能更复杂或昂贵,但在这种情况下是必需的)施至到基板1和2上,例如允许在较低温度下的热处理之后促进粘合能量。然后,在继续该工序之前确定新的厚度范围。

[0077] 根据该制造方法的第四实现变型例,在步骤a'中确定的阈值厚度大于在同一步骤确定的最大厚度(配置未示出)。在这种情况下,厚度范围也被认为与预期结构不兼容,因为它不存在(由低于最大厚度的阈值厚度限定厚度范围)。在这种情况下,在粘合界面5处发现的未粘合区域的最大尺寸可能太大,而无法允许兼容厚度范围。根据本发明的方法的制造方法然后包括再循环粘合结构6的步骤a'')。步骤a'')包括实现粘合界面5处粘合结构6的剥离,从而导致供体基板2和支承基板1分离。可以通过在粘合结构6的两个供体基板2和支承基板1之间的界面处施加应力,来完成该分离。在分离之后,该再循环步骤a'')包括将分离的供体基板2和支承基板1重新用于提供粘合结构6的新步骤a)。假设最大尺寸的未胶合区域与粘合失败相关,再循环步骤a'')可以通过新的清洁和制备待组装基板1、2的表面来消除该缺陷。

[0078] 如果在粘合界面5处发现的未粘合区域的尺寸难以减小(例如,在所组装两个基板中的一个基板上的、具有特定功能的预先存在图案或空腔的情况下),则例如可以使用再循环步骤a''),以使用和修改组装条件,以便允许降低要在步骤c)中施加的所需后续温度,并且提供新的粘合结构6。

[0079] (图3)中例示了根据本发明的方法的主要步骤。

[0080] 根据本发明的制造方法使得可以将热处理施加至为巩固粘合界面5所需的退火温度,或固化存在于薄化层2'(其将变成有效层20)中的缺陷,对于薄化结构5',先前已经确定了针对薄化层2'的兼容厚度范围。该热处理通常不施加于具有直至其有效厚度的有效层20的最终混合结构60(即),从而不会对有效层20产生破坏,尤其是当在粘合界面5处发现未胶合区(在基板1、2的组装面上预先存在的粘合缺陷或雕刻图案)时。

[0081] 此外,用于确定兼容厚度范围的步骤a')使得可以标识何时需要再循环粘合结构6。这处于进行薄化步骤b)之前,其由此允许增加制造产量。

[0082] 本发明还涉及一种混合结构60,该混合结构包括组装至支承基板1的、具有小于50微米的有效厚度的压电材料的有效层20,该支承基板具有小于有效层20的热膨胀系数的热膨胀系数。有效层20与支承基板1之间的粘合界面5具有大于或等于 $1000\text{mJ}/\text{m}^2$ 的粘合能量,和尺寸介于1微米与1000微米之间的至少一个未粘合区域。有效层20由选自这样的组的材料组成,该组包括:钽酸锂( $\text{LiTaO}_3$ )、铌酸锂( $\text{LiNbO}_3$ )、氮化铝( $\text{AlN}$ )、氧化锌( $\text{ZnO}$ );例如,其厚度介于0.1微米与50微米之间。该支承基板由选自这样的组的材料组成,该组包括:硅、III-V族半导体、碳化硅、玻璃、蓝宝石;例如,其厚度介于0.1微米与50微米之间。该支承基板还可以包括一个或更多个不同类型的表面层。例如,该支承基板可以由在待组装面一侧上具有表面层的单晶硅基板组成,其能够俘获电荷,具体为多晶硅;其还可以由其表面层采用氧化硅和硅,或者采用设置有处于氧化物层下面的电荷俘获层的SOI基板的SOI基板(绝缘体上硅)构成。

[0083] 示例1:

[0084] 由直径150mm、725微米厚的硅(Si)制成的支承基板1具有在其待组装的整个表面上均匀隔开的蚀刻图案。这些理由例如可以具有对准标记的功能,或者构成用于制造悬浮

膜的腔,或者更多仍由其上开发所述装置的最终混合结构60中的电触点构成。支承基板1还在其待组装表面上包括氧化物层。通过与相同直径的由钽酸锂 ( $\text{LiTaO}_3$ ) 制成的供体基板2,经分子粘合而胶合在一起,来提供粘合结构6。显微镜声学控制步骤使得可以检测和测量粘合界面5处的、根据图案生成的未粘合区域。未胶合区的最大尺寸对应于500微米的半径r。

[0085] 预期最终混合结构60具有有用的10微米层和725微米的支承基板。要施加的退火温度为250°C,以便充分地巩固粘合界面5,使得混合结构60支持开发声波装置的后续步骤。

[0086] 步骤a')使得可以确定阈值和最大厚度: $h_{2\text{threshold}} = 28\mu\text{m}$ ,并且 $h_{2\text{ceiling}} = 32\mu\text{m}$ 。所获得的厚度范围与预期混合结构60兼容,有效厚度小于所述范围。

[0087] 由机械薄化然后是化学机械抛光和化学清洁组成的薄化步骤b)允许形成具有30微米中间厚度的薄化层2'。然后执行步骤c)的热处理。进入炉的温度为100°C,温度按1°/min逐步上升,直至达到230°C的峰值持续4小时的时段为止。然后,在由炉子取出薄化结构6'之前,温度按1°/min逐步下降,直至100°C。然后,薄化结构6'经历第二步骤,将薄化层2'薄化至10微米的厚度,以形成有效层20。

[0088] 由此获得的混合结构60是整体的,并且具有粘合能量大于或等于1000mJ/m<sup>2</sup>的巩固粘合界面5,没有与“屈曲”现象相关的劣化的有用集成层,并且这不管在其界面处存在尺寸在100微米与500微米之间的未胶合区。这样的混合结构60然后可以被用于声波装置的开发。

[0089] 示例2:

[0090] 由硅(Si)制成的、具有150mm直径和厚度为725微米并且在其待组装面上包括氧化物层的支承基板1,被粘接由钽酸锂 ( $\text{LiTaO}_3$ ) 制成的、直径相同的供体基板2,以提供胶合结构6。显微镜声学控制步骤使其可以检测胶合界面5处的两个胶合缺陷(未胶合区),其最大尺寸对应于700微米的半径r。

[0091] 预期最终混合结构60具有有用的10微米层和725微米的支承基板。要施加的退火温度为250°C,为了充分地巩固粘合界面5,使得混合结构60支持开发声波装置的后续步骤。

[0092] 步骤a')使得可以确定阈值和最大厚度: $h_{2\text{threshold}} = 28\mu\text{m}$ 并且 $h_{2\text{ceiling}} = 25\mu\text{m}$ 。所获得的厚度范围与预期混合结构60不兼容,阈值厚度大于最大厚度。

[0093] 然后,执行再循环步骤a''),以便减小胶合界面5处存在的胶合缺陷的最大尺寸:在粘合结构6的粘合界面5的水平面处插入斜面形式的工具,使其可以分离供体基板2和支承基板1。这两个基板的新清洁和表面活化序列在新组装之前执行,以提供新的粘合结构6。新的声学显微镜控制步骤使其可以检测胶合界面5处的十个缺陷,其最大尺寸对应于150微米的半径r。

[0094] 基于粘合结构6的新特征,步骤a')有助于确定以下阈值和最大厚度: $h_{2\text{threshold}} = 20\mu\text{m}$  and  $h_{2\text{ceiling}} = 25\mu\text{m}$ 。所获得的厚度范围现在与预期的混合结构60兼容,阈值厚度小于最大厚度,并且有效厚度小于所述范围。

[0095] 由机械薄化然后是化学机械抛光和化学清洁组成的薄化步骤b)允许形成中间厚度为23微米的薄化层2'。然后执行步骤c)的热处理。进入炉的温度为70°C,温度按1°/min逐步上升,直至达到250°C的峰值持续4小时的时段为止。然后,在从炉子移出该结构之前,温度按1°/min逐步下降,直至100°C为止。然后,薄化结构6'经历第二步骤,该第二步骤将薄化层2'薄化至10微米的有效厚度,以形成有效层20。

[0096] 由此获得的混合结构60是整体的,并且具有粘合能量大于或等于 $1000\text{mJ}/\text{m}^2$ 甚或大于 $1500\text{mJ}/\text{m}^2$ 的巩固粘合界面5;其还具有有用的整体层20,并且没有与“屈曲”现象有关的劣化,而不管在其界面处存在大小在50至150微米之间的未粘合区域。这样的混合结构60然后可以用于声波装置的开发。

[0097] 当然,本发明不限于所描述的实施方式和示例,并且可以在不脱离如权利要求书所限定的本发明的范围的情况下提供多个变型例。

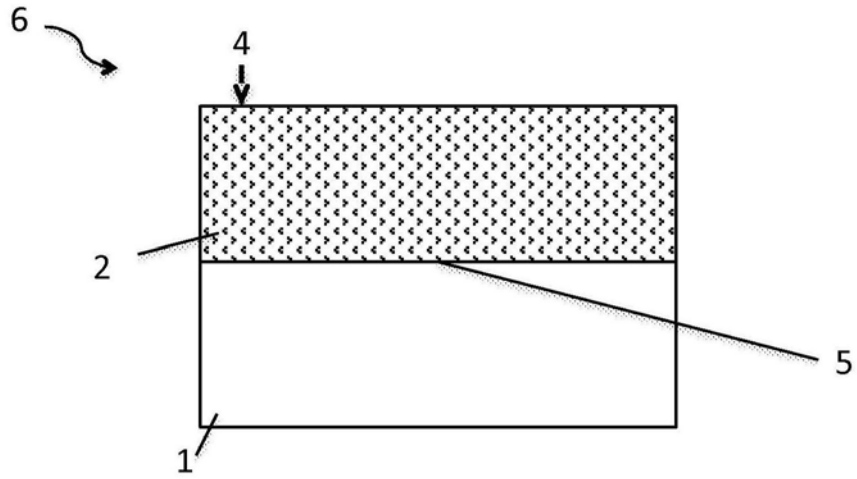


图1a

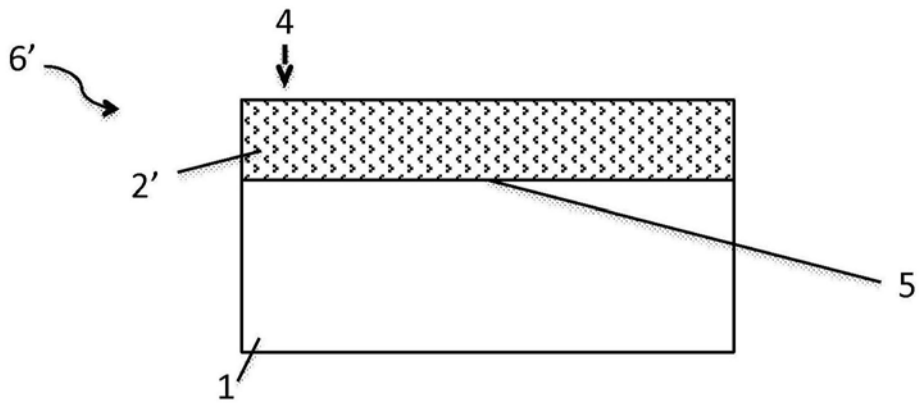


图1b

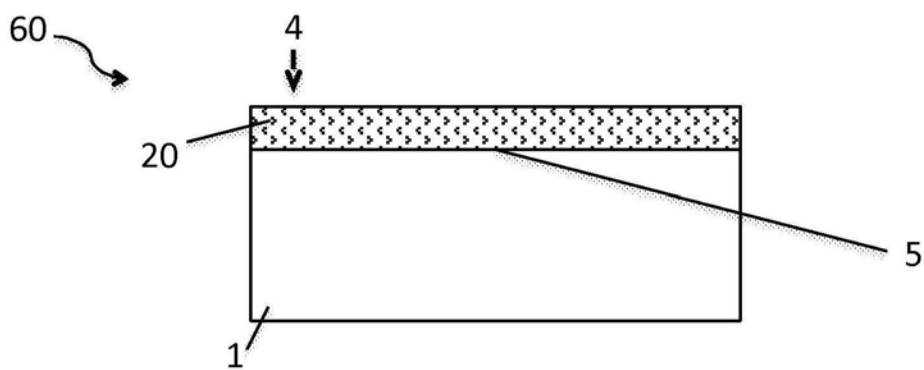


图1c

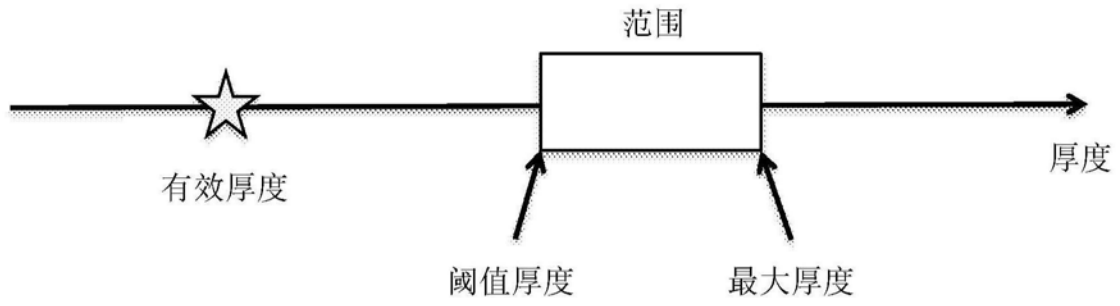


图2a

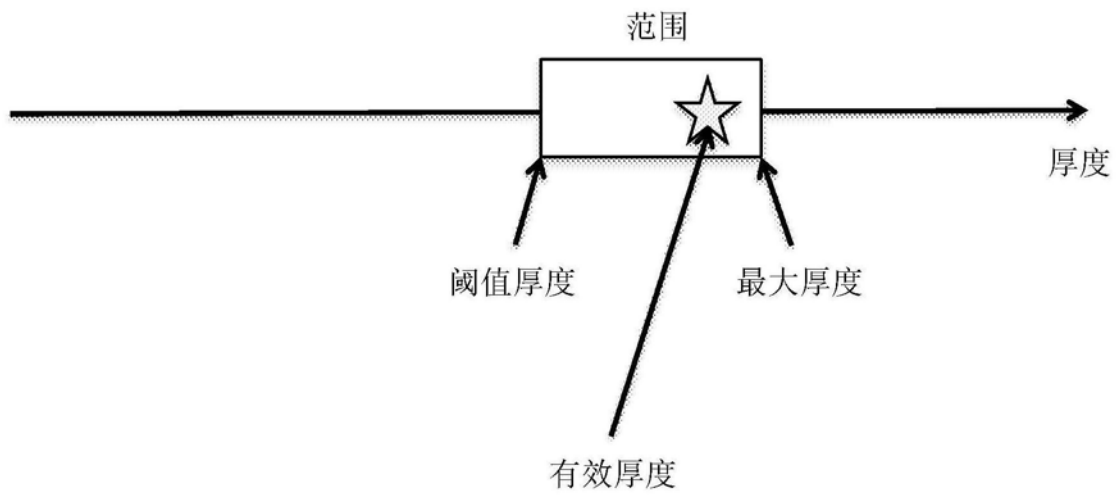


图2b

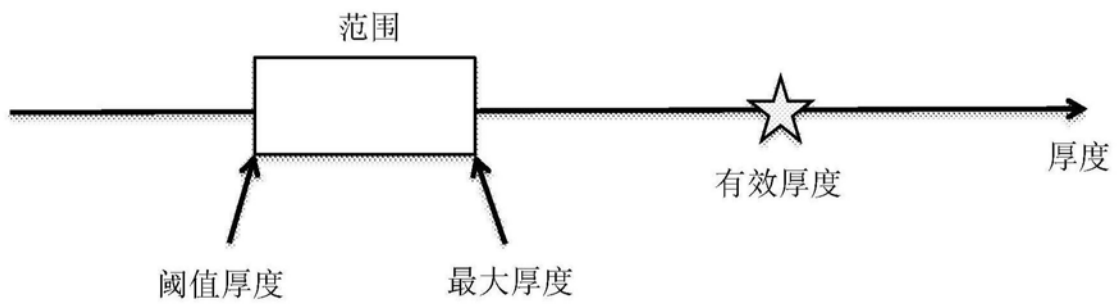


图2c

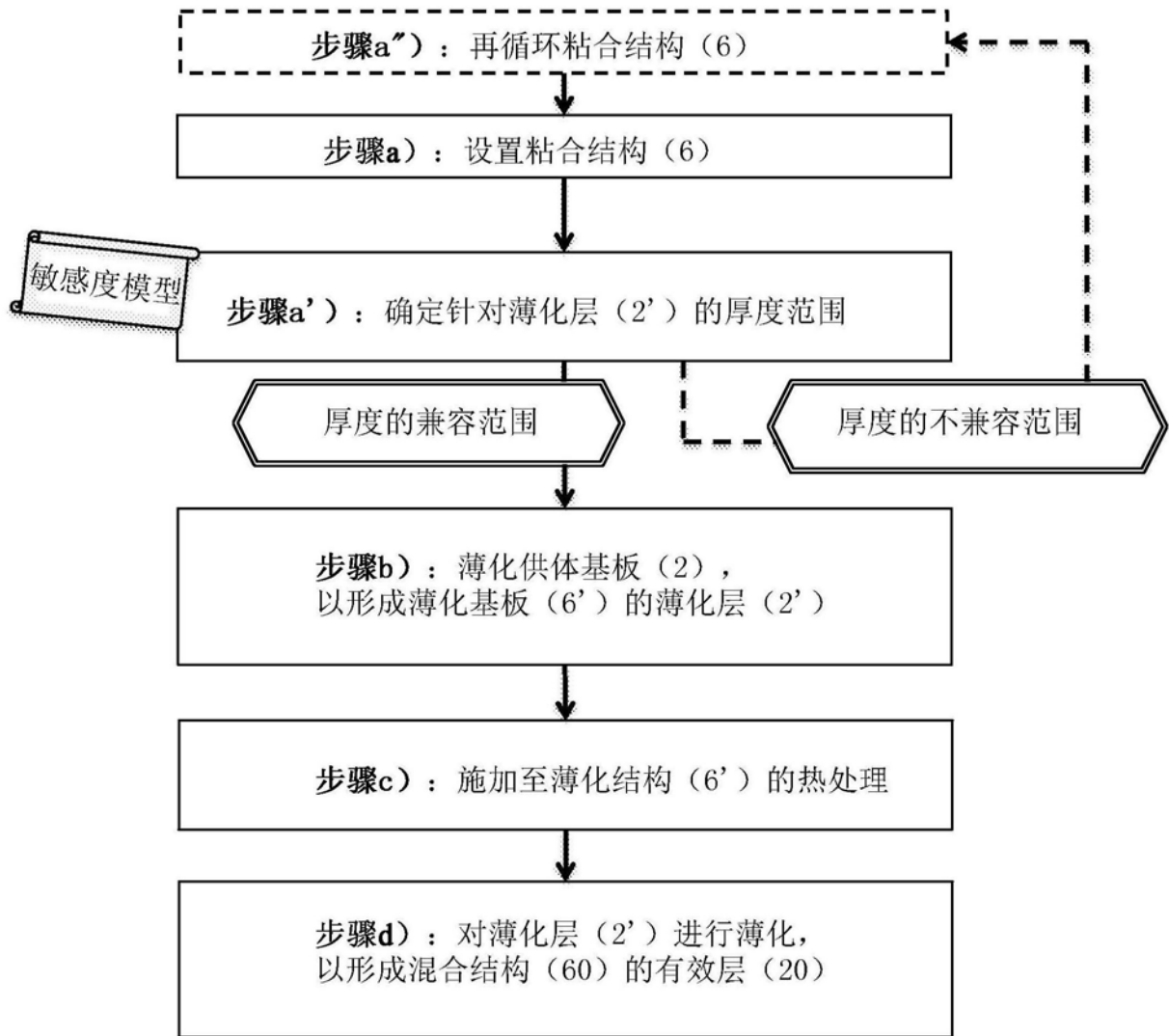


图3