



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109478493 A

(43)申请公布日 2019.03.15

(21)申请号 201780042232.5

(72)发明人 弗兰乔斯·J·亨利

(22)申请日 2017.07.12

(74)专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司 11240

(30)优先权数据

62/361,468 2016.07.12 US

62/367,911 2016.07.28 US

15/643,370 2017.07.06 US

15/643,384 2017.07.06 US

代理人 梁丽超 李子光

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.01.07

(51)Int.Cl.

H01L 21/02(2006.01)

H01L 21/762(2006.01)

H01L 33/00(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2017/054209 2017.07.12

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2018/011731 EN 2018.01.18

(71)申请人 QMAT股份有限公司

地址 美国加利福尼亚州

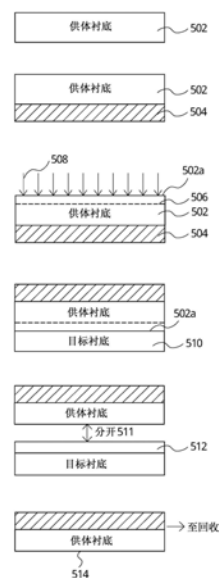
权利要求书1页 说明书13页 附图10页

(54)发明名称

供体衬底进行回收的方法

(57)摘要

一种供体衬底(502;602;702)在层转移处理中通过附接背衬衬底(504;604;703)来稳定。背衬衬底(504;604;703)允许高功率注入期间的热和机械稳定。在分开供体衬底(502;602;702)以将薄材料层释放至目标衬底(510)时,背衬衬底(504;604;703)防止导致供体衬底(502;602;702)的屈曲/破裂的内部应力的不受控释放。内部应力可由于诸如分开区(506;704)形成、到目标衬底(510)的接合和/或分开处理自身等处理而蓄积在供体衬底(502;602;702)中,且不受控制的弯曲和翘曲潜在地妨碍供体衬底(502;602;702)在后续的层转移处理中的回收/再利用。在某些实施方式中,背衬衬底(504;604;703)可以表现出与供体衬底(502;602;702)的热膨胀系数大致匹配或互补的热膨胀系数(CTE)。在一些实施方式中,背衬衬底(504;604;703)可包括诸如唇缘(606)等特征。



1. 一种方法,包括:

提供包括第一面和第二面的供体衬底;

将所述第一面附接至背衬衬底;

处理所述供体衬底以产生内部应力;

将所述第二面接合至目标衬底;

在分开区域中分开所述供体衬底,以将材料层转移至所述目标衬底,其中所述供体衬底的剩余材料保持附接至所述背衬衬底;以及

在所述供体衬底的所述第一面保持附接至所述背衬衬底的同时,回收所述剩余材料。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述分开区域通过将粒子注入到附接至所述背衬衬底的所述供体衬底而形成,并且所述内部应力由所述注入而产生。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述背衬衬底表现出与所述供体衬底的热膨胀系数相似的热膨胀系数。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中,包括接合至所述背衬衬底的所述供体衬底的组件有助于注入处理、所述分开或者所述回收。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述背衬衬底固定所述供体衬底的边缘以抑制所述供体衬底的膨胀。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述回收包括热暴露。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述回收包括化学暴露。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中,所述化学暴露包括蚀刻。

9. 根据权利要求6所述的方法,其中,所述化学暴露包括化学机械抛光。

10. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述回收包括研磨。

11. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述回收包括等离子体暴露。

12. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述供体衬底包含GaN。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述第一面包括GaN供体衬底的Ga面。

14. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述第一面包括GaN供体衬底的N面。

15. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述背衬衬底包括唇缘。

16. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述背衬衬底包含兰宝石。

17. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述供体衬底包含GaAs。

18. 根据权利要求17所述的方法,其中,所述背衬衬底包含兰宝石。

## 供体衬底进行回收的方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本PCT专利申请要求下列各项的优先权：

[0003] ●2016年7月12日提交的美国临时专利申请号62/361,468；

[0004] ●2017年7月6日提交的美国非临时专利申请号15/643,384；

[0005] ●2016年7月28日提交的美国临时专利申请号62/367,911。

[0006] ●2017年7月6日提交的美国非临时专利申请号15/643,370；

### 背景技术

[0007] 用于制造电子器件的常规技术，会涉及薄材料层的形成和操纵。该操纵的一个实例是将薄材料层从第一（供体）衬底转移至第二（目标）衬底。通过将供体衬底的面抵靠目标衬底的面放置，然后沿着形成于供体衬底中的表面下的分开面分开薄材料层，可以实现此操纵。

[0008] 供体衬底可包括制造昂贵的贵重、高质量的晶体材料。因此，在该层转移处理之后，会寻求回收供体衬底，以后续使用在另外的层转移活动中。相应地，本领域中存在对用于处理供体衬底以允许其回收用于后续层转移的方法和装置的需求。

### 发明内容

[0009] 在层转移处理中的供体衬底，可通过附接背衬衬底而稳定。在高功率注入过程中，背衬衬底允许热稳定和机械稳定。一旦使供体衬底分开而将薄材料层释放至目标，背衬衬底则防止不受控制地释放内部应力而导致供体衬底发生屈曲/破裂。内部应力可由于诸如分开区域形成、接合至目标、和/或分开处理自身等处理而蓄积在供体衬底中，且不受控制的弯曲和翘曲潜在妨碍供体衬底在后续层转移处理中的回收/再利用。在某些实施方式中，背衬衬底可以表现出与供体衬底的热膨胀系数大致匹配或互补的热膨胀系数（CTE）。在一些实施方式中，背衬结构可以包括诸如唇缘等特征。

[0010] 实施方式涉及在层转移处理中回收之前供应了薄膜材料的供体衬底。某些实施方式选择性地仅对供体衬底的边缘区域执行环形研磨。这用于移除边缘区域的残留材料，且研磨损坏不影响后面从供体衬底的中央区域转移材料。一些实施方式通过对发生分开后的供体衬底施加能量而实现回收。计算对分开区域（例如，由离子注入引起的）下面的残留材料相互作用的能量，由此允许在分开区域的该残留材料的分离。该回收方案能够移除供体衬底中央区域中的残留材料（例如，由空隙产生的），而不需要侵入性研磨和后期研磨处理来移除研磨损坏。实施方式可以施加在分开区域处吸收的激光束形式的能量。

### 附图说明

[0011] 图1示出了涉及GaN衬底的回收的制备处理的简化图。

[0012] 图1A是示出GaN衬底的Ga面和N面的简化图。

[0013] 图2A-2G示出了根据一个实施方式的GaN衬底进行回收的简化图。

- [0014] 图3A-3G示出了根据另一实施方式的Ga<sub>N</sub>衬底进行回收的简化图。
- [0015] 图4示出了根据实施方式的回收过程的简化流程图。
- [0016] 图5A-5F示出了根据实施方式的处理流程的简化横截面图。
- [0017] 图6示出了可行的供体衬底/背衬衬底组合的简化横截面图。
- [0018] 图7示出了涉及Ga<sub>N</sub>衬底的回收的制备处理的简化图。
- [0019] 图8示出了根据实施方式的回收过程的简化流程图。
- [0020] 图9绘制了热导率对间隙。

## 具体实施方式

[0021] 半导体材料在例如逻辑器件、太阳能电池的形成,并且越来越多地在照明中有很多用途。能够用于照明的一类半导体器件是高亮度发光二极管(HB-LED)。与传统的白炽或甚至荧光照明技术相比,HB-LED在功耗降低和可靠性方面具有明显的优势。

[0022] 诸如HB-LED等光电器件,可依赖于表现出半导体性质的材料,包括但不限于各种程度的晶体有序中可获得的诸如氮化镓(GaN)或氮化铝(AlN)等III/V类材料。然而,这些材料通常难以制造。

[0023] 2015年6月19日提交的美国临时专利申请号62/181,947(“该‘947临时申请”)中描述了以及2016年6月17日提交的美国非临时专利申请号15/186,184中也描述了用于制备适合于高质量Ga<sub>N</sub>生长的模板的可行方法的实例,出于所有之目的,通过引用将其全部内容结合在本文中。图1示出了一种形成提供模板的永久性衬底的制备处理100的简化图,该模板后续用于光电子应用领域的高质量Ga<sub>N</sub>的生长。

[0024] 在该实例中,供体衬底102包含高质量的Ga<sub>N</sub>材料。分开区域104位于供体衬底的表面下区域(sub-surface)。例如,该分开区域可以通过高能注入105诸如氢离子等粒子到Ga<sub>N</sub>供体衬底的一个面而形成。

[0025] 此处,应注意,Ga<sub>N</sub>供体衬底的晶体结构导致其具有两个不同的面:Ga面102a和N面102b。图1A是示出Ga<sub>N</sub>衬底的内部结构的简化图,示出了Ga面和N面。

[0026] 在图1的处理的下一步骤中,将Ga<sub>N</sub>衬底的注入Ga面接合(bond)至承载释放层108的可释放衬底106。可释放衬底的材料可以选择为使得其热膨胀系数(CTE)与Ga<sub>N</sub>的热膨胀系数大致匹配。如之后在下面详细讨论的,可释放衬底的材料还可以选择为对作为激光剥离(LL0)处理的一部分的入射激光透明。结合这些所需的性质,可以使用包含玻璃的可释放衬底。

[0027] 释放层可包含能够在受控条件下随后分离的各种材料。如‘947临时申请中描述的,候选的可释放材料可包括在暴露于所选择范围内的热能时从固相转换至液相的那些材料。实例可包括焊接系统与热剥离(TLO)系统。

[0028] 在某些实施方式中,释放系统可包含氧化硅。在具体实施方式中,通过将工件暴露于氧化条件能够形成该接合和释放系统。在一些实施方式中,通过添加氧化物,例如旋涂式玻璃(SOG)或其他旋涂式材料(例如,从Dow Corning可商购的XR-1541氢基倍半硅氧烷电子束旋涂式抗蚀剂),和/或通过等离子体增强化学气相沉淀(PECVD)技术形成的SiO<sub>2</sub>,可形成该接合和释放系统。

[0029] 在图1的处理的下一步骤中,施加能量以沿着分开区域分开110Ga<sub>N</sub>衬底,结果Ga<sub>N</sub>

材料的分出层112依然附接至释放层和可释放衬底。美国专利号6,013,563中公开了该分开过程的实例,通过引用将其全部内容结合在文中。

[0030] 在GaN分开之后,图1示出了为了建立高质量GaN生长的模板而执行的多个后续步骤。这些步骤包括:分出的GaN层的表面预处理114(例如,氧化物的形成)、分出的GaN层到永久性衬底118的接合116、以及最后利用释放层(例如,利用LLO处理120)移除可释放衬底,结果分出的GaN层的N面接合至永久性衬底。

[0031] 暴露Ga面并且Ga面可用于附加的高质量GaN材料在所需条件下的生长。例如,通过金属有机化学气相沉淀(MO-CVD)可以形成附加的GaN。这种附加厚度的GaN材料(具有或不具有伴随衬底和/或电介质材料)最终可以被搭载到更大的光电器件结构中(诸如,HB-LED等)。

[0032] 返回图1中所示的第三(分开)步骤,GaN膜的分开,导致贵重的GaN供体衬底可用于再利用,以建立用于高质量GaN生长的额外模板结构。通过执行额外的注入,然后,接合至可释放的衬底,能够实现此目的。

[0033] 然而,在该再利用能够适当地进行之前,可能需要首先回收GaN供体衬底,以使得其适合于预期处理。具体地,供体衬底的Ga面可以表现出诸如由之前分开步骤引起的表面粗糙、缺陷和/或非平面性等性质,从而使得其不合于立即注入和接合。

[0034] 图1的步骤130中一般地示出了供体衬底回收程序。现结合图2A-2G及图3A-3G描述回收方法的各实施方式。

[0035] 具体地,图2A-2G示出了根据一个实施方式的GaN衬底经历回收程序200的简化图。此处,图2A-2D概述了图1中的前三个步骤。

[0036] 具体地,图2A示出了GaN供体衬底102,包括通过例如离子注入而形成的分开区域104。形成分开区域可取决于诸如目标材料、目标材料的晶体取向、一种或多种注入粒子的性质、注入的剂量、能量及温度、以及注入方向等因素。该注入可以共享结合下列专利申请而详细描述的一个或多个特性,通过引用将其全部内容结合在本文中:美国专利申请号12/789,361;美国专利申请号12/730,113;美国专利申请号11/935,197;美国专利申请号11/936,582;美国专利申请号12/019,886;美国专利申请号12/244,687;美国专利申请号11/685,686;美国专利申请号11/784,524;美国专利申请号11/852,088。

[0037] 图2B示出了下一步骤,其中,将可释放衬底接合至GaN供体的Ga面。此处,为清晰起见,省去了可释放层。

[0038] 图2B示出了供体衬底与可释放衬底之间的接合表面不是精确共同扩展的。即,由于可释放衬底的侧面的斜角,边缘部102c(例如,通常宽度为约1mm)不接合至覆盖的可释放衬底。出于示出之目的,图2B中充分夸大了斜角的大小。

[0039] 相应地,在执行图2C中所示的分开步骤时,被移除的可释放衬底将被拆下的薄GaN层112带走,但是不带走供体的未与可释放衬底接触的边缘部。这使得残留的GaN材料230存在于供体衬底的边缘部处。图2D示出了该配置的立体图。

[0040] 残留的GaN材料保持在与原分开区域的深度对应的高度处。这建立了供体GaN衬底的大致非平面性。因为注入的穿透性深度取决于材料的厚度,所以该非平面性使得GaN供体衬底不适合于立即注入和再利用。

[0041] 而且,是GaN供体衬底的Ga面表现出非平面性。该Ga面表现出坚固的硬度(例如,~

430Gpa),从而使得其不适合于移除,除非在诸如研磨等相对精确的条件下。

[0042] 因此,其余的图2E-2G中所示的供体回收处理的具体实施方式,利用了专门在边缘部处执行的这种研磨处理。具体地,图2E示出了仅针对边缘部的环形研磨232,使由之前移除分开的GaN而产生的中央部234不受影响。通过识别边缘部的精确范围和/或性质(例如,厚度、粗糙度)的在前图像处理(例如,图2D中执行的),可以有助于该集中式的限制性的研磨。

[0043] 图2F示出了局部环形研磨的结果。移除了边缘部的高出的GaN材料。然而,所得到的边缘表面会表现出因环形粗研磨条件而产生的表面粗糙度236和/或延伸至衬底一定深度的缺陷238。

[0044] 常规地,将采用扩展且昂贵的表面处理过程(例如,抛光),移除因研磨而引起的表面粗糙度和/或缺陷。

[0045] 然而,在该供体回收实施方式中,限于供体衬底的边缘部的表面粗糙度/缺陷的持续存在是可接受的。这是因为涉及离子注入、接合以及分开处理(例如,图2A-2C)的后续供体再利用240,仅对GaN供体的中央部,而非边缘部进行注入。边缘部(现会包含降低晶体质量和器件性能的表面下缺陷)并不局限于后续转移的非处理区域。这是有助于降低回收过程的复杂性和成本的可接受折衷条件。

[0046] 应注意,在一些方面,可以简化如2A-2G中所示的处理流程。具体地,如图3A的可替代实施方式的处理流程300所示,在特定条件下,一个或多个间隙(gap,缺口)或空隙(viod,空洞)302可以存在于GaN供体衬底304的中央部。这些间隙或空隙可以影响分开区域中发生的分开的性质。

[0047] 图3B示出了将可释放衬底306接合至包括空隙的GaN供体。

[0048] 图3C示出了所产生的分开过程。如图2C中的实施方式一般,该分开使得未转移的材料308保留在GaN供体的边缘部处。

[0049] 而且,该第二实施方式示出了中央部中的空隙的存在也使得分开后,残留的未转移材料310保留在GaN供体的中央部中。

[0050] 不同于边缘区域中的残留材料GaN材料,中央区域中的残留GaN材料,经不起通过局部研磨而移除。这是由于难以将研磨机(通常是庞大的轮子)精确定位在中央衬底位置。

[0051] 而且,即使能够实现中央供体衬底部的高精度研磨,该研磨也将引起延伸至GaN材料一定深度的缺陷。如上所述,由研磨引起的该缺陷经得起仅经由冗长/昂贵的后处理步骤(例如,抛光)而移除。

[0052] 因此,图3D-3G示出了可替代的供体衬底回收程序。具体地,图3D中的可选图像处理步骤310,最初显示在供体衬底的边缘和中央区域处的残留GaN的精确位置。

[0053] 之后,在图3E中,对至少在供体衬底的边缘和中央处的残留GaN材料的位置施加能量320。在本实施方式中所施加的能量是被调谐至优选在注入峰值被吸收的激光能。所施加的这种能量的实例是532nm的倍频YAG调Q激光器或者355nm的三倍频YAG调Q激光器或者热灯。Li&al的“Structures and optical properties of-implanted GaN epi-layers”中描述了该H-注入吸收效果。使用532nm激光器在 $5-8 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$ 的质子剂量下出现超过 $30000 \text{cm}^{-1}$ 的吸收系数。该强吸收对比度允许激光在期望分开面处或附近选择性地移除未分开或部分分开的膜。已经发现,射束的调谐(例如,重复率、注量以及脉冲-脉冲重叠)在减少或消除对

未注入区域的损伤的同时,有效地移除了覆盖的未分开的膜。

[0054] 所施加的该能量的性质和/或量级,可以与之前用于沿着分开区实现分开以释放薄Ga<sub>N</sub>材料层的能量(例如,如图3C所示)相同或不同。

[0055] 图3E中所示的具体实施方式表示仅将能量具体施加给(中央、边缘)位置的剩余Ga<sub>N</sub>材料。通过(可选)的上游图像处理步骤,可以提供能量的该精确、目的性施加。

[0056] 然而,应注意,可替代的实施方式可以替换为以全域(而非局部)方式来施加能量320。例如,为了移除残留的Ga<sub>N</sub>材料,可以对Ga<sub>N</sub>供体衬底的表面全域性地施加能量(例如,通过扫描激光器或热灯)。

[0057] 无论其施加方式如何,计算图3E中与分开区下面的残留Ga<sub>N</sub>相互作用的能量,从而引起与Ga<sub>N</sub>供体衬底的分离。例如,在某些实施方式中,在分开区处吸收激光束形式的光学能量并且将光学能量转化成热形式,从而导致在该深度处的Ga<sub>N</sub>材料的分离。从诸如532nm(倍频YAG)或355nm(三倍频YAG)激光器等激光器中施加的能量束,可以适合于此目的。

[0058] 图3F中描述了所产生的残留Ga<sub>N</sub>部的分离。图3F还示出了能量施加的残留Ga<sub>N</sub>材料的分离,对Ga<sub>N</sub>供体衬底的中央和边缘区域的影响。具体地,与之前残留的Ga<sub>N</sub>材料对应的Ga<sub>N</sub>供体衬底表面位置,会表现出粗糙度322或其他特征。

[0059] 然而,不同于由于应用粗研磨(harsh grinding)技术而产生的广泛性缺陷,这些表面粗糙度/特征322没有深深地延伸至Ga<sub>N</sub>供体衬底中。确切地,如图3G所示,预期它们仅对供体衬底表面的微米部分产生影响。由此,通过应用与研磨过程中遭遇地那些相比明显较不严重的条件,可以移除该部分。这种精细处理324的实例可包括但不限于,化学-机械细抛光、等离子体暴露和/或湿化学暴露。

[0060] 由此,通过所描述的方式,在精细处理之后,施加与分开区相互作用的能量,可以导致供体衬底的回收,而不需要诉诸于粗研磨条件。这能够充分改善整个过程并且降低成本。

[0061] 图4是示出根据实施方式的衬底回收的过程400的简化流程图。在第一步骤402中,提供包括分开区和残留材料的衬底。

[0062] 在可选的第二步骤404中,执行衬底的表面的图像处理。

[0063] 在第三步骤406中,对衬底施加能量,以在分开区处将残留残留与衬底分离。在第四步骤408中,将衬底暴露于一个或多个精细处理技术。

[0064] 应注意,图2A-2G及图3A-3G中描述的衬底回收实施方式并不是相互排斥的。即,可以使用环形边缘研磨技术移除边缘区域处的残留Ga<sub>N</sub>材料,然后,利用施加的能量移除中央区域中的残留Ga<sub>N</sub>材料。可替代地,可以按照相反的顺序执行这些步骤。在这些实施方式中,研磨/能量施加步骤之间进行的图像处理,可以提供对残留Ga<sub>N</sub>材料的精确性质(例如,高度、粗糙度、尺度)及其移除条件的判断力。

[0065] 尽管上述描述集中于包含Ga<sub>N</sub>材料的供体衬底的回收,然而,这并不必需。可替代的实施方式的特征在于包括其他III/V组材料(包括但不限于GaAs)的供体衬底。根据某些实施方式,诸如GaAs等供体,可以进一步包括诸如蓝宝石等背衬衬底。

[0066] 尽管上述实施方式已经描述了包含Ga<sub>N</sub>的供体衬底的回收,然而,这并不必需。可替代的实施方式可以采用环形研磨和/或能量施加,以移除其他类型的未转移材料。该未转移

材料的实例可包括但不限于诸如硅、碳化硅、氮化铝、兰宝石等高硬度材料,以及其硬度通常要求粗研磨技术进行移除,之后进行长期抛光以移除研磨所造成的损伤的其他材料。

[0067] 并且,尽管上述实施方式已经描述了施加能量而回收其中分开区域已经存在的供体衬底(例如,中央供体衬底部中的层转移),然而,这也并不必需。某些实施方式可以专门建立下表面分开区域(例如,通过离子注入),之后,在分开区域处施加能量以制备另行需要研磨的衬底表面。

[0068] 即,根据实施方式的注入跟随能量施加,可以用作制备高硬度表面的常规粗研磨技术的替代方案。这种方法可以通过不仅避免研磨步骤自身,而且还可以避免通过广泛/长期的后研磨处理来移除研磨损伤,来提高产量。

[0069] 转向图1,该图中示出的具体实施方式导致GaN层的N面接合至永久性衬底,且被拆下的GaN层的Ga面暴露做进一步处理。这是因为Ga面通常被证实比N面更易于高质量GaN的生长。

[0070] 然而,其他实施方式是可行的。例如,一些应用(例如,大功率电子器件)可要求GaN材料从N面生长,而非从Ga面生长。出于所有之目的,通过引用将下列文献结合在文中:Xun Li等人的“Properties of GaN layers grown on N-face free-standing GaN substrates”,Journal of Crystal Growth 413,81-85 (2015);A.R.A.Zauner等人的“Homo-epitaxial growth on the N-face of GaN single crystals:the influence of the misorientation on the surface morphology”,Journal of Crystal Growth 240,14-21 (2002)。因此,一些实施方式的模板空白结构的特征在于具有暴露的N面,而非Ga面的GaN层。可替代地,当如图1所示的接合至最终衬底而非可释放转移衬底时,N面衬底组件可被用来制备Ga面最终衬底。

[0071] 1a.一种方法,包括:

[0072] 提供供体衬底,供体衬底包括残留材料与供体衬底的分开区域的剩余部之间的分开区域;

[0073] 施加与分开区域相互作用的能量并且将残留材料与供体衬底的剩余部分离;并且

[0074] 执行精细的处理,以移除供体衬底的分开区域处的粗糙度。

[0075] 2a.根据项1a所述的方法,其中,通过将粒子注入到供体衬底中而形成分开区域。

[0076] 3a.根据项1a所述的方法,其中,能量包括光学能量。

[0077] 4a.根据项3a所述的方法,其中,光学能量包括激光束。

[0078] 5a.根据项4a所述的方法,其中,激光束是扫描的。

[0079] 6a.根据项4a所述的方法,其中,激光束靶向残留材料。

[0080] 7a.根据项1a所述的方法,其中,精细处理包括抛光。

[0081] 8a.根据项1a所述的方法,其中,精细处理包括等离子体暴露。

[0082] 9a.根据项1a所述的方法,其中,精细处理包括湿化学暴露。

[0083] 10a.根据项1a所述的方法,进一步包括:执行供体衬底的图像处理,以在施加能量之前定位残留材料。

[0084] 11a.根据项10a所述的方法,其中,基于图像处理的结果施加能量。

[0085] 12a.根据项1a所述的方法,其中,能量与在中央部分开供体衬底以将层转移至另一衬底所施加的另一能量是同一类型。



[0086] 13a. 根据项1a所述的方法, 其中, 能量与在中央部分开供体衬底以将层转移至另一衬底所施加的另一能量是不同的类型。

[0087] 14a. 根据项1a所述的方法, 其中, 残留材料位于供体衬底的中央部中。

[0088] 15a. 根据项14a所述的方法, 其中:

[0089] 残留材料还位于供体衬底的边缘部中; 并且

[0090] 方法进一步包括: 在边缘部处执行环形研磨。

[0091] 16a. 根据项1a所述的方法, 其中:

[0092] 供体衬底包含Ga<sub>N</sub>; 并且

[0093] 对供体衬底的Ga面施加能量。

[0094] 17a. 根据项1a所述的方法, 其中, 对供体衬底全域性地施加能量。

[0095] 18a. 根据项1a所述的方法, 其中,

[0096] 供体衬底包含Ga<sub>N</sub>; 并且

[0097] 对供体衬底的N面施加能量。

[0098] 19a. 根据项1a所述的方法, 其中, 对供体衬底全域性地施加能量。

[0099] 20a. 根据项1a所述的方法, 其中, 供体衬底包含GaAs。

[0100] 用于制造电子器件的常规技术, 会涉及薄材料层的形成和操纵。该操纵的一个实例是将薄材料层从第一(供体)衬底转移至第二(目标)衬底。通过将供体衬底的面抵靠目标衬底的面放置, 然后沿着形成于供体衬底中的表面下的分开面分开薄材料层, 可以实现此操纵。

[0101] 供体衬底可包含制造昂贵的贵重、高质量的晶体材料并且可包括已处理成面的器件。因此, 在该层转移处理之后, 会寻求回收供体衬底, 以后续使用在另外的层转移活动中。相应地, 本领域中存在对用于处理供体衬底以允许其回收用于后续层转移的方法和装置的需求。还存在机械和热稳定处理供体衬底以允许其经受高功率注入处理的需求。

[0102] 根据某些实施方式, 在层转移处理中, 通过附接背衬衬底使供体衬底稳定。当在高功率注入处理中使用时, 组件(供体与背衬衬底)具有增强的机械稳定性和散热能力, 以允许通过对流或导热机构优化背侧热提取。在分开供体衬底以将薄材料层释放至目标时, 背衬衬底防止不受控制地内部应力释放, 导致供体衬底发生屈曲/破裂。内部应力可能由于诸如分开区域形成、接合至目标、和/或分开过程自身等处理而蓄积在供体衬底中, 且不受控制的屈曲/破裂潜在地妨碍了后续层转移处理中对供体衬底的回收/再利用。在某些实施方式中, 背衬衬底可以表现出与供体衬底的热膨胀系数大致匹配或互补的热膨胀系数(CTE)。在一些实施方式中, 背衬结构可以包括诸如唇缘等特征, 从而抑制供体衬底的横向膨胀(例如, 响应于热能量的施加)并且允许将组件机械地固定在诸如抛光或注入工具等装备上。

[0103] 将薄材料层从供体衬底转移至目标的过程, 可以涉及供体内的应力的形成。例如, 某些实施方式可以采用将供体衬底接合至目标, 之后, 沿着在供体衬底的一深度处形成的分开区域进行受控分开。

[0104] 由于将粒子(例如, 氢离子)注入到供体衬底的面中而产生该分开区域。产生的受控分开可要求对供体衬底施加能量, 以沿着分开区域发起和/或传播分开, 从而使得薄转移材料膜依然接合至目标。

[0105] 供体内的应力可以产生于各种源。一种可能的应力源可以是分开区域的形成。具

体地,粒子到供体衬底中的高能注入建立了与周围材料不同的表面下分开区域。这可以在表面与表面下位置处产生应力。

[0106] 此外,应注意,分开区域本身不会在均一条件下形成,从而产生内部应力。例如,分开区域的边缘/初始部分可以接收比分开区域的其他部分更高剂量的注入粒子,从而导致供体衬底内另外的应力。

[0107] 供体衬底中的另一可能应力源可以是接合过程。具体地,可以将供体衬底暴露于诸如高温、低压和/或外部能量(例如,等离子体)等条件下,以实现供体衬底的注入面与目标的接合。这些条件能够使得在供体衬底内建立内部应力。

[0108] 供体衬底内的又一些其他可能的应力源,可以产生于分开过程本身。具体地,可以对供体施加一种或多种形式的能量,以沿着分开区域释放薄层。该能量的实例可包括但不限于热能(例如,电子束)、光学能(例如,激光)、气动能(例如,压缩气喷射)、液压能(例如,压缩水喷射)、以及机械能(例如,刀片的施加)。

[0109] 而且,某些受控分开过程可以涉及建立分开锋面的初始阶段、之后致使分开锋面迁移至整个衬底的传播阶段,最终导致薄材料层从供体衬底完全脱离。在该实施方式中,由于随后用来传播已经形成的分开锋面,可以在分开初始时(以相同或不同的量级)施加相同(或不同)类型的能量。

[0110] 最后,应注意,可以在衬底的某些部分与其他部分中不同地运行分开过程。例如,目标衬底中存在的斜角可以排除与供体衬底的边缘区域接触。在分开时,这能够导致供体的边缘部依然接合至供体,而非被转移至目标。与分开相关联的这种及其他现象,能够在供体衬底内部产生应力。

[0111] 在分开过程之后,需要回收供体衬底的剩余部,后续供转移额外薄膜时再利用。然而,由于上述一个或多个过程(例如,分开区域形成、接合、分开初始/传播)而在供体衬底内产生的内部应力,能够影响有效的回收。

[0112] 具体地,衬底内积聚的内部应力能够缓解供体材料的不受控制的粗糙化、屈曲或甚至破裂。这进而能够使得供体衬底不适合于将来的使用。

[0113] 因此,为了提供应力缓解与稳定性,实施方式提议将背衬衬底附接至供体衬底。图5A-5F是示出该过程的实施方式的流程图的简化横截面图。

[0114] 图5A示出了供体衬底502。在该初始状态下,供体衬底是相对匀称的并且基本不受可能产生内部应力的之前外部力的影响。

[0115] 图5B示出了将背衬衬底504附接至供体衬底。在某些实施方式中,利用可逆处理可以实现该附接,其中,预测最终将在某一将来的点从供体释放背衬衬底(例如,在若干薄层转移之后或在每次转移之后)。该可逆处理的实例可包括但不限于可逆的粘合、焊接以及诸如激光剥离(LL0)或热剥离(TL0)等剥离系统。

[0116] 在可替代的实施方式中,在不可逆的条件下可以实现背衬衬底与供体的附接。预测将不从供体释放背衬衬底。该一般不可逆处理的实例可包括但不限于永久性粘合、热压缩接合、瞬态液相(TLP)接合以及基于熔块料的陶瓷接合。

[0117] 图5C示出了后续步骤,其中,分开区域506形成在供体衬底中。如之前提及的,通过将高能粒子508注入到供体衬底的未附接至背衬衬底的面502a中,可以形成该分开区域。

[0118] 在真空下执行的注入过程中,供体衬底/背衬衬底组件能够允许以更低的温度漂

移进行更高功率密度的注入。通过使允许更多冷却气背压和/或机械压的较硬组件施加于背侧进行散热而获得这些益处。例如,通过150keV、60mA光子束扫描的超过4000cm<sup>2</sup>的约100件2英寸的Ga<sub>2</sub>N衬底时的3x10<sup>17</sup>H<sup>+</sup>/cm<sup>2</sup>剂量,面功率密度将为约2.25W/cm<sup>2</sup>。如果从组件植入冷却板期望不超过40℃温度的温度上升,则需要0.056W/cm<sup>2</sup>-K的热导率。假设中央处不超过25μm的机械弯曲,则需要10托的背侧压力(参见图9)。这转而将确定组件的所需机械硬度。对于一个面上的均一压力下的圆盘并且假设组件构成具有类似杨氏模数的单一机械组件,则最大挠度等式如下:

[0119] 中央间隙=0.696pr<sup>4</sup>/Et<sup>3</sup>(1)

[0120] 其中,p=压力,以Pa为单位,r=晶片半径,E=弹力的杨氏模数,t=组件厚度。

[0121] 对于该配置,所需厚度小于Ga<sub>2</sub>N衬底厚度(即,通常为400-500μm)。结论在于,对于该应用,易碎的Ga<sub>2</sub>N衬底在生产环境中的回收和一般处理,将指定所需的背衬板厚度。由此,1mm的Mo板将足以满足上述注入条件。直径稍大的背衬板的将允许边缘夹持组件,而不与2”(50.8mm)Ga<sub>2</sub>N衬底接触。

[0122] 对于使用入射在300mm的硅衬底上的高功率注入波束的深注入,最小的背衬板厚度能够基本上避免背侧气体应用过程中发生过度的板弯曲。作为实例,在4300mm的硅晶片上以60mA进行深度(750keV)光子注入,将在4000cm<sup>2</sup>面积上施加45kW或约11.2W/cm<sup>2</sup>的热负荷。假设温度上升不超过100℃,则需要0.112W/cm<sup>2</sup>-K的热导率。根据图9,需要背压近似20T并且间隙不能超过约20μm。假设将硅背衬板添加至300mm的晶片(E<sub>Si</sub>=130GPa),板组件厚度应为7.1mm的数量级。因此,背衬板将具有6.4mm(SEMI规格,300mm衬底厚度为约775μm)的数量级。通过选择比300mm硅衬底略微更大的背衬板直径,能够使得边缘夹持更容易。对于其中后期注入过程不能适应背衬板组件的特定应用,可以优选使用允许在注入之后组件分离的可逆接合,完成附接300mm衬底。

[0123] 图5D示出了下一步骤,其中,将注入面502a接合至目标衬底510。该接合能够采用各种形式,包括使用下面结合图7进一步描述的释放层。

[0124] 图5E示出了分开过程。此处,所施加的能量与分开区域相互作用,导致供体衬底材料的分开511。该分开将薄膜供体材料512转移至目标衬底的表面。

[0125] 图5F示出了供体衬底的后期分开状态。具体地,背衬衬底保持附接,提供物理支撑以抵制供体衬底发生屈曲/破裂,以释放其中积聚的内部应力。尽管供体衬底的暴露面可以表现出某种粗糙度514,然而,该粗糙度没有上升到使得供体衬底不适合于回收的屈曲或破裂水平。

[0126] 由背衬衬底支撑的供体衬底现可用于回收过程。该回收的实例可包括但不限于研磨、抛光、等离子体暴露、湿化学暴露和/或热暴露。

[0127] 支撑供体衬底的背衬衬底的存在,可以在该回收处理过程中进一步用于稳定供体衬底。即,制备供后续注入的供体衬底表面而施加能量所产生的应力,可通过背衬衬底防止产生屈曲、破裂等的不受控制的应力释放来解决。

[0128] 应进一步注意,背衬衬底应与发生回收时的暴露条件兼容。例如,如果回收涉及等离子体暴露,则不鼓励使用某些种类的金属用于背衬衬底,以避免电弧。在另一实例中,如果回收涉及蚀刻条件,则背衬衬底不应包括因反复暴露于蚀刻条件而易于劣化的材料,以至于其不能执行其稳定性功能。

[0129] 在大多数应用中,背衬衬底可以包括与感兴趣的温度范围上的热膨胀系数匹配的材料。这将限制变形和温度感应应力,而它们能够降低产量及诸如表面平坦度等可实现规格。诸如钼、钨、氮化铝、多铝红柱石及CTE匹配玻璃等材料,可满足用作背衬板材料的标准。除机械平坦度、CTE匹配与硬度之外,使得背衬板的直径略微更大还能够具有实际的益处。在一些应用中,这还可以有利于选择导电的材料。为了确保背衬板组件用于注入或抛光操作而不触摸GaN表面,背衬材料的从GaN边缘延伸出的唇缘将允许机械夹持。对于大多数的应用,毫米级的唇缘足够了。

[0130] 现结合异质结构层与3D-IC半导体器件的制造,给出供体的背衬衬底的使用的一个实例。在一些更高性能的数字应用中,将InGaAs层转移在硅衬底上,以形成3D单片集成组件。该应用中的注入能量可以为50-300keV的数量级。此外,在一些3D-IC堆叠过程中,使用300keV至1MeV以及甚至2MeV的高能光子注入,定位器件层下方的分开面阱,以允许将器件层分开并且转移至获取多个层而形成3D-IC结构的目标衬底上。对于两项应用,使用背衬衬底将允许高功率注入与有效制造,而不使供体衬底过热。

[0131] 现结合光电器件的制造,给出用于供体的背衬衬底的使用的一个实例。具体地,半导体材料在例如逻辑器件、太阳能电池的形成以及日益增加的照明中具有多种用途。

[0132] 可用于照明的一类半导体器件是高亮度高发光二极管(HB-LED)。与传统的白炽或甚至荧光照明技术相比,HB-LED在功耗降低和可靠性方面具有明显的优势。

[0133] 诸如HB-LED等光电器件,可以依赖于表现出半导体性质的材料,包括但不限于各种程度的晶体有序中可获得的诸如氮化镓(GaN)等III/V类材料。然而,这些材料通常难以制造。

[0134] 因此,图6示出了包括附接至背衬衬底604的供体衬底602的衬底组合600的简化例。供体衬底602包括适合于制造HB-LED器件的高质量GaN材料。

[0135] 背衬衬底604包括与供体衬底的高质量GaN材料兼容的材料。在某些实施方式中,背衬衬底可以表现出与供体衬底的热膨胀系数大致匹配或互补的热膨胀系数(CTE)。

[0136] 具体地,背衬衬底可以表现出用于适应和/或缓解由于经历各个环境中执行的一个或多个回收过程而在供体衬底内产生的内部应力的性质。该回收过程的实例可包括但不限于研磨、抛光、等离子体或离子束辅助蚀刻、湿化学、热、真空、注入等。

[0137] 根据某些实施方式,背衬结构可以包括诸如唇缘606等特征。唇缘特征能够用于将供体/背衬衬底组件保持在压板或保持件上,而不与供体衬底的正面接触或覆盖供体衬底的正面。背衬结构还具有选择为满足比注入或回收过程所要求的最小厚度大的厚度。

[0138] 于2015年6月19日提交的美国临时专利申请号62/181,947(“该‘947临时申请”)和于2016年6月17日提交的美国非临时专利申请号15/186,184中描述了用于制造适合于高质量GaN生长的模板的可形方法的实例,出于所有之目的,通过引用将其全部内容结合在此。图7示出了形成提供一模板的永久性衬底的一个制备处理700的简化图,该模板用于光电应用的高质量GaN的后续生长。

[0139] 在该实例中,供体衬底702包含高质量的GaN材料。背衬衬底703附接至供体衬底。

[0140] 分开区域704位于供体衬底的下表面区域。例如,通过诸如氢离子等粒子到GaN供体衬底的一个面的高能注入705,可以形成该分开区域。

[0141] 此处,应注意,GaN供体衬底的晶体结构导致其具有两个截然不同的面:Ga面702a

和N面702b。图7A是示出GaN衬底的内部结构的简化图，示出了Ga面和N面。

[0142] 在图7的过程的下一步骤中，将GaN衬底的注入Ga面接合至承载释放层708的可释放衬底706。可释放衬底的材料可以选择为使得其热膨胀系数 (CTE) 与GaN的热膨胀系数大致匹配。如之后下面详细讨论的，可释放衬底的材料还可以选择为对作为激光剥离 (LLO) 过程的一部分的入射激光透明。结合这些所需性质，可以使用包括玻璃的可释放衬底。

[0143] 释放层可以包括随后能够在受控制的条件下进行分离的各种材料。如‘947临时申请中描述的，候选的可释放材料可包括在暴露于所选择范围内的热能时经历从固相至液相的转换的材料。实例可包括焊接系统以及热剥离 (TLO) 系统。

[0144] 在某些实施方式中，释放系统可以包括氧化硅。在具体实施方式中，通过将工件暴露于氧化条件能够形成该接合和释放系统。在一些实施方式中，通过添加氧化物，例如旋涂式剥离 (SOG) 或其他旋涂式材料 (例如，从Dow Corning可商购的XR-1541氨基倍半硅氧烷电子束旋涂式抗蚀剂)、和/或通过喷射或等离子体增强化学气相沉积 (PECVD) 技术形成的 $\text{SiO}_2$ ，可以形成该接合和释放系统。

[0145] 在图7的过程的下一步骤中，施加能量，以使GaN衬底沿着分开区分开710，从而产生依然附接至释放层与可释放衬底的分离的GaN材料层712。美国专利号6,013,563中公开了该分开过程的实例，通过引用将其全部内容结合在此。

[0146] 在GaN分开之后，图7示出了为了建立用于高质量的GaN生长的模板时执行的多个后续步骤。这些步骤包括分离的GaN层的表面预处理714 (例如，氧化物的形状)、分离的GaN层到永久性衬底718的接合716、以及最终利用释放层 (例如，利用LLO过程720) 移除可释放衬底，以致使分离的GaN层的N面接合至永久性衬底。

[0147] 暴露Ga面并且Ga面可用于附加的高质量GaN材料在所需条件下的生长。例如，通过金属有机化学气相沉积 (MO-CVD) 可以形成附加的GaN。该附加厚度的GaN材料 (具有或不具有伴随的衬底和/或电介质材料) 最终可以被整合到更大的光电器件结构 (诸如HB-LED等) 中。

[0148] 返回至图7中所示的第三 (分开) 步骤，GaN膜的分离导致包括高质量的GaN材料的贵重GaN供体衬底，可用于再利用，以建立用于附加的高质量GaN的生长的附加模板结构。供体衬底能够暴露于附加的注入，然后，接合至另一可释放的衬底。

[0149] 然而，在能够适当地进行该再利用之前，首先，需要回收GaN供体衬底，以使得其适合于目的处理。具体地，供体衬底的Ga面可以表现出诸如由之前分开步骤产生的表面粗糙度、缺陷、和/或非平面性等性质，使得其不适合于立即注入和接合。

[0150] 相应地，使供体衬底进行回收可以允许其再利用。供体衬底回收程序可以包括暴露于下列一种或多种环境：研磨、抛光、等离子体或离子束辅助蚀刻、湿化学、热、真空等。

[0151] 图8是示出根据实施方式的过程800的简化流程图。在第一步骤802中，提供供体衬底。

[0152] 在第二步骤804中，将背衬衬底附接至供体衬底。在第三步骤806中，将附接至背衬衬底的供体衬底暴露于产生内部应力的条件。背衬衬底的存在，用于在这些条件下稳定处理供体衬底，由此允许结合后续处理回收供体衬底。

[0153] 图8的步骤808中示出了该回收。如环路所示，回收进而跟随在供体衬底内产生内部应力的处理 (例如，注入、接合、分开等)。

[0154] 当诸如研磨、抛光以及CMP等机械处理用于回收时,供体组件(背衬与供体衬底)需要满足平坦度和硬度要求。根据通过之前各处理产生的应力,供体衬底可以表现出过度弯曲和翘曲,导致供体表面的不均匀地回收。在附接最小硬度的背衬衬底之后,使供体衬底的平坦度稳定并且能够通过满足表面规格的方式回收供体表面。作为实例,使用有限的元素分析建模470um厚度的2"直径GaN衬底。给出GaN衬底有74um的初始弯曲值(主面上中央至边缘的弯曲)。该弯曲水平代表从顶表面向GaN衬底内延伸5um的近似700Mpa的应力水平。这表示通过回收移除的GaN衬底的应力状态。附接背衬衬底,能够允许均匀地搭接、抛光以及CMP处理通过将弯曲值降低至大约与目标层移除值(在这种情况下,为约5um)相同的数量级而移除该应力层。当接合至3mm的Mo背衬衬底时,弯曲从74um减少至3.9um。5mm的Mo背衬衬底将弯曲减少至1.6um。该量级弯曲的减少,将使得回收过程均匀并且可预测。

[0155] 返回图7,该图中示出的具体实施方式导致GaN层的N面接合至永久性衬底,且暴露拆下的GaN层的Ga面做进一步处理。这是因为Ga面传统被证实具有比N面更易于高质量的GaN的生长。

[0156] 然而,其他实施方式是可行的。例如,一些应用(例如,大功率电子器件)可要求GaN材料从N面生长,而非从Ga面生长。出于所有之目的,通过引用将下列文献结合在文中:Xun Li等人的“Properties of GaN layers grown on N-face free-standing GaN substrates”,Journal of Crystal Growth 413,81-85 (2015);A.R.A.Zauner等人的“Homo-epitaxial growth on the N-face of GaN single crystals:the influence of the misorientation on the surface morphology”,Journal of Crystal Growth 240,14-21 (2002)。因此,一些实施方式的模板空白结构的特征在于具有暴露的N面,而非Ga面的GaN层。可替代地,当如图6所示的接合至最终衬底而非可释放转移衬底时,N面衬底组件可被用来制备Ga面最终衬底。

[0157] 具体地,该实施方式可以易于使用背衬衬底使供体衬底在分开之后稳定。具体地,与Ga面相比较,GaN晶体的N面更易于起化学反应。相应地,背衬衬底的存在,可以用于使得组件平坦化并且减少表面由于CMP过程产生的高面积弯曲和翘曲而发生不必要的增强蚀刻。

[0158] 尽管上述讨论集中于在GaN转移处理中使用背衬衬底,然而,实施方式并不局限于该解决方案。某些实施方式可以采用背衬衬底用于涉及诸如GaAs等不同族III/V材料的制备处理。在具体实施方式中,蓝宝石具体可以适合于用作从供体转移GaAs材料时的背衬衬底。

[0159] 1b.一种方法,包括:

[0160] 提供包括第一面和第二面的供体衬底;

[0161] 将第一面附接至背衬衬底;

[0162] 对供体衬底进行处理,以产生内部应力;

[0163] 将第二面接合至目标衬底;

[0164] 在分开区域中分开供体衬底,以将材料层转移至目标衬底,且使供体衬底的剩余材料保持附接至背衬衬底;并且

[0165] 在供体衬底的第一面保持附接至背衬衬底的同时,回收剩余材料。

[0166] 2b.根据项1b所述的方法,其中,通过将粒子注入到附接至背衬衬底的供体衬底中

而形成分开区域,并且因注入而产生内部应力。

[0167] 3b. 根据项1b所述的方法,其中,背衬衬底表现出与供体衬底的热膨胀系数相当的热膨胀系数。

[0168] 4b. 根据项1b所述的方法,其中,包括接合至背衬衬底的供体衬底的组件有助于注入过程、分开或回收。

[0169] 5b. 根据项1b所述的方法,其中,背衬衬底夹住供体衬底的边缘,以抑制供体衬底膨胀。

[0170] 6b. 根据项1b所述的方法,其中,回收包括热暴露。

[0171] 7b. 根据项1b所述的方法,其中,回收包括化学暴露。

[0172] 8b. 根据项7b所述的方法,其中,化学暴露包括蚀刻。

[0173] 9b. 根据项6b所述的方法,其中,化学暴露包括化学机械抛光。

[0174] 10b. 根据项1b所述的方法,其中,回收包括研磨。

[0175] 11b. 根据项1b所述的方法,其中,回收包括等离子体暴露。

[0176] 12b. 根据项1b所述的方法,其中,供体衬底包括Ga<sub>N</sub>。

[0177] 13b. 根据项12b所述的方法,其中,第一面包括Ga<sub>N</sub>供体衬底的Ga面。

[0178] 14b. 根据项12b所述的方法,其中,第一面包括Ga<sub>N</sub>供体衬底的N面。

[0179] 15b. 根据项1b所述的方法,其中,背衬衬底包括唇缘(lip)。

[0180] 16b. 根据项1b所述的方法,其中,供体衬底包括GaAs。

[0181] 尽管上面是具体实施方式的全部描述,然而,可以使用各种改造、可替代的构造以及等同物。尽管使用所选择的步骤顺序描述了上述内容,然而,可以使用所描述的步骤中的任意元素以及其他步骤的任意组合。此外,根据实施方式,可以对某些的步骤进行组合和/或排除某些步骤。进一步地,能够使用共同注入的氦离子与氢离子或氩离子与氢离子替代氢的粒子,以允许形成根据可替代实施方式的具有改进剂量和/或分开性质的分开区域。又进一步地,通过扩散过程而非注入过程能够引入粒子。当然,能够存在其他变形、改造以及替代。因此,上述描述及例证不应被视为限制由所附权利要求限定的本发明的范围。

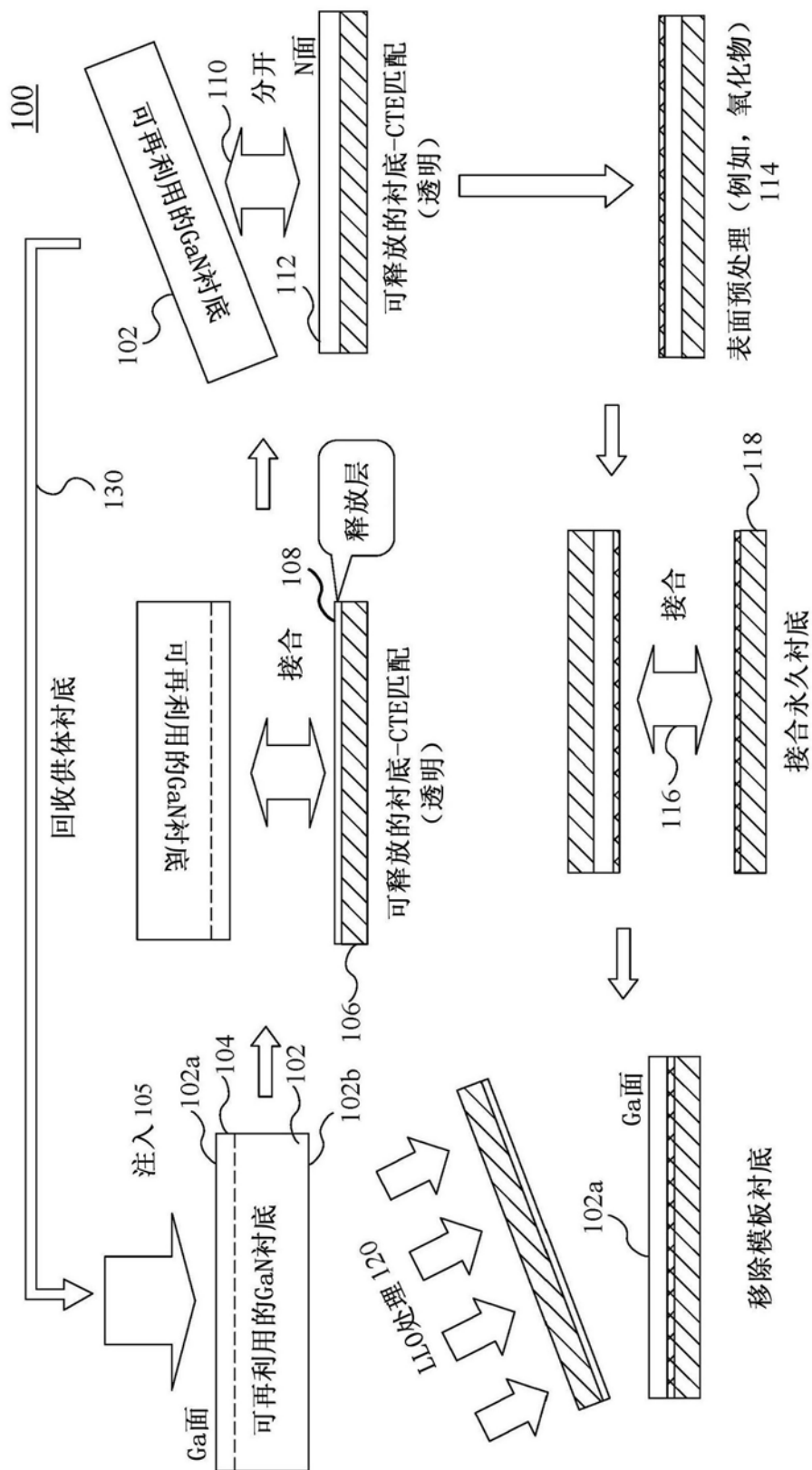


图1



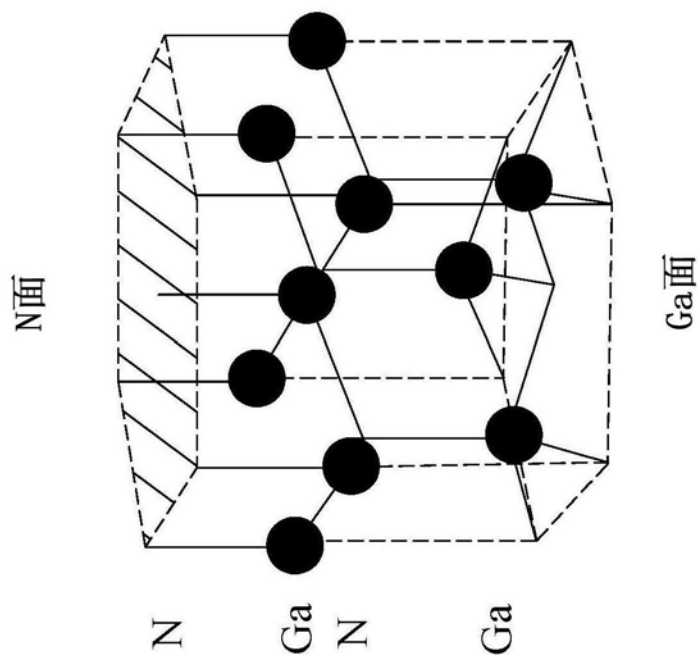


图1A



图2A

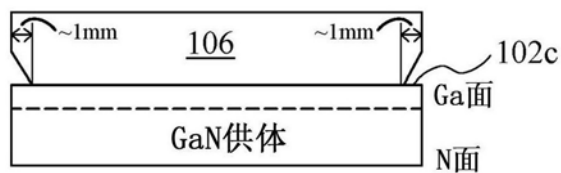


图2B

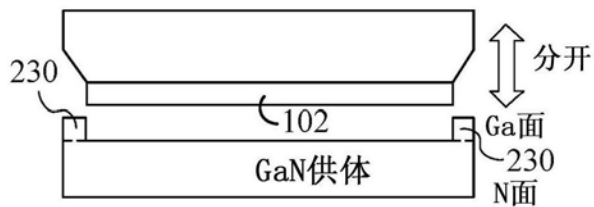


图2C

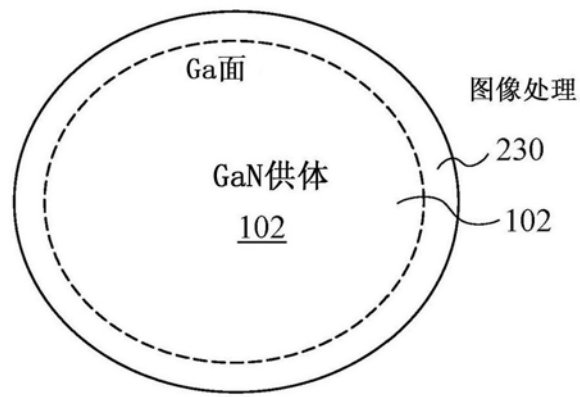


图2D

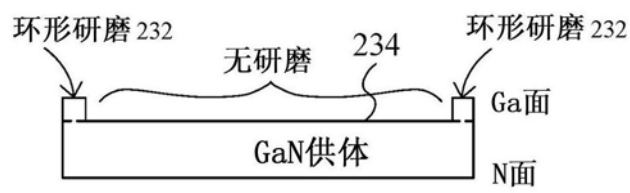


图2E



图2F

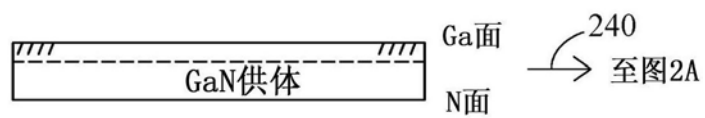


图2G

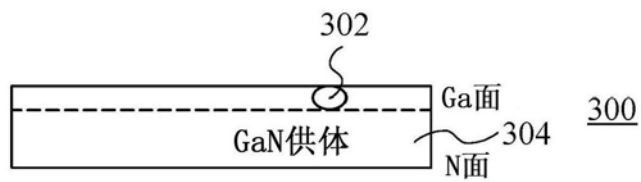


图3A

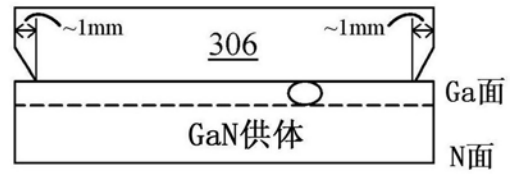


图3B



图3C

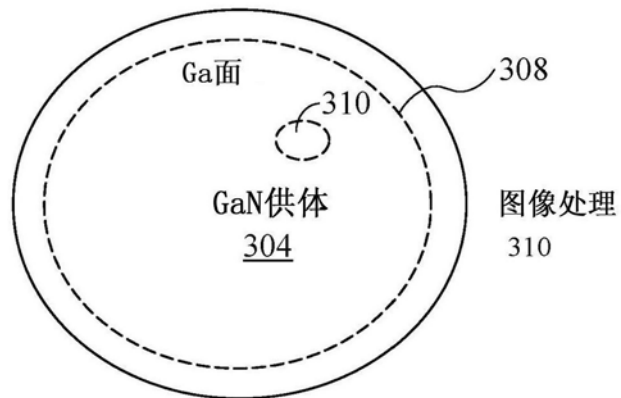


图3D

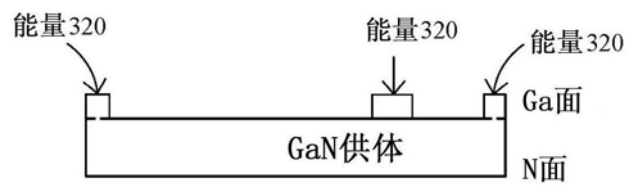


图3E

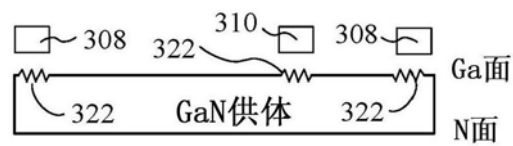


图3F

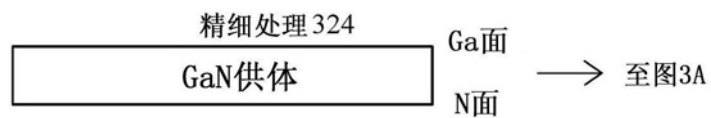


图3G

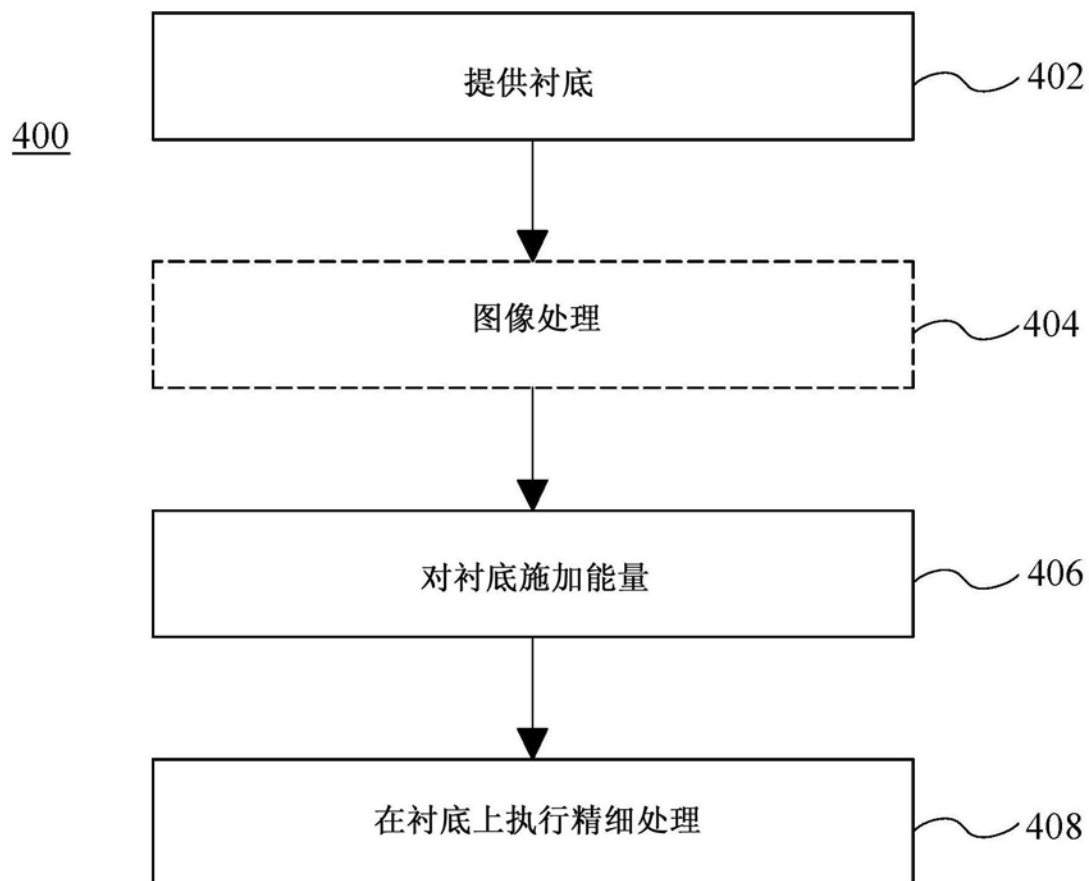


图4

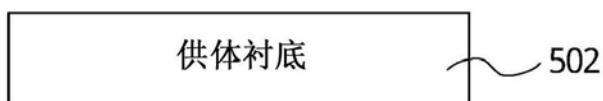


图5A

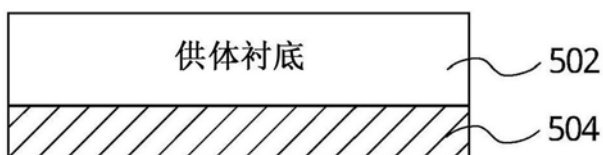


图5B

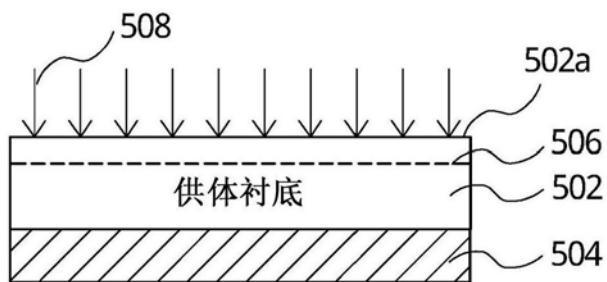


图5C

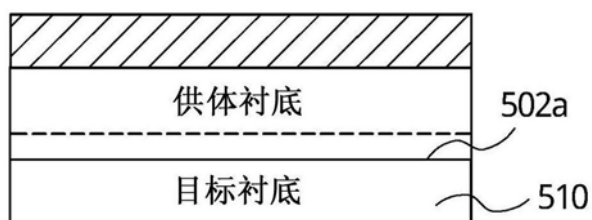


图5D

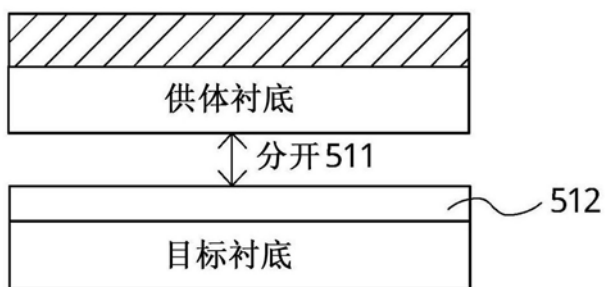


图5E



图5F

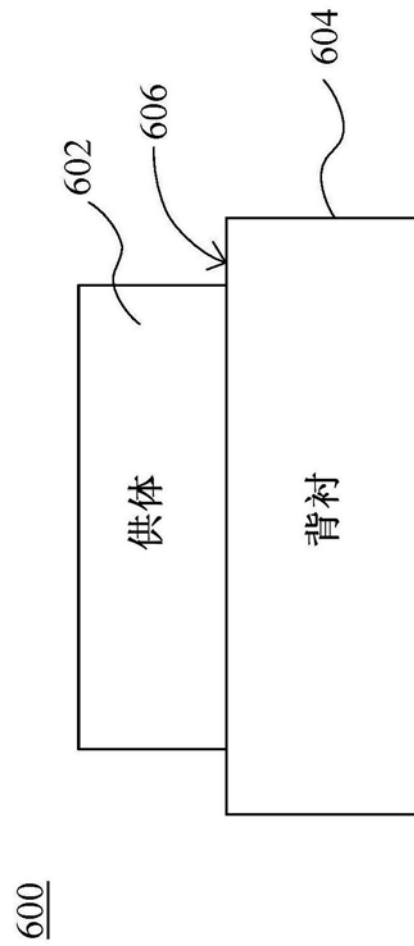


图6

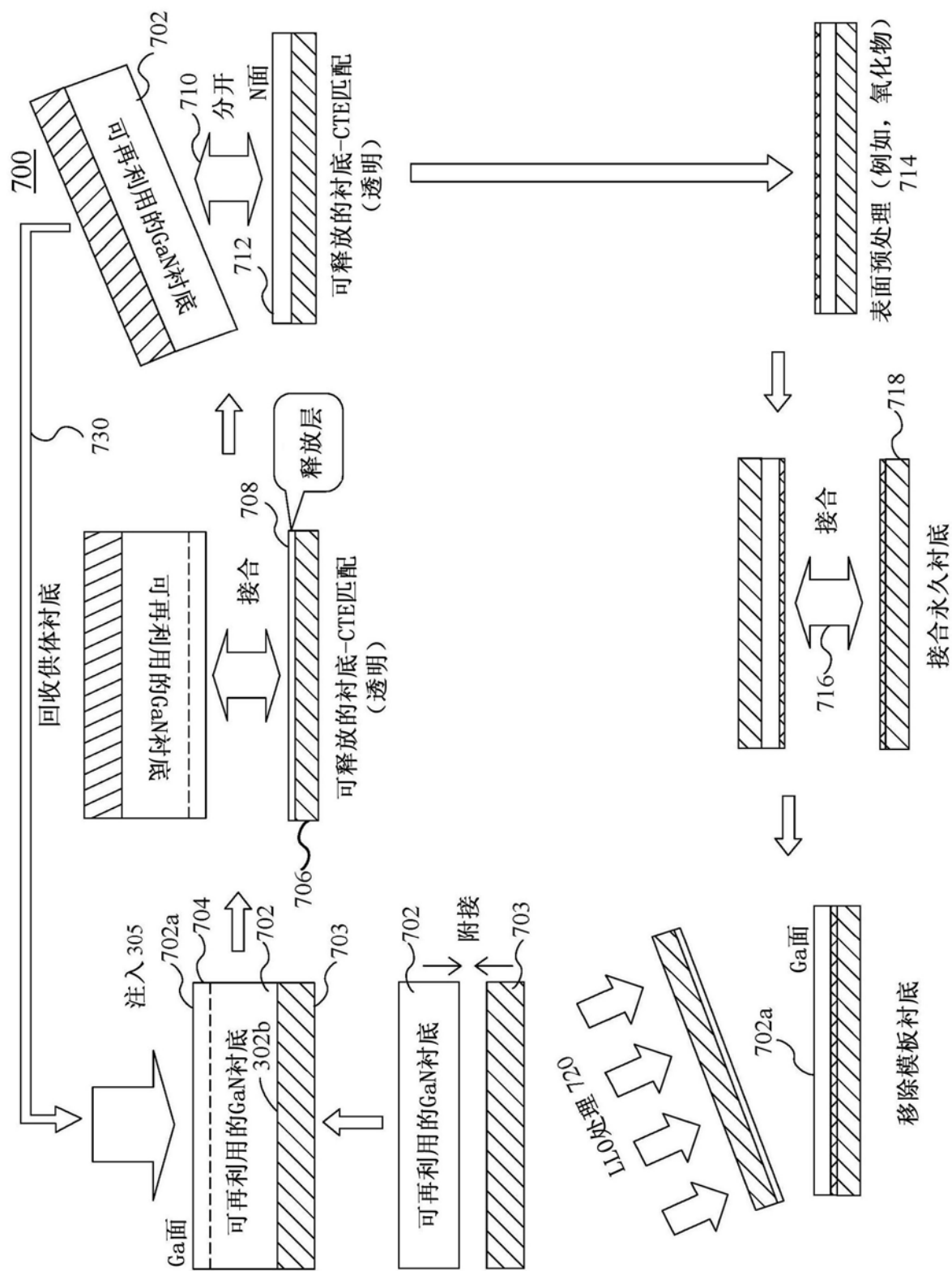


图7

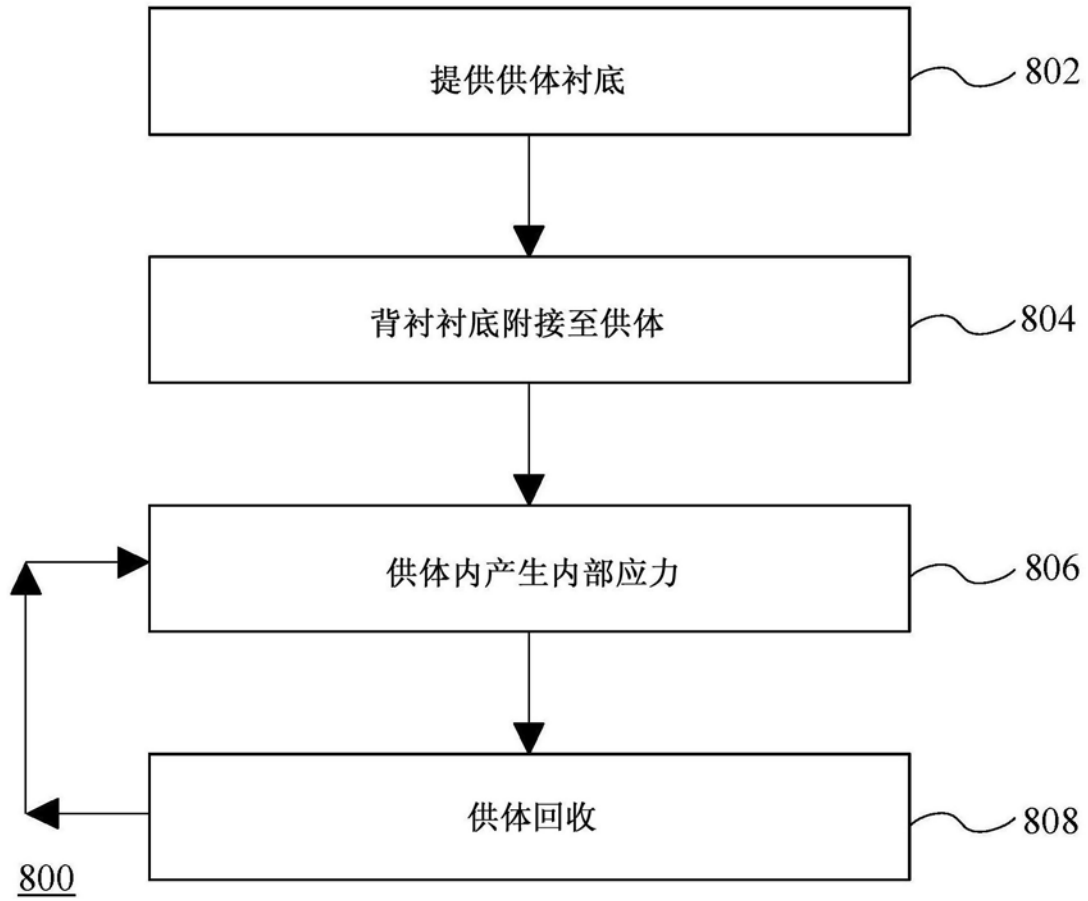


图8



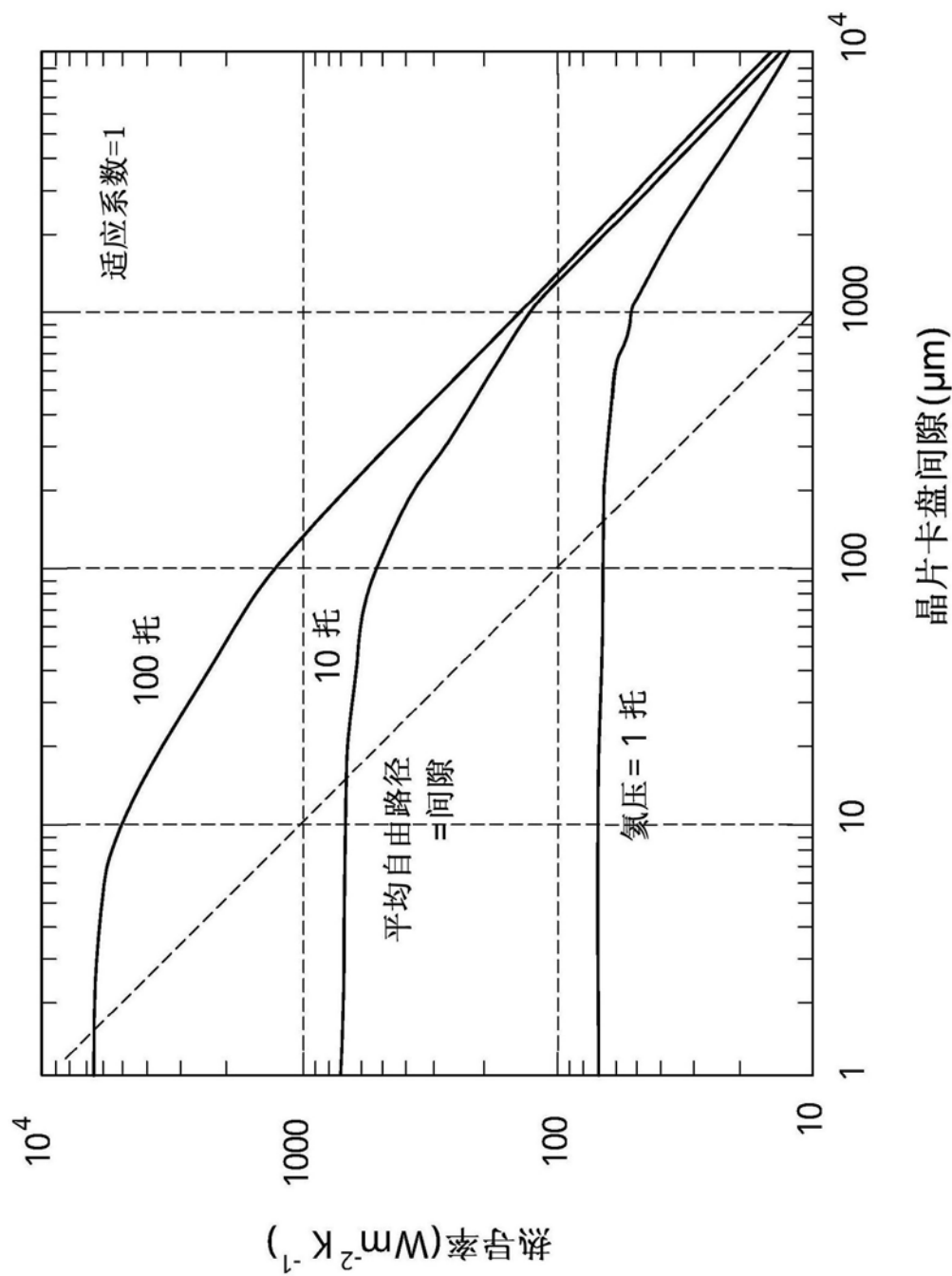


图9