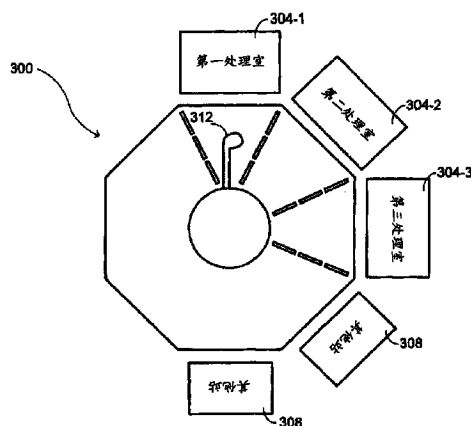




(45) 授权公告日 2016.01.20



1. 一种处理基材以形成复合氮化物半导体结构的方法,包括:

在放置在第一处理室中的基材上沉积第一层,所述第一层包含氮和第一 III 族元素;

在所述基材上沉积第一层之前将由氯气构成的清洗用的前驱气体输送至所述第一处理室,其中沉积第一层包括通过气体分配盘将 III 族元素前驱物和氮前驱物输送至所述基材;

在第二处理室中在所述第一层上沉积第二层,其中所述第二层包含氮和第二 III 族元素;

使用照灯加热器加热放置在所述第二处理室中的所述基材;以及

将包含氯气的清洁前驱气体输送至放置在所述第二处理室中的气体分配盘。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,还包括:

经由放置在所述第一处理室中的所述气体分配盘分散从所述清洗用的前驱气体产生的等离子体物种。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其特征在于,所述等离子物种由远程微波等离子体系统产生。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,沉积第一层还包括:

通过所述气体分配盘使第一前驱物气体流入第一处理室,所述第一前驱物气体包含含镓前驱物,含镓前驱物和含铝前驱物,或者含镓前驱物和含铟前驱物;以及

通过所述气体分配盘使氨气流入所述第一处理室。

5. 如权利要求 1 所述的方法,其特征在于,还包括:

加热所述第一处理室的一个或多个壁以及放置在所述第一处理室中的所述气体分配盘,所述加热是通过经由所述室的所述壁中的通道以及形成于所述气体分配盘中的热交换通道循环热交换液体来进行的。

III 族复合氮化物半导体结构的外延生长

[0001] 本申请是提交于 2007 年 4 月 11 日,申请号为 200780000365.2,题为“复合氮化物半导体结构的外延生长”的专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明是有关于 III 族复合氮化物半导体结构的外延生长。

背景技术

[0003] 发光二极管(LED)的沿革有时描绘成“爬升光谱(crawl up the spectrum)”。这是因首次商业化的 LED 产生光谱中红外线部分的光线,接着发展出在砷化镓(GaAs)基材上使用磷化砷镓(GaAsP)的红光 LED。接着为效率较高的磷化镓(GaP)LED,所述磷化镓(GaP)LED 可允许同时制造较亮的红光 LED 和橘光 LED。改进 GaP LED 后则允许发展出绿光 LED,所述绿光 LED 采用双 GaP 芯片(一个芯片为红光,另一芯片为绿光)来产生黄光。利用磷化砷铝镓(GaAlAsP)材料和磷化铝镓铟(InGaAlP)材料可进一步增进此光谱部分的效率。

[0004] 因发射光波长较短的 LED 可提供宽的光谱范围,又因制造发射光波长较短的二极管可增加诸如光盘只读存储器(CD-ROM)等光学装置的信息储存量,故一般倾向朝着制造可提供逐渐较短波长光线的 LED 发展。借着基于氮化物(nitride-based)的 LED 的发展,尤其是使用氮化镓(GaN)的 LED 的发展,可大量制造光谱中蓝光、紫光、和紫外光部分的 LED。尽管先前已使用碳化硅(SiC)材料成功制造出蓝光 LED,然此类装置的结构具有间接能隙,因而发光性不佳。

[0005] 虽然数十年来已知使用 GaN 可在光谱中的蓝光区域产生发光,但实际制造上仍有许多障碍。障碍包括缺少合适的基材来生长 GaN 结构于其上、GaN 生长通常需要高热条件,导致各种热传问题产生、及高效 p 型掺杂此类材料中的各种困难。由于蓝宝石与 GaN 存在 15%的晶格失配,因此采用蓝宝石做为基材并不完全符合要求。在解决这些障碍的许多方面已先后获得进展。例如,采用金属有机气相法形成的氮化铝(AlN)或 GaN 缓冲层已发现可有效解决晶格失配的问题。进一步改进基于 GaN 的结构的方法包括使用 AlGaN 材料形成具有 GaN 的异质结,且特别是使用氮化镓铟(InGaN)材料,如此可产生当作量子阱的缺陷,用以高效地发射短波长的光线。富含铟的区域具有比周围材料小的能隙,且可分布于整个材料而中以提高效率的发射中心。

[0006] 尽管在复合氮化物半导体器件的制作已有若干进步,然而普遍认为目前工艺仍有许多不足。此外,产生此类波长的光的器件的高利用率已导致此类器件的制造成为广为关注和活动的领域。有鉴于此,本领域普遍需要制造复合氮化物半导体器件的改善方法及系统。

发明内容

[0007] 本发明的实施例提供制造复合氮化物半导体结构的设备及方法。第一 III 族前驱物和第一氮前驱物流入第一处理室。第一 III 族前驱物包含第一 III 族元素。第一层通过

在第一处理室中利用第一 III 族前驱物与第一氮前驱物的热化学气相沉积工艺沉积在基材上,如此第一层包含氮和第一 III 族元素。沉积第一层后,基材从第一处理室传送到不同于第一处理室的第二处理室。第二 III 族前驱物和第二氮前驱物流入第二处理室。第二 III 族前驱物包含第一 III 族前驱物不含的第二 III 族元素。第二层通过在第二处理室中利用第二 III 族前驱物与第二氮前驱物的热化学气相沉积工艺沉积在第一层上。

[0008] 可在不同的条件下将基材从第一处理室传送到第二处理室。例如在一实施例中,在含有 90% 以上氮气 (N_2) 的氛围下进行传送;在另一实施例中,在含有 90% 以上氨气 (NH_3) 的氛围下进行传送;在又一实施例中,在含有 90% 以上氢气 (H_2) 的氛围下进行传送。基材亦可在温度大于 200℃ 温度的氛围下进行传送。

[0009] 前驱物的流入可伴随载气流,所述载气例如包括氮气 (N_2) 和氢气 (H_2)。在一个实施例中,第三 III 族前驱物流入具有第二 III 族前驱物和第二氮前驱物的第二处理室中。第三 III 族前驱物包括第一 III 族元素。可使用的 III 族元素的示例包括使用镓作为第一 III 族元素且使用铝作为第二 III 族元素,如此形成的第一层包含 GaN 层,第二层包含 AlGaN 层。在另一特定实施例中,第一 III 族元素为镓且第二 III 族元素为铟,如此形成的第一层包含 GaN 层,第二层包含 InGaN 层。在又一特定实施例中,第一 III 族元素为镓且第二 III 族元素包括铝与铟,如此形成的第一层包含 GaN 层,第二层包含 AlInGaN 层。

[0010] 在沉积第二层前,过渡层有时可在第二处理室内沉积在第一层上。过渡层的化学组成实质上与第一层相同,且厚度小于 100000 埃。第一处理室可有利地适于提供包含氮与 III 族元素的材料快速生长。第二处理室可有利地适于提供含有氮与 III 族元素的沉积材料的提高的均匀度。

[0011] 本发明的方法可利用群集工具来执行,所述群集工具具有定义第一处理室的第一壳盖、和定义第二处理室的第二壳盖。第一处理室包括第一基材支架,第二处理室包括第二基材支架。机械传输系统用来在控制环境下在第一与第二基材支架之间传送基材。气体输送系统被配置用来引进气体至第一与第二处理室。压力控制系统维持第一与第二处理室内的选定压力,温度控制系统维持第一与第二处理室内的选定温度。控制器控制机械传输系统、气体输送系统、压力控制系统、和温度控制系统。存储器耦接至控制器,并包括具有计算机可读取程序的计算机可读取媒体。计算机可读取程序包括操作群集工具以制造复合氮化物半导体结构的指令。

附图说明

[0012] 本发明的本质和优点在参阅说明书其余部分与附图后将更明显易懂,其中,各附图中相同的组件符号表示类似的组件。在某些实例中,下标与附图标记相关联,且跟随连字号以表示多个类似组件的其中一个。当引用附图标记而未指定现有下标时,则旨在表示所有此类的多个类似组件。

[0013] 图 1 为基于 GaN 的 LED 结构的示意图;

[0014] 图 2A 为根据本发明实施例的构成多室群集工具的示范 CVD 设备的一部分的简示图;

[0015] 图 2B 为用于图 2A 中示例性 CVD 设备的使用者接口的一个实施例的简示图;

[0016] 图 2C 为用于图 2A 中示例性 CVD 设备的系统控制软件的分层 (hierarchical) 控

制结构的一个实施例的方块图；

[0017] 图 3 为用于本发明实施例的多室群集工具的示意图；

[0018] 图 4 为利用图 3 所示的多室群集工具制造复合氮化物半导体结构的方法流程图；以及

[0019] 图 5 为利用图 3 的多室群集工具制造图 1 的 LED 的特定工艺的流程图。

具体实施方式

[0020] 1. 综述

[0021] 在制造复合氮化物半导体结构的传统方法中，在单一工艺反应器中进行多个外延沉积步骤，且基材在完成所有步骤前不会离开反应器。图 1 显示可形成的结构及制造此结构所需的步骤顺序。在此示例中，结构为基于氮化镓 (GaN-based) 的 LED 结构 100。所述 LED 结构 100 制作于蓝宝石 (0001) 基材 104 上，该蓝宝石 (0001) 基材 104 经晶片清洗程序 108 处理。适当的清洗时间为在 1050℃ 下 10 分钟，所述晶片清洗程序还伴有 10 分钟量级的时间进行加热及降温。

[0022] GaN 缓冲层 112 利用金属有机化学气相沉积 (MOCVD) 工艺沉积在已清洗的基材 104 上。这可通过向反应器提供 Ga 前驱物与 N 前驱物、及利用热工艺进行沉积。图中示出缓冲层 112 的厚度一般为约 300 埃(A)，所述缓冲层 112 可在约 550℃ 下沉积 5 分钟而得。接着沉积的 n-GaN 层 116 通常是在更高温度下得到，例如在图中的 1050℃ 下进行沉积。n-GaN 层 116 非常厚，所述 n-GaN 层 116 约沉积 140 分钟达到 4 微米 (μm) 的厚度。然后沉积氮化镓铟 (InGaN) 多重量子阱 (MQW) 层 120，所述氮化镓铟 (InGaN) 多重量子阱 (MQW) 层 120 可在 750℃ 下沉积约 40 分钟达到约 750 埃的厚度。p-氮化镓铝 (p-AlGaN) 层 124 沉积在多重量子阱层 120 上，所述 p-氮化镓铝 (p-AlGaN) 层 124 可在 950℃ 下沉积约 5 分钟达到约 200 埃的厚度。沉积 p-GaN 接触层 128 后可完成结构，所述 p-GaN 接触层 128 是在约 1050℃ 下沉积约 25 分钟而得。

[0023] 包含多道外延沉积步骤的传统制造方法是在单一反应器中进行，因此需要很长的处理时间，通常需要 4-6 小时。如此长的处理时间表现为反应器产能低落，此亦为批次工艺技术常面临的问题。例如，用于量产的商业化反应器可同时操作处理 20-50 片两英寸晶片，以致产率相当低。

[0024] 为增进复合氮化物半导体结构制造技术的产率和产能，发明人致力于传统工艺的全面性研究，以确认可能的改善之处。尽管许多可能性已确认出，但执行上仍有一些困难。许多情况下，改进工艺的一部分实际上将不利地影响工艺的一个或多个其它部分。彻底认清这些难处本质后，发明人更加了解到单一反应器方式会阻碍各工艺步骤使用的反应器硬件的最佳化。此限制导致局限了形成不同化合物结构的工艺窗口 (process window)，诸如温度、压力、前驱物的相对流速等参数。例如，GaN 的最佳沉积条件不一定是 InGaN 或 AlGaN 的最佳沉积条件。

[0025] 发明人判定采用多个处理室（作为多室群集工具的一部分）可潜在地扩大不同化合物结构的可用工艺窗口。这可通过在不同处理室中外延生长不同化合物，所述不同处理室具有增强特定程序的结构。实际执行中遇到的另一困难在于，在群集工具的各处理室间

进行传输将中断生成过程,以致产生界面缺陷态。

[0026] 发明人至少提出二种减缓此影响的方法。首先,基材可在受控制的周遭环境下在各处理室之间传输。例如在一些实施例中,受控制的周遭环境具有高纯度的氮气 (N_2) 氛围。在此,“高纯度”的 X 氛围具有 90% 以上的 X,且在不同的实施例中,可具有 95% 以上、98% 以上、或 99% 以上的 X。在其它例子中,周遭环境可具有高纯度的氢气 (H_2) 或氨气 (NH_3) 氛围,所述氛围另有利于吸收可能形成于结构中的氧杂质。在又些其它例子中,周遭环境可升温至大于 200°C,所述温度亦有助于吸气或避免表面氧化。

[0027] 其次,通过在传输至新的处理室后沉积薄过渡层,可减少界面缺陷态产生。过渡层的化学结构一般与前一处理室沉积的膜层结构相同或类似。过渡层的典型厚度通常小于 10000 埃,且在不同的实施例中,可小于 7500 埃、小于 5000 埃、小于 4000 埃、小于 3000 埃、小于 2500 埃、小于 2000 埃、小于 1500 埃、或小于 1000 埃。过渡层的特定实施例将配合以下实施例在下文说明。一般而言,过渡层优选具有足够的厚度,使得化学污染物或结构缺陷实质上可从有源区和 pn 结去除。

[0028] 2. 群集工具

[0029] 图 2A 为示范化学气相沉积 (CVD) 系统 210 的简示图,所述简示图绘示各处理室的基本结构,在各处理室中个别进行沉积步骤。该系统适用于次大气压 CVD (SACVD) 热工艺及其它工艺,例如回流、驱入、清洗、蚀刻、沉积、和吸收工艺。从下述实施例可知,在一些实例中,将基材移到另一处理室前,仍可在单个处理室内进行多道工艺。系统的主要组件包括接收气体输送系统 220 供应的工艺气体与其它气体的真空室 215、真空系统 225、远程等离子体系统 230、和控制系统 235。这些组件与其它组件将进一步详述于下。虽然为便于说明,图标仅显示单一处理室结构,但可理解的是,可提供多个具类似结构的处理室作为群集工具的一部分,所述每个处理室分别用来进行整体工艺的不同方面。图中用来支持处理室处理的其它组件可在多个处理室之间共享,然在一些例子中,各处理室各自具有支持组件。

[0030] CVD 系统 210 包括封闭构件 237,用以构成具有气体反应区 216 的真空室 215。气体分配盘 221 通过穿孔向放置在可垂直移动的加热器 226 (亦称为晶片支撑基座) 上的晶片 (未绘示) 分散反应气体与其它气体 (例如净化气体)。气体反应区 216 位于气体分配盘 221 与晶片之间。加热器 226 可受控制地移到在较低位置 (在此较低位置例如可装载或卸载晶片)、邻近气体分配盘 221 的处理位置 (以虚线 213 表示)、或供其它目的使用的位置 (例如进行蚀刻或清洗工艺) 之间移动。中央板 (未绘示) 包括传感器,用以提供关于晶片位置的信息。

[0031] 不同的实施例可采用不同的加热器 226 结构。例如在一个实施例中,加热器 226 包括内封于陶瓷的电阻加热组件 (未绘示)。陶瓷保护加热组件免遭处理室环境腐蚀,并允许加热器达到约 1200°C 的高温。在一个示范实施例中,加热器 226 暴露至真空室 215 的所有表面皆由陶瓷材料组成,例如氧化铝 (Al_2O_3 或矾土)、或氮化铝。在另一实施例中,加热器 226 包含照灯加热器。或者,由诸如钨、铈、铈、钽、或其合金等耐火金属构成的裸金属丝加热元件可用来加热晶片。此类照灯加热器设置能达到 1200°C 以上的高温而可做为特殊应用。

[0032] 反应气体和载气经由供应管线 243 从气体输送系统 220 输送到气体混合箱 (亦称为气体混合区块) 244,在所述气体混合箱处气体相互混合且输送到气体分配盘 221。如本领域普通技术人员所能理解,气体输送系统 220 包括各种气体源和合适的供应管线,以输

送预定量的各种源至真空室 215。各气体供应管线一般包括：关闭阀，用以自动或手动停止气体流入其相关管线；以及流量控制器或其它测量流经供应管线的气体或液体流量的控制器。视系统 210 执行的工艺而定，一些源实际上可为液体源，而非气体源。当使用液体源时，气体输送系统包括液体注入系统或其它合适的机制（如喷水器），用以蒸发液体。如本领域普通技术人员所能理解，来自液体的蒸气接着通常与载气混合。

[0033] 气体混合箱 244 为耦合至工艺气体供应管线 243 与清洗 / 蚀刻气体导管 247 的双输入混合区块。阀 246 操作以容许或阻止来自气体导管 247 的气体或等离子体进入气体混合箱 244。气体导管 247 接收来自整合式远程微波等离子体系统 230 的气体，且所述等离子体系统 230 具有用以接收输入气体的入口 257。在沉积处理期间，供应至分配盘 221 的气体朝晶片表面排放（如箭头 223 所示），在所述晶片表面处，气体可以层流方式放射状均匀分散于整个晶片表面。

[0034] 净化气体可经由封闭组件 237 底壁从气体分配盘 221 和 / 或入口或进入管（未绘示）输送到真空室 215。来自真空室 215 底部的净化气体从入口向上流过加热器 226，并流至环形抽吸通道 240。包括真空泵（未绘示）的真空系统 225 通过排放管线 260 排放气体（如箭头 224 所示）。排放气体和乘载粒子从环形抽吸通道 240 被抽吸至排放管线 260 的速率受控于节流阀系统 263。

[0035] 远程微波等离子体系统 230 可产生等离子体以供选定应用，例如清洗处理室、或蚀刻处理晶片的残留物。远程等离子体系统 230 利用入口 257 供应的前驱物产生的等离子体物种经由导管 247 输送，以通过气体分配盘 221 分散到真空室 215。远程微波等离子体系统 230 整体设在真空室 215 下方，且导管 247 沿着处理室向上延伸至闸阀 246 和位于真空室 215 上方的气体混合箱 244。清洗用的前驱气体可包括氟、氯、和 / 或其它反应元素。通过在膜层沉积工艺期间流入适当沉积前驱气体至远程微波等离子体系统 230，所述远程微波等离子体系统 230 还适于沉积 CVD 层。

[0036] 沉积室 215 壁面与周围结构（如排放通道）的温度可进一步通过在室壁的通道（未绘示）中循环热交换液体来控制。热交换液体可依需求来加热或冷却室壁。例如，热液体有助于维持热沉积过程的热梯度；而冷液体可用于在原位（in situ）等离子体工艺期间移除系统的热量、或可限制沉积物形成于室壁上。气体分配歧管 221 亦具有热交换通道（未绘示）。典型的热交换流体包括以水为底液（water-based）的乙烯乙二醇混合物、以油为底液的热传流体、或类似流体。此加热方式（指通过“热交换”加热）可大幅减少或消除不当的反应产物凝结，并有助于减少工艺气体与其它污染物的挥发性产物，若所述挥发性产物凝结在冷却真空通道壁上且在未流入气体时流回处理室，可能会污染工艺。

[0037] 系统控制器 235 控制沉积系统的行动与操作参数。系统控制器 235 包括计算机处理器 250、和耦接至处理器 250 的计算机可读取存储器 255。处理器 250 执行系统控制软件，例如储存于存储器 270 中的计算机程序。存储器 270 优选为硬盘，但也可为其类型的存储器，例如只读存储器或闪存。系统控制器 235 还包括软盘驱动器、CD 或 DVD 驱动器（未绘示）。

[0038] 处理器 250 根据系统控制软件（程序 258）运作，所述系统控制软件包括规定特定工艺的时间、混合气体、处理室压力、处理室温度、微波功率大小、基座位置、和其它参数的计算机指令。对这些参数和其它参数的控制是通过控制线路 265 实现，图 2A 仅显示部分控

制线路 265, 所述控制线路 265 将系统控制器 235 通信地耦合至加热器、节流阀、远程等离子体系统、以及与气体输送系统 220 相关联的各种阀门和流量控制器。

[0039] 处理器 250 具有卡架 (未绘示), 所述卡架包含单板计算机、模拟与数字输入 / 输出板、接口板、和步进马达控制板。许多 CVD 系统 210 的零件皆符合定义板、卡笼、和连接器尺寸与种类的 Versa Modular European (VME) 标准。VME 标准还定义具有 16 位数据总线与 24 位地址总线的总线结构。

[0040] 图 2B 为用来监控 CVD 系统 210 运作的使用者接口的简示图。图 2B 清楚绘出群集工具的多室性质, 且 CVD 系统 210 为多室系统中的其中一个处理室。在此多室系统中, 晶片可由计算机控制的机械装置从一个处理室传送到另一个处理室, 以进行另外的处理。在一些情况下, 晶片是在真空状态或预定气体氛围下传输。使用者与系统控制器 235 之间的接口为 CRT 监视器 273a 和光笔 273b。主机单元 275 提供 CVD 设备 210 的电气、管道安装、和其它支持功能。适合所述 CVD 系统实施例的多室系统主机单元例如为目前可从美国加州圣克拉拉市的应用材料公司 (APPLIED MATERIALS, INC.) 取得的 Precision5000™ 和 Centura5200™ 系统。

[0041] 在一个实施例中, 采用两个监视器 273a, 一个放置于无尘室壁面 271 供操作员使用, 另一个放置于壁面 272 后方供维修技师使用。两个监视器 273a 同时显示相同的信息, 但只有一个光笔 273b 被启用。光笔 273b 利用笔尖的感光器检测 CRT 显示器发射的光线。为选择特定画面或功能, 操作员触碰显示屏的指定区域, 并按压光笔 273b 上的按钮。触碰区域改变其强光颜色、或显示新的选单或屏幕, 以确认光笔与显示屏幕之间的通信。如本领域普通技术人员所能理解, 其它诸如键盘、鼠标、或其它点触或通信装置等输入装置亦可附加使用或代替光笔 273b, 以允许使用者与处理器通信。

[0042] 图 2C 为用于图 2A 中示范 CVD 设备的系统控制软件 (计算机程序 258) 的分层 (hierarchical) 控制结构实施例的方块图。诸如沉积膜层、干式清洗处理室、回流、或驱入等工艺可在处理器 250 执行的计算机程序 258 的控制下进行。计算机程序码可以任一传统计算机可读取程序语言编写, 例如 68000 汇编语言、C、C++、Pascal、Fortran、或其它语言。适当的程序代码是利用传统文字编辑器输入单一文件或多个文件, 并储存或收录在计算机可用的媒体 (如系统存储器) 中。

[0043] 若输入码文字为高级语言, 则进行编码, 产生的编译程序码接着连接预先编译的 Windows™ 库例程序的目標码。为执行连接的编译程序码, 系统使用者调用计算机语言, 使计算机系统加载存储器中的编码, CPU 从所述存储器读取并执行编码, 以配置设备进行程序识别的任务。

[0044] 使用者利用光笔点选 CRT 监视器上的选单或屏幕而将工艺设定值与处理室编号输入至工艺选择器子程序 280。工艺设定值为进行特定工艺所需的工艺参数默认值, 由预设编号标识。工艺选择器子程序 280 确认 (i) 期望处理室、和 (ii) 操作处理室来进行期望工艺所需的期望工艺参数。进行特定工艺所需的工艺参数与工艺条件有关, 例如工艺气体组成与流速、基座温度、室壁温度、压力、和等离子体条件 (如磁电管功率大小)。处理选择器子程序 280 控制处理室在特定时间将进行的工艺类型 (例如沉积、清洗晶片、清洗处理室、处理室吸气、回流)。在一些实施例中, 可能不只一个工艺选择器子程序。工艺参数以配方 (recipe) 的形式被提供给使用者, 且通过光笔 / CRT 监视器接口输入。

[0045] 工艺序列发生器子程序 282 具有程序代码,用以从工艺选择器子程序 280 接受确认的处理室与工艺参数、及控制各处理室的运作。多位使用者可输入工艺设定值与处理室编号,或者单一使用者可输入多个工艺设定值与处理室编号,从而工艺序列发生器子程序 282 操作以按照预定顺序安排工艺进行。较佳地,工艺序列发生器子程序 282 包括程序代码,用以 (i) 监控处理室的运作,以判断处理室是否使用、(ii) 判断使用中的处理室正在进行何种工艺、和 (iii) 依据处理室的可利用性与欲进行的工艺类型来执行期望工艺。

[0046] 可采用传统监控处理室的方法,例如轮询法 (polling method)。当安排待执行的工艺时,工艺序列发生器子程序 282 可考虑使用中的处理室现况与选定工艺的预定工艺条件的比较、或各使用者输入需求的时间长短、或系统程序设计者决定先后顺序相关的其它因素。

[0047] 当工艺序列发生器子程序 282 决定了接下来将执行的处理室与工艺设定后,工艺序列发生器子程序 282 将通过将特定工艺设定参数传送到处理室管理器子程序 285 而开始执行工艺设定,处理室管理子程序 285 根据工艺序列发生器子程序 282 决定的工艺设定控制特定处理室中的多个处理任务。例如,处理室管理器子程序 285 具有程序代码,用以控制处理室 215 内的 CVD 工艺与清洗工艺操作。处理室管理器子程序 285 亦控制各处理室组件子程序的执行,所述各处理室组件子程序控制进行选定工艺设定所需的处理室组件的操作。处理室组件子程序的示例包括基材定位子程序 290、工艺气体控制子程序 291、压力控制子程序 292、加热器控制子程序 293、和远程等离子体控制子程序 294。视 CVD 室的特殊结构配置而定,一些实施例包括所有上述子程序,而其它实施例可包括部分上述子程序或其它未提及的子程序。本领域普通技术人员可容易理解,取决于处理室待进行的工艺,还可包括其它处理室控制子程序。在多室系统中,附加的处理室管理子程序 286、287 控制其它处理室的活动。

[0048] 在操作时,处理室管理子程序 285 根据执行的特定工艺设定而选择性安排或调用处理室组件子程序。处理室管理子程序 285 安排处理室组件子程序,如同处理序列发生器子程序 282 安排接续执行的处理室与工艺设定。处理室管理子程序 285 一般包括监控各处理室组件、基于待执行的工艺设定的工艺参数来决定需要操作的组件、和响应于上述监控与决定步骤开始执行处理室组件子程序。

[0049] 特定处理室组件子程序的运作将参照第 2A 和 2C 图说明于下。基材定位子程序 290 包含程序代码,用以控制处理室组件,所述处理室组件将基材放置到加热器 226 上,且视情况抬高处理室内的基材至预定高度而控制基材与气体分配歧管 221 的间距。当基材放入处理室 215 时,降低加热器 226 以接收基材,接着加热器 226 升高到预定高度。操作时,基材定位子程序 290 响应于处理室管理子程序 285 传输的支撑高度相关的工艺设定参数来控制加热器 226 的移动。

[0050] 工艺气体控制子程序 291 具有程序代码,用以控制工艺气体组成和流速。工艺气体控制子程序 291 控制安全阀的状态,并使质量流量控制器以斜坡上升或下降以获得预定的气体流速。工艺气体控制子程序 291 通过打开气体供应管线及重复地 (i) 读取所需的流量控制器、(ii) 比较读取值与处理室管理子程序 285 提供的预定流速、和 (iii) 依需求调整气体供应管线的流速来操作。另外,工艺气体控制子程序 291 包括监控不安全的气体流速,且当侦测到危险状况时激活安全阀。其它实施例可具有一个以上的工艺气体控制子程

序,每一子程序控制一特殊类型的工艺或特别设定的气体管线。

[0051] 在一些工艺中,在引入反应工艺气体前,先流入惰性气体(如氮气或氩气)至处理室中以稳定处理室内的压力。对这些工艺而言,工艺气体控制子程序 291 被编程为包括流入惰性气体至处理室一段时间以稳定处理室压力的步骤、接着进行上述步骤。此外,若工艺气体是由液态前驱物蒸发而得,则写入工艺气体控制子程序 291,以包括用于在起泡器组件中使输送气体(如氩气)冒泡穿过液态前驱物的步骤、或者控制液体注入系统以喷洒或喷射液体至载气流(如氩气)中的步骤。当起泡器用于此类工艺时,工艺气体控制子程序 291 调节输送气体的流量、起泡器中的压力、和起泡器温度,用以达到预定的工艺气体流速。如上述,预定的工艺气体流速被传递给工艺气体控制子程序 291 当作工艺参数。

[0052] 再者,工艺气体控制子程序 291 包括通过存取含有特定工艺气体流速的必要值的储存表而获得达成预定工艺气体流速所需的输送气体流量、起泡器压力、和起泡器温度。一旦得到必要值,监控输送气体流量、起泡器压力、和起泡器温度,并将它们与必要值进行比较且依此进行调整。

[0053] 压力控制子程序 292 包括程序代码,用以通过调节处理室中排放系统的节流阀的开孔大小来控制处理室压力。节流阀的开孔大小被设定为控制处理室压力为预定值,该预定值与工艺气体总量、处理室尺寸、和排放系统的泵浦设定压力有关。当调用压力控制子程序 292 时,则从处理室管理子程序 285 接收预定或目标压力值作为参数。压力控制子程序 292 通过读取一个或多个连接处理室的传统压力计而测量处理室中的压力、比较测量值与目标值、获得对应于来自储存压力表的目标压力的比例、积分与微分(PID)值、和根据 PID 值调整节流阀。或者,可写入压力控制子程序 292,以打开或关闭节流阀至特定开孔大小(即固定位置),进而调节处理室内的压力。利用此法控制排放量并不调用压力控制子程序 292 的反馈控制特征。

[0054] 加热器控制子程序 293 包括程序代码,用以控制加热基材用的加热单元的电流。加热器控制子程序 293 也由处理室管理子程序 285 调用,并接收目标或设定点、温度参数。加热器控制子程序 293 测量温度,所述测量在不同实施例中可按照不同方式执行。例如,通过测量加热器中的热耦器输出电压、比较测量温度与设定点温度、和增加或减少施予加热单元的电流以获得设定点温度,可获得经校准的温度。通过查询储存的转换表中的对应温度、或通过使用四阶多项式计算温度,可从测量的电压得到温度值。在另一实施例中,可以高温计代替热耦器进行类似的工艺来决定校正温度。加热器控制子程序 293 包括使加热器温度逐渐升高或降低的能力。在加热器包含内封于陶瓷的电阻加热元件的实施例中,此特征有助于减少陶瓷中的热爆裂,尽管这不是使用照灯加热器的那些实施例中需要关心的问题。另外,可包括内建故障安全防护模式来检测工艺安全性,并且当处理室未适当建立时,可停止加热单元运作。

[0055] 远程等离子体控制子程序 294 包括程序代码,用以控制远程等离子体系统 230 的运作。远程等离子体控制子程序 294 以类似上述其它子程序的方式由处理室管理子程序 285 调用。

[0056] 虽然本发明在此是以软件方式施行且在通用计算机上执行,但本领域普通技术人员将可理解,本发明也可利用硬件实现,例如专用集成电路(ASIC)或其它硬件电路。如此应可理解,本发明可整体或部分通过软件、硬件、或二者来实现。本领域普通技术人员亦将

理解,选择适合的计算机系统来控制 CVD 系统 210 是很平常的技术。

[0057] 3. 多室处理

[0058] 群集工具的物理结构绘示于图 3 中。在所述图中,群集工具 300 包括三个处理室 304 和二个附加处理站 308,且机械装置 312 用来实现基材在处理室 304 与处理站 308 之间的传输。该结构可允许传输在特定的周遭环境中进行,包括在真空、存在选定气体、预定温度等条件下进行。

[0059] 使用群集工具制造复合氮化物半导体结构的处理方法概述于图 4 的流程图。方法开始于方块 404,通过利用机械装置 312 传送基材到第一处理室 304-1。在方块 408,在第一处理室中清洗基材。初始外延层的沉积开始于方块 412,通过在第一处理室中建立预定的工艺参数,例如温度、压力等。方块 416 为流入前驱物,以在方块 420 沉积 $\text{III}_1\text{-N}$ 结构。前驱物包括氮源和第一 III 族元素源(例如 Ga)。例如,适合的氮前驱物包括 NH_3 ,适合的 Ga 前驱物包括三甲基镓(TMG)。第一 III 族元素有时可包括多个截然不同的 III 族元素,例如 Al 与 Ga,此时适合的 Al 前驱物可为三甲基铝(TMA);在另一示例中,多个截然不同的 III 族元素包括 In 与 Ga,此时适合的 In 前驱物可为三甲基铟(TMI)。诸如 N_2 和 / 或 H_2 的载气也可流入。

[0060] 在方块 420 中沉积 $\text{III}_1\text{-N}$ 结构之后,在方块 424 停止流入前驱物。在一些实例中,可在方块 428 通过进一步进行沉积或蚀刻步骤、或沉积与蚀刻的组合步骤以在所述结构上执行另外的处理。

[0061] 无论是否另行步骤处理 $\text{III}_1\text{-N}$ 结构,皆在方块 432 中将基材从第一处理室传输到第二处理室。在不同的实施例,此传送可在高纯度的 N_2 环境、高纯度的 H_2 环境、或高纯度的 NH_3 环境下进行;在一些例子中,所述传输环境可为上述升温环境。如方块 436 所示, $\text{III}_1\text{-N}$ 过渡薄层沉积于 $\text{III}_1\text{-N}$ 结构上。沉积过渡层的方法类似沉积 $\text{III}_1\text{-N}$ 结构的方法,一般采用与第一处理室先前使用的前驱物相同的前驱物,然而在一些情况下也可采用不同的前驱物。

[0062] 在方块 440 中,通过建立适当的处理参数(如温度、压力等)来沉积 $\text{III}_2\text{-N}$ 层。在方块 444 流入前驱气体,以在方块 448 沉积 $\text{III}_2\text{-N}$ 结构。此结构包括 $\text{III}_1\text{-N}$ 层不含的 III 族元素,但 $\text{III}_1\text{-N}$ 层和 $\text{III}_2\text{-N}$ 层可另包含共同的 III 族元素。例如,当 $\text{III}_1\text{-N}$ 层为 GaN 层时, $\text{III}_2\text{-N}$ 层可为 AlGaN 层或 InGaN 层。虽然这里给出 $\text{III}_2\text{-N}$ 层具三元组成的示例,但这不是本发明所必需的,且 $\text{III}_2\text{-N}$ 层通常可包括其它组成,例如四元 AlInGaN 层。同样地,当 $\text{III}_1\text{-N}$ 层为 AlGaN 层时, $\text{III}_2\text{-N}$ 层可为 AlInGaN 层上的 InGaN 层。适合沉积 $\text{III}_2\text{-N}$ 层的前驱物可类似沉积 $\text{III}_1\text{-N}$ 层的前驱物,即 NH_3 为适合的氮前驱物、TMG 为适合的镓前驱物、TMA 为适合的铝前驱物、且 TMI 为适合的铟前驱物。也可包括诸如 N_2 和 / 或 H_2 的载气。在沉积 $\text{III}_2\text{-N}$ 结构之后,在方块 452 停止流入所述前驱物。

[0063] 类似沉积 $\text{III}_1\text{-N}$ 结构,可如方块 456 所示,额外进行一些沉积和 / 或蚀刻步骤处理 $\text{III}_2\text{-N}$ 结构。当在第二处理室中完成处理后,在方块 460 将基材传出处理室。在一些实例中,可在两个处理室完成处理,以在方块 460 中完成所述结构。在其它实例中,作为替代方案,在方块 460 中将基材传出第二处理室后,接着可将基材传到另一处理室,如传入第一处理室进行 $\text{III}_1\text{-N}$ 处理,或传入第三处理室进行 $\text{III}_3\text{-N}$ 处理。各处理室间的传输顺序可视特定装置的制造而适当地执行,由此利用不同处理室实现的特定工艺窗口。本发明不局限

用于特定的处理室数量、或群集工具中各处理室进行的任何特定处理次数。

[0064] 仅为举例说明而已,处理室之一可被配置成增加 GaN 的沉积速率,而第二处理室可被配置成增进沉积的均匀度。在许多结构中,因 GaN 层为完成结构中最厚的膜层,故总处理时间与 GaN 的沉积速率息息相关。因此最佳化第一处理室来加快 GaN 的生长可有效提高工具的总生产率。同时,允许加快 GaN 生长的硬件特性相当不利于生成常做为活性发射中心的 InGaN 量子阱的生长。此类结构的生长一般需要更均匀的特性,所述更均匀的特性由所制造的发光结构的波长均匀度来表明。对前驱物分配的最优化以提高晶片均匀度可能以生长速率的降低为代价。因此,最佳化第二处理室来均匀沉积 InGaN 多重量子阱结构,可在不需大幅消耗整体结构的总处理时间即达到预定的均匀度。

[0065] 方块 412 与 440 建立的处理条件和方块 416 与 444 流入的前驱物可视特殊应用而变化。下表提供一般适用于利用上述装置生成氮化物半导体结构的示范处理条件和前驱物流速:

[0066]

参数	数值
温度 (°C)	500-1500
压力 (托耳)	50-1000
TMG 流量 (sccm)	0-50
TMA 流量 (sccm)	0-50
TMI 流量 (sccm)	0-50
PH ₃ 流量 (sccm)	0-1000
AsH ₃ 流量 (sccm)	0-1000
NH ₃ 流量 (sccm)	100-100,000
N ₂ 流量 (sccm)	0-100,000
H ₂ 流量 (sccm)	0-100,000

[0067] 如前所述,一特定工艺可能不会在任一给定工艺中流入全部的前驱物。例如在一个实施例中,GaN 的生长可能使用 TMG、NH₃、和 N₂ 的流;在另一实施例中,AlGaN 生长可能使用 TMG、TMA、NH₃、和 H₂ 的流,且 TMA 与 TMG 的相对流速被选择成提供沉积层中 Al:Ga 的预定化学计量比;在又一实施例中,InGaN 生成可能引进 TMG、TMI、NH₃、和 H₂ 的流,且 TMI 与 TMG 的相对流速被选择成提供沉积层中 In:Ga 的预定化学计量比。

[0068] 上表亦指出氮以外的 V 族前驱物也可使用。例如,可通过流入氢化砷 (AsH₃) 来制造 III-N-as 结构。此结构中氮与其它 V 族元素的化学计量比可通过适当选择各前驱物的相对流速决定。在另些其它实例中,可通过包括掺质前驱物来形成掺杂的复合氮化物结构,

特定示例例如使用稀土掺杂质。

[0069] 使用多个处理室作为群集工具的一部分来制造氮化物结构还可允许处理室清洗操作的改进。一般预期,每次氮化物结构生长从干净的基底(susceptor)开始,以尽可能提供良好的成核层。通过采用多个处理室,可在每次进行生长前清洗第一处理室,但较不常清洗第二处理室,以免不利地影响制造结构的品质。这是因为第二处理室中形成的结构已具有氮化层。如此可提高生产率,并至少延长第二处理室等硬件的使用寿命。

[0070] 采用多个处理室尚具有其它功效。例如,如先前图1的结构所述,因n-GaN层116为最厚的膜层,故其沉积最为耗时。可使用其中使用多个处理室来同时沉积n-GaN层,但错开时间开始的布置。单一附加处理室可用来沉积其余结构,且这些其余结构以与快速沉积GaN层用的处理室交错的方式被接收。如此可在沉积n-GaN层时,尤其在结合削减附加处理室的清洁循环的能力时,避免附加处理室闲置,从而增进整体产能。在一些例子中,所述能力可用于提供某些以其它处理技术制作不具经济效益的氮化物结构;例如GaN层厚度接近10微米的器件。

[0071] 4. 实施例

[0072] 以下实施例说明图4概述的方法如何用于制造特定的结构。本实施例再次参照图1的LED结构,所述LED结构的制造利用具有至少两个处理室的群集工具来制造。方法概述于图5的流程图。简言之,在第一处理室中进行清洗和初始GaN层沉积,在第二处理室中进行其余InGaN层、AlGaN层、和GaN接触层的生长。

[0073] 方法开始于图5的方块504,其中将蓝宝石基材传送到第一处理室。第一处理室被配置用来快速沉积GaN层,或许其代价是沉积的均匀度较差。第一处理室在送入基材前通常会先清洗,接着在方块508中清洗处理室内的基材。在方块512,此实施例包括在550℃、150托耳的状态下流入TMG、NH₃、和N₂,以在第一处理室中在基材上生长GaN缓冲层112。接着在方块516通过生长n-GaN层116,此实施例包括在1100℃的温度下、150托的压力下流入TMG、NH₃、和N₂。

[0074] 沉积n-GaN层后,将基材传出第一处理室并传入第二处理室,且在高纯度的N₂氛围下进行传输。第二处理室适于用来非常均匀地进行沉积,或许整体的沉积速率较慢。在方块520中沉积过渡GaN层后,在方块524在第二处理室内生长InGaN多重量子阱有源层。在此实施例中,InGaN层是在800℃、200托的压力下使用H₂载气流中提供的TMG、TMI、和NH₃前驱物生长的。接着在方块528在1000℃的温度和200托的压力下使用H₂载气流中提供的TMG、TMA、和NH₃前驱物。方块532为沉积p-GaN接触层,所述沉积p-GaN接触层是在1000℃的温度和200托的压力下使用TMG、NH₃、和N₂流进行的。

[0075] 随后在方块536以将完成的结构传出第二处理室,如此第二处理室已准备好接收其它来自第一处理室或另一第三处理室经部分处理的基材。

[0076] 在已经完全地描述本发明的若干实施例的情况下,制造本发明的包覆层的许多其它等效或替代方法将对本领域普通技术人员显而易见。这些替代方案和等价方案旨在被包括在本发明的范围内,如所附权利要求所定义。

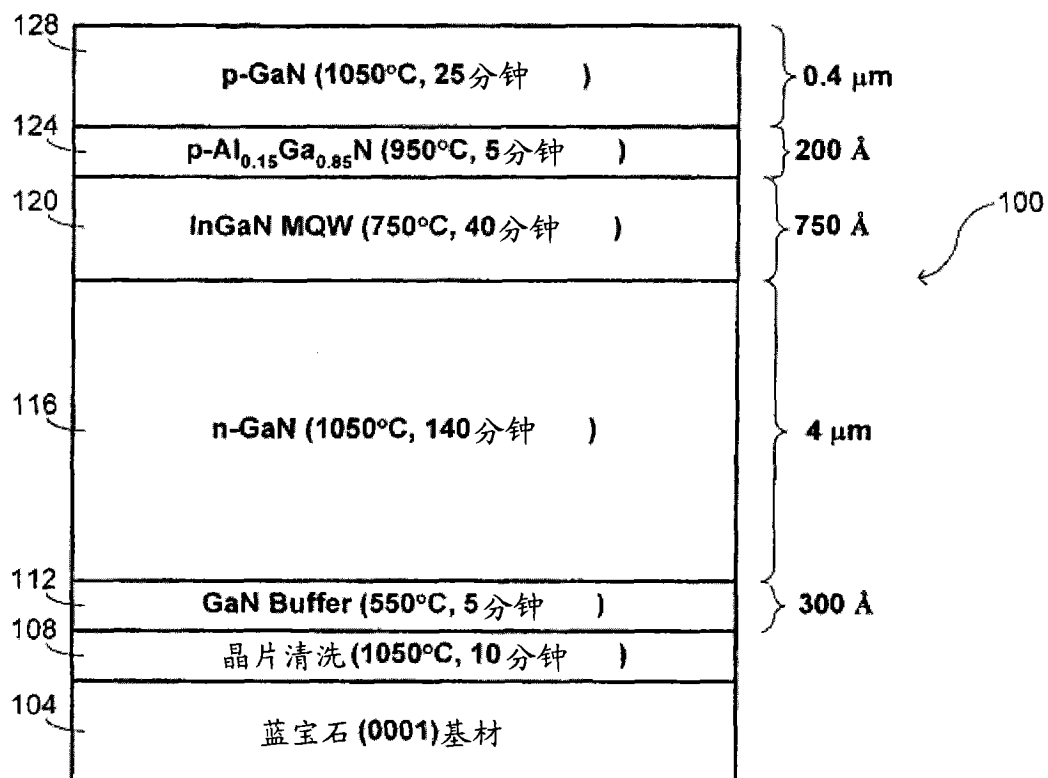


图 1

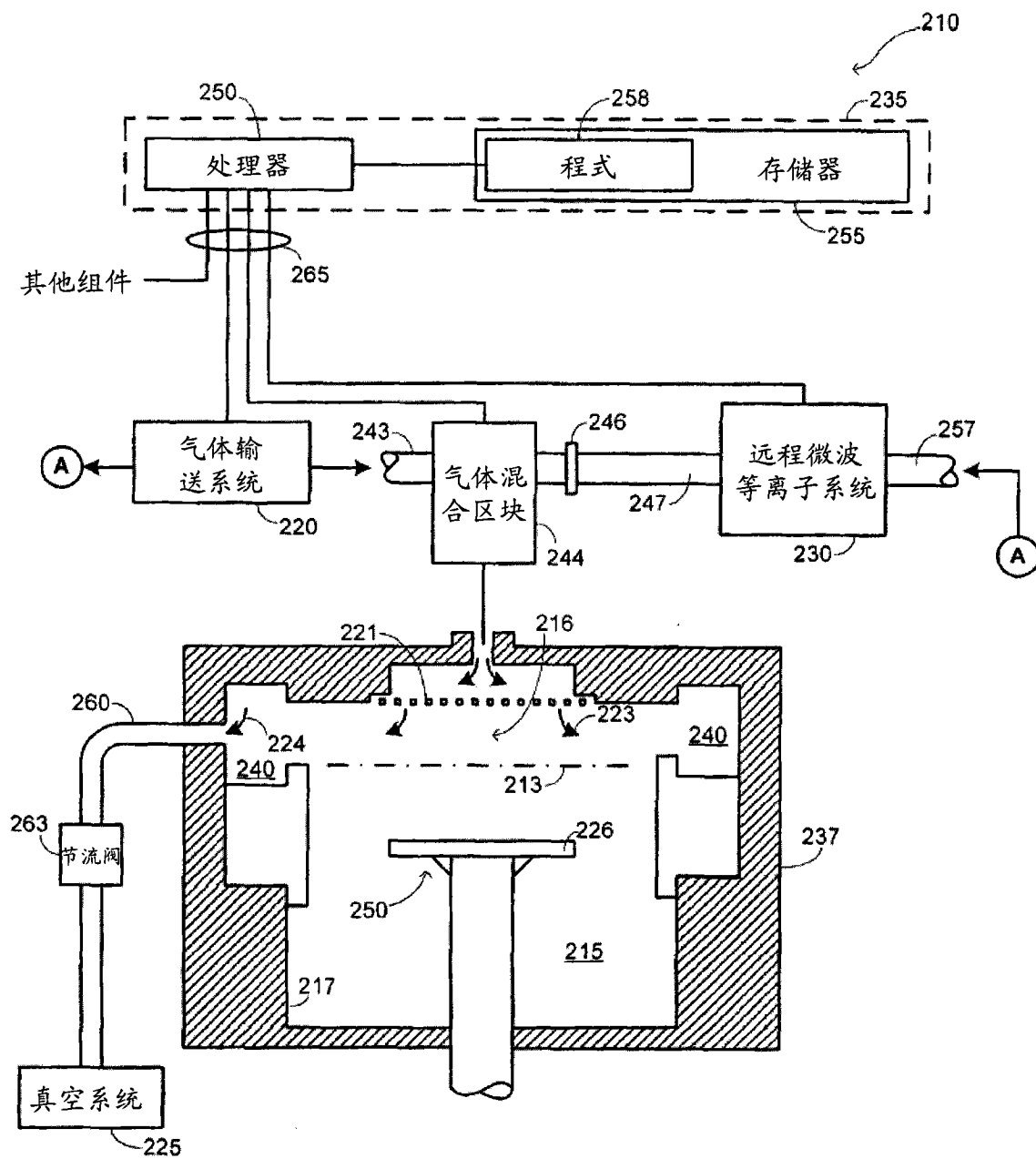


图 2A

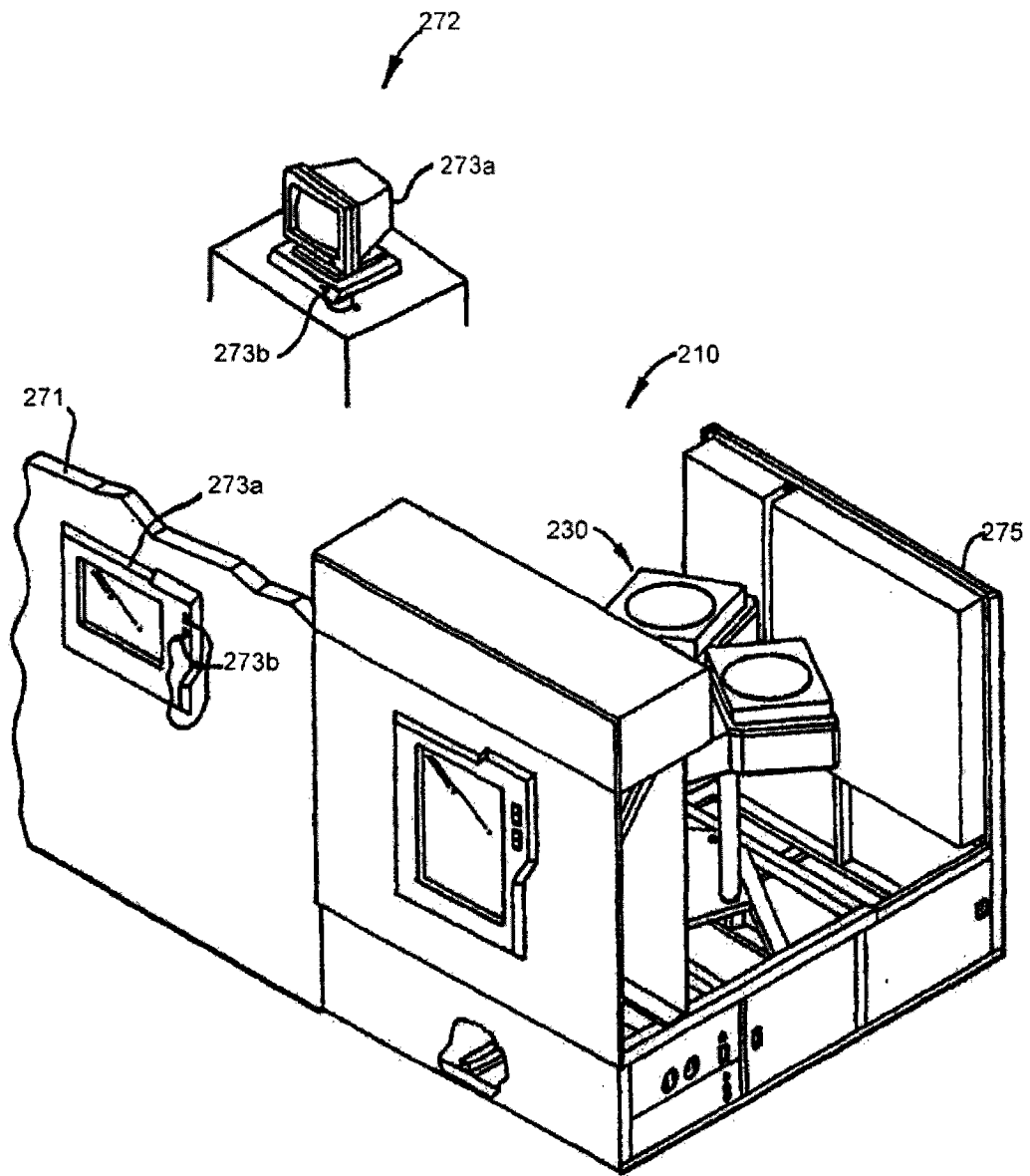
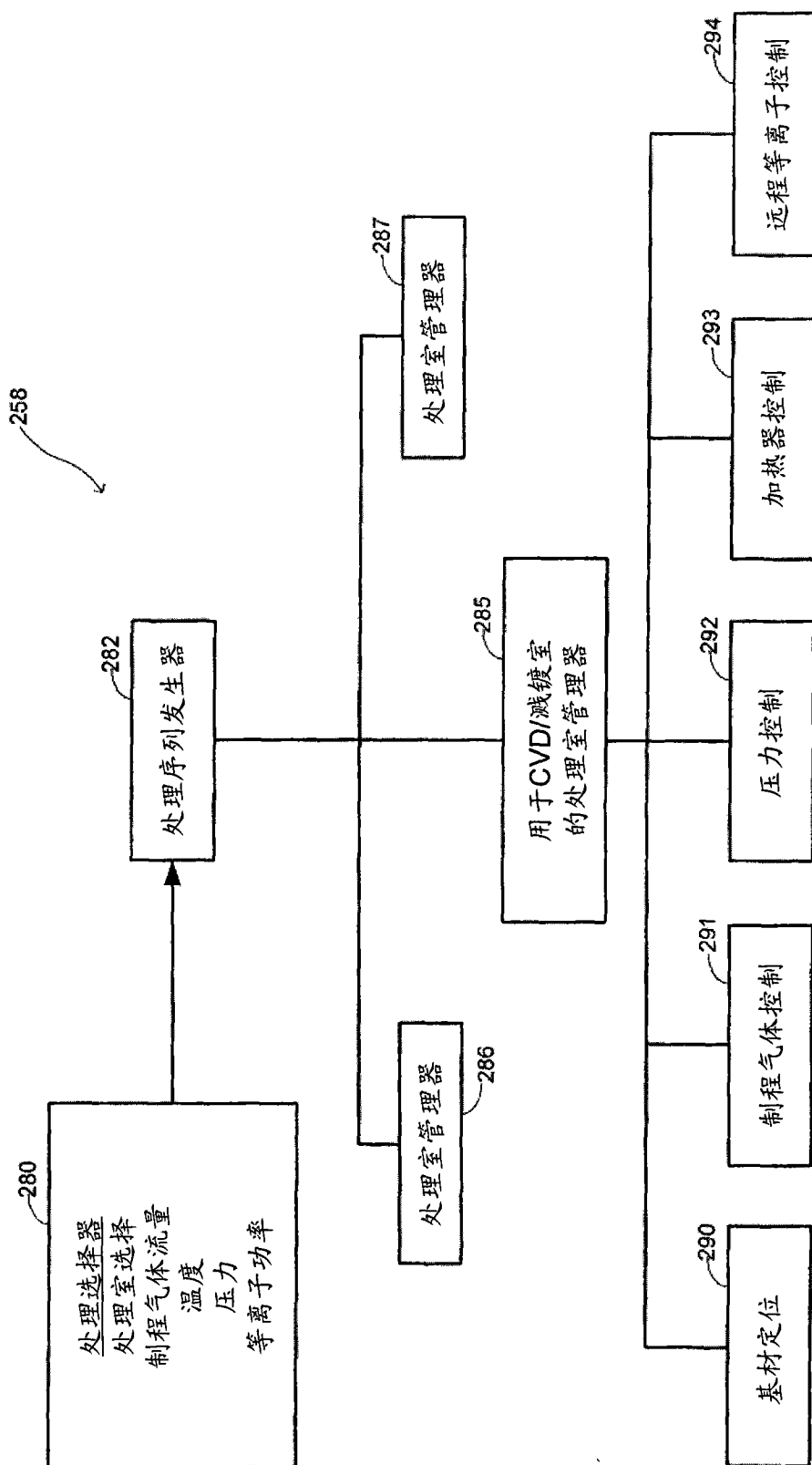


图 2B



处理

图 2C

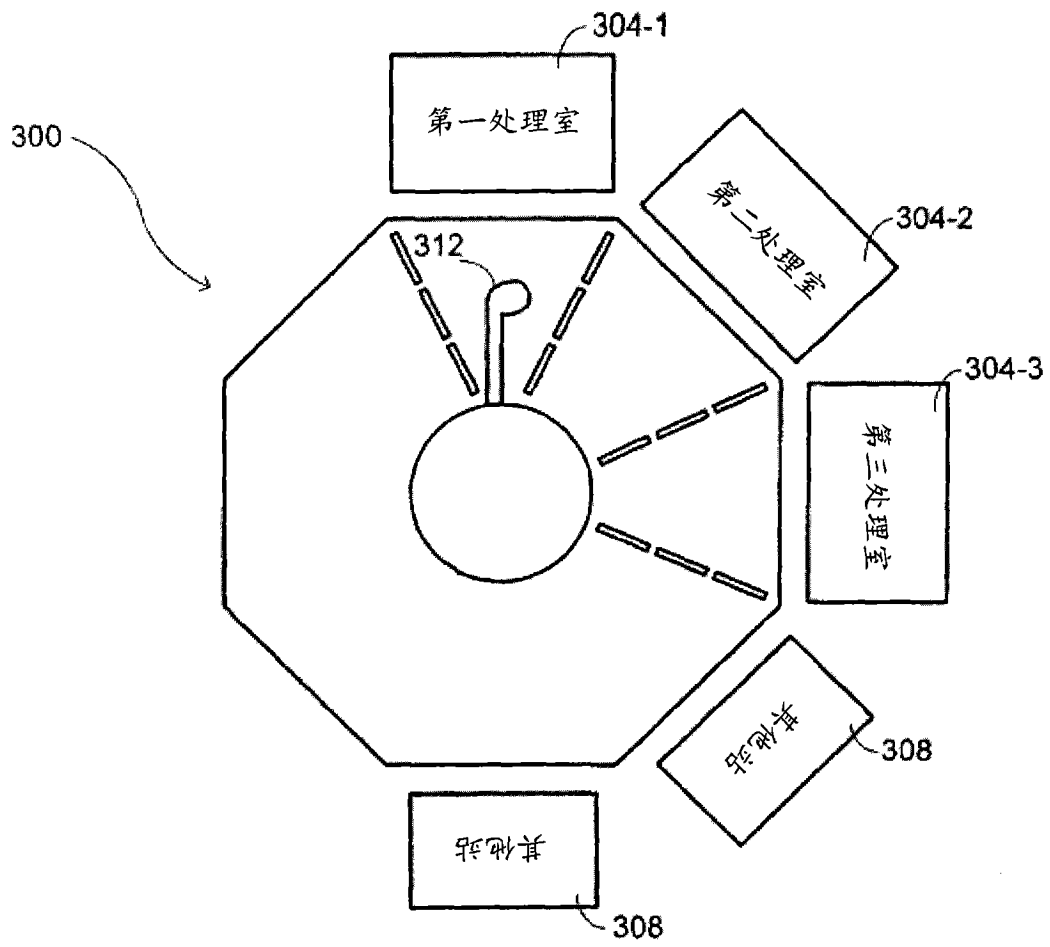


图 3

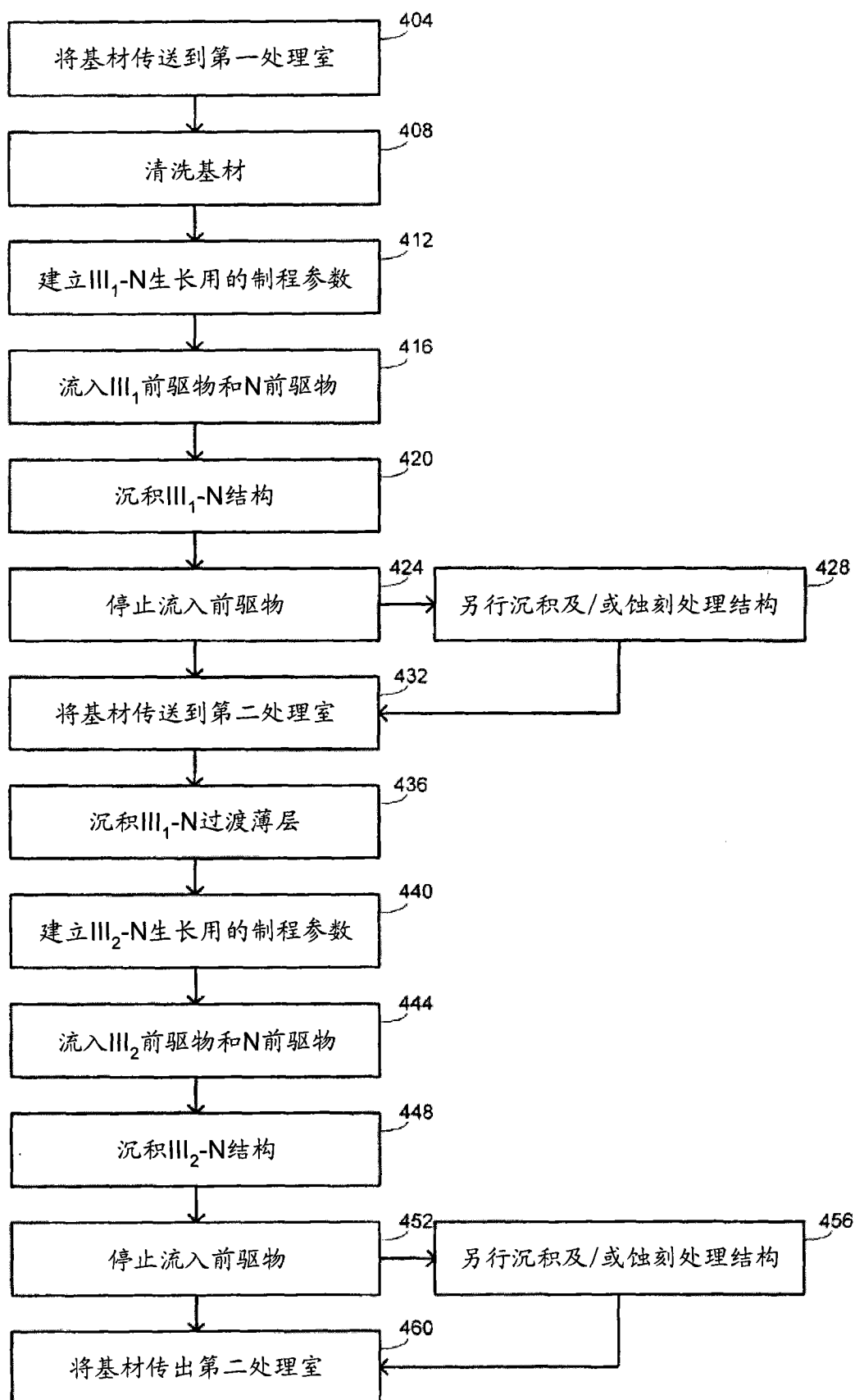


图 4

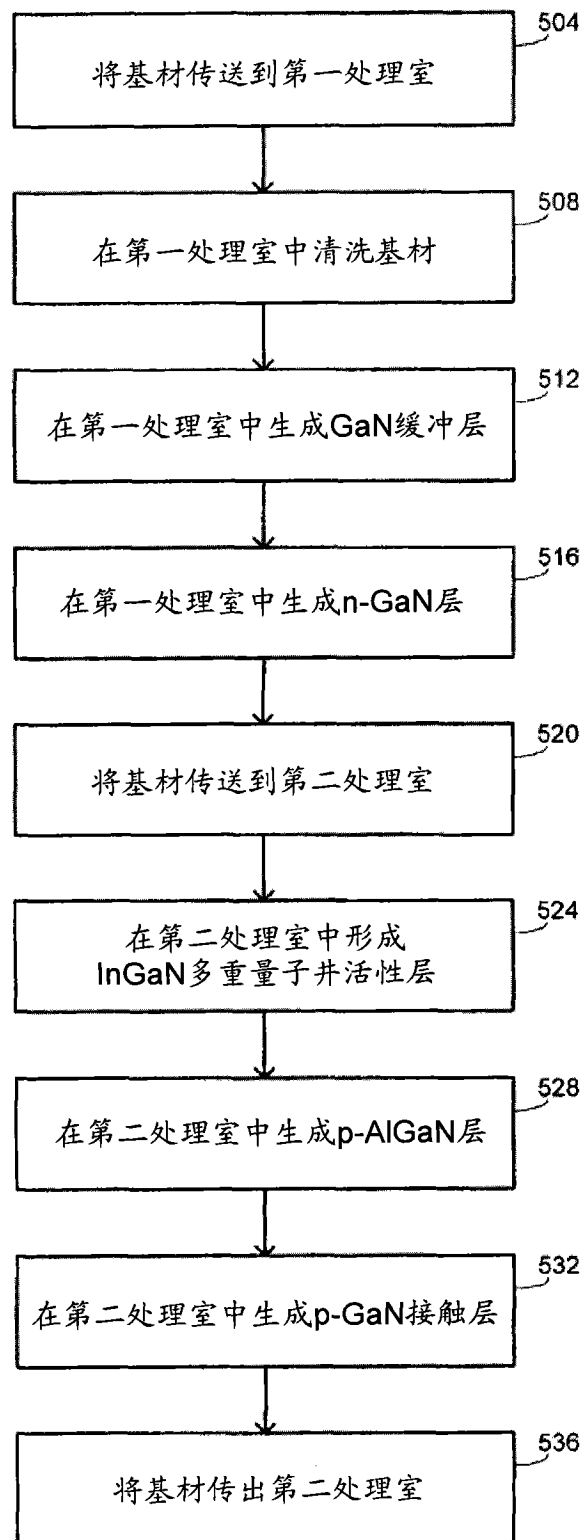


图 5