



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107078010 B

(45)授权公告日 2019.04.05

(21)申请号 201580059947.2

泰勒·洛克威尔

(22)申请日 2015.08.28

克里斯多夫·坎贝尔

(65)同一申请的已公布的文献号

维克拉姆·辛

申请公布号 CN 107078010 A

史费特那·瑞都凡诺

(43)申请公布日 2017.08.18

(74)专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司 11205

(30)优先权数据

代理人 马爽 臧建明

62/048,584 2014.09.10 US

(51)Int.Cl.

14/523,428 2014.10.24 US

H01J 37/08(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

H01J 37/317(2006.01)

2017.05.04

H01J 37/32(2006.01)

(86)PCT国际申请的申请数据

(56)对比文件

PCT/US2015/047356 2015.08.28

CN 101414533 A, 2009.04.22,

(87)PCT国际申请的公布数据

US 2011/0011534 A1, 2011.01.20,

W02016/040006 EN 2016.03.17

US 2011/0079355 A1, 2011.04.07,

(73)专利权人 瓦里安半导体设备公司

US 2011/0186749 A1, 2011.08.04,

地址 美国麻萨诸塞州格洛斯特郡都利路35  
号

CN 103733300 A, 2014.04.16,

(72)发明人 科斯特尔·拜洛

US 2014/0001372 A1, 2014.01.02,

彼得·F·库鲁尼西

审查员 李晨雄

(54)发明名称

权利要求书3页 说明书14页 附图12页

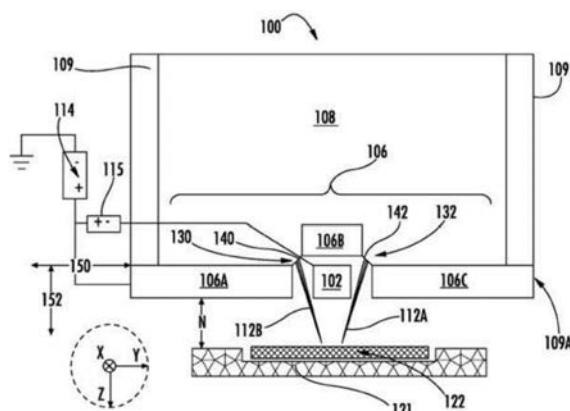
等离子体处理装置与系统以及控制离子束  
的方法

分布作出更进一步的控制。

(57)摘要

CN 107078010 B

本发明提供一种等离子体处理装置与系统以及控制离子束的方法，该装置包括：萃取板沿等离子体室的一侧配置，萃取板具有第一及第二孔洞，以及第一及第二孔洞之间的中间部分，第一及第二孔洞用以在等离子体存于等离子体室中且萃取电压施加于萃取板与基板之间时定义第一及第二离子束；隐藏偏向电极配置于等离子体室外邻近中间部分处，且电性绝缘于萃取板；以及隐藏偏向电极电源用以施加偏压至隐藏偏向电极，其中偏压用以修改第一及第二离子束中离子的入射平均角和/或围绕入射平均角的入射角范围。本发明的等离子体处理装置能对离子角



1.一种等离子体处理装置,其特征在于,包括:

萃取板,沿等离子体室的侧配置,所述萃取板具有第一孔洞、第二孔洞以及所述第一孔洞及所述第二孔洞之间的中间部分,所述第一孔洞及所述第二孔洞用以在等离子体存在于所述等离子体室中且萃取电压施加于所述萃取板与基板之间时定义第一离子束及第二离子束;

隐藏偏向电极,配置于所述等离子体室外邻近所述中间部分处,且电性绝缘于所述萃取板;以及

隐藏偏向电极电源,用以施加偏压至所述隐藏偏向电极,其中所述偏压用以修改所述第一离子束及所述第二离子束中离子的入射平均角及围绕所述入射平均角的入射角范围其中至少一个。

2.根据权利要求1所述的等离子体处理装置,其中所述萃取板形成第一等离子体弯月面及第二等离子体弯月面,以从中分别形成所述第一离子束及所述第二离子束。

3.根据权利要求1所述的等离子体处理装置,其中所述萃取板还包括所述第一孔洞外所述萃取板的第一外部分,以及所述第二孔洞外与所述第一外部分共面的所述萃取板的第二外部分,其中所述中间部分与所述第一外部分及所述第二外部分非共面。

4.根据权利要求1所述的等离子体处理装置,还包括隐藏聚焦电极,配置于所述等离子体室外邻近所述隐藏偏向电极处,且电性绝缘于所述萃取板及所述隐藏偏向电极。

5.根据权利要求4所述的等离子体处理装置,其中所述隐藏聚焦电极包括配置于邻近所述中间部分处的第三孔洞,其中所述第三孔洞用以让所述第一离子束及所述第二离子束穿越。

6.根据权利要求5所述的等离子体处理装置,还包括第二隐藏聚焦电极电源,用以施加第二偏压至所述隐藏聚焦电极,其中施加至所述隐藏聚焦电极的所述第二偏压用以调整所述第一离子束及所述第二离子束的一或多个所述入射角范围以及所述入射平均角。

7.根据权利要求1所述的等离子体处理装置,其中所述萃取板包括第三孔洞、第四孔洞以及配置于所述第三孔洞与所述第四孔洞之间的第二中间部分,所述第三孔洞及所述第四孔洞用以在所述等离子体存在于所述等离子体室中且所述萃取电压施加于所述萃取板与所述基板之间时定义第三离子束及第四离子束,且所述等离子体处理装置还包括:

第二隐藏偏向电极,配置于所述等离子体室外邻近所述第二中间部分处,且电性绝缘于所述萃取板;以及

第二隐藏偏向电极电源,用以施加第二偏压至所述第二隐藏偏向电极,且所述第二偏压与施加至所述隐藏偏向电极的所述偏压无关。

8.一种等离子体处理系统,其特征在于,包括:

等离子体源,耦接至等离子体室以于所述等离子体室中产生等离子体;

萃取板,沿所述等离子体室的侧配置,所述萃取板具有第一孔洞、第二孔洞以及所述第一孔洞及所述第二孔洞之间的中间部分,并用以在所述等离子体存在于所述等离子体室中且萃取电压施加于所述萃取板与基板之间时定义第一离子束及第二离子束;

隐藏偏向电极,配置于所述等离子体室外邻近所述中间部分处,且电性绝缘于所述萃取板;以及

隐藏偏向电极电源,用以施加偏压至所述隐藏偏向电极,其中所述偏压用以修改所述

第一离子束及所述第二离子束中离子的入射平均角及围绕所述入射平均角的入射角范围其中至少一个。

9. 根据权利要求8所述的等离子体处理系统,其中所述萃取板还包括所述第一孔洞外所述萃取板的第一外部分,所述第二孔洞外与所述第一外部分共面的所述萃取板的第二外部分,其中所述中间部分远离所述第一外部分及所述第二外部分而延伸进入所述等离子体室,且所述中间部分与所述第一外部分及所述第二外部分非共面。

10. 根据权利要求8所述的等离子体处理系统,还包括隐藏聚焦电极,配置于所述等离子体室外邻近所述隐藏偏向电极处,且电性绝缘于所述萃取板及所述隐藏偏向电极,其中所述隐藏聚焦电极包括配置于邻近所述隐藏偏向电极处的第三孔洞,其中所述第三孔洞用以让所述第一离子束及所述第二离子束穿越,其中所述隐藏偏向电极及所述隐藏聚焦电极各自用以在垂直于所述萃取板的所述中间部分的方向上移动。

11. 根据权利要求10所述的等离子体处理系统,还包括第二隐藏聚焦电极电源,用以施加第二偏压至所述隐藏聚焦电极,其中施加至所述隐藏聚焦电极的所述第二偏压是用以调整所述第一离子束及所述第二离子束的一或多个所述入射角范围以及所述入射平均角,且其中所述隐藏偏向电极及所述隐藏聚焦电极共同操作以各自独立地调整所述第一离子束及所述第二离子束中的所述入射角范围及所述入射平均角。

12. 根据权利要求8所述的等离子体处理系统,还包括多个隐藏偏向电极及多孔洞隐藏聚焦电极,其中:

所述多个隐藏偏向电极各自独立地用以接收偏向电压,其中

所述多孔洞隐藏聚焦电极包括多个孔洞,所述多个孔洞与对应的所述多个隐藏偏向电极相邻,且其中

所述多个隐藏偏向电极及所述多孔洞隐藏聚焦电极用以产生多对离子束,其中直接穿越第一聚焦电极孔洞的第一对离子束中的第一离子角分布与直接穿越第二聚焦电极孔洞的第二对离子束中的第二离子角分布不相同。

13. 一种以隐藏偏向电极控制离子束的方法,用于基板,其特征在于,包括:

在与包含所述基板的处理室邻近的等离子体室中产生等离子体;

提供沿所述等离子体室的侧配置的萃取板,所述萃取板具有第一孔洞、第二孔洞以及所述第一孔洞及所述第二孔洞之间的中间部分,所述第一孔洞及所述第二孔洞用以在所述等离子体存在于所述等离子体室中且萃取电压施加于所述萃取板与所述基板之间时定义第一离子束及第二离子束;

将所述隐藏偏向电极配置于所述等离子体室外邻近所述中间部分处,并电性绝缘于所述萃取板;以及

施加偏压至所述隐藏偏向电极,其中所述偏压用以修改所述第一离子束及所述第二离子束中离子的入射平均角及围绕所述入射平均角的入射角范围其中至少一个。

14. 根据权利要求13所述的方法,还包括:

配置所述第一孔洞与所述第二孔洞以定义各自与所述基板的平面形成非零角度的对应的第一孔洞平面及第二孔洞平面。

15. 根据权利要求13所述的方法,还包括:

提供第三孔洞、第四孔洞以及配置于所述第三孔洞与所述第四孔洞之间的第二中间部

分,所述第三孔洞及所述第四孔洞用以在所述等离子体存在于所述等离子体室中且所述萃取电压施加于所述萃取板与所述基板之间时定义第三离子束及第四离子束;

提供第二隐藏偏向电极,所述第二隐藏偏向电极配置于所述等离子体室外邻近所述第二中间部分处,且电性绝缘于所述萃取板;以及

提供多孔洞隐藏聚焦电极,其于所述等离子体室被隐蔽,且电性绝缘于所述萃取板、所述隐藏偏向电极以及所述第二隐藏偏向电极,所述多孔洞隐藏聚焦电极具有邻近所述隐藏偏向电极的第一聚焦电极孔洞以及邻近所述第二隐藏偏向电极的第二聚焦电极孔洞,其中

所述隐藏偏向电极、所述第二隐藏偏向电极以及所述多孔洞隐藏聚焦电极用以产生多对离子束,其中直接穿越所述第一聚焦电极孔洞的第一对离子束中的第一离子角分布与直接穿越所述第二聚焦电极孔洞的第二对离子束中的第二离子角分布不相同。

## 等离子体处理装置与系统以及控制离子束的方法

### 技术领域

[0001] 本发明是有关于一种等离子体处理装置与系统以及控制离子束的方法,且特别是有关于如何以隐藏偏向电极结合隐藏聚焦电极的使用来控制从等离子体源萃取出的带状离子束的角分布(平均角及角扩展)。

### 背景技术

[0002] 现有技术中用来处理具有离子的基板的装置包括束线离子植入器 (beamline ion implanters) 以及等离子体浸入离子植入 (plasma immersion ion implantation) 工具。两个皆适用在一定能量范围内注入离子。在束线离子植入器中,离子是从来源处萃取并经过质量分析后输送至基板表面。在等离子体浸入离子植入装置中,基板位于与等离子体产生处相同的腔室并且邻近基板产生。因应在基板上以垂直入射角与基板撞击处前方的等离子体鞘相交的等离子体与离子,基板设为负电位。近年来,已发展出一种能控制经萃取的离子角分布 (ion angular distribution, 简称: IAD) 的新型处理装置。虽然在这种装置中离子是从等离子体室萃取出,但与束线式中基板位于离子源的远处不同的是,基板位于靠近等离子体室之处。离子经由靠近等离子体的萃取板中特定几何形状的孔洞而萃取出。改变孔洞的几何形状将可改变离子角分布(即,离子分布的平均角与角扩展)。这种方式适合处理具有三维结构 (3D structure) 的基板(即,其呈现表面特征中具有需暴露到离子的侧壁)以进行植入、沉积、蚀刻或其他处理用途。为了处理所述侧壁,离子会经由特定形状与大小的孔洞来萃取以产生离子束宽及角分布。该孔洞通常具有细长形状,以便萃取出具有3至30毫米高度及350至400毫米宽度的带状离子束。当离子束较待处理基板为宽(例如,300毫米宽的硅晶圆)时,将基板传到带状离子束前方即可立刻完成处理步骤。在更多的处理需求时,可视所需次数使基板在离子束前来回移动。

[0003] 另一方面,除了射束形状及射束电流之外,可期望的是等离子体处理系统有能对离子角分布 (IAD) 作出更进一步的控制。正是关于这些和其他考虑,目前的改良已经需要。

### 发明内容

[0004] 本发明内容以使用简化形式来介绍本发明精选的概念,而其详细说明将于以下实施方式中提供。本发明内容非用以指出要求所欲保护主题中主要特征或必要特征,也非作为帮助决定所欲要求保护主题的范围。

[0005] 在一实施例中,等离子体处理装置可包括萃取板沿等离子体室的一侧配置,萃取板具有第一孔洞、第二孔洞以及第一孔洞及第二孔洞之间的中间部分,第一孔洞及第二孔洞用以在等离子体存在于等离子体室中且萃取电压施加于萃取板与基板之间时定义第一离子束及第二离子束;隐藏偏向电极配置于等离子体室外邻近中间部分处,且电性绝缘于萃取板;以及隐藏偏向电极电源用以施加偏压至隐藏偏向电极,其中偏压用以修改第一离子束及第二离子束中离子的入射平均角及围绕入射平均角的入射角范围其中至少一个。

[0006] 在一实施例中,等离子体处理系统可包括等离子体源耦接至等离子体室以于等离

子体室中产生等离子体；萃取板沿等离子体室的一侧配置，萃取板具有第一孔洞、第二孔洞以及第一孔洞及第二孔洞之间的中间部分，并用以在等离子体存在于等离子体室中且萃取电压施加于萃取板与基板之间时定义第一离子束及第二离子束；隐藏偏向电极，配置于等离子体室外邻近中间部分处，且电性绝缘于萃取板；以及隐藏偏向电极电源用以施加偏压至隐藏偏向电极，其中偏压用以修改第一离子束及第二离子束中离子的入射平均角及围绕入射平均角的入射角范围其中至少一个。

[0007] 在另一实施例中，以隐藏偏向电极控制提供于基板的离子束的方法包括在与包含基板的处理室邻近的等离子体室中产生等离子体；提供沿等离子体室的一侧配置的萃取板，萃取板具有第一孔洞、第二孔洞以及第一孔洞及第二孔洞之间的中间部分，第一孔洞及第二孔洞用以在等离子体存在于等离子体室中且萃取电压施加于萃取板与基板之间时定义第一离子束及第二离子束；将隐藏偏向电极配置于等离子体室外邻近中间部分处，并电性绝缘于萃取板；以及施加偏压至隐藏偏向电极，其中偏压用以修改第一离子束及第二离子束中离子的入射平均角及围绕入射平均角的入射角范围其中至少一个。

## 附图说明

- [0008] 图1A示出与本发明多个实施例一致的处理装置的垂直剖面图(0yz平面)。
- [0009] 图1B示出与本发明多个实施例一致的图1A的处理装置的萃取光学元件的上视图。
- [0010] 图1C示出示例性离子角分布。
- [0011] 图1D示出另一示例性离子角分布。
- [0012] 图1E示出与本发明多个实施例一致的图1A的处理装置的离子萃取区的分解剖面图(0yz平面)。
- [0013] 图2A至2C描述图1A的处理装置的运作情形并示出在2kV萃取电压和0、-200、和-400伏特的偏向电压在萃取区域中的细射束、形状以及静电电位分布。
- [0014] 图3A至3C示出图1A的处理装置以及图2A至2C的运作情形的离子束放射率的模拟结果。
- [0015] 图4A至4C描述图1A的处理装置以及图2A至2C所示出的运作情形的离子角分布。
- [0016] 图5A至5C示出在三种不同运作情形下的处理装置的电极配置、细射束形状及静电电位分布，其处理装置具有与图1A的处理装置的多个实施例一致的隐藏偏向电极及聚焦电极。
- [0017] 图6A至6C示出图5A至5C的系统中隐藏偏向与聚焦电极对应于各种组合的偏压而在晶圆平面上所得的带状离子角分布的模拟结果。
- [0018] 图7A与7B示出与图1A的处理装置的多个实施例一致的在萃取几何形状呈现具有多个隐藏偏向电极的离子植入机的电极配置、细射束形状以及静电电位分布。
- [0019] 图8A与8B示出与图1A的处理装置的多个实施例一致的呈现具有多个隐藏偏向电极及聚焦电极的离子植入机的电极配置、细射束形状以及静电电位分布。
- [0020] 附图标号说明
- [0021] 100、500、750、800：处理装置；
- [0022] 102、712、714、：隐藏偏向电极；
- [0023] 106、700：萃取板；

- [0024] 106A:第一外部分;
- [0025] 106B:中间部分;
- [0026] 106C:第二外部分;
- [0027] 108:等离子体;
- [0028] 109:等离子体室;
- [0029] 109A:底部;
- [0030] 112A:第一离子束;
- [0031] 112B:第二离子束;
- [0032] 114:萃取电源;
- [0033] 115:隐藏偏向电极电源;
- [0034] 121:基板座;
- [0035] 122:基板;
- [0036] 130:第一孔洞;
- [0037] 132:第二孔洞;
- [0038] 135:小入射角;
- [0039] 136:广角扩散;
- [0040] 140:第一等离子体弯月面;
- [0041] 142:第二等离子体弯月面;
- [0042] 145:大入射角;
- [0043] 146:窄角扩散;
- [0044] 150:平面;
- [0045] 152:垂直平面;
- [0046] 153:萃取区域;
- [0047] 220:静电等势线;
- [0048] 508:隐藏聚焦电极;
- [0049] 510:第三孔洞;
- [0050] 704、706、708、710、722、724、726、728、812、814、816、818、822、824、826、828:离子束;
- [0051] 802:多孔洞隐藏聚焦电极;
- [0052] 804:聚焦电极孔洞;
- [0053] 806:第二聚焦电极孔第。

### 具体实施方式

[0054] 以下将通过本发明的较佳实施例并配合附图参考,以详细描述本发明。本发明可以不同形式来实施,然而,不该被解释为限定用于以下实施例。提供此等实施例旨在使本发明内容透彻且完整,并将向本领域技术人员充分地传达本发明概念的范畴。本文所有附图中,相同的编号代表相同的元件。

[0055] 以下实施例中所描述装置、系统以及方法,是使用隐藏偏向电极控制引导至基板的离子角分布。特别是,本发明实施例提供一种新颖的萃取系统,其可从等离子体产生离子

束并控制其离子角分布 (ion angular distribution, 简称: IAD)。术语“离子角分布”意指离子束中离子相对于与基板垂直的参考方向的入射平均角, 以及分布宽度或围绕平均角的入射角范围 (简称为“角扩展”)。在此处揭示的实施例中, 所述新颖的萃取系统可包括沿等离子体室一侧配置的萃取板, 所述萃取板具有第一细长孔洞、第二细长孔洞以及第一孔洞及第二孔洞之间的中间部分, 并用以在等离子体存在于等离子体室中且萃取电压施加于萃取板与基板之间时定义第一带状离子束及第二带状离子束, 隐藏偏向电极配置于等离子体室外邻近中间部分且电性绝缘于萃取板, 以及偏向电极电源用以施加偏压至隐藏偏向电极, 其中偏压用以修改第一离子束及第二离子束中离子的入射平均角及围绕平均角的入射角范围其中至少一个。如上所述, 离子束的入射角是由调整施加至萃取系统的电压和/或调整萃取系统的多个组件的位置、调整等离子体密度(即, 气压和/或射频功率)或以上全部控制。当隐藏偏向电极不受经由弯月面从等离子体萃取的离子撞击时, 所述隐藏偏向电极可视为从等离子体室或等离子体被“隐藏” (hidden)。

[0056] 在高深宽比半导体结构的等离子体处理方面, 提供的装置、系统与方法有利于在不撞击到萃取光学元件成分的前提下, 提供对离子束的离子角分布 (IAD) 进行就地 (in situ) 控制及操纵。

[0057] 这有别于以偏压式偏向电极来控制离子角分布的处理系统, 其中所述偏压式偏向电极是浸入于邻近萃取电极提供的萃取孔洞处的等离子体。在这种情况下, 由于偏压电极位于等离子体之中, 在操作期间 (尤其是在高偏压下), 偏压电极会暴露到高能离子轰击。因此偏压电极的材料可能会溅散。溅散的原子可能在凝结而形成微小粒子后沉积在经处理基板上且对处理程序产生不利影响。

[0058] 为了从等离子体萃取出正离子, 可通过将基板接地并将等离子体室提升至正电位, 或者将等离子体室接地并将基板置于负电位, 而将萃取电压施加于等离子体室的导电部件与基板之间。偏压电极可由相对于等离子体室而偏压至负电位 (例如, 0V至-1000V) 的导电材料所组成, 以便偏压电极对离子角分布进行相当的控制 (例如, 对入射平均角进行 30°的变动并提供4°至25°范围内的角扩展)。

[0059] 然而, 由于偏压电极是位于等离子体之中, 在操作期间 (尤其是在高偏压下), 偏压电极会暴露到离子轰击。因此偏压电极的材料会溅散。溅散的原子可能在凝结而形成微小粒子后沉积在经处理基板上而降低基板材料的品质。

[0060] 如上所述, 在本发明实施例中, 所述装置、系统与方法有利于产生可以就地 (in situ) 方式对离子角分布 (IAD) 进行控制的离子束, 且由于所用偏向电极并非浸入在等离子体之中而是于等离子体室中从大量等离子体隐藏 (或隐蔽), 因此不会出现电极溅散的情形。上述优点可通过一种离子萃取光学系统的使用来提供, 所述离子萃取光学系统兼具可就地 (in situ) 控制离子角分布的特性同时可缓解电极溅散的不利影响。此外, 此处揭示的装置及系统更可在偏向电极不受电极溅散影响下对平均角及角扩展进行独立控制。

[0061] 与多个实施例一致, 离子束角分布特性 (平均角及角扩展) 上的变动可通过改变不同参数间的任意组合来达成。离子束形状的变动则可随着平均入射角及角扩展在不破坏处理装置的真空状态下达成。因此, 本发明实施例旨在协助对提供至基板的离子, 在平均入射角及角扩展 (即, 离子角分布 (IAD)) 方面, 进行所谓就地 (in-situ) 控制。根据多个实施例, 产生离子角分布变化的就地 (in-situ) 控制可通过改变隐藏偏向电极及隐藏聚焦电极的位

置；改变一或多个孔洞的大小；改变传递至等离子体的射频功率；改变气压；或改变施加至处理装置的组件的电压（包括施加至隐藏偏向电极、基板座/基板、萃取板或等离子体室的电压）进行。然本发明实施例不以上述方法为限。

[0062] 图1A是依照本发明多个实施例所示出的处理装置100。处理装置100具有与本发明多个实施例所述一致的隐藏偏向电极102。处理装置100使用等离子体源以在等离子体室109中产生等离子体108。为了取得离子束，等离子体室109可在“X”维度上具有超过100至200毫米的大小，而使离子束（例如，第一离子束112A及第二离子束112B）具有期望的离子束宽度。

[0063] 萃取板106（示出为106A、106B及106C）为沿等离子体室109的一侧配置。在图1A中，萃取板106（图1A中的106示出为如下所述的106A、106B及106C）配置在等离子体室109的底部109A。萃取板106可定义为等离子体室109的部分腔室壁。如图1B所示，萃取板106定义了第一孔洞130及第二孔洞132以让离子穿越而被萃取为离子束（例如，图1A示出定义为第一离子束112A及第二离子束112B的一对离子束，也称带状离子束）并朝向基板座121中的基板122。萃取孔洞在X维度的长度可比期望的带状离子束超出50至100毫米。举例来说，若期望带状离子束能够处理300毫米的硅晶圆，萃取狭缝在X方向上的长度应为350至400毫米。萃取孔洞于Y方向上的开口可介于3毫米与15毫米之间。萃取板106可为一个具有中间部分106B的平板，所述中间部分106B定义为萃取板106的外部之间，例如萃取板106的中间部分106B两侧的第一外部分106A及第二外部分106C。萃取板106包括第一孔洞130外萃取板106的第一外部分106A，以及第二孔洞132外与第一外部分106A共面的萃取板106的第二外部分106C。第一外部分106A、中间部分106B以及第二外部分106C皆具导电性。第一外部分106A、中间部分106B以及第二外部分106C可沿着平行于Z轴的方向相对于彼此而移动。中间部分106B与第一外部分106A及第二外部分106C非共面。中间部分106B配置于第一孔洞130及第二孔洞132之间，并用以在等离子体108存在于等离子体室109中且萃取电压施加于萃取板与基板之间时定义第一离子束112A及第二离子束112B。萃取板106形成第一等离子体弯月面140以及第二等离子体弯月面142。该些弯月面具有在X方向延伸所有孔洞长度的弯曲2D形状。该些弯月面是在等离子体108与外部萃取静电场之间静电平衡的结果，且代表等离子体108与真空（未示出）之间的边界。弯月面的方向、形状以及面积分别定义了离子束被萃取的自然角度、离子束放射率以及某种程度上的离子束电流。第一外部分106A、第二外部分106C以及中间部分106B定义了萃取板106，且可视为单一电性连接的系统并以三个独立组件做为示例。图1A的平面150示出互相为共面的第一外部分106A与第二外部分106C。平面150或“基板平面”（substrate plane）也可以平行于基板122的平面。垂直平面152示出沿着图1A的Z平面并垂直于平面150的一个平面或一条线（或移动）。

[0064] 隐藏偏向电极102配置于邻近萃取板106的中间部分106B处并位于等离子体室109的等离子体108之外，而且电性绝缘于萃取板106。当经由第一等离子体弯月面140及第二等离子体弯月面142从等离子体108萃取的离子（例如，第一离子束112A及第二离子束112B）不会撞击到隐藏偏向电极时，隐藏偏向电极102可视为从等离子体室109或等离子体108被“隐蔽”（concealed）。

[0065] 更具体来说，隐藏偏向电极102可视为从等离子体室被隐藏的原因在于，萃取板106屏蔽了隐藏偏向电极102。隐藏偏向电极102位于等离子体室109之外。而隐藏偏向电极

之所以被隐藏,不是因为隐藏偏向电极102从等离子体108经由任何孔洞(例如,第一孔洞130和/或第二孔洞132)可及之处以外,而是因为隐藏偏向电极102是被萃取板106的中间部分106B从等离子体108屏蔽。这是因为中间部分106B是配置在等离子体108(更具体来说,是等离子体室109)与隐藏偏向电极102之间,而不是因为隐藏偏向电极102一定需要在来自等离子体108的离子(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)可及之处以外。因此,隐藏偏向电极102可视为从等离子体108完全地和/或部份地“隐藏”。

[0066] 隐藏偏向电极电源115施加偏压至隐藏偏向电极102。所述偏压用以修改在该第一离子束112A及在该第二离子束112B中离子的入射平均角及围绕平均角的入射角范围其中至少一个。从隐藏偏向电极电源115施加至隐藏偏向电极102的所述偏压用以独立地控制第一离子束112A及第二离子束112B。隐藏偏向电极102用以在垂直于萃取板106的中间部分106B的方向上移动。由于所述电极在Y与Z方向上的尺寸够小且其位置与萃取板106相对,就算在萃取第一离子束112A及第二离子束112B时被施加了最高偏压,所述电极也不会遭受离子的撞击。换句话说,隐藏偏向电极102是隐藏在萃取光学元件的中央部分后方。简言之,隐藏偏向电极102可对经由第一孔洞130的第一离子束112A及经由第二孔洞132的第二离子束112B萃取的光学元件作出调整。如图1A所示,举例来说,当隐藏偏向电极102位于靠近萃取板的中间部分106B且近接第一孔洞130与第二孔洞132之间时,第一离子束112A及第二离子束112B可经由第一孔洞130及第二孔洞132而萃取成不同的两条离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)。带有正离子的所述离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)可在等离子体108保持在相对于基板122而提升的电位时被萃取。参见图1A所示,在一特定实施例中,可通过从萃取电源114将萃取电压施加至萃取板来提升等离子体的电位。施加至隐藏偏向电极102的负偏压参考施加至萃取板的萃取电压(即,偏压在萃取电压之上)。在另一实施例中,萃取板接地且隐藏偏向电极电源115引用接地电位。在这种情况下,为了萃取正离子,基板会通过电源(未示出)电性连接至基板座保持对应于接地的负电位。

[0067] 在本实施例中,从等离子体108萃取的细射束的离子角分布可通过控制偏压施加至不同组件来改变,以下将详细描述。图1C及图1D提供一对离子束的离子角分布的示例,藉以描述本实施例中受控离子束的特征。

[0068] 通过位于等离子体108外且邻近萃取孔洞的偏压电极(例如,隐藏偏向电极102),并使用双模态萃取几何形状(即,将萃取狭缝拆成两相同狭缝),即可萃取出两条离子细射线(例如,第一离子束112A及该第二离子束112B)。这些细射线具有相对于基板法线的对称入射角以及相同的角扩展。可在晶圆表面取得的离子角分布会依据等离子体浓度、z间隙长度、萃取电压以及偏压值而有所不同。因此,有可能取得具有小入射角与广角扩散(135、136)的分布,或者具有大入射角与窄角扩散(145、146)的分布。也有可能取得其他组合(即,小入射角搭配窄角扩散及大入射角搭配广角扩散)。在图1C示出的离子角分布中,平均角为 $+/-20$ 度且半峰全幅值(full width at half maximum,简称:FWHM)为10度;而在图1D示出的离子角分布中,平均角为30度且半峰全幅值为2度。

[0069] 具有特征为大平均角的离子角分布可通过此种组态的自然几何角度来取得。当等离子体108于等离子体室109中产生且萃取电压施加至萃取板与基板之间时,第一等离子体弯月面140会在第一外部分106A与中间部分106B的边缘之间形成以定义第一孔洞130。当等离子体108于等离子体室109中产生且萃取电压施加至萃取板与基板之间时,第二等离子体

弯月面142会在第二外部分106C与中间部分106B的边缘之间形成以定义第二孔洞132。萃取板106可由萃取电源114来施以偏压,而隐藏偏向电极102可由独立的且参考萃取电源的隐藏偏向电极电源115施以偏压。如先前所述,在一实施例中,电性连接至基板122的基板座121是维持在接地电压。在经提升电压的等离子体108与基板之间的电压差会引发第一离子束112A与第二离子束112B的形成并使两个以斜向入射(即,如所示沿着相对于所示Z轴形成非零角度的轨迹)至基板122。这种斜向入射有利于处理多个表面,所述表面特征在于经对齐后可使所述表面不与X-Y平面平行。这种特征常见于三维(3D)半导体结构中。在多个实施例中,可调整诸如隐藏偏向电极102相对于萃取板106的位置、基板相对于萃取板106的z位置以及施加至萃取光学系统的不同组件的电压等参数,藉以控制、操纵、改变、引导和/或调整朝向基板(例如,基板122)的离子束的入射角及角扩展。

[0070] 在一实施例中,为了产生第一离子束112A及第二离子束112B(两个皆可为正离子并在基板122上具有期望的能量),可通过不同的电源(未示出)相对于接地对基板座施以负偏压,同时通过将萃取板连接到接地而使等离子体108保持在接地电位。

[0071] 在多个实施例中,基板座121可耦接至驱动机(未示出),该驱动机用以将基板座121沿平行于所示卡氏(Cartesian)坐标系统的Y轴方向移动。在其他实施例中,基板座121可沿平行于Z轴的方向移动。如此即可提供处理装置100两种维度(即,允许修改基板122与第一孔洞130及第二孔洞132两个的相对位置,以及允许相对于第一孔洞130及第二孔洞132来扫描基板122,而使第一离子束112A及第二离子束112B能在某些情况下提供至基板122的整个表面)。

[0072] 在一实施例中,第一孔洞130及第二孔洞132在Y方向上以20至50毫米(mm)的中间部分隔开,此中间部分定义了萃取板106的平坦部分。隐藏偏向电极102置于此中间部分106B前方且与中间部分106B非共面。在Z方向上,隐藏偏向电极102配置在位于离中间部分5至25毫米处以避免在隐藏偏向电极102与中间部分106B之间出现帕申(Paschen)击穿(breakdown)现象。在Y方向上,隐藏偏向电极102的上下边缘比中间部分106B短少3至5毫米,以便在不撞击隐藏电极下进行离子束的萃取。

[0073] 将负偏压施加至隐藏偏向电极102可改变在第一孔洞130及第二孔洞132的萃取区域中的静电电位分布。因此,在给定的萃取电压、z间隙长度以及依偏压值而定的等离子体浓度(其由气压及射频功率来设定)时,离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)会朝向或远离隐藏偏向电极102而被弯折或弯曲,因而改变第一离子束112A及第二离子束112B的离子角分布。由于离子是以波姆(Bohm)速度横过弯月面,离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)会以较低的动能离开第一孔洞130及第二孔洞132。

$$[0074] K = m_i V_B^2 / 2 \quad (1)$$

[0075] 其中 $m_i$ 为离子质量,且 $V_B$ 为波姆(Bohm)速度(离子声速)并以下列等式来求得:

$$[0076] V_B = \sqrt{k_B T_e} / m_i \quad (2)$$

[0077] 其中 $k_B$ 为波兹曼常数(Boltzmann constant),而 $T_e$ 为电子温度(electron temperature)。因此,由于离第一孔洞130及第二孔洞132相当之近,施加至隐藏偏向电极102的偏压可有效地调整萃取区域中的静电电位拓扑,并且暗中地塑形出第一离子束112A

及第二离子束112B的离子角分布(IAD)。

[0078] 当隐藏偏向电极102具有如此的尺寸、位置及方向,就算是遭遇到在最高负偏压被施加至与最低萃取电压耦接的隐藏偏向电极102这种最不欲见的组合,从等离子体108萃取的离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)依然无法到达隐藏偏向电极102。在离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)没有撞击隐藏偏向电极102的状况下,便不会发生溅散效应。等离子体108及等离子体室109(例如,等离子体室109的壁面)与萃取板106之间的电位差通常在仅低于溅散临界值的几伏特而已。这样的方式不但能减缓粒子生成所造成的不利影响,更能维持对离子角分布的就地(*in situ*)控制。

[0079] 图1E示出与本发明多个实施例一致的图1A的处理装置的离子萃取区的分解剖面图。需注意的是,图1E为图1A的局部剖面图,且图1E中的任何参考资料同样适用在图1A的整体部分。例如,当参考资料提及第一离子束112A时,第二离子束112B可套用与之相同的叙述及参考资料。如图所示,隐藏偏向电极102配置于邻近萃取板106的中间部分106B处并从位于等离子体室109的等离子体108被隐藏。隐藏偏向电极102电性绝缘于萃取板106。隐藏偏向电极电源115用以施加偏压至隐藏偏向电极102。施加至隐藏偏向电极102的所述偏压可用以改变第一离子束112A及第二离子束112B中离子的入射平均角及围绕平均角的入射角范围其中至少一个。从隐藏偏向电极电源115施加至隐藏偏向电极102的所述偏压用以独立地控制第一离子束112A和/或第二离子束112B。

[0080] 图1E中更详细示出了在对基板(图1E中未示出)相对于等离子体108施以偏压的同时,等离子体108与基板之间的电场发展引发了等离子体弯月面的形成(例如,第二等离子体弯月面142),所述等离子体弯月面形成于中间部分106B的边缘与第二外部分106C的边缘之间。此外,如图1A所示,于中间部分106B的边缘与第一外部分106A的边缘之间也会形成等离子体弯月面(例如,第一等离子体弯月面140)。当偏压施加至隐藏偏向电极102时,可改变在等离子体108与基板之间的电场形状,包括通常显示为靠近第二等离子体弯月面142及隐藏偏向电极102的萃取区域153。电场形状的改变可能导致第一离子束112A中离子的入射平均角甚至角扩展的改变,以下将详细描述。

[0081] 图2A至2C描述图1A的处理装置的运作情形并示出在2kV萃取电压和0、-200、和-400伏特的偏向电压在萃取区域中的细射束、形状以及静电电位分布。图2A至2C描绘针对处理装置100的三种运作情形,其中一对离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)是以第一组条件从等离子体108萃取而出。为了便于说明,此处假设各个离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)中的离子皆形成了相对于垂直基板122方向的平均角且形成相同入射角范围,而除非另有注明,否则平均角皆以相对于垂直基板方向的角度的绝对值来定义。基此,相对于垂直基板表面方向(Z轴方向)的角度+θ以及相对于垂直基板表面方向的角度-θ可视为组成相同平均角。更进一步如图2A至2C所示,可弯折中间部分106B的边缘以及第一外部分106A和第二外部分106C的边缘,藉以定义出相对于基板平面(参见图1A的平面150)形成非零角度的孔洞平面。换句话说,第一孔洞130与第二孔洞132可经配置以定义各自与基板的平面形成非零角度的第一孔洞平面及第二孔洞平面(例如,对应的孔洞平面)。如此一来,当经由第一孔洞130与第二孔洞132萃取离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)时,离子束易于形成相对于垂直平面152的非零角度。

[0082] 同样适用于图2A至2C,萃取板106的第一外部分106A、第二外部分106C以及中间部

分106B皆被施加以2千伏(kilovolts,kV)的相同萃取电压。

[0083] 图2A呈现萃取几何形状以隐藏偏向电极102来控制、操纵及调整离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的离子角分布的示例,所述萃取几何形状用以代表在对隐藏偏向电极102施加以零偏压(0V)时该对离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的离子角分布。图2B呈现萃取几何形状以隐藏偏向电极102来控制、操纵及调整离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的离子角分布的示例,所述萃取几何形状用以代表在对隐藏偏向电极102施加以负200偏压(-200V)时该对离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的离子角分布。图2C呈现萃取几何形状以隐藏偏向电极102来控制、操纵及调整离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的离子角分布的示例,所述萃取几何形状用以代表在对隐藏偏向电极102施加以负400偏压(-400V)时该对离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的离子角分布。

[0084] 离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的萃取几何形状与隐藏偏向电极102显示于包括维持在接地电位的等离子体室109以及维持在高负电位(期望的离子束能量)的基板122的图2A中。也可以相反的作法使等离子体室109维持在高正电位且基板122维持在接地电位来达成同样效果。对于离子萃取光学元件来说,影响之处仅在于等离子体室109与基板122之间的电位差(电压)。图2A示出经萃取的离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)形状以及在电极间间隙中的静电等势(equipotential)线220。在萃取区域中,由第一孔洞130及第二孔洞132所定义的中间部分106B具有(朝向等离子体108处)向内的弯折处或弯曲处,以使萃取狭缝可对称地面向一预定角度。这种几何形状可使离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)以相对于基板122平面上法线(Z轴)的“自然”倾斜角(+θ或-θ)来萃取。图2B及图2C示出在隐藏偏向电极102上偏压的绝对值增加时,经萃取离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的形状以及静电等势线220。将偏压增加后,会使静电等势线有较宽间隔的效果,也意味着在萃取区域中会有较弱的静电电位梯度(电场)。这个事实会影响到经萃取离子束的入射平均角及角扩展两个。

[0085] 图3A至3C示出图2A至2C的三个测试运作的对称的一对离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的对称的放射率曲线(其描述在基板表面的角度对位置)。图3A至3C中的多个描点示出在分别施加2KV的萃取电压与0、-200及-400伏特的偏压至隐藏偏向电极102时,基板表面处射束放射率曲线的改变。由于萃取光学元件在几何图形上有对称性,其放射率曲线也为对称(即,基板表面上有对称角度及对称位置)。图3A描绘在施加零(0)偏压至隐藏偏向电极102时,离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的放射率(即,角射束特性对于在基板表面处0y方向上的射束位置)。可以看出的是,射束中大多数的离子是以介于10至17度的角度撞击基板122的表面,导致平均角为约14度而角扩展为约2度。所述射束在基板表面上以17毫米隔开且其在基板表面上的足迹约为3毫米。离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的放射率曲线的方向显示离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)两个为收敛的(convergent)。

[0086] 图3B描绘在施加(-200V)偏压至隐藏偏向电极102时,离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的放射率(即,角射束特性对于0y方向上的射束位置)。可以看出的是,离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)是以介于约17度的角度撞击基板122的表面。所述射束在基板表面上以14毫米隔开且其在基板表面上的足迹约为3毫米。离子束

(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的放射率曲线的方向显示离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)两个为平行(即,零发散(zero divergence))。

[0087] 图3C描绘在施加(-400V)偏压至隐藏偏向电极102时,离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的放射率(即,角射束特性对于0y方向上的射束位置)。可以看出的是,射束中大多数的离子是以介于20至23度的角度撞击基板122的表面,导致平均角约为约21度而角扩展为约2度。所述射束在基板表面上以12毫米隔开且其在基板表面上的足迹约为4毫米。离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的放射率曲线的方向显示离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)两个略为发散(slightly divergent)。

[0088] 图4A至4C描述对应于图2A至2C的三个运作情形的相同的萃取电压(2kV)和偏压的离子角分布的模拟结果。在图4A所示的离子电流密度分布中,射束中大多数的离子是以介于10至17度的角度撞击基板122的表面,导致平均角为约14度而角扩展为约2度。在图4B所示的离子电流密度分布中,射束中大多数的离子是以约17度的角度撞击基板122的表面。这种情况下,角扩展相当之小,甚至低零点几度。在图4C所示的离子电流密度分布中,射束中大多数的离子是以介于20至23度的角度撞击基板122的表面,导致平均角为约21度而角扩展为约2度。图4A至4C示出在给定的萃取电压(此例中为2kV)以及如图1A的几何图形时,可通过将偏压从0V改变至-400V而使平均角从10°改变至22°。对应地调整等离子体浓度与萃取电压和/或调整隐藏偏向电极102的位置,更可使其变为更大的角度。

[0089] 图5A至5C呈现一种处理装置500的方块图,其具有与本发明多个实施例所述一致的隐藏偏向电极102及隐藏聚焦电极508的离子植入器(ion implanters)。由于精准材料改性(precision material modification,简称:PMM)应用需要能对离子角分布特性作出独立控制(即,平均角及角扩展的正交控制),萃取板106与基板122之间采用了一种第二可偏压电极(例如,隐藏聚焦电极508)来提供集中效果或“微调”离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)的平均角及角扩展。图5A至5C示出了处理装置100在使用相同萃取电压(2kV)以及不同组合的偏压与聚焦电压下的三种运作方案。在图5A至5C中,隐藏聚焦电极508配置于等离子体室109外邻近隐藏偏向电极102处,且电性绝缘于萃取板106及隐藏偏向电极102。在一实施例中,隐藏聚焦电极508包括配置于邻近中间部分106B处的第三孔洞510。第三孔洞510用以使如图1A所示的离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)可穿越第三孔洞510。

[0090] 在一实施例中,第二隐藏聚焦电极电源(未示出)施加第二偏压至隐藏聚焦电极508以集中、调整和/或微调离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B),且所述第二隐藏聚焦电极电源也参考萃取电源114。施加至隐藏聚焦电极508的第二偏压会集中或调整第一离子束112A及第二离子束112B的形状及角特性。隐藏聚焦电极508可置于萃取板106与基板122之间,并被隐藏偏向电极102独立地施以在萃取电压之上的偏压。改变隐藏聚焦电极508上的电压会改变萃取区域中静电等势线220的拓扑,因此经由萃取板106的第一孔洞130及第二孔洞132萃取而出离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)也随之改变。

[0091] 当隐藏聚焦电极508结合隐藏偏向电极102被施以偏压时,隐藏聚焦电极508会为等离子体室109萃取的离子束(例如,第一离子束112A及第二离子束112B)带来集中效果,因而所得的角扩展会较紧密,或者离子角分布会较集中。而且,在一实施例中,正偏压也可获

得集中效果。因此，隐藏聚焦电极508用作聚焦电极以缩窄第一离子束112A及第二离子束112B中围绕平均角的入射角范围(参见图1A)。隐藏聚焦电极508也协助隐藏偏向电极102以控制、操纵、调整和/或引导离子束(例如，第一离子束112A及第二离子束112B)的方向。在一实施例中，隐藏偏向电极102及隐藏聚焦电极508可共同操作以各自独立地调整入射角范围及入射平均角。

[0092] 图5A中使用了2kV的萃取电压、-400V的偏压以及0V的聚焦电压，而萃取区域中静电等势线220的拓扑显示离子束(例如，第一离子束112A及第二离子束112B)在与基板122的表面相交前会横越彼此。图5B中使用了同样为2kV的萃取电压但偏压为-200V且聚焦电压为-200V，静电等势线220的拓扑产生变化而较不集中且离子束会在基板表面上彼此相交。图5C中使用了同样为2kV的萃取电压但偏压为0V且聚焦电压为-400V，因此静电电位分布进一步变化而使得静电等势线220较少弯曲进而较不集中。由于隐藏偏向电极102及隐藏聚焦电极508操纵了离子束的方向，离子束(例如，第一离子束112A及第二离子束112B)实质上会在位于基板后方的位置相交。

[0093] 图6A至6C描述对应于图5A至5C的三个运作情形的相同的2kV的萃取电压和偏压和聚焦电压的离子角分布的模拟结果。图6A至6C呈现在如图5A至5C所述系统中，施加各种偏压至隐藏偏向电极102及隐藏聚焦电极508后，在基板122表面上的离子角分布的模拟结果。更具体而言，图6A示出在施加-400V的偏压至隐藏偏向电极102且施加0V至聚焦电极后，基板122的表面是暴露到相同角度的对称离子分布。图6B示出在施加-200V的偏压至隐藏偏向电极102且施加0V至聚焦电极后，基板122的表面是暴露到不同角度的对称离子分布。图6C示出在施加0V的偏压至隐藏偏向电极102且施加-400V至聚焦电极后，基板122的表面是暴露到不同角度的对称离子分布。

[0094] 如图6A所示，在-200V偏压及0V聚焦电压的组合分别使用于隐藏偏向电极102及隐藏聚焦电极508时，射束中大多数的离子是以介于19至25度之间的角度撞击基板122的表面。此时离子束(例如，第一离子束112A及第二离子束112B)的离子角分布较广且离子角分布的宽度跨越约6度。如图6B所示，当偏压维持在-200V不变而聚焦电压降至-200V时，射束中大多数的离子是以介于24至29度之间的角度撞击基板122的表面。此时离子束(例如，第一离子束112A及第二离子束112B)的离子角分布较窄(即，较紧密且更集中)且离子角分布的宽度跨越约5度。

[0095] 如图6C所示，当偏压为0V而聚焦电压处于-400V时，射束中大多数的离子是以介于20至24度之间的角度撞击基板122的表面。虽然较广，但此时离子束(例如，第一离子束112A及第二离子束112B)的离子角分布更加缩窄且离子角分布的宽度跨越约4度。

[0096] 在离子蚀刻(etching)应用中，并不乐见出现经处理基板的蚀刻材料中原子与分子回流到来源这种现象。这些原子及分子可能往等离子体源前进并沉积于壁上和/或萃取狭缝边缘，而使等离子体108及经萃取的离子束的特性发生变化。从这个角度来看，隐藏聚焦电极508可提供另一好处(即，可减少可能回流材料的总量)。假设可透过萃取板106的各个孔洞观看时，则透过第一孔洞130观看基板122的视线以及透过第二孔洞132观看基板122的视线之间形成的角度将非常微小。因此大多数自基板122处回蚀的材料会沉积在隐藏聚焦电极508上且无法回到等离子体室109。

[0097] 在一实施例中，处理装置100也可通过隐藏偏向电极102和/或隐藏聚焦电极508的

使用于生产率方面提供额外的益处。例如,为避免离子造成损害,许多半导体制程仅使用低离子能量。根据蔡尔德定律 (Child-Langmuir law),针对图2所示的离子萃取种类来说,其中经萃取离子的射束电流仅限于空间电荷:

$$[0098] \quad j = \frac{4\epsilon_0}{9} \left( \frac{2_e}{m_i} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{V^{\frac{3}{2}}}{d^2} \quad (3)$$

[0099] 其中  $j$  为射束电流密度、 $\epsilon_0$  为真空的介电容率、 $e$  为广义的基本电荷、 $m_i$  为离子质量、 $d$  为电极间间隙 (此处指萃取板 106 到基板 122 的间隙) 的长度以及  $V$  为萃取电压。因此,在离子束 (例如, 第一离子束 112A 及第二离子束 112B) 的萃取电压低于 1kV 时,所萃取的总电流的总量会低于些微毫安培 (mA) 而使系统在生产率方面较缺乏竞争力。

[0100] 为补偿任何离子束电流的限制,在一实施例中,处理装置萃取系统可包括复数个萃取光学元件。图7A与7B描绘处理装置 750 的一实施例,其中萃取板 700 具有多对萃取孔洞 (例如, 第一孔洞 130 及第二孔洞 132),分别与对应的隐藏偏向电极 (例如, 隐藏偏向电极 712 及隐藏偏向电极 714) 相关联。特别是,图7A及7B示出一种具有四个萃取狭缝 (2x2 对称) 的四重萃取系统,其中对各隐藏偏向电极的萃取是分别由第一孔洞 130 及第二孔洞 132 来进行。在另一替代实施例中,多个隐藏偏向电极 (例如, 隐藏偏向电极 712 及隐藏偏向电极 714) 的几何形状可用于各种对称狭缝 (例如 6、8、10 等各种对称狭缝) 上。

[0101] 在图7A所示出处理装置 750 的配置中,第一对离子束 (离子束 704 及离子束 706) 具有与第二对离子束 (离子束 708 及离子束 710) 相同的离子角分布。为达成这种设定,可将与施加至隐藏偏向电极 712 相同的静电电位 (电压) 施加至隐藏偏向电极 714。

[0102] 图7B所示出处理装置 750 的配置中,第一对离子束 (离子束 722 及离子束 724) 具有与第二对离子束 (离子束 726 及离子束 728) 不同的离子角分布。为达成这种设定,可将隐藏偏向电极 712 耦接至第一电压供应器且将隐藏偏向电极 714 耦接至第二电压供应器,以使隐藏偏向电极 712 被施加予与隐藏偏向电极 714 不同的电压。

[0103] 与多个实施例一致,从等离子体室 109 萃取的第一离子束 112A 及第二离子束 112B (参见图1A) 中离子电流的总量可通过变化局部等离子体密度、各个隐藏偏向电极 102 之间的间隔距离以及萃取电压来改变。若使用相同的偏压,各隐藏偏向电极 102 的静电等势线 220 会遵循类似的模式。但若各隐藏偏向电极 102 被施加以不同的偏压,静电等势线 220 则会遵循不同的模式。实际的应用上,所述复数个萃取光学元件可以图7A所示的方式来设计,使从各个狭缝萃取的离子束能带有相同总量的电流且具有相同的离子角分布。在图7B所示另一实施例中,基板 122 可暴露在不同的对称离子角分布。这种方式有利于运用在处理三维结构的垂直表面。例如,对萃取光学元件前方的基板 122 以沿着平行于 Y 轴的方向进行扫描时,基板 122 沿着平行于 X 轴的方向的细长部分首先被暴露到具有高入射平均角 (相对于 Z 轴) 的离子束中,藉以使离子束能处理,例如,基板 122 中凹槽 (未示出) 沿 Z 轴方向的壁面。随着对基板 122 沿着 Y 轴持续进行扫描,基板 122 的相同细长部分可被暴露到具有相对于 Z 轴为小的入射平均角的离子束,而使离子撞击到其侧壁沿平行 Z 轴方向的相同凹槽的底部。

[0104] 在图8A及8B示出的实施例中,处理装置 800 包括复数个隐藏偏向电极以及含有多个孔洞以容纳多对离子束的多孔洞隐藏聚焦电极。在根据图8A及8B的一实施例中,多个隐藏偏向电极以及多孔洞电极配置与萃取板 700 所提供的四个萃取狭缝 (2x2 对称) 一致。如图

所示,各隐藏偏向电极(隐藏偏向电极712及隐藏偏向电极714)皆具有第一孔洞130及第二孔洞132。多孔洞隐藏聚焦电极802配置有称为聚焦电极孔洞804的孔洞,藉以容纳第一对离子束(离子束812及离子束814)。多孔洞隐藏聚焦电极802配置有第二聚焦电极孔洞806,藉以容纳第二对离子束(离子束816及离子束818)。多孔洞隐藏聚焦电极802也可配置有称为聚焦电极孔洞804的孔洞,藉以容纳第一对离子束(离子束822及离子束824)。多孔洞隐藏聚焦电极802配置有第二聚焦电极孔洞806,藉以容纳第二对离子束(离子束826及离子束828)。

[0105] 在替代实施例中,多个隐藏偏向电极及多孔洞隐藏聚焦电极的几何形状可用于各种对称狭缝(例如6、8、10等类型的对称狭缝)上。从等离子体室(例如,等离子体室109)萃取的离子束的离子电流可依局部等离子体密度、各个隐藏偏向电极之间的间隔距离以及萃取电压而定。在图8A的示例中,静电等势线220遵循各对离子束所在区域中的相同模式,可透过施加相同组合的偏压至隐藏偏向电极并施加聚焦电压至隐藏聚焦电极来产生。因此可萃取出具有相同离子角分布的离子束(例如,离子束812、离子束814、离子束816、离子束818、离子束822、离子束824、离子束826以及离子束828)。

[0106] 若施加不同组合的偏压至隐藏偏向电极并施加聚焦电压至隐藏聚焦电极,将导致萃取的离子束具有不同的电流量与不同的离子角分布。实际的应用上,所述系统的设计方式可依经萃取离子束可带有相同或不同电流总量及可具有相同或不同的离子角分布而定。如图8A所示,基板122暴露在相同的离子角分布。

[0107] 图8B中,基板122暴露在两对离子束,其中与离子束826与离子束828相比,离子束822与离子束824具有不同的离子角分布。为达成这种设定,可将隐藏偏向电极712耦接至第一电压供应器且将隐藏偏向电极714耦接至第二电压供应器,以使隐藏偏向电极712被施加予与隐藏偏向电极714不同的电压。多孔洞隐藏聚焦电极802可耦接至第三电压供应器并独立于隐藏偏向电极712(第一隐藏偏向电极)及隐藏偏向电极714(第二隐藏偏向电极)两个而被施以偏压。

[0108] 因此,本文所述的各种实施例有助于提供对离子角分布在多种角度范围与角扩展方面的控制、操纵及调整。通过隐藏偏向电极102和/或隐藏聚焦电极508的使用,处理装置100或与其类似的处理装置可有助于减缓粒子生成、即时控制离子角分布并且避免来自基板的材料接触到等离子体108。

[0109] 在一实施例中,处理装置可包括沿等离子体室一侧配置的萃取板,萃取板具有第一孔洞、第二孔洞以及第一孔洞及第二孔洞之间的中间部分,并用以在等离子体存在于等离子体室中且萃取电压施加于萃取板与基板之间时定义第一离子束及第二离子束,隐藏偏向电极配置于等离子体室外邻近中间部分处,且电性绝缘于萃取板,以及隐藏偏向电极电源用以施加偏压(作为偏向电压)至隐藏偏向电极,其中偏压用以修改第一离子束及第二离子束中离子的入射平均角及围绕平均角的入射角范围其中至少一个。另外,可将复数个本文所述的处理装置根据多个实施例组成一处理系统,且各所述处理装置可配置有相同的萃取板并具有位处不同静电电位的隐藏偏向电极,藉以提供具有不同离子角分布的多个离子细射束。

[0110] 在一实施例中,萃取板包括第三孔洞及第四孔洞以及配置于第三孔洞与第四孔洞之间的第二中间部分,第三孔洞及第四孔洞用以在等离子体存在于等离子体室中且萃取电

压施加于萃取板与基板之间时定义第三离子束及第四离子束。在一实施例中，处理装置还包括第二隐藏偏向电极配置于等离子体室外邻近第二中间部分处，且电性绝缘于萃取板；以及第二隐藏偏向电极电源用以施加第二偏压至第二隐藏偏向电极，第二偏压与施加至隐藏偏向电极的偏压无关。

[0111] 在一实施例中，处理装置还包括多孔洞隐藏聚焦电极，其从等离子体室被隐蔽，且电性绝缘于萃取板及隐藏偏向电极以及第二隐藏偏向电极，所述隐藏聚焦电极具有邻近隐藏偏向电极的第一聚焦电极孔洞以及邻近第二隐藏偏向电极的第二聚焦电极孔洞，以及隐藏聚焦电极电源用以施加聚焦电压至隐藏偏向电极，该聚焦电压与施加至隐藏偏向电极及第二隐藏偏向电极的电压无关。

[0112] 另外，可将复数个本文所述的处理装置根据多个实施例组成处理系统，且各处理装置可配置有相同的萃取板并具有以相同方式施以偏压(相同组合的偏向电极偏压及聚焦电极偏压)的隐藏偏向电极及隐藏聚焦电极，藉以提供具有相同离子角分布的多个离子细射束。在一实施例中，处理系统可包括复数个处理装置，且各处理装置可配置有相同的萃取板并具有以不同方式施以偏压(不同组合的偏向电极偏压及聚焦电极偏压)的隐藏偏向电极及隐藏聚焦电极，藉以提供具有不同离子角分布的多个离子细射束。

[0113] 本发明不应为文中所述的特定实施例的范围所限。实际上，除了本发明中所述实施例外，所属领域的一般技术人员从前述说明和附图将易于明白本发明的其他各种实施例和可对本发明作出的修改。因此，此类其他实施例和修改既定落在本发明的范围内。另外，尽管在本发明中已出于特定目的在特定环境下在特定实施方案的上下文中描述了本发明，但所属领域的一般技术人员将意识到，本发明的有效性不限于此，且可出于任何数目的目的在任何数目的环境下有益地实施本发明。因此，应鉴于如本发明中所描述的本发明的充分广度和精神来解释文中陈述的权利要求书。

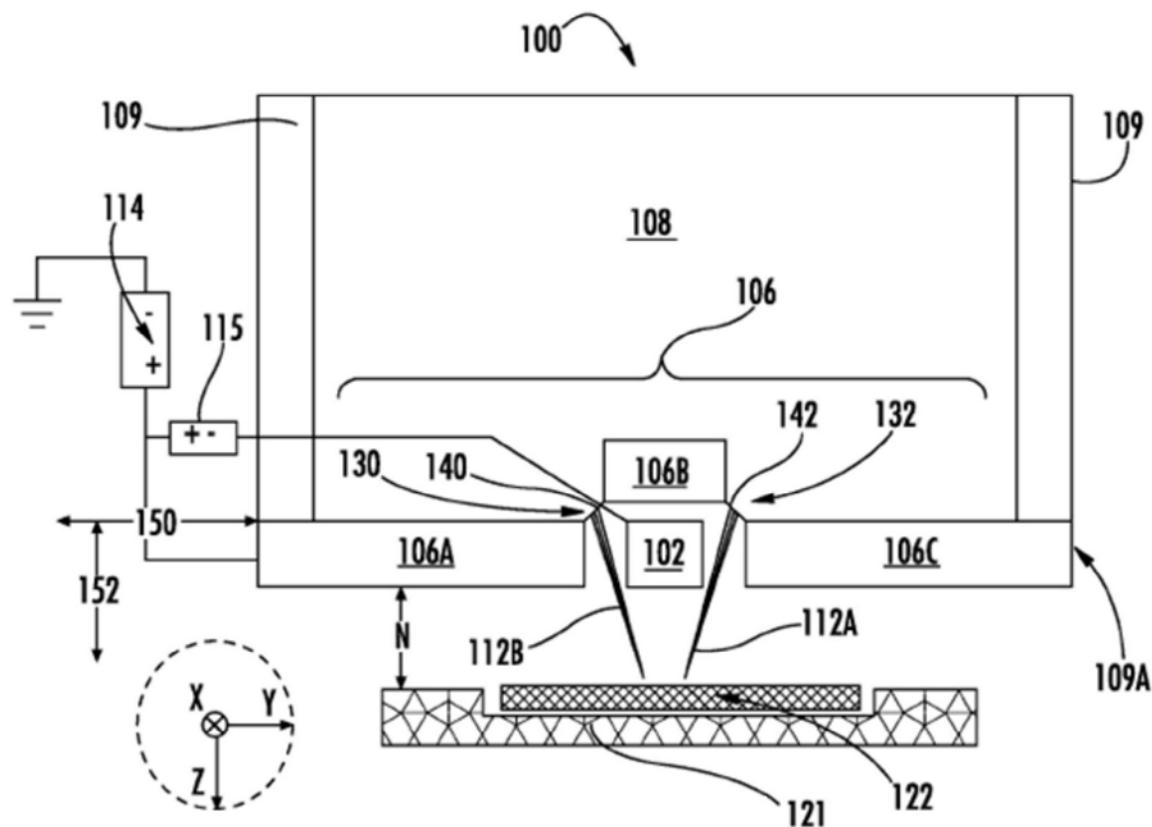


图1A

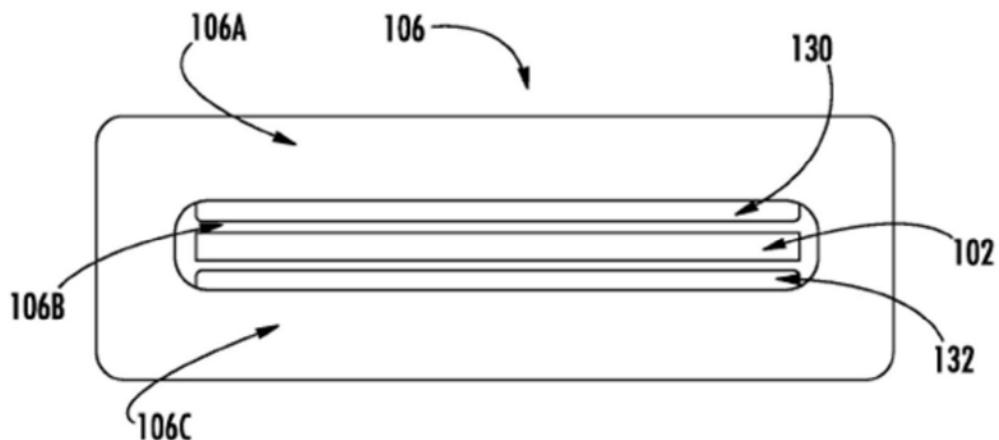


图1B

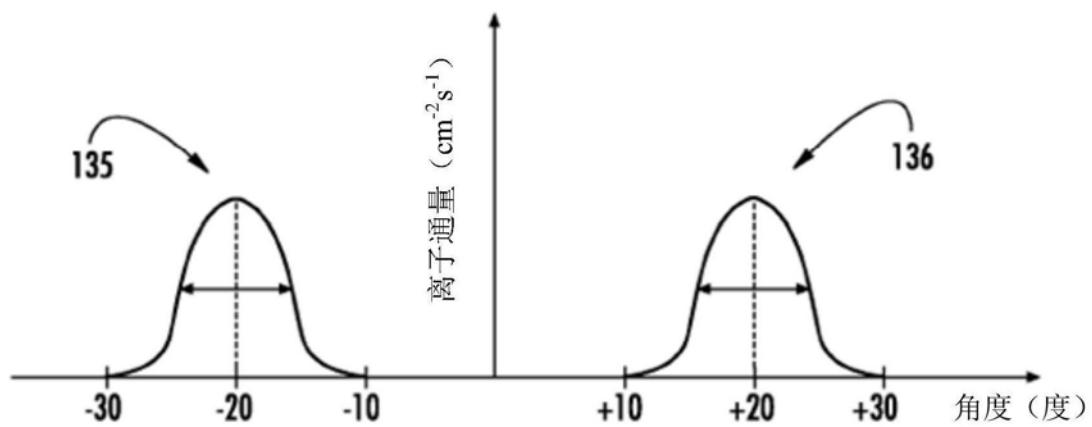


图1C

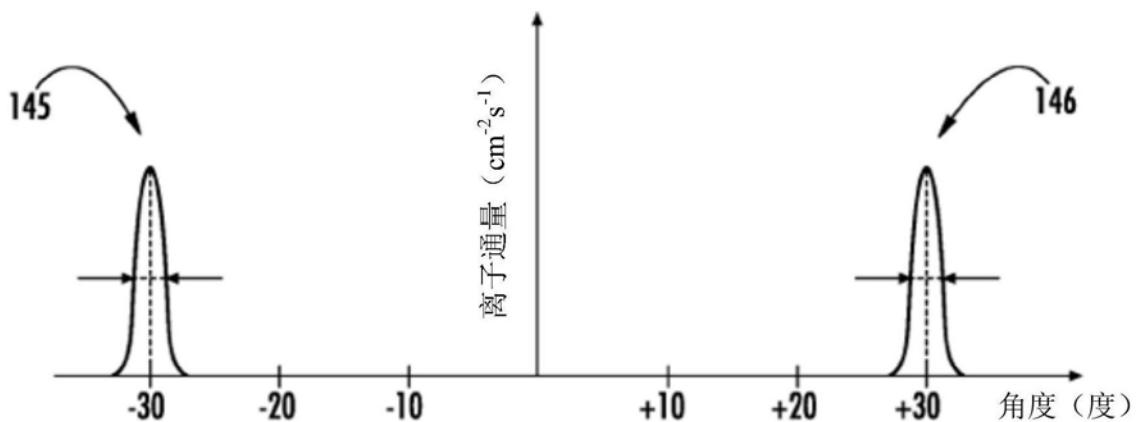


图1D

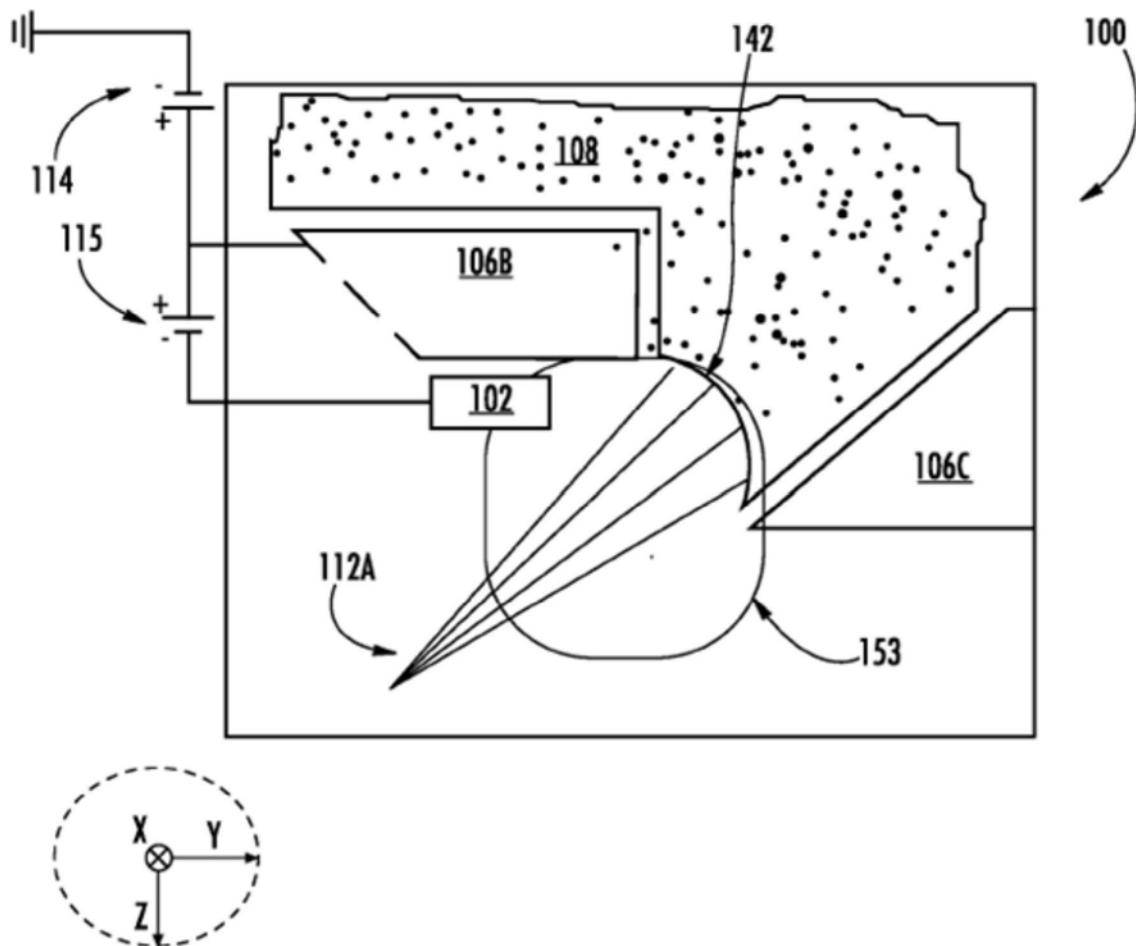


图1E

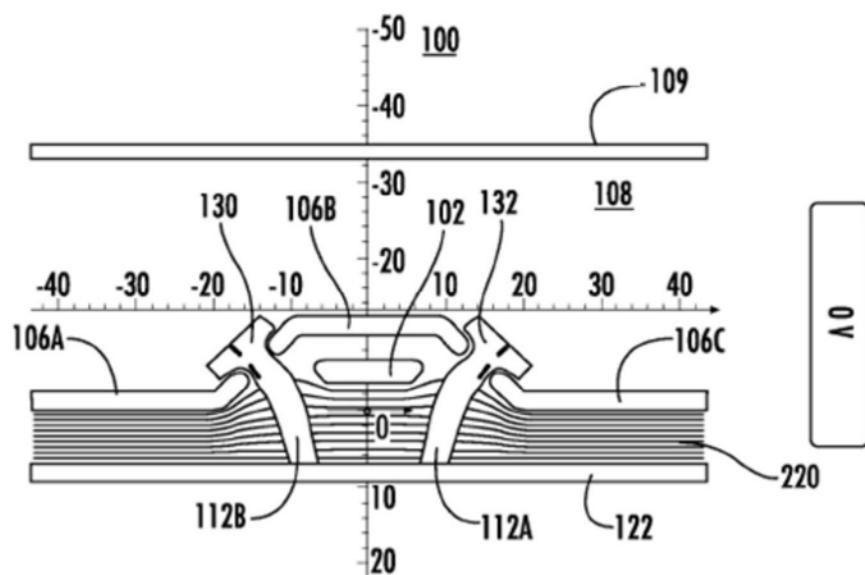


图2A

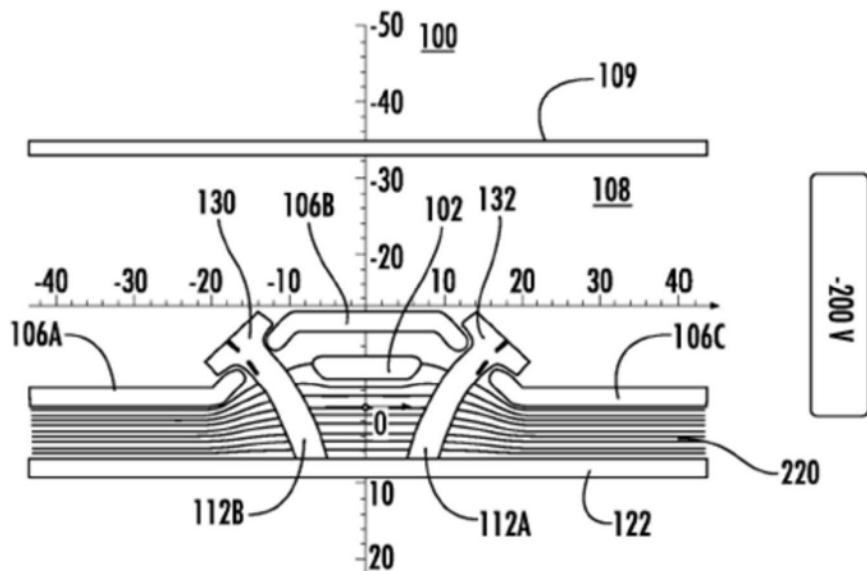


图2B

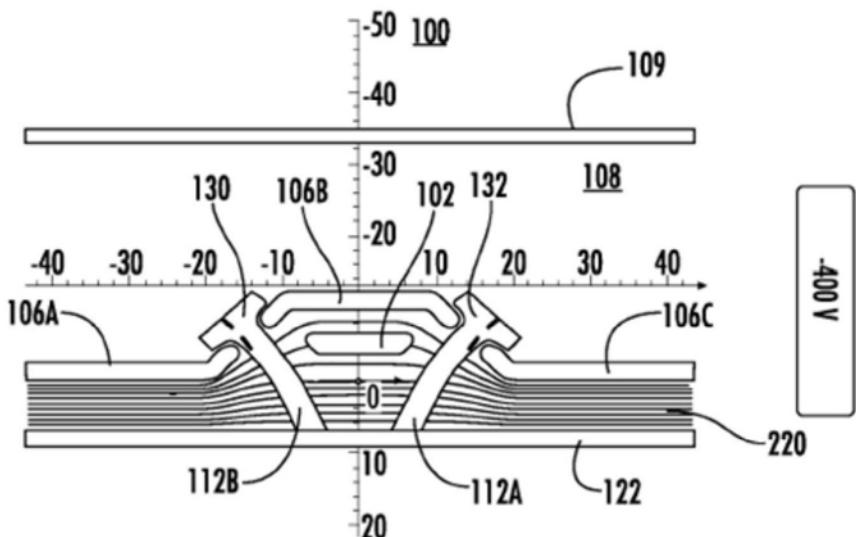


图2C

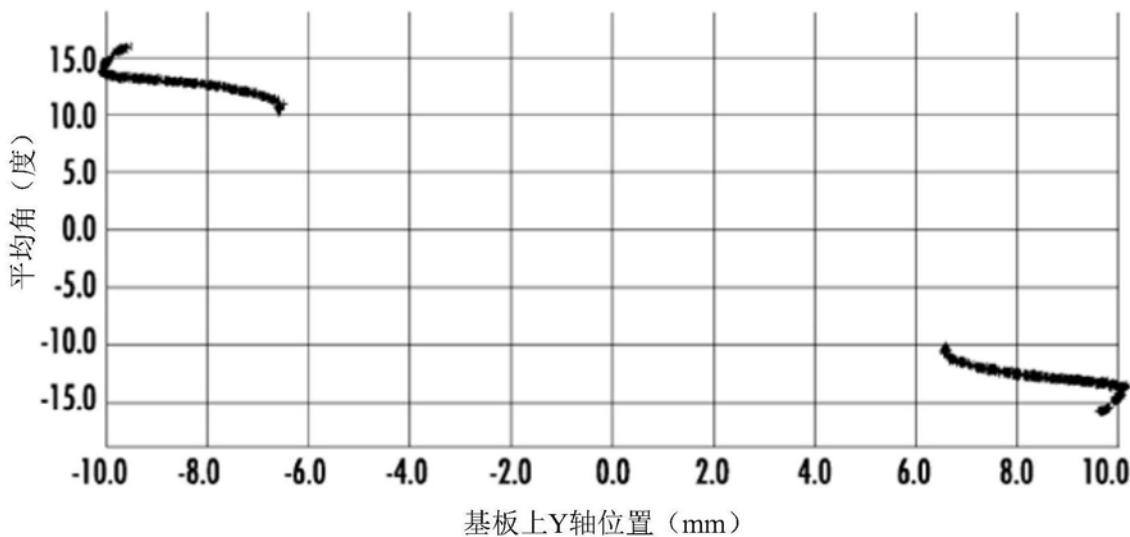


图3A

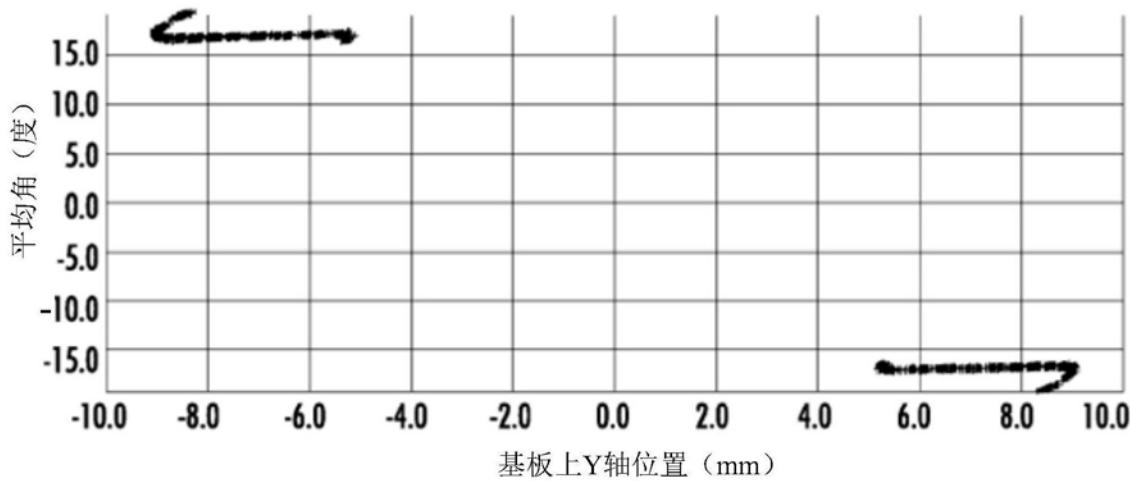


图3B

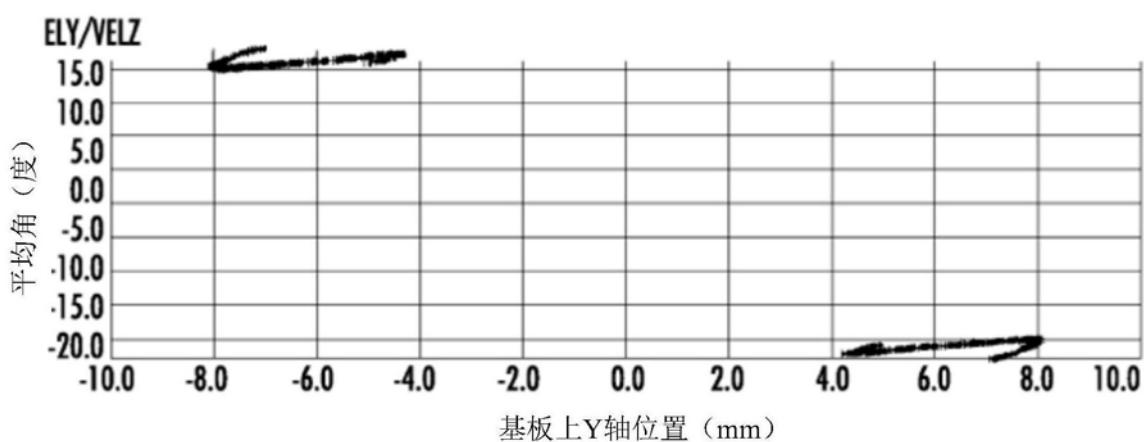


图3C

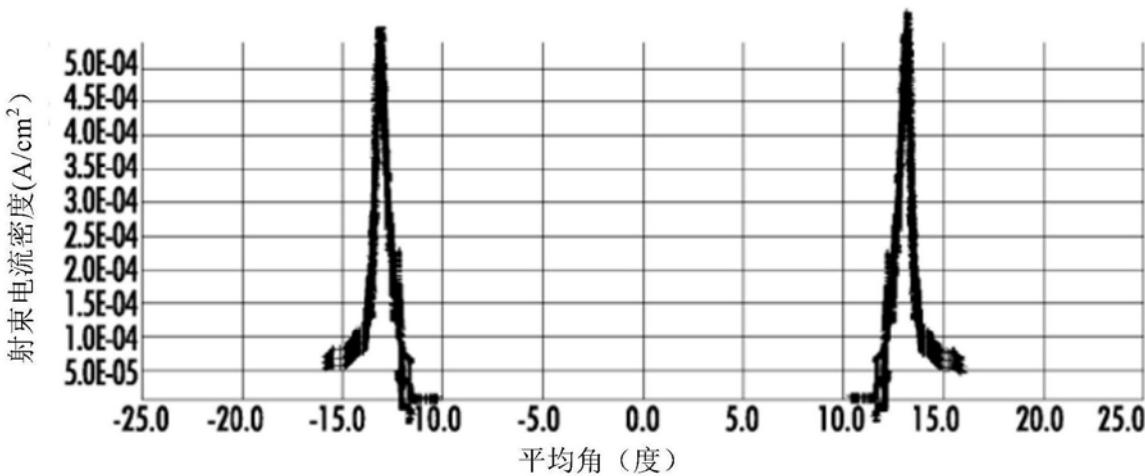


图4A

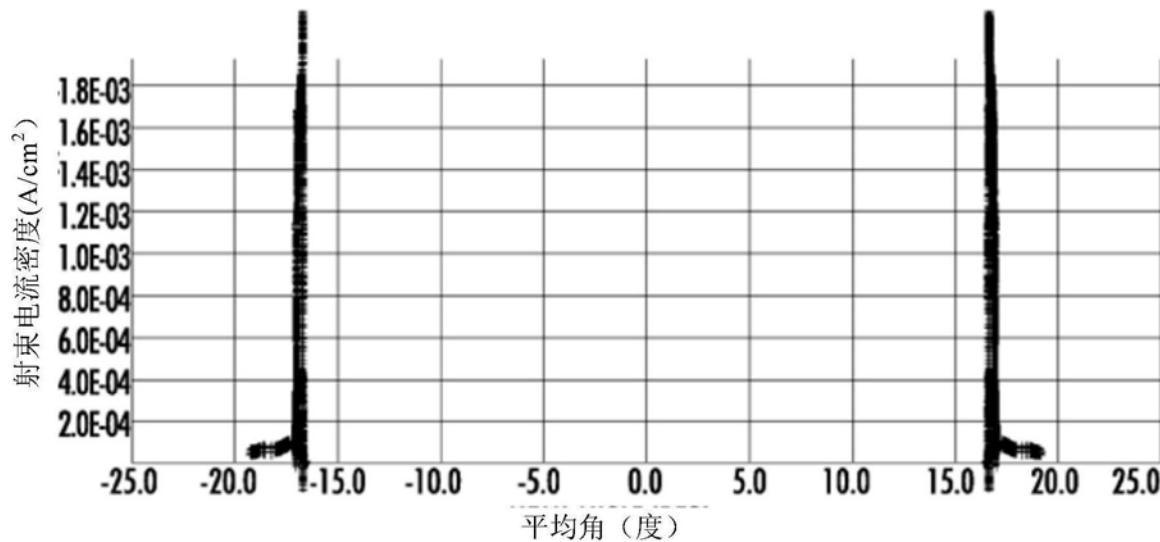


图4B

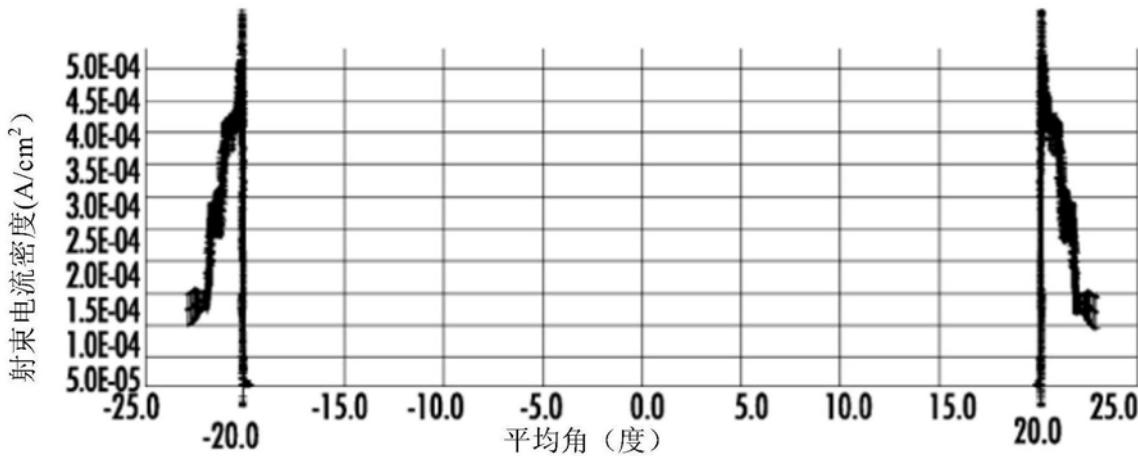


图4C

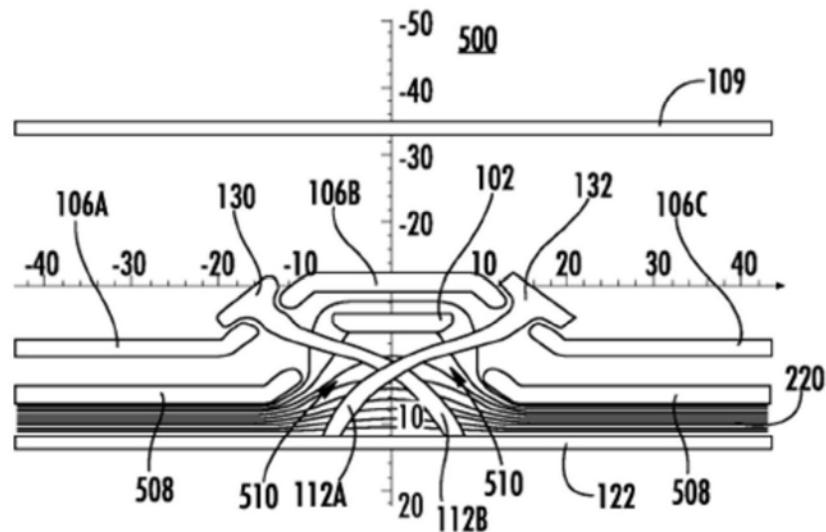


图5A

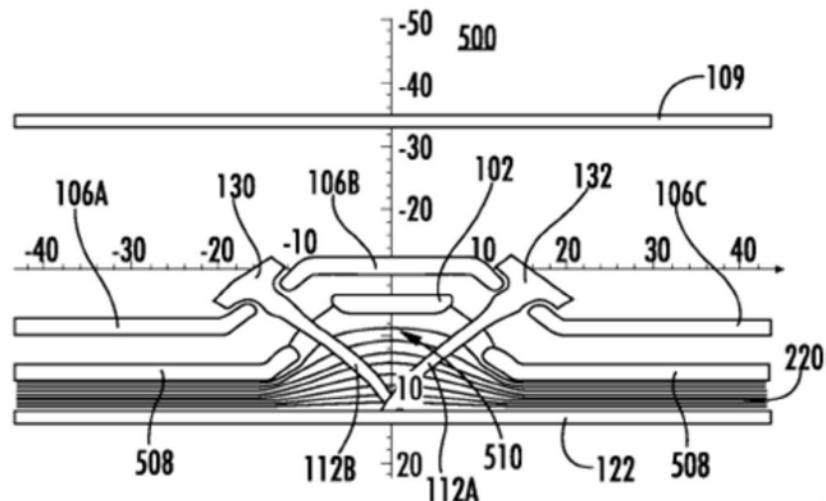


图5B

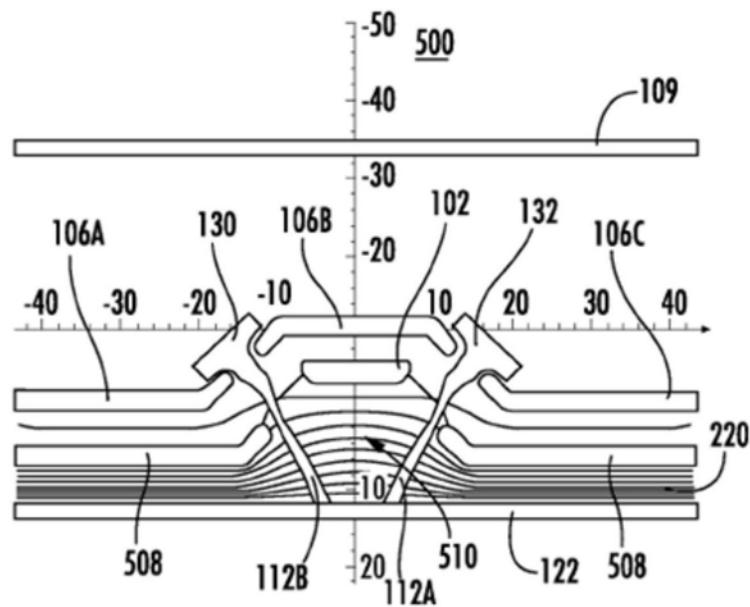


图5C

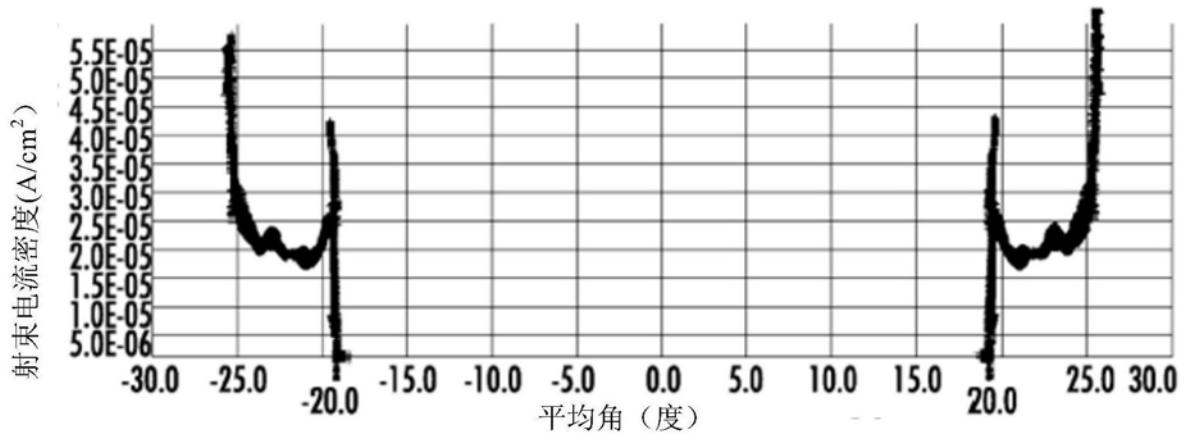


图6A

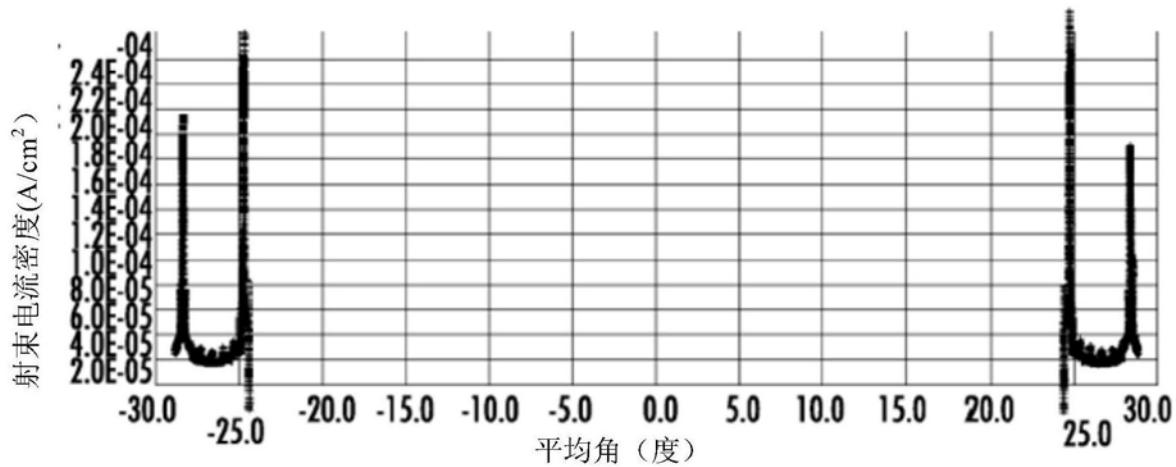


图6B

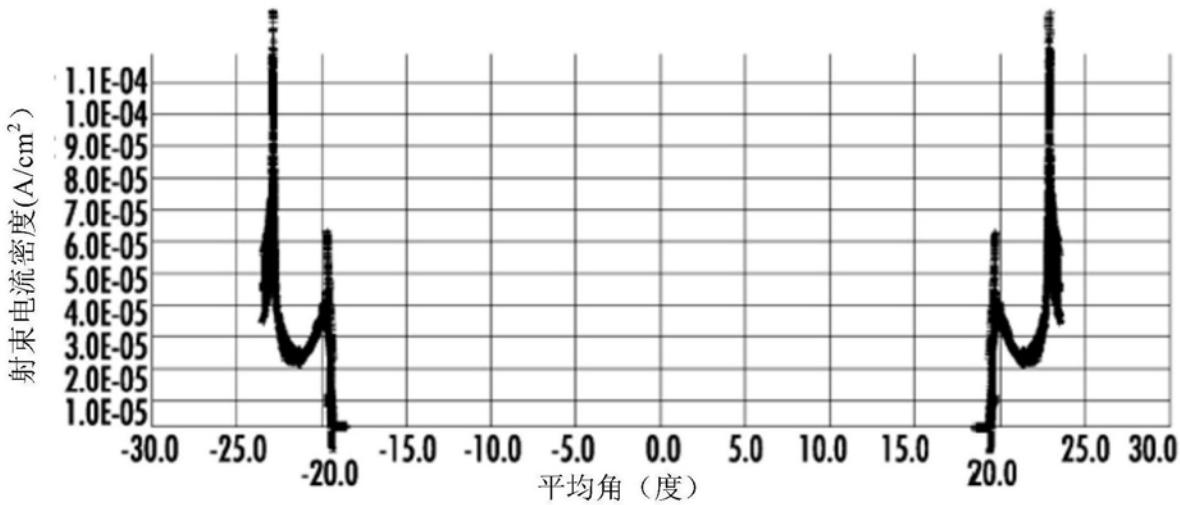


图6C

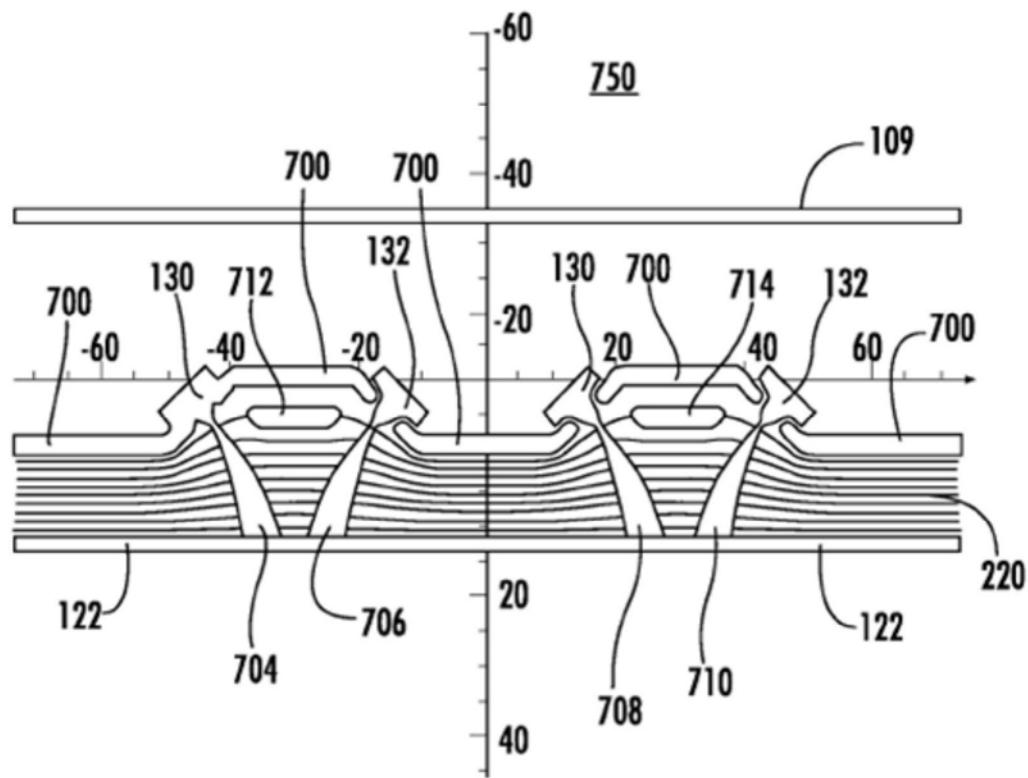


图7A

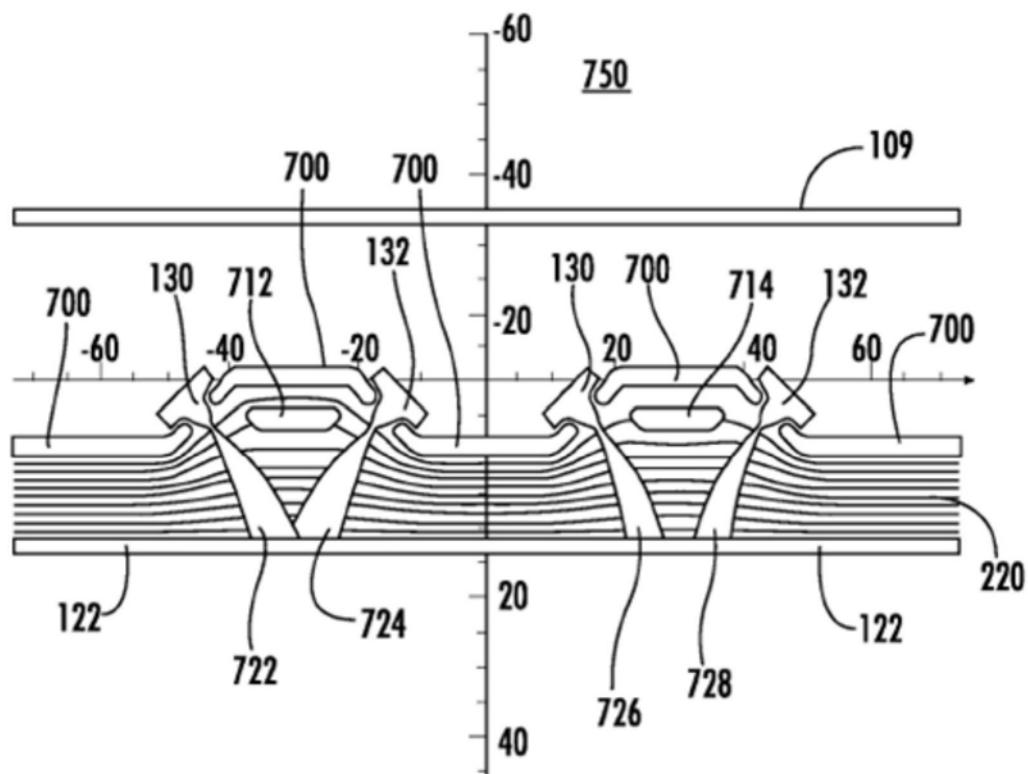


图7B

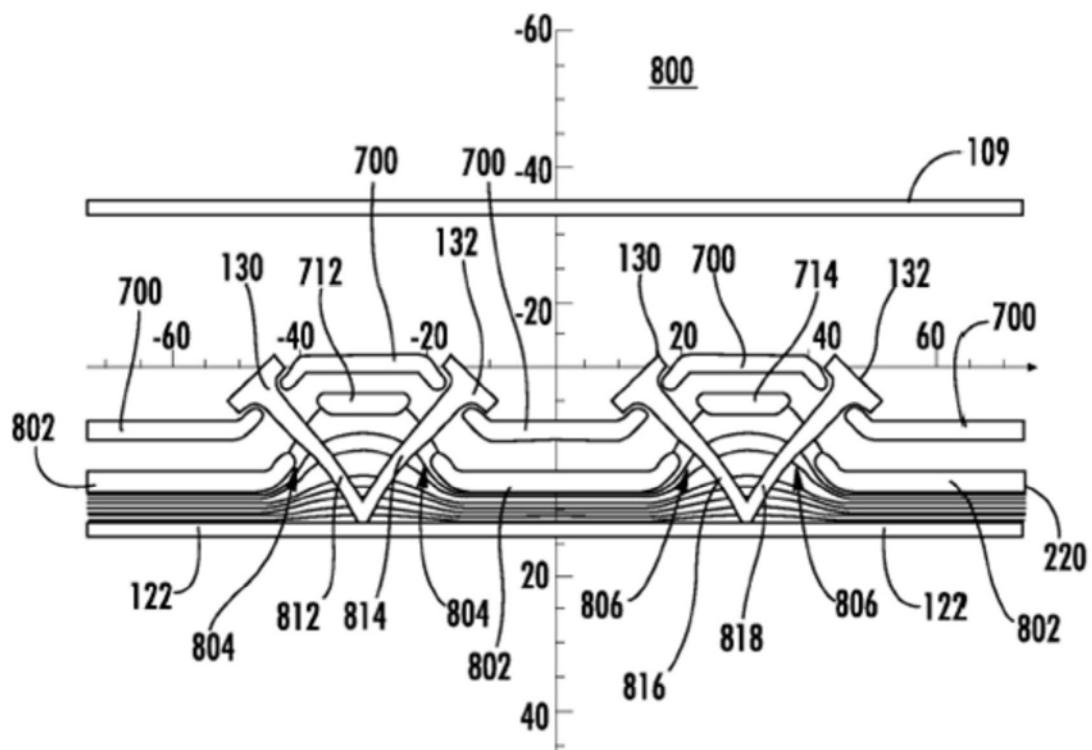


图8A

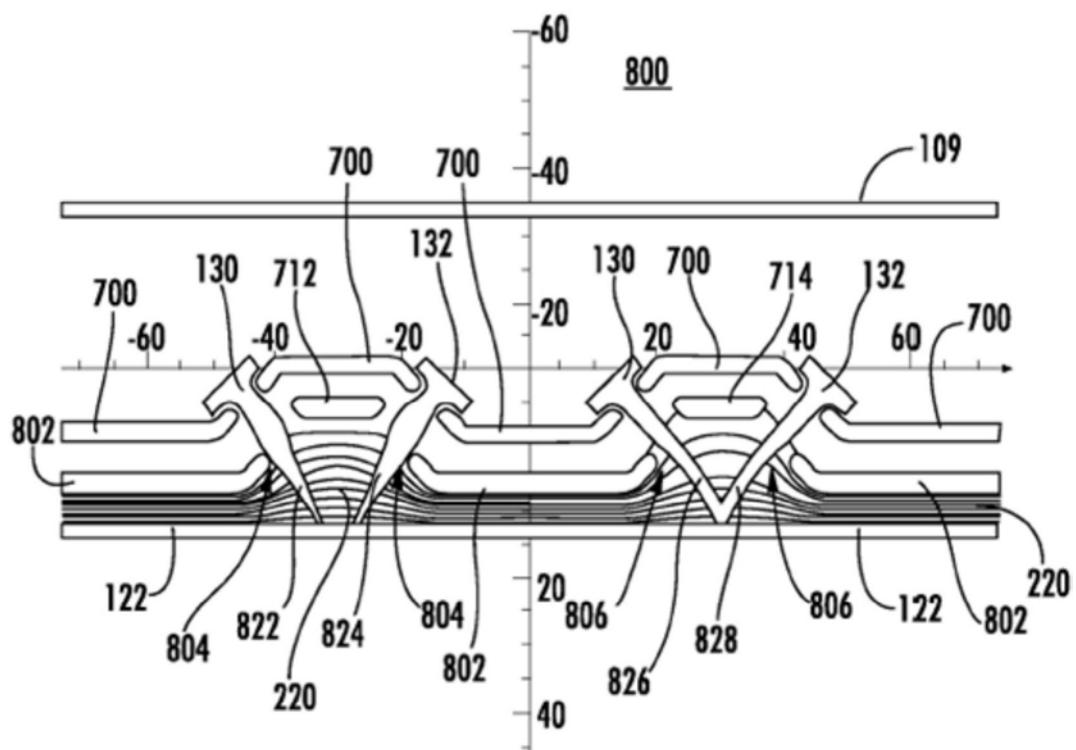


图8B