



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113035676 B

(45) 授权公告日 2025.02.11

(21) 申请号 202110225252.4

(22) 申请日 2017.04.04

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113035676 A

(43) 申请公布日 2021.06.25

(30) 优先权数据  
102016106119.0 2016.04.04 DE

(62) 分案原申请数据  
201780029666.1 2017.04.04

(73) 专利权人 MI2工厂有限责任公司  
地址 德国耶拿

(72) 发明人 弗洛里安·克里彭多夫  
康斯坦丁·科萨托

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限  
责任公司 11240

专利代理师 杜升

(51) Int.Cl.  
H01J 37/317(2006.01)  
H01J 37/30(2006.01)

(56) 对比文件  
CN 103777227 A, 2014.05.07  
DE 102005061663 A1, 2007.07.05

审查员 陈雪梅

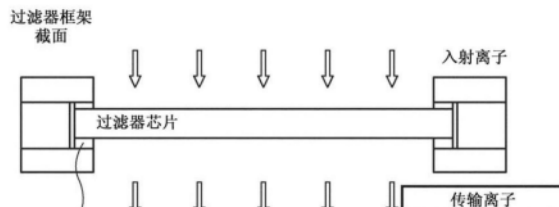
权利要求书1页 说明书25页 附图38页

(54) 发明名称

用于生产晶片的离子注入系统的能量过滤  
元件

(57) 摘要

本发明涉及用于生产晶片的离子注入系统的  
能量过滤元件,具体涉及注入设备,注入系统  
和方法。注入设备包括过滤器框架和由该过滤器  
框架固定的过滤器,其中所述过滤器设计为由离  
子束照射。



例如,具有良好热导率的防真空温度稳定性粘合剂,  
或用于安装过滤器芯片的一些其他合适的装置。  
或:机械弹簧。

1. 一种用于在靶基材中注入离子的注入设备,所述设备包括:  
过滤器框架,  
由所述过滤器框架固定的过滤器,所述过滤器配置为由穿过所述过滤器的离子束照射,和  
布置于所述过滤器上、或在所述过滤器之后布置于传输的束中、或布置于所述靶基材上的准直器结构。
2. 根据权利要求1所述的注入设备,其中,所述准直器结构布置于所述过滤器上,并且其中所述准直器结构通过使用粘合剂或通过粘合附连至所述过滤器,或者其中所述准直器结构与所述过滤器一体形成。
3. 根据权利要求2所述的注入设备,其中,所述准直器结构相对于所述离子束的方向布置于所述过滤器的下游。
4. 根据权利要求3所述的注入设备,其中,所述准直器结构布置于所述过滤器的结构化侧面上。
5. 根据权利要求1所述的注入设备,其中,所述过滤器框架固定在过滤器固定件中。
6. 根据权利要求5所述的注入设备,其中,所述准直器结构在所述过滤器之后在所述传输的束中布置于所述过滤器固定件上。
7. 根据权利要求1所述的注入设备,其中,所述准直器结构包括以预定的图案布置的多个准直器单元。
8. 根据权利要求7所述的注入设备,其中,所述准直器单元在俯视图中形成层状结构或格子。
9. 根据权利要求7所述的注入设备,其中,所述准直器单元在俯视图中是矩形的、圆形的、椭圆形的、六边形的,或具有其他多边形几何形状。
10. 根据权利要求7所述的注入设备,其中,所述准直器单元中的至少包括具有长度和宽度的管,其中所述宽度与所述长度的比率小于1,小于2,小于5或小于10。
11. 根据权利要求1所述的注入设备,其中,所述准直器结构布置在所述靶基材上,其中所述准直器结构形成为所述靶基材上的硬掩模。
12. 一种掺杂靶基材的方法,包括:  
通过使用注入设备用离子束照射所述靶基材而将离子注入所述靶基材,所述注入设备包括:  
过滤器框架,  
由所述过滤器框架固定的过滤器,所述过滤器配置为由穿过所述过滤器的离子束照射,  
布置于所述过滤器上、或在所述过滤器之后布置于传输的束中、或布置于所述靶基材上的准直器结构。

## 用于生产晶片的离子注入系统的能量过滤元件

[0001] 本申请是申请日为2017年4月4日、发明名称为“用于生产晶片的离子注入系统的能量过滤元件”的中国专利申请号201780029666.1的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本发明涉及一种包括用于离子注入的能量过滤器(注入过滤器)的注入装置及其用途,以及注入方法。

### 背景技术

[0003] 通过离子注入,可以为几纳米至几百微米的深度范围的预定深度分布 在任何期望的材料如半导体材料(硅,碳化硅,氮化镓)或光学材料(LiNbO<sub>3</sub>)中实现掺杂或产生缺陷分布。特别期望的是,产生特征在于比 通过单能离子辐射可获得的掺杂浓度峰值或缺陷浓度峰值更宽的深度分布,或产生不能由一个或多个简单的单能注入产生的掺杂或缺陷深度分布。

### 发明内容

[0004] 在本发明的实施方式中,一种用于在靶基材中注入离子的注入设备包括过滤器框架和由过滤器框架固定的过滤器,过滤器配置为由穿过过滤器的离子束照射。

### 附图说明

[0005] 图1示出了能量过滤器的基本原理:单能离子束的能量在通过微结构化的能量过滤器组件时作为进入点的函数而被修改。所产生的离子能量分布会导致基材基质中的注入物质深度分布的改变。

[0006] 图2在左侧显示了晶片轮,待注入的基材在其上固定就位。在加工/注入期间,轮倾斜90°并设置为旋转。以绿色表示的离子束因此在轮上“写入”同心圆。为了照射整个晶片的表面,在加工期间轮垂直移动。在右侧,图2显示了在束开口区域中安装的能量过滤器。

[0007] 图3显示了不同配置的能量过滤器微结构的各种掺杂分布(掺杂剂浓度作为基材中的深度的函数)的示意图(在每种情况下显示的侧视图和俯视图):

[0008] (a) 三棱柱形结构产生矩形掺杂分布;

[0009] (b) 较小的三棱柱形结构产生具有较浅深度分布的掺杂分布;

[0010] (c) 梯形棱柱形结构产生在分布开始处具有峰值的矩形掺杂分布;

[0011] (d) 金字塔形结构产生三角形掺杂分布,随着基材中深度的增加而高度增加。

[0012] 图4显示了用于固定能量过滤器芯片的过滤器框架的截面。

[0013] 图5显示了具有锁定元件和安装的能量过滤器的用于固定能量过滤器元件的过滤器框架的俯视图。

[0014] 图6示出了用于将能量过滤器元件固定于离子注入机的束路径中的框架的典型

安装。在该实例中,过滤器固定件布置于室壁的一个侧面上。在该实例中,这个侧面是室壁的内侧,即在注入期间面向晶片(未示出)的侧面。过滤器芯片已插入其中的框架推入过滤器固定件中,随后盖住室壁中离子束在注入期间通过的开口。

[0015] 图7显示了部分框架(图中的左侧)和完整框架(图中最右侧),每个框架可以由与能量过滤器相同的材料(例如,单片)和/或不同的材料构成。

[0016] 图8示出了一个或多个杆用于连接围绕过滤器的过滤器框架或任何其他被动散射元件的用途。

[0017] 图9示出了单个或多个悬挂元件用于连接围绕过滤器的过滤器框架或任何其他散射元件的用途。

[0018] 图10示出了磁场用于连接围绕过滤器的过滤器框架或任何其他散射元件的用途。

[0019] 图11示出了多过滤器的简单实现。三个不同形状的过滤器元件组合于过滤器固定框架中而形成完整的能量过滤器。离子束均匀地通过所有的单个过滤器元件。

[0020] 在本发明实施例(左)中,由此产生了右侧所示的掺杂剂深度分布。这种分布包含三个深度分布,编号为1,2和3。这些子分布每一个都源自左侧所示的三个子过滤器之一,即来自提供有相应编号的子过滤器。

[0021] 图12示出了多过滤器概念的细节图。左侧是以举例的方式示出的三个过滤器元件。四个元件按照编号描述。对于给定的离子种类和初级能量,掺杂剂深度分布由每个过滤器元件产生。通过改变各个过滤元件表面的尺寸可以调节加权,即产生的浓度。对于这个实例,假设过滤器和基材具有相同的能量依赖性阻止本领(stopping power)。然而,通常情况并非如此。

[0022] 图13显示了当图12中描述的所有过滤器元件作为具有适当加权的完整过滤器安装在一起并均匀地暴露于具有合适的初级能量的离子束时获得的总和分布。

[0023] 图14显示了多过滤器中的单个过滤器元件的示例性配置。此处所示的单个元件F1,F2,F3等采用斜角规(bevel)切割并直接安装于彼此之上。

[0024] 图15显示了安装于离子注入系统中的过滤器装置。通过外部冷却设备供应冷却剂的冷却管线集成在固定过滤器框架的过滤器固定件中。冷却管线也可以布置于过滤器固定件的表面上(未示出)。

[0025] 图16显示了具有大表面积的能量过滤器,其每单位时间仅被部分照射。因此,未照射的区域可以通过辐射冷却来冷却。如上所述,这个实施方式也可以配置为多过滤器。也就是说,其可以配置为包括若干个不同的过滤器元件的过滤器。在所示的实例中,具有过滤器的框架在垂直于离子束方向的方向上振荡。被离子束覆盖的过滤器的面积小于过滤器的总表面积,从而每单位时间,仅部分过滤器暴露于束。由于振荡运动,该部分会连续变化。

[0026] 图17显示了能量过滤器的配置的另一种设置,其围绕中心轴旋转。同样,每单位时间的照射仅是部分的,而未被照射的元件由此可以冷却。这个实施方式也可以配置为多过滤器。

[0027] 图18示意性地示出了“峰的迁移”。通过借助于梯形棱柱形结构将离子注入到能量过滤器中,在基材中可以产生矩形分布。初始峰值注入能量过滤器中。该注入分布具有

直接在基材表面上开始的有利特性,这对于能量过滤器的应用是非常重要的。

[0028] 图19显示了在静态注入期间如何借助能量过滤器将离子注入PMMA 基材中。离子破坏了PMMA的分子结构。随后的显影过程揭示了离子的能量分布。高能量沉积的区域被溶解掉。离子的低或无能量沉积的区域未被显影剂溶液溶解。

[0029] 图20显示了一种用于识别过滤器和监测过滤器规格的符合性(最高温度,最大累积离子剂量)的监测系统。

[0030] 图21显示了准直器结构,其附连于过滤器固定件。长宽比决定了最大角度 $\alpha$ 。如果到注入基材的可用距离不够大,则准直器可以由几个具有较小开口的并排排布的准直器单元组成。例如,这可以排布为蜂窝图案。

[0031] 图22显示了直接构建于过滤器上的准直器结构。长宽比决定了最大角度 $\alpha$ 。此处过滤器以从后到前的构造结构置于离子束中。如果设计合适,准直器对过滤器具有有利的机械稳定作用,并且,由于过滤器芯片的面积增加,改进了辐射冷却。

[0032] 图23显示了直接构建于过滤器上的准直器结构。长宽比决定了最大角度 $\alpha$ 。在该实例中,过滤器以由前至后的配置置于离子束中。

[0033] 图24显示了直接构建于过滤器上的准直器结构。准直器结构可以具有层状,条状,管状或蜂窝状结构,取决于过滤器的布局 and 所需的最大角度分布。

[0034] 图25显示了直接构建于靶基材上的准直器结构。准直器结构可以具有层状,条状,管状或蜂窝状结构,取决于基材结构的布局 and 所需的最大角度分布。

[0035] 图26显示了使用相同的过滤器但是不同的准直器结构获得的掺杂分布。

[0036] 图27显示了采用和不采用准直器结构的注入通过多过滤器获得的掺杂分布。

[0037] 图28示意性地示出了过滤器的“翻转”。(A) 过滤器用于规则的排布,这意味着微结构远离束指向。(B) 过滤器可以翻转,这意味着微结构朝向束指向。这对过滤器中的溅射效应具有有利影响。

[0038] 图29示意性地示出了过滤器的“倾斜”。如果能量过滤器由各向异性材料制成,则可能存在沟道效应(channeling effect)。这可以通过倾斜能量过滤器防止。

[0039] 图30示意性地示出了各种形状的能量过滤器微结构的各种掺杂分布(掺杂剂浓度作为基材中的深度的函数)(在每种情况下以侧视图和俯视图显示)。(A) 三棱柱形结构产生矩形掺杂分布。(B) 较小的三棱柱形结构产生具有较浅的深度分布的掺杂分布。(C) 梯形棱柱形结构产生在分布的开始处具有峰值的矩形掺杂分布。(D) 金字塔结构产生三角形掺杂分布,随着其沿基材的深度延伸而升高。

[0040] 图31显示了基于不同靶材料的相同初级离子和相同初级能量的各种靶分布形状。在每种情况下,过滤器材料是硅。

[0041] 图32显示了作为能量的函数的阻止本领的变化[4](SRIM模拟)。

[0042] 图33显示了简单多层过滤器的起始材料。具有合适的阻止本领的过滤材料通过合适的沉积方法依次布置于彼此之上。

[0043] 图34示出了利用具有不同阻止本领的材料的层叠的合适配置,即使具有简单的过滤器几何形状(此处:条状三角形),也可以实现复杂的掺杂剂深度分布。

[0044] 图35示出了由材料1-6构造能量过滤器的一般原理,每个单个过滤器结构具有不同的几何形状。

[0045] 图36示出了离子的平衡电荷状态(黑线:托马斯-费米估算;蓝线:蒙特卡罗模拟;红线:实验结果)作为离子通过薄膜时的动能的函数。离子:硫;膜:碳[27]。

[0046] 图37示出了通过离子轰击对能量过滤器的加热:在这些条件下不透明的能量过滤器中的6MeV C离子[2]。

[0047] 图38显示了为了抑制次级电子,其中过滤器以相对于过滤器固定件限定的(正)电位固定于过滤器框架中的过滤器配置的一个实施方式。

[0048] 图39示出了多种元件的功函数。[25]Materials Science-Poland,Vol.24, No.4, 2006。

[0049] 图40显示了其中静态基材的完全照射通过在过滤器之前的离子偏转系统和在过滤器与基材之间选择合适的距离(通常在几cm至几m的范围内)实现的能量过滤器注入的排布。

[0050] 图41显示了其中使用大于基材表面的大过滤器表面实现基材完全照射的能量过滤器注入的配置。照射的过滤器区域的直径大于基材的直径。

[0051] 图42示出了其中在一个方向上进行机械扫描的仅部分为主动的过滤器。

[0052] 图43示出了在掩蔽的能量过滤的注入的情况下借助于牺牲层对基材中的掺杂分布的修改。在本文所示的实施例中,注入分布的开始迁移至牺牲层中。该原理可以类似地用于未掩蔽的能量过滤的离子注入。

[0053] 图44示出了在未掩蔽的能量过滤的离子注入的情况下借助于牺牲层对基材中的掺杂分布的横向修改。横向深度修改通过牺牲层的厚度中的横向差异而产生。该原理可以类似地用于掩蔽的能量过滤的注入。

[0054] 图45示出了过滤器和基材在y方向上的垂直运动的耦合。通过晶片轮的旋转,晶片在x方向上引导至基材后面。例如,离子束(未示出)在x方向上扩展,并且由于注入室的垂直振荡,其扫描多过滤器的整个表面。表面由有效过滤器区域和无效固定件区域组成。(A)中所示的配置是不利的配置。当考虑y1和y2处的照射的过滤器表面时,三个过滤器在y1处被照射,而在y2处没有过滤器被照射。因此,在晶片上会获得横向不均匀的条纹图案。(B)中所示的配置是更好的配置的可能实施例。两个过滤器在y1和y2处被照射。对所有的y都是如此。因此,实现了在晶片的整个表面上的横向均匀掺杂。

[0055] 图46显示了具有待照射晶片的排布和位于晶片之间的监测结构的晶片轮。

[0056] 图47显示了采用各种掩模结构Ma1-Ma10的配置的一个实例的监测掩模,其对于离子束是透明的或部分透明的。

[0057] 图48显示了监测掩模和监测材料的截面。

[0058] 图49显示了通过能量过滤器产生的浓度深度分布的实例。

[0059] 图50显示了用于监测深度依赖性剂量分布的掩模结构的实例。

[0060] 图51示出了通过监测结构对注入过程的监测。

[0061] 图52示出了通过监测结构对注入过程的监测。

[0062] 图53示出了对最大投影范围的监测。

[0063] 图54示出了掩模结构。

[0064] 图55示出了掩模结构的另一个实例。

[0065] 图56示出了掩模结构的另一个实例。

[0066] 图57示出了用于监视不对称角度分布的掩模结构。

[0067] 图58示出了用于检测各个方向上的离子角分布的掩模结构的各种配置。

[0068] 图59示出了两种注入分布A和B之间的过渡的巧妙适配,使得得到的总浓度分布将产生期望的分布,例如均匀分布。特别是在如此处的图所示,层系统由两层组成的情况下,可以(但并非必须)是有利的。

[0069] 建议通过以下过程序列实现:

[0070] (1) 掺杂下层(注入物B),

[0071] (2) 生长上层,和

[0072] (3) 掺杂上层。

[0073] 对于注入物A的高能尾部的构造,仍仅存在有限的可能性。然而,注入物B的低能量尾部具体地可以受到牺牲层的引入影响,如“15:通过牺牲层修改基材中的掺杂分布”中描述的。

[0074] 建议通过以下过程序列实现:

[0075] (1) 生长牺牲层;

[0076] (2) 掺杂下层(注入物B);

[0077] (3) 去除牺牲层;

[0078] (4) 生长上层;

[0079] (5) 掺杂上层。

### 具体实施方式

[0080] 图1显示了由[7]已知的用于产生深度分布的方法。在这种情况下,为了晶片加工的目的,借助于用于离子注入的系统中的结构化能量过滤器将离子束注入到基材中。显示了注入方法和在加工之后晶片中的掺杂剂分布或缺陷分布。具体显示的是单能离子束的能量在其通过微结构化能量过滤器组件时如何被修改,这取决于其进入的点。产生的离子的能量分布会导致基材基质中注入物质的深度分布的改变。图1中还示出了这种深度分布,其在此处所示的实例中为矩形。

[0081] 图2显示了用于离子注入的系统。该系统包括注入室,其中几个晶片可以布置于晶片轮上。晶片轮在注入期间旋转,使得各个晶片反复经过其中布置有能量过滤器且离子束由其通过到达注入室并由此撞击晶片的射束开口。在图2的左侧可以看到安装有要接受注入的基材的晶片轮。在加工/注入期间,轮倾斜 $90^\circ$ 并设置为旋转。离子束的离子,以绿色表示,由此在轮上“写出”同心圆。为了照射整个晶片的表面,在加工期间轮垂直移动。安装于离子束开口中的能量过滤器可以在图2的右侧看到。

[0082] 图3以示例的方式显示了过滤器的几种布局或三维结构,以示出如何通过适当的过滤器选择而产生大量不同掺杂剂深度分布的原理。图3中所示的各个过滤器分布可以彼此组合而获得额外的过滤器分布,并由此获得额外的掺杂剂深度分布。在每种情况下显示了能量过滤器的截面(图中最左侧)以及能量过滤器的顶视图和显示所获得的掺杂剂浓度相对于晶片中的深度的变化(作为深度的函数)的曲线。晶片的“深度”是垂直于离子注入的晶片表面的方向。如图3所示,(a)三棱柱形结构产生矩形的掺杂分布;(b)较小的三棱柱形结构产生延伸深度小于(a)的情况的矩形掺杂剂分布(因此,通过选择结构的尺寸可以调

节分布的深度)；(c) 梯形棱柱形结构产生在分布开始处具有峰值的矩形掺杂分布；(d) 金字塔形结构产生随着基材深度的增加而高度增加的三角形掺杂分布。

[0083] 由于许多原因,过去已知的能量过滤器(注入过滤器)或能量过滤器元件不适合于实现高产量,即许多晶片/小时。特别期望的是具有高的每小时晶片产量,易于处理,易于生产,并实现任何期望的分布形状。由文献 [2],[3],[4],[5],[6],[7],[8],[9],[10]中已知静态或可移动安装的过滤器,其是单片生产的,即由材料的固体块制成,并且单个安装于离子束中。与硅相反,SiC晶片中掺杂区域的形状通常不会因掺杂剂分布的向外扩散而改变[2],[4],[5],[6]。其原因在于常见的掺杂剂如Al,B,N和P的扩散常数即使在高温下也是非常小的。这些扩散常数在硅的对比值许多数量级以下。由于这个原因,直到现在还不能经济地实现掺杂区域,特别是那些具有高长宽比,即小的基底面积与深度的比率的区域。

[0084] 半导体晶片中的掺杂剂深度分布可以通过在外延沉积期间的原位掺杂或通过(掩蔽的)单能离子注入而产生。在原位掺杂的情况下,可能发生高水平的不精确度。即使在均匀掺杂剂分布的情况下,该方法的性质意味着在晶片上,即从中间到边缘,将会预期与理想掺杂的显著偏差。对于梯度深度分布,这种不精确度也会延伸到掺杂区域的垂直方向,因为现在局部掺杂剂浓度取决于大量的过程参数,如例如,温度,局部掺杂气体浓度,拓扑结构,普朗特(Prandtl)边界层的厚度,生长速率等。单能离子束的使用意味着必须进行许多单独的注入才能获得具有可接受的垂直波度的掺杂剂分布。这种方法只能在一定程度上规模放大,并且其很快就变得是经济上不可行的。

[0085] 本发明的各个实施例涉及用于离子注入系统的能量过滤器元件的结构,其使得可以满足在半导体组件,尤其是基于SiC半导体材料的组件的工业生产中使用的能量过滤器元件的要求。关于能量过滤元件的使用,生产条件由以下方面定义,例如:

#### [0086] 1.过滤器更换的技术方便性

[0087] 在生产环境中,即在工厂中,甚至由产业工人(“操作员”)在离子注入机上进行生产,其在大多数情况下不是受过培训的工程师。

[0088] 能量过滤器是一种极其脆弱的微结构膜,在不破坏其的情况下难以处理。因此为了这种过滤器技术可以经济地使用,应该保证经过短时间的指导,即使是非专业人员(即,非工程师)也能够更换过滤器,如同其是一种变得磨损的工具或在注入系统中将其换成另一个。

#### [0089] 2.任何期望的垂直分布形状

[0090] 新型半导体组件如超结组件或优化的二极管结构,需要不均匀的掺杂曲线。然而,在[1-6]中描述的简单能量过滤器仅产生恒定的分布。如Rüb[8]中描述的那些复杂的过滤器结构在技术上非常精细并且根据生产方法的现有技术难以实现。目标是通过使用不复杂的,即易于生产的过滤器结构实现复杂的垂直分布形状。

#### [0091] 3.高产量-与过滤器移动相组合的冷却系统

[0092] 生产条件是指,例如,在离子注入机(串联加速器上的典型端电压>1 MV至6MV)上以每个晶圆约 $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 的注入量每小时通常应该生产超过20-30个直径为6”的晶片。因此,在这种情况下可以生产期望数量的晶圆,必须使用大于 $1 \mu\text{A}$ 至几十 $\mu\text{A}$ 的离子电流;或超过几瓦的功率,例如,必须在过滤器上(典型的表面积 $1-2 \text{ cm}^2$ )沉积 $6 \text{ W/cm}^2$ 。这会导致过

滤器升温。问题是通过适当的措施冷却过滤器。

#### [0093] 4. 用于获得均匀、均一的深度分布的过滤器结构的简单、低成本生产

[0094] 过滤器结构可以通过各向异性的湿式化学蚀刻生产。在最简单的形式中,过滤器结构由适当尺寸的长三角形薄片(例如,6 $\mu\text{m}$ 高,间隔8.4 $\mu\text{m}$ ,长度几毫米)组成,其周期性地布置于尽可能最薄的膜上。具有尖角的三角形薄片的生产是成本密集的,因为湿式化学各向异性蚀刻必须精确调节。尖角,即非梯形薄片,是昂贵的,因为蚀刻速率和蚀刻时间必须彼此精确协调以获得尖锐的薄片。在实践中,这会在蚀刻期间导致大量过程控制工作;并且,由于在蚀刻期间预期在具有数百个薄片的芯片上具有的不均匀处理(湿化学过程的蚀刻速率永远不能完美再现,并且在大面积上永远不会是均匀的),这会导致产率损失,即不完美结构化的过滤元件。目标将是实现能量过滤器生产的简单而低成本的方法。

#### [0095] 5. 产生的掺杂剂或缺陷区域的高横向均匀性

[0096] 在先前引用的文献[2],[3],[4],[5],[6],[7],[8],[9],[10]中描述的用于离子注入的能量过滤器具有内部三维结构,其在离子通过过滤器时会导致离子行进的距离不同。行程距离的这些差异(取决于过滤材料的阻止本领)产生对传输的离子的动能的改变。因此,单能离子束被转换成由具有不同动能的离子组成的束。能量分布由过滤器的几何形状和材料决定;即过滤器结构通过离子光刻术转移到基材中。

#### [0097] 6. 监测能量过滤器的“寿命终止”

[0098] 由于离子束与过滤材料的核相互作用且由于热负荷,尤其是对于具有能量过滤器的每个离子注入过程,产生了过滤器的典型使用寿命。对于具有约2 $\mu\text{m}$ 的支撑层厚度、约8 $\mu\text{m}$ 的常规尖头结构(prong structure)和12MeV氮之下采用约0.1 $\mu\text{A}$ 电流的注入方法的硅能量过滤器,最大生产量为约100个晶片(6")。

[0099] 为了机器操作员的风险和过滤器制造商的安全,应该监控使用特定过滤器加工的晶片总数。

#### [0100] 7. 传输的离子的角度分布的限制

[0101] 为了产生掩蔽的掺杂剂区域,即具有有限的横向尺寸的区域,特别是在高长宽比的情况下,必须限制传输的离子的角度谱以避免将离子注入掩模层下。

#### [0102] 8. 最小化通过溅射效应造成的过滤器磨损

#### [0103] 9. 通过过滤器相对于离子束的布置避免沟道效应(晶格引导效应)

#### [0104] 10. 通过简单的过滤器几何形状实现复杂的掺杂剂深度分布

#### [0105] 11. 使用过滤器期间的电子抑制

[0106] 众所周知,在离子传输通过固体期间,离子的电荷呈现平衡状态。初级束的电子可以被释放到固体或由其接受。即根据过滤材料的性质和初级能量,传输的离子在通过过滤器后平均具有更高或更低的电荷状态[26]。这可以导致过滤器的正或负充电。

[0107] 同时,通过离子轰击过滤器的前侧或后侧,可以产生高动能的次级电子。

[0108] 在如工业生产中期望的那些的高电流密度下,能量过滤器会升温。由于热电子发射(Richardson-Dushman定律),热电子作为温度和过滤材料的功函数产生。

[0109] 过滤器和基材之间的离子加速器的距离(在高真空中)通常仅为几厘米或更小。也就是说,热电子的扩散(来自热离子发射)和快速电子(来自离子轰击)的行为歪曲通过例如安装于那里的法拉第杯对基材上的离子电流的测量。

[0110] 12.通过注射模制、浇铸或烧结的替代生产方法

[0111] 在出版物[2]-[15]中,提出了微观技术的方法用于生产能量过滤器。具体描述,为了生产过滤器,光刻方法与湿化学或干化学蚀刻组合使用。对于过滤器生产,优选通过碱性蚀刻剂(例如,KOH或TMAH)在硅中的各向异性湿化学蚀刻方法。

[0112] 在通过上面提到的方法生产的过滤器的情况下,功能过滤器层由单晶 硅制成。因此必须始终假定,当其用高能离子轰击时,沟道效应原则上将以难以控制的方式影响过滤器层中的有效能量损失。

[0113] 13.用于照射静态基材的配置

[0114] 要使用使得可以在基材的整个表面上以高横向均匀性在能量过滤下 照射静态物质的照射配置。原因:照射系统的终端站(end station)通常 不具有点状或近似点状的射束点扫描整个晶片(晶片轮)的全部机械能 力。相反,许多系统具有静电扩展的束(=x方向上的条带),例如,其会 静电扫描晶片(y方向)。在某些情况下,使用部分机械扫描仪。即束在x 方向上扩展,而晶片在y方向上(缓慢地)机械地移动。

[0115] 14.利用大过滤器表面的配置

[0116] 必须使用使得可以在能量过滤下在基材的整个表面上以高的横向均 匀性照射静态或可移动的基材和在大的过滤器表面上如此的照射配置。这 使得可以减少过滤器中的热效应和降解效应。

[0117] 15.通过牺牲层改变基材中的掺杂分布

[0118] 能量过滤器是用于操纵基材中的掺杂分布的工具。对于某些要求,期 望的是对于在基材中可以产生的掺杂分布在能量过滤器之后,即在能量过 滤器下游的位置操纵。具体地,期望的是将掺杂分布的近表面起始“推”离 基材。这在由于各种原因(特别是通过散射损失离子),基材中掺杂分布 的起始不能通过过滤器正确调节时可以是特别有利的。在能量过滤器之后 的这种掺杂分布操纵可以通过注入到基材上的牺牲层中而实现。

[0119] 16.通过牺牲层对基材中的掺杂分布的横向修改

[0120] 对于某些应用,期望基材中的掺杂分布显示出横向变化。具体地,均 匀掺杂分布的注入深度的变化可以有利地用于半导体组件中的边缘封端。通过在基材上提供具有横 向厚度变化的牺牲层,可以实现掺杂分布的这种 横向调节。

[0121] 17.几种注入分布之间的分布过渡的调节

[0122] 对于某些应用,期望的是沿一定深度处的“接缝”将两个或更多个分布 彼此连接,因为否则在层之间将存在绝缘。该问题发生于层系统中,特别 是当其下的上掺杂分布的下端或下掺杂分布的上端包括缓慢渐减浓度的“尾部”时。

[0123] 18.用于耦合的振荡运动的多过滤器概念的具体配置

[0124] 如果多过滤器连接到可移动基材室的可以在束的前面线性前后移动 的部分(例如,在旋转晶片盘,具有垂直扫描方向的情况下),则多过 滤器可以容易地仅通过移动基材室而相对于束移动。通过在过滤器前面的一个方向上扫描的磁性或静电扫描装置,可以使用非常大的多过滤器表面,其等于例如垂直振荡距离乘以水平扫描距离的乘积。晶片和过 滤器的运动 在这种配置中耦合,这可以导致关于掺杂的横向均匀性的问题。通过晶片轮的 旋转,离子束在晶片上“写入”线。由于以上提及的配置,晶片上的水 平照射线的位置,会例如耦合到多过滤器上的某个垂直位置。例如,单个 过滤器元件之间的间隙导致晶片上的不

均匀掺杂的线。因此,多过滤器中的过滤器组件的排布必须进行选择为使得尽管在过滤器和基底的线性运动耦合,仍确保横向均匀性。

[0125] 在以下解释满足前述生产条件的能量过滤器、注入设备或部分注入设备的实例。应该提到的是,以下解释的措施和概念可以以任何期望的方式彼此组合,但是它们中的每一个也可以单独地应用于其自身中。

[0126] 要点1:过滤器更换的技术方便性

[0127] 设想一种使得易于处理注入过滤器的框架安装于所讨论的过滤器上,其在下文中称为“过滤器芯片”。如图4-6所示,这个框架可以以使得其可以用于先前安装的合适尺寸的框架固定件中的离子注入系统上的方式配置。框架保护能量过滤器,使之易于处理,并负责电和热耗散和/或电绝缘(见图36)。框架可以由过滤元件的制造商在无尘环境中提供有过滤芯片,并且以无尘包装输送到离子注入系统。

[0128] 图4和5显示了过滤器框架的几何和机械结构的实例。由其固定的过滤器可以具有任何期望的表面结构,根据用其获得的期望的掺杂分布选择。过滤器固定件和/或过滤器框架可以提供有防止材料从过滤器框架和过滤器固定件上磨损的涂层。

[0129] 过滤器框架和过滤器固定件可以由金属制成,优选由高级钢等制成。在注入过程期间,必须预期由散射的离子引起的能量过滤器的局部环境中的溅射效应。即必须预期框架和过滤器表面处和附近的材料会被带走。基材晶片上的金属污染可能是不期望的结果。涂层防止了这种污染,其中涂层由非污染材料性构成。什么材料是无污染的取决于所使用的靶基材的性质。合适材料的实例包括硅和碳化硅。

[0130] 图4显示了用于固定能量过滤器芯片的过滤器框架的截面。也显示于图4中的能量过滤器芯片可以以各种方式,如通过使用粘合剂或通过机械弹簧附接于框架。图5显示了用于固定能量过滤器元件(其也显示于图5中)的过滤器框架的俯视图。过滤器框架包括锁定元件,通过其可以打开和关闭框架而允许更换过滤器。图6示出了用于将能量过滤器元件固定于离子注入机的束路径中的框架的安装实例。在图6的上部所示的是室壁和布置于其中的过滤器固定件的截面。在实施例,过滤器固定件布置于室壁的内侧表面上,即在注入过程期间面向晶片(未示出)的侧面。在注入过程期间,穿过室壁中的开口并通过布置于开口前面的过滤器的离子束也在图6中示意性地显示出。具有插入过滤器固定件中的过滤器芯片的框架覆盖离子束在注入过程期间会由其穿过的室壁中的开口。这显示于图6的下部,其显示了室壁的前视图,其中过滤器固定件附连至室壁。

[0131] 框架可以由与过滤器相同的材料构成。在这种情况下,框架可以与过滤器一起整体生产,因此可以称为“单片框架”。如上解释的,框架也可以由与过滤器不同的材料,如金属制成。在这种情况下,过滤器可以插入框架中。根据另一个实例,框架包括单片框架和至少一个与过滤器材料不同的其它框架,其附连至单片框架。其它框架是例如金属框架。

[0132] 如上解释和显示的,和如图7右侧所示的,框架可以完全包围过滤器。根据另外的实例,框架不会构成过滤器的所有(四个)侧面(边缘)上的边界,而是仅在过滤器的三个、两个(相对的)或仅一个边缘上形成边界。因此,术语“框架”应该结合该描述而理解为实心框架,其所有侧面(边缘)上完全围绕过滤器,并且理解为部分框架,其仅围绕过滤器的一些侧面延伸。这种部分框架的实例也如图7中所示。因此,图7显示了各种部分框架(在图中的左侧)和完整框架(在图中的最右侧)。每一个这些框架都可以由与能量过滤器相同

的材料(例如,单片)或不同的材料构成。

[0133] 能量过滤器或任何其他散射元件可以通过其框架以各种方式安装于注入机的束路径中,这可以根据上述实例之一实现。以上解释的框架插入过滤器固定件,只是几种可能中的一种。下面解释了其他可能。

[0134] 根据图8中所示的一个实例,框架可以通过至少一根杆安装于室壁上。在这种情况下,至少一根杆用作过滤器固定件。图8中所示的是仅通过一根杆,通过两根杆和通过三根杆的安装的实例。显而易见的是也可以提供三根以上的杆。

[0135] 根据另一个实例,如图9所示,框架也可以通过悬挂架或悬挂元件附连至室壁。这些悬挂元件例如是柔性的,并可以以使得框架牢固地固定就位的方式安装于框架和室壁之间。悬挂元件在该实例中用作过滤器固定件。图9显示了仅具有一个悬挂元件,具有两个悬挂元件和三个悬挂元件的附件的实例。当然,也可以提供三个以上的悬挂元件。

[0136] 根据另一个实例,如图10所示,带有过滤器的框架由悬浮(无接触)方式通过磁体固定。为此目的,磁体附连至框架的前侧和后侧以及室壁上,以这种方式在每种情况下,室壁上或附连至室壁的固定件上的磁体与框架上的磁体相反,其中相反磁体的相对磁极具有相反的极性。由于磁力,框架漂浮于附连至室壁的磁体和附连至固定件的磁体之间。过滤器的框架上的磁体可以,例如,通过热气相沉积或任何其他层形成方法实现。

[0137] 要点2.任何期望的垂直分布形状

[0138] 原则上,用于离子注入系统的能量过滤器的几何构造结构可以使得可以实现半导体材料中的任何期望掺杂分布。对于复杂的分布,这意味着必须在相同过滤器芯片上产生不同尺寸和可能的不同高度的几何结构上非常苛刻的三维蚀刻结构,如金字塔形,具有限定的壁斜率的凹坑,反金字塔形等。

[0139] 设想使用矩形分布形状如可以通过简单的三角形结构(多过滤器)产生的那些对任何期望的分布进行近似。在某些条件下,也有可能使用非三角形结构(例如,金字塔)作为近似的基本要素。

[0140] 也就是说,设想将期望的掺杂分布分解成例如箱形分布,并且为每个箱形分布产生三角形过滤器结构。然后以使面积加权对应于适合于所讨论的箱形分布元素的掺杂剂浓度的方式将单个过滤器芯片安装于框架中。

[0141] 掺杂剂深度分布的分解不限于本文中所示的三角形结构。相反,其可以包括其它结构,其在最一般的情况下包含斜面或甚至上凸或下凹地升起的侧面。侧面不一定必须整体上升,而它们也可以包含谷和凹陷。也可以设想侧面角度为 $90^\circ$ 的二元结构。

[0142] 在一个实例中,过滤器元件用斜角规切割并彼此直接相邻布置。斜角规切割具有的优点在于,不需要在过滤器之间的粘合剂粘合来阻挡过滤器边缘处的离子。另外,以这种方式可以最佳利用照射表面。对于相同的总过滤器尺寸和给定的离子电流,这具有增加晶片产量的效果。

[0143] 图11示出了多过滤器的简单实现的实例。在该实例中,三个不同成形的过滤器元件组合于过滤器固定件的框架中而形成完整的能量过滤器。在图11的左上方是具有三个过滤器元件的过滤器固定件的截面,而在图11的左下方是具有三个过滤器元件的过滤器固定件的俯视图。在图11的右侧是可以由组合的过滤器获得的过滤器分布。当该过滤器用作注入过滤器时,离子束均匀地通过所有的单个过滤器元件,使得产生图11右侧所示的掺

杂剂深度分布。此分布包含三个深度分布,编号为1,2,3。这些深度分布的每个来自左侧显示的两个子过滤器中的一个,即来自由相同编号标识的子过滤器。

[0144] 图12以举例的方式示出了其中可以组合成多过滤器的三个不同过滤器元件作用的方式。该图显示了每个单个过滤器元件的横截面,这些过滤器元件的尺寸的实例,以及如可以通过单个过滤器元件获得的那些的掺杂分布。在图12中,作为实例仅给出了第四过滤器元件(未示出)的尺寸。可以通过改变单个过滤元件的表面积的尺寸调节加权,即获得的浓度或掺杂分布。对于这个实例,假设过滤器和基材具有相同的能量依赖性阻止本领,但是并不一定必须如此。图13显示了当基于图12解释的四个过滤器元件组合成多过滤器并用于注入时可以获得的掺杂分布的实例。这个总和分布来自在所讨论的表面上加权的过滤器元件的添加。对于该图,假设基于图12描述的过滤器元件以适当的加权组装而形成完整的过滤器并均匀地暴露于合适初级能量的离子束,使得获得所示的总和分布。

[0145] 在基于图11解释的实例中,多过滤器的单个过滤器元件通过框架的网彼此分开。根据另一个实例,如图14所示,单个过滤器元件也可以彼此直接相邻。图14显示了包括若干相邻的过滤元件F1、F2、F3的多过滤器的截面。多过滤器插入过滤器框架中。在该实例中,单个过滤器元件 F1、F2、F3用斜角规切割并彼此直接相邻布置。

#### [0146] 要点3. 高生产量—与过滤器运动相组合的冷却系统

[0147] 对于给定的靶掺杂的高晶片生产量只能通过高离子电流实现。因为离子束的初级能量的约20%至约99%沉积于过滤膜中,即束通过的注入过滤器的部分,提出使用冷却方法作为即使在高离子电流下也能防止过滤器温度过度升高的方式。

[0148] 这种类型的冷却可以通过,例如,如下解释的以下措施a至c中的一种或多种完成。

#### [0149] a. 过滤器固定件中的冷却剂流

[0150] 通过这种方式,加热的过滤器芯片通过散热来冷却。图15显示了这种类型的冷却的过滤器固定件的实例。具体所示的是过滤器固定件的横截面,过滤器固定件附连至注入机的室壁。在该实例中,冷却剂管线集成在过滤器固定件中,过滤器固定件接纳过滤器框架。通过外部冷却装置(未示出)将液体冷却剂供给至这些冷却剂管线。可替代地或另外,冷却剂管线也可以布置于过滤器固定件(未示出)的表面上。

#### [0151] b. 过滤器或离子束的移动

[0152] 设想当使用载有例如10-15个晶片的旋转晶片轮时,过滤器或过滤器固定件以其以线性运动旋转或振荡的方式配置。可替换地,离子束可以在过滤器上静电移动,而同时过滤器保持静止。

[0153] 在这些变体中,过滤器每单位时间仅部分被离子束照射。因此,在特定时刻未被照射的过滤器的部分可以通过辐射冷却来冷却。因此,可以在连续使用条件下实现给定过滤器的更高平均电流密度。其如何实现的实例如图16和17所示。

[0154] 图16示出了具有相对大的表面积的能量过滤器,其每单位时间仅部分被照射。因此,未照射区域可以通过辐射冷却来冷却。这个实施方式也可以配置为如上描述的多过滤器,即作为包括若干不同的过滤器元件的过滤器。在所示的实例中,具有过滤器的框架在垂直于示意性地显示的离子束方向的方向上振荡。过滤器由离子束覆盖的面积小于过滤器的总面积,使得每单位时间仅照射部分过滤器。这个部分由于摆动运动而持续变化。

[0155] 图17显示了具有多个过滤器元件的过滤器配置的一个实例,过滤器元件由旋转过滤器固定件承载。每个单个过滤元件可以以相同的方式结构化,但它们也可以具有不同的结构以获得多过滤器。如图17所示,随着固定件旋转,单个过滤元件横穿绕固定件的旋转轴(中心轴)的圆形路径。同样在该实例中,每单位时间仅发生部分照射;即并非所有的过滤元件都被同时照射,使得未照射的过滤器元件可以冷却。

#### [0156] 要点4.简化的过滤器设计

[0157] 具有精确高度和完美尖角的尖头结构的过滤元件的生产在加工技术方面是苛刻的,并且相应地是昂贵的。

[0158] 对于简单的掺杂曲线(例如,均匀掺杂),其从基材的表面开始,并且仅需要简单的尖头结构,本文中提出简化设计以及与其相关的简化的生产方法。

[0159] 设想过滤器的微结构化的膜(例如,尖头结构)在尖头上设置有平台而不是尖角,并且膜的支撑层的厚度以使得使形成中的低能量掺杂剂峰被推入过滤器的支撑层中,并由此不会注入到基材中的方式设置尺寸。图18中显示了这种类型的过滤器的实例。显示了通过使用所示过滤器可以获得的掺杂分布的截面(图中的左侧)、俯视图(中间)和一个实例。如图所示,通过使用梯形棱柱形结构,通过将离子注入能量过滤器,可以在基材中产生矩形分布。开始时的峰值被注入能量过滤器中;即,基材内不存在掺杂剂分布的峰值。这个注入分布具有直接在基材表面开始的有利特性,这对于能量过滤器的应用可以是至关重要的。

[0160] 从图18中的过滤器的截面可以看出,过滤器结构包括平台而不是尖角。因此,单个结构元件的截面是梯形的。这极大地简化了实现过滤所需的技术。已知三角形结构可以通过,例如,用KOH或TMAH的湿式化学蚀刻在硅中产生。为此目的,必须在光刻中掩蔽三角形的尖端。如果产生完美的尖端,这会导致蚀刻可能渗透到底漆或硬掩模结构下面的问题。没有本文的设想,这个问题只能通过完美(并因此复杂,成本密集)的加工解决。本文提出的思想因此非常显著地简化了过滤器结构的生产。对于现代的等离子体支持的蚀刻方法,如RIBE(反应性离子束蚀刻)或CAIBE(化学辅助离子束蚀刻),都类似地也是如此。

#### [0161] 要点5.产生的掺杂或缺陷区域的高横向均匀性

[0162] 在静态注入情况下,横向均匀性方面可以是显著的。当旋转晶片盘(晶片轮)与例如11个晶片和固定离子束一起使用时,通过晶片盘相对于离子束的旋转和平移运动决定均匀性。

[0163] 过滤器-基材距离:传输的离子的角度分布是能量依赖性的。如果过滤器和离子的能量以使得尤其是非常低能量的离子(核停止范围)离开过滤器的方式彼此协调,则存在宽的角度分布,因为发生了大角度散射事件。如果过滤器和离子的能量以使得只有高能离子(仅在电子范式中,  $dE/dx_{\text{电子}} > dE/dx_{\text{核}}$ )离开过滤器的方式协调,则角度分布非常窄。

[0164] 最小距离的特征在于过滤器的结构不会传递到基材上。即,例如,对于传输的离子的散射角的给定分布,这些离子经过的横向距离至少与离子过滤器的晶格常数的周期相当。

[0165] 最大距离由对于散射角的给定分布,尤其是在半导体晶片的边缘处,应用仍然可以容忍的散射离子的损失确定。

[0166] 图19显示了在静态注入PMMA(聚丙烯酸甲酯)基材期间通过能量过滤器注入离子

的实验结果。离子破坏了PMMA的分子结构,使得随后的显影过程通过溶解高能量沉积区域显示出了离子的能量分布。低能量沉积或没有通过离子的任何能量沉积的区域不会被显影剂溶液溶解。

[0167] 本文中提出的思想是通过为动态和静态注入设置选择正确的过滤器- 基材距离而产生高横向掺杂均匀性。

[0168] 要点6. 监测能量过滤器的“寿命终止”

[0169] 由于核相互作用和明显的温度变化(过滤器的加热通常达到几百℃), 能量过滤器会作为累积的注入离子剂量的函数而降解。

[0170] 一旦达到临界离子剂量,过滤器的化学成分、密度和几何形状以使得对要实现的目标分布的影响不再可以忽略的方式改变。临界离子剂量取决于使用的过滤器材料、注入离子种类、能量、几何形状以及目标分布的允许变化范围(=规格)。

[0171] 对于具有给定能量、离子种类、分布等的每个过滤器注入过程,因此可以定义包含注入期间的最大温度和最大允许累积离子剂量的规格。根据一个实例,提供了能量过滤器的使用以使得即使在没有被工程师监控的情况下,过滤器在规定的容许度之外不能使用的方式监控。为此目的,设想一旦过滤器插入到注入机上的过滤器固定件中,每个过滤器基于电子可读签名受到检测,并且通过例如控制计算机读取这个签名。为此目的,签名存储于设置于过滤器上的电子可读存储器中。例如,数据库存储可以在某个注入机上使用的过滤器的签名及其属性,如过滤器适用的过程(离子种类,能量),以及累积剂量和最高温度允许到达的程度。通过读出签名并将其与数据库中的信息对比,控制计算机由此可以确定过滤器是否适合于计划的注入过程。

[0172] 图20显示了用于识别过滤器和监测与过滤器规格(最高温度,最大累积离子剂量)的符合性的监测系统。一旦通过内置传感器(电荷积分器和温度传感器)识别过滤器,就会连续测量累积剂量和过滤器的温度。当达到或超过指定的参数之一时,即当过滤器,例如,变得过热或已经通过过滤器注入最大允许剂量时,终止注入过程。也就是说,当某个值不再符合规格时,向控制计算机发送信号,终止注入过程。

[0173] 要点7. 传输的离子角度分布的限制

[0174] 对于在靶基材上需要空白区域的应用,可以将掩模材料施加于靶基材上。

[0175] 为了避免由过滤器引起的过宽离子分布对结构的横向“模糊”,设想对通过过滤器传输的离子束进行准直。准直可以通过具有高长宽比的条状、管状、格状或六边形结构完成,这在能量过滤器之后布置于传输的束中。这些结构的长宽比定义了允许的最大角度。

[0176] 各个实例如图21-25中所示。图21显示了在束开口的区域中的注入机室壁的截面、具有插入的过滤器的固定到室壁的过滤器固定件和在这个实例中附连至过滤器固定件背离室壁的侧面的准直器。准直器的长宽比由准直器的长度和宽度决定,确定了相对于准直器的长度方向的最大角度 $\alpha$ , 在该角度下离子束可以传入准直器中并仍然通过准直器。以相对大的角度成束的离子束的区段撞击准直器的壁,而因此没有穿过它。如果过滤器和要注入离子的基材之间的可用距离对于期望的长宽比不足时,则准直器也可以由几个具有彼此相邻布置的较小开口的准直器单元组成。它们可以布置成例如蜂窝图案。

[0177] 可替换地,准直器结构也可以直接布置于过滤器元件上。这种类型的元件可以作

为整体或通过微结合方法生产。直接布置于过滤器上的准直器结构的两个实例如图22中所示。直接布置于过滤器上的这种类型准直器结构可以机械地稳定过滤器并且具有冷却效应,因为准直器结构可以用作表面积大于过滤器表面积的冷却体。此处最大角度 $\alpha$ 也由布置于过滤器上的单个准直器结构(每个包括长度和宽度)的长宽比定义。准直器结构可以通过使用粘合剂,例如,通过粘合或通过一些类似的方法附连至过滤器。

[0178] 在图22所示的实例中,准直器结构布置于过滤器的结构化侧面上,即过滤器具有凸起和凹陷处。在该实例中,结构是梯形的。图23显示了图22的配置的修改。在该实例中,准直器表面布置于过滤器的非结构化侧面上。在两种情况下,准直器结构相对于离子束的方向(在图21和22中用箭头表示)布置于过滤器的下游,并因此以这种方式而使离子束仅在通过过滤器后才通过准直器结构。

[0179] 图24显示了根据各个实例的准直器结构的顶视图。在所示的实例中,该准直器结构布置于过滤器上,当从上方观察时,其具有层状结构。单个“过滤器薄层”的截面可以,例如三角形或梯形,如上文已经阐述的。然而,过滤器的层状结构仅是一个示例。如上文解释的任何其他类型的过滤器结构也可以使用。在左侧和中间,图24显示了其中准直器结构以条状方式设置的实例;即其包括几个平行的条带,每个条带在过滤器的整个宽度上延伸。每对相邻的条带形成准直器,其中这种准直器的宽度由相邻条带之间的距离决定。准直器的长度由单个条带的高度决定。条带的“高度”是其垂直于附图的平面的方向上的尺寸。准直器结构的条带可以垂直于过滤器的薄层,如图24中的左侧所示,或它们可以平行于薄层,如图中间所示。图24的右侧是其中准直器结构在俯视图中看上去为格子的示例,由此形成了多个准直器,其几何形状由格子的几何形状决定。在所示的实例中,单个准直器在俯视图中是矩形的,具体是正方形的,而使准直器呈矩形管的形式。然而,这只是一个实例;格子也可以以使得单个准直器在俯视图中呈圆形,椭圆形或六边形(蜂窝状)或具有任何其他期望的多边形几何形状的方式实现。

[0180] 通过靶基材上的硬掩模的准直

[0181] 对于掩模注入,作为过滤器上的准直器的替代或补充,可以将掩模应用于靶晶片而用作准直器结构。这种掩蔽的条件可以是掩模的阻止能力必须至少对应于靶基材材料中的传输的离子束的平均范围。因而角度分布的限制也可以通过掩模实现,因此可以相应地调整掩模的长宽比。图25显示了这种类型的准直器结构的实例,其直接布置于靶基材上。这种准直器结构可以具有任何一种前述几何形状;因此其可以是例如层状,条状,管状或蜂窝状,取决于基材结构的布局 and 期望的最大角度分布。这种准直器结构的长宽比是形成准直器结构的基材上的掩模的空白区域的高度(图25中的h)与宽度(图25中的b)的比率。

[0182] 发现准直器结构不仅影响横向方向上的散射,而且影响深度分布。这如图26中所示,其示出了三种不同注入方法的掺杂分布,每种注入方法都采用相同的过滤器但采用不同的准直器结构进行。在该实例中,每个过滤器具有梯形横截面的层状结构。然而,这只是一个实例。在该图中的左侧,显示了注入方法,其中在没有准直器结构的情况下进行注入。由此获得的注入分布开始于基材的表面。

[0183] 在图26的中间和右侧,示出了注入方法,其中采用准直器结构进行注入,其中在右侧的实例的情况下准直器结构的长宽比高于中间的实例情况。如可以看出的,通过这些

注入方法获得的掺杂分布不开始于基材表面，而是距离其一定距离，其中长宽比越高，掺杂分布越远离表面，并且其上升越平坦。对此的解释是基材的近表面区域中的掺杂剂分布是由在过滤器中受更强的阻滞而因此具有较低能量的离子引起的。这种具有低能量的离子比具有较高能量的离子更强地受到过滤器散射，因而这些较低能量的离子具有比较高能量离子更宽的角度分布。因此，可以通过准直器结构的低能离子的数量会小于较高能量的离子的数量，其中准直器结构的长宽比越大，效果越显著，即允许离子仍然可以通过准直器结构的角度的最大值越小。

[0184] 因此，尽管存在准直器结构，但从表面开始可以产生几乎均匀的掺杂分布，过滤器可以设计为使低能离子是“优选的”。也就是说，相比高能离子更多的低能离子通过过滤器。图27中显示了这种类型的过滤器的实例。在该实例中，过滤器具有不同的过滤器区域，每个具有最大和最小厚度。所有三个区域中的最大厚度是相同的，但最小厚度不同。这实现于该实例中，是因为过滤器在每个单个区域中具有布置于基底上的梯形结构，其中基底具有不同的高度或厚度，而因此梯形结构具有不同的高度。在第一部分中，基底是最薄的，而梯形结构是最高的，因此相邻结构之间的距离CD1在该部分中是最大的。在第三部分中，基底具有最大的厚度，并且梯形结构是最低的，因此相邻结构之间的距离CD3在该部分中是最小的。在第二部分中，基底的厚度处于第一部分的厚度和第三部分的厚度之间。相应地，该部分中的梯形结构的高度处于第一部分的高度和第三部分的高度之间，并且在该部分中，相邻结构之间的距离CD2处于第一部分中的距离CD1和第三部分的距离CD3之间。单个部分在表面积方面可以是相同的，但它们的尺寸也可以不同。同样显而易见的是，可以提供具有不同最小过滤器厚度的三个以上的部分。

[0185] 图27在左侧显示了在没有准直器结构的情况下进行注入时通过用之前描述的过滤器注入而获得的注入分布。这种注入分布开始于表面，但掺杂浓度随着深度的增加逐步减小。在该图中，CD1表示可以归因于过滤器的第一部分的掺杂分布的区域；CD2表示可以归因于过滤器的第二部分的掺杂分布的区域；而CD3表示可以归因于过滤器的第三部分的掺杂分布的区域。在掺杂分布的基础上可以看出，相关部分的基底的最小厚度越大，穿过所讨论的过滤器区域的离子渗透到基材中越浅，即它们的能量越低。掺杂分布还表明，相比高能离子更多的低能离子通过过滤器。因为，如上解释的，低能离子比高能离子更强地散射，因此低能离子通过准直器结构比高能离子更少，从表面开始的几乎均匀的掺杂分布可以通过使用这种过滤器与准直器结构组合而获得。这如图27的右侧所示，其中显示了使用所阐释的过滤器和准直器结构的注入方法。该实例中的准直器结构位于基材上，但也可以布置于过滤器上。

[0186] 要点8. 较少的由溅射效应导致的过滤器磨损

[0187] 过滤器相对于基材的注入配置：在一种情况下，尖头面向基材，在另一种情况下，尖头背向基材（→溅射，在撞击时散射）。在先前阐释的注入方法和以下将要解释的注入方法期间，过滤器在每种情况下可以以使过滤器的微结构面向基材，即远离离子束指向的方式使用，如图28(a)所示。可替换地，过滤器也可以旋转，而使过滤器的微结构背向基材，即面向离子束，如图28(b)所示。后者可以对溅射效应产生有利影响。

[0188] 要点9. 通过过滤器相对于离子束的排布避免沟道效应

[0189] 过滤器和/或基材的倾斜

[0190] 只要过滤器和/或基材由晶体材料构成,可能发生不期望的沟道效应。也就是说,离子可以沿某些晶体方向达到增大的范围。效应的幅度和接受角度是温度和能量的函数。注入角度和用于过滤器和基材的起始材料的晶体表面取向起着至关重要的作用。通常,沟道效应不能在晶片上确定地再现,因为上述参数可以在晶片与晶片之间以及在一个注入系统到另一个注入系统之间是不同的。

[0191] 因此应该避免沟道效应。倾斜过滤器和基材可以防止沟道效应。在过滤器中或在基材中的沟道效应,尤其是当过滤器和基材由不同的材料构成时,可以对注入掺杂剂的深度分布具有完全不同的影响。

[0192] 图29示意性地显示了在注入过程期间相对于基材以使得过滤器的基表面与基材的表面形成大于零的角度的方式倾斜的过滤器。例如,该角度大于 $3^\circ$ ,大于 $5^\circ$ ,或大于 $10^\circ$ 且小于 $30^\circ$ 。特别是当能量过滤器由各向异性材料制成时,可以以这种方式防止或减少沟道效应。

[0193] 要点10. 采用简单过滤器几何结构实现复杂的掺杂深度分布

[0194] 如上阐述,通过调整过滤器元件的几何设计,可以实现更复杂的掺杂剂深度分布。为了简便,在以下的阐释中,忽略了所有类型的散射效应。

[0195] 对于其中离子的阻止本领( $dE/dx$ )在过滤器和基材材料中相同的情况,可以出现如图30中作为示例所示的情况。图30显示了不同设计的能量过滤器的各种掺杂分布(掺杂剂浓度作为基材中的深度的函数)的示意图,每个能量过滤器以侧视图和俯视图显示。如图所示,(a)三棱柱形结构产生矩形掺杂分布;(b)较小的三棱柱形结构比(a)中所示的较大三棱柱形结构产生较浅深度分布的掺杂分布;(c)梯形结构产生在分布开始处具有峰值的矩形掺杂分布;(d)金字塔形结构产生随着基材的深度的增加而增加高度的三角形掺杂分布。

[0196] 例如,当例如使用硅作为要掺杂硼的基材材料时,并且当能量过滤器由不同的材料制成时,基材中的掺杂剂深度分布的变化根据过滤器的密度和作为实际动能离子能量的函数的 $dE/dx$ 的变化而获得。只有当相同的材料用于过滤器和基材时,才能实现深度方向掺杂的完全均匀,即恒定的变化。这如图31中所示,其中显示了各种基材材料(靶材料)中的掺杂分布,其通过相同注入方法,即采用相同初级离子和相同初级能量的注入方法获得。在每种情况下,过滤材料都是硅。由于不同的基材材料,掺杂分布不同。

[0197] 图32示出了对于图31中的图表基于的各种基材材料,作为能量的函数的阻止本领的变化[4](SRIM模拟)。

[0198] 现在设想对于给定的表面几何形状,阻止本领的能量依赖性变化通过例如作为多层系统的过滤器的设计进行调整。

[0199] 设想作为离子能量的函数(即,作为给定离子种类和初级能量的过滤器尖头中的垂直位置的函数)的阻止本领变化以使得总体上(即,从离子进入过滤器直到受照射基材中的最终位置),动能的总损失依据过滤器上的进入位置(更准确地,离子通过过滤器和基材的实际路径)获得的方式建模。因此,过滤器中的能量损失不再仅由过滤材料的照射长度决定,而是由阻止本领的位置依赖性变化决定。

[0200] 因此,例如,采取适当的建模和固定几何形状,可以产生在深度方向中上升或下降的掺杂曲线。因此,阻止本领成为横向位置的函数。这种过滤器的实例如图33-35所示。每

一个这些图中的横向位置表示为“y”。

[0201] 图33示出了用于多层过滤器的多层起始材料。在该实例中,起始材料包括四个不同的层,标记为1-4。然而,使用四个层仅是一个实例。少于四层或多于四层都可以使用。单个层不仅在使用的材料方面不同,而且在其厚度方面也不同。两层也可以包含相同的材料并由两层或更多层不同的材料分开。单个层可以通过合适的沉积方法一个在另一个之上依次沉积或生产。

[0202] 采用具有不同阻止本领的材料层叠的合适结构,即使采用简单的过滤器几何形状,也可以实现复杂的掺杂剂深度分布。图34显示了穿过基于图33中产生的起始材料实现并在所示的实例中包括基底和布置于基底之上的三角形结构的过滤器的截面。这些三角形结构可以是条带形式,即,它们可以在垂直于附图的平面的方向上延伸,或它们可以是金字塔形结构的一部分。

[0203] 如图35所示,过滤器也可以以使多个结构在横向方向(y方向)上彼此相邻地布置的方式实现,这些结构包括不同的几何形状和/或不同的层叠,即关于单个层的顺序和/或单个层的材料具有不同的构造的层叠。例如,在所示的过滤器中使用了六种不同的材料,这些层由1-6表示。

[0204] 例如,硅、硅化合物或金属适合作为单个层的材料,尽管选择不限于这些材料。硅化合物包括,例如,碳化硅(SiC),二氧化硅(SiO<sub>2</sub>)和氮化硅(SiN)。合适的金属包括,例如,铜,金,铂,镍和铝。根据一个实例,至少一层硅化合物生长于硅层上,并且金属层由气相沉积于至少一层硅化合物上。金属层也可以直接气相沉积于硅层上。还存在通过气相沉积在彼此之上产生不同金属层而使之获得具有不同层的过滤器的可能性。

[0205] 要点11.电子抑制

[0206] 众所周知,在离子通过固体传输期间,初级束的电子仍保留于固体中或被离子吸收。即根据过滤材料的特性和初级能量,传输的离子在通过过滤器后具有平均更高或更低的电荷状态[26]。电子被遗弃于过滤器中或被接受。

[0207] 图36显示了离子的平衡电荷状态作为离子对薄膜照射时的动能的函数(黑线:托马斯-费米估算,蓝线:蒙特卡罗模拟;红线:实验结果)。离子:硫。膜:碳[27]。

[0208] 由于离子轰击,可以在过滤器的前侧和后侧同时产生具有高动能的次级电子。在高电流密度,如工业生产中期望的那些下,能量过滤器将变热。由于热离子电子发射(Richardson-Dushman定律),热电子作为过滤材料的温度和功函数的函数而产生。这如图37中所示,其示出了通过离子轰击对能量过滤器的加热。所示的曲线是基于其中过滤器采用具有6MeV的高能量的碳(C)离子照射的一个实验。在情况下的过滤器是非透明的能量过滤器[2]。

[0209] 过滤器和基材之间的离子加速器的距离(在高真空中)通常仅为几厘米或更小。因此,借助于例如附接于其的法拉第杯的基材处的离子电流测量由热电子(来自热电子发射)的扩散和通过快速电子(来自离子轰击)的行为而干扰。

[0210] 如前所述,从过滤器的角度,存在产生电子的过程(初级离子的剥离)和发射电子的过程两者。因此,安装的电绝缘的过滤器的电位并未充分定义。相反,其在注入过程期间作为离子电流、真空条件、温度等的函数而变化。净负电荷将促进电子发射,而净正电荷具有抑制电子发射的趋势。下面将诠释可以防止这种带电作用的各种方式。

[0211] (a)限定的(正)电位下的能量过滤器元件

[0212] 设想能量过滤器以使得过滤器在离子轰击期间始终处于限定的电位下的方式设计和安装。图38显示了确保这一点的过滤器配置的截面。利用这种过滤器配置,过滤器框架中的过滤器相对于过滤器固定件而固定于限定的(正)电位下,以抑制二级电子。过滤器框架连接至电压源并且与过滤器固定件和注入机的室壁电绝缘。

[0213] 过滤器固定件的电位可以调节。这可以以这种方式实施,例如使得与由注入过程产生的电荷平衡无关,在注入期间维持相对于待注入的基材的电位或相对于接地电位的恒定电位。为此目的,可以提供借助于电流源的正或负电荷的受控馈电。

[0214] 要维持的电位可以具体地以例如来自过滤器的电子发射完全受到抑制,并由此在相邻于基材或在基材之上的法拉第杯中仅测量到传输的离子电流的(正)电荷的方式选择。这种(正)电位的典型值处于几十伏到几千伏之间的范围内。

[0215] 对于能量过滤器由于其材料组成而是非常高电阻性的情况,设想过滤器在一侧或两个侧面上提供有厚度范围为几纳米到几十纳米的高导电薄层。当设计过滤器时,该层的阻止本领必须引入到阻止本领的总体平衡中。必须注意的是,要确保所施加的层(即使当施加到背离基材的一侧时)原则上不能导致要注入的基材材料的任何破坏性污染。对于SiC基材的加工,这个层可以由例如碳构成。

[0216] (b)能量过滤器涂覆具有高功函数的材料

[0217] 为了减少强热电子发射,设想能量过滤器在一侧或两侧涂覆具有高电子功函数的材料,从而在给定温度下,只引起最小可能的热电子发射。一些元素的功函数如图39所示[25],Materials Science Poland,Vol.24,No. 4,2006。具体地,具有功函数大于3.5eV,大于4eV或大于4.5eV的材料是合适的。

[0218] 该层的阻止本领应该包括于过滤器设计时计算的阻止本领的总平衡中。必须注意的是,要确保所施加的层(在施加于背离基材的一侧时也是如此)原则上不会导致注入基材材料的任何有害污染。

[0219] 要点12.使用注射模制、浇铸或烧结的替代生产方法

[0220] 注入过滤器可以通过微技术的方法,如光刻术结合湿化学或干化学蚀刻生产。具体地,通过碱蚀刻剂(例如,KOH或TMAH)的各向异性湿化学蚀刻用于由硅生产过滤器。在这种类型的过滤器中,功能过滤器层由单晶硅制成。在用高能离子轰击期间,沟道效应因此可以以难以控制的方式影响过滤器层中的有效能量损失。下面将解释如何避免这种影响的实例。

[0221] (a)在一个实例中,对于通过典型微观技术方法的生产,提供需要单晶材料的湿化学各向异性蚀刻被干化学蚀刻代替,这意味着多晶或无定形起始材料用于过滤器膜。由于其材料结构,获得的过滤器关于沟道效应显示出改进的性能。

[0222] (b)在另一个实例中,提供过滤器不是通过微观技术方法的典型顺序产生,而是通过压印、注射模制、浇铸或烧结而产生。核心思想是使得模具或模具插件决定能量过滤膜的最终形状的方式实施上述过程。现在对于所讨论的方法,以熟悉的方式处理所选择的过滤器材料。也就是说,通过预定的浇铸模、模具插件、模具等,以柔软状态(用于压印),液态(用于注射模制和浇铸)或颗粒状态(烧结)给出期望的几何形状。

[0223] 使用上述方法的一个优点是通常不会获得单晶过滤器膜,而因此抑制了沟道效

应。另一个优点是可用的过滤器膜材料的范围非常大。例如,使用烧结SiC的过滤器膜用于在SiC基材中产生均匀的掺杂分布是特别有利的。

[0224] 另一个优点是,通过使用上述模制方法,与通过微观技术的生产成本相比,可以显著降低大量生产过滤器元件的成本。

[0225] 要点13. 静态基材的照射

[0226] 静态基材的均匀的能量过滤辐射可以通过过滤器之前的离子束的“摆动”(=受控偏转),将过滤器布置于摆动单元(=离子束偏转系统)和静态基材之间;和选择正确的偏转角以及过滤器与基材之间的距离d(通常为几厘米到几米)而实现,如图40中示例所示。图40示出了通过能量过滤器注入基材的配置。这种配置包括布置于过滤器之前的离子束偏转装置。为了注入的目的,通过这种偏转装置可以实现的离子束偏转与过滤器和基材之间的距离(通常处于几厘米到几米的范围内)以使得基材可以被完全照射,即可以照射其整个表面的方式协调。

[0227] 要点14. 利用大过滤器表面积的配置

[0228] (a) 其中整个过滤器表面是有效的配置

[0229] 图41显示了用于能量过滤器注入(即,通过能量过滤器的注入)的配置,其中离子束通过适当的措施放大,并且照射的过滤器表面积大于基材表面积,因此可以完全照射基材,并可以利用大的过滤器表面。照射的过滤器区域的直径大于基材的直径。基材可以是静止的或可移动的。由于这种配置,可以使用大的过滤器表面(=降低过滤器中的降解效应和热效应),并且确保可以照射到基材的整个表面。在所需的过滤器结构较“大”的情况下,使用这种类型的配置是特别有利的。对于采用质子的高阻挡Si-IGBT或Si功率二极管的掺杂,需要 $>100\mu\text{m}$ 的穿透深度。因此,对于这种应用,必须提供具有 $>100\mu\text{m}$ 的“尖头高度”的过滤器结构。即使对于大的基材(例如,6"或8"),这种过滤器结构也可以非常容易地以足够的机械稳定性生产。

[0230] 在本文中描述的配置中,应该在基材和过滤器之间维持一定的最小距离,其确保了由于散射效应而存在注入的离子的充分横向均匀化。

[0231] (b) 其中过滤器表面部分无效的配置

[0232] 首先使用与章节14(a)中描述的相同配置:用于能量过滤器注入的配置,其中离子束区域通过合适的措施扩大并且照射的过滤器表面大于基材表面。然而,整个过滤器表面在此处并不都是有效的。相反,只有某部分过滤器表面是有效的。这意味着过滤器由多个过滤元件的配置,例如,以条带形式组成。这些过滤器元件可以由基材以整体形式,例如,通过合适的生产方法制成。过滤器表面的其他(无效)部分用于稳定过滤膜。该部分导致离子束投射阴影。因此,在这种配置中,必须移动基材或过滤器以补偿阴影效应。由于这种配置,可以利用大的过滤器表面(=降低过滤器中的降解效应和热效应),并且确保了可以照射基材的整个表面。图42示出了具有无效部件并在一个方向上具有机械扫描的过滤器。

[0233] 要点15. 借助牺牲层修改基材中的掺杂分布

[0234] 另外,适当选择厚度和阻挡能力的牺牲层可以应用于基材,从而注入分布以期望的方式在基材中沿深度方向迁移。这种类型的牺牲层可以用于掩蔽的离子注入(比较图43),并也可以用于未掩蔽的离子注入。具体地,这种方法使得可以将掺杂分布的不期望开始部分“推”离基材并进入牺牲层,即将分布的开始部分注入牺牲层中。

[0235] 图43示出了在掩蔽的能量过滤的注入的情况下通过牺牲层获得的基 材中的掺杂分布的修改。在此处所示的实例中,注入分布的开始部分被推 入牺牲层中。与图43相反,这种原理可以类似地用于未掩蔽的能量过滤离子注入,即用于不存在掩蔽层的注入。

[0236] 要点16.通过牺牲层对基材中的掺杂分布的横向修改

[0237] 通过向基材施加阻止本领和在其晶片表面上的厚度的变化经过适当 选择的牺牲层,注入分布可以根据期望在深度方向上作为晶片上横向位置 的函数而迁移至基材中。这种类型的牺牲层可以用于掩蔽的离子注入,也 可以用于未掩蔽的离子注入(比较图44)。具体地,均匀掺杂分布的注入 深度的变化可以有利地用于半导体组件中的边缘终止。

[0238] 图44显示了在未掩蔽的能量过滤的离子注入的情况下通过牺牲层在 基材中的掺杂分布的横向修改。此处通过在横向方向上改变牺牲层的厚度 而实现注入深度的横向修改。原理可以类似地用于掩蔽的能量过滤的注入。

[0239] 要点17.几种注入分布之间的分布过渡的适用

[0240] 可以巧妙地重叠两个或更多个掺杂分布,使得尤其是在重叠的区域内 获得期望的整体掺杂分布。这种技术对于多层的生长和掺杂尤其有利。一 个代表性的实例由几个 SiC-epi层的生长及它们的能量过滤掺杂组成。必 须确保层之间的美好接触。

[0241] 要点18.具有耦合的振荡运动的多过滤器概念的特殊配置

[0242] 可以使用巧妙的配置而使得尽管过滤器和基材的耦合振荡运动,即过 滤器和基 材之间没有相对垂直移动,则仍然可以实现离子分布的横向均匀 性。图45中显示了这种类型 的配置。晶片通过晶片轮在基材后面沿x方向的旋转而引导。离子束(未显示)例如沿x方 向扩展,并通过注入室的 垂直振荡运动扫描整个多过滤器表面。过滤器表面由有效的过滤器区域和 无效的固定件区域组成。配置(A)是不利的配置。当对于y1和y2考虑 照射的过滤器表面时,在y1处照射三个过滤器,而在y2处完全未照射过滤器。因此,在晶片上获得了横 向不均匀的条纹图案。配置(B)显示了 更好配置的可能实例。对于y1和y2均照射两个过滤器。这对所有y都是 如此。因此,实现了晶片表面上的横向均匀掺杂。

[0243] 如图45所示,过滤器和基材在y方向上的垂直运动是耦合的。通过 晶片轮的旋转, 晶片在x方向上沿着过滤器后面被引导。离子束(未显示)例如沿x方向扩展,并通过注入室 的垂直振荡运动扫描整个多过滤器表面。过滤器表面由有效的过滤器区域和无效的固定 件区域组成。配置(A)是 相当不利的配置。当对于y1和y2考虑照射的过滤器表面时,在y1处 照射了三个过滤器,而在y2处完全未照射过滤器。因此,在晶片上获得横 向不均匀的条纹 图案。配置(B)显示出更好配置的可能实例。对于y1和 y2均照射到两个过滤器。这对所有y 都是如此。因此,实现了晶片表面上 的横向均匀掺杂。

[0244] 要点19.监测

[0245] 另一方面旨在解决监测由能量过滤器修改的离子注入的重要参数的 问题。这些 参数为,例如,最小或最大“投影范围”,由过滤器几何形状确定的深度浓度分布,和(能量依 赖性的)角度分布。其他参数如注入的离 子种类等的监测也可以是有用的。特别是在其中 离子注入的晶片上或(同 时)在晶片附近的(若干)结构上的监测应当是可能的。根据一个 方面,监测应该在不需要对监测结构或晶片的任何进一步处理而进行。

[0246] 可以通过测量光学参数,如光谱吸收,光谱发射,光谱反射,折射率 变化,全局吸 收(波长范围取决于测量装置)和全局发射以及反射(波长 范围取决于测量装置)进行监

测。

[0247] 根据一个方面,提供了为了监测上述注入参数,使用的掩模和基材材料的配置(1)布置在待注入的表面的合适位置处,例如晶片轮上,并且(2)由于例如以“直接注入(as-implanted)”的方式的离子注入,即不需要进一步的后处理,以例如使得变化与给定离子种类的注入离子剂量成正比的方式改变其光学特性。在(2)中引述的这些材料有,例如,PMMA (Plexiglas), PMMA, SiC, LiNbO<sub>3</sub>, KTiOPO<sub>4</sub>等。

[0248] 在对离子辐射光学敏感的材料同时是靶基材的材料的情况下,靶基材(例如, SiC 晶片)可以直接用于光学监测。

[0249] 除了光学性质的变化之外,已知如PMMA的材料在被离子照射后会改变其在某些酸和溶剂中的溶解度。因此,在离子照射之后改变的结构深度(或蚀刻速率或所获得的蚀刻几何形状等)可以当作注入的离子剂量的量度。

[0250] 监测通过离子照射的物理参数的其他变化是可设想的。这种变化可以包括,例如,监测材料的机械特性,监测材料的电特性,或甚至通过高能离子照射对监测材料的核物理的活化。

[0251] 根据一个方面,检测应该基于光学性质的变化进行。下面描述这种类型的实施方式。对于经常发生的在待注入的靶基材上不进行监测的情况,设想单独的监测结构的实施方式。监视结构由具有一个或多个掩模结构的合适的基材材料的配置构成。实例如图47和48中所示。

[0252] 如图46所示,一个或多个监测结构(监测芯片)布置于合适的位置,如晶片轮上。例如,在注入之后完成监测芯片的读出而无需进一步后处理。在某些情况下,必须从监测基材上移除掩模以读出测量值。根据一个方面,掩模是可重复使用的。

[0253] 监测芯片的掩模材料和基材材料也可以由不同的材料构成。选择掩模材料的标准是,例如,其与靶基材的材料的相容性(以排除由溅射效应引起的污染)。另一个标准是高能离子的阻止能力,而使之可以产生具有高长宽比的掩模结构。

[0254] 监测芯片的掩模材料和基材材料也可以由相同材料制成。掩模和基材也可以整体生产。在这种情况下,通常是不能重复使用掩模或基材。

[0255] 离子注入后掩蔽结构的性能和评价:

[0256] 1. 能量过滤器修改的离子注入的性能;

[0257] 2. 掩模去除——可能但不是绝对必要的,因为读出测量也可以通过由基材的后表面的反射进行;

[0258] 3. 光学测量:

[0259] a. 吸收光谱, 波长分辨

[0260] b. 透射光谱, 波长分辨

[0261] c. 反射率, 波长分辨

[0262] d. 简单全局吸收, 即非波长分辨

[0263] e. 简单全局发射, 即非波长分辨

[0264] f. 折射率变化的测量

[0265] g. 偏振的变化

[0266] 4. 与校准曲线或对照标准比较, 由此确定注入过程是否按预期进行。

[0267] 通过使用解释的监测结构,可以测试以下注入参数:

[0268] A. 深度依赖性剂量

[0269] 因此,这是对过滤器的降解的测试和确定注入剂剂量是否正确设置于 机器侧的测试。

[0270] B. 最大/最小投影范围

[0271] 因此,这是对正确注入能量的测试,对过滤器的降解和所产生的过滤器结构的正确性的测试。

[0272] C. 注入离子的角度分布

[0273] 因此,这是对过滤器的降解的测试,对过滤器的正确形成的测试,以及对注入室中的正确几何配置的测试。

[0274] A. 监测注入离子的深度分布

[0275] 要点A. 深度依赖性剂量

[0276] 图49-52示例性地显示了由能量过滤器设定的注入离子剂量的深度分布的监测。在此实例中,适用以下简化假设:

[0277] -光学性质的变化仅由局部注入离子剂量和由此引起的固有缺陷产生。

[0278] -离子,例如仅穿过具有离子浓度 $C_1$ 的深度区域III(图51)(从而它们到达浓度区域 $C_2$ )的离子,不会导致光学性质的进一步变化。

[0279] -可以设想的是,例如,由于电子阻止作用,可能在PMMA中精确地观察到光学性质的这种变化。

[0280] -这在原理上对于评价的可能性不是问题,但在图51和52的实例中,为了简单起见将其排除。

[0281] 图50中显示或描述的掩膜结构相对于厚度和数量是交错的,这取决于期望的深度分辨率,即配置为“倾斜平面”或连续斜坡。因此,对于最大厚度,举例而言,适用以下条件:“掩膜的厚度” $>R_{p,max}$ 。

[0282] 取决于读出装置的要求,单个结构的横向尺寸可以处于平方微米到平方毫米到平方厘米的范围内。

[0283] 要点B. 监测最大投影范围

[0284] 图53显示了适用于监测最大投影范围的结构。

[0285] 使用如A中描述的评价步骤的类似结构也可以用于测量或监测最小投影范围。

[0286] 要点C. 监测注入离子的角分布

[0287] 众所周知,用于离子注入的能量过滤器在离子通过过滤器后会产生能量依赖性的离子角度谱。

[0288] 原理上,对于垂直于过滤器表面到达的单能离子,过滤器之后的获得的低能离子确实比高能离子更强烈地散射。

[0289] 因此,所产生的角度分布是过滤器几何形状、过滤器使用寿命期间的几何形状变化、沟道效应的发生率、使用的离子种类、初级能量,传输的离子的得到的最大和最小能量和注入室中的几何配置的函数。可以通过监测角度分布而保持跟踪所有这些参数。

[0290] 为了对单个参数进行监测,提出了可以布置于监测芯片中的不同掩蔽结构,如图55-58中示出和描述的。

[0291] 必须记住,为了评价角度分布,通常只有掩模结构的长宽比是重要的。

[0292] 因此仅略厚于掩模材料中的最大投影范围的薄掩模的掩模结构中的 开口的尺寸可以处于微米或亚微米范围内。

[0293] 这种监测结构优选配置为由许多单个结构组成的阵列,从而可以进行 整体光学评价(即,在几 $\text{mm}^2$ 或 $\text{cm}^2$ 的表面上)。

[0294] 相反,对于相同的长宽比和例如毫米范围内的掩模厚度,开口尺寸可 以处于毫米或厘米范围内。在这些情况下,也可以在没有特别技术努力的 情况下评价未以阵列配置的单个结构。

[0295] 提出的掩模结构:

[0296] 1. 固定的掩模厚度,各种几何形状的掩模开口→长宽比的变化;

[0297] 2. 可变的掩模厚度,掩模开口的固定几何形状→长宽比的变化;

[0298] 3. 1和2的组合;

[0299] 4. 通过各自自由彼此不同的1,2或3个角度组成的几个阵列(或单个 结构)的配置,可以监测角度分布的方向依赖性。

[0300] 圆形配置也是可以设想的。

[0301] 如图58所示,除了同心圆环之外,各种尺寸的单个圆和圆环对于监 测由能量过滤器传输的离子的角度分布也是特别有利的。

[0302] 上述的方面的核心在于,材料的(优选)光学参数的(基本上)剂量 依赖性修改将用于能量过滤器注入过程的“就此注入的”监测。因此,通过 光学测量(例如),可以相对于其最重要的参数尽可能完全地监测所获得 的所产生的注入,而无需进行任何复杂的后处理(例如,退火和施加金属 触点)。

[0303] 因此可以廉价而快速地检测有缺陷的注入,并可以检出受影响的晶 片。

[0304] 图59示出了两种注入分布A和B之间的分布过渡的巧妙调整,从而 使所获得的总体浓度分布可以,例如,产生期望的均匀分布。这对于该图 中所示的两个层的层系统可以(但不一定必须)是特别有利的。设想通过以下过程顺序实现:

[0305] (1) 掺杂下层(注入物B);

[0306] (2) 生长上层;

[0307] (3) 掺杂上层。对于配置注入物A的高能尾部仅存在有限的可能性, 但注入物B的低能量尾部具体可以通过引入“要点15.通过牺牲层修改基 材中的掺杂分布”中描述的牺牲层而影响。

[0308] 设想通过以下过程的顺序实现:

[0309] (1) 生长牺牲层;

[0310] (2) 掺杂下层(注入物B);

[0311] (3) 去除牺牲层;

[0312] (4) 生长上层;

[0313] (5) 掺杂上层。

[0314] 上面诠释的概念使得可以开发出用于半导体工业的具有生产价值的 注入方法,即注入方法在工业生产过程中的经济应用。除了要通过简单的 三角形过滤器结构实现的均匀掺杂之外,本文中诠释的概念使得尤其有可 能采用低的注入离子的角分布以高度灵

活的方式(多过滤器概念)实现复杂的垂直掺杂浓度曲线。具体地,所有类型的掺杂浓度曲线可以通过结合准直器结构使用三角形过滤器结构来近似。另一个重要方面涉及干扰基材上的离子电流测量的伪像的抑制。

[0315] 总之,应该再次指出的是,在上述要点1-19下描述的措施可以自身单独应用或以任何期望的相互组合方式应用。例如,所解释的“寿命终止”检测可以应用于安装在框架中的过滤器,但其也可以应用于以某些其他方式安装的过滤器。

[0316] 此外,上述晶片可以是半导体晶片,但它也可以由一些其它待注入的材料,如PMMA构成。

[0317] 参考文献

[0318] [0]Energy filter for ion implantation systems.M.Rüb,Research Report of the University of Applied Sciences(Ernst-Abbe-Hochschule)Jena, 2013/2014.

[0319] [2]Constantin Csato,Florian Krippendorf,Shavkat Akhmadaliev,Johannes von Borany,Weiqi Han,Thomas Siefke,Andre Zowalla,Michael Rüb: Energy filter for tailoring depth profiles in semiconductor doping applications.Nucl.Instr.Meth.,B,2015,

[0320] [http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2015.07.102.](http://dx.doi.org/10.1016/j.nimb.2015.07.102)

[0321] [4]Investigation of dopant profiles,losses and heating using an energy filter for ion implantation.Krippendorf,Csato,Rüb,DPG Spring Conference, Dresden,March 2014.

[0322] [5]Energy filter for ion implantation.F.Krippendorf,C.Csato,T.Bischof,S.Bupta,W.Han,M.Nobst,University of Applied Sciences Jena; C.Ronning, Friedrich Schiller University Jena;R.Rupp,Infineon Technologies AG, Neubiberg;A.Schewior,University of Applied Sciences Jena;W.Wesch, Friedrich Schiller University Jena;W.Morgenroth,Institute for Photonic Technologies e.V.,Jena;M.Rüb,University of Applied Sciences Jena.Microsystem Technology Congress,Aachen,October 2014,“Energy filter for ion implantation systems.Idea-preliminary experiments-Application,C.

[0323] [6]C.Csato,T.,Bischof,S.,Gupta,W.Han,F.Krippendorf,W.Morgenroth,M.Nobst,C.Ronning,R.Rupp,A.Schewior,W.Wesch,M.Rüb,June 12, 2013,Workshop“Ion Beams-Research and Application”,2013,Leibnitz Institute for Surface Modification,Leipzig;M.Rüb,B.Sc.,T.Bischof,M.Sc., C.Csato,B.Sc.,S.Gupta,B.Sc.,W.Han,M.Sc.,F.Krippendorf,B.Sc.,A.Schewior,B.Sc.,C. **Möse**,Energy filter for ion implantation systems,research report of University of Applied Sciences Jena,2011/2012.

[0324] [7]EP 8 030 037A1.

[0325] [8]Rüb:Energy filter for high-energy ion implantation,IP.com Disclosure No.:IPCOM000018006D,original publication date:December 1,2001. Included in the prior art database:July 23,2003and Siemens AG,2001,Siemens Technical Report,December 2001,9pages.

- [0326] [9]DE 10 2011 075 350 A1.
- [0327] [10]J.Meijer,B.Burchard,High-energy ion projection for deep ion implantation as a low-cost,high-throughput alternative for subsequent epitaxy processes.J.Vac.Sci.Technol.,B22(1).
- [0328] [11]U.Weber,G.Kraft:Design and construction of a ripple filter for smoothed depth dose distribution in conformal particle therapy.Phys.Med.Biol.,44(1999),2765-2775.
- [0329] [12]Y.Takada et al.:A miniature ripple filter for filtering a ripple found in distal part of a proton SOBP,Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 524(2004)366-373.
- [0330] [16]DE 19 652 463 C2.
- [0331] [18]US 7,385,209 B2.
- [0332] [19]US 2002-0050573 A1.
- [0333] [19-1]Energy filter for ion implantation systems.M.Rüb,research report of the University of Applied Sciences Jena,2013/2014.
- [0334] [19-2]DE 102 39 312 B4
- [0335] [25]Materials Science-Poland,Vol.24,No.4,2006.
- [0336] [26]M.Nastasi et al.:Ion-Solid Interactions.Fundamentals and Applications.Cambridge University Press,1996.
- [0337] [27]O.Osman:Irradiation effects of swift heavy ions in matter.Dissertation,Essen,2011.

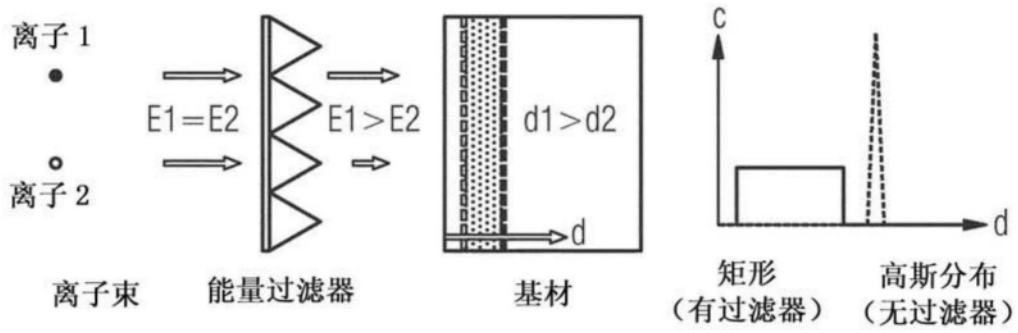


图1

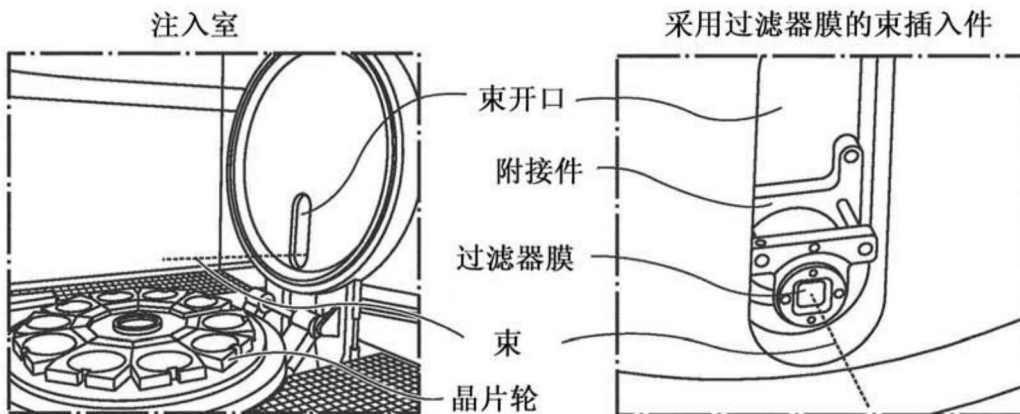


图2

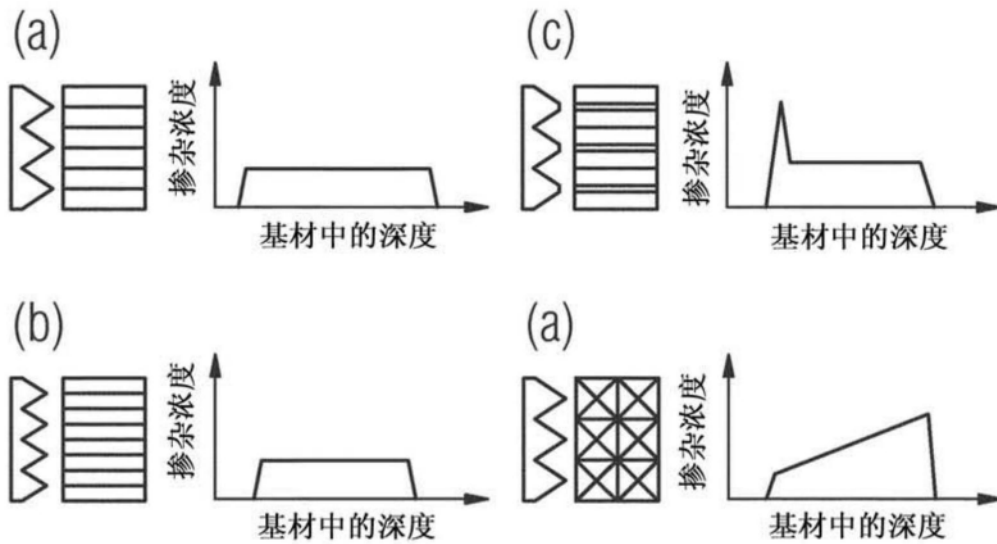
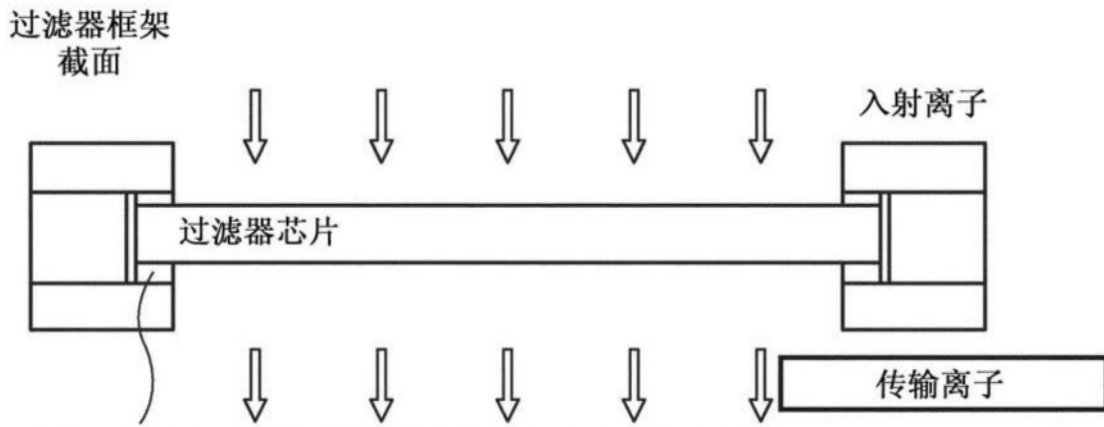


图3



例如，具有良好热导率的防真空温度稳定性粘合剂，  
或用于安装过滤器芯片的一些其他合适的装置。  
或：机械弹簧。

图4

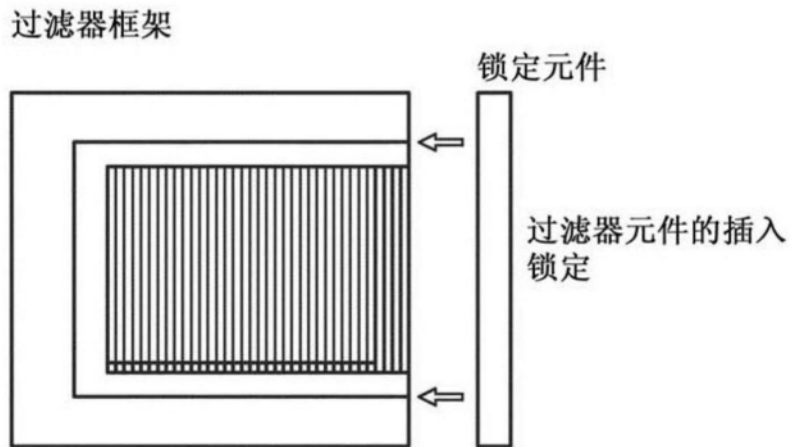


图5

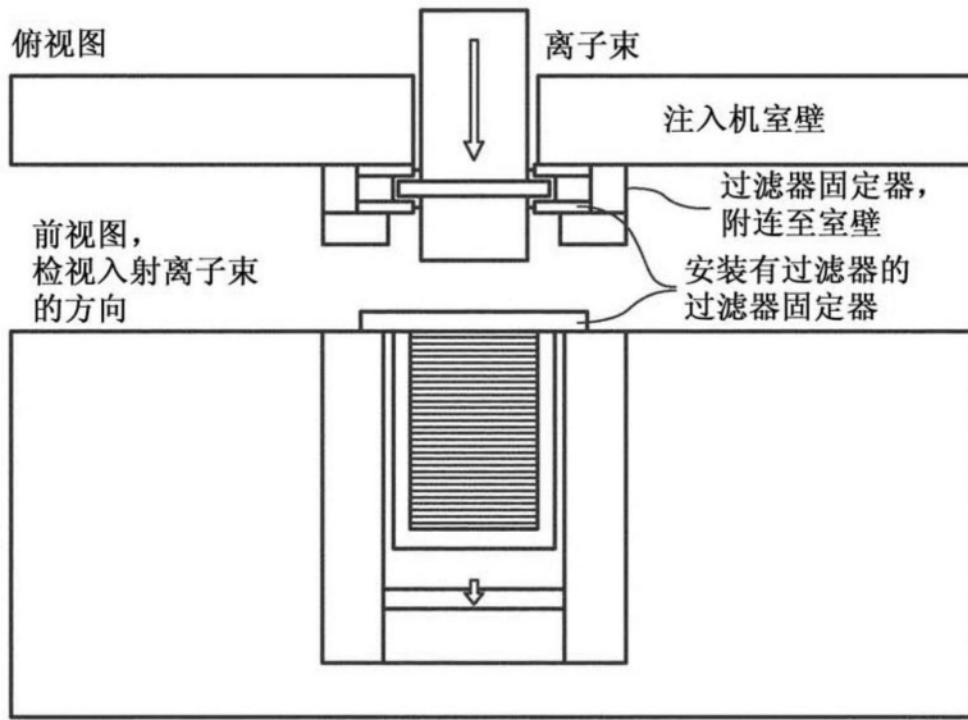


图6

过滤器框架

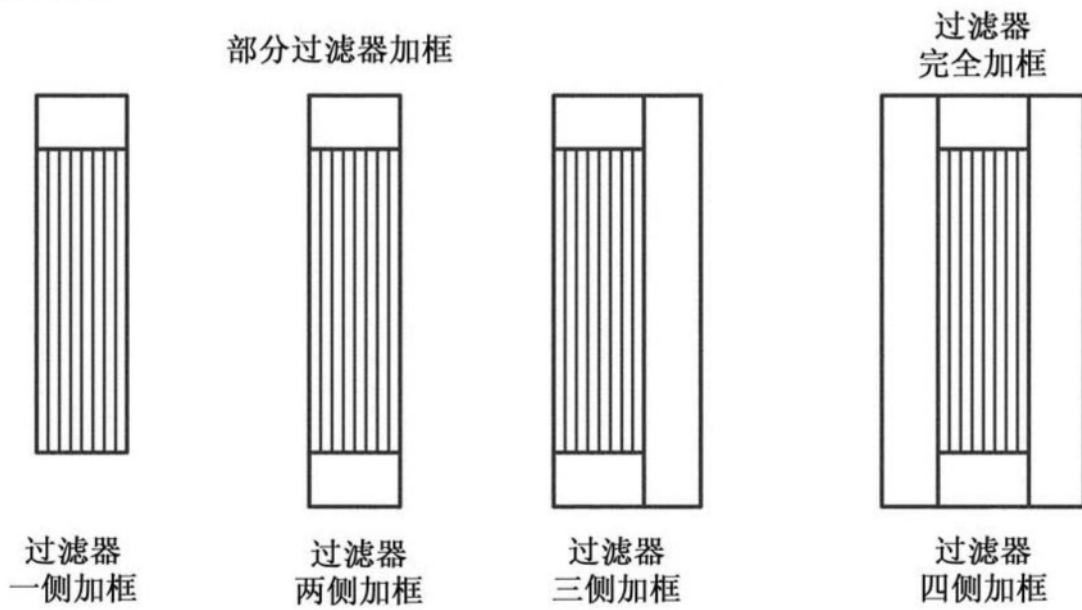


图7

以杆附连过滤器

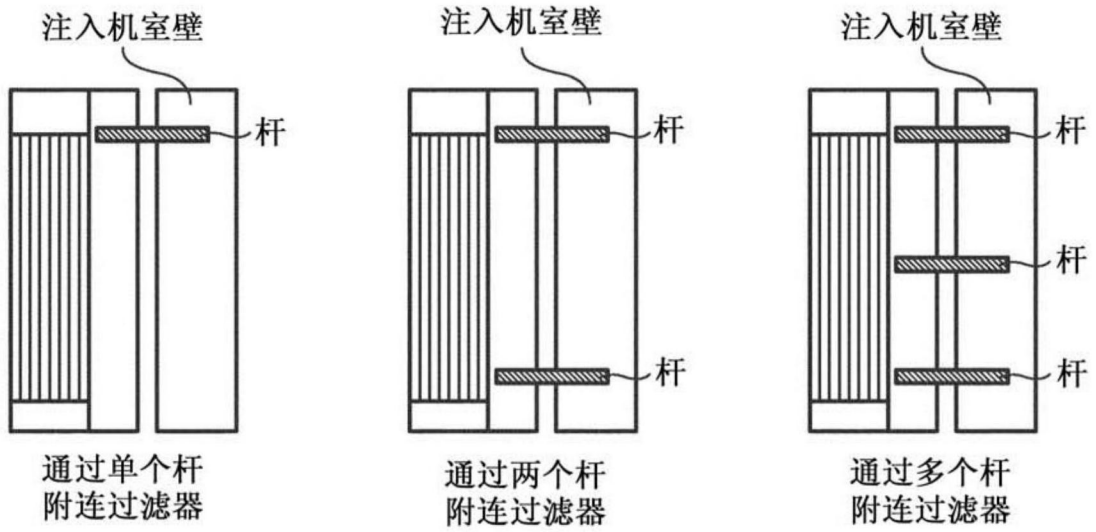


图8

通过悬挂元件附连过滤器

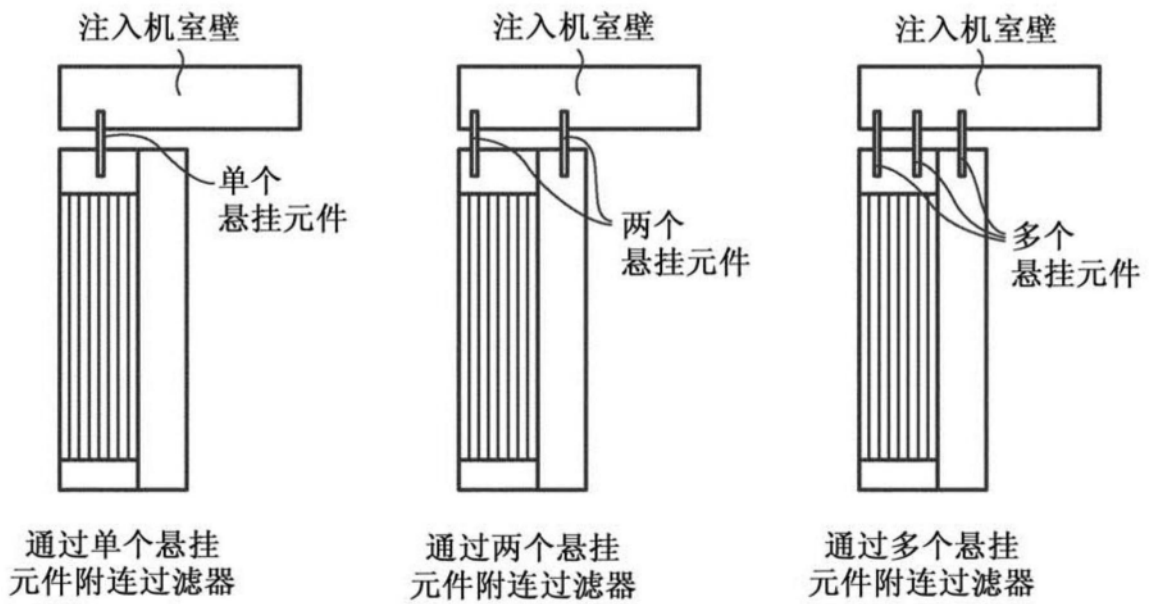


图9

通过磁体附连过滤器

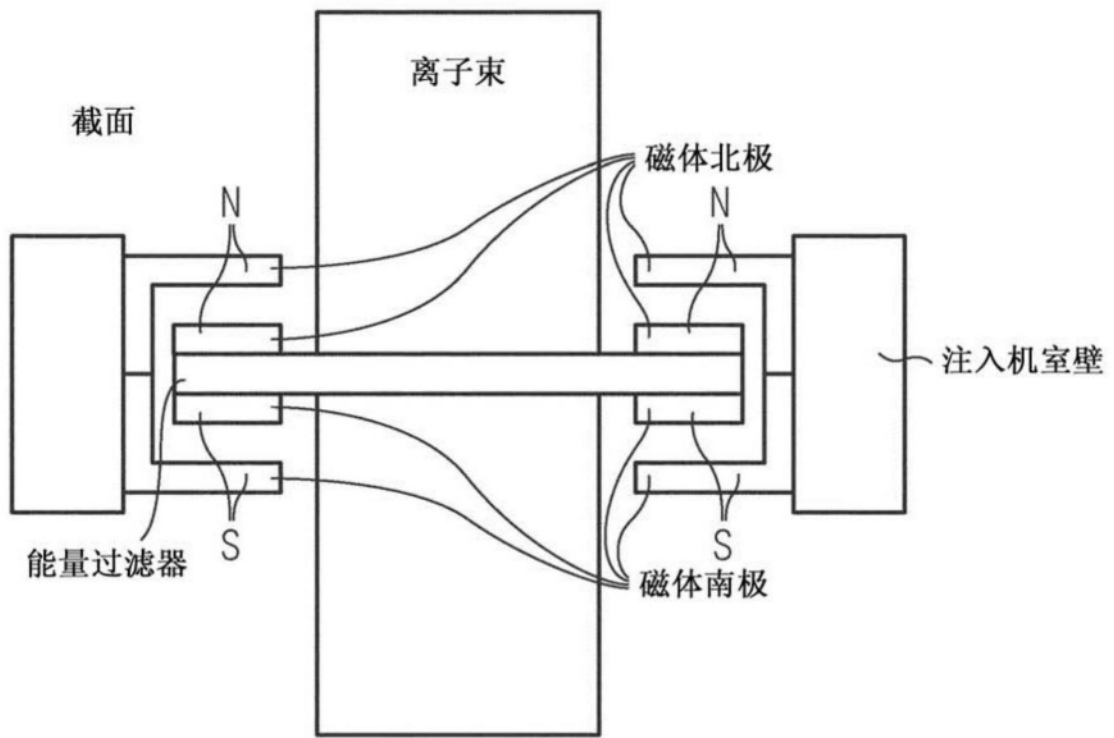


图10

多过滤器概念

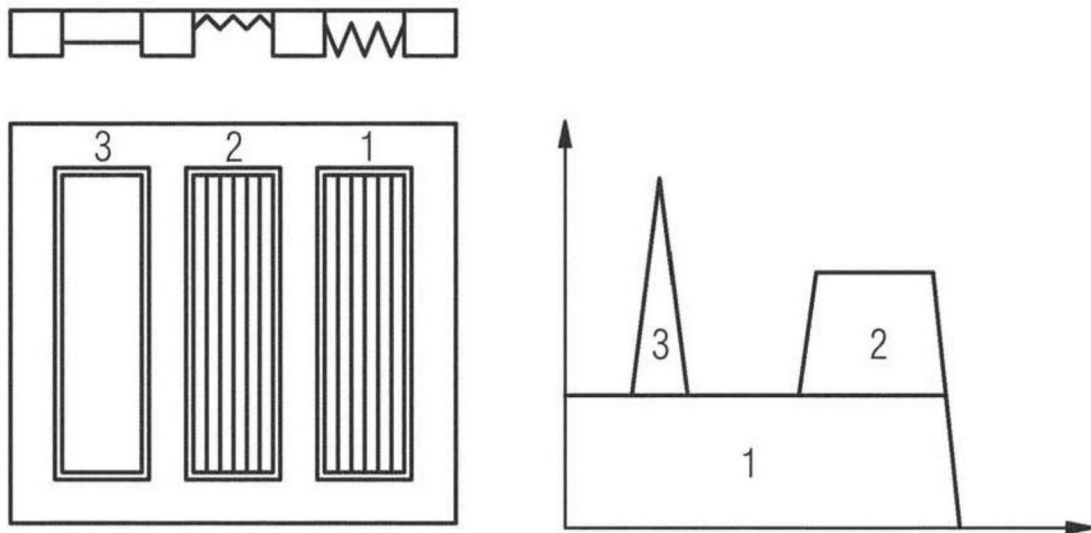


图11

多过滤器概念，分布实例

例外：具有相同阻止本领，即相同材料的过滤器和基材

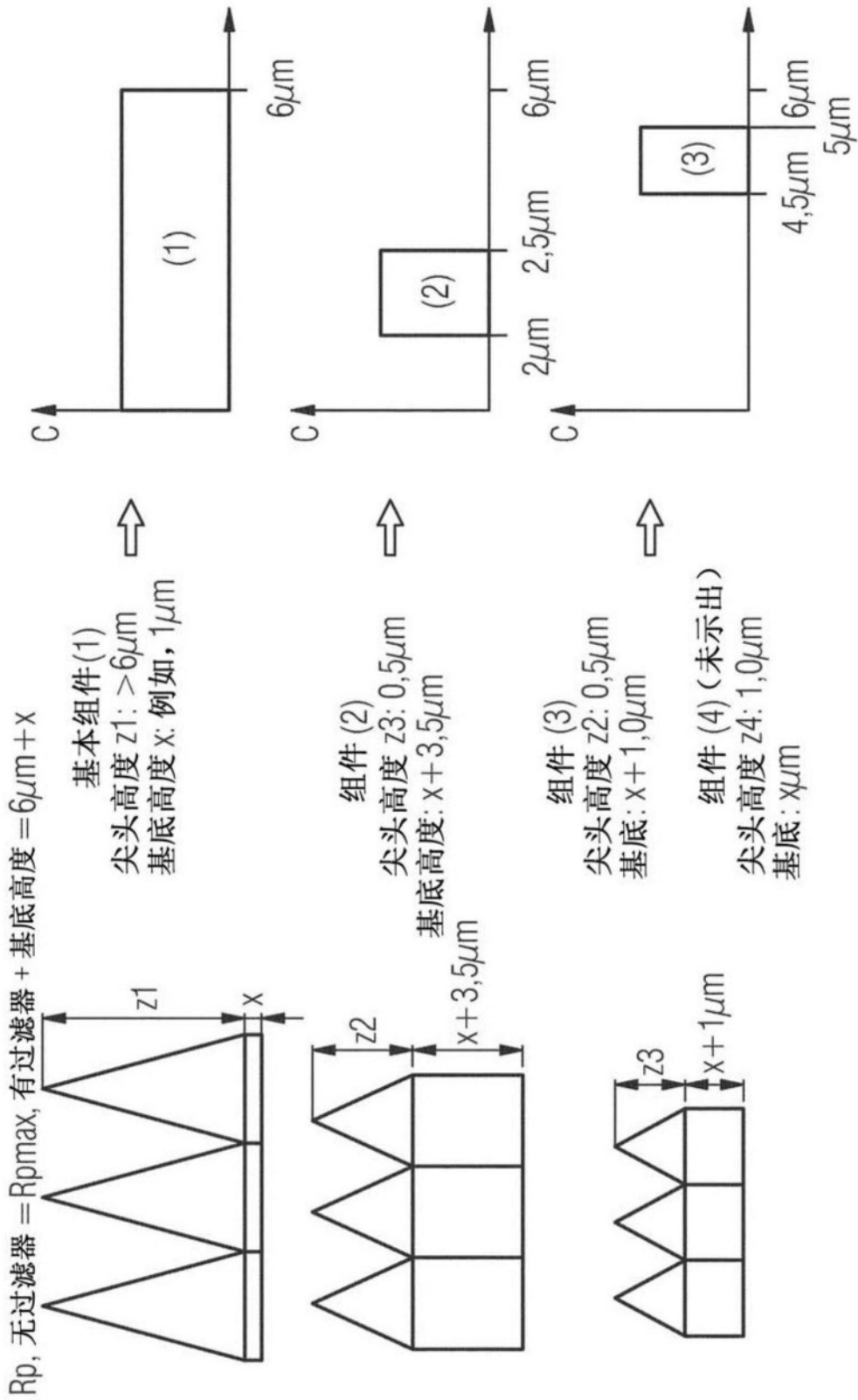


图12

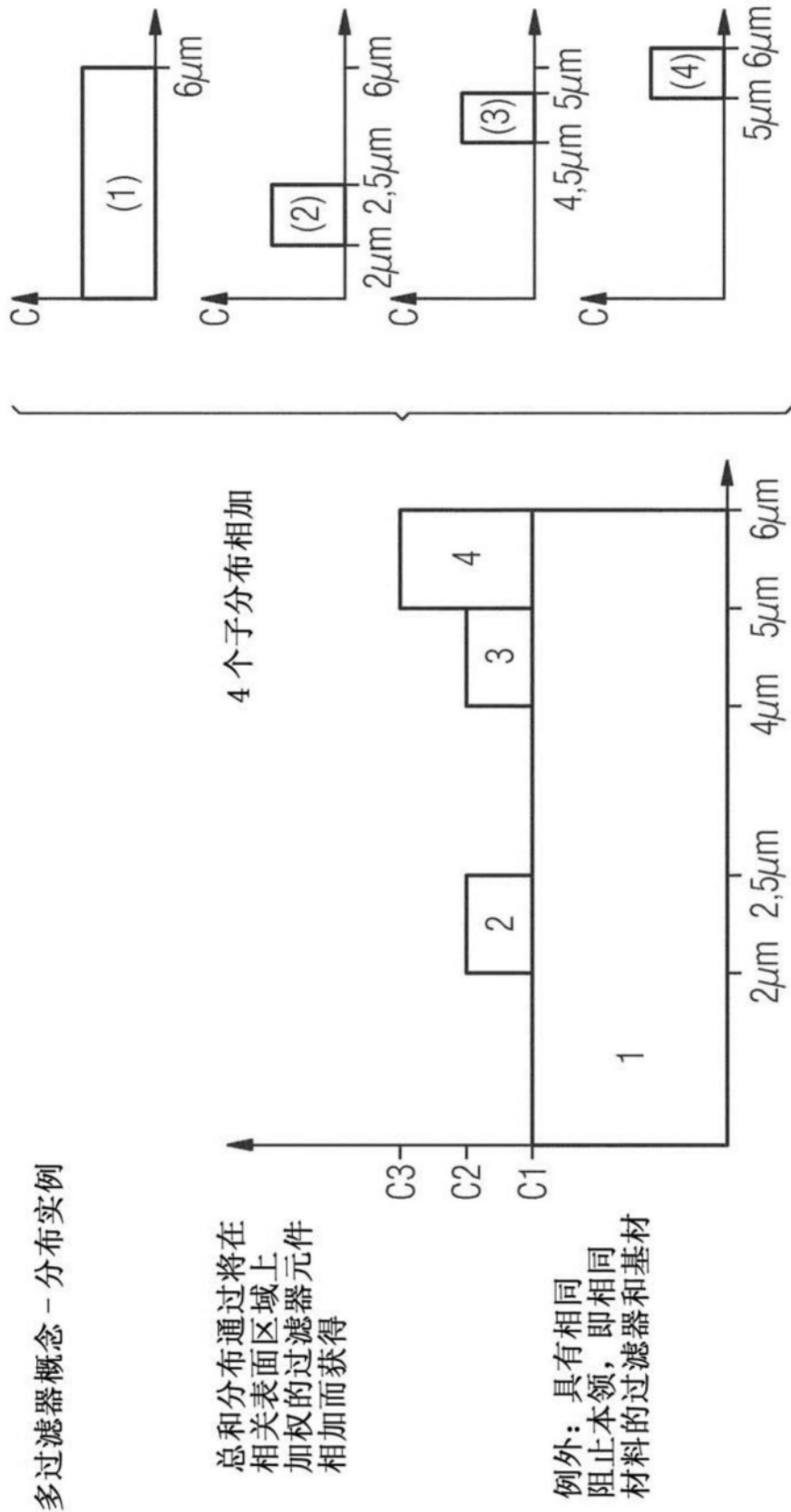


图13

多过滤器概念 - 斜面的过滤器元件

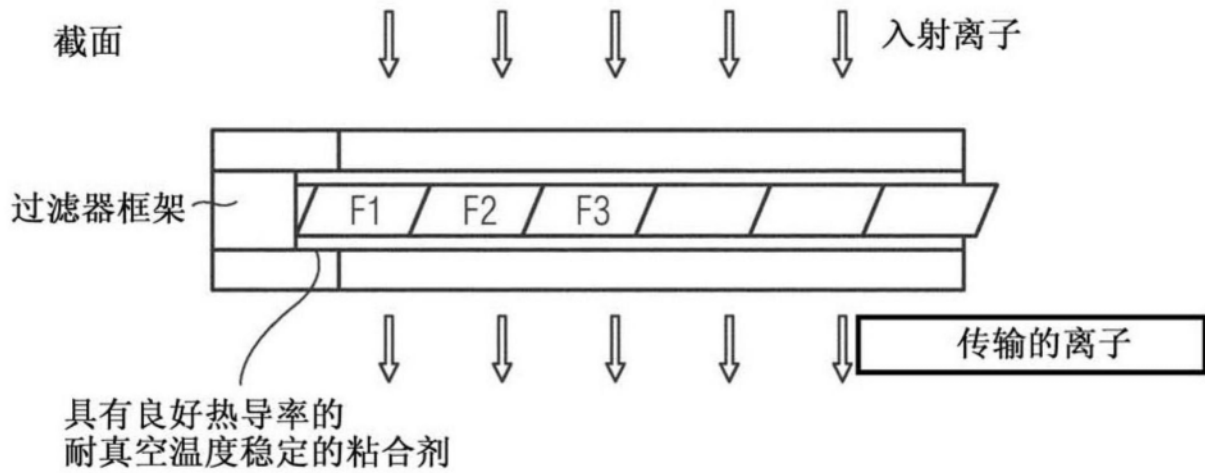


图14

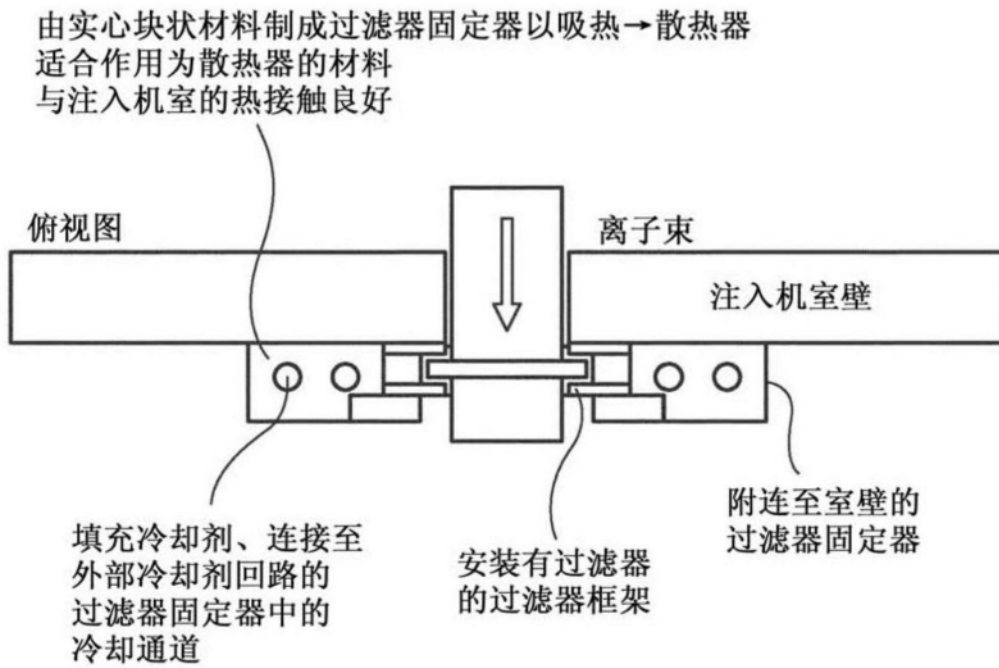


图15

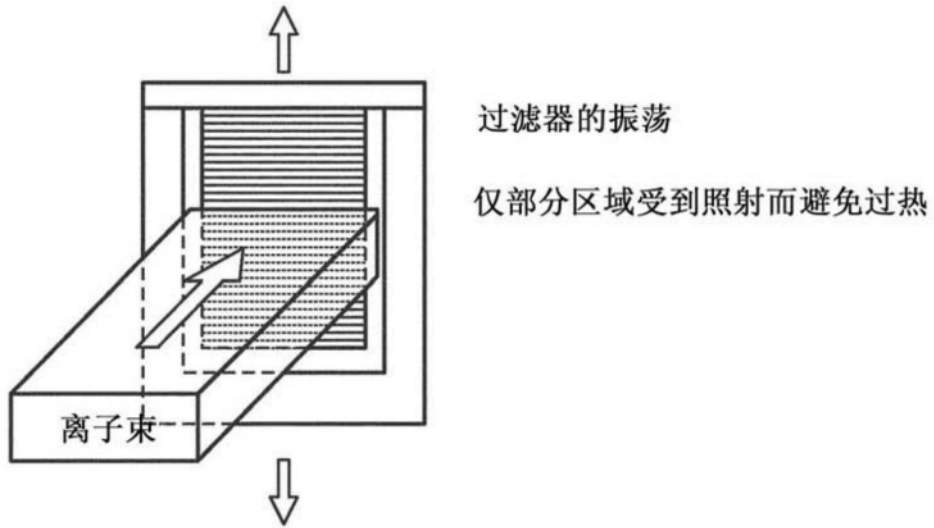


图16

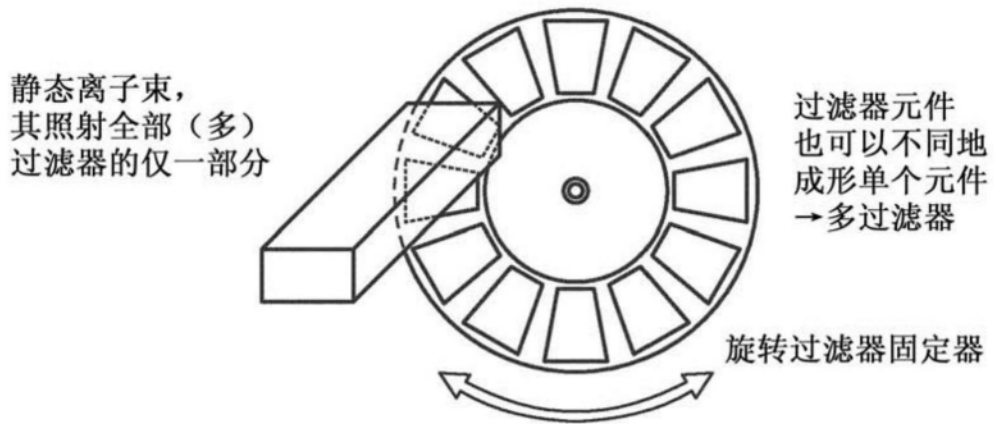


图17

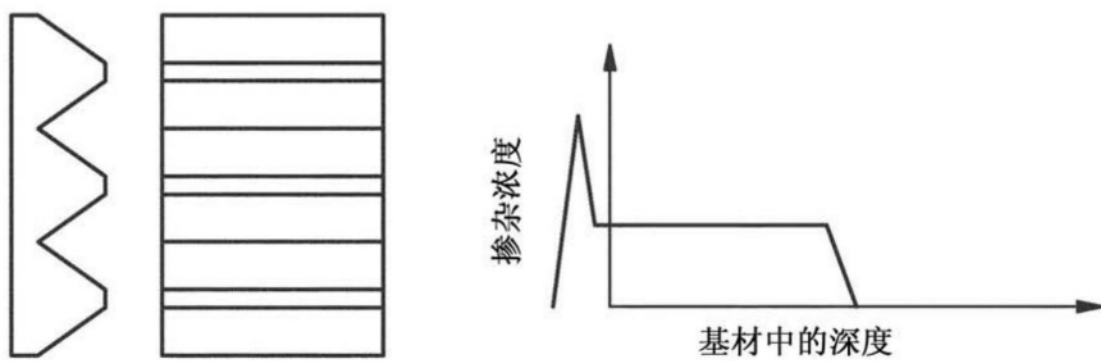


图18

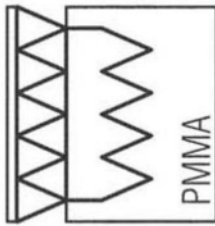
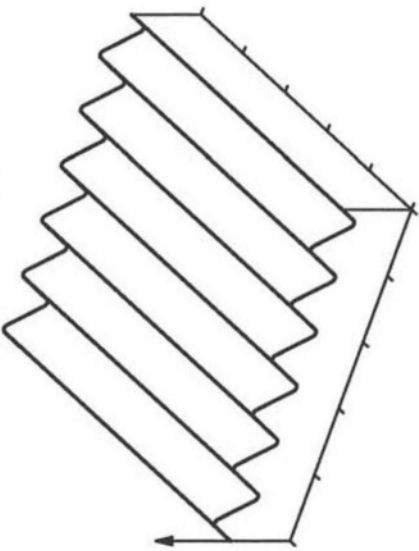
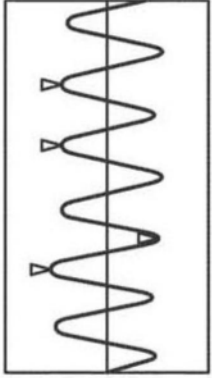
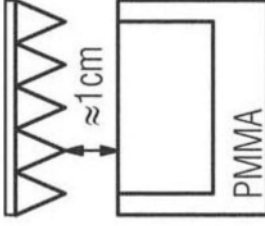
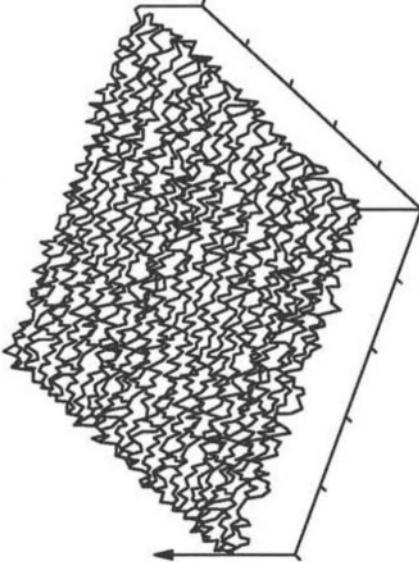
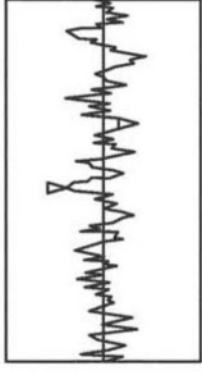
模型	3 维图	截面分析图
 <p>PMMA</p>		 <p>高度 (最大) <math>\approx 3300\text{nm}</math> 周期间隔 <math>\approx 8.6\mu\text{m}</math></p>
 <p><math>\approx 1\text{cm}</math> PMMA</p>		 <p>RMS <math>\approx 18\text{nm}</math> 高度 (最大) <math>\approx 72\text{nm}</math></p>

图19

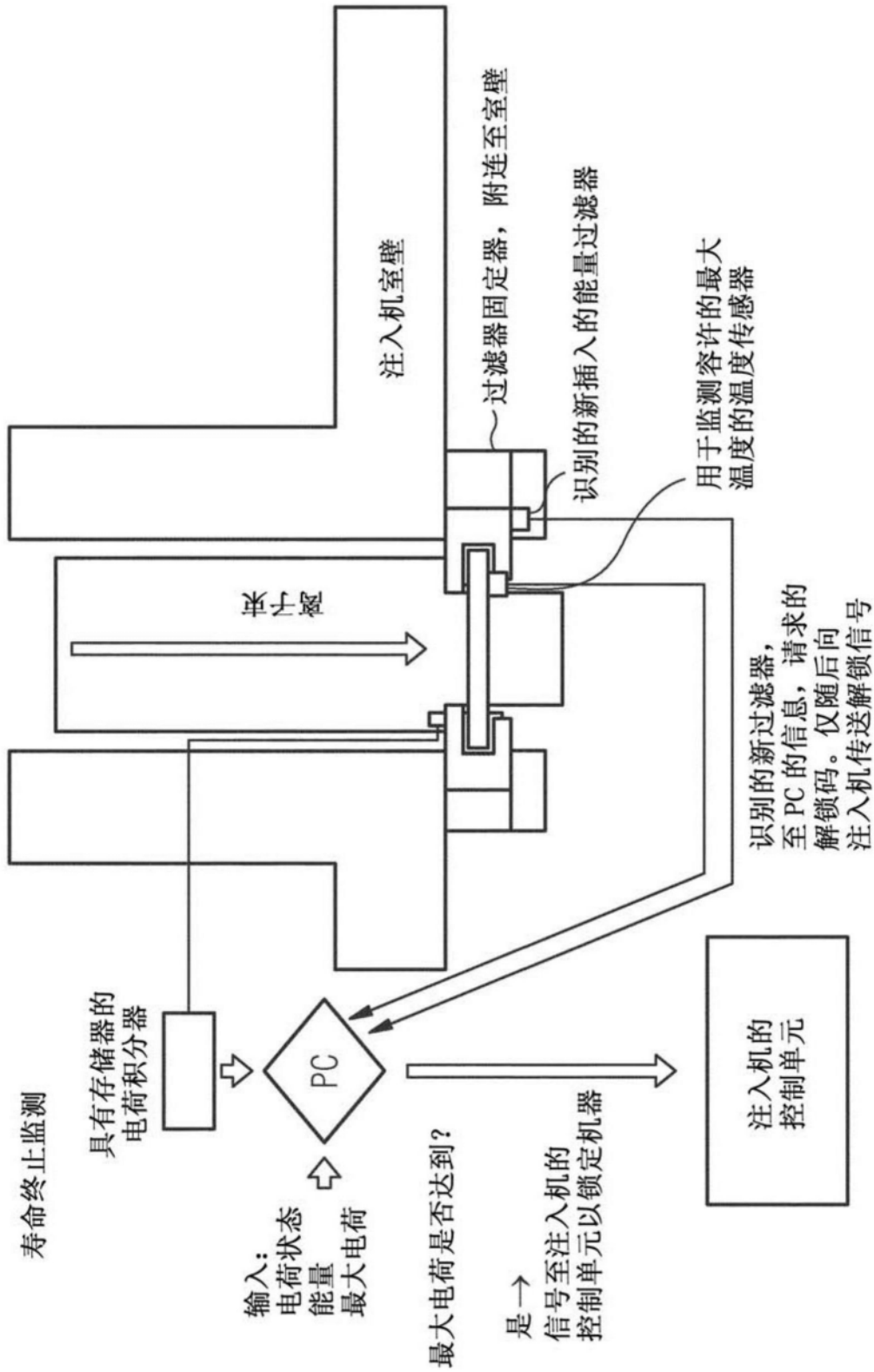


图20

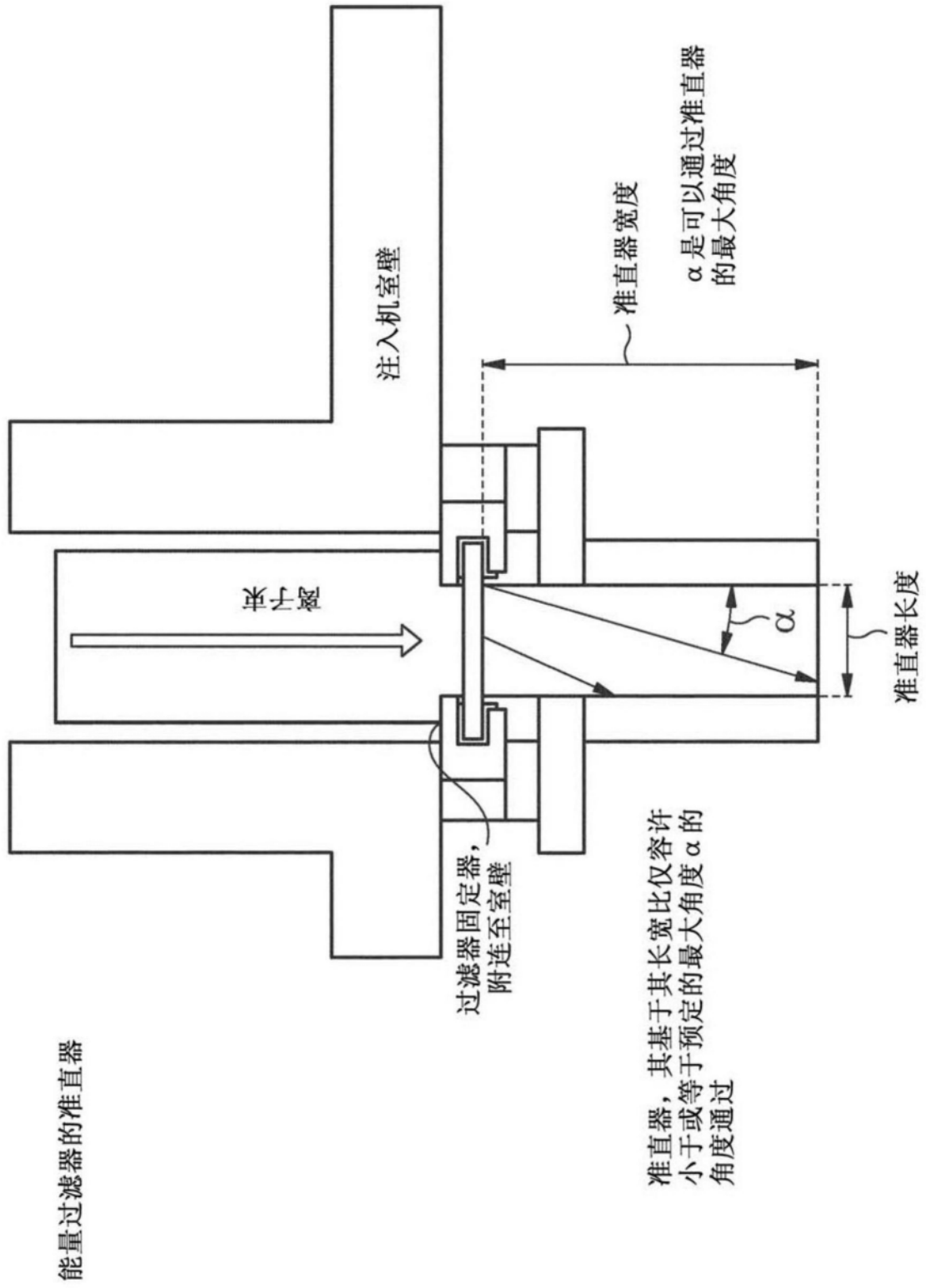
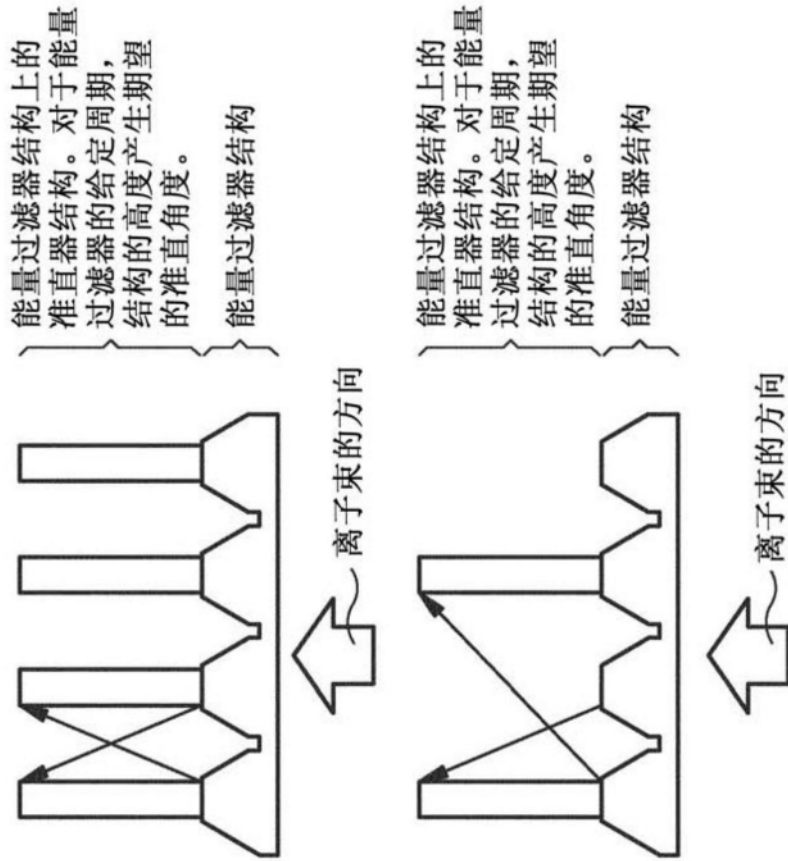


图21

“过滤器上”准直器结构的截面



如果设计有利，则直接形成于过滤器元件上的准直器会提供机械稳定并且放大由表面区域增大导致的辐射冷却的效果。

图22

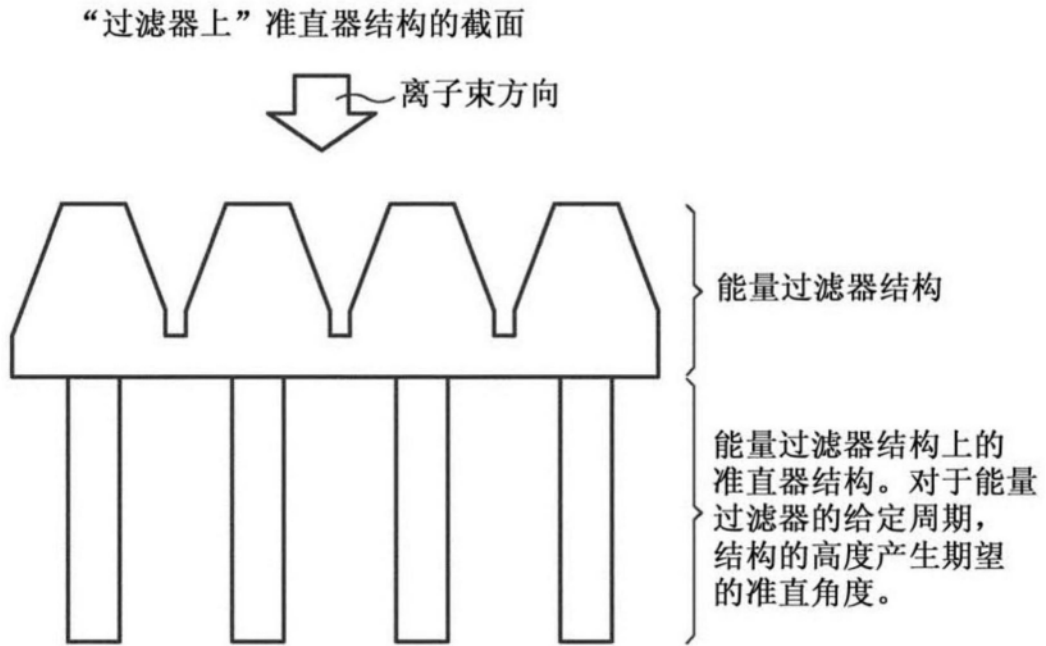
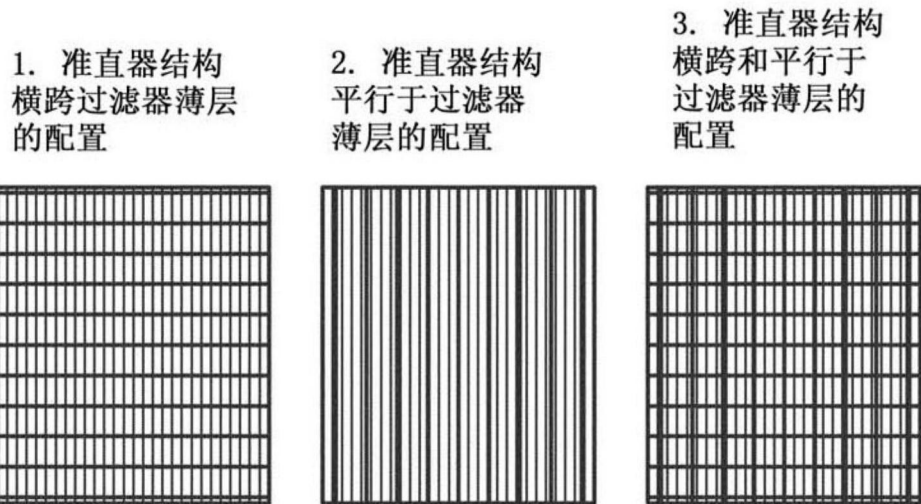


图23



如果设计有利（如 3. 中），直接形成于过滤器元件上的准直器提供机械稳定并放大由表面区域增大导致的辐射冷却的效果

图24

“靶基材上”准直器的截面

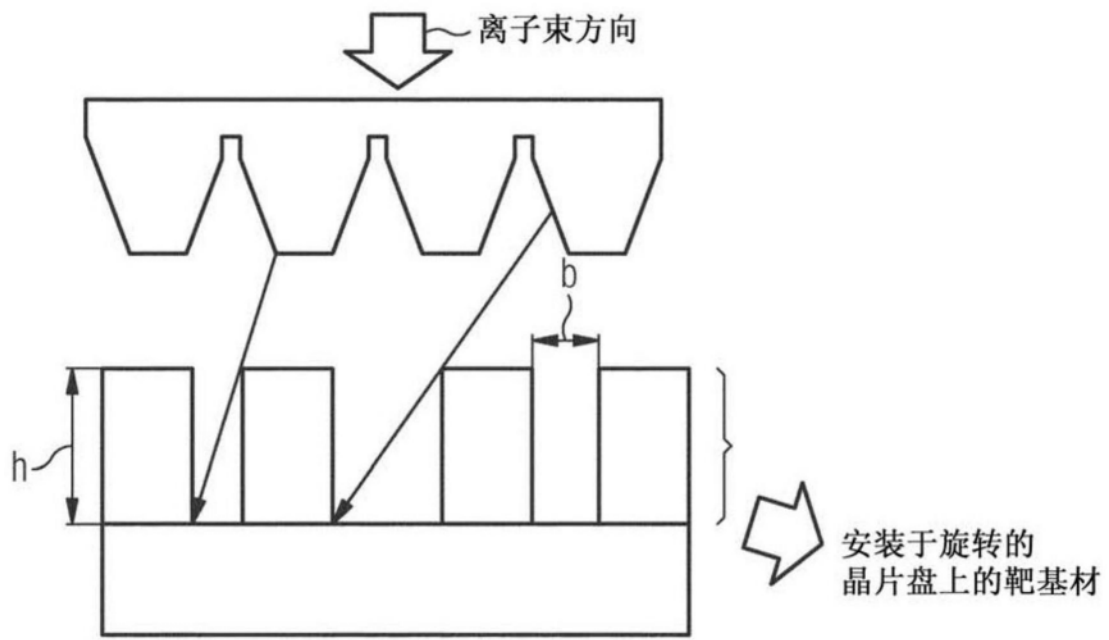


图25

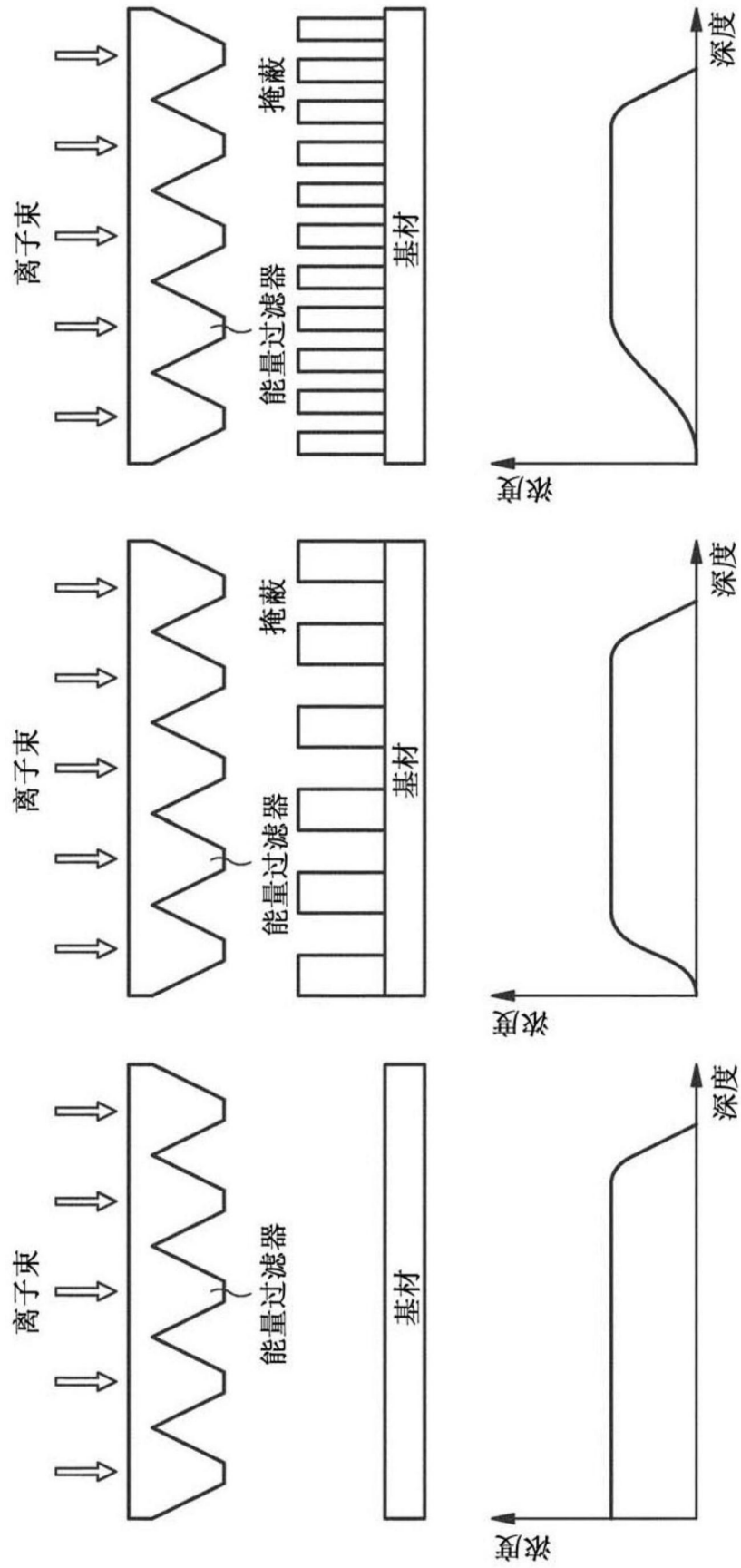


图26

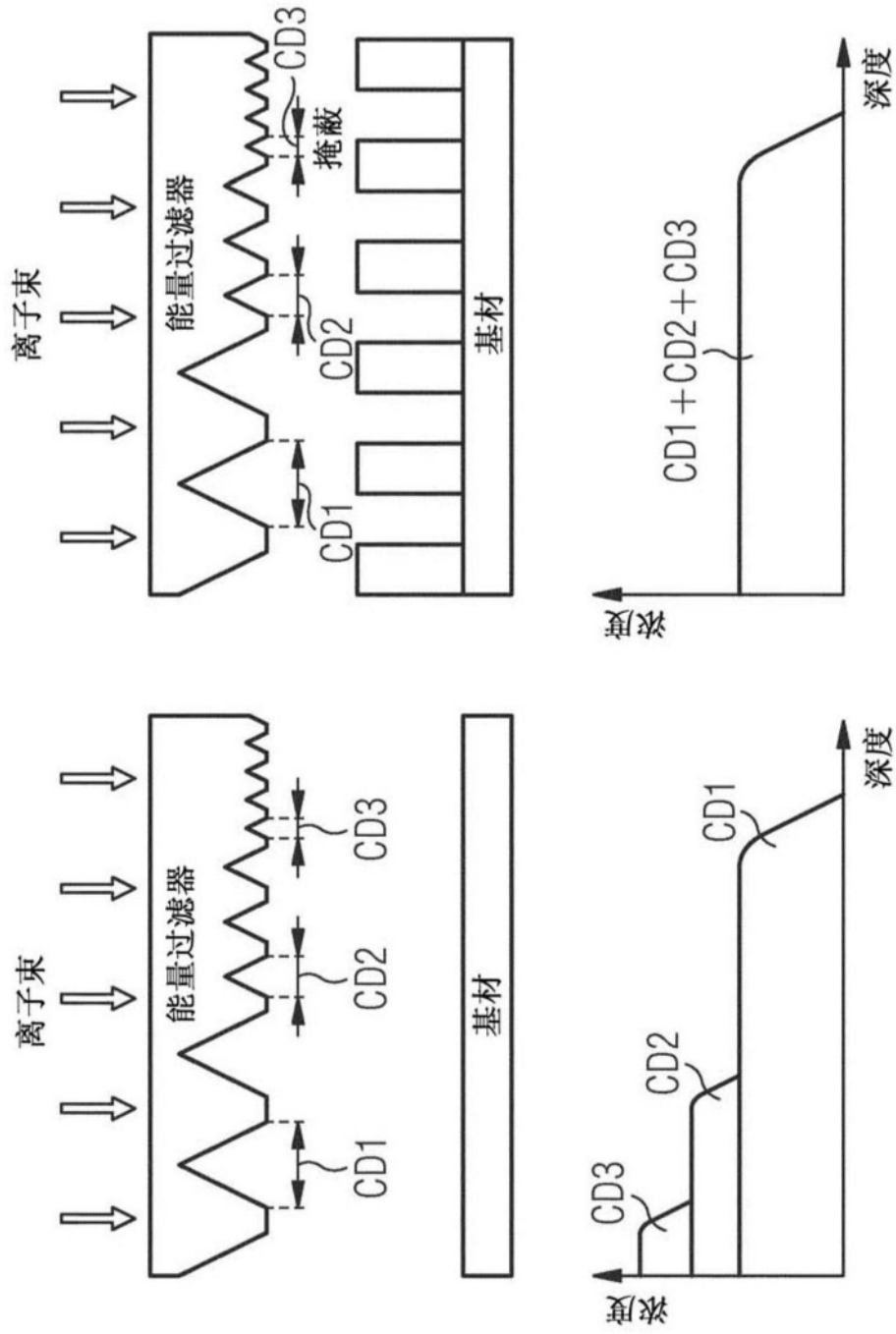


图27

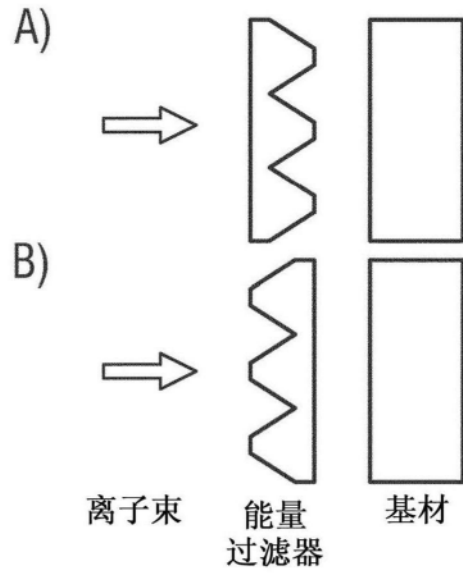


图28

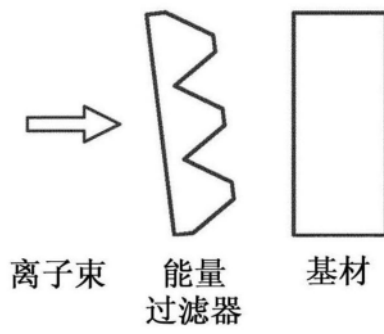


图29

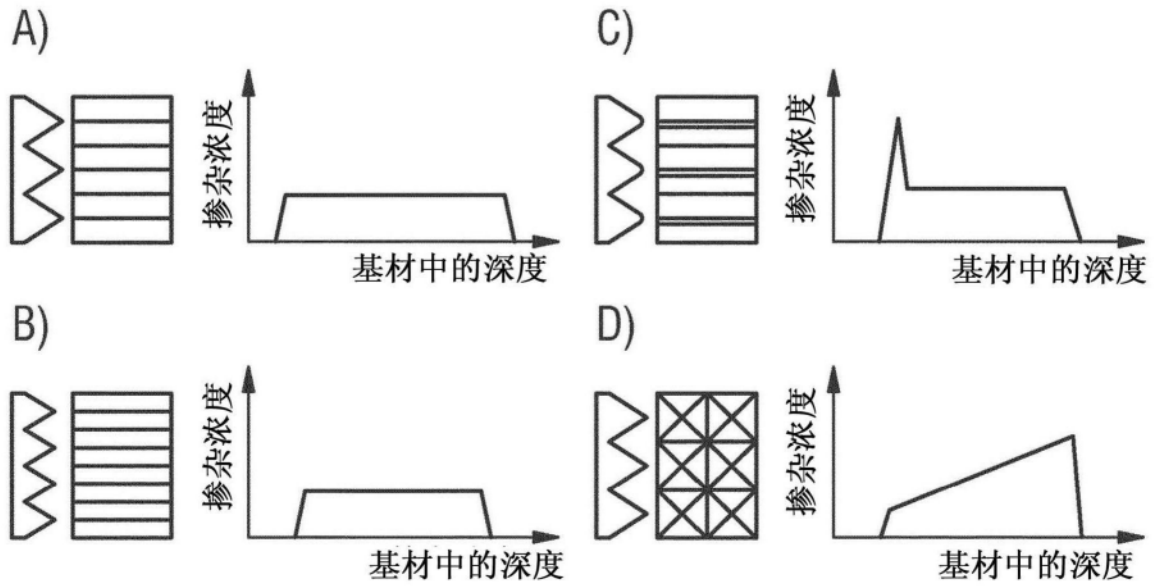


图30

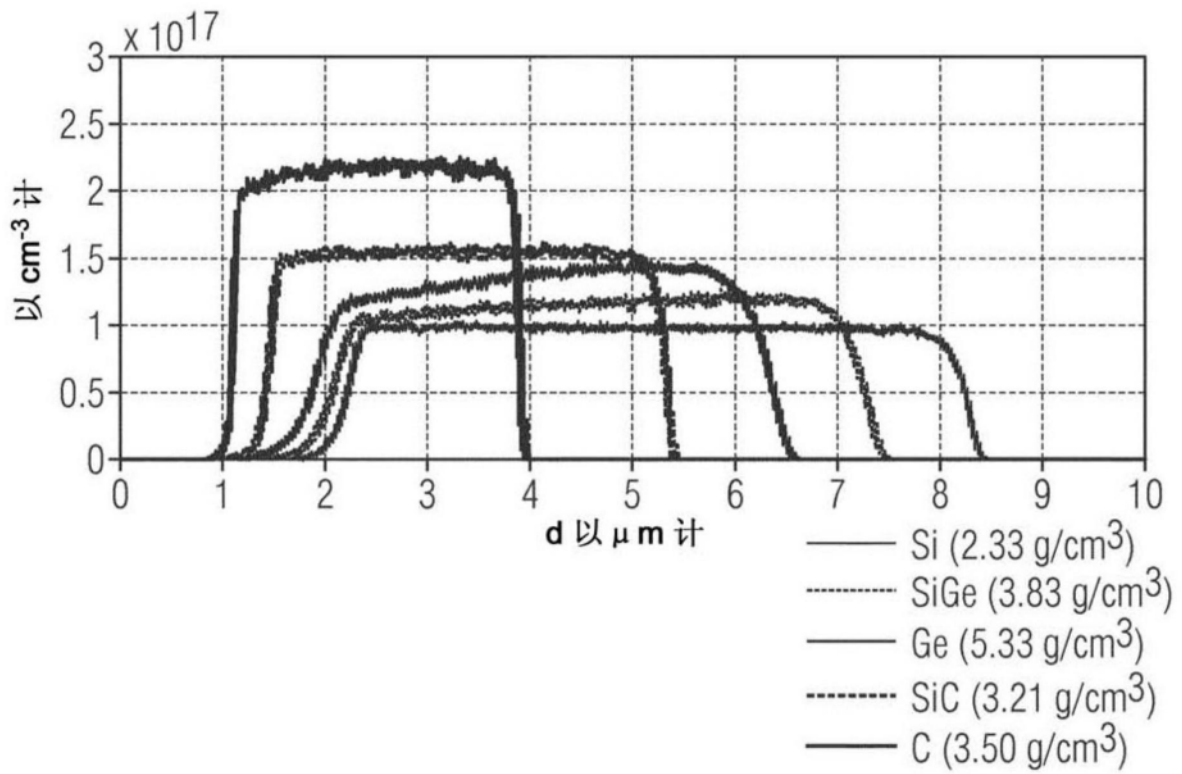


图31

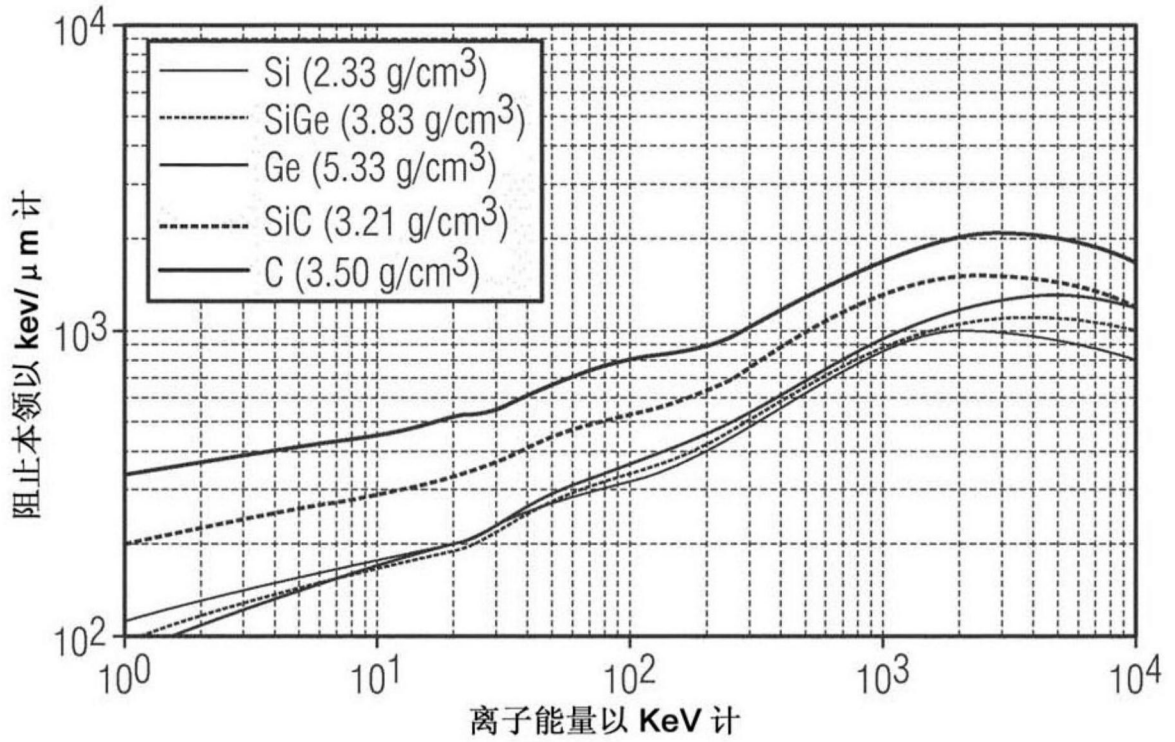


图32

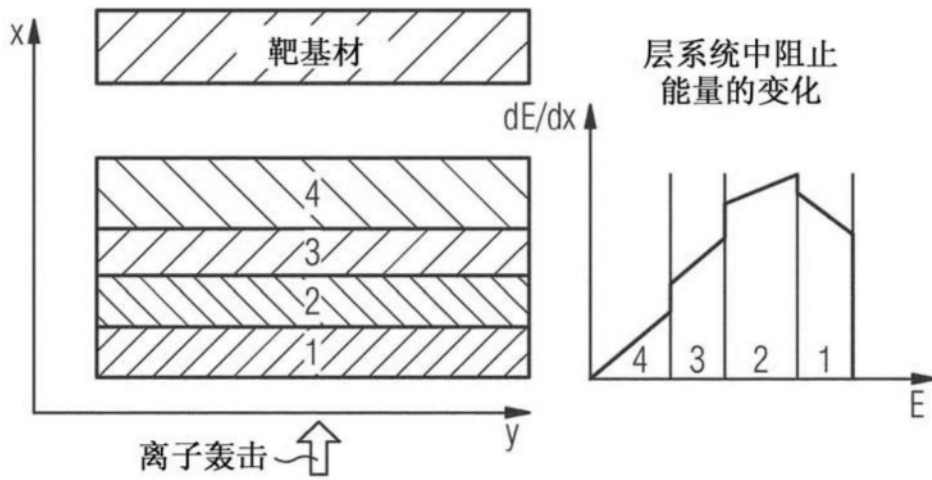


图33

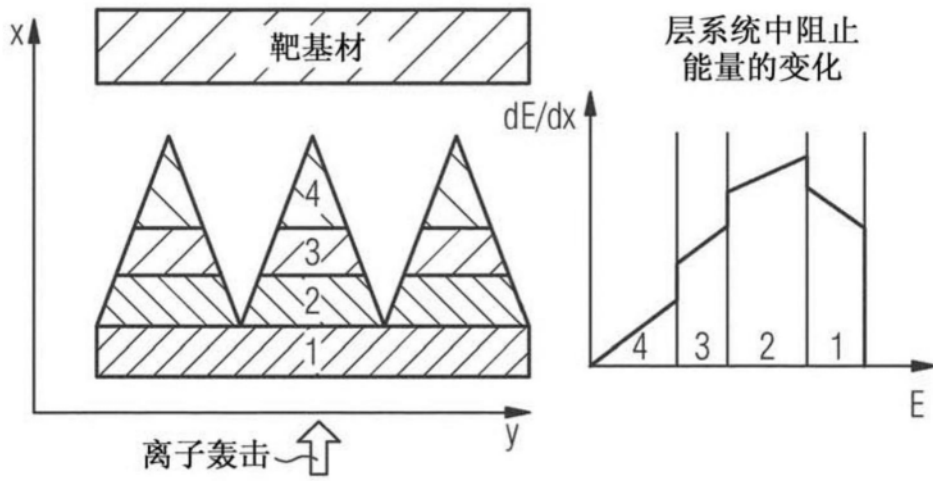


图34

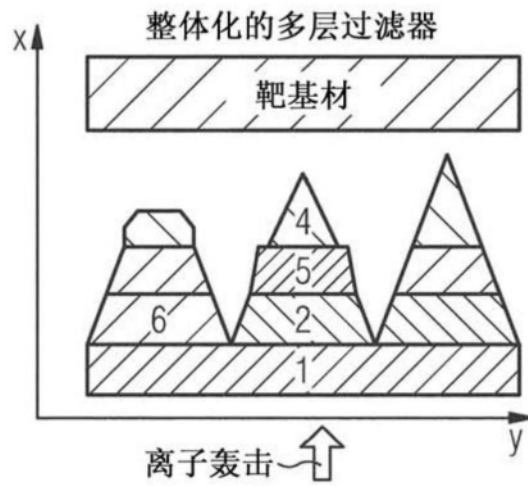


图35

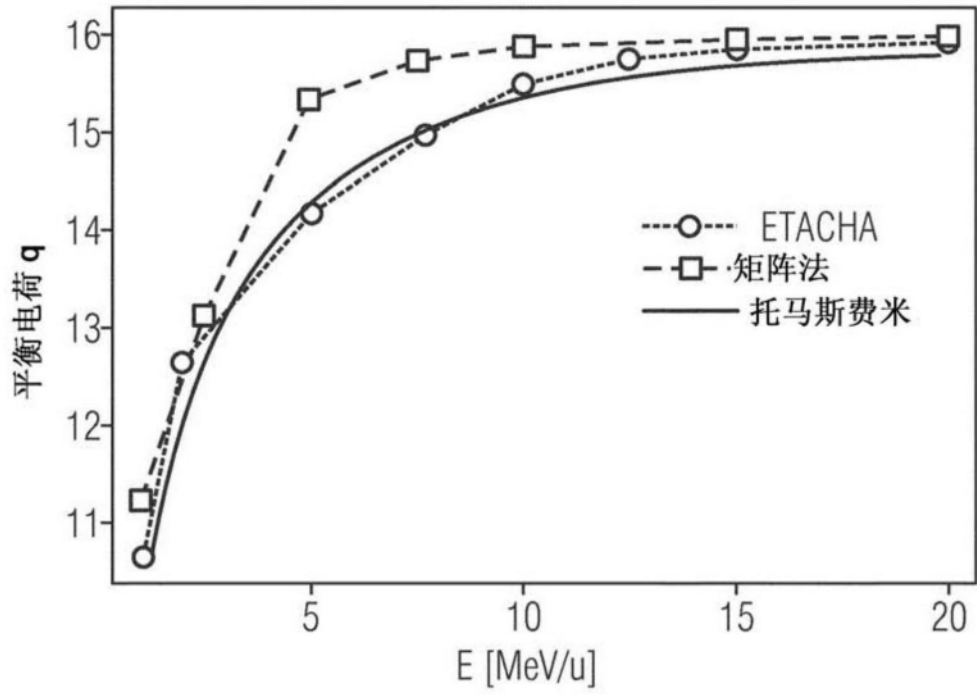


图36

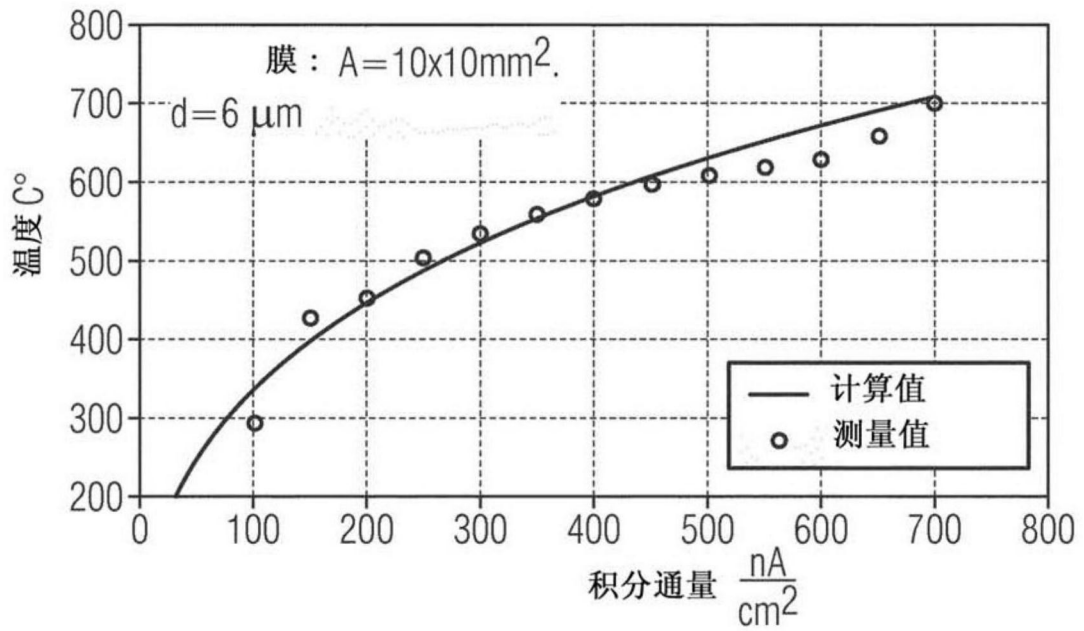


图37

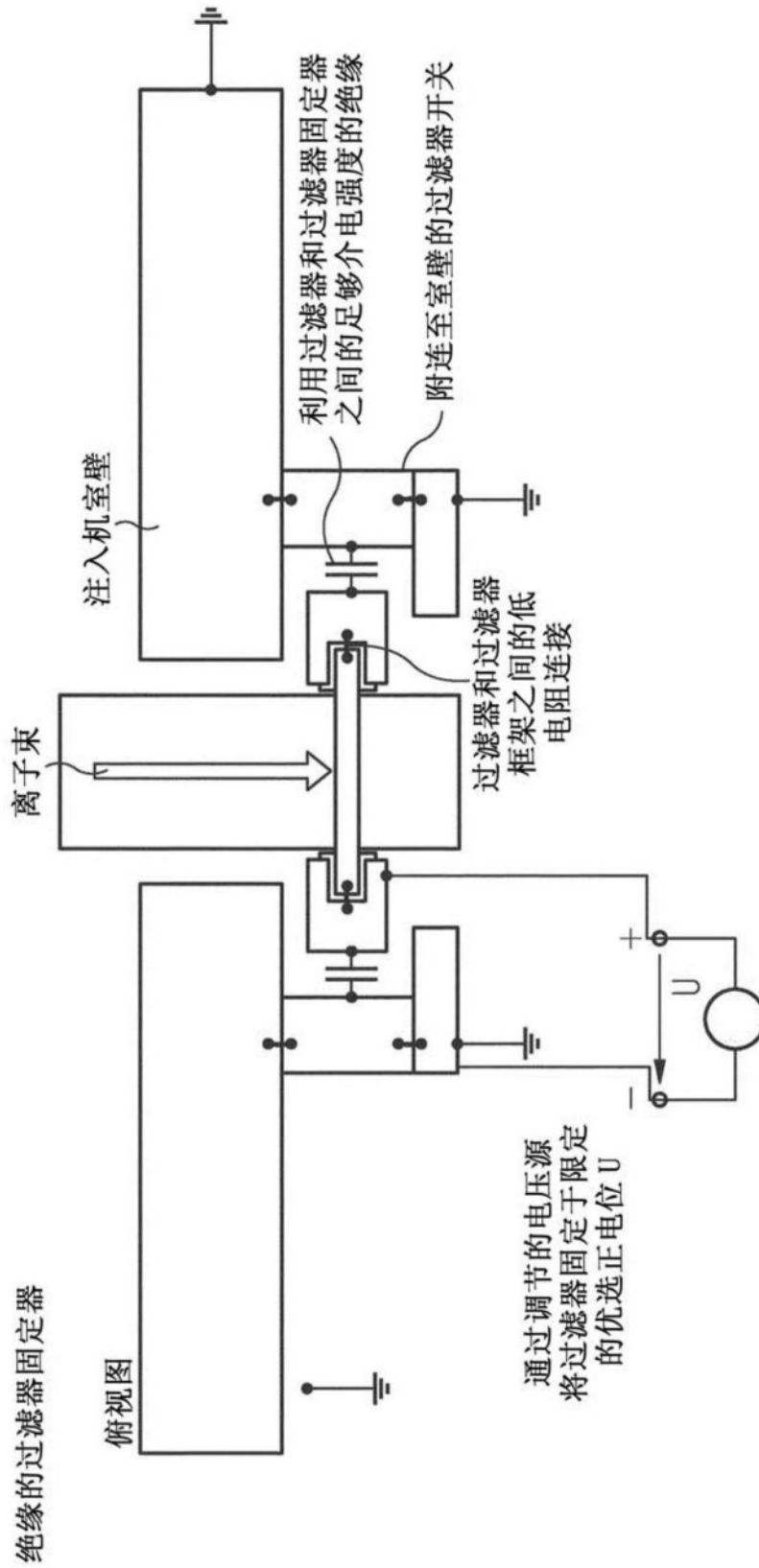


图38

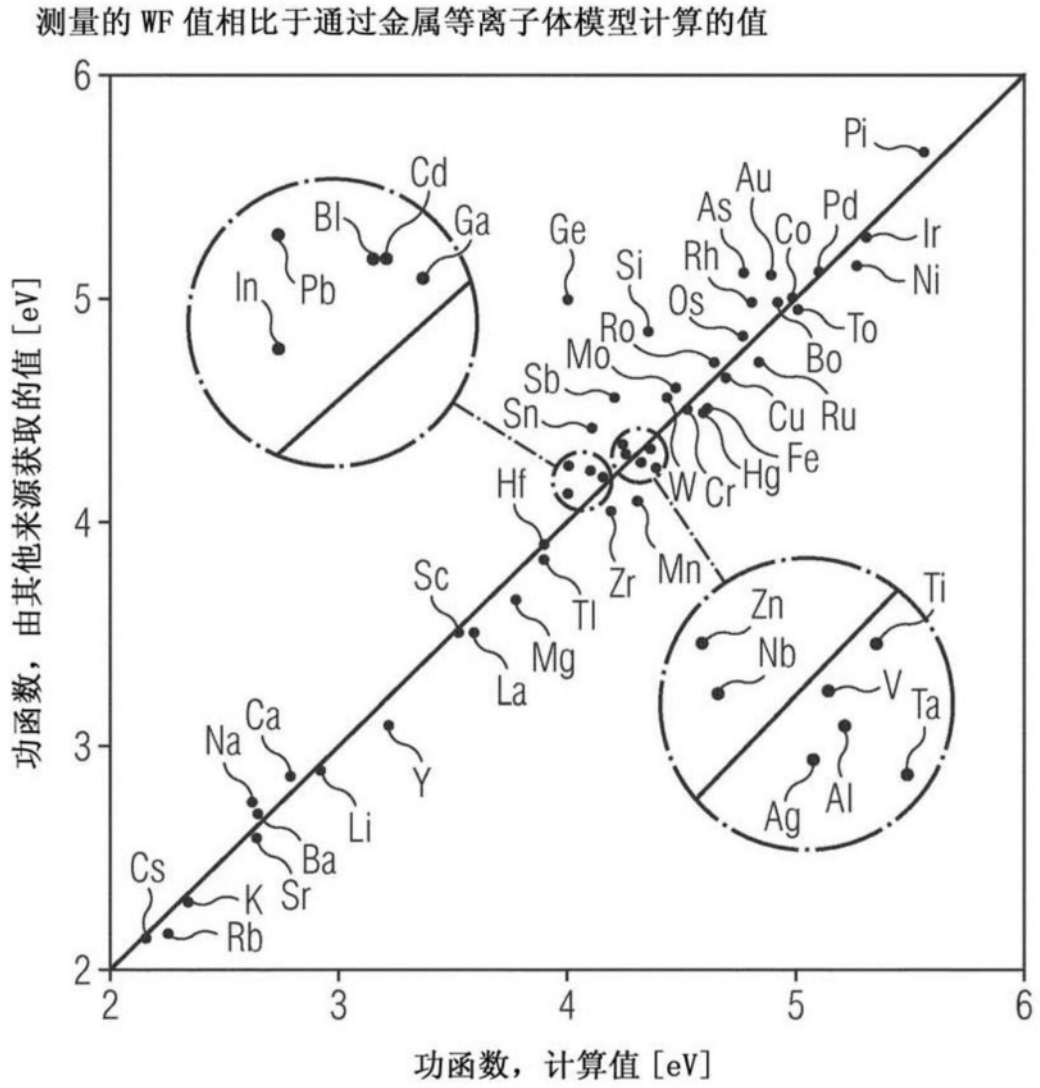


图39

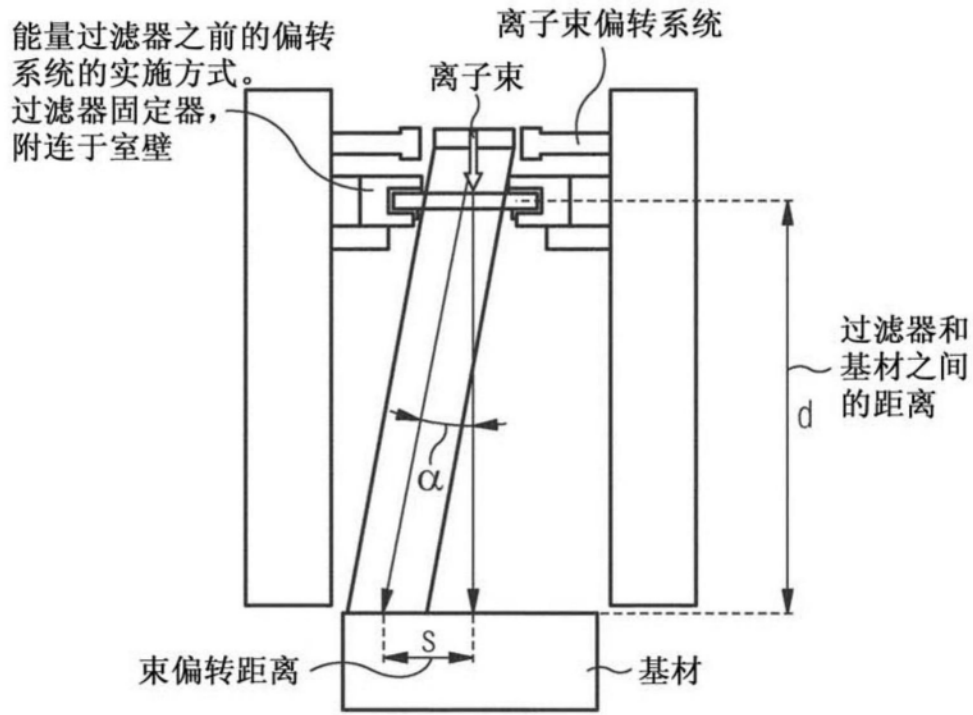


图40

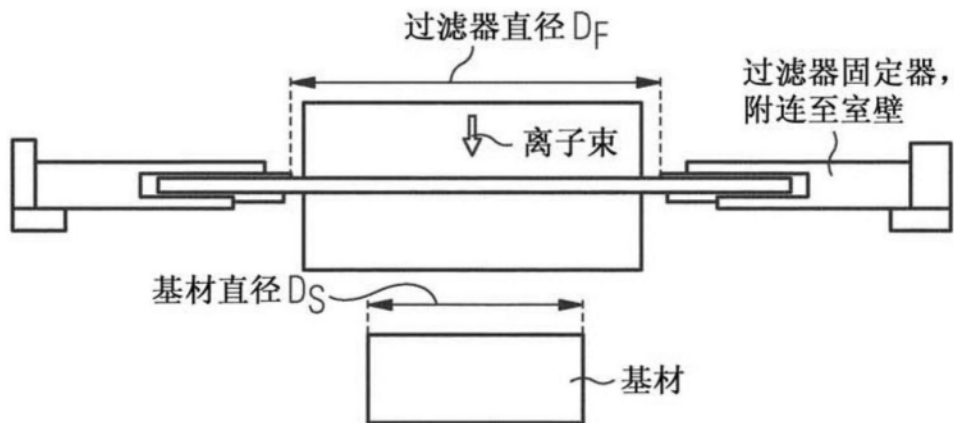


图41

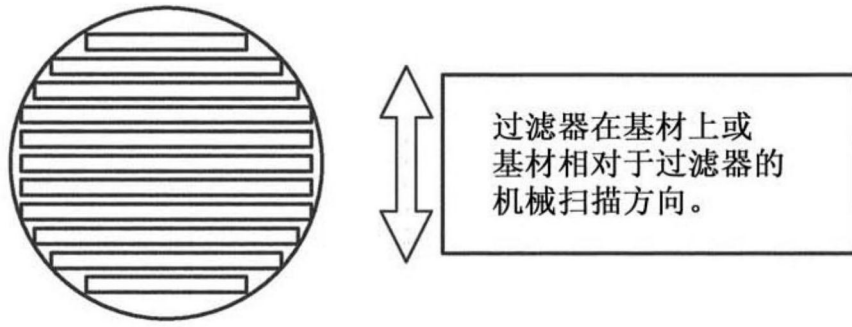


图42

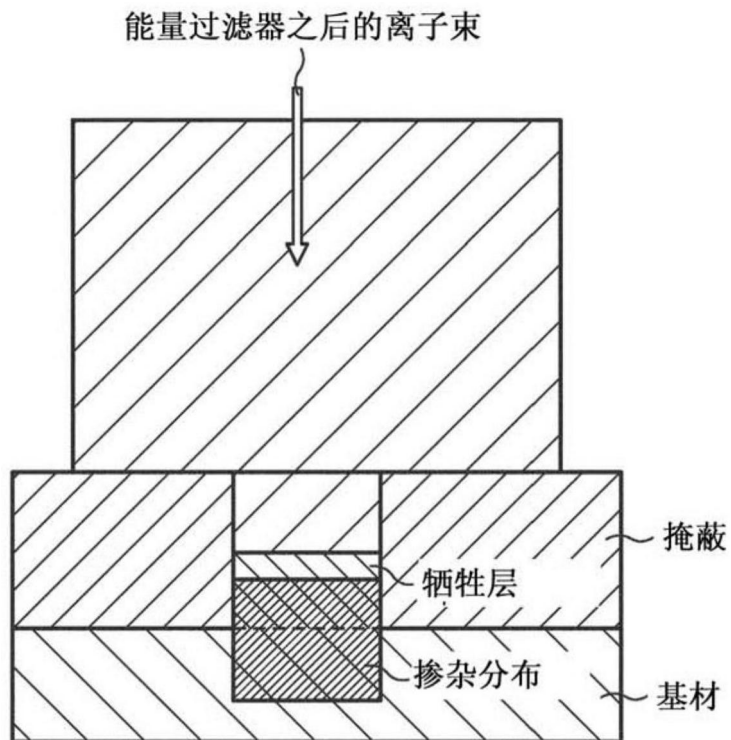


图43

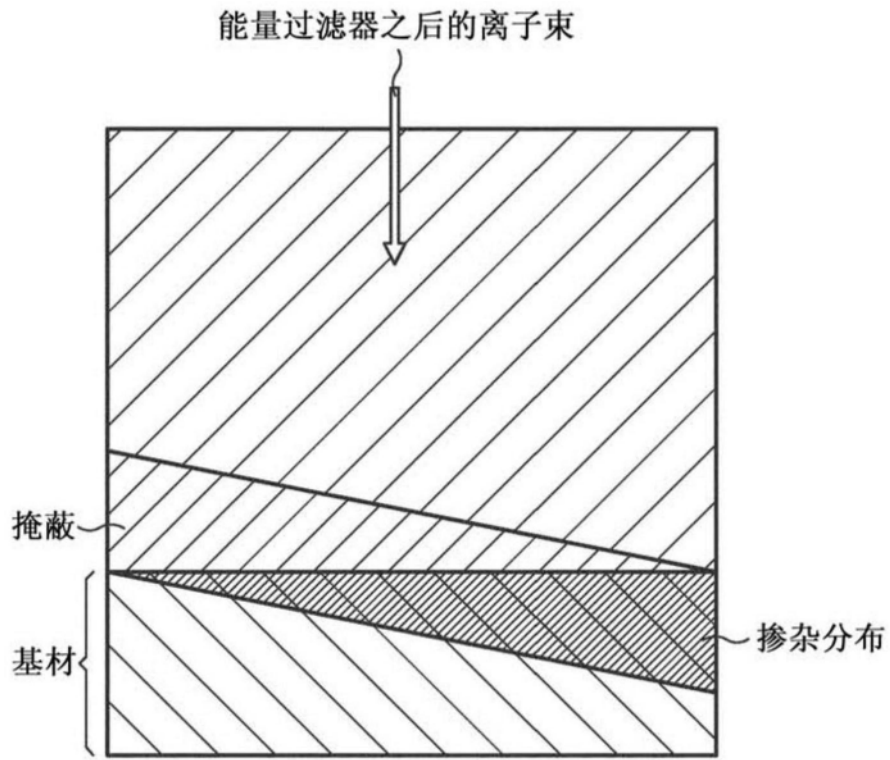


图44

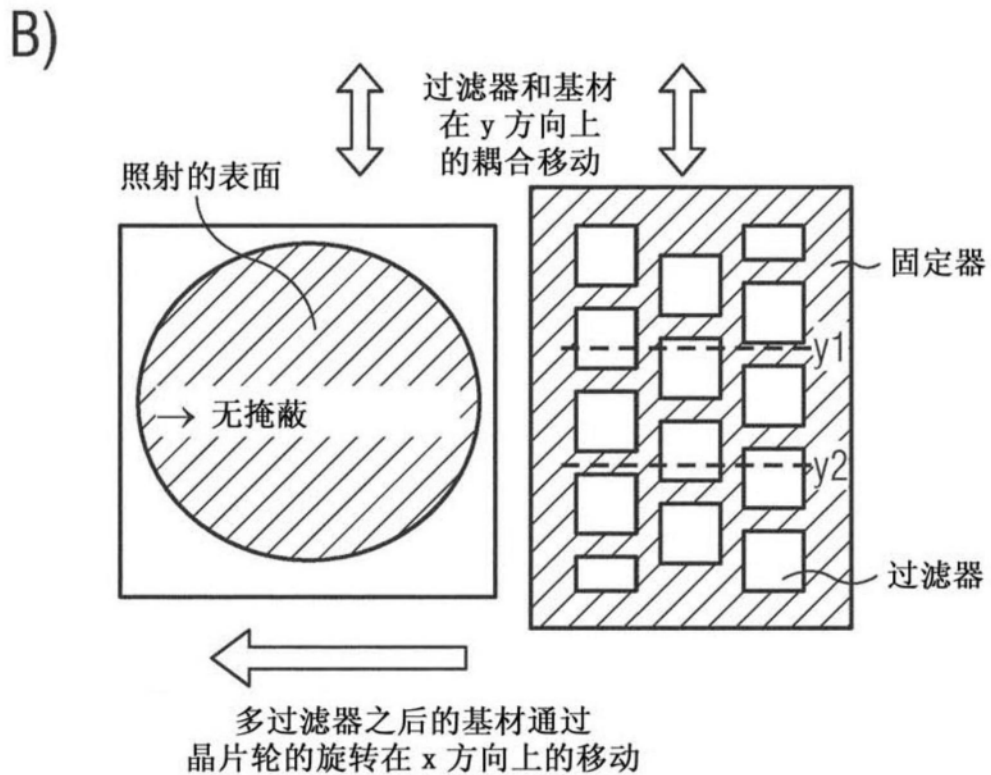
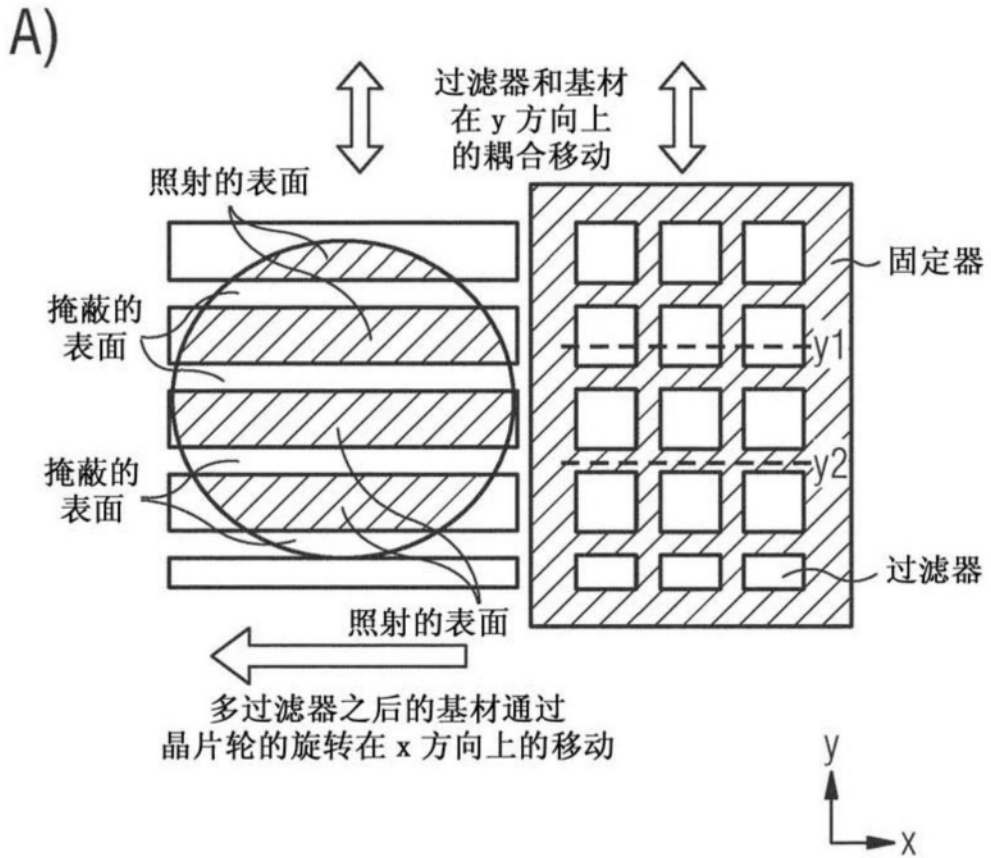


图45

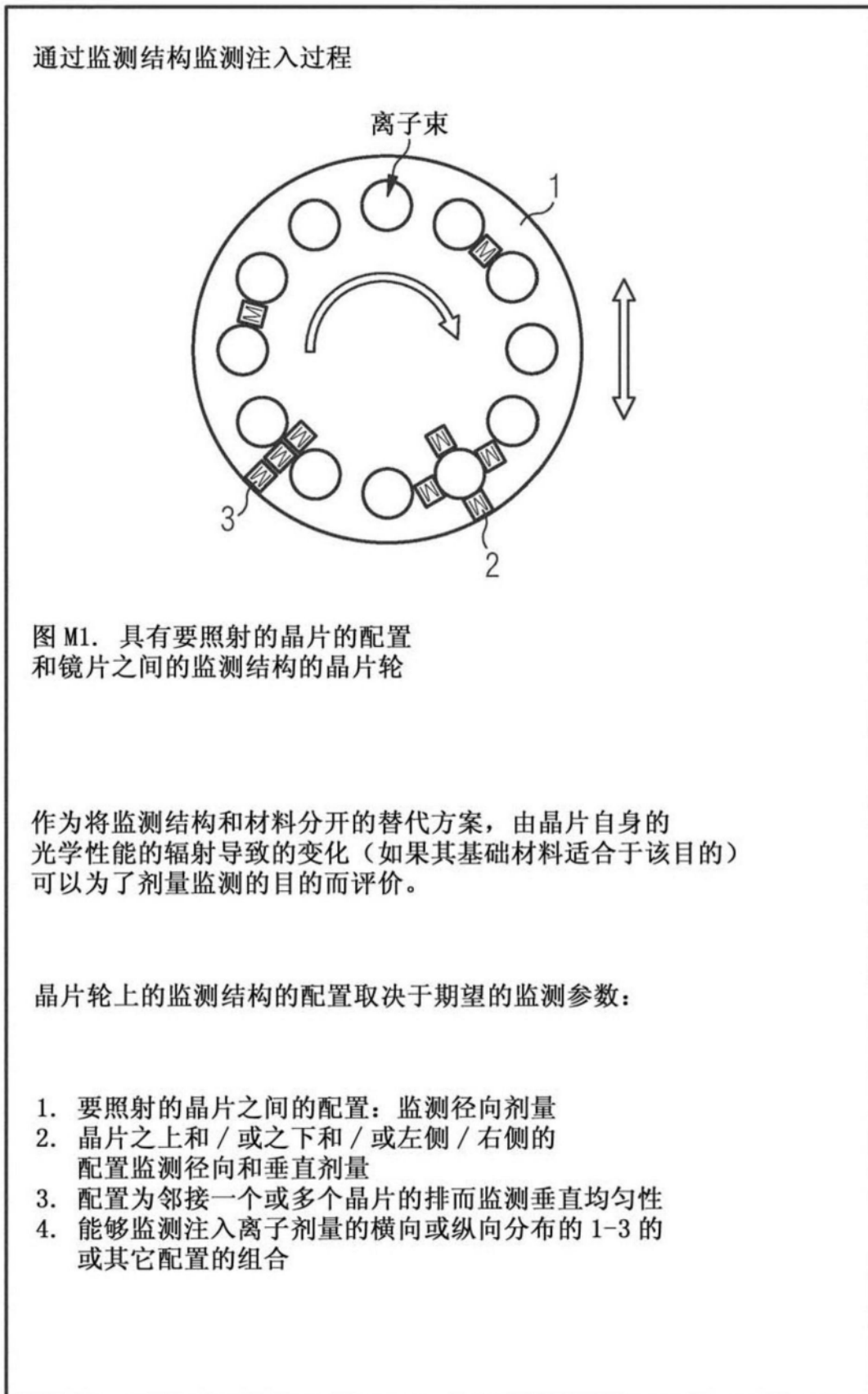


图46

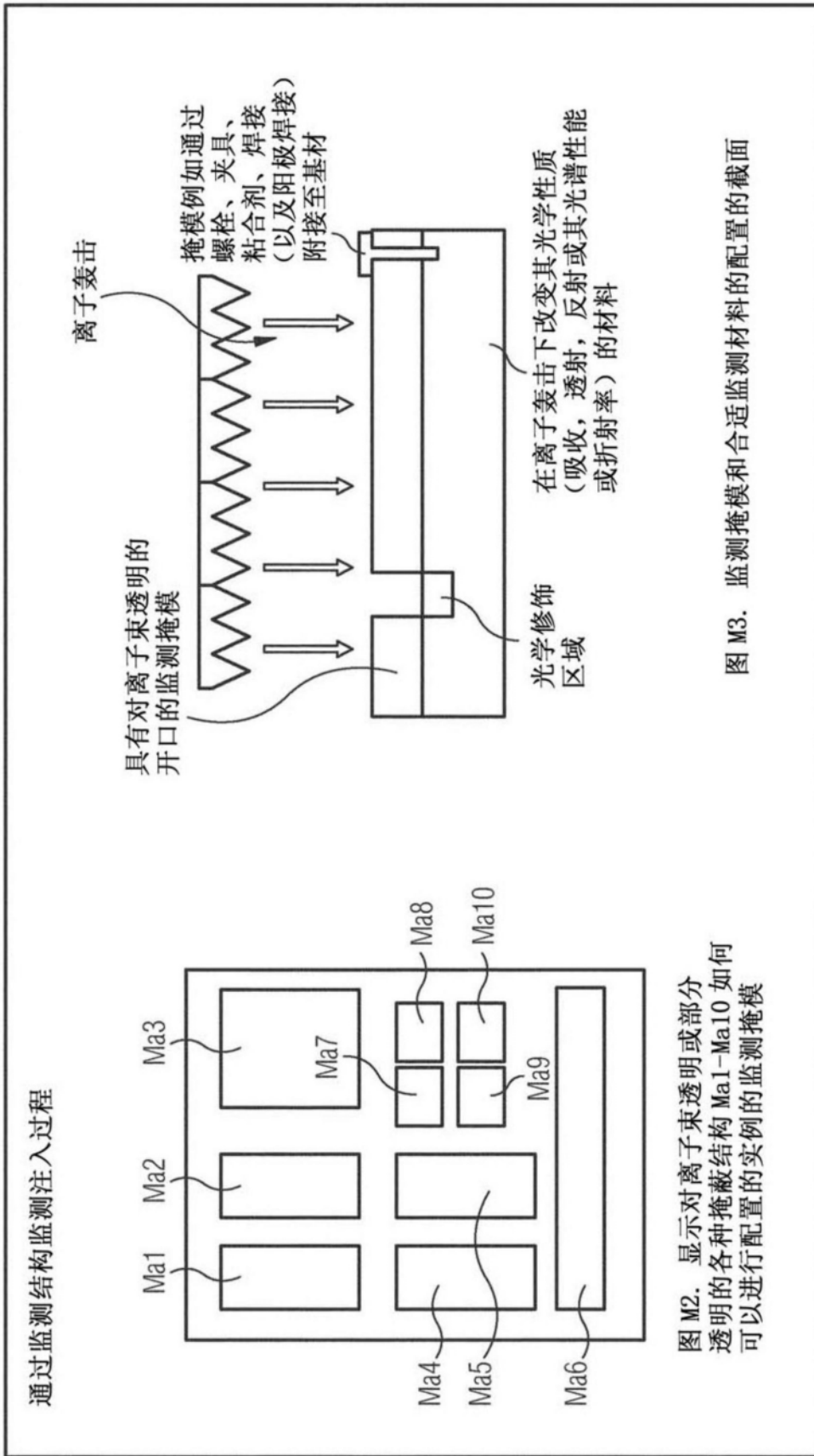


图 M2. 显示对离子束透明或部分透明的各种掩蔽结构 Ma1-Ma10 如何进行配置的实例的监测掩模

图 47

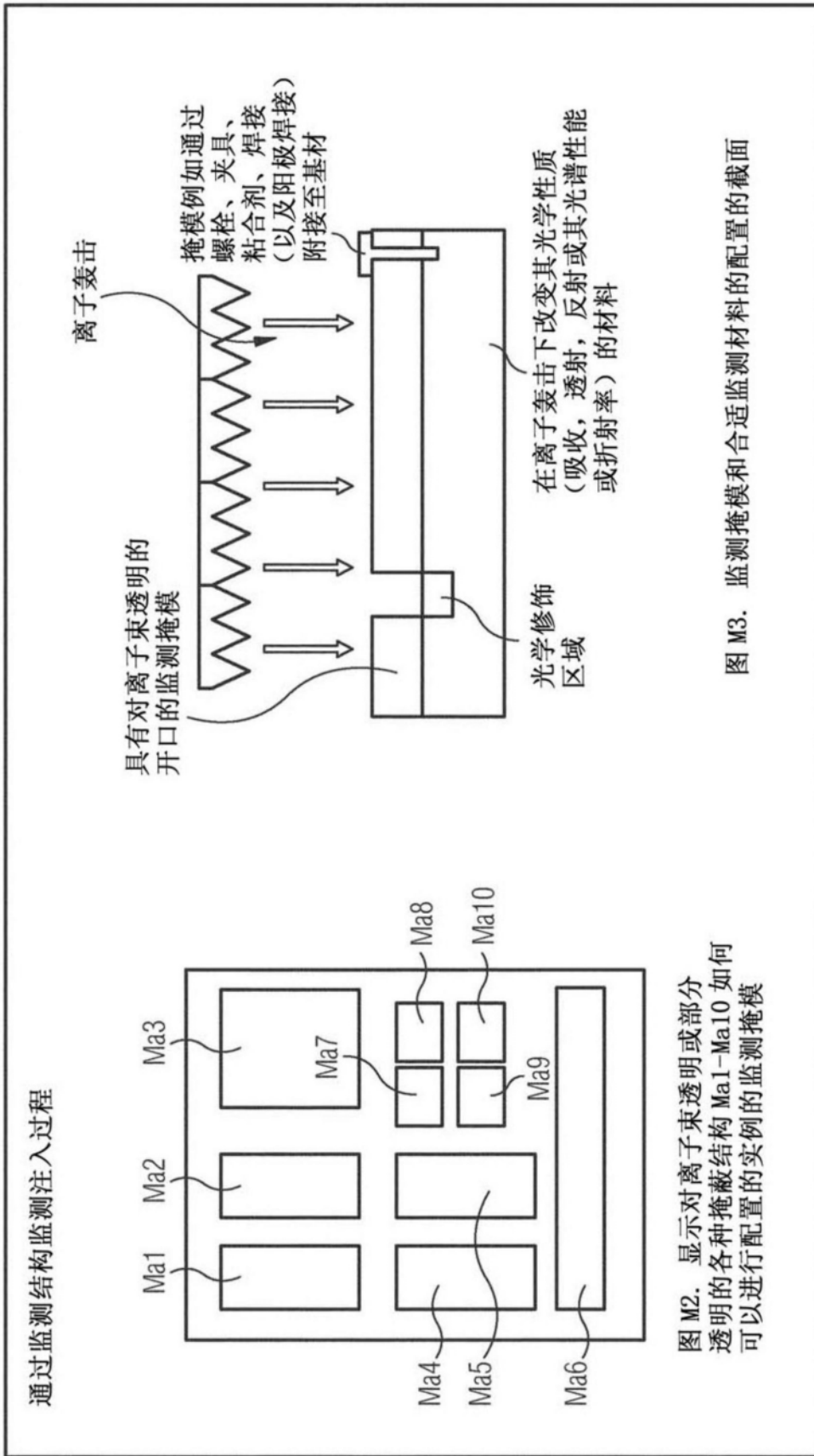


图 M3. 监测掩模和合适监测材料的配置的截面

图 48

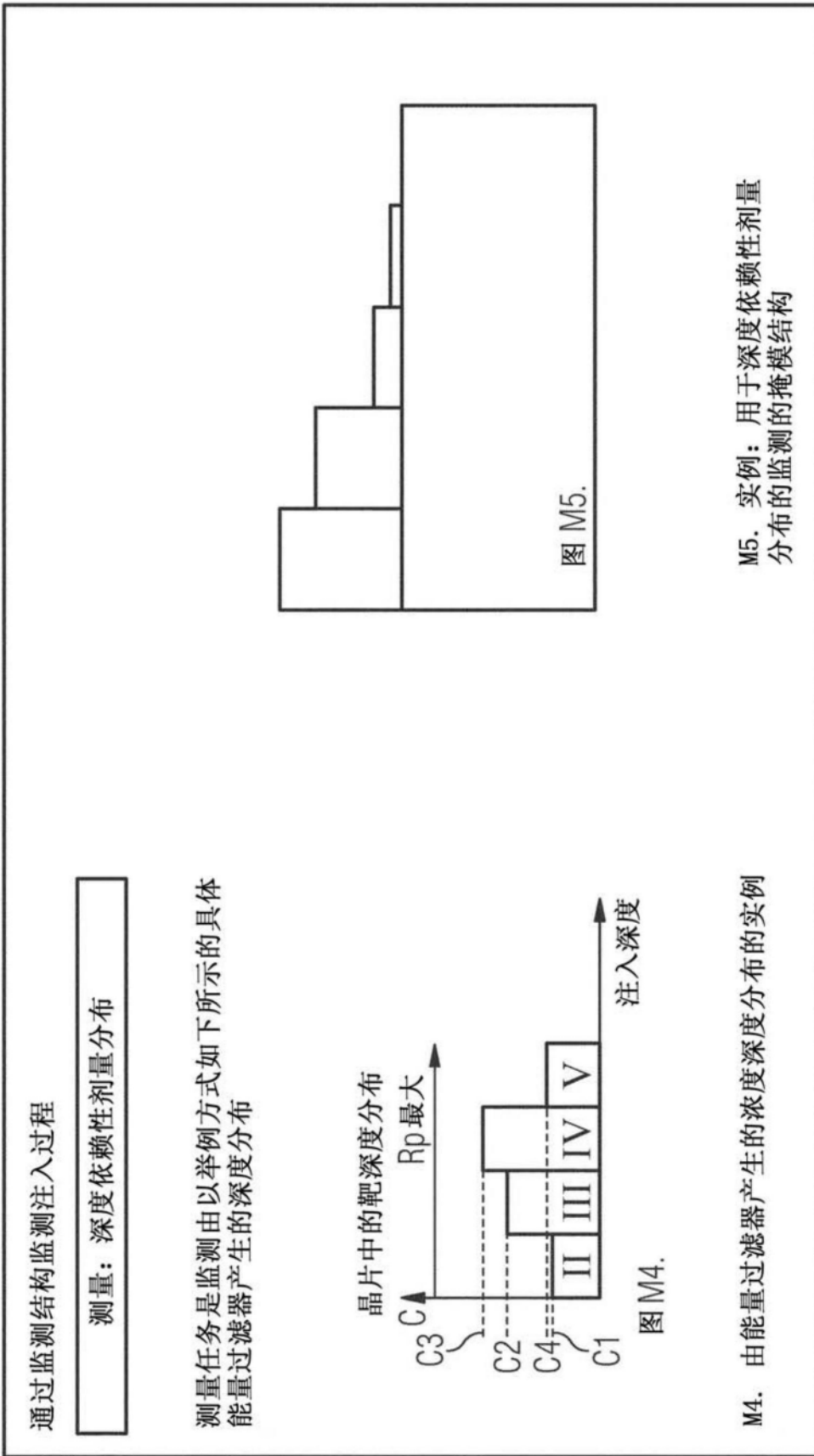


图 49

图 50

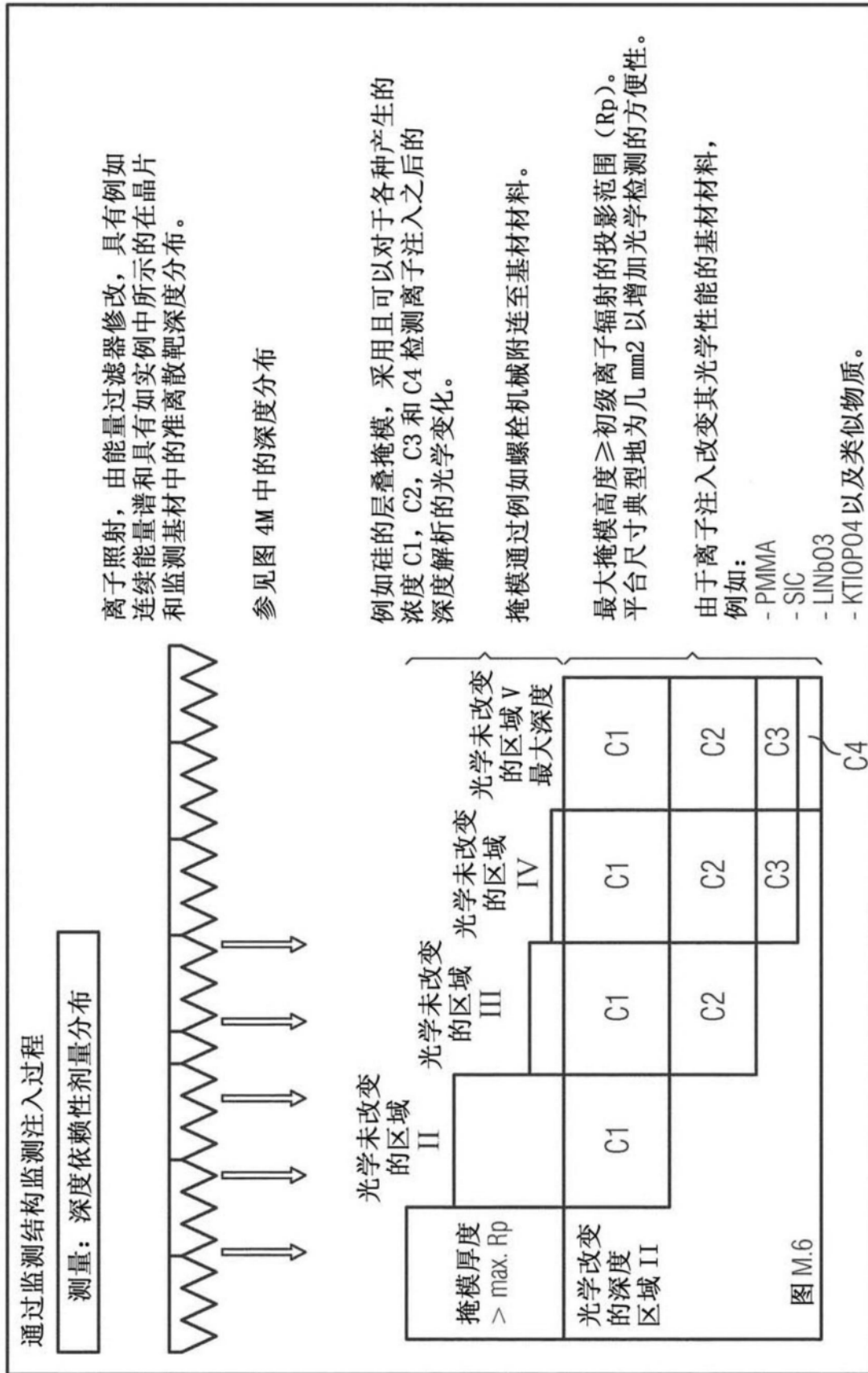


图51

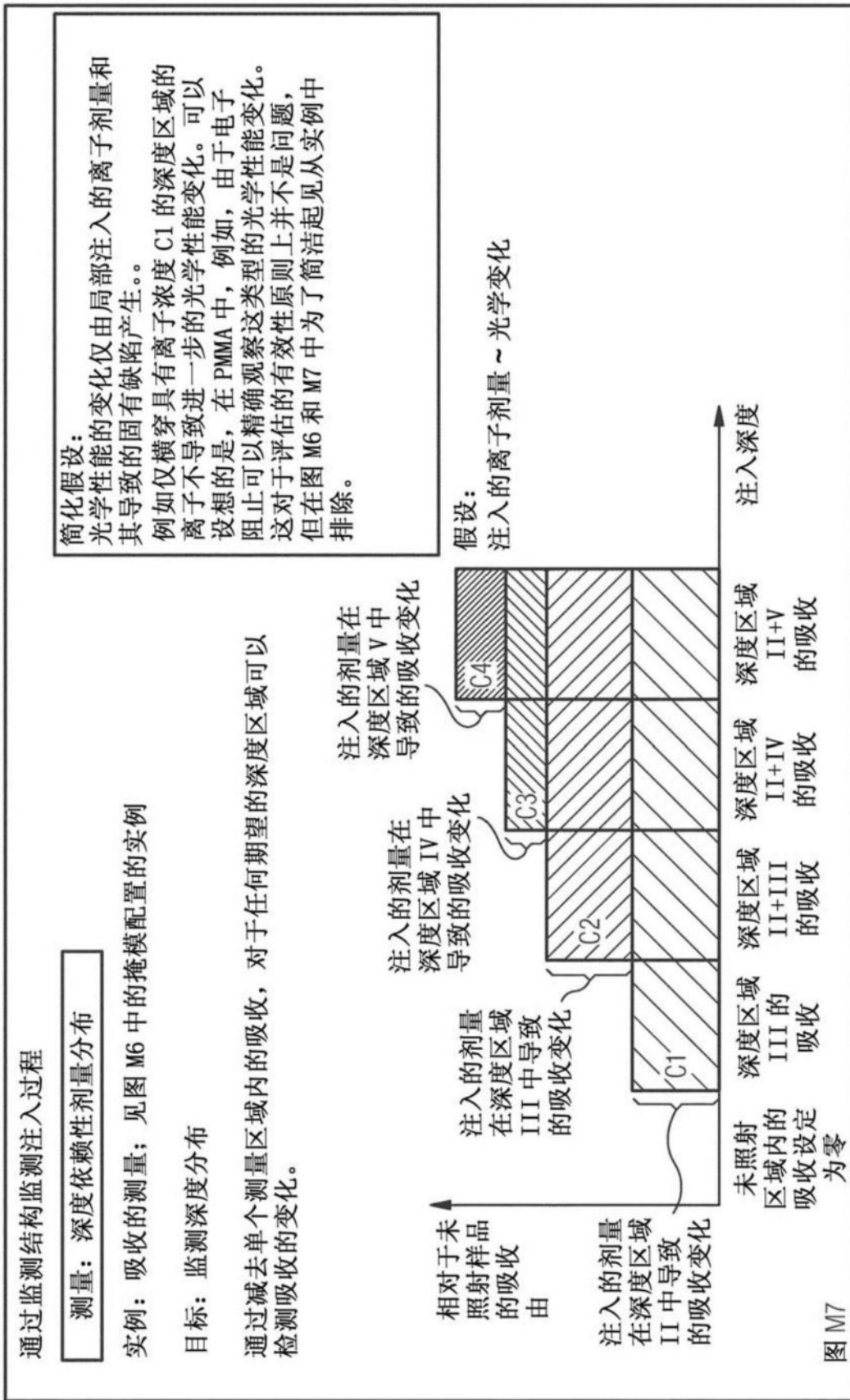


图52

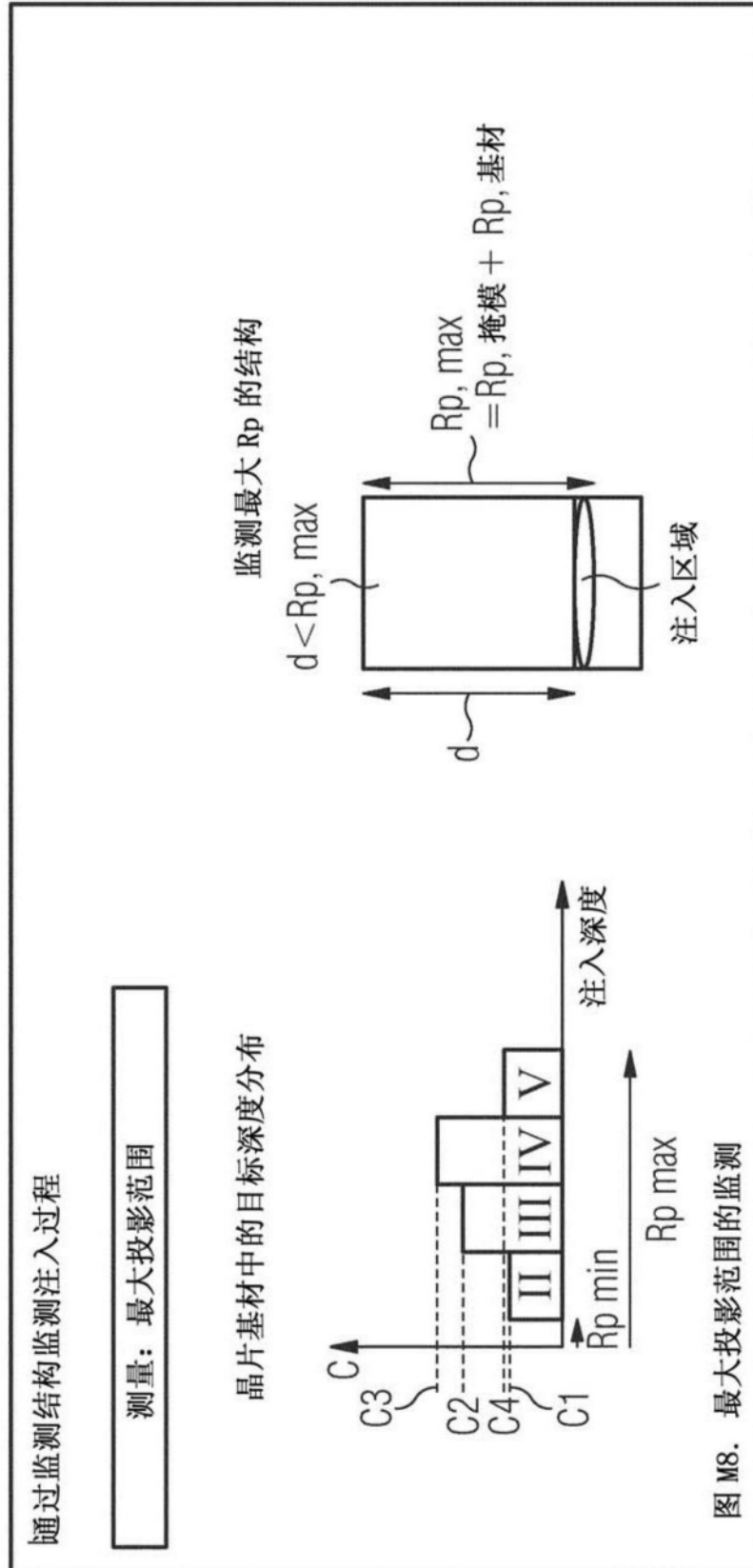


图53

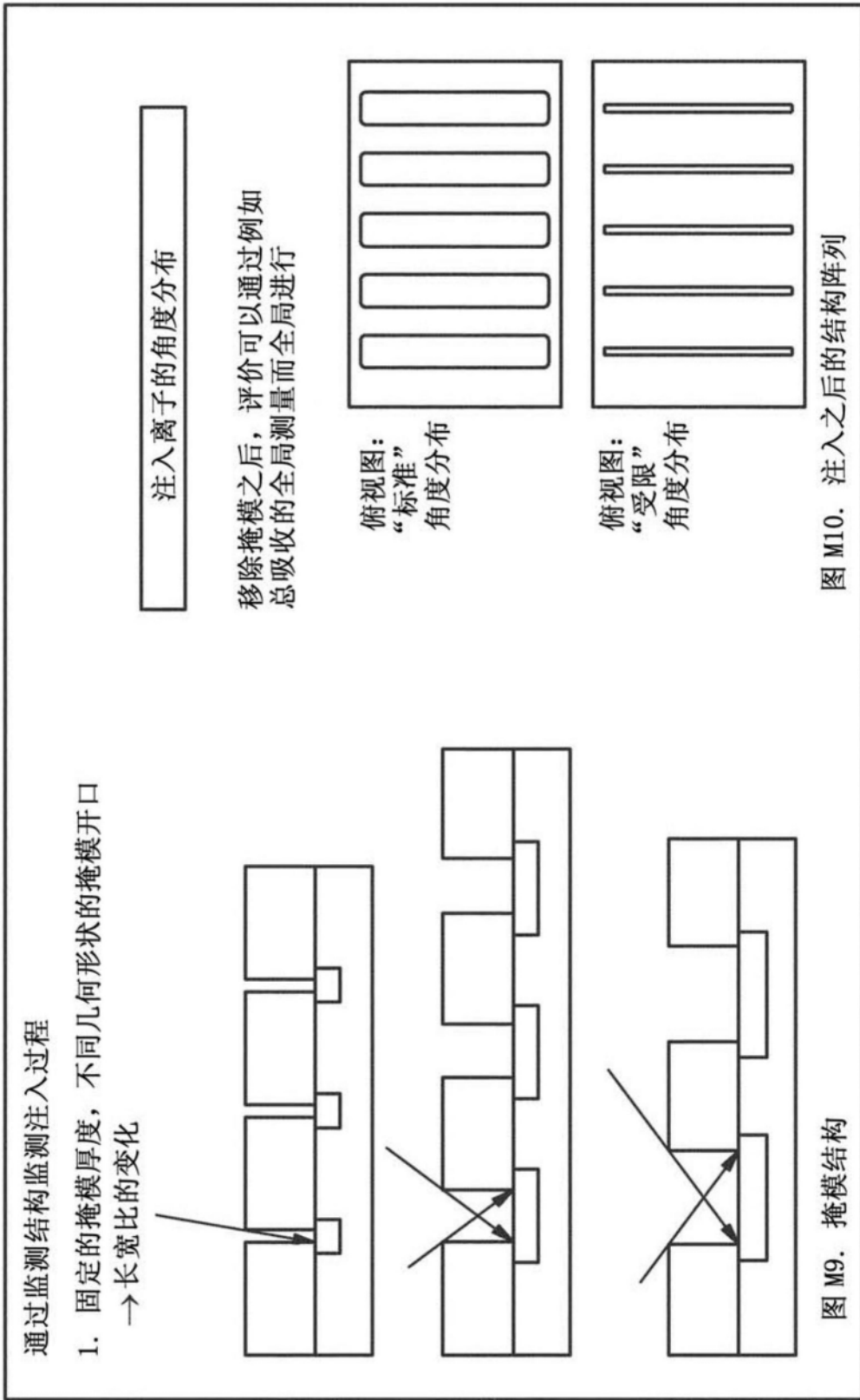


图54

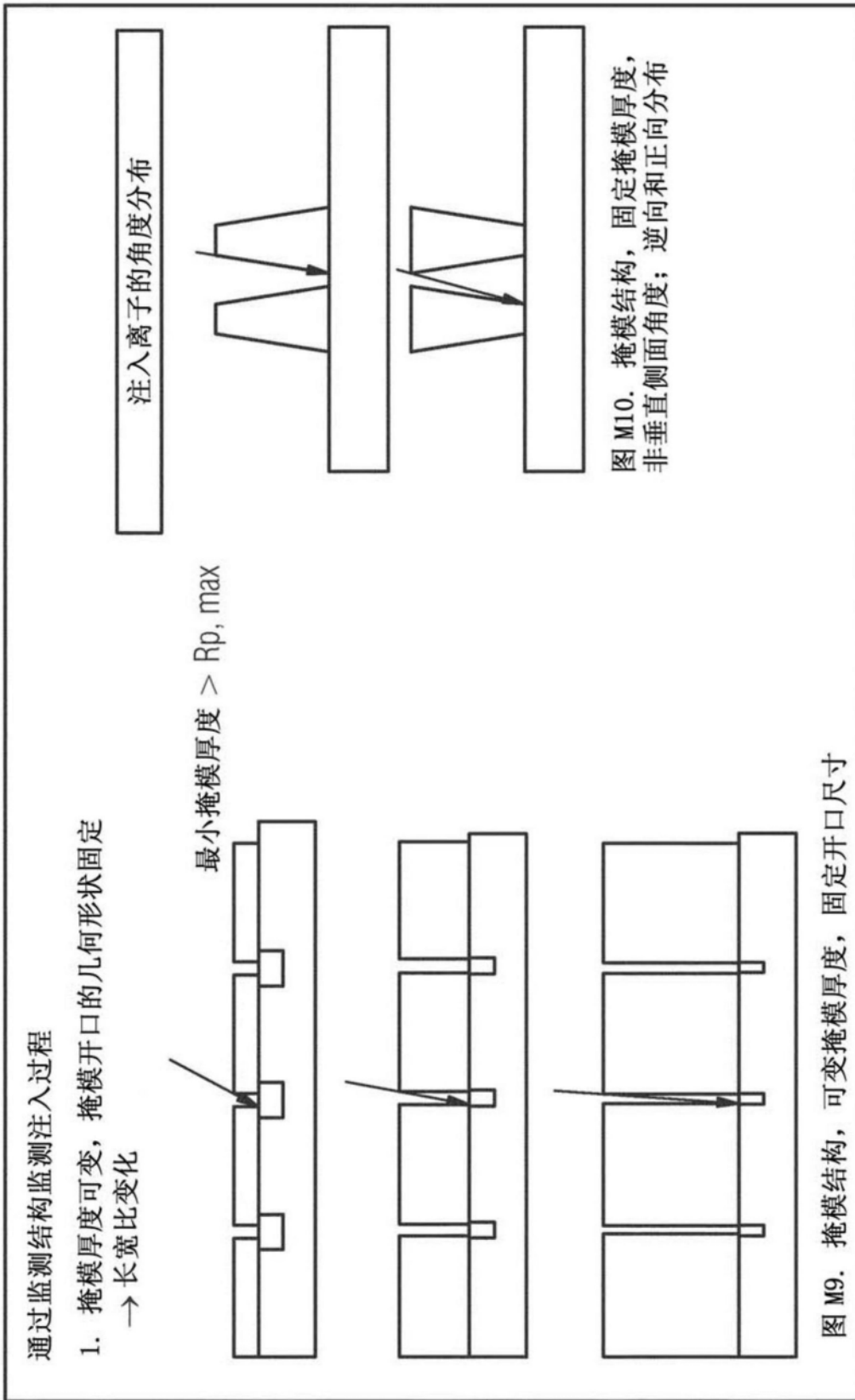


图 55

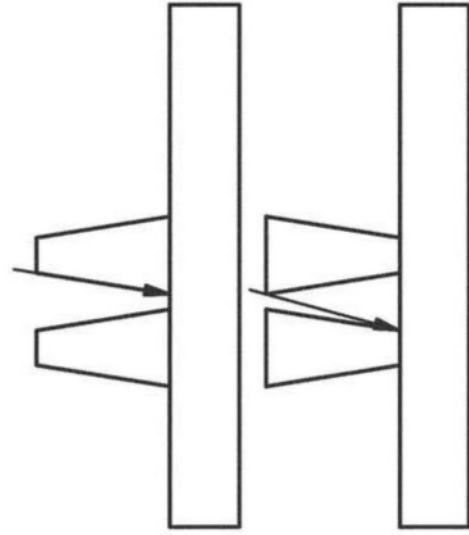


图 M10. 掩模结构，固定掩模厚度，非垂直侧面角度；逆向和正向分布

图 56

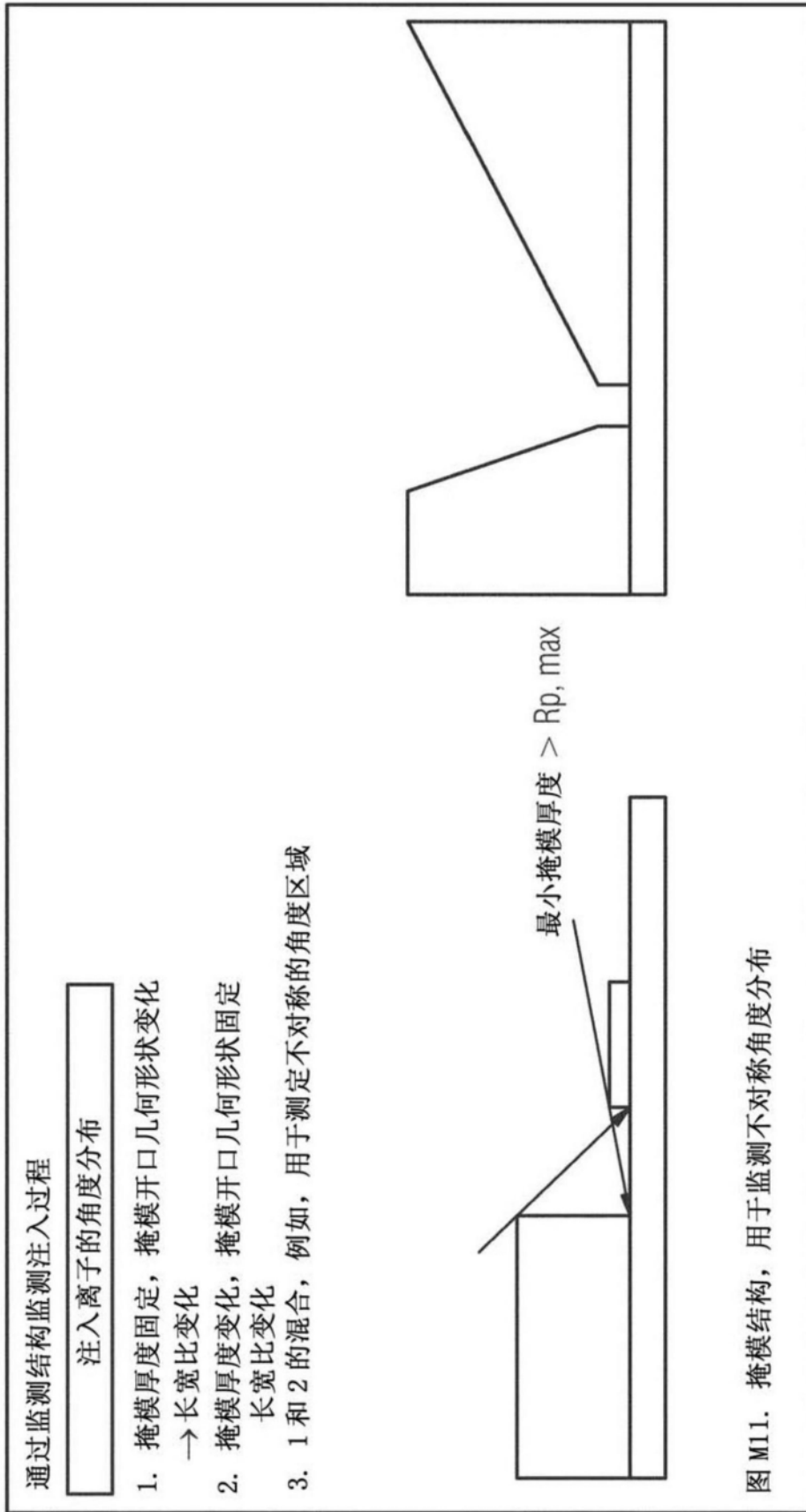


图57

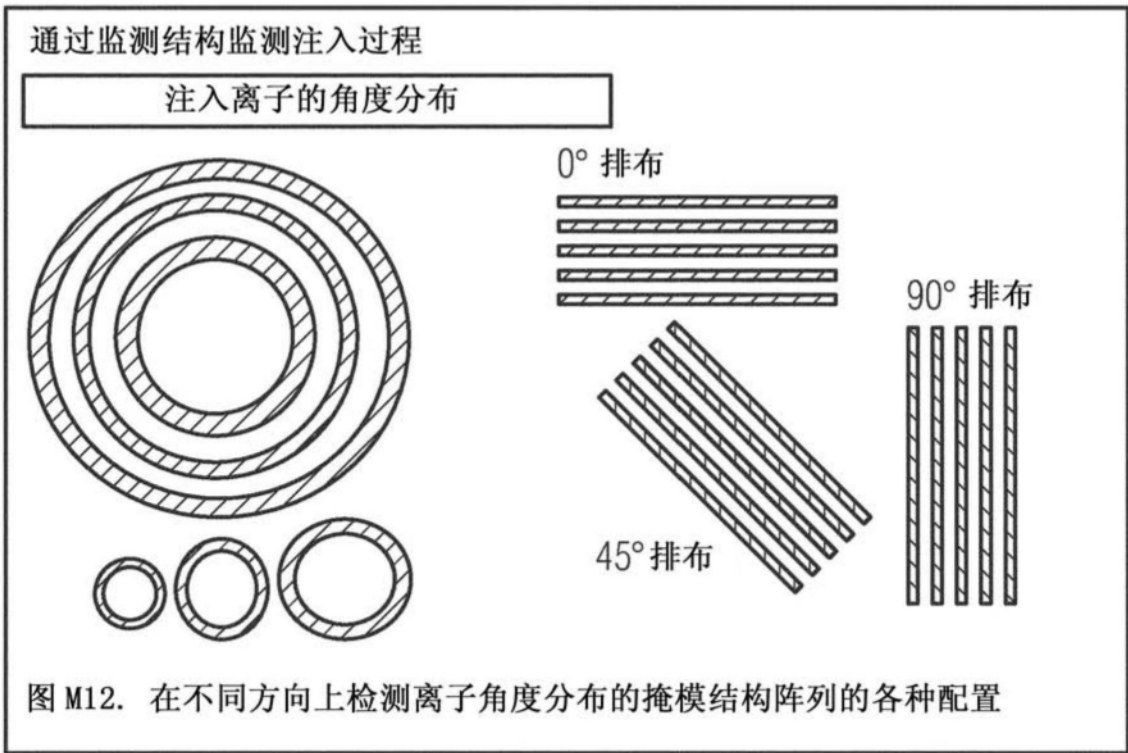


图58

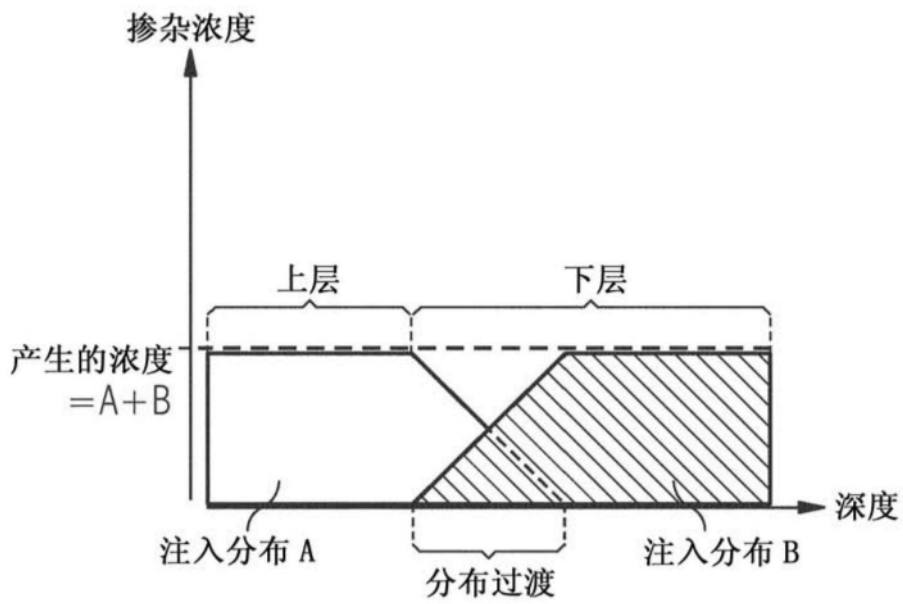


图59