



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104321459 B

(45)授权公告日 2018.04.13

(21)申请号 201380012241.1

(22)申请日 2013.02.01

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104321459 A

(43)申请公布日 2015.01.28

(30)优先权数据

61/594,542 2012.02.03 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.09.02

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2013/024267 2013.02.01

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/116594 EN 2013.08.08

(73)专利权人 希捷科技有限公司

地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 P·G·皮彻

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

代理人 何焜

(51)Int.Cl.

G23C 14/00(2006.01)

G23C 14/06(2006.01)

G23C 14/22(2006.01)

H01J 37/317(2006.01)

G23C 14/48(2006.01)

审查员 谢荟

权利要求书2页 说明书11页 附图5页

(54)发明名称

形成层的方法

(57)摘要

在许多薄膜应用中,将在其上形成层的表面可包括:若干不同材料,一些是电绝缘的而一些是导电的;和/或若干不同布局。这些表面可影响该表面的带电效果,从而导致与包含带电粒子的传入粒子束的不同并且可能未知的相互作用。当前利用的工艺通过将电子束与离子束组合由此寻求获得净零电荷,仅补偿组成该束的带电粒子。

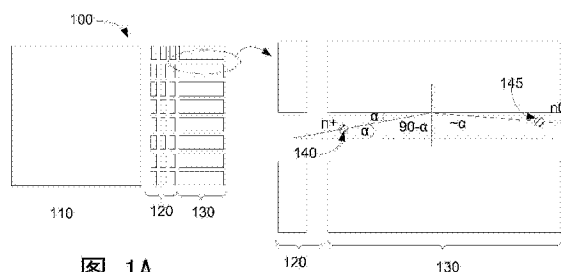


图 1A

图 1B

1. 一种形成层的方法,所述方法包括:
提供具有至少一个表面的衬底,所述至少一个表面上适于进行沉积;
提供前体离子束,所述前体离子束包括离子;
中和所述前体离子束的至少一部分离子以形成中性粒子束,所述中性粒子束包括从所述前体离子束的离子中和而来的中性粒子;以及
将所述中性粒子束引向所述衬底的表面,
其中所述中性粒子具有不大于100eV的注入能,并且所述粒子束的中性粒子在所述衬底上形成层。
2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述中和前体束的至少一部分离子的步骤包括将所述前体粒子束引向金属表面。
3. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述中和前体束的至少一部分离子的步骤包括将所述前体离子束引向离子光栅以形成经改性的前体粒子束。
4. 如权利要求3所述的方法,其特征在于,所述离子光栅包括三个单独光栅,其中第三光栅被电偏压。
5. 如权利要求3所述的方法,其特征在于,还包括将所述经改性的前体粒子束引向高长宽比光栅。
6. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述中和前体束的至少一部分离子的步骤包括质量选择技术以形成经改性的前体粒子束。
7. 如权利要求6所述的方法,其特征在于,还包括将所述经改性的前体粒子束引向高长宽比光栅。
8. 如权利要求7所述的方法,其特征在于,所述高长宽比光栅是电偏压的。
9. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述粒子包括碳。
10. 一种形成层的方法,所述方法包括:
提供具有至少一个表面的衬底,所述至少一个表面上适于进行沉积;
提供前体离子束,所述前体离子束包括离子;
通过将前体离子束引向离子光栅以中和所述前体离子束的至少一部分离子,以形成经改性的前体粒子束;以及
将所述经改性的前体粒子束引向高长宽比光栅以形成中性粒子束,所述中性粒子束包括从所述经改性的前体粒子束的离子中和而来的中性粒子;以及
将所述中性粒子束引向所述衬底的表面,
其中所述中性粒子具有不大于100eV的注入能,并且所述粒子束的中性粒子在所述衬底上形成层。
11. 如权利要求10所述的方法,其特征在于,所述高长宽比光栅是电偏压的。
12. 如权利要求10所述的方法,其特征在于,所述粒子包括碳。
13. 如权利要求10所述的方法,其特征在于,还包括在将前体离子束引向高长宽比光栅之前将所述前体离子束引向加速-减速模块和/或束成形模块。
14. 如权利要求10所述的方法,其特征在于,所述前体粒子束的离子的至少95%被中和以形成中性粒子束。
15. 一种形成层的方法,所述方法包括:

提供具有至少一个表面的衬底,所述至少一个表面上适于进行沉积;
提供前体离子束,所述前体离子束包括离子;
将所述前体离子束引向质量选择技术以形成经改性的前体粒子束;以及
将所述经改性的前体粒子束引向高长宽比光栅以形成中性粒子束,所述中性粒子束包括从所述经改性的前体粒子束的离子中和而来的中性粒子;以及
将所述中性粒子束引向所述衬底的表面,
其中所述中性粒子具有不大于100eV的注入能,并且所述粒子束的中性粒子在所述衬底上形成层。

16. 如权利要求15所述的方法,其特征在于,所述离子源是窄束离子源。

17. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,所述高长宽比光栅是电偏压的。

18. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,所述前体离子束的离子和所述中性粒子束的中性粒子两者具有不大于100eV的注入能。

19. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,所述前体粒子束的离子的至少95%被中和以形成中性粒子束。

20. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,所述粒子包括碳。

形成层的方法

背景技术

[0001] 在许多薄膜应用中,在其上拟形成层的表面可包括若干不同的材料,一些是电绝缘的而一些是导电的;和/或若干不同的形貌。这类表面可能影响表面的充电效应并由此造成与包含带电粒子的入射粒子束之间的不同的和可能未知的相互作用。当前利用的处理仅通过将电子束与离子束结合来补偿构成束的带电粒子,由此寻求具有零的净电荷。

发明内容

[0002] 一种形成层的方法,该方法包括:提供具有适于在其上作沉积的至少一个表面的衬底;提供前体离子束,该前体离子束包括离子;中和前体离子束的离子的至少一部分以形成中性粒子束,所述中性粒子束包括中性粒子;以及将中性粒子束引导朝向衬底表面,其中中性粒子具有不大于100eV的注入能量,并且粒子束的中性粒子在衬底上形成层。

[0003] 一种形成层的方法,该方法包括:提供具有适于在其上作沉积的至少一个表面的衬底;提供前体离子束,该前体离子束包括离子;通过将前体离子束引向离子光栅而中和前体离子束的离子的至少一部分以形成改性的前体粒子束;以及将改性的前体粒子束引向高长宽比光栅以形成中性粒子束;以及将中性粒子束引向衬底的表面,其中中性粒子具有不大于100eV的注入能量,并且粒子束的中性粒子在衬底上形成层。

[0004] 一种形成层的方法,该方法包括:提供具有适于在其上作沉积的至少一个表面的衬底;提供前体离子束,该前体离子束包括离子;将前体离子束引向质量选择技术以形成经改性的前体粒子束;以及将改性的前体粒子束引向高长宽比光栅以形成中性粒子束;以及将中性粒子束引向衬底的表面,其中中性粒子具有不大于100eV的注入能量,并且粒子束的中性粒子在衬底上形成层。

[0005] 本公开的上面概述不旨在描述本公开的每个公开的实施例或每个实施方式。下面的描述更具体地例示出说明性实施例。在贯穿本申请的若干位置,通过示例列表提供指引,所述示例列表可用于多种组合。在每种情形下,所引述的列表仅充当代表性组并且不应当被解释成穷尽性列表。

[0006] 附图描述

[0007] 图1A示出示例性系统的说明性示图;而图1B示出图1A所示系统的一部分的近视图。

[0008] 图2是具体示例性系统中的束发散($^{\circ}$)相对于离子光栅的第三光栅的偏压的曲线图。

[0009] 图3示出示例性公开系统的示意图。

[0010] 图4示出表面注入如何能够通过插入和位移效应来调制表面密度。

[0011] 图5示出示例性分子离子的束扩展。

[0012] 这些附图不一定按比例示出。附图中使用的相同附图标记表示相同部件。然而,将理解在给定附图中使用数字来指代部件不旨在限制用另一附图中同一数字标记的部件。

具体实施方式

[0013] 在以下描述中,参照形成本说明书一部分的附图集,其中通过图示示出了若干特定实施例。应当理解的是,可构想和作出其他实施例而不背离本公开内容的范围或精神。因此,以下详细描述不应按照限制的意义来理解。

[0014] 通过术语“约”,在说明书和权利要求中使用的表示部件大小、量以及物理性质的所有数字应被理解为在任何情况下被修改,除非另外指明。因此,除非相反地指明,否则在上述说明书和所附权利要求中陈述的数值参数是近似值,这些近似值可根据利用本文中公开的示教的本领域技术人员所寻求的性质而变化。

[0015] 通过端点对数值范围的陈述包括包含在该范围内的所有数值(例如1到5包括1、1.5、2、2.75、3、3.80、4以及5)以及该范围内的任何范围。

[0016] 如说明书以及所附权利要求书中所使用地,单数形式的“一”、“一个”以及“该”包括具有复数引用的实施例,除非该内容另外明确地指出。如本说明书和所附权利要求书中使用地,术语“或”一般以包括“和/或”的意思来使用,除非该内容明确地指出相反情形。

[0017] “包括”、“包含”或类似术语表示涵盖但不限于,即包括并且非排他的。应当注意,“顶”和“底”(或者类似于“上”和“下”)被严格地利用于相对描述并且不暗示着所述要素被定位在其中的物品的任何总取向。

[0018] 本文中利用的“层”可指衬底表面上的材料、在衬底界面处的材料(即部分注入到表面内但也暴露(宛如在)表面上的材料)、衬底内的材料(即被注入到衬底并且不被暴露在衬底表面的材料)或其任意组合。层的形成因此可包括在大块衬底内注入材料(一般仅至几纳米深或略微低于表面);在衬底表面注入材料(例如部分嵌入到衬底中);在衬底表面上(或在已通过所公开的方法形成的材料上)沉积材料;或其组合。也应当注意,随着层被形成,表面连续地向上移离衬底。本文中利用的“薄膜”可指存在于衬底表面上的材料。层因此可仅包括薄膜以及在衬底中的薄膜和材料。本文公开的方法可用来形成层。利用本文公开的方法形成层可包括表面改性、材料合成、组合改性或它们的组合。如本文公开的,层的形成可包括可约束至表面层原子或来自表面的一些键长内的过程相互作用。利用所公开的方法的层形成也可被称为表面下植入(surface sub-plantation, SSP)。

[0019] 本文公开了延伸和改善表面纳米设计技术的方法、过程和系统。所公开的方法例如使用各方法和技术(包括中性粒子束)给予表面下植入(SSP)和接口设计。在所公开的方法和系统中,处理发生在距离表面从子单层至若干键长的范围内的深度标度上。其应用包括表面改性、材料合成在从表面延伸若干纳米的深度标度上的组合改性、蚀刻和界面设计。在这里特别讨论了碳层和氢化碳层两者,但所公开的方法和考虑可适用于其它材料,包括亚稳表面组成或表面层。本领域内技术人员在阅读了本说明书之后将理解所公开的方法适用于碳和氢化碳以外的材料。

[0020] 在许多重要的薄膜应用中,例如数据存储中的滑动件换能器技术、微电子或生物医药应用,表面可包括若干不同的材料,一些是电绝缘的,一些是半导体的,一些是导电的(它们可例如被接地至电浮置结构),其标度从亚微米以下至厘米。也有位于边缘附近的薄膜形貌和/或结构。所有这些因素以及其它因素可能影响充电效应。对绝缘和/或导电表面的充电或微分充电可能影响入射带电粒子通量、能量和到达角分布,这些中的任意一个或

全部对表面纳米设计过程是有害的。

[0021] 此外,许多基于离子束和等离子体的过程牵涉到等离子体表面相互作用。当表面与等离子体接触时,在表面上形成鞘层,所述鞘层可能影响通量、能量以及带电粒子跨鞘层边界的入射角分布。在平的、同质的半无限衬底表面上均匀入射的带电粒子通量中,鞘层厚度是均匀的并且其电场线与衬底表面正交,即鞘层本质上是一个维度的,因为带电粒子跨鞘层流动。鞘层场的扭曲可伴随地影响在材料界面处入射的粒子的通量、能量和角分布。若干因素可能造成等离子体鞘层扭曲。示例可包括在绝缘材料和导电材料之间的界面。即使在平面几何形状中,鞘层厚度差可能源自界面的任一侧上形成的鞘层电位的差(绝缘体对于给定等离子体特征达到浮置电位,导体电位可例如通过偏压等而改变)。跨界面的结果电位差可局部地扭曲来自表面正交方向的电场,并因此扭曲跨该表面的离子流动。形貌特征和衬底/晶片边缘也可能扭曲等离子体鞘层。扭曲的程度依赖于鞘层厚度对于形貌特征的长度标度的相对尺寸并在鞘层宽度与特征尺寸相当或更小时变得重大,并具有入射带电粒子通量、能量和角分布的伴随扭曲。

[0022] 由于上述问题、表面的充电效应和等离子体表面相互作用,本公开利用中性粒子束与表面相互作用。中性束的使用消除了与等离子体鞘层的相互作用(或甚至使得等离子体鞘层的形成最小化)并可最小化或甚至防止衬底表面和所形成的层上的电压或电荷的产生。由于这些电压对于某些应用可能是成问题,因此这是有益的。例如,隧道磁阻(TMR)头可能由于在制造过程中电荷的形成而受到有害的影响。此外,如果电荷在层成形期间不被形成在表面上,则形成层的粒子更可靠地受到控制。这可实现具有更均匀特征的层的制造。

[0023] 传统的沉积、蚀刻和注入过程使用与充电处理粒子的静电和/或电磁相互作用来控制粒子特征和粒子传输。用于中和衬底上的表面电荷的方法包括通过电子束辐射的束脉冲和溢流。通过在重新结合时取得表面电荷平衡,前者依赖于脉冲和后者之间的电荷的表面扩散消散。一种更常见的、可实践的尝试减少衬底上的充电效应的现有技术方法是通过电子束源或例如通过等离子体桥式中和器将电子(例如对于正离子束)“耦合”至离子束。然而,在束转移期间没有离子和电子的重新结合发生并且这种情况是“平衡”到达衬底的相反电荷(粒子)的量中的一个。因而,之前利用的中和离子束处理与通过等离子束(前面讨论)的处理具有相似性。结果,充电效应在之前利用的处理和系统中可能无法被完全消除。

[0024] 另一方面,所公开的方法和系统利用高受控的、低能的中性粒子束,该中性粒子束随后作为真正中性粒子与衬底相互作用。这可消除或起码减少前面提到的有害的相互作用。一般,所公开的方法寻求形成带电粒子束,其中这些粒子具有期望的性质,并随后中和这些粒子而不会有害地改变粒子的性质。

[0025] 所公开的方法一般可包括步骤:提供衬底;提供前体离子束、形成中性粒子束;以及将中性粒子束引向衬底以形成层。

[0026] 提供衬底

[0027] 提供衬底可通过例如布置、配置或以其它方式将子系统定位在系统中而完成。其上拟形成层的衬底可以是任何类型的材料或结构。在一些实施例中,示例性衬底可具有至少一个表面,在其上将发生层形成。这一表面可被称为“适于层形成”,它可包括简单地布置在处理腔内以使层被形成在至少期望的表面上。在一些实施例中,衬底可包括形成在其上或其中的结构或设备。在某些实施例中,可利用本文公开的方法在各结构上形成覆层;并且

在这些实施例中,其上形成有覆层的设备可被认为是衬底。

[0028] 前体离子束

[0029] 所公开的方法也包括提供、形成或以其它方式获得前体离子束的步骤。前体离子束包括可具有期望性质的离子或带电粒子。一旦离子束被中和,中和粒子、原先的带电粒子或离子仍然具有期望的性质。期望的性质可包括例如能量、速度、角发散分布以及它们的组合。在一些实施例中,前体离子束中的离子可具有一个或多个性质,这些特征被选择以使其中和形式具有期望的性质。带电粒子可或者是带正电的或者是带负电的。本领域内技术人员在阅读本说明书后能对更具体讨论的理念作出适应,所讨论的这些理念可具体相对于带正电的离子用于到带负电的离子而被具体地讨论。

[0030] 提供前体离子束可通过利用市面上有售的设备来达成。例如,宽束离子源或窄束离子源均可被利用。前体离子束的源的类型例子可包括例如电感耦合的RF离子源以及直流(DC)宽束离子源。

[0031] 中和前体离子束

[0032] 在形成前体离子束之后,然后中和前体离子束。该步骤(它可以多步骤方式执行或者也可以不那样)将前体离子束的离子改变至中性粒子束的中性粒子。术语“中和前体离子束的离子”(和/或类似的术语)一般意指至少一些离子已被中和。因此,如本文中使用的,术语“中和的粒子束”指其中前体离子束的至少一些离子已被中和的粒子束。因而,中和的粒子束包括部分中和的粒子束和完全中和的粒子束。在一些实施例中,基本全部离子已被中和。在一些实施例中,至少大约5%的离子已被中和。在一些实施例中,至少大约20%的离子已被中和。在一些实施例中,至少大约50%的离子已被中和。在一些实施例中,至少大约75%的离子已被中和。在一些实施例中,至少大约95%的离子已被中和。在一些实施例中,大约100%的离子已被中和。

[0033] 在一些实施例中,前体粒子束可使用表面中和技术被中和。这些表面中和技术可被配置成很大程度地保留入射离子束的能量和方向特征(“期望的性质”),由此允许从事先准备的前体离子束中产生高受控的中性粒子束。

[0034] 例如,中和离子的一种方式可牵涉到在表面(例如金属表面)引导带电粒子束。接近表面的离子可例如通过共振或俄歇效应被中和。如果离子以掠射角贴近地接近表面,散射过程的动能将导致低角(近镜面)前散射,并具有非常低的动能损失,由此产生其能量和方向(即“期望的性质”)接近入射离子束的能量和方向的中性粒子。使用这种掠射碰撞的前体离子束的中和由于诸如表面粗糙度和表面污物的存在的因素而变得更为困难或功能难以实现。

[0035] 替代地,通过从等离子体边界的离子提取以及向高长宽比光栅的直接离子注入,能从前体离子束产生中性粒子。在这种情形下,在离子行进通过接地光栅的高长宽比孔时,通过侧壁相互作用,中和发生。前面的方法已尝试这样的控制,但在制造掠射、中和碰撞方面已表现出有限的控制,这是因为等离子体半月形边界与光栅孔受糟糕控制的相互作用,该相互作用确定了形状并因此确定从半月形表面射出的离子方向。此外,源气压可导致快速离子和慢速中性子之间的电荷交换振荡,这可降低束的质量(例如通过其变宽的能量分布)并减少中性含量。

[0036] 在一些实施例中,所公开的系统和方法因此利用离子光学器件来控制扫掠侧壁碰

撞,并由此改善对离子至中性子转换过程的控制。在一些实施例中,可利用四光栅系统。例如,通过宽束离子源,高长宽比光栅可形成第四光栅,其作为所公开的方法和系统中典型利用的三光栅系统的补充。

[0037] 示例性系统的示意图可从图1A中看到。图1A中例示出的系统是宽束离子源系统的一个示例。图1A中所见的系统100包括离子源110(以提供前体离子束)。离子源110可包括例如宽束离子源或窄束离子源。离子源的特定示例是电感耦合的RF离子源。系统也可包括用于中和离子的组件,例如离子光栅120和高长宽比光栅130。离子光栅120可包括例如常见利用的离子光学系统。离子光栅120一般包括三组光栅,即第一光栅、第二光栅和第三光栅,其中第一光栅是最靠近离子源的一个,而第三光栅是最远离离子源的一个。在本公开的方法或系统中利用的离子光栅120中,第三光栅是电偏压的,不像它在现有技术系统中是接地的。系统100也可包括高长宽比中和光栅130。高长宽比中和光栅可或者接地或者偏压。第三光栅的偏压电位可控制离子进入高长宽比中和光栅的注入角。

[0038] 图2示出对于的源、光束和光栅几何形状和偏压参数的给定集合的特定说明示例,其示出例如第三光栅偏压电位的离子光学参数变化可如何用来显著地影响离子进入高长宽比光栅130的注入角。应当注意,许多因素确定束的最终发散极限。在该特定说明性示例中,可以看到,相对于具有接地的第三光栅光学器件(其工作以产生具有 20° 左右的发散的发散束)的三光栅系统,可获得第三光栅偏压的大窗口以减少束发散。第三光栅偏压的相对窄的窗存在,这将产生低束发散(小于约 5°)以在高长宽比光栅内产生直接对应的掠射角侧壁入射,从而产生中性粒子束。

[0039] 离子光栅的偏压第三光栅可起作用以提供发散小得多的粒子束以进入高长宽比光栅130。这是通过带电粒子束上的其静电场的作用实现的。伴随地,粒子以较低的入射角击中高长宽比光栅的板,并因此当它们被形成或改变时保持不变(即维持它们“期望的性质”)。由于它产生具有期望性质的更受控制的粒子束,因此这是有利的。

[0040] 一旦前体粒子束已经过离子光栅,它可被称为经改性的前体离子束。经改性的前体粒子束可随后被引导通过高长宽比光栅。应当注意,前体离子束和/或经改性的前体离子束可被引导通过其它组件和/或具有在被引导通过离子光栅之前和/或之后在其上执行其它步骤。还应当注意,系统在一些实施例中可包括一个以上的离子光栅或不同离子光学组件。

[0041] 图1B示出离子光栅120的第三光栅的以及高长宽比中和光栅130的放大部分。如图所示,束发散(α)和侧壁掠射角($90-\alpha$)相对于法线而言。图1B中又示出在其击中高长宽比中和光栅130之前并在击中侧壁之后的带电(n^+)粒子140,由此变为中性(n^0)粒子145。

[0042] 对于具有给定发散性和直径的束,可设定光栅的长宽比的几何考量以影响束粒子与壁的掠射相互作用的期望程度(就击中壁的束粒子比例和粒子在传输通过壁的过程中与壁相互作用的次数而言),并因此影响当离开高长宽比中和光栅130时束的中和(或替代地离子化)程度。

[0043] 在衬底处引导中性粒子束

[0044] 在前体粒子束被中和以形成中性粒子束之后,中性粒子束随后被引导至衬底。一般来说,诸如离子源、粒子光栅、高长宽比光栅和可选用的衬底保持器(或单纯衬底)可被配置在一系统中,以使粒子并最终使最终中性粒子与衬底相互作用。本领域内技术人员在细

阅本说明书后将理解应当如何配置这一系统。应当注意,对于部分中和的束,如果在仪器设计中未作出对至衬底台的“投掷”距离的适当考量以及过程窗口中的沉积速率的适宜控制,那么束可能表现出束发散(具有过程控制的可能损失)。

[0045] 形成层

[0046] 可利用所公开的方法来形成任何材料层;或换句话说,被插入到表面层中的中性粒子可具有任何身份。在一些实施例中,可利用所公开的方法来形成包括碳的层。在一些实施例中,可利用所公开的方法来形成包括作为烃的碳(例如氢化碳)的层。然而应当理解,碳和烃仅仅是示例,并且所公开的方法不仅限于碳和/或烃层或膜的形成。

[0047] 如前所述,本文中利用的“层”可指衬底表面上的材料、在衬底界面上的材料(即部分注入到表面内但也暴露(宛如在)表面上的材料)、衬底内的材料(即被注入到衬底并且不被暴露在衬底表面的材料)或其任意组合。层的形成因此可包括在大块衬底内注入材料(一般仅至几纳米深或略微低于表面);在衬底表面注入材料(例如部分嵌入到衬底中);在衬底表面上(或在已通过所公开的方法形成的材料上)沉积材料;或前述组合。也应当注意,随着层被形成,表面连续地向上移离衬底。本文中利用的“薄膜”可指存在于衬底表面上的材料。层因此可仅包括薄膜以及在衬底中的薄膜和材料。本文公开的方法可用来形成层。利用本文公开的方法形成层可包括表面改性、材料合成、组合改性或它们的组合。如本文公开的,层的形成可包括可限制于表面层原子或来自表面的一些键长内的过程相互作用。利用所公开的方法的层形成也可被称为SSP。

[0048] 构成中性粒子束的材料将是拟被形成的层的材料的组成。在一些实施例中,来自中性粒子束的材料将被插入到衬底中,在这种情形下,来自中性粒子束的材料和衬底材料的混合物将被形成。在一些实施例中,含碳(例如)的层被形成。在一些其它实施例中,含氢化碳(碳和氢两者)的层被形成。所形成的层可具有不同的厚度。层的厚度,与本文中利用的术语一样,指厚度的度量。例如,厚度的度量可提供平均厚度,或可提供能够关联于层的厚度或平均厚度的性质。例如,层可从大约子单层(小于材料的单层)至大约30Å厚。在一些实施例中,层可从大约15Å至大约25Å厚;而在一些实施例中,层可从大约15Å至大约20Å厚。

[0049] 可利用所公开的方法来设计层的组成。例如,可利用所公开的方法来设计含碳层(要注意含碳层仅作为示例使用并且组成设计可用任何类型的材料来进行)。要注意,可利用组成设计以形成含碳层和/或含氢化碳层。将所公开的过程或方法应用于含碳层的沉积能允许设计sp³/sp²比的层。“sp³”和“sp²”指可含(例如)碳原子的杂化轨道类型。sp³碳原子被键合于四个其它原子,例如四个其它碳原子,因为它包含四个sp³轨道,sp³轨道例如形成对另一碳原子非常强的σ键。sp²碳原子键合于三个其它原子,例如三个其它碳原子,因为它包含三个sp²轨道,sp²轨道形成比σ键弱的π键。在包括用于磁记录头和介质的碳覆层的多种应用中,sp³键比sp²键更多的碳经常是期望的,因为碳更稳定(即,它包含更强的键)。在一些实施例中,所公开的过程或方法可允许形成更稳定的含碳层,即sp³键比sp²键更多的含碳层。这类碳层可具有更高的热弹性、更好的机械性质、更好的化学性质或其组合。

[0050] 如前面提到的,层可指衬底表面上的材料、在衬底界面上的材料(即部分注入到表面内但也暴露(宛如在)表面上的材料)、衬底内的材料(即被注入到衬底并且不被暴露在衬底表面的材料)或其任意组合。在诸实施例中,本文公开的方法不基于成核生长机理来形成

层。成核生长机理从根本上限制了连续薄膜的最小厚度。

[0051] 一些公开的方法包括处理或沉积低能粒子以最小化不期望的注入效果。这里可利用下面的构造以解释粒子的能量。在接地束粒子源的示例性情形下,粒子就在与未偏压、未充电的衬底表面相互作用之前的入射能量(V_{inc})是通过束电压(或屏电压) V_b 和等离子体电位 V_p 之和给出的,假设入射粒子是单原子、单带电的离子。在这种情形下,注入能量(V_{imp})与所描述的入射能量(V_{inc})相同。对于单带电分子离子或簇团的情形,假设一旦与衬底表面上的原子相互作用,则分子轨道重叠导致分子(或簇团)完全分裂成其组成原子物种。入射动能(V_b+V_p)减去分子或簇团解离能随后在每个原子“裂片”上根据其原始入射分子或簇团质量的质量分数(质量_{原子组成}/质量_{总分子或簇团})被分割,以给出每个裂片的 V_{imp} 。

[0052] 可选择粒子的注入能量(选择最大值)来将离子投射范围约束表面之中小于若干键长的最大值。也可选择粒子的注入能量(选择最小值)以使其至少足以使表面能垒的穿透性允许将粒子纳入到表面中。由于所选择的最小能量(足以使粒子穿透入衬底中),所以层的生长不是经由典型的成核生长机理完成的。所选的注入粒子能量的范围使得至目标原子的动能转移要么不足以产生置换,或者平均起来总体地产生仅一个或两个置换反应,或者足以允许插入到表面内或离表面的若干键长内的距离。

[0053] 一旦与衬底表面接触,粒子可被分裂成较小的粒子。在这些情形下,粒子本身、这些入射粒子的裂片或其某些组合可具有能量,即不大于100eV的注入能量。当在本文中讨论注入能量时,应当理解,这些能量可指入射粒子、这些入射粒子因为其与表面的相互作用产生的裂片或其任意组合。在一些实施例中,所公开的方法包括利用具有几十(10s)个电子伏(eV)的注入能量的粒子。在一些实施例中,方法包括利用具有小于约100eV的注入能量的粒子。在一些实施例中,方法包括利用具有不大于约80eV的注入能量的粒子。在一些实施例中,方法包括利用具有不大于约60eV的注入能量的粒子。在一些实施例中,方法包括利用具有不大于约40eV的注入能量的粒子。在一些实施例中,方法包括利用具有不大于约20eV的注入能量的粒子。在一些实施例中,方法包括利用具有从大约20eV至大约100eV的注入能量的粒子。在一些实施例中,方法包括利用具有从大约20eV至大约80eV的注入能量的粒子。在一些实施例中,方法包括利用具有从大约20eV至大约60eV的注入能量的粒子。在一些实施例中,方法包括利用具有从大约20eV至大约40eV的注入能量的粒子。

[0054] 所公开的方法可从成核改变基本生长机理,这依赖于表面迁移效果。基于成核的方法一般在利用小于约20eV的入射能量的过程中(例如典型的溅射沉积方法从大约7eV至大约15eV;并且蒸镀方法小于约1eV)。所公开的方法通过至近表面区的注入而抑制了迁移性。保持注入区为浅的以产生超薄更改的表面区。为了实现这个目的,利用低能入射粒子,它在实践中难以在有用的束通量下产生。传统的低能注入仍然利用具有KeV能量的粒子以取得可商用的束电流。所利用的粒子是相对大的分子或簇团,以使裂片具有低能量;例如硅掺杂。对于纳米规模薄膜的功能设计,这种分裂过程不允许足够的控制。因此,所公开的方法利用在少量分子上分割的非常低的入射能以取得可控制的、非常低的注入能量粒子。

[0055] 粒子能量、束电流、束发散、电荷状态和离子质量的处理控制在传统处理技术中一般是静态的。然而,可使用所选择的束参数的变化以例如定制界面、具有和不具有样本测向运动的组成或损伤中心浓度分布。共同地,可通过在例如润滑设计应用中在薄膜生长期间或之后适当切换质量过滤参数来取得可变掺杂的多层纳米结构或选择深度或表面掺杂。

[0056] 可选步骤

[0057] 所公开的方法也可包括其它可选步骤。这些可选步骤可利用多种技术改善低能处理技术。也可利用这些可选步骤以提供具有前述“期望性质”的离子。在利用这些可选步骤以给予离子/中性粒子期望的性质的一些实施例中,这些可选步骤一般在离子被引导通过高长宽比光栅前被执行。一旦离子被中和,控制并因此性质改性可能是困难的(如果不是不可能的)。

[0058] 可选步骤的一个示例是离子的加速和/或减速,这在本文中可被称为“离子加速-减速”方法。这种可选方法和/或步骤可在粒子束被中和之前执行。这种粒子加速-减速方法可通过质量选择、束调整和成形结合测角动能处理来实现(通过目标处理表面的测角(角)配置的粒子束参数的协同实时变化(相对于束轴))以控制承担处理现象的的控制的控制因数,例如纳米材料和亚稳表面材料的蚀刻、界面纳米设计、纳米掺杂、表面纳米设计。离子加速-减速方法可避免低能量离子束传输效果和低能量下糟糕的离子源性能特性(例如无法使用的低束电流)以改善处理控制。离子可在高能量下被加速和调整,并随后就在与衬底碰撞之前被减速至冲击能。然而,低能量处理的存在限制可能极窄并且容易被破坏。

[0059] 在另一实施例中,可选择地成形束。束的成形可发生在例如离子源或例如在质量选择之后。在一些实施例中,窄的矩形或线形束可以是有利的形状。另一有利方面是中性粒子束本身是静止的并且衬底可相对于束机械地被扫描。不管是成形、静态入射还是独立衬底扫描都是奇诺测角(kinogoniometric)中性粒子处理中的重要方面。

[0060] 示例性系统

[0061] 在这里公开了方法和系统两者。一般来说,可通过获得执行一个或多个所公开的方法步骤的组件来配置所公开的系统。在一些实施例中,所公开的系统可包括离子源、离子光栅和高长宽比光栅。在一些实施例中,系统也可包括可选的衬底保持器。类似地,一些公开的系统可选地包括影响离子加速-减速、质量选择、束成形、束扫描、束脉冲发射的组件或这些组件的多种组合。

[0062] 图3中可以看到包括示例性基本要素但不包括可用来执行所公开方法的示例性系统或所公开系统的详细组件的示意图。图3中看到的示例性系统300包括:离子源310,它可以例如是气体离子源和/或固体离子源并可被偏压(+ve)至离子撞击电位(浮置);两个离子光学组件320a、320b,它们在这种情形下可以被例示为离子光学透镜;以及高长宽比光栅330。该示例性系统也包括可选组件:高电压(HV)离子提取透镜315、质量过滤器315、束减速和成形离子光学组合件327以及衬底保持器340。偏压的束线345可用来允许离子正确地束传输通过系统。

[0063] 在该公开的系统,为了克服起源于空间电荷扩张的束传递困难,低能离子(经由315)被提取并从离子源(310)加速,所述离子源(310)在期望的目标(衬底)撞击电位下被偏压,并且低能离子被传输通过偏压的束线345组合件以控制在束传输期间的空间电荷扩张效果。在(经由325)进行质量过滤之后,离子(经由327)被减速回到撞击电位,并且受控制的、低发散角射束被注入到高长宽比中和器件(330)。所得到的中性粒子(原子、分子或纳米簇团)束有效地维持前体离子束的能量和方向,并随后被引导至衬底(340)。可选的一组粒子偏向板也可被定位在高长宽比中和器件之后并在衬底组合件之前。这类粒子偏向板可被静电地充电以使任何电离粒子偏离束路径。

[0064] 优势/效果

[0065] 所公开的方法试图随着生长继续而将处理效果连续地约束至层的顶部几个键长。这可最小化或消除注入粒子与衬底原子的非线性原子相互作用的效果(当仅改变入射角时这仍然存在)。图4示出表面注入如何能够通过插入和位移效应调制表面密度。在一些实施例中,在正形成含碳薄膜的情形下,这也可调制sp³键杂化。

[0066] 如图4所示,表面注入可能因为若干机理而变得复杂,包括溅射蚀刻、表面能垒的穿透和离子反射。处理能量窗口可从这些效果的计算估计中估计得到。对于在碳或烃衬底表面中植入碳的情形,尺寸效果有效地确定穿透的最小能量;这从碰撞横截面的估计中被估计为大约20-25eV。这接近于典型的原子置换能,该原子置换能对应于离子束沉积(IBD)溅射沉积技术的高能量尾部。从可能的表面原子注射机理的研究来看,可计算例如来自法向入射的最大到达能量以避免生长薄膜的过度溅射并基于溅射系统的能量依存性与预测值进行比较。溅射部分地定义用于表面下植入(SSP)技术的能量上限(在某些实施例中)。两种模型预测低于大约40-42eV的最小原子注入。实践中,来自溅射结果的能量依存性的预测指示在大约60eV下仅有大约10%表面溅射损失,从在一些实施例中,对处理上限设定有效“零”的溅射损失估计。在其它实施例中,可容忍或甚至期望较大的溅射损失,例如在本例中在80eV注入能量下大约30-40%。应当注意,前面讨论的特定值应用在碳的情形下;然而这些考量适用于任何材料的实现。

[0067] 所公开的方法和系统可较为有利地提供受控的低能量、质量过滤、电荷比控制、用适当束电流校准的束粒子源用于测角动能处理技术,例如2012年4月5日提交的题为“METHODS OF FORMING LAYERS(形成层的方法)”的美国专利申请13/440,068和2012年4月5日提交的题为“METHODS OF FORMING LAYERS(形成层的方法)”的美国专利申请13/440,073,这两篇文献的内容被援引包含于此。此外,本文公开的方法和系统可能是有利的,例如推动表面碰撞处理以实现表面、界面和近表面区受控制的纳米设计。用途可包括例如掺杂、缺陷形成、蚀刻、应力控制、sp³/sp²比设计和界面设计。

[0068] 测角动能处理可利用离子束参数的协调实时变化,其具有目标处理表面的测角布置(相对于束轴)。这些方法可例如有助于控制入射粒子是否“询问”表面或子表面原子,并由此通过表面原子间电位或内部“体积”原子间电位或这两者与目标原子或原子“链”相互作用。这进而可确定是否取得所期望的表面碰撞或表面碰撞顺序、是否克服了对表面反应的势垒或者是否取得了子表面穿透。例如,可使用与选择值关联的入射粒子能量或冲击角的范围的具体分布以控制在例如掺杂浓度分布或在例如sp³/sp²深度分布中控制植入原子的深度分布,或控制表面蚀刻处理。在测角动能处理中,处理控制变量可根据处理控制算法改变以控制例如粒子束参数(例如能量、束粒子密度等)相对于衬底与粒子束轴的几何布置(例如倾斜或极角)的变化,或反之亦然。

[0069] 窄离子束一般被静电地扫描到衬底表面上以产生均匀的离子剂量。这可导致进入离子与目标原子的位置可变的角对齐,并因此导致碰撞动能的变化,即使对固定衬底位置和原子平滑表面来说也是如此。此外,束扫描可产生位置入射能、动能交换变化和位置可变的束电流密度,即便对在静态衬底上的离子源处的束能量和束离子电流的固定值也是如此。许多这些效果也适用于扫描的中性粒子束。机械扫描技术与束成形方法结合能够改善由光点粒子束扫描所产生的若干潜在测角动能处理变化效果。示例包括被形成为薄“槽”状

均匀强度分布的粒子束,并且衬底沿垂直轴或水平轴相对于束轴进行扫描以在衬底面积之上取得总体均匀的照射。一些扫描系统可使用成形的静态束外形结合衬底的高速方位角旋转再加上较慢的横向或纵向扫描运动以获得在衬底表面上的粒子辐射的均匀场。相比束扫描技术,这些技术可允许在衬底上的恒入射面积粒子密度处理,即便衬底是倾斜的。在低能纳米设计离子束处理中,空间电荷效果尤为加重。对于给定的场自由束偏压长度和束电流,对分子离子产生的束扩张的一个示例示出于图5。通过束扫描产生的场自由漂移路径(FFDP)的长度变化不只是改变粒子入射角,还能造成入射束发散(通过可变路径长度和空间电荷效应)的显著改变,所述入射束发散影响关键测角动能处理变量,这些变量跨材料处理平面也是不一致的。这可进一步通过位置可变的粒子面密度(在恒定束电流下)复杂化。这些效果可使用被设计成允许衬底在恒定FFDP和入射粒子面密度下的测角变量处理的衬底运动通过静态成形的粒子束一定程度地减轻。然而,源自短FFDP的低的、无法在实践中使用的低束电流密度和几何限制可能约束低能离子束处理的商业应用。所公开的方法和系统可提供低能中性束粒子处理,它不遭受来自这些空间充电诱发的限制并可能是在可行束粒子(通量)密度下具有可行低能粒子处理的关键。

[0070] 所公开的方法和过程也可最小化或限制层形成的“不期望效果”至离表面第一少量原子层的程度。本文公开的方法和过程可被描述为将处理粒子(那些被注入、沉积或两者兼有的粒子)与下层子表面的相互作用限制于离表面仅几个键长。随着生长继续,“少量键长”连续地移动(朝向表面)。本文公开的方法和过程也可被表征为:控制来自处理粒子(那些正被沉积的粒子)的能量向表面或近表面区中的交换或耦合,以使下层材料不受有害的影响。

[0071] 本文描述的方法和过程可替代地被表征为:允许将入射物种插入到原子表面层内,直至离表面 $30\text{\AA}$ 内。在一些实施例中,所公开的方法和过程可允许将入射物种插入到原子表面层内,直至离表面 $20\text{\AA}$ 内。在一些实施例中,所公开的方法和过程可允许将入射物种插入到原子表面层内,直至离表面 $15\text{\AA}$ 内。在一些实施例中,所公开的方法和过程可允许将入射物种插入到原子表面层内,直至离表面 $10\text{\AA}$ 内。短语“离表面的第一少量原子层”或离表面的特定度量(例如“在离表面 $30\text{\AA}$ 内”)意在指近表面层最靠近沉积/注入表面的顶部原子层。

[0072] 可使用所公开的方法和系统避免或最小化的不期望效果可包括例如损害中心或具体地指置换原子;缺陷产生和重新结合、空位和反冲;以足以使沉积层与表面下层形成界面的数量级的反冲混合;来自沉积离子的动能热耗散,这可能对来自层的期望特征(例如含碳薄膜内的 sp^3 中心)进行退火;溅射;入射粒子反射;生热;以及注入(和本征)诱发的缺陷,所述缺陷可能通过缺陷中心迁移增强局部诱导的应变的热弛豫,所述热弛豫可对来自层的期望性质(例如含碳层内的 sp^3 中心)进行退火;或前述任意组合。所公开的过程和方法可避免或最小化这些效果,可将它们约束至离表面的第一少量原子层,或两者兼有。

[0073] 入射超高温粒子能通过或者插入到已有原子之间的位点和/或通过用未重新结合的反冲原子的产生置换已有原子来穿透表面势垒,以诱发原子密度的局部增加。局部原子重构和 sp^3 键杂化可能发生以适应不平衡超热和置换粒子的存在以及结果导致的局部扭曲/应变。所公开的方法可在包含在表面的若干键长内的非常薄层中实现这个。另外,可调

整能量以尝试最小化瞬间重新结合和热能产生,它们能分别用来湮灭或退火sp³中心。

[0074] 可选择粒子的注入能量(选择最大值)来将粒子投射范围约束表面内小于若干键长的最大值。也可选择粒子的注入能量(选择最小值)以使其至少足以穿透表面能垒,以允许将粒子纳入到表面中。由于所选择的最小能量(足以使粒子穿透入衬底中),层的生长不是经由典型的成核生长机理完成的。所选的注入粒子能量的范围使得至目标原子的动能转移要么不足以产生置换,要么平均起来以总体地产生仅一个或两个置换反应,或者足以允许插入到表面内或离表面的若干键长内的距离。

[0075] 由此,公开了形成层的方法的实施例。上述实现以及其它实现落在所附权利要求书的范围内。本领域技术人员将理解本发明可利用除所公开内容之外的实施例来实施。所公开的实施例是为了说明目的而不是限定目的给出。

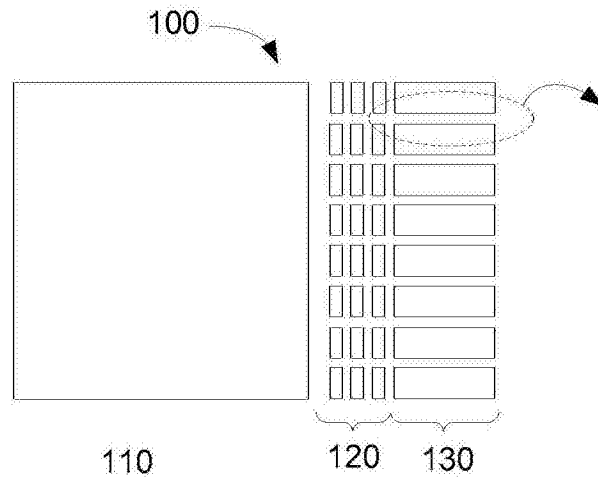


图1A

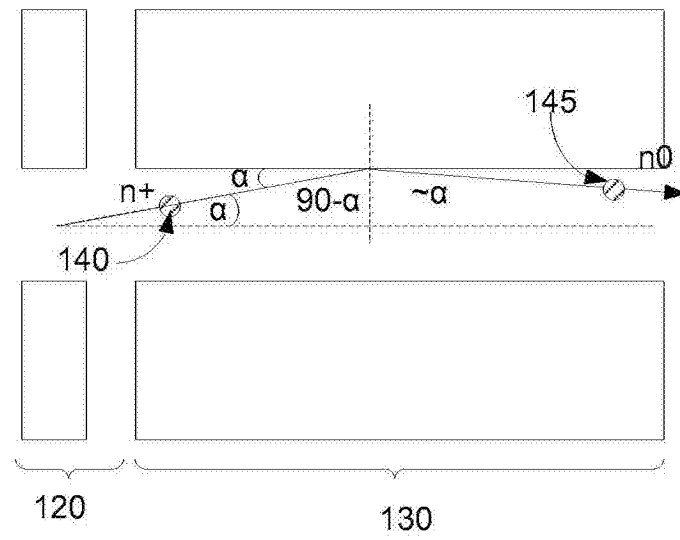


图1B

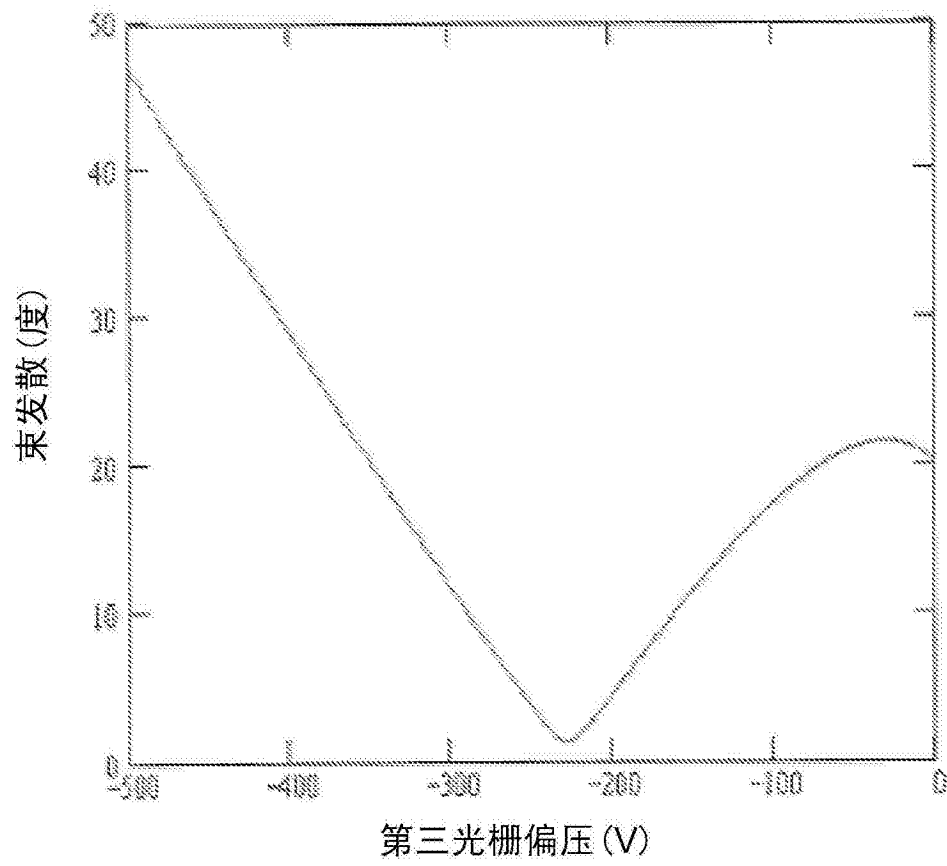


图2

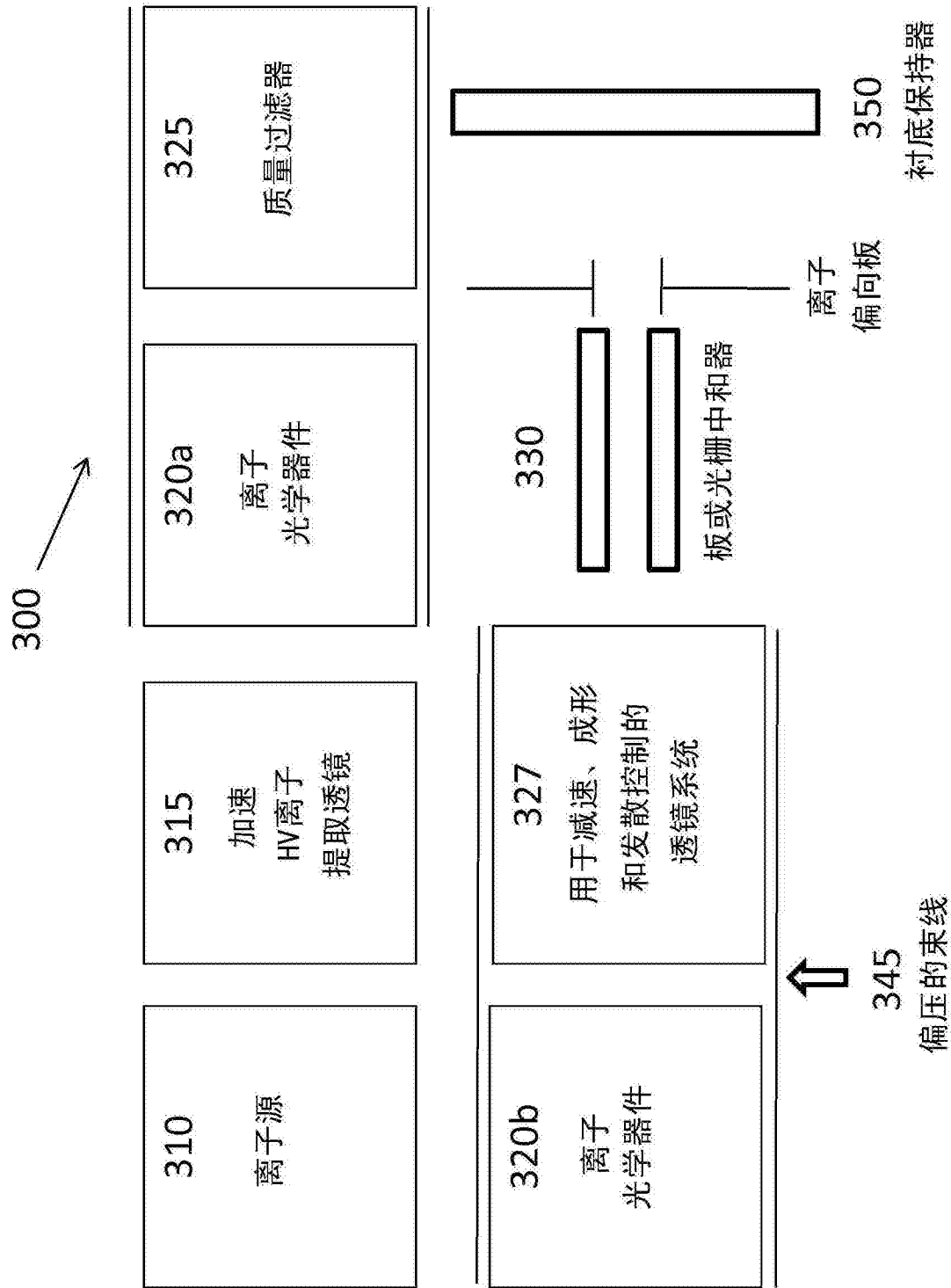


图3

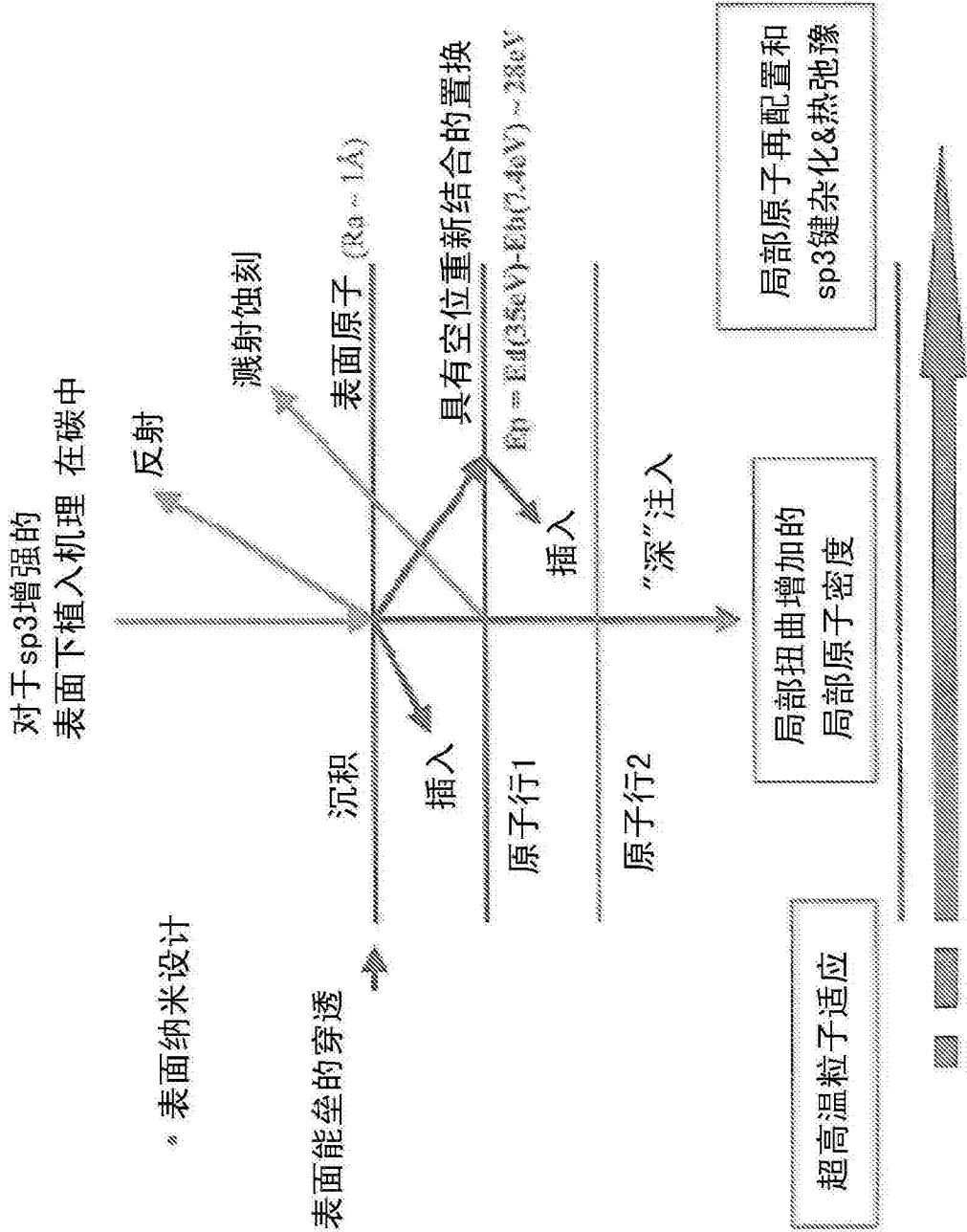


图4

1"v5"漂移, 100eV, CO_2^+ , 5mm直径束

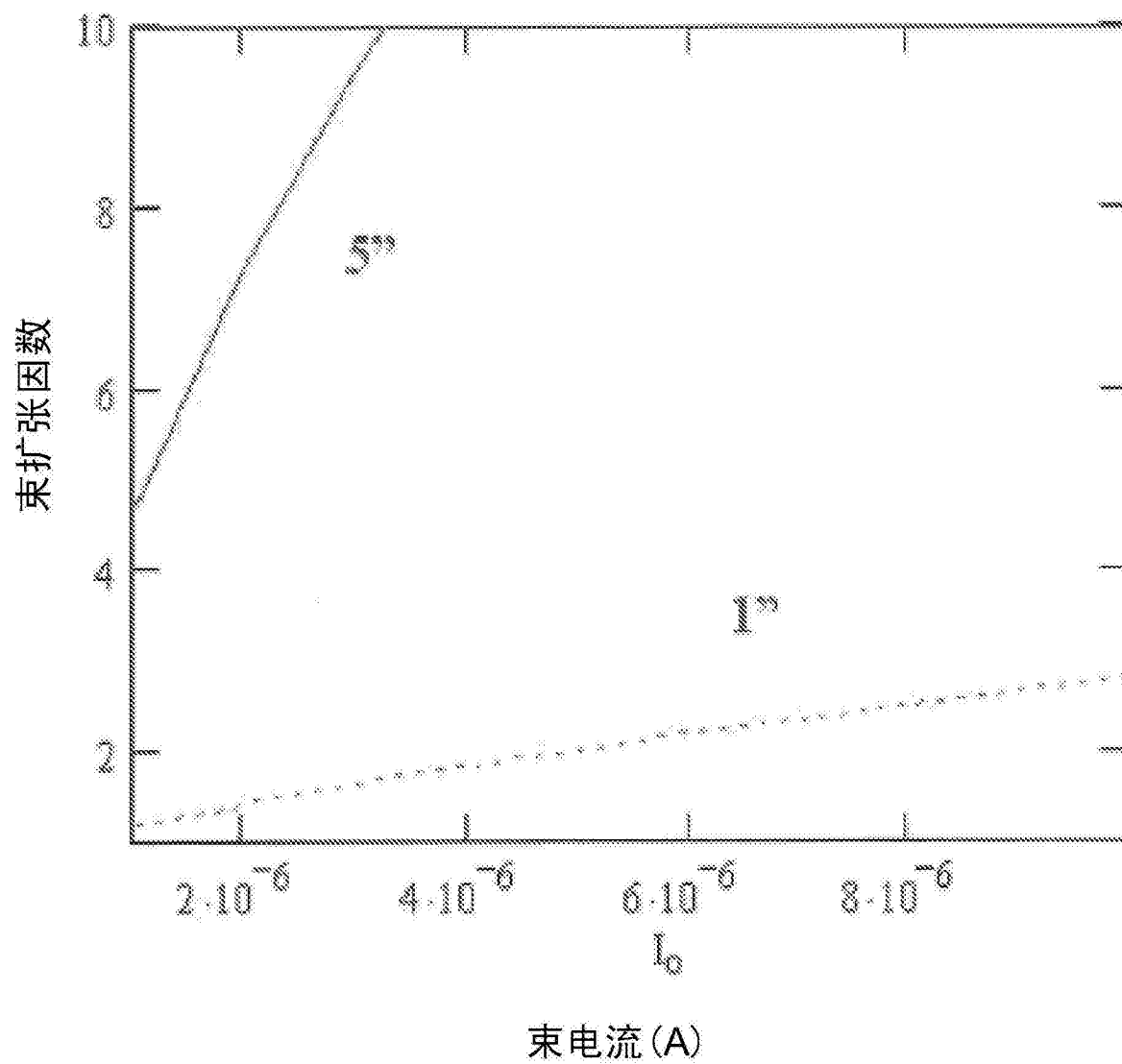


图5