



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111640652 A

(43)申请公布日 2020.09.08

(21)申请号 202010429964.3

(22)申请日 2015.08.26

(30)优先权数据

62/042,898 2014.08.28 US

14/645,047 2015.03.11 US

(62)分案原申请数据

201510530950.X 2015.08.26

(71)申请人 台湾积体电路制造股份有限公司

地址 中国台湾新竹

(72)发明人 石志聪 游信胜 陈政宏 严涛南

(74)专利代理机构 北京德恒律治知识产权代理

有限公司 11409

代理人 章社杲 李伟

(51)Int.Cl.

H01L 21/027(2006.01)

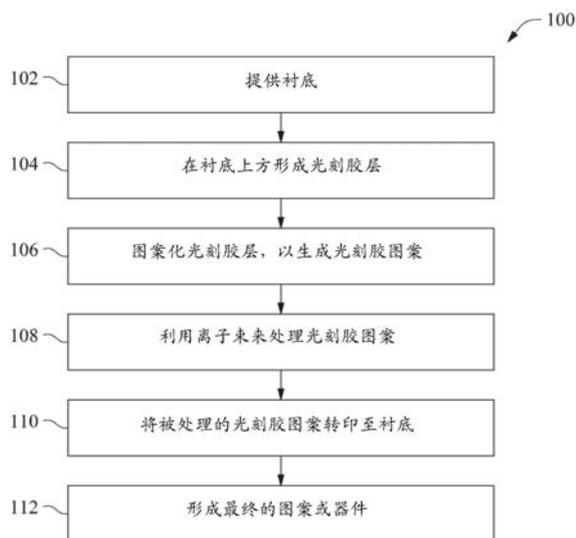
权利要求书2页 说明书8页 附图12页

(54)发明名称

用于集成电路图案化的方法

(57)摘要

本发明提供了一种图案化衬底的方法。该方法包括图案化形成在衬底上方的光刻胶层以生成光刻胶图案,以及利用离子束来处理该光刻胶图案。离子束由诸如CH₄、SiH₄、Ar或He的气体生成,并且该离子束以至少10°的倾斜角度被引导至光刻胶图案。在实施例中,离子束以一致的扭转角度或具有单峰或双峰分布的扭转角度被引导至光刻胶图案。离子束减小了光刻胶图案的线边缘粗糙度(LER)、线宽粗糙度(LWR)和/或临界尺寸。该方法还包括利用被处理的光刻胶图案作为蚀刻掩模来蚀刻衬底。本发明还提供了用于集成电路图案化的方法。



1. 一种图案化衬底的方法,所述方法包括:

图案化形成在所述衬底上方的光刻胶层,以生成包括线图案的光刻胶图案;

利用离子束来处理所述光刻胶图案,以生成被处理的光刻胶图案,其中,利用第一气体生成所述离子束,并且所述离子束以至少 10° 的不同的倾斜角度被引导至所述光刻胶图案,其中,所述离子束以扭转角度为 90° 的方式平行于所述线图案,其中,所述离子束的扭转角度是第一平面和第二平面之间的角度,所述第一平面包含离子束和垂直于所述光刻胶层的顶面的第一轴,并且第二平面包含所述第一轴和沿所述光刻胶图案的宽度方向的第二轴,其中,所述倾斜角度是所述离子束与所述第一轴之间的角度;以及

利用所述被处理的光刻胶图案作为蚀刻掩模来蚀刻所述衬底。

2. 根据权利要求1所述的图案化衬底的方法,还包括,在所述光刻胶层和所述衬底之间形成抗反射涂层,在利用离子束来处理所述光刻胶图案之后,利用另一离子束处理所述抗反射涂层。

3. 根据权利要求1所述的图案化衬底的方法,其中,所述离子束以具有约 -50° 至约 50° 的单峰分布的扭转角度被引导至所述光刻胶图案。

4. 根据权利要求1所述的图案化衬底的方法,其中,所述离子束以具有双峰分布的扭转角度被引导至所述光刻胶图案。

5. 根据权利要求4所述的图案化衬底的方法,其中,所述双峰分布在约 12.5° 处具有一个离子能量峰值并在约 -12.5° 处具有另一离子能量峰值。

6. 根据权利要求1所述的图案化衬底的方法,其中,所述第一气体是Ar,并且提供离子能量为约1.0kV至约3.5kV和离子剂量为约 $1 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 至约 $10 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 的所述离子束。

7. 根据权利要求1所述的图案化衬底的方法,其中,所述第一气体是He,并且提供离子能量为约1kV至约5kV和离子剂量为约 $1 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 至约 $10 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 的所述离子束。

8. 根据权利要求1所述的图案化衬底的方法,其中,所述第一气体是 SiH_4 ,并且提供离子能量为约2kV至约5kV和离子剂量为约 $0.5 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 至约 $3 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 的所述离子束。

9. 一种图案化衬底上方的蚀刻层的方法,所述方法包括:

在所述蚀刻层上方形成光刻胶层;

图案化所述光刻胶层,以生成包括线图案的图案化的光刻胶层;

对所述图案化的光刻胶层执行离子注入,以生成被处理的图案化的光刻胶层,其中,执行离子注入包括:

提供含 CH_4 、 SiH_4 、Ar或He的处理气体;

由所述处理气体生成离子束;和

引导所述离子束以不同的倾斜角度入射到所述衬底上,其中,所述离子束以扭转角度为 90° 的方式平行于所述线图案,其中,所述离子束的扭转角度是第一平面和第二平面之间的角度,所述第一平面包含离子束和垂直于所述光刻胶层的顶面的第一轴,并且第二平面包含所述第一轴和沿所述图案化的光刻胶层的宽度方向的第二轴,其中,所述倾斜角度是所述离子束与所述第一轴之间的角度;以及

利用所述被处理的图案化的光刻胶层作为蚀刻掩模来蚀刻所述蚀刻层。

10. 一种形成集成电路的方法,所述方法包括:

图案化衬底上方的材料层,以生成包括线图案的图案化的材料层;

利用由 CH_4 、 SiH_4 、Ar和He中的一种所生成的离子束来处理所述图案化的材料层,并且所述离子束以大于 10° 的不同的倾斜角度被引导入射到所述衬底上,以生成被处理的图案化的材料层,其中,所述离子束以扭转角度为 90° 的方式平行于所述线图案,其中,所述离子束的扭转角度是第一平面和第二平面之间的角度,所述第一平面包含离子束和垂直于所述材料层的顶面的第一轴,并且第二平面包含所述第一轴和沿所述图案化的材料层的宽度方向的第二轴,其中,所述倾斜角度是所述离子束与所述第一轴之间的角度;以及

利用所述被处理的图案化的材料层来蚀刻所述衬底。

用于集成电路图案化的方法

[0001] 本申请是于2015年08月26日提交的申请号为201510530950.X的名称为“用于集成电路图案化的方法”的发明专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请要求于2014年8月28日提交的名称为“Method for Integrated Circuit Patterning”的第62/042,898号美国临时专利申请的权益,其全部内容结合于此作为参考。

技术领域

[0004] 本发明一般地涉及半导体技术领域,更具体地,涉及集成电路的图案化方法。

背景技术

[0005] 半导体集成电路(IC)工业经历了快速发展。IC材料和设计的技术进步产生了数代IC,其中,每代IC都具有比前一代IC更小且更复杂的电路。在IC演进过程中,功能密度(即,每芯片面积中互连器件的数量)通常已经增加,同时几何尺寸(即,可使用制造工艺创建的最小组件(或线))已经减小。这种按比例缩小工艺通常通过增加生产效率和降低相关成本来提供益处。这样的按比例缩小也已经增大了加工和制造IC的复杂程度,并且为了实现这些进步,需要IC加工和制造中的类似发展。

[0006] 例如,光刻是IC制造中经常使用的技术,用于将IC设计转移至半导体衬底。通常的光刻工艺包括在衬底上方涂覆抗蚀剂(或光刻胶),将光刻胶暴露于诸如深紫外(DUV)射线或极紫外(EUV)射线的辐射,以及显影并部分地剥离光刻胶以在衬底上方保留图案化的光刻胶。然后,图案化的光刻胶用于形成IC过程中的随后的蚀刻工艺。在这种蚀刻工艺期间,诸如临界尺寸(CD)、线宽粗糙度(LWR)和线边缘粗糙度(LER)的图案化的光刻胶的一些特征会转移至诸如晶体管栅极的最终IC部件。随着IC器件尺寸的减小,晶体管栅极(以及其他IC部件)的CD、LWR和/或LER被视为主要关注的问题。因此,通常希望光刻工艺中的进步能够满足半导体不断小型化的需要。

发明内容

[0007] 为了解决现有技术中所存在的缺陷,根据本发明的一方面,提供了一种图案化衬底的方法,所述方法包括:图案化形成在所述衬底上方的光刻胶层,以生成光刻胶图案;利用离子束来处理所述光刻胶图案,以生成被处理的光刻胶图案,其中,利用第一气体生成所述离子束,并且所述离子束以至少 10° 的倾斜角度被引导至所述光刻胶图案;以及利用所述被处理的光刻胶图案作为蚀刻掩模来蚀刻所述衬底。

[0008] 在该方法中,所述离子束以一致的扭转角度被引导至所述光刻胶图案。

[0009] 在该方法中,所述离子束以具有约 -50° 至约 50° 的单峰分布的扭转角度被引导至所述光刻胶图案。

[0010] 在该方法中,所述离子束以具有双峰分布的扭转角度被引导至所述光刻胶图案。

[0011] 在该方法中,所述双峰分布在约 12.5° 处具有一个离子能量峰值并在约 -12.5° 处

具有另一离子能量峰值。

[0012] 在该方法中,所述第一气体是Ar,并且提供离子能量为约1.0kV至约3.5kV和离子剂量为约 $1 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 至约 $10 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 的所述离子束。

[0013] 在该方法中,所述第一气体是He,并且提供离子能量为约1kV至约5kV和离子剂量为约 $1 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 至约 $10 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 的所述离子束。

[0014] 在该方法中,所述第一气体是 SiH_4 ,并且提供离子能量为约2kV至约5kV和离子剂量为约 $0.5 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 至约 $3 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 的所述离子束。

[0015] 在该方法中,所述第一气体是 CH_4 ,并且提供离子能量为约1kV至约5kV和离子剂量为约 $1 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 至约 $6 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 的所述离子束。

[0016] 在该方法中,所述第一气体是以下气体中的一种: CH_4 、 SiH_4 、Ar、He、 O_2 、 N_2 、 CO_2 和它们的组合。

[0017] 根据本发明的另一方面,提供了一种图案化衬底上方的蚀刻层的方法,所述方法包括:在所述蚀刻层上方形成光刻胶层;图案化所述光刻胶层,以生成图案化的光刻胶层;对所述图案化的光刻胶层执行离子注入,以生成被处理的图案化的光刻胶层,其中,执行离子注入包括:提供含 CH_4 、 SiH_4 、Ar或He的处理气体;由所述处理气体生成离子束;和引导所述离子束以倾斜角度入射到所述衬底上;以及利用所述被处理的图案化的光刻胶层作为蚀刻掩模来蚀刻所述蚀刻层。

[0018] 在该方法中,所述离子束具有至少 $0.5 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 的离子剂量。

[0019] 在该方法中,所述倾斜角度为至少 10° 。

[0020] 在该方法中,所述离子束以一致的扭转角度入射到所述衬底上。

[0021] 在该方法中,所述离子束以具有单峰分布的扭转角度被引导入射到所述衬底上。

[0022] 在该方法中,所述离子束以具有双峰分布的扭转角度被引导入射到所述衬底上。

[0023] 根据本发明的又一方面,提供了一种形成集成电路的方法,所述方法包括:图案化衬底上方的材料层,以生成图案化的材料层;利用由 CH_4 、 SiH_4 、Ar和He中的一种所生成的离子束来处理所述图案化的材料层,并且所述离子束以大于 10° 的倾斜角度被引导入射到所述衬底上,以生成被处理的图案化的材料层;以及利用所述被处理的图案化的材料层来蚀刻所述衬底。

[0024] 在该方法中,所述材料层是光刻胶层。

[0025] 在该方法中,所述材料层是含硅的抗反射涂覆(ARC)层。

[0026] 在该方法中,所述材料层包含硅、碳和氧。

附图说明

[0027] 当结合附图进行阅读时,根据下面详细的描述可以最佳地理解本发明的各方面。应该强调的是,根据工业中的标准实践,各种部件没有被按比例绘制。实际上,为了清楚的讨论,各种部件的尺寸可以被任意增加或减少。

[0028] 图1是用于执行本发明的一个或多个实施例的在衬底上形成目标图案或器件的方法的流程图。

[0029] 图2至图4、图7、图9和图11示出了根据一些实施例的根据图1的方法形成目标图案的立体图。

- [0030] 图5和图6示出了图案化的光刻胶层的边缘粗糙度、宽粗糙度和临界尺寸。
- [0031] 图8示出了根据实施例的根据图1的方法离子束入射衬底的倾斜角度和扭转角度。
- [0032] 图10和图12示出了根据实施例的根据图1的方法离子束的示例性的扭转角度分布。
- [0033] 图13至图17是根据实施例的来自根据图1的方法实施的实验室试验的图像和数据。

具体实施方式

[0034] 以下公开内容提供了许多不同实施例或实例,用于实现所提供主题的不同特征。以下将描述组件和布置的特定实例以简化本发明。当然,这些仅是实例并且不旨在限制。例如,在以下描述中,在第二部件上方或上形成第一部件可以包括第一部件和第二部件以直接接触的方式形成的实施例,并且也可以包括在第一部件和第二部件之间可以形成附加的部件使得第一部件和第二部件可以不直接接触的实施例。另外,本发明可以在各个实例中重复参考标号和/或字符。这种重复是为了简化和清楚的目的,并且其本身不指示所讨论的各个实施例和/或配置之间的关系。

[0035] 此外,为了便于描述,本文中可以使用诸如“在...之下”、“在...下面”、“下部”、“在...之上”、“上部”等空间相对术语以描述如图所示的一个元件或部件与另一元件或部件的关系。除图中所示的方位之外,空间相对术语旨在包括器件在使用或操作中的不同方位。装置可以以其它方式定位(旋转90度或在其他方位),并且在本文中使用的空间关系描述符可同样地作相应地解释。

[0036] 本发明通常涉及使用光刻工艺来形成用于集成电路(IC)的图案或器件,并且具体地,涉及处理图案化的光刻胶层,使得在将该图案化的光刻胶层用于随后的蚀刻工艺之前减小该图案化的光刻胶层的LWR、LER和/或CD。

[0037] 图1示出了根据本发明的各个方面的用于形成目标图案或器件的方法100的流程图。可在方法100之前、期间和之后提供附加的操作,并且对于该方法的附加的实施例,可以代替、删除或前后移动所描述的一些操作。方法100是实例,并且除了权利要求中明确声明外,不旨在限制本发明。下面结合图2至图17描述方法100。

[0038] 在操作102中,如图2所示,方法100(图1)提供衬底202。参考图2,在各个实施例中,衬底202包括一个或多个材料层并且该衬底在制造工艺的中间阶段中用于形成器件200。器件200可以是IC或IC的一部分,该IC可以包括:静态随机存取存储器(SRAM)和/或其他逻辑电路;无源组件,诸如电阻器、电容器和电感器;以及有源组件,诸如p型场效应晶体管(PFET)、n型FET(NFET)、金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)、互补金属氧化物半导体(CMOS)晶体管、双极型晶体管、高压晶体管、高频晶体管、其他存储器单元和它们的组合。器件200可以包括三维器件和多栅极器件,诸如双栅极FET、FinFET、三栅极FET、欧米茄FET(omega FET)、全环栅(GAA)器件和垂直GAA器件。在实施例中,衬底202是半导体衬底(例如,晶圆)。在实施例中,衬底202包括晶体结构的硅。在可选实施例中,衬底202包括:其他的元素半导体,诸如锗;或化合物半导体,诸如碳化硅、砷化镓、砷化铟和磷化铟。衬底202可以包括绝缘体上硅(SOI)衬底(产生应变/生成应力以提高性能),包括外延区、包括隔离区、包括掺杂区、包括一个或多个半导体器件或半导体器件的部分、包括导电和/或不导电层和/或

包括其他合适的部件和层。

[0039] 在操作104中,方法100(图1)在衬底202上方形成光刻胶层210。参考图3,在本实施例中,形成光刻胶层210之前,在衬底202上方形成一个或多个材料层以作为蚀刻层,诸如硬掩模层204、底部材料层206和抗反射涂覆(ARC)层208。在各个实施例中,可以省略和/或替换材料层204/206/208中的一些,或者可选地,将其他的材料层添加在光刻胶层210和衬底202之间。在实施例中,通过旋涂工艺来形成光刻胶层210,之后进行软烘烤工艺。

[0040] 在各个实施例中,硬掩模层204可以使用非结晶的硅(a-Si)、氧化硅、氮化硅(SiN)、氮化钛(TiN)、氮氧化硅(SiON)、碳氮化硅(SiCN)或其他合适的材料或组合;底部材料层206可以包含硅、氧和/或碳,诸如SOC或旋涂玻璃(SOG);ARC层208可以是聚合材料层或含硅材料层,诸如氧化硅、碳氧化硅和等离子体增强化学汽相沉积的氧化硅。可以通过多种工艺来形成各个材料层204、206和208。例如,可以通过化学汽相沉积(CVD)、低压化学汽相沉积(LPCVD)、等离子体增强化学汽相沉积(PECVD)、物理汽相沉积(PVD)、原子层沉积(ALD)或其他合适的沉积方法来形成各个材料层204、206和208。例如,可以使用包括六氯乙硅烷(HCD或 Si_2Cl_6)、二氯甲硅烷(DCS或 SiH_2Cl_2)、双(叔丁基氨基)硅烷(BTBAS or $\text{C}_8\text{H}_{22}\text{N}_2\text{Si}$)和乙硅烷(DS或 Si_2H_6)的化学品通过CVD来形成硬掩模层204。

[0041] 光刻胶层210可以是正性光刻胶或负性光刻胶。正性光刻胶在光刻胶显影剂中通常是不可溶的,但是通过暴露于诸如深紫外(DUV)射线、极紫外(EUV)射线、电子束、x射线的辐射或其他合适的辐射而变得可溶。一种示例性的正性光刻胶材料是化学放大光刻胶(CAR),该化学放大光刻胶包含由酸不稳定基团(ALG)保护的主链聚合物。负性光刻胶具有相反的表现,即,在光刻胶显影剂中通常是可溶的,但是通过暴露于诸如DUV射线、EUV射线、电子束、x射线的辐射或其他合适的辐射而变得不可溶。一种示例性的负性光刻胶是聚合物,该聚合物在被辐射时形成分子内和/或分子间的交联,诸如乙基(α -羟基)丙烯酸酯(EHMA)和甲基丙烯酸(MAA)的聚合。

[0042] 在操作106中,方法100(图1)图案化光刻胶层210,从而形成光刻胶图案。在实施例中,图案化工艺将图案从掩模(或光掩模或中间掩模)转印至光刻胶层210。可选地,图案化工艺可以使用诸如电子束直写(EBDW)的无掩模图案化技术。在实施例中,图案化光刻胶层210包括:将光刻胶层210暴露于辐射;曝光后烘烤;在光刻胶显影剂中显影光刻胶层210;以及硬烘烤,从而去除光刻胶层210的曝光部分(或者在负性光刻胶的情况下去除未曝光部分)并在ARC层208上保留光刻胶层210的未曝光部分以作为光刻胶图案。辐射可以是DUV射线、EUV射线、电子束、x射线、离子束或其他合适的辐射。在掩模用于图案化光刻胶层210的实施例中,掩模可以是不同类型的,诸如透射式掩模或反射式掩模,以及可以用各种技术形成掩模,诸如二元掩模或相移掩模(PSM)。在一个实例中,二元掩模包括透明衬底(例如,熔融石英)以及在掩模的不透明区域中涂覆有不透明材料(例如,铬)。在另一个实例中,PSM包括被配置为具有适当的相差的各个部件以提高分辨率和成像质量。在本实例中,图案化光刻胶层210以形成线图案210(图4)。为了简化的目的,线图案210在“y”方向上以纵长方式进行定位,在“x”方向上以宽度方式进行定位,以及在“z”方向上以高度方式进行定位。在本实例中,单个线图案210用于简化和易于理解,并且不必将实施例限于任何数量的线图案、任何布置的线图案和/或诸如沟槽图案、孔图案、具有弯曲的图案等的其他类型的图案。

[0043] 在通常的光刻工艺中,随后进行蚀刻工艺,该蚀刻工艺使用线图案210作为蚀刻掩

模来蚀刻ARC层208,从而将图案转印至ARC层208以及随后通过更多的蚀刻工艺转印至衬底202。当将图案从光刻胶图案210转印至ARC层208时会出现问题。例如,线图案210可能不具有理想的临界尺寸(CD)。例如,线图案210在“x”方向上的尺寸(或线图案210的宽度)可能大于IC设计目标。在又一实例中,线图案210可能具有不期望的表面粗糙度,诸如线边缘粗糙度(LER)和/或线宽粗糙度(LWR)。图5示出了线图案210的截面图,示出了线图案210的侧壁的粗糙度。图6示出了在“y”方向(或线图案210的长度方向)上沿着线图案210的表面粗糙度。在本实施例中,LER限定为边缘自对应于该边缘的线的 3σ 偏差,或者在数学上,

$$LER=3\sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2 / n}, \text{ 并且LWR限定为沿着该线的线宽的}3\sigma\text{偏差,或者在数学上,}$$

$$LWR=3\sqrt{\sum_{j=0}^n (CD_j - \overline{CD})^2 / n}。这种非理想的CD和不期望的LER/LWR可以从线图案210$$

转移至ARC层208并最终转移至衬底202,引起IC制造问题。例如,线图案210可以用于图案化晶体管栅电极,该晶体管栅电极的栅极长度对应于线图案210的宽度。因为栅极长度可以影响晶体管的功耗和/或切换速度,所以该栅极长度成为晶体管的关键特征。不期望的CD和LER/LWR可以引起栅极长度脱离设计规格。更糟的情况是,在蚀刻工艺期间,诸如频繁地用于栅极图案化的干蚀刻,线图案210由于缺少蚀刻选择性而经受严重劣化,从而导致光刻胶膜损失以及增大的LER/LWR。在随后的蚀刻工艺使用诸如线图案210的图案化的光刻胶层之前,本发明通过利用离子束处理该图案化的光刻胶层来解决上述问题。实验室试验已经显示本发明的实施例可以减小光刻胶图案的CD、LER和/或LWR。这对于诸如10纳米(nm)以及10nm以上的先进工艺节点是非常期望的。

[0044] 在操作108中,方法100(图1)利用离子束212来处理线图案210。在实施例中,通过离子注入机来生成离子束212。参考图7,在本实施例中,离子束212是聚焦的离子束。为了改进本实施例,离子束212以从ARC层208的法线(即,本实例中的“z”轴)至顶面倾斜的角度被引导至线图案210(或者也可以朝向ARC层208的顶面或衬底202)。该入射角度在本发明中被称为“倾斜角度”,并且在图8中示出了该倾斜角度。图8也示出了离子束212的“扭转角度”,该“扭转角度”是介于包含离子束212和“z”轴的平面和包含“x”轴和“z”轴的平面之间的角度。该倾斜角度和扭转角度共同地限定了离子束212的入射方向。再次参考图7,在本实施例中,离子束212以大于或等于 10° 的倾斜角度被引导至线图案210。在一些实例中,将倾斜角度设置为大于 30° ,以减小光刻胶膜损失。在实施例中,离子束212以一致的扭转角度(诸如大约零(0)度)被引导至线图案210。在另一实施例中,离子束212以大约 90° (即,平行于线图案210)的一致扭转角度被引导朝向线图案210。

[0045] 在各个实施例中,通过离子注入机利用气体作为离子源来生成离子束212。在实施例中,该气体是氩(Ar),并且以约1.0kV至约3.5kV的离子能量和约 $1 \times e^{16}$ ions/cm²(离子/平方厘米)至约 $10 \times e^{16}$ ions/cm²的离子剂量来提供离子束212。在实施例中,该气体是氦(He),并且以约1kV至约5kV的离子能量和约 $1 \times e^{16}$ ions/cm²至约 $10 \times e^{16}$ ions/cm²的离子剂量来提供离子束212。在实施例中,该气体是硅烷(SiH₄),并且以约2kV至约5kV的离子能量和约 $0.5 \times e^{16}$ ions/cm²至约 $3 \times e^{16}$ ions/cm²的离子剂量来提供离子束212。在实施例中,该气体是甲烷(CH₄),并且以约1kV至约5kV的离子能量和约 $1 \times e^{16}$ ions/cm²至约 $6 \times e^{16}$ ions/cm²的离子剂量来提供离子束。在各个实施例中,该气体可以是以下气体中的一种:CH₄、SiH₄、Ar、He、

O₂、N₂、CO₂、其他合适的气体以及它们的组合。在实施例中，利用Ar生成离子束212，离子束212具有约19°至约30°的倾斜角度以及约0°的扭转角度，并且以约1kV至约1.5kV的离子能量和约 $0.5 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 至约 $3 \times e^{16} \text{ions/cm}^2$ 的离子剂量来提供离子束212。在各个实施例中，器件200相对于离子束212移动，使得沿着线图案的长度通过离子束212均匀地扫描该线图案210。

[0046] 虽然离子束处理机制不影响权利要求的范围，但是应该相信，在一些实施例中，离子束212不仅调整线图案210以减小其宽度以及使包括侧壁的线条图案210的表面平滑，而且导致在线图案210中高达特定深度处的光刻胶材料中发生化学反应，该深度取决于离子在光刻胶材料内移动的有多远。化学反应改变了光刻胶材料的特征。例如，这可引起线图案210的蚀刻速率的降低。图13至图17示出了根据本发明的各个实施例的通过实验室试验而得到的各个图像和数据，表明了离子束处理的效用。图13是光刻胶线图案在光刻胶显影之后且在离子束处理之前的图像。如图中所示，光刻胶线图案形成在含硅ARC层上方并呈现出一些表面粗糙度。图14是根据本发明的实施例在经受离子束处理之后的光刻胶线图案的图像。可以看出，被处理的光刻胶线图案(图14)相比于那些预处理的光刻胶线图案具有更平滑的表面和更窄的宽度。图15示出了根据本发明的实施例在光刻胶图案经受离子束处理之后，在光刻胶图案的表面上形成外壳(crust)。作为光刻胶材料与离子之间的化学反应的结果，该外壳是硬化的光刻胶材料。图16示出了使用Ar、He、SiH₄和CH₄作为相应的离子源在本发明的各个实施例中实现了从26.8%至49.8%的光刻胶图案CD收缩率。另外，报告了总的LWR减小率：16% (利用Ar离子束处理)、46% (利用C离子束处理)以及38% (利用Si离子束处理)。将总的LER减小率报告为类似于LWR的减小率(在几个百分点之内)。图17示出了在离子束处理之前和之后的光刻胶蚀刻速率的图表。如图17所示，光刻胶蚀刻速率从预处理的1352埃/分钟($\text{\AA}/\text{min}$)减小至后处理的小于 $400\text{\AA}/\text{min}$ ，这表示蚀刻速率减小了大致3至6倍。因为这种蚀刻速率降低加强了光刻胶图案对将要使用的蚀刻剂的抵抗以在蚀刻工艺期间减小光刻胶膜损失及LER/LWR的劣化，所以在随后的ARC层208的蚀刻中非常期望这种蚀刻速率降低。同时，被处理的光刻胶图案在随后的光刻胶灰化或剥离工艺的时间段内保持期望的灰化速率。已经报告出，在一些示例中，相比于离子束处理之前的约 $7000\text{\AA}/\text{min}$ 的灰化速率，光刻胶图案的灰化速率为约 $4000\text{\AA}/\text{min}$ 。

[0047] 在实施例中，离子束212具有一个以上的扭转角度，意味着离子束212的各个部分以不同的扭转角度同时被引导至线图案210。在图9中示出这种情况。实际上，离子束212不是以聚焦束方式传递，而是以扇形束的方式传递。在实施例中，如图10所示，离子束212的扭转角度具有单峰分布214。单峰分布214在零(0)度扭转角度处具有离子能量峰值，并且单峰分布214的离子能量基本限制在 $-\theta_1$ 至 $+\theta_2$ 度的范围内。在实施例中， θ_1 和 θ_2 均为约50°。在各个实施例中，单峰分布214可以关于0°扭转角度不对称的或在非零扭转角度处可以具有离子能量峰值。在一些示例中，使用具有单峰分布扭转角度的离子束比使用具有一致的扭转角度的离子束更加有效，因为前者从不同的角度同时调整线图案210的表面。

[0048] 在实施例中，如图11和图12所示，离子束212的扭转角度具有双峰分布216。实际上，离子束212的两个扇形部分同时被引导至线图案210。如图12所示，双峰分布216具有两个单峰分布部分，216A和216B，每一个都对应于离子束212的两个部分的一个。单峰分布

216A在 α_0 扭转角度处具有离子能量峰值,并且单峰分布216A的离子能量基本限制在 α_1 至 α_2 扭转角度的范围内。在实施例中, α_0 为约 12.5° , α_1 为约 7.5° 以及 α_2 为约 17.5° 。单峰分布216B在 β_0 扭转角度处具有离子能量峰值,并且单峰分布216B的离子能量基本限制在 $-\beta_1$ 至 $-\beta_2$ 扭转角度的范围内。在实施例中, β_0 为约 -12.5° , β_1 为约 -7.5° ,以及 β_2 为约 -17.5° 。在一些实施例中,单峰分布216A(或216B)可以关于其中心扭转角度不对称。例如,单峰分布216A(或216B)的能量峰值可以靠近 α_2 (或 β_2)扭转角度。在实施例中, α_0 为约 40° , α_1 为约 20° ,以及 α_2 为约 40° 。在一些实施例中,单峰分布216A和216B可以部分重叠。在一些示例中,使用具有双峰分布扭转角度的离子束比使用具有一致的扭转角度或单峰分布扭转角度的离子束更加有效,因为前者不仅从不同的角度同时调整线图案210的表面,而且也投入更多的离子能量来从线图案210的侧面处理表面粗糙度。

[0049] 在实施例中,离子束212(图7、图9和图11)是诸如 O_2 团簇、Ar团簇或 CO_2 团簇的气体团簇离子束(GCIB)。例如,离子束212可以是平均团簇尺寸为约10000atoms至约20000atoms、平均团簇电荷为+3、平均团簇能量为65keV、平均团簇速率为6.5km/s以及总电流为200uA或更大的Ar GCIB。

[0050] 在操作110中,方法100(图1)通过包括蚀刻工艺的工艺将被处理的光刻胶图案210转印至ARC层208并且随后转印至衬底202。该蚀刻工艺可以包括干(等离子体)蚀刻、湿蚀刻和/或其他的蚀刻方法。例如,干蚀刻工艺可以执行含氧气体、含氟气体(例如, CF_4 、 SF_6 、 CH_2F_2 、 CHF_3 和/或 C_2F_6)、含氯气体(例如, Cl_2 、 $CHCl_3$ 、 CCl_4 和/或 BCl_3)、含溴气体(如, HBr 和/或 $CHBr_3$)、含碘气体、其他合适的气体 and/或等离子体和/或它们的组合。该蚀刻工艺使用被处理的光刻胶图案210作为蚀刻掩模来蚀刻ARC层208。由于光刻胶图案210的离子束处理,所以转印到ARC层208中(以及在衬底202中)的图案相比于在通常的光刻工艺中的那些图案呈现出较好的CD和LER/LWR。在实施例中,在已经蚀刻ARC层208之后,例如,通过使用光刻胶剥离、碱性水溶液、胺混合溶剂或有机溶剂的湿蚀刻工艺来去除线图案210。

[0051] 在操作112中,方法100(图1)进行至形成最终图案或器件。在实施例中,光刻胶图案210是浅沟槽隔离(STI)部件限定的一部分。为了改进该实施例,方法100将被处理的光刻胶图案210转印至硬掩模层204以作为开口;通过该开口蚀刻衬底202以在衬底202中形成沟槽;去除硬掩模层204;用介电材料填充该沟槽;以及对该介电材料实施化学机械平坦化(CMP)工艺。在另一个实施例中,光刻胶图案210是栅电极部件限定的一部分,并且衬底202包括位于诸如氧化硅(SiO_2)或氮氧化硅($SiON$)的介电材料层上方的多晶硅层。为了改进该实施例,方法100将被处理的光刻胶图案210转印至硬掩模层204以作为线(line);利用图案化的硬掩模层204作为蚀刻掩模来蚀刻多晶硅层和介电材料层,从而形成栅极堆叠件;去除图案化的硬掩模层204;以及在栅极堆叠件周围形成间隔件。在又一个实施例中,光刻胶图案210是接触部件限定的一部分,诸如源极、漏极或栅极接触件。为了改进该实施例,方法100将被处理的光刻胶图案210转印至硬掩模层204以作为开口;通过该开口蚀刻衬底202以形成接触孔,从而暴露端子(源极、漏极或栅极)的顶面;在该接触孔中沉积阻挡层;用诸如铝(Al)、钨(W)、铜(Cu)或钴(Co)的导电材料来填充该接触孔的剩余间隔;以及执行CMP工艺以平坦化该导电材料的顶面。

[0052] 在实施例中,离子束212用于处理除了光刻胶层之外的材料层。例如,首先将线图案210转印至ARC层208,以及然后利用离子束212来处理图案化的ARC层208。试验显示这种

处理也有效地减小了图案化的ARC层208的CD、LER和LWR,其中ARC层208是聚合物或含硅材料。类似地,离子束212可以在已经图案化底部材料层206之后用于处理底部材料层206。

[0053] 尽管并不旨在限制,但是本发明提供了许多益处。例如,本发明的各个实施例利用离子束来处理图案化的光刻胶层,以在该图案化的光刻胶层用作蚀刻掩模之前减小该图案化的光刻胶层的CD、LER和LWR。这改进了最终IC器件的CD均匀性。在各个实施例中,离子束可以利用诸如Ar、He、CH₄和SiH₄的多种气体物质来生成,并且具有多种离子能量和离子剂量以供选择,这使得本发明的实施例适用于不同的应用和流程。在各个实施例中,离子束以倾斜角度和扭转角度被引导至图案化的光刻胶层,这有助于使光刻胶图案的侧壁平滑而没有许多膜损失。另外,当利用离子束处理致密的光刻胶图案时,具有与倾斜角度结合的单峰或双峰扭转角度分布可以帮助克服阴影效应。而且,本发明的各个实施例可以在使用光刻的所有类型的IC制造工艺中被执行,诸如垂直全环栅(VGAA)器件中的纳米线图案化、STI图案化、栅电极图案化、接触件图案化等等。实际上,到目前为止所讨论的具体实施例仅是实例,并且除了权利要求中所明确列举的内容之外,不旨在限制本公开的发明范围。

[0054] 在一个示例性方面中,本发明涉及一种图案化衬底的方法。该方法包括:图案化形成在衬底上方的光刻胶层,从而生成光刻胶图案;以及利用离子束来处理光刻胶图案,从而生成被处理的光刻胶图案,其中利用第一气体生成离子束并离子束以至少10°的倾斜角度被引导至光刻胶图案。该方法还包括利用被处理的光刻胶图案作为蚀刻掩模来蚀刻衬底。在各个实施例中,离子束以一致的扭转角度、以具有单峰分布的扭转角度或以具有双峰分布的扭转角度被引导至光刻胶图案。

[0055] 在另一个示例性方面中,本发明涉及一种图案化衬底上方的蚀刻层的方法。该方法包括:在蚀刻层上方形成光刻胶层;图案化该光刻胶层,从而生成图案化的光刻胶层;以及对该图案化的光刻胶层实施离子注入,从而生成被处理的图案化的光刻胶层。实施离子注入的步骤包括:提供含CH₄、SiH₄、Ar或He的处理气体;由该处理气体生成离子束;以及将离子束以倾斜角度入射在衬底上。该方法还包括利用被处理的图案化的光刻胶层作为蚀刻掩模来蚀刻该蚀刻层。

[0056] 在又一个示例性方面中,本发明涉及一种形成集成电路的方法。该方法包括:图案化衬底上方的材料层,从而生成图案化的材料层;以及利用由CH₄、SiH₄、Ar和He中的一种生成的离子束来处理图案化的材料层,并且该离子束以大于10°的倾斜角度入射到衬底上,从而生成被处理的图案化的材料层。该方法还包括利用被处理的图案化的材料层来蚀刻衬底。在各个实施例中,材料层可以是光刻胶层,含硅的ARC层或含硅材料层、含氧材料层和含碳材料层。

[0057] 上面论述了若干实施例的特征,使得本领域普通技术人员可以更好地理解本发明的各个方面。本领域普通技术人员应该理解,他们可以很容易地使用本发明作为基础来设计或修改用于实现与本文所介绍实施例相同的和/或实现相同优点的其他工艺和结构。本领域普通技术人员也应该意识到,这种等效构造并不背离本发明的精神和范围,并且在背离本发明的精神和范围的情况下,他们可以进行多种变化、替换以及改变。

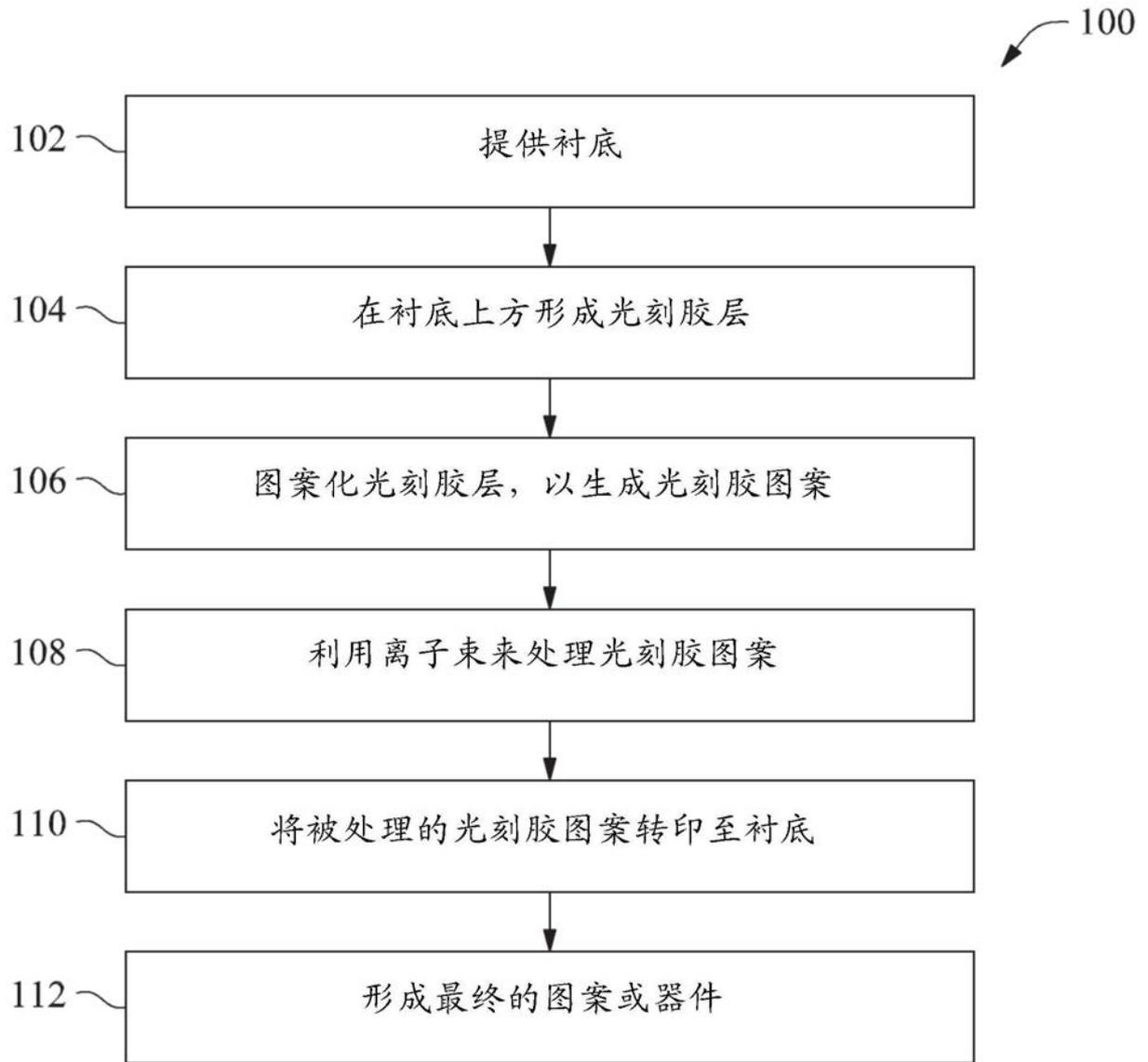


图1

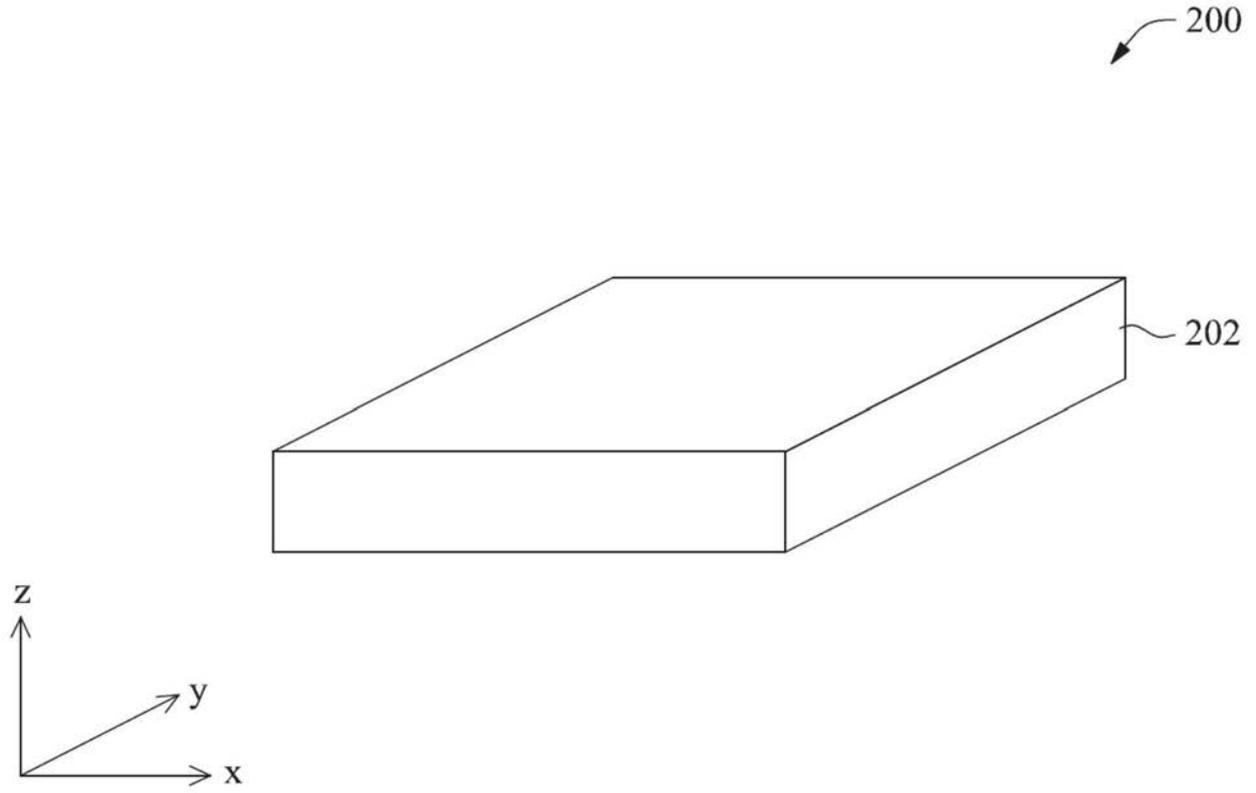


图2

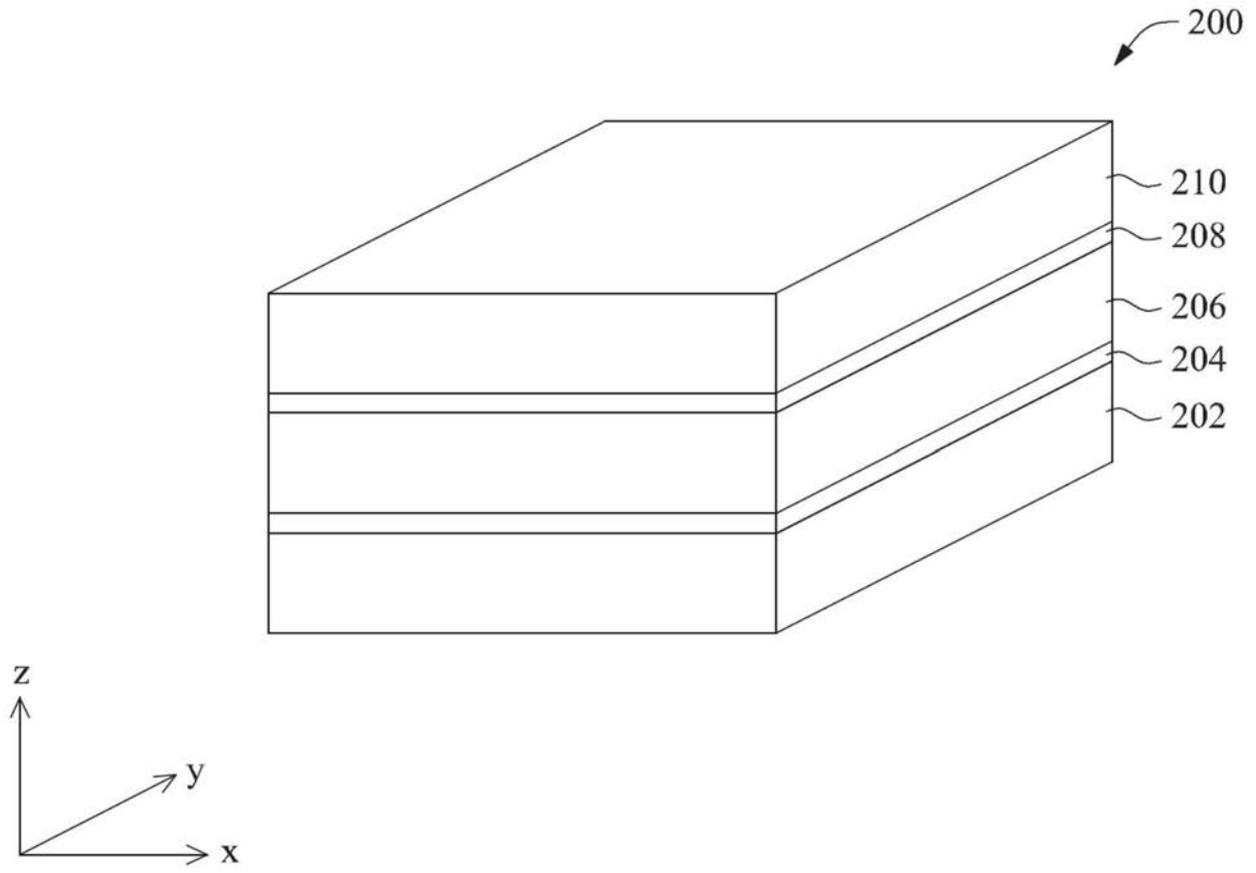


图3

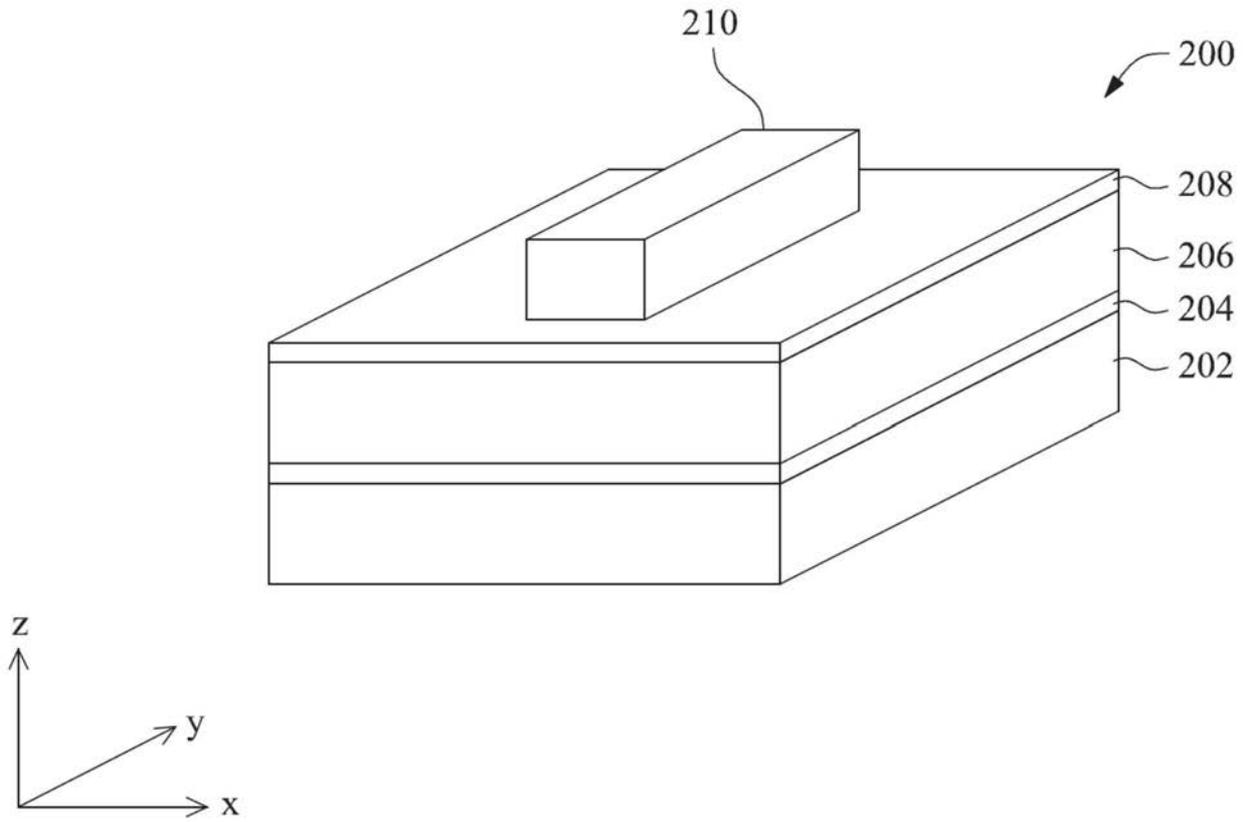


图4

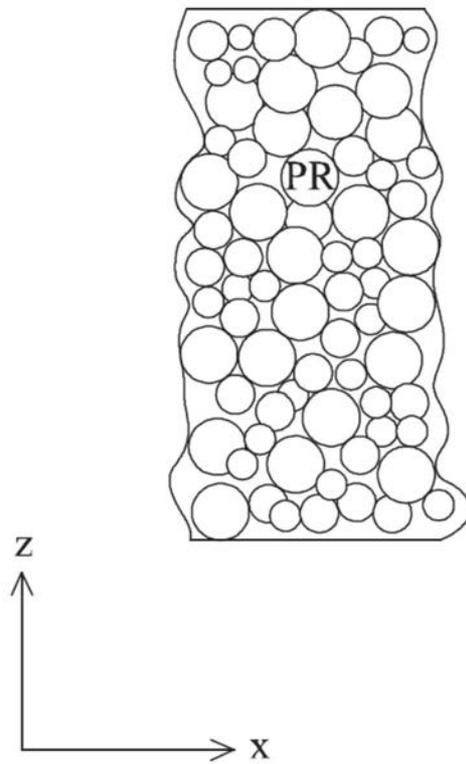


图5

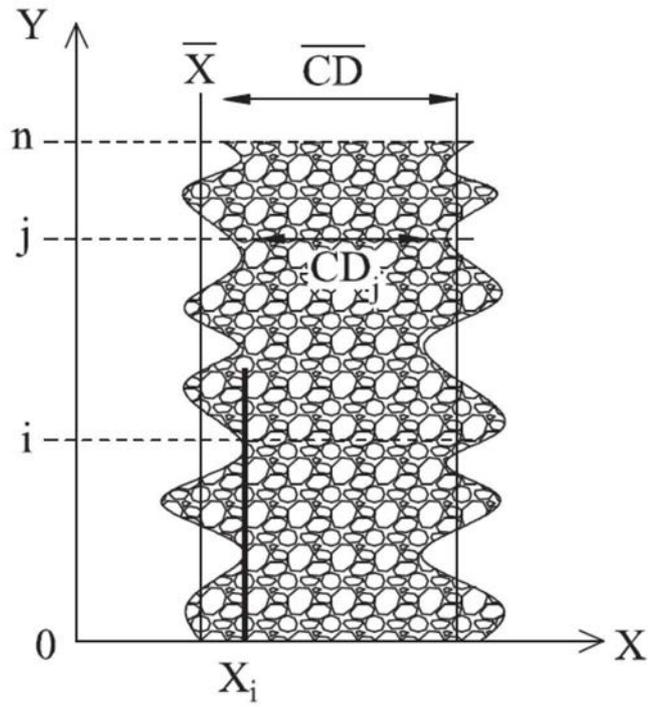


图6

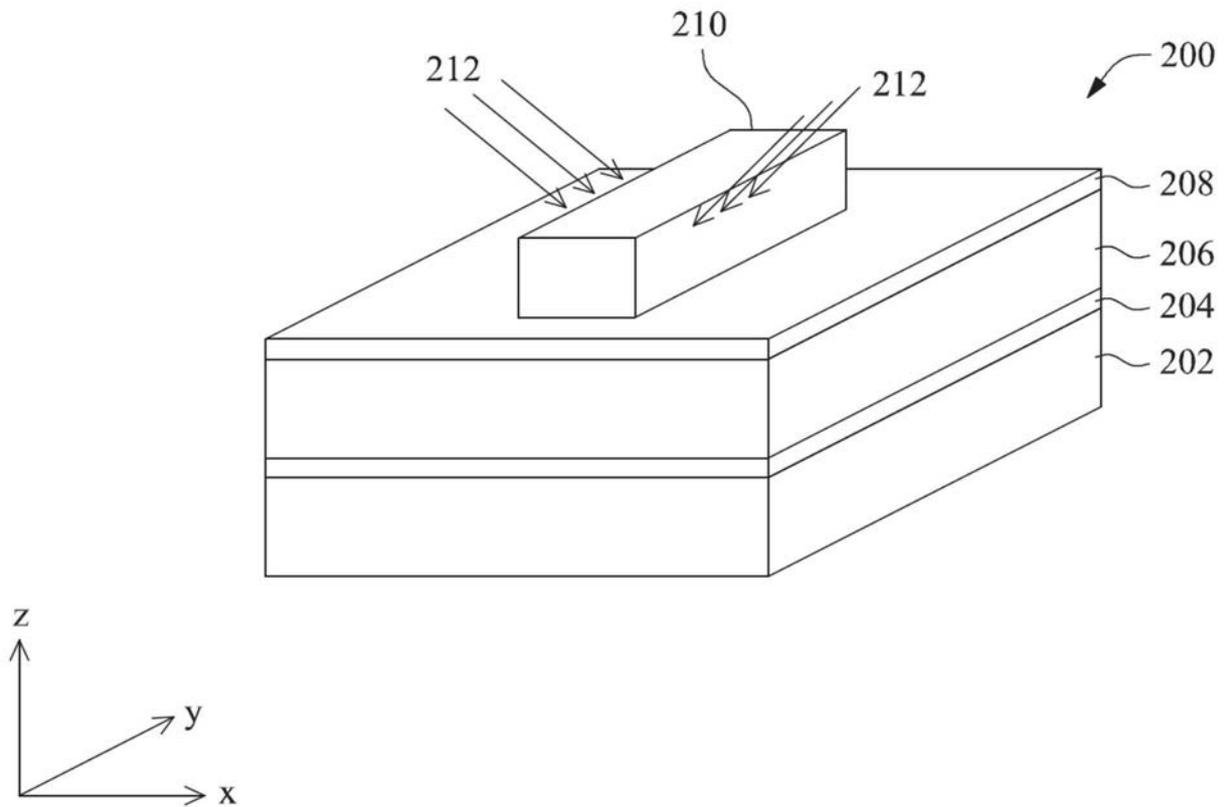


图7

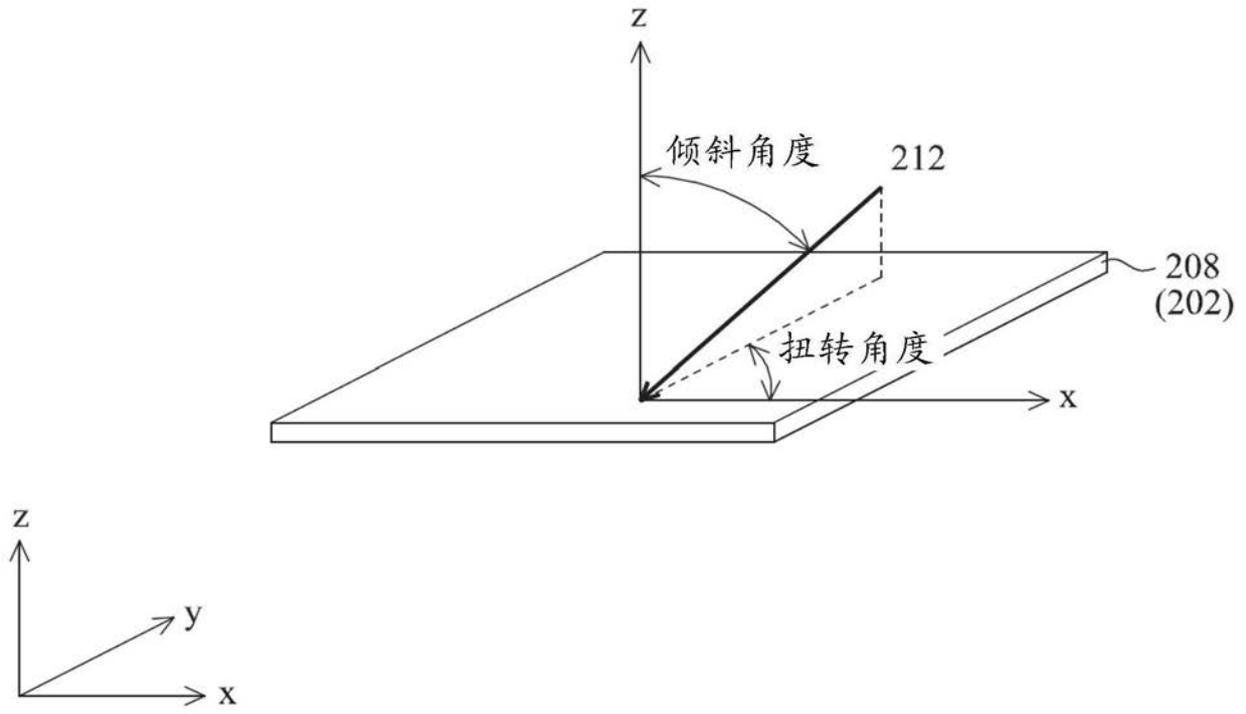


图8

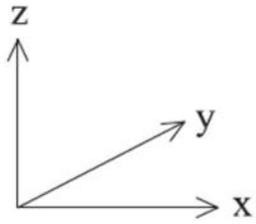
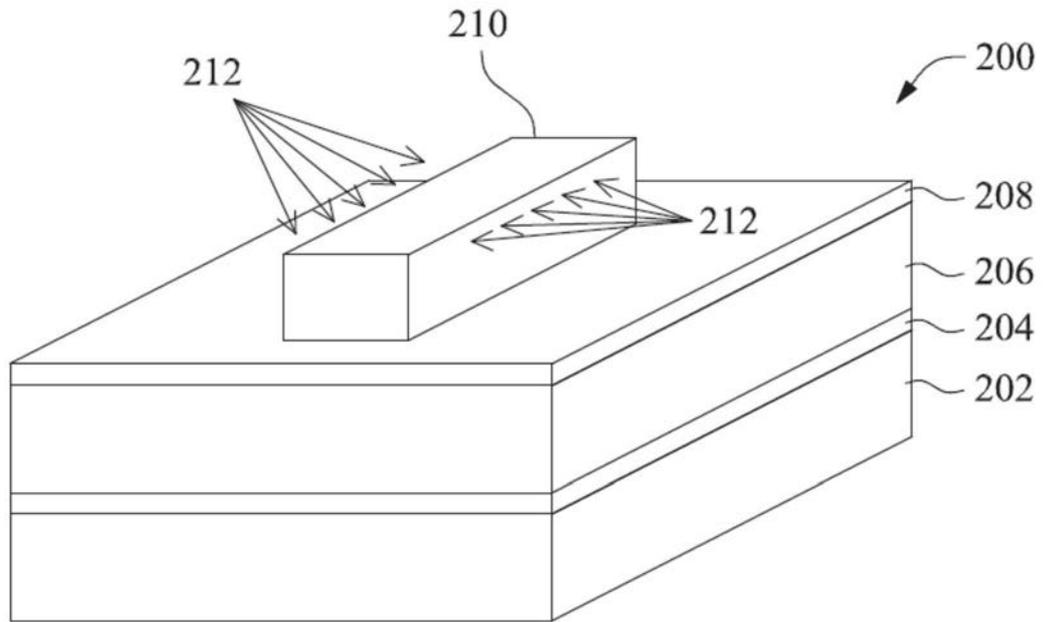


图9

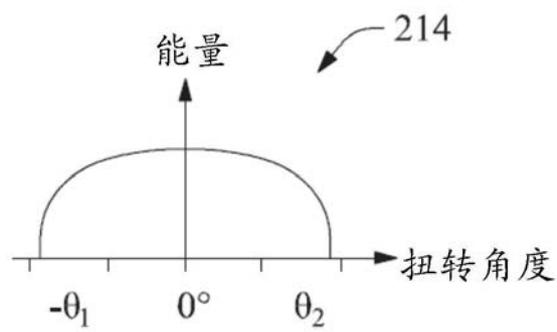


图10

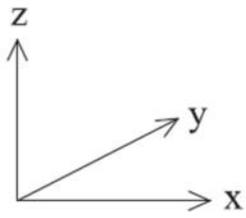
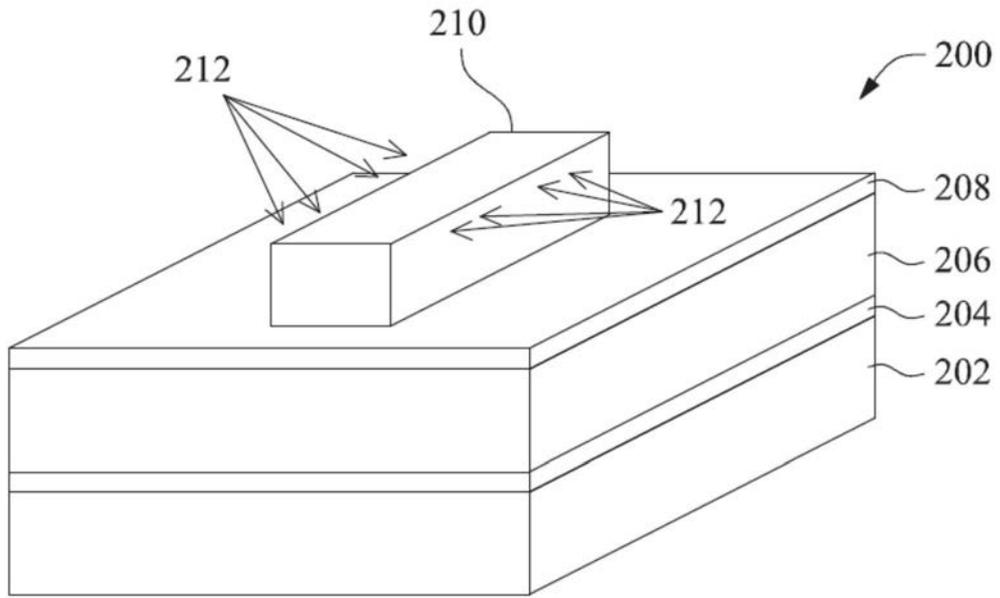


图11

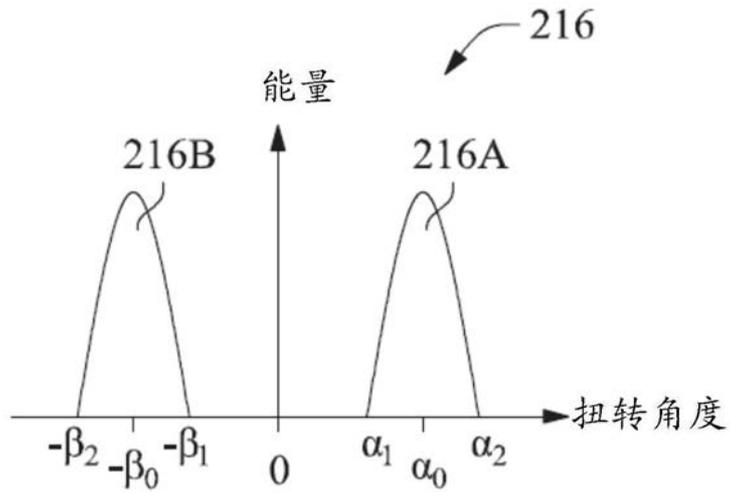


图12

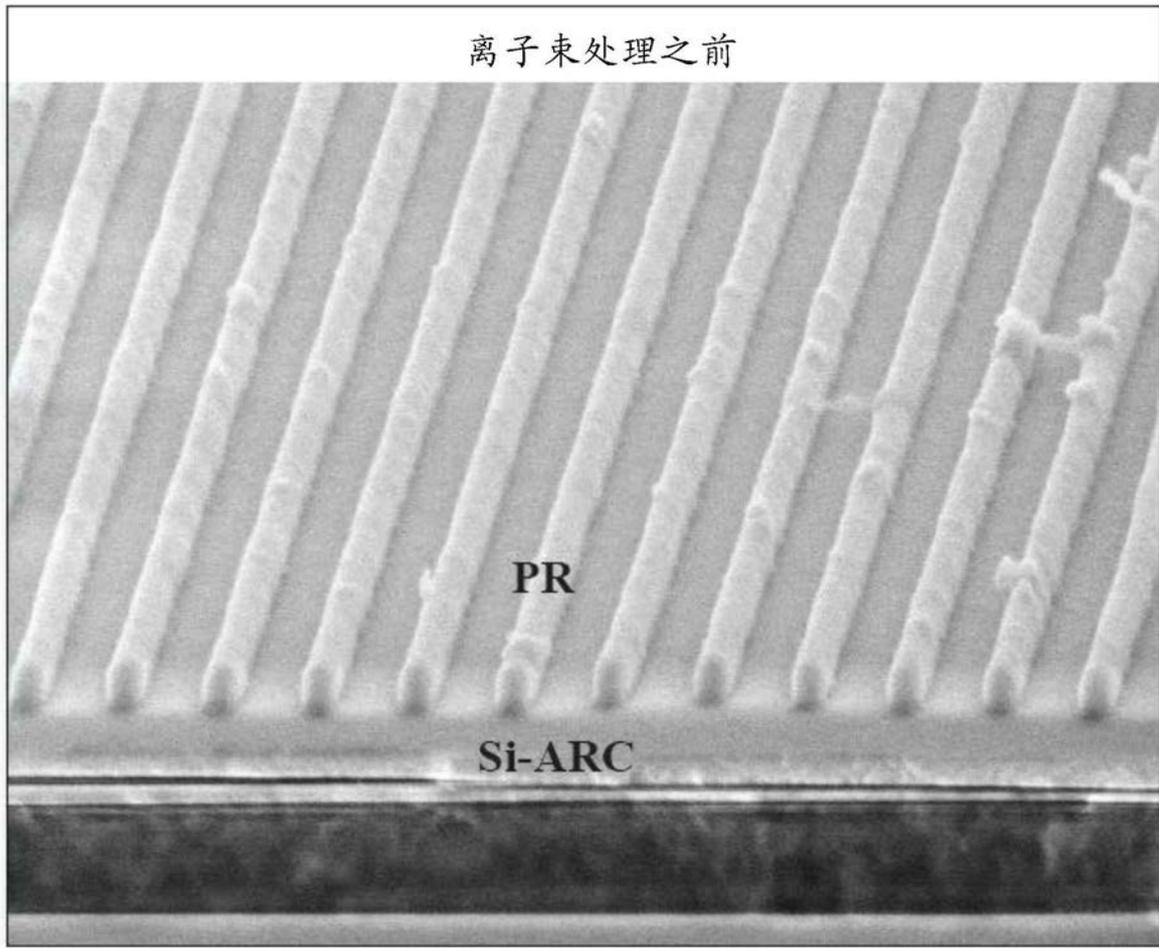


图13

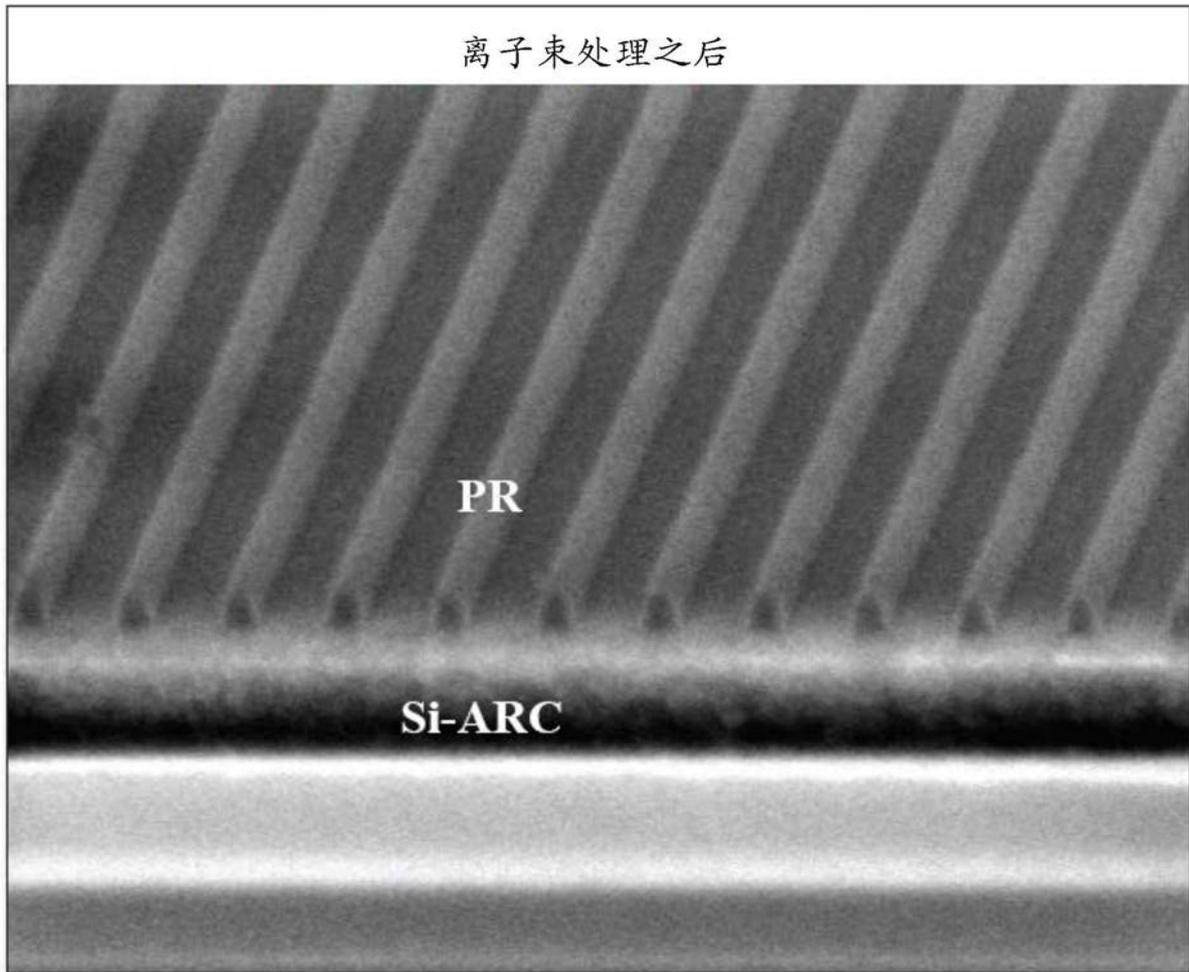


图14

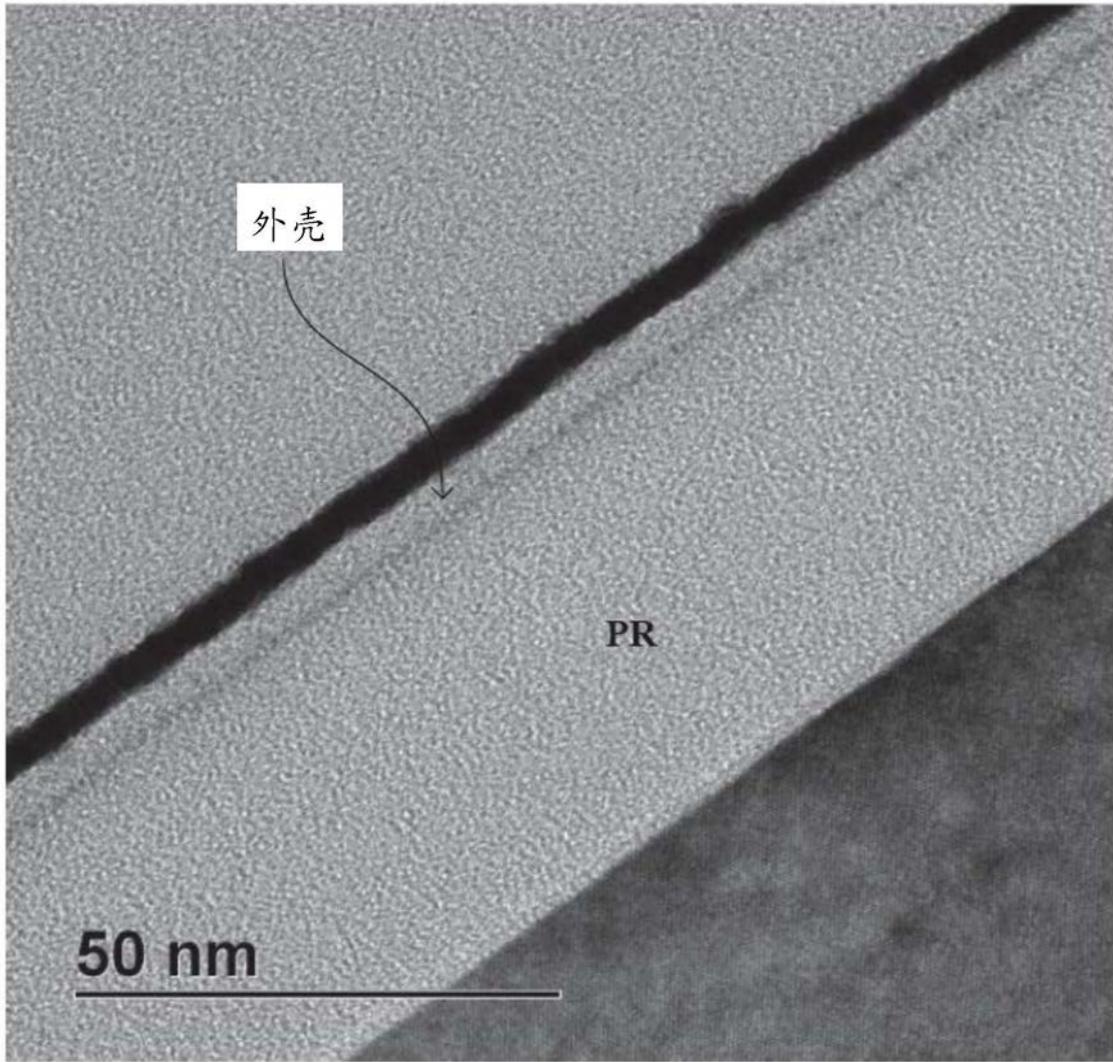


图15

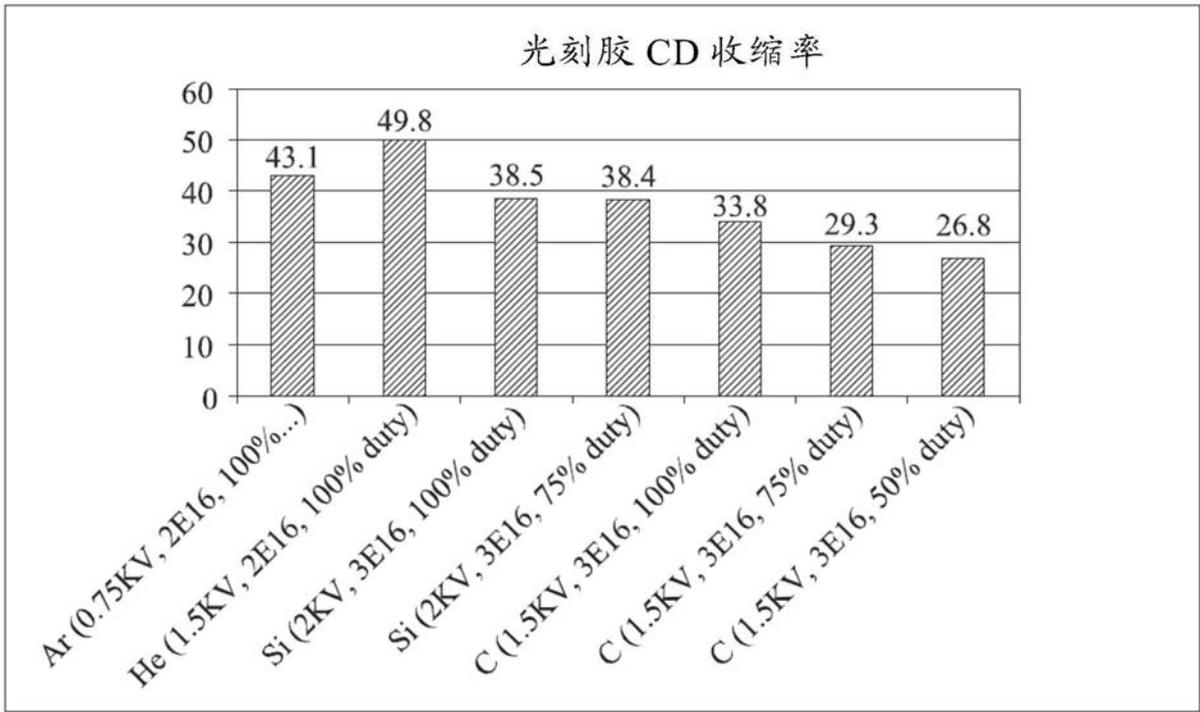


图16

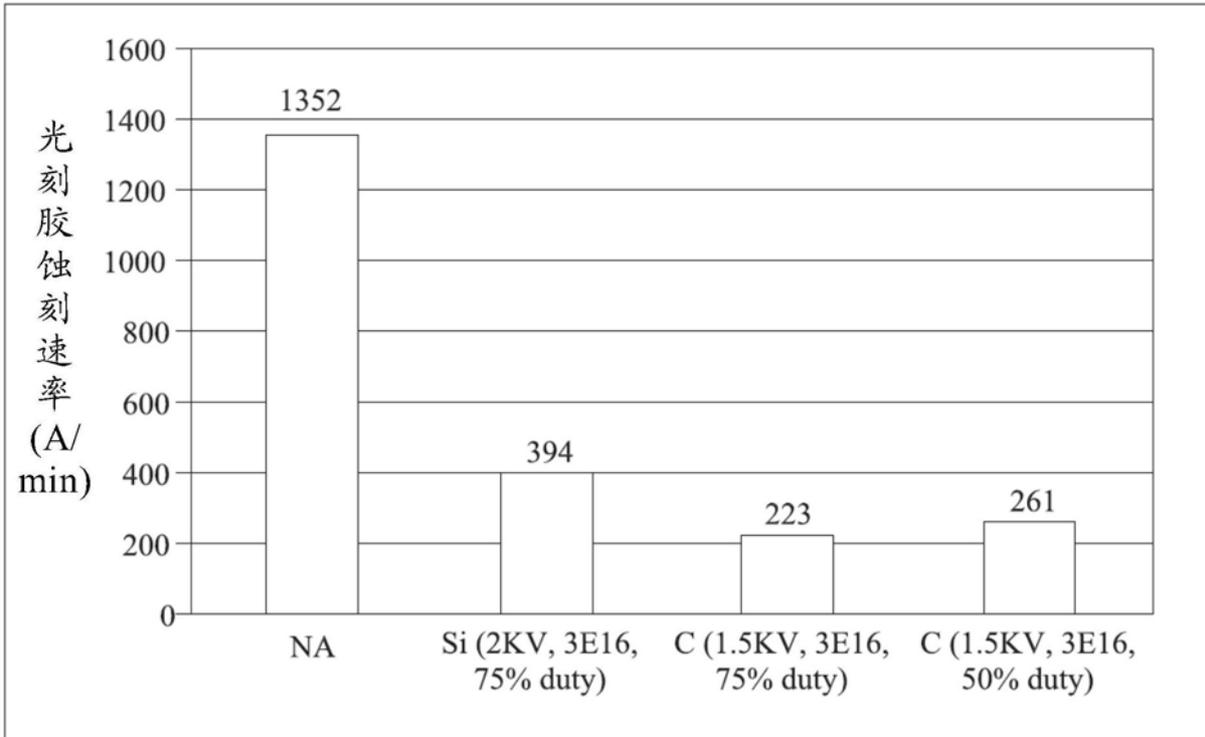


图17