



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103197376 A

(43) 申请公布日 2013. 07. 10

(21) 申请号 201310047054. 9

(22) 申请日 2013. 02. 06

(71) 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72) 发明人 朱海柯 谢静雅 孙晓萌 周林杰

陈建平

(74) 专利代理机构 上海新天专利代理有限公司

31213

代理人 张泽纯

(51) Int. Cl.

G02B 6/13(2006. 01)

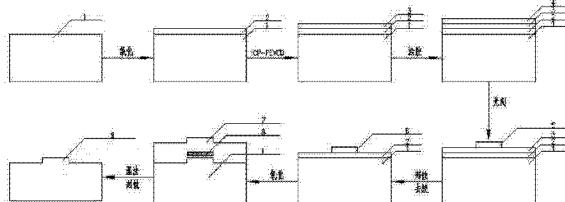
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

基于多晶硅掩膜的硅波导制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于多晶硅掩膜的硅波导膜制备方法，包括如下步骤：准备好洁净的绝缘体上硅(SOI)基底，进行一次干氧氧化生成薄二氧化硅膜，在二氧化硅膜上生长一层较厚的多晶硅膜，对多晶硅膜进行涂胶、光刻、刻蚀得到多晶硅掩膜，对样品进行氧化，去除氧化硅与多晶硅，得到硅波导。本发明中的硅波导侧壁光滑、陡直度较好、底部与顶部平整，整个工艺流程简单方便，工艺成本较低。



1. 一种基于多晶硅掩膜的硅波导制备方法,其特征在于,该方法包括如下步骤:

步骤一,对洁净的绝缘体上硅片(1)进行干氧氧化处理,氧化温度 $850 \sim 950^{\circ}\text{C}$, O_2 流量 $15 \sim 20\text{sccm}$, N_2 流量 $45 \sim 60\text{sccm}$, 氧化时间 $10 \sim 25\text{min}$, 形成 $20 \sim 30\text{nm}$ 厚的二氧化硅膜(2);

步骤二,利用感应耦合等离子增强化学气相沉积在二氧化硅膜上形成一层 $100 \sim 400\text{nm}$ 厚的多晶硅(3);

步骤三,旋涂 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 厚的光刻胶(4)使其覆盖多晶硅(3);

步骤四,用步进式光刻机进行光刻,焦距 $-1 \sim 0.5$, 曝光时间 $120\text{ms} \sim 160\text{ms}$, 形成光刻胶图像(5);

步骤五,用深硅感应耦合等离子刻蚀去除没有被光刻胶图像(5)覆盖的多晶硅, SF_6 流量 $40 \sim 80\text{sccm}$, C_4F_8 流量 $40 \sim 60\text{sccm}$, 等离子功率 $700 \sim 800\text{W}$, 刻蚀时间 $30 \sim 35\text{s}$, 然后, 先后用丙酮和酒精洗去残余的光刻胶图像,形成多晶硅掩膜(6);

步骤六,进行再次干氧氧化处理,氧化温度 $1000 \sim 1100^{\circ}\text{C}$, O_2 流量 $15 \sim 20\text{sccm}$, N_2 流量 $45 \sim 60\text{sccm}$, 氧化时间 $30 \sim 45\text{min}$, 形成氧化层(7)与剩余多晶硅掩膜(8);

步骤七,在室温 25°C 下利用氟化铵腐蚀液去除氧化层,利用碱性溶液去除残余多晶硅,得到 $180 \sim 350\text{nm}$ 厚的硅波导(9)。

2. 根据权利要求 1 所述的基于多晶硅掩膜的硅波导制备方法,其特征在于,所述的氟化铵腐蚀液体积比为氢氟酸:氟化氨 = 1:20。

3. 根据权利要求 1 所述的基于多晶硅掩膜的硅波导制备方法,其特征在于,所述的感应耦合等离子增强化学气相沉积是使托盘温度 350°C , SiH_4 流量 $5 \sim 10\text{sccm}$, H_2 流量 $15 \sim 25\text{sccm}$, 等离子功率 $2000 \sim 2500\text{W}$, 射频功率 $150 \sim 200\text{W}$ 。

基于多晶硅掩膜的硅波导制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于多晶硅掩膜的硅波导制备方法，属于集成光通信领域。

背景技术

[0002] 现代光通信技术的发展对光通信器件的材料与结构提出了很高的要求。硅基器件作为新型光子器件具有高速、低功耗、微型化的特点，中国科学院北京半导体所余金中课题组在 2012 年的 Optical Express 杂志上报道研制出了具有 40G/s 的超高速硅基马赫曾德尔调制器；IBM 公司的 J. C. Rosenberg 等人在 2011 年的 OFC 会议上发布了功耗仅仅只有 1.8pJ/bit 的硅基调制器；由于硅材料具有较高的折射率(3.46)，与周围的空气以及作为基底的二氧化硅材料形成了高折射率差，所以可以将光信号限制在很小的空间内，从而实现了器件的微型化，目前的硅波导尺寸都在亚微米级别；由于硅工艺集成技术与现在非常成熟的集成电路 CMOS 工艺集成技术完全兼容，从而易于实现大规模集成。所以，使用硅材料来实现现代光通信器件是未来发展的一个方向。

[0003] 硅基光通信器件的性能很大程度上是由硅波导决定的。粗糙的硅波导侧壁将对在其中传输的光信号产生很大的散射作用，信号功率大大减弱，增加了传输损耗，误码率变大。由于刻蚀造成的硅波导的高度、宽度改变，将改变光传播常数，影响器件性能。目前制备硅基波导的办法主要分为两种，包括干法刻蚀法和氧化法。干法刻蚀法是指即利用光刻胶掩膜来对硅进行刻蚀形成光波导。如果是反应离子刻蚀(RIE)，则硅材料的侧壁会与等离子发生物理化学反应，造成侧壁粗糙；如果是离子束刻蚀(IBE)，则离子的物理轰击会使硅材料底部不平整，刻蚀深度不易控制；采用感应耦合等离子(ICP)刻蚀，可以使侧壁粗糙度降低，同时提高侧壁陡直度。另外一种制备硅波导的方法是氧化法，即在硅上先形成能阻挡氧气分子向下扩散的硬掩膜图形，这样氧气只能与暴露的硅材料进行反应形成氧化硅，去除硬掩膜后可获得硅波导。

[0004] 对于通过氧化形成硅波导的办法，当前主要是采用氮化硅、氧化硅、氮氧化硅作为硬掩膜。对于氮化硅硬掩膜，由于氮化硅与硅界面存在较大应力，当氧化发生在硅波导的侧顶部时，在氮化硅与硅的交界面生成的氧化硅将造成波导局部变形，从而影响硅波导中光信号的传播模式。对于氧化硅作为硬掩膜的情况，由于使用 CVD (化学气相沉积) 生成的氧化硅膜层疏松，对氧气的阻挡作用较差，所以只能制备高度差较小的硅波导，而且波导的侧壁比较倾斜，增大了实际结构和设计间的误差。对于氮氧化硅作为硬掩膜的情况，则是同时具有以上两种硬掩膜的缺点。为了提高氧化硅波导的质量，结合现有集成工艺，提出了本发明。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于针对上述现有技术的不足，提供一种基于多晶硅掩膜的硅波导制备方法，制备的光波导具有侧壁光滑、垂直度较好、底部与顶部平整、工艺简单、成本较低、与 CMOS 工艺兼容等优点。

- [0006] 为达到上述目的,本发明的技术解决方案如下:
- [0007] 一种基于多晶硅掩膜的硅波导制备方法,其特征在于,该方法包括如下步骤:
- [0008] 步骤一,对洁净的绝缘体上硅(SOI)片进行干氧氧化处理,氧化温度850~950°C,O₂流量15~20sccm(标准状态气体毫升每分钟),N₂流量45~60sccm,氧化时间10~25min,形成20~30nm厚的二氧化硅膜;
- [0009] 步骤二,利用感应耦合等离子增强化学气相沉积(ICP-PECVD)在二氧化硅膜上形成一层100~400nm厚的多晶硅;
- [0010] 步骤三,旋涂1~3μm厚的光刻胶使其覆盖多晶硅;
- [0011] 步骤四,用步进式光刻机进行光刻,焦距-1~0.5,曝光时间120ms~160ms,形成光刻胶图像;
- [0012] 步骤五,用深硅感应耦合等离子(ICP)刻蚀去除没有被光刻胶图像覆盖的多晶硅,SF₆流量40~80sccm,C₄F₈流量40~60sccm,等离子功率700~800W,刻蚀时间30~35s,然后,先后用丙酮和酒精洗去残余的光刻胶图像,形成多晶硅掩膜;
- [0013] 步骤六,进行再次干氧氧化处理,氧化温度1000~1100°C,O₂流量15~20sccm,N₂流量45~60sccm,氧化时间30~45min,形成氧化层与剩余多晶硅掩膜;
- [0014] 步骤七,在室温25°C下利用氟化铵腐蚀液(BOE)去除氧化层,利用碱性溶液去除残余多晶硅,得到180~350nm厚的硅波导。
- [0015] 本发明的原理是多晶硅在干氧氧化条件下生成致密的氧化硅薄膜,阻挡大部分的氧气分子进入掩膜层正下方的硅层。没有多晶硅覆盖的部分,氧气分子直接与硅反应形成氧化硅,这部分的硅被消耗掉;而有多晶硅层覆盖的部分,其下层的硅与氧气反应非常少,因而形成脊型硅波导。
- [0016] 本发明的特点是:
- [0017] 1、本发明使用了多晶硅来转移图形。
- [0018] 2、对于在氧化硅层中朝着硅波导侧部与顶部横向扩散的氧气,由于多晶硅相对于硅更容易与氧气反应,使得多晶硅覆盖的基底硅不易被氧化,从而保证了硅波导侧壁的陡直性跟硅波导顶部的平整性。
- [0019] 3、本发明使用的干氧氧化法可以使氧化反应非常缓慢,所以反应后剩余的硅表面光滑均匀。
- [0020] 4、第一次干氧氧化形成薄氧化硅,其目的在于:一是隔离基底硅与之后生长的多晶硅,从而可以作为刻蚀多晶硅时的停止层;二是作为波导形成后,腐蚀去除多晶硅时的阻挡层。
- [0021] 5、本发明使用的感应耦合等离子体增强化学气相沉积制备的多晶硅质量好、可控性强。
- [0022] 6、本发明使用的制备方法简单方便,完全与CMOS工艺兼容。
- [0023] 7、本发明使用的制备方法成本较低,由于多晶硅本身的制备成本很低,并且容易大规模均匀沉积,故在膜层制备过程只需要使用SiH₄与H₂气体源,从而降低了设备的运营与维护成本。

附图说明

[0024] 图 1 为本发明基于多晶硅掩膜的硅波导制备方法的流程图。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步说明,但不应限制本发明的保护范围。

[0026] 实施例 1

[0027] 一种基于多晶硅掩膜的硅波导制备方法,包括如下步骤

[0028] 步骤一,准备洁净的 SOI 片 1,放入氧化炉进行一次干氧氧化,氧化温度 900° C, O₂ 流量 20sccm, N₂ 流量 60sccm, 氧化时间 12min, 生成 20nm 厚的二氧化硅膜 2。

[0029] 步骤二,使用感应耦合等离子体增强化学气相沉积在二氧化硅膜上形成一层 300nm 的多晶硅 3,托盘温度 350° C, SiH₄ (用 Ar 气体稀释) 流量 10sccm, H₂ 流量 22sccm, ICP 功率 2100W, RF 功率 170W。

[0030] 步骤三,旋涂 1.1 μ m 厚的 AZ6112 光刻胶 4。

[0031] 步骤四,使用步进式光刻机进行光刻,焦距 0.4, 曝光时间 140ms, 得到线宽为 1 μ m 的光刻胶图形 5。

[0032] 步骤五,使用深硅感应耦合等离子刻蚀去除没有光刻胶图形 5 覆盖的多晶硅, SF₆ 流量 40sccm, C₄F₈ 流量 60sccm, ICP 功率 800W, 刻蚀时间 32s, 刻蚀后使用丙酮、酒精洗去残余的光刻胶,得到多晶硅掩膜 6。

[0033] 步骤六,干氧氧化,氧化温度 1100° C, O₂ 流量 20sccm, N₂ 流量 60sccm, 氧化时间 33min, 得到氧化层 7 与剩余多晶硅掩膜 8。

[0034] 步骤七,在室温(25° C)下使用 BOE 溶液(氢氟酸 : 氟化氨 =1 :20)去除氧化层,分两次浸泡样品,第一次浸泡时间 150s,取出样品,使用丙酮、乙醇和水清洗样品,第二次浸泡时间 90s,取出样品,使用丙酮、乙醇和去离子水清洗样品。再使用浓度为 5% 的氢氧化钠溶液浸泡样品 30s,取出样品,使用去离子水清洗样品,得到宽为 1 μ m, 高为 220nm 硅波导 9。

[0035] 实施例 2

[0036] 一种基于多晶硅掩膜的硅波导制备方法,包括如下步骤 :

[0037] 步骤一,对洁净的绝缘体上硅片 1 进行干氧氧化处理,氧化温度 850° C, O₂ 流量 15sccm, N₂ 流量 45sccm, 氧化时间 25min, 形成 30nm 厚的二氧化硅膜 2;

[0038] 步骤二,利用感应耦合等离子增强化学气相沉积在二氧化硅膜上形成一层 100nm 厚的多晶硅 3,托盘温度 350° C, SiH₄ 流量 10sccm, H₂ 流量 15sccm, 等离子功率 2000W, 射频功率 200W;

[0039] 步骤三,旋涂 3 μ m 厚的光刻胶 4 使其覆盖多晶硅 3;

[0040] 步骤四,用步进式光刻机进行光刻,焦距 -1, 曝光时间 120msms, 形成光刻胶图像 5;

[0041] 步骤五,用深硅感应耦合等离子刻蚀去除没有被光刻胶图像 5 覆盖的多晶硅, SF₆ 流量 80sccm, C₄F₈ 流量 60sccm, 等离子功率 700W, 刻蚀时间 30s, 然后, 先后用丙酮和酒精洗去残余的光刻胶图像,形成多晶硅掩膜 6;

[0042] 步骤六,进行再次干氧氧化处理,氧化温度 1100° C, O₂ 流量 20sccm, N₂ 流量 60sccm, 氧化时间 30min, 形成氧化层 7 与剩余多晶硅掩膜 8;

[0043] 步骤七,在室温 25° C 下利用氟化铵腐蚀液(氢氟酸 : 氟化氨 =1 :20)去除氧化层,

利用碱性溶液去除残余多晶硅，得到 180nm 厚的硅波导 9。

[0044] 实施例 3

[0045] 一种基于多晶硅掩膜的硅波导制备方法，包括如下步骤

[0046] 步骤一，对洁净的绝缘体上硅片 1 进行干氧氧化处理，氧化温度 950° C，O₂ 流量 20sccm，N₂ 流量 60sccm，氧化时间 10min，形成 20 厚的二氧化硅膜 2；

[0047] 步骤二，利用感应耦合等离子增强化学气相沉积在二氧化硅膜上形成一层 400nm 厚的多晶硅 3，托盘温度 350° C，SiH₄ 流量 5sccm，H₂ 流量 25sccm，等离子功率 2500W，射频功率 200W；

[0048] 步骤三，旋涂 1 μ m 厚的光刻胶 4 使其覆盖多晶硅 3；

[0049] 步骤四，用步进式光刻机进行光刻，焦距 0.5，曝光时间 160ms，形成光刻胶图像 5；

[0050] 步骤五，用深硅感应耦合等离子刻蚀去除没有被光刻胶图像 5 覆盖的多晶硅，SF₆ 流量 40sccm，C₄F₈ 流量 40sccm，等离子功率 800W，刻蚀时间 35s，然后，先后用丙酮和酒精洗去残余的光刻胶图像，形成多晶硅掩膜 6；

[0051] 步骤六，进行再次干氧氧化处理，氧化温度 1000° C，O₂ 流量 15sccm，N₂ 流量 45sccm，氧化时间 45min，形成氧化层 7 与剩余多晶硅掩膜 8；

[0052] 步骤七，在室温 25° C 下利用氟化铵腐蚀液去除氧化层，利用碱性溶液去除残余多晶硅，得到 350nm 厚的硅波导 9。

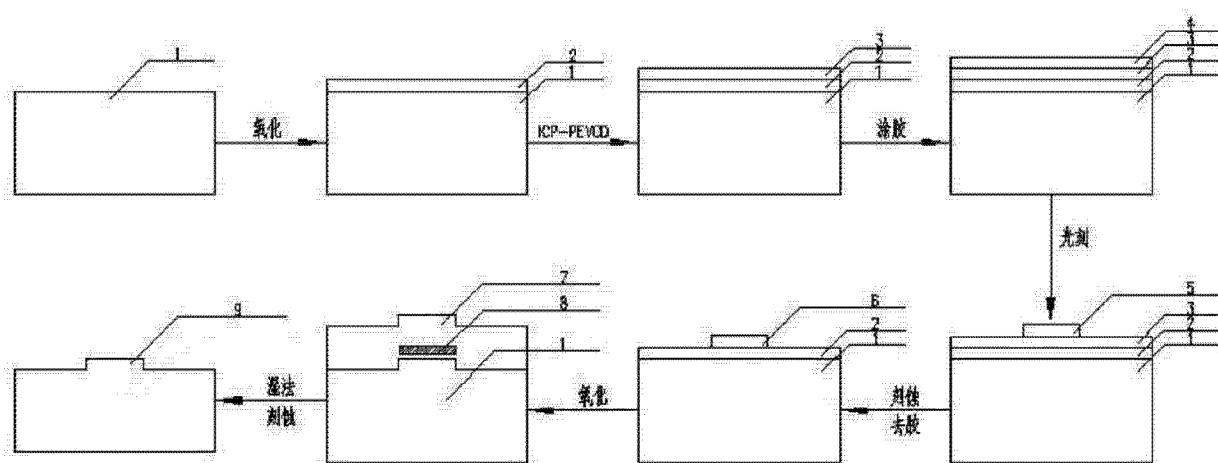


图 1