

激光退火装置

技术领域

本发明涉及半导体设备技术领域，特别是涉及一种用于退火工艺中的激光退火装置。

背景技术

过去数十年，电子器件制造遵循摩尔定律，经历了快速发展。减小集成电路尺寸是维持这一趋势的源动力，而随着制造尺寸的缩小，带来了制造工艺技术上的困难和挑战。在互补金属氧化物半导体晶体管（CMOS）的形成过程中，热处理一直起着关键的作用，特别是对于超浅结激活以及硅化物形成等关键过程来讲，更是至关重要。传统的快速退火已经很难满足 32nm 及更高节点的要求，新的退火技术替代快速热退火正在被大量研究，如闪光灯退火、激光尖峰退火、低温固相外延等。其中，激光退火技术已显示出良好的应用前景。

激光退火采用激光扫描整片硅片，在很短的时间在较小的区域产生热量，并使温度正好低于硅的熔点，之后冷却过程亦在很短时间能完成，驻留时间在几百微秒，是一种有效地无扩散工艺。由于驻留时间极短，为扩散提供驱动力的温差在错位前就会消失，可以减小硅片应力。对于毫秒退火，最重要的成品率问题包括图形的相关性，加工工艺中的硅片具有图形结构，包括绝缘层和各种离子注入，其改变了薄膜的光学反射率，随之而来的光学吸收量和升温速度的改变。一些集成方案采用吸收层来弥补这种表面光学属性，这使得工艺成本和成品率风险大大增加。

美国专利 US2013/0196455A1 公开的采用波长 10.6 μ m 的 CO₂ 激光器 P 偏振布儒斯特角入射硅片，从而使得表面最大吸收，最小化光学吸收差异。但是这一方法局限于 P 偏振光、采用布儒斯特角入射硅片，因此还需要进行改

善。

发明内容

本发明的目的在于，提供一种激光退火装置，使得入射角的范围更为宽阔，且能够改善表面吸收和光学吸收差异。

本发明的另一目的在于，提供一种激光退火装置，不局限于仅适用于 P 偏振光进行入射，提高装置的适用性。

为解决上述技术问题，本发明提供一种激光退火装置，用于对放置于工件台上的硅片进行退火，包括：激光光源，用于发出光束；第一光学单元，用于将激光光源发出的所述光束转换为第一类型偏振光；以及第二光学单元，包括一光引导元件以及第一反射元件，所述光引导元件用于使所述第一类型偏振光沿第一光路第一次入射至硅片表面并由硅片表面反射，所述反射光经第一反射元件反射后沿与所述第一光路对称的第二光路第二次入射至硅片表面并由硅片表面反射至所述光引导元件。

可选的，所述光引导元件为偏振分光棱镜，所述第一反射元件为反射镜。

可选的，所述第二光学单元还包括沿所述第二光路位于第一反射镜和硅片表面之间的 1/4 波片，所述 1/4 波片用于改变入射至 1/4 波片的光束类型。

可选的，所述第二光学单元还包括第二反射镜，所述第二反射镜位于偏振分光棱镜的一侧，所述一侧不同于第一光学单元产生的第一类型偏振光入射至偏振分光棱镜的一侧，且所述偏振分光棱镜用于透过第一类型偏振光、与第一类型相反的第二类型偏振光中的一个，反射第一类型偏振光、第二类型偏振光中的另一个，使得第二次入射至硅片表面并反射通过所述偏振分光棱镜的第二类型偏振光被所述第二反射镜反射回偏振分光棱镜。

可选的，所述第二反射镜与所述第一光路平行设置，入射光沿第一光路的方向入射至偏振分光棱镜，偏振分光棱镜允许第一类型偏振光透过，对第

二类型偏振光反射。

可选的，所述第二反射镜与第一光路垂直设置，入射光沿与第一光路垂直的方向入射至偏振分光棱镜，偏振分光棱镜允许第二类型偏振光透过，对第一类型偏振光反射。

可选的，所述第二光学单元还包括沿所述第一光路位于偏振分光棱镜和硅片表面之间的第一透镜。

可选的，所述第二光学单元还包括沿所述第一光路位于所述 1/4 波片和硅片表面之间的第二透镜。

可选的，所述第一类型偏振光经偏振分光棱镜、第一透镜后第一次入射至硅片表面并反射，第一反射光束入射第二透镜、1/4 波片，经第一反射镜反射；反射后入射 1/4 波片、第二透镜，成第二类型偏振光第二次入射硅片表面并反射，第二反射光束入射第一透镜、偏振分光棱镜，经第二反射镜反射；反射后入射偏振分光棱镜、第一透镜，成第二类型偏振光第三次入射硅片表面并反射，第三反射光束入射第二透镜、1/4 波片，经第一反射镜反射；反射后入射 1/4 波片、第二透镜，成第一类型偏振光第四次入射硅片表面并反射，第四反射光束经第一透镜、偏振分光棱镜后离开所述第二光学单元。

可选的，所述第一类型偏振光为 P 偏振光和 S 偏振光中的一个，所述第二类型偏振光为 P 偏振光和 S 偏振光中的另一个。

可选的，所述第一光学单元按光束入射路径依次包括衰减器，准直扩束镜组，匀光器和偏振调节单元。

可选的，所述第一光路与硅片表面的角度为 30 度至 80 度，优选地，为 60 度至 80 度。

与现有技术相比，本发明提供的激光退火装置中的第二光学单元相当于一个能量补偿单元，能使硅片表面反射光通过该能量补偿单元多次入射硅片表面。相比现有技术，本发明通过将反射光补偿使得表面最大吸收，最小化光

学吸收差异。此外，从所述能量补偿单元向硅片表面入射的光的入射角有着较大的范围，解决了局限于布儒斯特角入射的状况，且 S 偏振光和 P 偏振光都能够被使用，可取得与特定的布儒斯特角入射相当的作用效果，因此提高了激光退火装置的适应性。

附图说明

图 1 为本发明实施例的激光退火装置的示意图；

图 2 为本发明第一实施例中能量补偿单元的示意图；

图 3 为第一实施例中相同复折射不同入射次数下不同入射角对应无量纲透射能量密度的关系图；

图 4 为第一实施例中相同入射角下不同折射率对应无量透射能量密度的关系图；

图 5 为本发明第二实施例中能量补偿单元的示意图；

图 6 为第二实施例中不同折射率对应无量透射能量密度的关系图；

图 7 为本发明第三实施例中能量补偿单元的示意图。

具体实施方式

下面将结合示意图对本发明的激光退火装置进行更详细的描述，其中表示了本发明的优选实施例，应该理解本领域技术人员可以修改在此描述的本发明，而仍然实现本发明的有利效果。因此，下列描述应当被理解为对于本领域技术人员的广泛知道，而并不作为对本发明的限制。

为了清楚，不描述实际实施例的全部特征。在下列描述中，不详细描述公知的功能和结构，因为它们会使本发明由于不必要的细节而混乱。应当认为在任何实际实施例的开发中，必须做出大量实施细节以实现开发者的特定目标，例如按照有关系统或有关商业的限制，由一个实施例改变为另一个实

施例。另外，应当认为这种开发工作可能是复杂和耗费时间的，但是对于本领域技术人员来说仅仅是常规工作。

在下列段落中参照附图以举例方式更具体地描述本发明。根据下面说明和权利要求书，本发明的优点和特征将更清楚。需说明的是，附图均采用非常简化的形式且均使用非精准的比例，仅用以方便、明晰地辅助说明本发明实施例的目的。

本发明的核心思想是，提供一种激光退火装置，用于对放置于工件台上的硅片进行退火，包括：激光光源、前端光学单元及能量补偿单元，激光光源发出的光束经所述前端光学单元整形、偏振调节成偏振光入射能量补偿单元，通过能量补偿单元实现入射光束多次入射硅片。

以下列举所述激光退火装置的较优实施例，以清楚说明本发明的内容，应当明确的是，本发明的内容并不限制于以下实施例，其他通过本领域普通技术人员的常规技术手段的改进亦在本发明的思想范围之内。

基于上述思想，下面提供激光退火装置的较优实施例，请参考图 1，图 1 为本发明中的激光退火装置的示意图。如图 1 所示，包括：激光光源 10、前端光学单元 200 及能量补偿单元 60，硅片 70 放置于工件台 80 上，激光光源 10 例如可以发射出红外光、可见光或者紫外光，发出的光束经所述前端光学单元 200 整形、偏振调节成偏振光入射能量补偿单元 60，通过能量补偿单元 60 实现入射光束多次入射硅片 70。

所述前端光学单元 200 包括衰减器 20，准直扩束镜组 30，匀光器 40 和偏振调节单元 50，光束依次入射并出射后形成所需类型的偏振光。下面结合多个实施例进行详细说明。

请参考图 2，本发明第一实施例的能量补偿单元 60 包括：偏振分光棱镜 602、第一透镜 603、第二透镜 604，1/4 波片 605 和第二反射镜 606，光束经

过偏振分光棱镜 602 和第一透镜 603 后投射在硅片 70 上, 经硅片 70 反射后依次经过第二透镜 604 和 1/4 波片 605 投射至第二反射镜 606。其中, 所述 1/4 波片用于改变入射至 1/4 波片的光束类型。

如图 2 所示的本发明第一实施例为优选实施例, 其中, 所述能量补偿单元还包括第一反射镜 601, 所述第一反射镜 601 位于偏振分光棱镜 602 一侧, 且在偏振分光棱镜 602 与第一透镜 603 连线靠近硅片 70 的一侧。所述偏振分光棱镜 602 能把入射的非偏振光分成两束垂直的线偏光。其中, P 偏振光完全通过, 而 S 偏振光以 45 度角被反射, 出射方向与 P 偏振光成 90 度角。

继续参考图 2, 调节前端光学单元 200 使得入射的偏振光 100 为 P 偏振光 (P 偏振光用具有一对平行线的箭头表示), 经偏振分光棱镜 602、第一透镜 603 后成 P 偏振光 101 入射至硅片 70 表面并反射, 反射光束 102 入射第二透镜 604、1/4 波片 605, 经第二反射镜 606 反射; 反射后入射 1/4 波片 605、第二透镜 604, 成 S 偏振光 103 (S 偏振光用具有一对圆点的箭头表示) 再次入射硅片 70 表面并反射, 反射光束 104 入射第一透镜 603、偏振分光棱镜 602, 由于入射至偏振分光棱镜 602 的光为 S 偏振光, 所以被偏振分光棱镜 602 反射至第一反射镜 601, 出射方向与入射方向成 90 度角, 经第一反射镜 601 反射; 反射后入射偏振分光棱镜 602、第一透镜 603, 成 S 偏振光 105 第三次入射硅片 70 表面并反射, 反射光束 106 入射第二透镜 604、1/4 波片 605, 经第二反射镜 606 反射; 反射后入射 1/4 波片 605、第二透镜 604, 成 P 偏振光 107 第四次入射硅片 70 表面并反射, 反射光束 108 经第一透镜 603、偏振分光棱镜 602, 由于入射至偏振分光棱镜 602 的光为 P 偏振光, 所以可以通过偏振分光棱镜 602, 即, 离开能量补偿单元。

本发明中入射光在硅片 70 表面的反射情况如下: 定义环境空气折射率为 n_0 , 器件材料的折射率为 n_1 , 入射角 θ_0 , 折射角 θ_1 。根据菲涅耳公式, P 偏振

和 S 偏振条件下, 介质 n_0 、 n_1 分界面的反射率 R 和透射率 T 分别为:

$$R_s = \frac{\sin^2(\theta_0 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_0 + \theta_1)}, \quad T_s = \frac{n_1 \cos \theta_1}{n_0 \cos \theta_0} \cdot \frac{4 \sin^2 \theta_1 \cos^2 \theta_0}{\sin^2(\theta_0 + \theta_1)} \quad (1)$$

$$R_p = \frac{\tan^2(\theta_0 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_0 + \theta_1)}, \quad T_p = \frac{n_1 \cos \theta_1}{n_0 \cos \theta_0} \cdot \frac{4 \sin^2 \theta_1 \cos^2 \theta_0}{\sin^2(\theta_0 + \theta_1) \cos^2(\theta_0 - \theta_1)} \quad (2)$$

其中入射角和折射角满足关系式 $n_0 / n_1 = \sin \theta_1 / \sin \theta_0$, 下标 S、P 分别表示 S 偏振情况和 P 偏振情况。

设一次入射和四次入射情况下, 无量纲透射能量密度分别为 I_1 和 I_2 , 根据公式 (1) 和 (2), 可知:

$$I_1 = T_p,$$

$$I_2 = T_p + R_p \times T_s + R_p \times R_s \times T_s + R_p \times R_s \times R_s \times T_p.$$

请结合图 3, 示出了在相同复折射率不同入射次数下不同入射角对应无量纲透射能量密度的关系。从图中曲线可以看出, 在使用能量补偿单元情况, 任意角度下表面吸收要优于一次入射条件下的值, 且四次入射优于二次入射。在本实施例中, 测试的入射角度为 30° 至 80° , 例如入射光线在 45° 入射时, 入射角度波动 $\pm 1^\circ$ 之间, 一次入射表面吸收波动 (入射表面吸收波动为在 $44^\circ \sim 46^\circ$ 范围内, 无量纲透射能量密度最大值和最小值之差与最大值和最小值之和的比值) 0.889%, 二次入射表面吸收波动 0.189%, 四次入射表面吸收波动 0.052%。例如在 60° 入射时, 入射角度波动 $\pm 1^\circ$ 之间, 一次入射表面吸收波动 1.152%, 二次入射表面吸收波动 0.484%, 四次入射表面吸收波动 0.095%。通过能量补偿单元收集反射光补偿硅片, 其对入射角度波动的抗干扰性能优于未使用的, 且进行三次补偿 (即四次入射) 的优于一次补偿 (即二次入射) 的。采用能量补偿单元, 将反射光三次收集进行补偿入射, 最大化表面吸收, 从而有利于获得较佳的退火效果。虽然入射角为布儒斯特角时能够获得理论上的最大化表面吸收, 但是在本实施例中, 通过反射补偿, 入

射角度不必严格控制在布儒斯特角附近，依然能够获得可以接收的表面吸收效果，从而有着更强的适应性。

请结合图 4，示出了相同入射角下不同折射率对应无量透射能量密度的关系。从图中曲线可以看出，两种入射角度下，四次入射较一次入射无量透射能量密度均得到了有效提高，同时采用能量补偿单元形成四次入射时，材料折射率波动引起的光学吸收差异被弱化。折射率最大/最小两极端情况下，在 45° 入射时，一次入射表面吸收波动 14.66%，四次入射表面吸收波动 3.13%，在 60° 入射时，一次入射表面吸收波动 11.28%，四次入射表面吸收波动 1.99%。四次入射时一方面提高了光学吸收，同时降低了光学属性差异引起的光学吸收波动。考虑到 60° 入射优于 45° 入射情况，因此，在实际应用中，激光退火装置优选大角度入射，例如 60° 至 80° 。

请参考图 5，其示出了本发明第二实施例，本实施例亦为一较佳实施例，为了简便，本实施例与第一实施例相同或相似的模块采用相同的标号，并省略相应说明。与实施例一不同的是，所述第一反射镜 601 位于偏振分光棱镜 602 与第一透镜 603 连线上远离第一透镜 603 的一侧。调节前端光学器件 200 使得入射的偏振光为 S 偏振光 100，经偏振分光棱镜 602、第一透镜 603 后成 S 偏振光 101 入射至硅片 70 表面并反射，反射光束 102 入射第二透镜 604、 $1/4$ 波片 605，经第二反射镜 606 反射；反射后入射 $1/4$ 波片 605、第二透镜 604，成 P 偏振光 103 再次入射硅片 70 表面并反射，反射光束 104 入射第一透镜 603、偏振分光棱镜 602，经第一反射镜 601 反射；反射后入射偏振分光棱镜 602、第一透镜 603，成 P 偏振光 105 第三次入射硅片 70 表面并反射，反射光束 106 入射第二透镜 604、 $1/4$ 波片 605，经第二反射镜 606 反射；反射后入射 $1/4$ 波片 605、第二透镜 604，成 S 偏振光 107 第四次入射硅片 70 表面并反射，反射光束 108 经第一透镜 603、偏振分光棱镜 602 后离开能量补

偿单元。

请结合图 6，示出了 S 光入射下不同折射率对应无量透射能量密度的关系。从图中曲线可以看出，S 光入射能量补偿单元后，四次入射与一次入射比较可知，硅片的表面吸收提高两倍以上，而在折射率最大/最小两极端情况下，一次入射表面吸收波动 22.5%，四次入射表面吸收波动 1.99%。四次入射情况下，首次入射能量补偿单元的光束偏振态不影响最终的作用效果。

请参考图 7，其示出了本发明的第三实施例，为了简便，本实施例与第一实施例相同或相似的模块采用相同的标号，并省略相应说明。入射的偏振光 100 为 P 偏振光，经偏振分光棱镜 602、第一透镜 603 后成 P 偏振光 101 入射至硅片 70 表面并反射，反射光束 102 入射第二透镜 604、1/4 波片 605，经反射第二射镜 606 反射；反射后入射 1/4 波片 605、第二透镜 604，成 S 偏振光 103 再次入射硅片 70 表面并反射，反射光束 104 经过第一透镜 603、偏振分光棱镜 602 后离开能量补偿单元。

在本实施例中，能量补偿单元得到了简化，同样的光线在硅片上的反射次数也减少。但是结合第一实施例不难看出，本实施例采用了一次补偿入射硅片，相比一次反射，依然能够起到较好的效果。

显然，本领域的技术人员可以对本发明进行各种改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样，倘若本发明的这些修改和变型属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内，则本发明也意图包含这些改动和变型在内。

权利要求

1、一种激光退火装置，用于对放置于工件台上的硅片进行退火，包括：

激光光源，用于发出光束；

第一光学单元，用于将激光光源发出的所述光束转换为第一类型偏振光；

以及

第二光学单元，包括一光引导元件以及第一反射元件，所述光引导元件用于使所述第一类型偏振光沿第一光路第一次入射至硅片表面并由硅片表面反射，所述反射光经第一反射元件反射后沿与所述第一光路对称的第二光路第二次入射至硅片表面并由硅片表面反射至所述光引导元件。

2、如权利要求 1 所述的激光退火装置，其特征在于，所述光引导元件为偏振分光棱镜，所述第一反射元件为反射镜。

3、如权利要求 2 所述的激光退火装置，其特征在于，所述第二光学单元还包括沿所述第二光路位于第一反射镜和硅片表面之间的 $1/4$ 波片，所述 $1/4$ 波片用于改变入射至 $1/4$ 波片的光束类型。

4、如权利要求 3 所述的激光退火装置，其特征在于，所述第二光学单元还包括第二反射镜，所述第二反射镜位于偏振分光棱镜的一侧，所述一侧不同于第一光学单元产生的第一类型偏振光入射至偏振分光棱镜的一侧，且所述偏振分光棱镜用于透过第一类型偏振光、与第一类型相反的第二类型偏振光中的一个，反射第一类型偏振光、第二类型偏振光中的另一个，使得第二次入射至硅片表面并反射通过所述偏振分光棱镜的第二类型偏振光被所述第二反射镜反射回偏振分光棱镜。

5、如权利要求 4 所述的激光退火装置，其特征在于，所述第二反射镜与所述第一光路平行设置，入射光沿第一光路的方向入射至偏振分光棱镜，偏

振分光棱镜允许第一类型偏振光透过，对第二类型偏振光反射。

6、如权利要求 4 所述的激光退火装置，其特征在于，所述第二反射镜与第一光路垂直设置，入射光沿与第一光路垂直的方向入射至偏振分光棱镜，偏振分光棱镜允许第二类型偏振光透过，对第一类型偏振光反射。

7、如权利要求 3 所述的激光退火装置，其特征在于，所述第二光学单元还包括沿所述第一光路位于偏振分光棱镜和硅片表面之间的第一透镜。

8、如权利要求 7 所述的激光退火装置，其特征在于，所述第二光学单元还包括沿所述第一光路位于所述 1/4 波片和硅片表面之间的第二透镜。

9、如权利要求 8 所述的激光退火装置，其特征在于，所述第一类型偏振光经偏振分光棱镜、第一透镜后第一次入射至硅片表面并反射，第一反射光束入射第二透镜、1/4 波片，经第一反射镜反射；反射后入射 1/4 波片、第二透镜，成第二类型偏振光第二次入射硅片表面并反射，第二反射光束入射第一透镜、偏振分光棱镜，经第二反射镜反射；反射后入射偏振分光棱镜、第一透镜，成第二类型偏振光第三次入射硅片表面并反射，第三反射光束入射第二透镜、1/4 波片，经第一反射镜反射；反射后入射 1/4 波片、第二透镜，成第一类型偏振光第四次入射硅片表面并反射，第四反射光束经第一透镜、偏振分光棱镜后离开所述第二光学单元。

10、如权利要求 4 所述的激光退火装置，其特征在于，所述第一类型偏振光为 P 偏振光和 S 偏振光中的一个，所述第二类型偏振光为 P 偏振光和 S 偏振光中的另一个。

11、如权利要求 1-8 任一项所述的激光退火装置，其特征在于，所述第一光学单元按光束入射路径依次包括衰减器，准直扩束镜组，匀光器和偏振调节单元。

12、如权利要求 1 所述的激光退火装置，其特征在于，所述第一光路与

硅片表面的角度为 30 度至 80 度。

13、如权利要求 12 所述的激光退火装置，其特征在于，所述第一光路与硅片表面的角度为 60 度至 80 度。