离轴对准系统及对准方法

技术领域

本发明涉及一种硅片对准的处理装置，尤其涉及一种离轴对准系统及其对准方法。

背景技术

目前，光刻设备大多采用基于光栅衍射干涉的对准系统。该类对准系统基本特征为：包含单波长或多波长的照明光束照射在光栅型对准标记上发生衍射，产生的各级衍射光携带有关于对准标记的位置信息；不同级次的光束以不同的衍射角从相位对准光栅上散开，通过对准系统收集各级次的衍射光束，使两个对称的正负衍射级次（如±1 级、±2 级、±3 级等）在对准系统的像面或瞳面重叠相干，形成各级干涉信号。当对对准标记进行扫描时，利用光电探测器记录干涉信号的强度变化，通过信号处理，确定对准中心位置。

现有技术中具有代表性的是荷兰 ASML 公司采用的一种离轴对准系统，该对准系统在光源部分采用红光、绿光双光源照射；并采用楔块列阵或楔板组来实现对准标记多级衍射光的重叠和相干成像，并在像面上将成像空间分开；红光和绿光的对准信号通过一个偏振分束棱镜来分离；通过探测对准标记像透过参考光栅的透射光强，得到正弦输出的对准信号。该对准系统存在的缺陷：首先，由于该系统采用偏振分束棱镜的分光系统只能分离两个波长的色光，对两个波长以上的对准信号则无法完成；其次，该对准系统的多级衍射光在像面干涉，在对准标记反射率不均匀时，标记旋转、倍率误差等因素导致的对准误差较大；最后，该对准系统使用楔块列阵时，对折射正、负相同级次的两楔块的面型和楔角一致性要求很高，而楔板组的加工制造、装配和调整的要求也很高，具体实施工程难度较大，成本高。

另外一种现有技术也是荷兰 ASML 公式采用的离轴对准系统。该系统通

过一个旋转自参考干涉仪产生两个相对旋转 180°的对准标记像，在光瞳面探测重叠衍射级的干涉信号，根据探测到的各级次干涉信号的相对相位变化得到对准位置信号。该对准系统采用了多主截面、空间复合棱镜结构的旋转自参考干涉仪，棱镜的加工和装调公差要求很高，棱镜组胶合难度较大，同时，由于光束是相对旋转 180°重叠干涉，对照明光束的空间相干性要求较高，实施难度也较大。

因此，如何提供一种既能够避免对照明光束空间相干性的要求、消除对准标记倾斜、离焦对探测结果的影响，且光路结构简单、避免使用复杂光学元件、容易实现的离轴对准系统及对准方法是本领域技术人员亟待解决的一个技术问题。

发明内容

本发明的目的在于提供一种离轴对准系统及对准方法，以解决现有离轴对准系统中对准标记倾斜、离焦对探测结果的影响较大，对照明光束相干性要求较高或需要使用楔块列阵等复杂元件而使实施难度大的问题。

为解决上述技术问题，本发明提供一种离轴对准系统，按光束传播路径依次包括照明模块、干涉模块以及探测模块，所述照明模块包括光源、多波长入射光纤以及分光元件；所述探测模块依次包括探测透镜组、偏振装置、探测光纤以及光电探测器；所述干涉模块包括：偏振分束器，具有四个侧面，所述照明模块和探测模块均位于所述偏振分束器的第一侧；第一 1/4 波片和第一反射镜，依次设在与所述第一侧相对的所述偏振分束器的第二侧；第二 1/4 波片、角锥棱镜，依次设在所述偏振分束器的第三侧；和第三 1/4 波片、第二反射镜以及透镜，依次设在与所述第三侧相对的所述偏振分束器的第四侧，所述第二反射镜位于所述透镜的后焦面上，所述角锥棱镜的底面中心位于所述透镜的光轴上。

较佳地，所述照明模块还包括快门、光隔离器和相位调制器。

较佳地，所述光源为激光器。

较佳地，所述光源至少包含四个不同波长，其中有两个波长在红外波段。

较佳地，所述光源为单频激光器，所述分光元件为光栅分束器或光纤分束器或平面光波导功率分光器。

较佳地，所述光源为双频激光器，所述分光元件为激光频率分裂器。

较佳地，所述激光频率分裂器为电光调制器或声光调制器。

较佳地，所述偏振装置为二向色偏振器、基于多层涂层的正则偏振分光器、双折射分光器中的一种。

本发明还提供了一种离轴对准方法，采用如上所述的离轴对准系统，所述离轴对准方法包括如下步骤:

所述光源发出激光束，经所述分光元件分为多波长多级次的照明光束，所述照明光束入射至所述偏振分束器并被分为第一光束和第二光束，所述第一光束和第二光束分别经所述反射镜和角锥棱镜的反射后关于所述透镜的光轴对称，所述第一光束和第二光束入射至所述透镜后以对称的入射角照射至对准标记，发生第一次衍射;

两束衍射光束通过所述透镜，被所述透镜后焦面的第二反射镜反射，反射后的光束再次入射到所述对准标记发生第二次衍射;

二次衍射光束被所述透镜收集后，再次经过所述偏振分束器、角锥棱镜以及第一反射镜，最终在所述偏振分束器的分界面相同位置重叠，形成干涉信号;

所述干涉信号分别经所述探测透镜组及偏振装置入射至所述光电探测器，所述光电探测器根据所述干涉信号的相位变化确定对准位置的信息。

本发明具有如下有益效果:

1.采用光栅二次衍射技术，入射光束先后两次经过所述对准标记，且第二次衍射光束方向与原入射方向完全相反，以确保当所述对准标记倾斜和/或离焦时，探测结果不会受到影响;

2.采用角锥棱镜实现入射光束的对称反射和180°旋转，从而消除系统对照明光束空间相干性的要求；

3.光路结构简单，没有使用复杂的光学元件（楔块列阵等），体积小，便于装调和集成。

附图说明

图1为本发明实施例1离轴对准系统的结构示意图；

图2为实施例1的光路示意图；

图3为角锥棱镜的简化光路示意图；

图4为图3的俯视图；

图5为对准标记二次衍射的原理示意图；

图6为对准标记倾斜的情况下二次衍射的光路示意图；

图7为对准标记离焦的情况下二次衍射的光路示意图；

图8为对准标记倾斜且离焦的情况下二次衍射的光路示意图；

图9为光栅分束器分光原理示意图；

图10为光纤分束器分光原理示意图；

图11为平面光波导功率分光器分光原理示意图；

图12为两个方向对准的情况下，偏振分束器输入/输出端面的正视图；

图13为本发明实施例2离轴对准系统的结构示意图。

具体实施方式

为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图对本发明的具体实施方式做详细的说明。

实施例1

本发明提供的离轴对准系统，如图1所示，按光束传播路径依次包括照明模块10、干涉模块20以及探测模块30，所述照明模块10和探测模块30

位于所述干涉模块 20 的同侧，所述照明模块 10 包括光源（图中未示出）、多波长入射光纤 11 以及分光元件 12，较佳地，所述光源为激光器，因为激光的亮度高、方向性好，实施例 1 中所述光源为单频激光器，发出的照明光束为单一频率的线偏振光，较佳地，所述照明模块 10 还包括快门（图中未示出）、光隔离器（图中未示出）和相位调制器（图中未示出），所述快门用于在需要时阻挡照明光束，所述光隔离器用于对光束的方向进行限制，使光束只能单方向通过，所述相位调节器用于照明光束的相位调制，可有效抑制杂散光与信号光的相干性，降低干涉条纹的对比度，提高信噪比，较佳地，所述分光元件 12 为光栅分束器或光纤分束器或平面光波导功率分光器；所述干涉模块 20 包括偏振分束器 21，所述偏振分束器 21 与所述照明模块 10 和探测模块 30 所在的一侧相对的一侧依次设有第一 1/4 波片 22 和第一反射镜 23，所述偏振分束器 21 的另外两侧分别依次设有第二 1/4 波片 24、角锥棱镜 25 和第三 1/4 波片 26、第二反射镜 27 以及透镜 28，所述第二反射镜 27 位于所述透镜 28 的后焦面上，对准标记 40 位于所述透镜 28 的另一侧，所述角锥棱镜 25 的底面中心位于所述透镜 28 的光轴上；所述探测模块 30 依次包括探测透镜组 31、偏振装置 32、探测光纤 33 以及光电探测器 34，较佳地，所述偏振装置 32 为二向色偏振器、基于多层涂层的正则偏振分光器、双折射分光器中的一种，如萨伐尔板（Savart plate）、三元渥拉斯顿棱镜（Wollaston prism）等，所述照明模块 10 发出的光束经所述干涉模块 20 两次衍射，形成干涉信号携带所述对准标记 40 的位置信息，最终入射至所述探测模块 30，所述探测模块 30 根据所述干涉信号的相位变化确定对准位置信息。

较佳地，所述光源至少包含四个不同波长，其中有两个波长在红外波段，例如：$\lambda_1 = 532nm$ 、$\lambda_2 = 632.8nm$ 、$\lambda_3 = 780nm$ 、$\lambda_4 = 850nm$，利用多波长光源照明，可以有效抑制干涉相消效应的影响，提高工艺适应性；使用近红外和远红外波长的光源照明，可以有效解决低 k 值介质材料在可见光谱范围的吸收问题，并可用于多晶硅工艺层的标记探测，从而提高对准信号强度。

本发明还提供了一种离轴对准方法，请参考图 1 和图 2，采用如上所述的离轴对准系统，所述离轴对准方法包括如下步骤：所述光源发出激光束通过所述多波长入射光纤 11 传输，经所述分光元件 12 分为多波长多级次的照明光束，照明光束 100 为其中某个波长λ的光束，其偏振方向与所述偏振分束器 21 的光轴方向成 45°夹角，所述照明光束 100 入射至所述偏振分束器 21 并被分为偏振方向相互垂直的第一光束 101a 和第二光束 102a，所述第一光束 101a 为 P 偏振光，由图 2 中的实线及实心箭头表示，所述第二光束 102a 为 S 偏振光，由图 2 中的虚线及空心箭头表示，所述第一光束 101a 经过第一 1/4 波片 22 进行消色差处理后入射至所述第一反射镜 23，被所述第一反射镜 23 反射后再次通过所述偏振分束器 21，此时光束偏振方向旋转了 90°，变为 S 偏振光 101b，光束 101b 被所述偏振分束器 21 反射经所述第三 1/4 波片 26，转变为圆偏振光 101c；所述第二光束 102a 经所述第二 1/4 波片 24 转变为 P 偏振光 102b，该 P 偏振光 102b 透过所述偏振分束器 21，经所述第三 1/4 波片 26 转变为圆偏振光 102c，所述光束 101c 和 102c 关于所述透镜 28 的光轴对称。

当所述对准标记 40 位于所述透镜 28 的前焦面，且所述对准标记 40 垂直于所述透镜 28 的光轴时，光束 101c 和 102c 通过所述透镜 28 分别变为 101d 和 102d，并汇聚于所述对准标记 40 上，光束 101d 和 102d 的入射角对称相等，且等于所述对准标记 40 某个级次的衍射角θ，则分别产生该级次的衍射光束 101e 和 102e，其方向垂直于所述对准标记 40，所述衍射光束 101e 和 102e 被位于透镜 28 后焦面 29 上的反射镜 27 反射后，再次入射到所述对准标记 40 并再次发生衍射，产生二次衍射光束 101f 和 102f，理想情况下，所述二次衍射光束 101f 和 102f 分别与原入射光束 101d 和 102d 光路完全重合且方向相反，图 2 中，为清晰表明传输光路，将位置重合、方向相反的光束分开示出。

这样，照射到所述对准标记 40 的光束 101c 和 102c 均为圆偏振光，当对准标记 40 周期远大于照明波长时，偏振选择并不重要，但当所述对准标记 40 的光栅周期与照明光波长在相同量级时，光栅的衍射效率与照明光的偏振特

性有关，如果采用线偏振光入射，可能面临光栅的衍射效率在该偏振方向上急剧下降的风险，此处利用圆偏振光照明可有效避免该风险，圆偏振光包含两个方向相互垂直的线偏振光，确保总有一偏振方向可以产生高效率的衍射光。因而，采用圆偏振光照射对准标记可提高所述对准系统对小周期对准标记的适应性。

二次衍射光束 101f 和 102f 被所述透镜 28 收集后分别经过所述第三 1/4 波片 26 变为 P 偏振光 101g 和 S 偏振光 102g，所述 P 偏振光 101g 通过所述偏振分束器 21，经过所述第二 1/4 波片 24 被所述角锥棱镜 25 反射后再次经过所述第二 1/4 波片 24，变为 S 偏振光 101h；同时，所述 S 偏振光 102g 被所述偏振分束器 21 反射，经过所述第一 1/4 波片 22 后被所述第一反射镜 23 反射，再次经过所述第一 1/4 波片 22 变为 P 偏振光 102h，所述光束 101h 和 102h 分别在所述偏振分束器 21 的相同位置发生反射和透射，并同时从所述偏振分束器 21 的左端面射出并变为输出光束 I101 和 I102，所述输出光束 I101 和 I102 经过所述探测透镜组 31，对所述透镜 28 后焦面 29 成像，所述输出光束 I101 和 I102 偏振方向相互垂直，不发生干涉，经过所述偏振装置 32 后，所述输出光束 I101 和 I102 具有相同的偏振方向，从而产生干涉信号 I_i。

所述干涉信号 I_i 经所述探测光纤 33 入射至所述光电探测器 34，所述光电探测器 34 根据所述干涉信号 I_i 的相位变化确定对准位置的信息。

具体地，请参考图 3 和图 4，所述角锥棱镜 25 具有三个相互垂直的反射面，其底面呈等边三角形，从底面以任意方向入射的光线，经过三个反射面依次反射后，以与入射光线相反的方向从底面射出（图中角锥棱镜 25 内部光路是简化的等效示意图）。所述角锥棱镜 25 在所述对准系统中具有两方面作用：一方面是实现光束对称反射，光束 102a 经过所述角锥棱镜 25 后产生反射光束 102b，光束 102a 和 102b 方向相反、且位置关于角锥棱镜 25 底面中心对称，由于所述角锥棱镜 25 底面中心位于所述透镜 28 的光轴上，光束 102a

和 102b 是关于透镜 28 的光轴对称的，从而保证光束 101d 和 102d 在所述对准标记 40 上的入射角大小相等；另一方面，所述角锥棱镜 25 实现光束 180° 旋转，首先使光束 102a 旋转 180°，变为光束 102b；其次使经过所述对准标记 40 的二次衍射后的光束 101g 旋转 180°，变为光束 101h，光束 102b 经所述对准标记 40 二次衍射后产生光束 102g，但不会发生旋转，最终从所述偏振分束器 21 左端面输出的两光束 101h 和 102h 没有相对旋转，因此原始输入的照明光束 100 不需要严格的空间相干性。

请参考图 5，假设入射光束 102c 在所述透镜后焦面 29 的坐标为 k_0，频率带宽为 $2\Delta k$，透镜 28 焦距为 f，光束 102c 中心距离所述透镜 28 光轴的距离为 d，则光束 102d 的入射角度 θ 的计算公式为：

$$\theta = \arctan\frac{d}{f} \tag{1}$$

由此可知，通过调节参量 d，使所述光束 102d 的入射角等于所述对准标记 40 的某个级次的衍射角，即满足光栅方程：

$$\sin\theta = \pm\frac{n\lambda}{p} \tag{2}$$

其中 p 为对准标记周期，n 为正整数，λ 为该照明光束 102c 的波长。此时，所述光束 102d 经所述对准标记 40 衍射后，将产生近似平行于光轴的 n 级（或-n 级）衍射光 102e，其经所述透镜 28 汇聚到所述反射镜 27，反射光束经所述透镜 28 后，以与衍射光 102e 相反的方向入射到所述对准标记 40，发生二次衍射，产生光束 102f，在理想情况下，二次衍射光束 102f 与入射光束 102d 完全重合。二次衍射光束 102f 携带对准标记 40 的位置信息 x，102f 光场 $E_2(k_0)$ 具有如下形式：

$$E_2(k_0) = A_0\exp(j2\pi\frac{2n}{p}x) \tag{3}$$

其中 A_0 为光场归一化参数，k_0 是 102f 光场的中心点在瞳面（频谱面）的坐标，且该坐标与入射光束 102c 在透镜后焦面 29 的坐标相同，相关的分析

将在下文中给出。与光束 102f 类似，另一束探测光 101f 光场 $E_1(-k_0)$ 可表述为：

$$E_1(-k_0) = A_0 \exp(-j2\pi \frac{2n}{p} x) \quad (4)$$

当光束 101f、102f 通过偏振装置 32 后，产生的干涉信号强度 I_i 为：

$$\begin{aligned} I_i &= \frac{1}{2}|E_1|^2 + \frac{1}{2}|E_2|^2 + \frac{1}{2}E_1E_2^* + \frac{1}{2}E_1^*E_2 \\ &= A_0^2 + A_0^2 \cos\left(2\pi \frac{4n}{p} x\right) \end{aligned} \quad (5)$$

从（5）式可以看出，所述干涉信号 I_i 的周期为对准标记周期的 1/4n，即光学倍率为 4n，比现有对准技术的光学倍率提高一倍，在使用相同探测级次情况下，分辨率也增加一倍。

通过所述对准标记 40 在 x 方向的运动，可获得探测信号 I_i 在 x 方向的扫描曲线，利用计算机进行拟合处理，可提取 I_i 的相位 $\varphi_i = 2\pi \cdot 4nx / p$，从而得到对准标记的位置信息：

$$x = \frac{\varphi_i}{2\pi} \cdot \frac{p}{4n} \quad (6)$$

当所述对准标记 40 对称中心与所述透镜 28 光轴重合，即 x=0 时，所述对准标记 40 处于对准位置。

请参考图 6，当对准标记倾斜角度为 β 时，光束 102d 相对于所述对准标记 40 的法线夹角变为 $\theta-\beta$，此时衍射光束 102e 如图中虚线所示，其与对准标记法线夹角为 α：

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{n\lambda}{p} - \sin(\theta-\beta)\right) \quad (7)$$

衍射光束 102e 被所述反射镜 27 反射，经过所述透镜 28 后与原入射方向相反，且位置重合，产生二次衍射光束 102f 与对准标记法线夹角 α' 可由光栅方程求得：

$$\alpha' = \arcsin\left(\frac{n\lambda}{p} - \sin\alpha\right) = \theta - \beta \quad (8)$$

由（8）式可知，二次衍射光束 102f 与入射光束 102d 完全重合，经所述透镜 28 后，在所述透镜后焦面 29 处探测光斑也不会发生变化，可见，当所述对准标记 40 倾斜对探测结果没有影响。

请继续参考图 7，当所述对准标记 40 离焦Δz时，即所述对准标记 40 不在所述透镜 28 的前焦面上，入射光束 102d 在所述对准标记 40 上产生$\Delta z\tan\theta$的水平偏移，衍射光束 102e 如图中虚线所示，二次衍射光束 102f 与原入射光束 102d 产生$\Delta L_1 = 2\Delta z\tan\theta$水平偏移，但方向相反，经所述透镜 28 收集后，在所述透镜后焦面 29 处探测光斑位置没有变化，因而，离焦也不会产生对准误差。

请继续参考图 8，当所述对准标记 40 倾斜β角度，同时偏移焦平面Δz时，通过光栅方程和几何关系，可以计算出二次衍射光束 102f 相对于入射光束 102d 水平向偏移$\Delta L_2 = 2\Delta z(\tan\theta - \tan\delta)$，其中$\delta = \arcsin[n\lambda / p - \sin(\theta - \beta)] + \beta$为光束 102e 与透镜 28 光轴的夹角。由于二次衍射光束 102f 与 102d 方向相反，经所述透镜 28 收集后，在所述透镜后焦面 29 处探测光斑位置没有变化，因而，倾斜-离焦同样不会产生对准误差。

从前面分析可知，利用探测光束的二次衍射，即使在对准标记倾斜和/或离焦情况下，也能使二次衍射光束沿与原入射光束相反的方向返回。根据透镜的特性可知，只要二次衍射光束的方向与原入射光束相反，即使存在水平向偏移，该二次衍射光束通过透镜后，在透镜后焦面的光斑位置是不会发生改变的，因此，最终的对准结果不受标记倾斜和/或离焦的影响。

较佳地，分光元件 12 为光栅分束器或光纤分束器或平面光波导功率分光器，具体地，为实现多级次探测，可在入射端面采用多光束照射，通过分光元件 12 分离出多个入射光束，可实现多个级次探测。

如图 9 所示，所述分光元件 12 为光栅分束器，包括透射相位光栅 121 和准直透镜 122，通过光栅周期、槽深等参数的配置来调节输出光束a_{i1}、a_{i2}、a_{i3}

的强度比。

如图 10 所示，所述的分光元件 12 为光纤分光器，图中为熔融拉锥式分光器 123，即将多根光纤捆在一起，然后在拉锥机上熔融拉伸，拉伸过程中监控各路光纤耦合分光比，分光比达到要求后结束熔融拉伸，其中一端保留一根光纤（其余剪掉）作为输入端，另一端则作为多路输出端。

如图 11 所示，所述的分光元件 12 为平面光波导功率分光器，分光功能在芯片 124 中完成，根据公式（1）和（2）可知，各入射光束在所述透镜后焦面 29 处位置与所述透镜 28 光轴的距离需满足以下公式:

$$\arctan\frac{d}{f}=\arcsin\left(\pm\frac{n\lambda}{p}\right) \qquad (9)$$

请继续参考图 12，当要实现 X、Y 两个方向对准时，所述偏振分束器 21 输入/输出端面如图所示，X 方向有输入光束a_{x1}、a_{x2}、a_{x3}实现多波长多级次探测，与输出光束I_{x1}、I_{x2}、a_{x3}180°旋转对称；Y 方向有输入光束a_{y1}、a_{x2}、a_{x3}，与输出光束I_{y1}、I_{y2}、a_{y3}180°旋转对称。

实施例 2

本实施例与实施例 1 的区别在于，所述光源采用双频激光器，所述分光元件 52 为激光频率分裂器，较佳地，所述激光频率分裂器为电光调制器或声光调制器。

本发明提供的离轴对准系统，如图 13 所示，包括照明模块 50、干涉模块 60 以及探测模块 70，所述照明模块 50 和探测模块 70 位于所述干涉模块 60 的同侧，所述照明模块 50 包括光源（图中未示出）、多波长入射光纤 51 以及分光元件 52，实施例 2 中所述光源为双频激光器，所述分光元件 52 为激光频率分裂器，具体地，所述激光频率分裂器为电光调制器或声光调制器；所述干涉模块 60 包括偏振分束器 61，所述偏振分束器 61 与所述照明模块 50 和探测模块 70 所在的一侧相对的一侧依次设有第一 1/4 波片 62 和第一反射镜 63，所述偏振分束器 61 的另外两侧分别依次设有第二 1/4 波片 64、角锥棱镜 65

和第三 1/4 波片 66、第二反射镜 67 以及透镜 68，所述第二反射镜 67 位于所述透镜 68 的后焦面上，对准标记 80 位于所述透镜 68 的另一侧，所述角锥棱镜 65 的底面中心位于所述透镜 68 的光轴上；所述探测模块 70 依次包括探测透镜组 71、偏振装置 72、探测光纤 73 以及光电探测器 74，所述照明模块 50 发出的光束经所述干涉模块 60 两次衍射，形成干涉信号携带所述对准标记 50 的位置信息，最终入射至所述探测模块 70，所述探测模块 70 根据所述干涉信号的相位变化确定对准位置信息。

所述激光频率分裂器，可使激光分裂为频率相差为 ω、且偏振相互垂直的两个光束。当所述激光频率分裂器为电光调制器（英文全称：electro-optic modulator，EOM）时，其工作原理为：光源的输出光束为与所述 EOM 的快轴方向成 45°角的线偏振光 E_{in}，EOM 加载角频率为 ω 的半波电压 $V_{\lambda/2}$，则输出的光场 E_{out} 具有琼斯矢量（Jones vectors）关系式，即：用两个正交分量构成的列矩阵表示一个平面矢量。

$$E_{out} = EOM(\omega t)\cdot E_{in} \propto \begin{pmatrix} e^{i\omega t/2}, & 0 \\ 0, & e^{-i\omega t/2} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e^{i\omega t/2} \\ e^{-i\omega/2t} \end{pmatrix} \quad (10)$$

输出光场 E_{out} 包括水平偏振和垂直偏振两个方向的光场 E_{ox} 和 E_{oy}，其进入所述偏振分束器 61 后分别产生反射光束和透射光束，随后所述反射光束和透射光束传输、衍射、干涉过程与实施例 1 相同。最终输出的探测信号形式如下

$$I_i(k_0) = A_0^2 + A_0^2\cos\left(\omega t + 2\pi\frac{4n}{p}x\right) \quad (11)$$

在角频率 ω 已知的情况下，对（11）式中探测信号进行解调，可获得其相位 $\varphi_i = 2\pi\cdot 4nx/p$，从而计算出对准位置。

综上所述，本发明提供的离轴对准系统及方法，该系统包括照明模块、干涉模块以及探测模块，所述照明模块和探测模块位于所述干涉模块的同侧，所述照明模块包括光源、多波长入射光纤以及分光元件；所述干涉模块包括

偏振分束器，所述偏振分束器与所述照明模块和探测模块所在的一侧相对的一侧依次设有第一 1/4 波片和第一反射镜，所述偏振分束器的另外两侧分别依次设有第二 1/4 波片、角锥棱镜和第三 1/4 波片、第二反射镜以及透镜，所述第二反射镜位于所述透镜的后焦面上，对准标记位于所述透镜的另一侧，所述角锥棱镜的底面中心位于所述透镜的光轴上；所述探测模块依次包括探测透镜组、偏振装置、探测光纤以及光电探测器，所述照明模块发出的光束经所述干涉模块两次衍射，形成干涉信号携带所述对准标记的位置信息，最终入射至所述探测模块，所述探测模块根据所述干涉信号的相位变化确定对准位置信息。本发明很好的解决了现有离轴对准系统中对准标记倾斜、离焦对探测结果的影响较大，对照明光束相干性要求较高或需要使用楔块列阵等复杂元件而使实施难度大的问题。

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. 一种离轴对准系统，其特征在于，按光束传播路径依次包括照明模块、干涉模块以及探测模块，其中：

所述照明模块包括光源、多波长入射光纤以及分光元件；

所述探测模块依次包括探测透镜组、偏振装置、探测光纤以及光电探测器；

所述干涉模块包括：

偏振分束器，具有四个侧面，所述照明模块和探测模块均位于所述偏振分束器的第一侧；

第一 1/4 波片和第一反射镜，依次设在与所述第一侧相对的所述偏振分束器的第二侧；

第二 1/4 波片、角锥棱镜，依次设在所述偏振分束器的第三侧；和

第三 1/4 波片、第二反射镜以及透镜，依次设在与所述第三侧相对的所述偏振分束器的第四侧，所述第二反射镜位于所述透镜的后焦面上，所述角锥棱镜的底面中心位于所述透镜的光轴上。

2. 如权利要求 1 所述的离轴对准系统，其特征在于，所述照明模块还包括快门、光隔离器和相位调制器。

3. 如权利要求 1 所述的离轴对准系统，其特征在于，所述光源为激光器。

4. 如权利要求 3 所述的离轴对准系统，其特征在于，所述光源包含至少四个不同波长，其中有两个波长在红外波段。

5. 如权利要求 3 所述的离轴对准系统，其特征在于，所述光源为单频激光器，所述分光元件为光栅分束器或光纤分束器或平面光波导功率分光器。

6. 如权利要求 3 所述的离轴对准系统，其特征在于，所述光源为双频激光器，所述分光元件为激光频率分裂器。

7. 如权利要求 6 所述的离轴对准系统，其特征在于，所述激光频率分裂

器为电光调制器或声光调制器。

8. 如权利要求 1 所述的离轴对准系统，其特征在于，所述偏振装置为二向色偏振器、基于多层涂层的正则偏振分光器、双折射分光器中的一种。

9. 一种离轴对准方法，其特征在于，采用如权利要求 1~8 中任意一项所述的离轴对准系统，所述离轴对准方法包括如下步骤:

所述光源发出激光束，经所述分光元件分为多波长多级次的照明光束，所述照明光束入射至所述偏振分束器并被分为第一光束和第二光束，所述第一光束和第二光束分别经所述反射镜和角锥棱镜的反射后关于所述透镜的光轴对称，所述第一光束和第二光束入射至所述透镜后以对称的入射角照射至对准标记，发生第一次衍射;

两束衍射光束通过所述透镜，被所述透镜后焦面的第二反射镜反射，反射后的光束再次入射到所述对准标记发生第二次衍射;

二次衍射光束被所述透镜收集后，再次经过所述偏振分束器、角锥棱镜以及第一反射镜，最终在所述偏振分束器的分界面的一相同位置重叠，形成干涉信号;

所述干涉信号分别经所述探测透镜组及偏振装置入射至所述光电探测器，所述光电探测器根据所述干涉信号的相位变化确定对准标记的位置信息。