

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl<sup>7</sup>

G01B 11/02

G01B 9/02

# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 94117263.5

[45]授权公告日 2000年1月12日

[11]授权公告号 CN 1048333C

[22]申请日 1994.10.14 [24]颁证日 1999.12.17  
 [21]申请号 94117263.5  
 [73]专利权人 中国科学院长春光学精密机械研究所  
 地址 130022 吉林省长春市斯大林大街 112 号  
 [72]发明人 廖江红 卢振武  
 审查员 毕 因

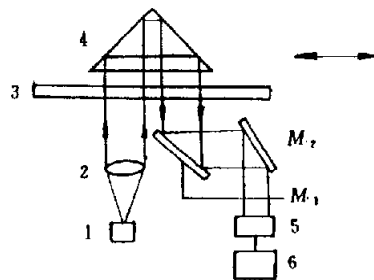
[74]专利代理机构 中国科学院长春专利事务所  
 代理人 梁爱荣

权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图页数 1 页

[54]发明名称 一种测量位移量的光学细分干涉方法

[57]摘要

本发明属于非接触位移传感器技术领域,涉及精密线位移和角位移计量的光学细分干涉方法。它是利用周期性变化的分光元件位移时,在其一个分光元件上完成光的分束和合束而形成干涉条纹,使得位移传动装置机械精度的要求降低,减轻了光学元件调整难度,并且使测量的灵敏度提高若干倍。



ISSN 1008-4274

# 权 利 要 求 书

1、一种测量位移量的光学细分干涉方法，其步骤如下：由相干光源发出的相干光经透镜调整形成近似的平行光束而入射到周期性变化的分光元件上，相干光经周期性分光元件衍射分解为 $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \pm m$ 级次的出射光束，反射元件至少使每束出射光束的波阵面沿周期性分光元件刻线的垂直方向反转一定角度而形成反射光束并返回到周期性变化分光元件进行合束又形成 $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \pm n$ 级次的合束光束，第 $n$ 级次的合束光束满足 $n=m_1-m_2$ ，某一级次的合束光束的干涉条纹由接收器接收而变成电信号送至处理器处理，当周期性分光元件沿其刻线垂直方向位移时，干涉条纹数目的变化正比于该位移量的大小。

2、根据权利要求1所述的干涉方法，其特征在于：调整接收器的位置或采用空间滤波的手段使其只接收某一级次的合束光束的干涉条纹。

3、根据权利要求1或2所述的干涉方法，其特征在于：选择接收器接收合束光束的级次 $n \neq 0$ 时的干涉条纹，当周期性变化的分光元件沿其刻线垂直方向位移一个周期时，干涉条纹数目的变化为 $2|n|$ 。

4、根据权利要求1或2所述的干涉方法，其特征在于：选择接收器接收合束光束级次 $n=0$ 时的干涉条纹，周期性变化的分光元件可采用闪耀光栅，其闪耀光束仅有 $+m$ 和 $-m$ 级次，当周期性变化的分光元件沿其刻线垂直方向位移一个周期时，干涉条纹数目变化为 $2|m|$ 。

# 说 明 书

---

## 一种测量位移量的光学细分干涉方法

本发明属于非接触位移传感器领域，涉及精密线位移和角位移计量的光学细分干涉方法。

已知技术中利用周期性变化的分光元件作为基准进行位移计量都采用常规的光栅莫尔条纹技术（王惠民主编“光学仪器信号转换技术”1998年北京理工大学出版社出版）。当需要测量高精度位移量时，则要求光栅主尺和副尺间的间隙变小，这样就增加了机械调整难度和光栅位移传动装置的精度要求，鉴于此，苏联学者M. M. Бытыков等人提出一种基于自复制技术来取消副尺（美国专利号567871A1），虽然降低了对光栅位移传动装置的要求，但是又增加了光学元件调整的难度，而且这种方法还是采用了莫尔条纹技术，其测量灵敏度比常规的莫尔条纹技术仅仅提高一倍，实现了2倍细分，因此它也不能满足测量高精度位移量的要求。

本发明的目的是利用周期性变化的分光元件位移时，在其一个分光元件上完成光的分束和合束而形成干涉条纹来提高测量灵敏度，并且降低对光栅位移传动装置的精度要求，减轻光学元件调整难度。

本发明光学细分的干涉步骤如下：由相干光源发出的相干光经透镜调整形成近似的平行光束而入射到周期性变化的分光元件上，相干光经周期性变化的分光元件衍射分解为 $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm m$ 级次的出射光束，反射元件至少使每束出射光束的波阵面沿周期性变化的分光件刻线的垂直方向反转一定角度（例如反射元件采用直角棱镜时，其反转角度可以在 $180^\circ$ 附近）而形成反射光束并且返回到周期性

变化的分光元件而进行合束又形成 $0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \pm n$ 级次的合束光束,第 $n$ 级的合束光束是由 $m_1$ 和 $m_2$ 级次的出射光束合束而组成的,满足 $n=m_1-m_2$ ,某一合束光束的干涉条纹由接收器接收而变成电信号送至处理器处理。选择合适的反射元件,至少使出射光束的波阵面经反射元件反射后再沿周期性变化的分光元件刻线的垂直方向上反转一定角度,保证周期性变化的分光元件沿其刻线的垂直方向位移时引起的各光束的位相变化不因利用同一周期性变化的分光元件进行分束和合束而互相抵消。这样,当周期性变化的分光元件沿其刻线垂直方向位移时,干涉条纹数目的变化正比该位移量的大小。若选择的反射元件不合适,则无法获得上述结果。例如,选择平面反射镜作为反射元件,此时各级次的出射光束的波阵面经反射后并不发生反转,当周期性变化分光元件沿其刻线垂直方向位移时,虽然它会引起各级次的出射光束的位相变化,但是经过合束后在任一级次的合束光束中的出射光束(被平面反射镜反射,返回到周期性变化的分光元件进行合束)的位相差保证不变,这样,周期性变化的分光元件的位移不使干涉条纹发生变化。调整接收器的位置或者采用空间滤波的手段,使接收器只接收某一级次的合束光束的干涉条纹。选择接收器接收合束光束的级次 $n \neq 0$ 时的干涉条纹,当周期性变化的分光元件沿其刻线垂直方向位移 $\Delta x$ 时,干涉条纹数目变化为 $\frac{2|n|\Delta x}{T}$ ,其中 $T$ 为周期性变化的分光元件的周期,当位移一个周期时,实现了 $2|n|$ 倍的光学细分,选择接收器接收合束光束级次 $n=0$ 时的干涉条纹,周期性变化的分光元件可采用闪耀光栅,其出射光束仅具有 $+m$ 和 $-m$ 级次,当周期性变化的分光元件沿其刻线垂直方向位移 $\Delta x$ 时,干涉条纹数目变化为 $\frac{2|m|\Delta x}{T}$ ,当位移一个周期时,实现了 $2|m|$ 倍的光学细分。

选择等间距光栅作周期性变化的分光元件，则使偶级次出射光束的强度为零，接收器只接收第  $n$  级次的合束光束（其中选择  $n = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots$ ），因此接收的干涉条纹仅由  $(0, n)$  和  $(n, 0)$  两束光形成的正弦条纹，同时接收器接收到的  $2|n|$  倍的光学细分的正弦信号。

本发明由于利用了周期性变化的分光元件作为光的分束和合束器件，其与莫尔条纹技术相比，具有下述优点：1. 选择接收器接收高级次  $n$  的合束光束时，使测量灵敏度提高  $2n$  倍。2. 出射光由周期性变化的分光元件至反射元件并返回到周期性变化的分光元件的光程不需满足自复制的距离，因此减轻了光学元件调整难度。3. 由于用一个光学元件完成了光的分束和合束，因此省去光栅副尺，即不存间隙问题，这样使位移传动装置的机械精度要求降低。4. 选择接收器接收级次  $n=0$  的合束光束时，并且分光元件采用闪耀光栅，其出射光束仅仅具有  $+m$  和  $-m$  级次，本发明又实现了  $2|m|$  倍的光学细分，比自复制技术的灵敏度提高了  $|m|$  倍。

#### 最佳实施例：

图 1 是采用透射式分光元件时本发明光路结构示意图。

图 2 是采用反射式分光元件时本发明光路结构的主视图。

图 3 是图 2 的侧视图。

图 4 是采用空间滤波手段时本发明光路结构示意图。

如图 1 所示的一种实施例：由相干光源 1、透镜 2、周期性变化的分光元件 3、反射元件 4、接收器 5、处理器 6、反射镜  $M_1, M_2$  组成。光源 1 选用半导体激光器、透镜 2 选用准直透镜、分光元件 3 选用等间距光栅、反射元件 4 选用直角棱镜或角反射镜、接收器 5 选用光电二极管等、处理器 6 可根据需要来选择。其工作过程如下：半导体激

激光器发出的光束经准直透镜准直为近似的平行光束后入射到等间距光栅上，直角棱镜的三角形斜边面向光栅，由光栅衍射的出射光束被直角棱镜反射沿原方向返回（同时波阵面反转 $180^\circ$ ）并重新入射到光栅上。返回的光束和准直的平行光束在分光元件刻线面上不重叠，因此由光栅出射的合束光束可由反射镜 $M_1$ 和 $M_2$ 反射并入射到接收器上， $M_1$ 和 $M_2$ 用于改变合束光束的方向使结构更紧凑。因不同级次的合束光束的传播方向不同，在光传播一定距离后，不同级次的合束光束可以互不重叠，因此在此位置时放置的接收器可以做到仅接收某一奇级次（如：第 $n$ 级次）的合束光束。最后接收器接收的干涉条纹信号被转换成电信号送至处理器去处理。由于周期性变化的分光元件采用了等间距的光栅，接收器与接收的第 $n$ 奇级次的合束光束仅是由 $(0, n)$   $(n, 0)$  两束干涉形成的。当光栅沿其刻线的垂直方向位移时（图1箭头所示），接收器接收到的是 $2|n|$ 倍光学细分的正弦干涉条纹信号，其对比度理论值为1。

如图2、图3所示的第二种实施例：由半导体激光器1、准直透镜2、闪耀光栅3、直角棱镜4、接收器5、处理器6、分束元件BS组成。周期性变化的分光元件3可采用反射或闪耀光栅作为位移测量基准，当选用闪耀光栅时，闪耀光栅具有等腰三角形的刻槽，闪耀级次为 $+m$ 和 $-m$ ，其 $m=1, 2, 3, \dots$ 。闪耀光栅的刻线面垂直于纸面并且刻线平行于纸面。其工作过程如下：由半导体激光器1发出的光束透过分束元件BS经透镜2准直后，使光束与光栅刻线面法线有夹角为 $\alpha$ 并且入射到闪耀光栅3上。来自闪耀光栅3出射的 $+m$ 和 $-m$ 级次出射光束照射到直角棱镜4上，其波阵面沿光栅刻线垂直方向上反转约 $180^\circ$ 后沿原光束相向方向返回到光栅4上。此时入射角 $\alpha$ 的选取和直角棱镜的

位置选择是以不阻挡来自准直透镜 2 出射的准直光束为宜。第零级次合束光束沿准直光束相向方向返回并经分束元件 BS 反射入射到接收器 5 并送至处理器 6 处理。调整接收器 5 使它仅接收第零级次合束光束,其干涉条纹是由 $(m, -m)$  $(-m, m)$ 两束干涉形成的。当闪耀光栅沿图 3 箭头方向位移时,正弦条纹数目的变化正比于位移量的大小,实现了  $2m$  倍的光学细分。

如图 4 所示:本发明的第三种实施例:由半导体激光器 1、准直透镜 2、等间距光栅 3、球面反射镜 4、接收器 5、处理器 6、分束元件 BS、反射镜  $M_1$ 、正透镜 L、光栏 P 组成。其工作过程如下:半导体激光器 1 出射的光经准直镜 2 准直,透过分束元件 BS 照射到光栅 3 上,来自光栅 3 的出射光束由球面反射镜 4 反射返回到光栅 3 上,并出射形成合束光束。球面反射镜 4 的作用之一是使其出射光束的波阵面经反射后反转  $180^\circ$ 并由光栅 3 出射形成合束光束。合束光束沿准直光束相向方向返回,经分束元件 BS 反射到反射镜  $M_1$  后由正透镜 L 聚焦。在正透镜 L 的聚焦平面上置入光栏 P,仅让第  $n$  奇级次合束光束通过并最终由接收器 5 接收送至处理器 6。接收器 5 接收的仅是由 $(0, n)$ 和 $(n, 0)$ 二束光合束形成的正弦型干涉条纹。当光栅沿其刻划垂直方向位移时,干涉条纹数目的变化正比于位移量的大小,并实现了  $2n$  倍的光学细分。

# 说明书附图

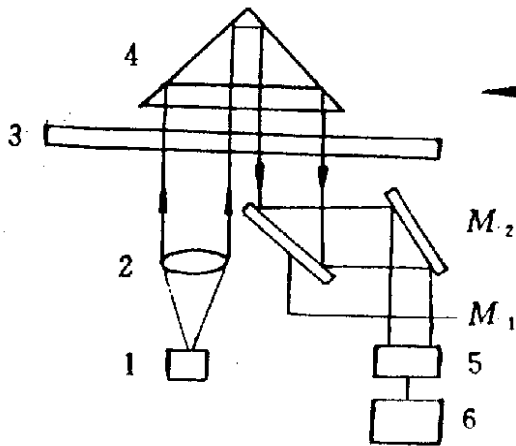


图 1

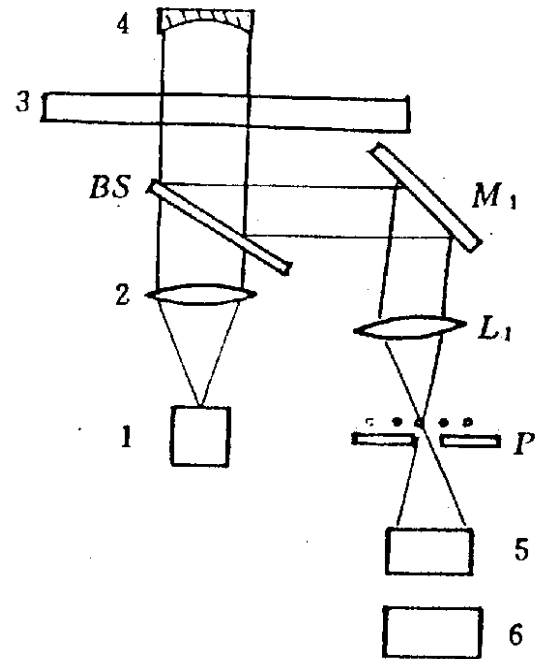


图 4

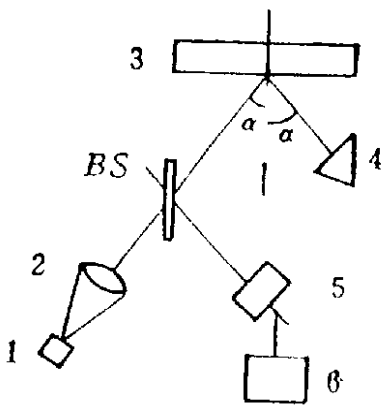


图 2

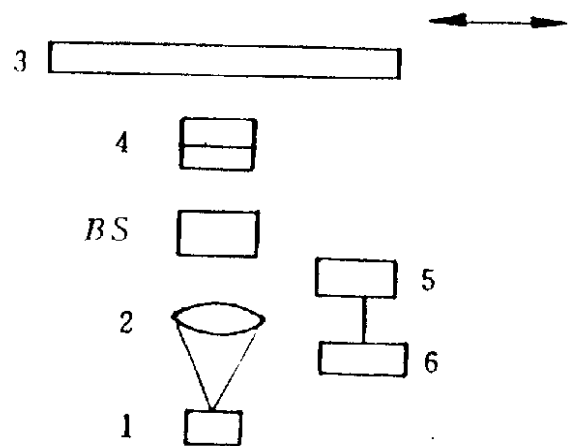


图 3