

·光电系统·

分光图像测量系统设计

马春燕

(中北大学 电子测试技术国家重点实验室, 太原 030051)

摘要:针对多幅图像测量系统在多光谱测量等领域中的广泛应用前景,以及现有多幅图像测量系统存在的多传感器间难以实现同步、所得图像光强度信息不均匀、光轴不一致以及仪器构造复杂,价格昂贵且不易于微型化等问题,研究设计了一种基于单帧图像获取多幅图像信息的新颖分光图像测量系统。文中设计的分光图像测量系统可将单幅图像分为四幅图像并且解决了上述问题,提供了一种分光图像测量的新思路。

关键词:分光;镀膜棱镜;消偏振分光棱镜;探测器

中图分类号:O432.2

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2015)-05-0006-04

Design of Splitting Image Measurement System

MA Chun-yan

(National Key Laboratory for Electronic Measurement Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: For application prospects of multiple images measurement system in multi-spectral measurement field, and some issues in the system such as asynchronous multi-sensors, unevenness image light intensity information, inconsistency optical axis, instruments with complex structure and expensive price and uneasy to be miniaturized, a new splitting image measurement system is researched and designed based on single frame image acquiring multiple image information. A single image can be divided into four images by the splitting image measurement system, the above issues are solved and a new idea for splitting image measurement is proposed.

Key words: splitting; coated prism; non-polarizing beam splitter (NPBS); detector

多幅图像测量因其相对于单幅图像测量信息量更加丰富,在单位时间内能够反映出更大的信息空间,且在增加光谱信息后能够多维地反映被测目标信息而表现出极大的优越性。因此,分光图像测量是一个备受关注的技术。对于分光图像测量系统,分光光学系统的设计至关重要。从原理上来看,现有分光光学系统可分为棱镜色散、光栅衍射、滤光片和干涉四类。目前研究与应用最为广泛的是色散型和干涉型。如图1所示。为色散棱镜分光系统的典型应用方式,入射狭缝位于准直系统的前焦面上,入射光经准直系统准直后,经棱镜由成像系统将狭缝按波长成像在焦平面上的探测器上^[1]。

文中采用的是就是棱镜色散型分光方式。

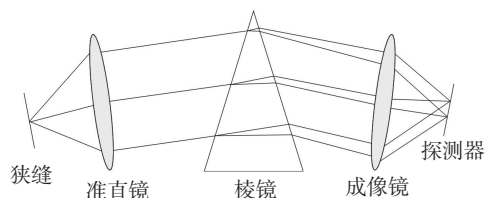


图1 色散棱镜分光方式示意图

1 分光单元设计

分光系统主要是由分光单元构成,而分光单元

收稿日期:2015-09-07

基金项目:高等学校博士学科点专项科研项目(博导类)(20121420110006);山西省高等学校优秀创新团队支持计划

作者简介:马春燕(1989-),女,山东青岛人,硕士研究生,研究方向是图像处理。

的设计也是整个分光图像测量系统设计中最为重要的一个部分,其主要功能是将前置光学系统中导入分光光学系统的光线均匀分裂成四束射出,并被后置成像物镜及光电探测器件接收,且满足前文中所提出的同光轴、光强均匀且结构易微型化等要求。

为了实现设计中提出的技术要求,决定选用镀膜棱镜组来制作分光单元。镀膜棱镜入光口径大,且制作工艺成熟,棱镜镀膜种类、形状及尺寸都有多种指标可选择,适合用以制作分光单元。

1.1 分光单元所用分光棱镜的选择

分光棱镜所选用镀膜既要保证分光后光强的低损耗,又要使分得光线可用于下一步分光中。光波在介质中传播时是横波,但光波在金属中传播就不再是纯横波,它还有一部分是纵波,因此偏振效应较小。加之金属膜中性好,所以介质-金属-介质消偏振膜系有优良的特性^[2]。

设计中采用斜面镀有金属-介质组合消偏振薄膜的NPBS消偏振分光棱镜作为分光单元的分光棱镜使用,棱镜结构如图2所示。入射光进入分光棱镜被分为透射与反射两束出射光射出,且两束出射光线皆不为偏振光,可用于再次分光,透射反射比 $T/R=1/1$ 。

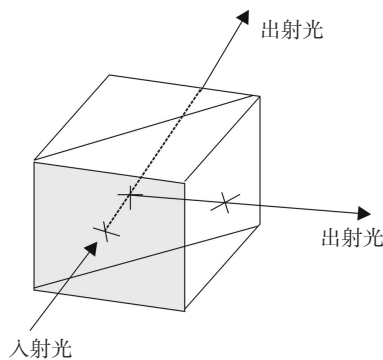


图2 NPBS消偏振分光棱镜示意图

1.2 分光单元所用反射棱镜的选择

分光单元中反射棱镜主要用来对光路进行调整,故而应采用与分光棱镜灵敏频段相符、反射率高且吸收损耗较小的反射镀膜技术^[3]。在设计中使用斜面镀有高反射率介质反射膜的三角反射棱镜,棱镜结构如图3所示。

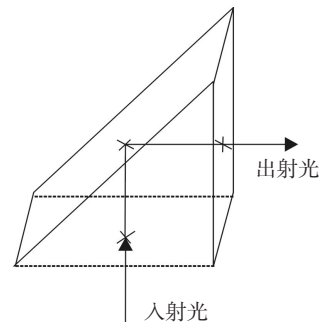


图3 反射棱镜示意图

2 分光光学系统结构的设计

在设计分光单元时,如直接将分光棱镜依次排列,经过多次分光,势必会造成分得光线的不均匀以及光线空间位置的偏移。所以在设计分光单元时,需按一定结构布置棱镜间的相对位置,利用反射棱镜及棱镜间的相对位置对分光棱镜分得光线的光路进行合理调变,最终达到设计需求。

2.1 分光单元结构

分光单元由三个消偏振分光棱镜(NPBS)和三个反射三角棱镜构成,如图4所示。图中数字分别表示:1是分光单元整体;2、3、4是消偏振分光棱镜;5、6、7是反射三角棱镜。

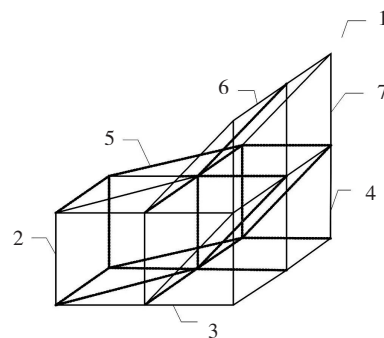


图4 分光单元结构示意图

分光单元整体成一不规则几何体,可根据实际测量需要选用不同尺寸棱镜制作分光单元整体,如对于微型系统,可使用小尺寸棱镜进行分光单元的制作以达到测量目的。

2.2 分光单元内部光路分析

分光单元内部光路图如图5所示。下面通过对光路的分析,详细说明分光单元的设计思路。

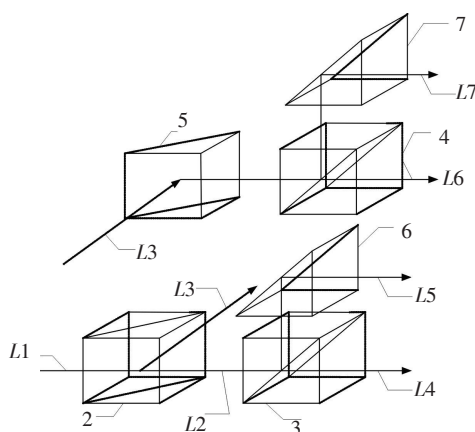


图5 分光单元内部光路图

光线 $L1$ 由目标物体发出, $L1$ 通过第一消偏振分光棱镜2进入分光单元整体1, $L1$ 通过第一消偏振分光单元2的镀膜斜面被分成 $T/R=50/50$ 的透射光 $L2$ 与反射光 $L3$ 。透射光 $L2$ 射入第二消偏振分光棱镜3中, $L2$ 通过第二消偏振分光棱镜3的镀膜斜面被分成 $T/R=25/25$ 的透射光 $L4$ 与反射光 $L5$, $L5$ 由第二反射三角棱镜6调整光路射出分光单元。透射光 $L3$ 经过第一反射三角棱镜5调整光路射入第三消偏振分光棱镜4通过镀膜层斜面分为 $T/R=25/25$ 的透射光 $L6$ 与反射光 $L7$,反射光 $L7$ 经由第三反射三角棱镜7调整光路射出。由此达到将入射光 $L1$ 分成光强为其25%的四束光 $L4$ 、 $L5$ 、 $L6$ 、 $L7$ 聚焦成像于光电探测器感光面便可达到分光成像的目的。

3 分光光学系统性能分析

通过上述对分光单元内部光路的分析表明,分光单元已经达到了分单束入射光线为四束的应用要求。下面再对设计中反射次数、分光所使用的棱镜以及分光次数做进一步的说明。

3.1 反射次数

反射次数依据应用光学原理,在一个光学系统中光线经过的反射次数为奇数时所成像为镜像^[4]。设计中因为多次利用光的反射原理调整光路,所以在设计中必须对光线所经反射次数进行考虑。通过对设计光路图的分析可知,光线 $L4$ 产生过程中在分光单元内部反射次数为0,光线 $L5$ 产生过程中在分光单元内部反射次数为2,光线 $L6$ 产生过程中在

分光单元内部反射次数为2,光线 $L7$ 产生过程中在分光单元内部反射次数为4,由此可以说明,设计中分光单元所成像皆不为镜像。

3.2 分光棱镜

使用分光棱镜,要求分光单元中光线由一束分为四束,四束分得光线每条皆经过两次分光得到。如果采用偏振分光棱镜,因其是利用主光线中所含光线偏振态的不同而实现分光的效果,其分得光线皆具有统一偏振态,导致第一次分光后产生偏振光无法再进行第二次分光。所以分光单元中使用的分光棱镜需采用消偏振分光棱镜,使得分得光线无偏振态,从而可进行二次分光。

3.3 分光次数

分光次数是在原光线通过分光棱镜后,会分为光强为原光线一半的两束光线,所以每次分光会对光线的强度产生重大变化。在分光单元的设计中,如果分得四束光线所历经的分光次数不同,则会导致分光单元出射光线光强严重不均匀,从而无法达到设计要求。由前文中对所设计分光单元光路分析可知,光线 $L4$ 、 $L5$ 、 $L6$ 、 $L7$ 皆为经过两次分光而得,可以满足设计要求。

4 分光光学系统仿真

采用Zemax对光学系统进行仿真。Zemax包括光学系统建模、光线追迹计算、像差分析、优化、公差分析等诸多功能,并通过直观的用户界面,为光学系统设计者提供了一个方便快捷的设计工具。

Zemax采用序列(sequential)和非序列(non-sequential)两种模式模拟折射、反射、衍射的光线追迹。依据前文中的设计,采用Zemax中非序列模式(non-sequential)对分光光学系统进行了仿真。分光单元三维结构线框图如图6所示。仿真系统主要由光源、分光单元与探测器三部分组成,其中分光单元中的棱镜由九个多边形对象(poly object)来模拟。图中为看清分光系统结构只用了一条光线进行光线追迹,从光线的走向可以看出,达到了前文设计中的分光效果,将一束光线分为了四束射入探测器。

为研究光线经过分光单元后的能量情况,通过

对光源的设置,模拟 100 条光线射入分光光学系统后,在探测器上的能量分布情况。如图 7 所示。为模拟 100 条光线经过分光系统射入探测器的非序列部件立体渲染模型图。

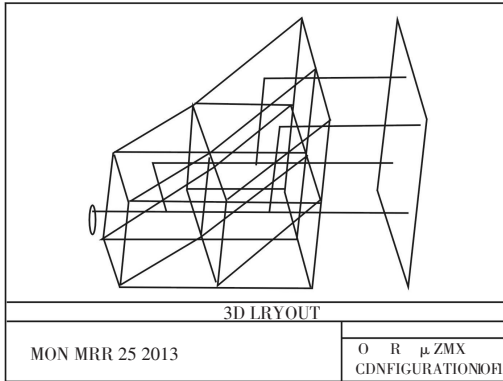


图6 分光单元三维结构图

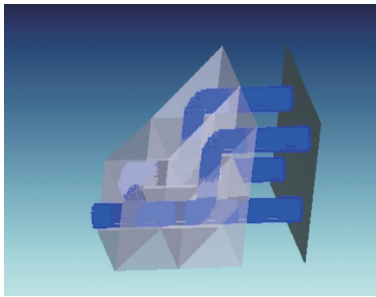


图7 非序列部件立体渲染模型图

在仿真设定时,设计的分光膜选为透反比为 $T/R=50/50$ 的理想分光膜,反射膜选为理想全反射膜,忽略了因分光及反射而带来的光能损耗。使用 Zemax 中光线追迹与探测器控制模块(ray trace/detector control)对探测器接收到分光光线进行分析,在探测器显示模块(detector viewer)中显示结果如图 8 所示。四个光斑能量分布基本一致。

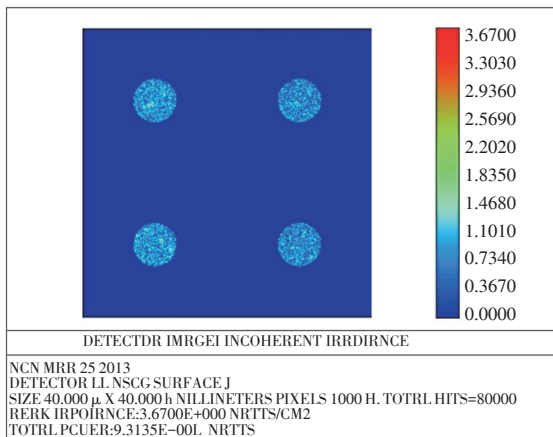


图8 分光光线探测器显示图

由 Zemax 仿真可知,设计的分光光学系统可以达到将一束光线分为四束的目的,并在理想的状况下所分得四束光线能量分布均匀,达到了设计要求。

5 结 论

采用三片消偏振分光棱镜和三片反射棱镜,利用棱镜间的相对位置对分光棱镜分得光线的光路进行合理调变,达到了将导入分光光学系统的光线均匀分裂成四束射出,并被后置成像物镜及光电探测器件接收,且满足前文中所提出的同光轴、光强均匀且结构易微型化等要求。提供了一种分光图像测量的新思路。

参考文献

- [1] 叶海水,秦震宇,高志山,等.多棱镜分光系统的多光束光轴平行度校准[J].应用光学,2012,33(6):1082-1087.
- [2] 温波,颜昌翔.便携式分光测色仪光学设计[J].光学学报,2011,32(1):18-22.
- [3] 林斌飞,龙伟,万汉伟,等.一种高精度分光光度计的设计与应用[J].传感器与微系统,2013,32(1):102-104.
- [4] 姜晶,张国雄,叶关荣.光纤型脉冲多通道快速分光颜色测量仪[J].仪器仪表学报,1997,18(6):567-572.
- [5] 李晓彤,岑兆丰.光谱分析仪光学系统的优化设计方法[J].光电工程,2004,31(6):41-43.
- [6] 闰亚东,何俊华,仓玉萍,等.用ZEMAX模拟五棱镜误差对平行度检测的影响[J].应用光学,2007,28(5):649-653.
- [7] 陈洪芳,丁雪梅,钟志.偏振分光镜分光性能非理想对激光外差干涉非线性误差的影响[J].中国激光,2006,11:222-226.
- [8] 李明宇,顾培夫.光子晶体偏振分光镜的优化设计[J].物理学报,2005,(5):198-201.
- [9] Arakawa Kaoru. Median filter based on fuzzy rules and its application to image restoration[J]. Fuzzy Ssts and Systems, 1996,77:3-13.
- [10] Morse E F. Apparatus for gaging temperatures of heated substances[P]. U.S. patent 696.916:1899.
- [11] Renier E, Meriaudeau F, Suzeau P, et al. CCD temperature imaging:application in steel industry[J]. Proceedings of the 1996 IEEE IECON 22nd International Conference,1996,2:1295-1300.