

Quantitative Measurement Research for the Length of Shallow Scratch on Optics Surface

Fanglan Zheng, Deqiang Yu*, Hongzhen Jiang, Dong Li, Xu Liu, Yong Liu, Xiaoyu Yang, Bo Chen

Research Center of Laser Fusion, CAEP, Mianyang Sichuan
Email: yudeqiang2492927@163.com

Received: May 29th, 2015; accepted: Jun. 20th, 2015; published: Jun. 23rd, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

During the process of quantitatively measuring the shallow scratches defects on the optics surface using microscopic scattering dark-field imaging technique, because the imaging brightness of defect is close to the background intensity, the characteristic of shallow scratches can't be effectively analyzed by directly disposing the defect image with binary-state process, which will influence the accuracy of the quantitative measurement result. For solving the above problem, a method for accurately measuring the length of the shallow scratches is proposed. By subtracting the defect image with the background image, the target image is obtained. Then the accurate length information can be acquired by disposing the target image with binary-state process. This method has important significance and application for the quantitatively measuring the defects on optics surface.

Keywords

Length of Scratch, Microscopic Scattering Dark-Field Imaging Technique, Binary-State Disposal Process, Quantitative Measurement

光学元件表面浅划痕长度的定量检测研究

郑芳兰, 于德强*, 姜宏振, 李东, 刘旭, 刘勇, 杨晓瑜, 陈波

中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳
Email: yudeqiang2492927@163.com

*通讯作者。

收稿日期：2015年5月29日；录用日期：2015年6月20日；发布日期：2015年6月23日

摘要

对于光学元件表面的浅划痕缺陷，在利用显微散射暗场成像技术对其进行定量检测的过程中，由于其成像亮度与背景光强非常接近，因此对疵病图像直接进行二值化处理将无法有效提取其中的划痕特征，从而影响定量检测结果的准确性。为了解决上述问题，提出了一种对于浅划痕长度的准确定量分析方法，其通过将疵病图像与背景图像相减后得到目标图像，进而对目标图像进行二值化处理和二值化分析即可得到浅划痕的准确长度信息。该方法对于光学元件表面疵病的定量检测具有重要的意义和应用。

关键词

划痕长度，显微散射暗场成像技术，二值化处理，定量检测

1. 研究背景

划痕长度是光学元件表面疵病的重要检测指标之一，在目前的工程检测中，主要采用人工目视法对其进行测量，该方法的检测精度和效率均较低，不能很好地满足工程化的需求。显微散射暗场成像法[1]-[11]是一种较为成熟的光学元件表面疵病的定量检测技术，利用其可以对表面疵病的长度、宽度等信息进行准确的定量测量和分析。然而，在利用该技术开展光学元件表面疵病定量检测研究的过程中我们发现：对于某一类光学元件，由人工目视法和显微暗场成像法检测后得到的划痕总长存在较大差异。经过分析相关实验数据，得到造成测量结果差异的主要原因在于：光学元件表面存在大量深度小于 25 nm 的浅划痕，其在疵病图像中的成像亮度非常微弱，与背景光强相近，因此若对疵病图像直接进行二值化处理将无法有效区分划痕特征与背景光强——二值化阈值选取过小，将会使得背景光强也被纳入疵病统计信息；二值化阈值选取过大，则会造成浅划痕长度的漏检。为了解决这一问题，提出了一种对于浅划痕长度的准确定量分析方法，其通过将疵病图像与背景图像相减后得到目标图像，进而对目标图像进行二值化处理和二值化分析即可得到浅划痕的准确长度信息。

2. 检测原理

显微散射暗场成像原理如图1所示，光束入射至无疵病的光学元件表面时，出射光束按镜面反射原理直接出射，CCD采集的图像为均匀的暗场图像；当光束入射至含有疵病的表面时将被疵病所散射，CCD将采集到疵病的散射像。通过对散射像进行数字图像处理分析得到待检光学元件表面疵病的实际尺寸，并根据位移系统的记录坐标情况明确相应疵病的位置。

对于利用显微散射暗场成像原理采集到的表面疵病图像，其定量检测处理的流程如图2所示，首先，读取光学元件表面低倍疵病图像；再对其进行二值化处理，其中二值化结果为1或者0分别表明该位置有无疵病；当判断有疵病时，计算该疵病长度，并对该疵病进行高倍成像以计算宽度。由图2可知，二值化的结果直接关系到疵病有无的判别，该环节对定量检测结果有极大影响。若选取的二值化阈值过低或者过高，将会导致疵病信息的误判或漏检。

3. 实验研究

图3显示了疵病散射像灰度值与疵病深度的关系，图3(a)为利用显微散射暗场成像技术拍摄到的光学

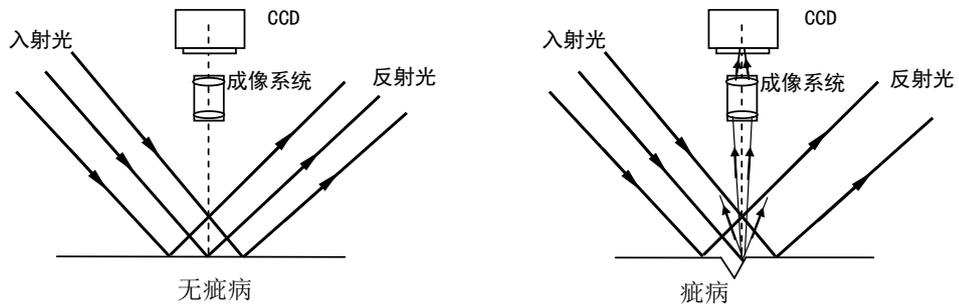


Figure 1. Principle of dark-field scattering imaging microscopy
图 1. 显微散射暗场成像原理

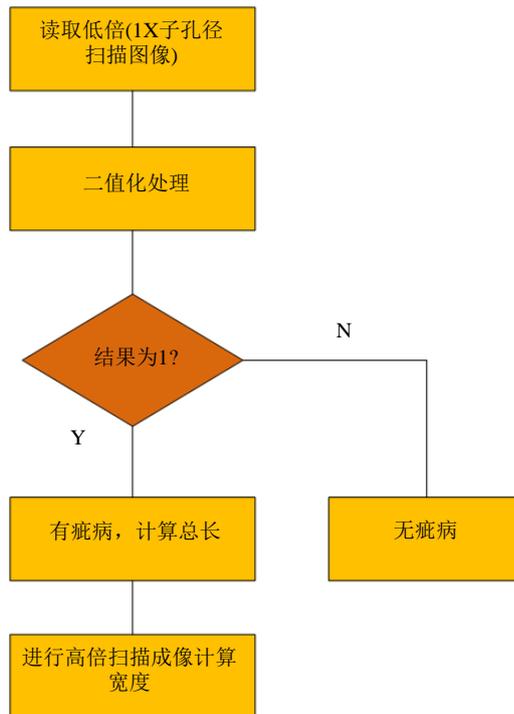


Figure 2. Disposal process of software for the quantitative measurement on surface defects
图 2. 表面疵病定量检测系统软件处理流程

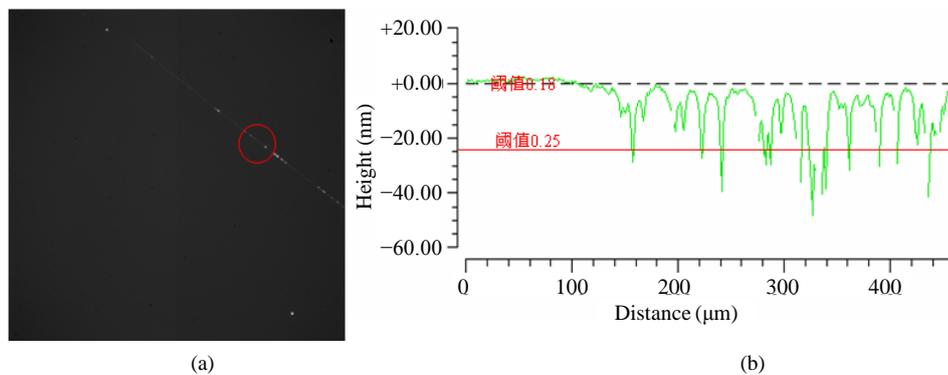


Figure 3. Relationship between the scratch depth and the gray value of the defect image. (a) Defect image; (b) Scratch depth in Figure 3(a) measured by contourgraph
图 3. 划痕深度与散射像灰度值的对应关系。(a) 疵病图像；(b) 轮廓仪测得图(a)划痕的深度

元件表面上一条典型的浅划痕疵病图像，图3(b)为图3(a)中标记区域内划痕深度的轮廓仪测量结果，可以看到，不同位置处划痕散射像的灰度值存在较大差异，该差异的变化趋势与划痕的深度走向基本一致，即散射像的灰度值与划痕深度成正比。当图像的二值化分析阈值设置为0.25时(对应散射像灰度值为63)，深度大于图3(b)中红线标识位置的划痕像素灰度值将处理为1，即判断该位置有疵病；而深度小于该红线标识的位置时二值化处理结果为0，即判断该位置无疵病。当采用0.16作为二值化分析阈值时(对应散射像灰度值为40)，如图3(b)中虚线标识位置所示，二值化处理后深度大于粗糙度RMS值的像素均被处理为1，即被视为有疵病，此时，大量与元件粗糙度RMS一致的像素作为背景噪声出现在二值化处理后的结果中。

对于上述疵病图像(如图4(a)所示)，通过人工判读的方式得到其划痕总长为12 mm (将疵病图像导入Matlab软件，沿划痕长度方向计算其像素数目，划痕长度 = 像素数目 × 像素尺寸)。为分析二值化阈值(疵病信息灰度值/255)对检测结果的影响，分别采用0.16, 0.18, 0.21, 0.23, 0.25的阈值对图4(a)进行二值化处理，结果分别如图4(b)~(f)所示。对二值化后的图像，采用与图4(a)中相同的划痕长度计算方法，分别计算图4(b)~(f)中二值化后划痕的总长分别为12 mm, 11.7 mm, 7 mm, 5 mm, 4.2 mm。实验分析表明：当二值化阈值小于0.18时，二值化后划痕总长与原图总长基本一致，但会引入的背景噪声，导致疵病总数比原图多；当二值化阈值大于0.18时，背景噪声逐渐消失，但随着二值化阈值增加划痕总长减少。

4. 解决方案

虽然在图4(b)所示的二值化图像中，可以通过人工判读的方式获得浅划痕的准确长度，但是由于其中存在大量的背景噪声，疵病定量检测分析软件将无法将划痕信息与背景噪声进行有效区分，从而导致疵病信息的误判，导致数据处理不能正常进行。而若采用较高的二值化阈值——如0.25，二值化图像中在去除背景噪声的同时，也会丢失大量划痕的特征信息，使得由疵病定量检测分析软件得到的划痕长度远小于其实际值。

为了从疵病图像中有效提取成像强度接近背景光强的浅划痕的特征信息，我们采取了以下措施。首先，在所检测的元件表面上选取一块不含有疵病的区域，拍摄该区域的显微散射暗场图像，将其作为背景图像保存下来，如图5(a)所示；然后，将所采集的疵病图像(如图4(a)所示)与背景图像均导入Matlab软

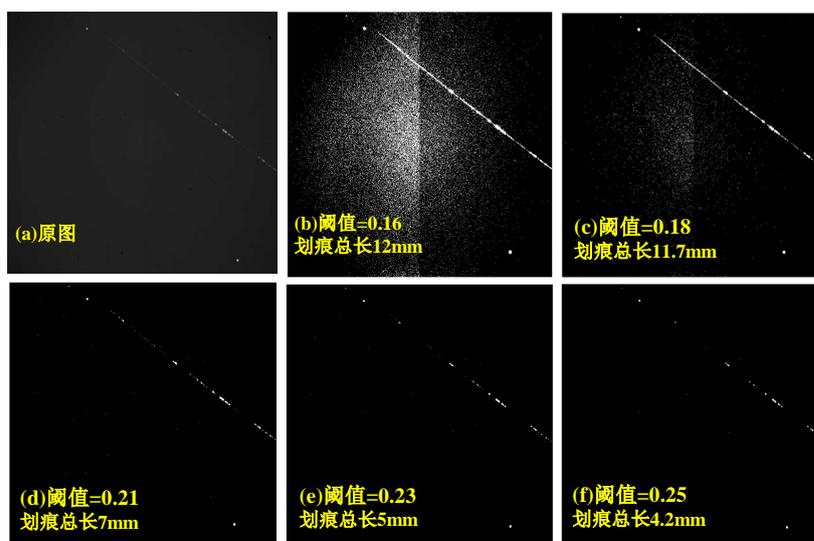


Figure 4. Change of the total length of scratch with different binaryzation threshold
图 4. 不同二值化阈值划痕总长变化情况

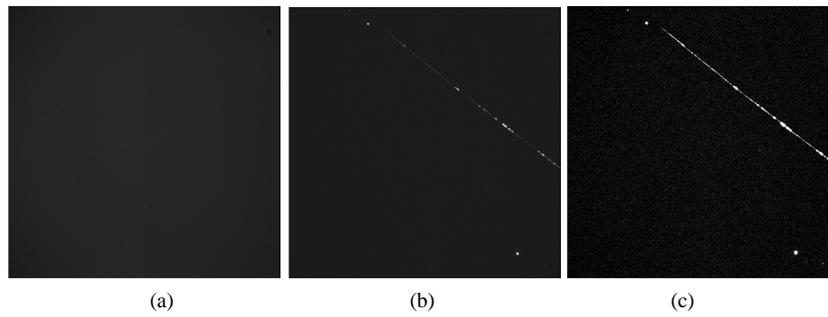


Figure 5. Extraction method of characteristic information of shallow scratches
图 5. 浅划痕特征信息的提取方法

件，将两者进行图像相减，将得到的结果作为目标图像保存下来，如图5(b)所示；最后，对目标图像进行二值化处理，得到不包含背景噪声的划痕二值化图像，结果如图5(c)所示，其中二值化阈值设置为0.02，将该图像使用疵病定量检测分析软件计算，即可获得浅划痕的准确长度12 mm——与人工判读的结果一致。

5. 结论

在利用显微散射暗场成像技术检测光学元件的表面疵病时，浅划痕的成像亮度与疵病图像的背景光强相近，这会导致无法对疵病图像直接进行二值化处理来有效提取其中的划痕特征信息，进而导致利用疵病定量检测分析软件获得的划痕长度的误判或漏检。结合轮廓仪检测结果和对疵病图像的不同二值化处理结果，对上述问题进行了详细分析和说明，并在此基础上，提出了一种可以有效解决这一问题的方法，其通过将疵病图像与背景图像相减后得到目标图像，进而对目标图像进行二值化处理和得来得到浅划痕的准确长度信息。实验结果表明，该方法可以有效提取疵病图像中深度小于 25 nm 的浅划痕信息，提高表面疵病定量检测结果的准确性，其在光学元件表面疵病的定量检测中具有重要的意义和应用。

基金项目

中国工程物理研究院惯约专项资助项目(GFZX0205010809.2)。

参考文献 (References)

- [1] 杨甬英, 高鑫, 肖冰, 等 (2010) 超光滑表面疵病的显微成像和数字化评价系统. *红外与激光工程*, **39**, 325-329.
- [2] 范勇, 陈念年, 高玲玲, 等 (2009) 大口径精密表面疵病的数字化检测系统. *强激光与粒子束*, **21**, 1032-1036.
- [3] 刘旭, 杨甬英, 刘东, 等 (2008) 光学元件表面疵病检测扫描拼接的误差分析. *光电子·激光*, **19**, 1088-1093.
- [4] 杨甬英, 陆春华, 梁蛟, 等 (2007) 光学元件表面缺陷的显微散射暗场成像及数字化评价系统. *光学学报*, **27**, 1031-1038.
- [5] 汪凤全, 杨甬英, 孙丹丹 (2006) 精密表面缺陷的数字化检测系统研究. *光学仪器*, **28**, 71-75.
- [6] 程晓峰, 徐旭, 张林, 等 (2009) 基于高分辨率 CCD 的大口径光学元件疵病检测. *强激光与粒子束*, **21**, 1677-1680.
- [7] 李璐, 杨甬英, 曹频, 等 (2014) 大口径光学元件表面灰尘与麻点自动判别. *强激光与粒子束*, **26**, 012001.
- [8] 姚红兵, 曾祥波, 马桂殿, 等 (2013) 镜片疵病视觉在线检测方法. *激光与光电子学进展*, 121003.
- [9] 肖冰, 杨甬英, 高鑫, 等 (2011) 适于大口径精密光学表面疵病图像的拼接算法. *浙江大学学报*, **45**, 375-381.
- [10] 李梦奇, 李冬英, 谢志江 (2010) 基于多学科优化的大口径光学元件表面洁净度检测系统. *中国机械工程*, **21**, 2839-2842.
- [11] 张彬, 刘缠牢 (2013) 球面光学元件表面疵病的自动检测技术研究. *光学仪器*, **35**, 16-20.