

光盘信息符散斑图的统计特性研究*

李新忠^{1,2} 岱 钦^{1,2} 汪永阳^{1,2} 王希军^{1,2**}

(1 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130031)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要 提出了一种用激光散斑测量光盘信息符统计特性的方法. 利用散斑统计理论中衍射散斑场的平均对比度与散射屏表面粗糙度近似成线性关系, 把光盘等效为弱散射屏, 对未刻录、刻录及存在缺陷的 CD-R 光盘不同区域形成的衍射散斑图进行了对比研究. 实验结果表明, 该方法具有可量化、全场测量的优点, 能够表征光盘信息符的某些统计特性, 这为测量光盘刻录质量提供了一种新的方法和途径.

关键词 激光散斑; 光盘; 信息符; 统计特性

中图分类号 TN249 **文献标识码** A

0 引言

光盘是近几十年发展起来的海量存储介质, 其优点是存储容量大、保存时间长. 如何准确地写入和读出数据是光盘的关键技术, 其中, 标志信息符的凹凸结构形貌直接影响了数据的读出质量. 很多研究工作集中在利用标量衍射理论^[1~3]和矢量衍射理论^[4~6]来分析光盘信息符对读出信号的影响, 但对大量信息符的统计特性方面的研究未见报道.

由于标志光盘信息符的凹凸结构表面的粗糙性, 当被一束光照射时, 除了有规律的衍射外, 在空间还会形成一些看似杂乱而又符合统计规律的散斑. 激光散斑方法是一种非接触无损测量方法, 已经广泛应用于位移、形变、振动及形貌测量等领域^[7~13]. 本文试从激光散斑的角度去分析光盘表面信息符的统计特性.

1 原理

1.1 光盘的物理结构

标准的 CD、VCD、DVD 光盘的物理结构基本相同, 以只读 CD-R 光盘为例, 它主要由四部分组成 (如图 1): 底层为聚碳酸酯透明塑料注塑成形的衬底, 在衬底上镀有一层很薄的有机染料记录层, 用金属膜做反射层, 顶层为涂漆保护层, 可在上面印刷商标、图案或文字说明.

CD-R 光盘写入数据时, 写入激光束沿着光盘的预刻槽照射在有机染料记录层上, 使之熔解汽化, 在塑料衬盘和反射层之间形成信号坑 (见图 1), 使

下面的金属反射层暴露出来, 从而使凹坑处具有很强的光反射作用, 而未汽化的有机染料层的反射率则较低. 光盘上的数据就是用这一系列的凹凸结构来表示的, 这些微小的凹凸单元称作光盘信息符.

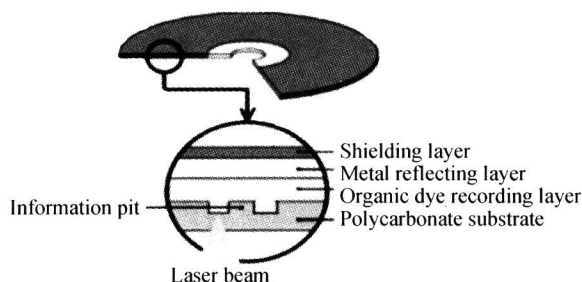


图 1 CD-R 光盘的物理结构图

Fig. 1 The physical structure CD-R optical disk

1.2 散斑测量理论基础

在散斑统计理论中, 散射屏可以分为强散射屏和弱散射屏, 它们的区别是, 强散射屏的表面非常粗糙, 其表面起伏的标准偏差远大于照明光波的波长; 而弱散射屏的表面起伏的标准偏差小于照明光波的波长, 即其表面粗糙程度小于一个波长.

设散射屏形成的远场散斑图上某点处的光强为

$$I(x, y, z) = |A(x, y, z)|^2 \quad (1)$$

式中, $A(x, y, z)$ 为散斑光振幅.

散斑场光强起伏变化的标准偏差 σ 定义为^[14,15]

$$\sigma = [\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2]^{1/2} \quad (2)$$

式中, $\langle \dots \rangle$ 表示系综平均, I 为散斑图上某一点处的光强值.

用散斑平均对比度来描述一个散斑图样的光强相对于其平均值的起伏情况. 散斑平均对比度定义为

$$V = \frac{\sigma}{\langle I \rangle} = \frac{[\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2]^{1/2}}{\langle I \rangle} \quad (3)$$

* 国家自然科学基金(60478026)资助

** Tel: 0431-6176887 Email: xjwang@yahoo.com

收稿日期: 2006-05-07

在强散射屏的情况下,散斑光强为正态分布,根据散斑统计理论,其标准偏差等于自身的均值,即

$$\sigma = \langle I \rangle$$

由式(3)可知, $V=1$, 这表明强漫射体散斑的统计性质与表征散射屏表面粗糙度的参量无关.

而在弱散射屏中,散斑图的标准偏差不是一个固定值,散斑图的平均对比度与散射屏的表面粗糙度近似成线性关系^[14,16,17]. 所以,通过计算弱散射屏散斑图的平均对比度可以定性比较不同弱散射体的表面粗糙度及其统计性质.

在 CD-R 光盘中,为了能准确的读取刻录在光盘上的数据,光盘信息符凹坑的光学深度应精确控制在读取波长的四分之一. 宏观上看,光盘信息符的这些凹凸结构可以看作是光盘的表面粗糙度. 读取/刻录 CD-R 光盘所用的激光波长为 780 nm, 当用波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光器作为测试波长时,其轮廓起伏的标准偏差小于照明激光波长,所以可把 CD-R 光盘看作弱散射屏物体. 因此,可以利用光盘形成的远场散斑的平均对比度来比较测量未刻录、刻录和存在缺陷的 CD-R 光盘表面形态的统计性质.

本文通过实验分别测量了未刻录、刻录及存在缺陷的 CD-R 光盘不同区域形成的散斑图,并利用上述理论计算了所得散斑图的平均对比度,分析了散斑图光强起伏与表面粗糙度的关系.

2 结果与讨论

CD-R 光盘散斑实验光路图如图 2. 以 He-Ne 激光器作为照明光源,激光波长为 632.8 nm,输出功率 20 mW. 激光器发出的激光束经准直扩束后照在 CD-R 光盘上. CCD 相机固定在适当位置拍摄记录 CD-R 光盘产生的远场衍射散斑图.

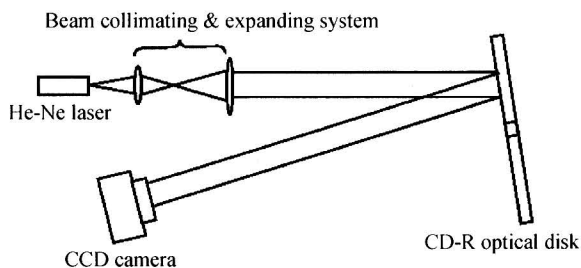


图 2 CD-R 光盘测试光路图

Fig. 2 The schematic diagram of CD-R optical disk of measurement

以光盘中心为坐标原点,在光盘平面内建立直角坐标系. 以坐标系原点为圆心,作半径为 35 mm 的圆,该圆与坐标轴相交的四个点作为四个被测区域的中心点. 实验中,先用一张未刻录 CD-R 光盘作为测试样品,对四个区域进行测量,拍摄散斑图

像,散斑图像的大小为 640×480 .

图 3 的四幅图是未刻录 CD-R 光盘形成的散斑图. 为分析散斑图光强的起伏情况,把散斑图上的每一点处的光强值与其系统均值的比值作图比较,如图 4. 图 4 中的(a)~(d)分别对应图 3 中的(a)~(d)的光强起伏轮廓图,下同.

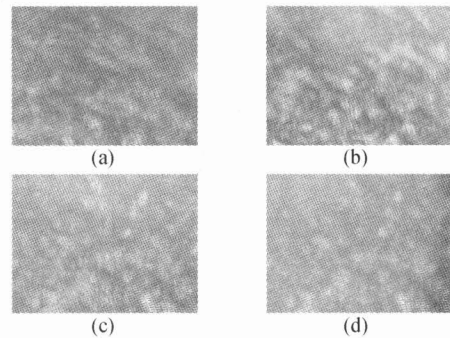


图 3 未刻录 CD-R 光盘的散斑图

Fig. 3 Speckle patterns generated by blank CD-R optical disk

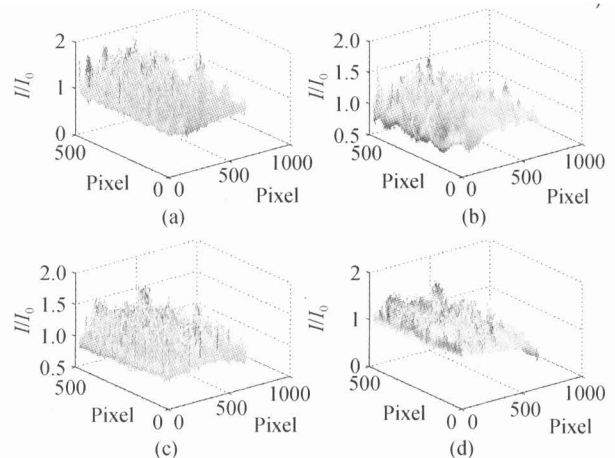


图 4 图 3 散斑图的光强起伏轮廓图

Fig. 4 The intensity profiles of speckle patterns of Fig. 3

由图 3 可见,未刻录光盘四个区域形成的散斑现象较弱. 利用式(3)求得散斑图的平均对比度值(见表 1),最大的是(a)图,其值也仅为 0.1396,四幅散斑图的平均对比度值相差不大. 说明未刻录 CD-R 光盘表面粗糙度系数较低.

表 1 散斑图的平均对比度值

	(a)	(b)	(c)	(d)
图 3	0.1396	0.1340	0.1364	0.1324
图 5	0.2223	0.2142	0.2107	0.2107
图 7	0.3516	0.3356	0.3376	0.3578

从图 4 的散斑图的光强起伏轮廓图可以看出,相对于其散斑图的系统均值,光强起伏较小,只有个别区域存在尖峰.

测量完未刻录 CD-R 光盘的散斑图后,标记好测试区域,对未刻录光盘刻录数据后,在相同的光路布置下,对上述测量区域重新测试,图 5 图 6 分别为光盘刻录后的散斑图及光强起伏轮廓图.

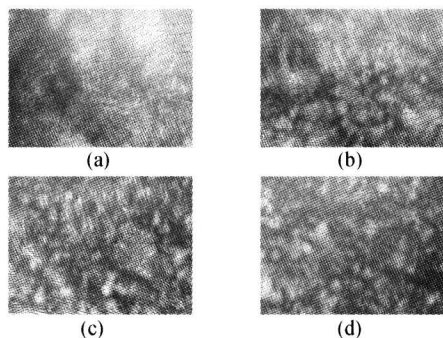


图 5 刻录 CD-R 光盘的散斑图

Fig. 5 Speckle patterns generated by read-in-data CD-R optical disk

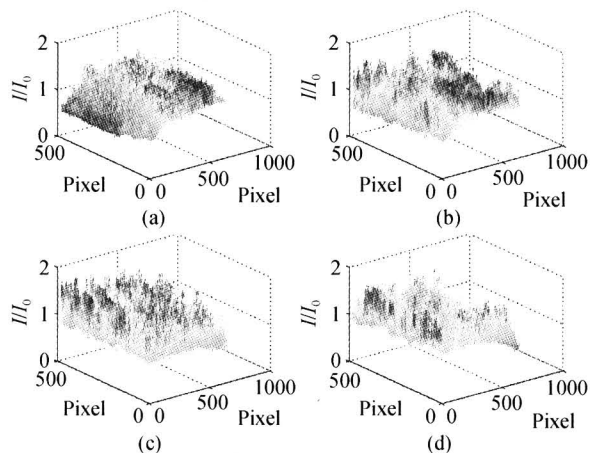


图 6 图 5 散斑图的光强起伏轮廓图

Fig. 6 The intensity profiles of speckle patterns of Fig. 5

利用式(3)计算了图 5 中四幅散斑图的平均对比度(见表 1). 由表 1 可得, 经过刻录后的 CD-R 光盘的散斑图的平均对比度增大, 相应的, 其表面粗糙度也增大.

由图 5 可以看出, 经过刻录后的光盘, 由于表面粗糙度增加, 散斑图的可见度提高, 其散斑颗粒度较图 3 有所增强. 比较图 4 和图 6 可知, 表面粗糙度的增加导致了散斑强度起伏的增加.

最后, 对一张存在缺陷的刻录后的 CD-R 光盘进行了测试, 四个缺陷区域的散斑图和光强起伏轮廓图如图 7、8.

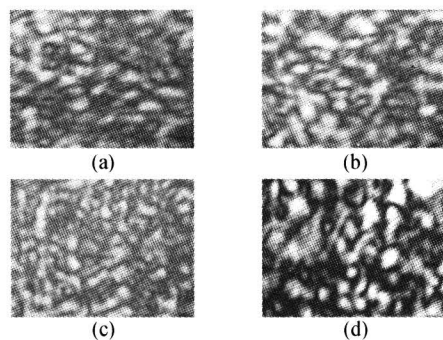


图 7 CD-R 光盘的缺陷散斑图

Fig. 7 Speckle patterns of CD-R optical disk with defects

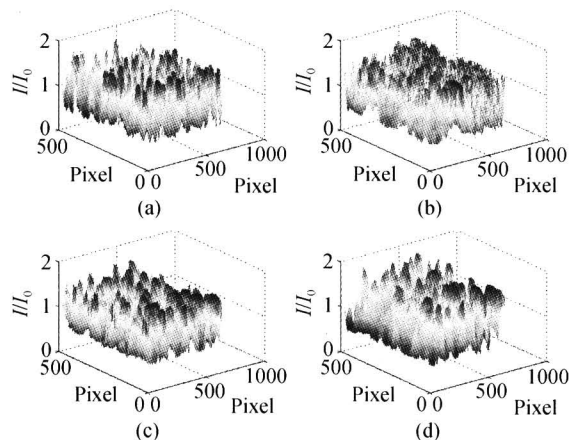


图 8 图 7 散斑图的光强起伏轮廓图

Fig. 8 The intensity profiles of speckle patterns of Fig. 7

与图 3 图 5 相比, 由于缺陷的存在, 图 7 中缺陷散斑图的颗粒度明显增强, 散斑图的可见度显著提高. 计算得到的平均对比度值也增大至 0.3578, 说明缺陷区域的粗糙度大于非缺陷区域.

由缺陷区域的光强起伏轮廓图可以看出, 随着粗糙度的增大, 光强散斑图的起伏比较剧烈, 大都偏离其光强平均值.

表 1 列出了图 3、图 5 和图 7 散斑图的平均对比度值. 在利用式(3)进行计算时, 用 I 和 I^2 的平均值来代替 $\langle I \rangle$ 和 $\langle I \rangle^2$.

由表 1 得, 未刻录、刻录和存在缺陷光盘散斑图的平均对比度值的均值分别为: 0.1356、0.2161 和 0.3457, 即随 CD-R 光盘粗糙度的增加, 其散斑图的平均对比度的数值也同时增加, 这与实验理论吻合.

3 结论

在散斑统计理论中, 将光盘等效为入射光弱散射屏后, 利用光盘远场散斑图的平均对比度与其表面粗糙度近似成线性关系, 可以获得光盘的某些统计性质. 根据这一理论对未刻录、刻录及存在缺陷的 CD-R 光盘进行了测量计算, 初步验证了这一理论的可靠性. 下一步将用其他方法预先测量出 CD-R 光盘的粗糙度, 与该方法获得的粗糙度值对比研究, 进一步验证其可靠性.

致谢 感谢国家自然科学基金委员会对本课题的资助.

参考文献

- 1 Yamamoto M, Watabe A, Ukita H. Optical pregroove dimensions; design considerations. *Appl Opt*, 1986, **25** (22):4031~4034
- 2 Tanabe T, Tanaka Y, Arai R. Simplified analysis of the readout waveform for an elliptical mark. *Appl Opt*, 1993, **32**(20):3755~3760

- 3 Milster T D. New way to describe diffraction from optical disks. *Appl Opt*, 1998, **37**(29): 6878~6883
- 4 Zhou Z P, Ruan Y. Optimization of information pit shape and read-out system in read-only and write-once optical storage system. *Appl Opt*, 1988, **27**(4): 728~731
- 5 Moharam M G, Grann E B, Pommet D A. Formulation for stable and efficient implementation of the rigorous coupled-wave analysis of binary gratings. *J Opt Soc Am A*, 1995, **12**(5): 1068~1076
- 6 Granet G. Analysis of diffraction by surface-relief crossed gratings with use of chandezon method; application to multilayer crossed gratings. *J Opt Soc Am A*, 1998, **15**(5): 1121~1131
- 7 赵玮, 赵晓铭, 王红霞, 等. 利用分数傅里叶变换相关实现散斑相关测量. 光子学报, 2005, **34**(3): 464~467
Zhao W, Zhao X M, Wang H X, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(3): 464~467
- 8 李善祥, 孙一翎, 李景镇. 时间序列动态散斑相关跟踪测量原理及其应用. 光子学报, 2005, **34**(7): 1066~1068
Li S X, Sun Y L, Li J Z. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(7): 1066~1068
- 9 刘诚, 阎长春, 高淑梅. 一种改进的载波电子散斑干涉处理方法. 光子学报, 2005, **34**(2): 214~217
Liu C, Yan C C, Gao S M. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(2): 214~217
- 10 Li X D, Tao G. Low-frequency harmonic vibration analysis with temporal speckle pattern interferometry. *Optics & Laser Technology*, 2002, **34**(3): 259~264
- 11 乐开端, 贾书海, 谭玉山. 激光纳米振动测量技术研究. 光子学报, 1999, **28**(8): 715~717
Yue K D, Jia S H, Tan Y S. *Acta Photonica Sinica*, 1999, **28**(8): 715~717
- 12 Cheng H Y, Luo Q M, Wang Z, et al. Efficient characterization of regional mesenteric blood flow by use of laser speckle imaging. *Appl Opt*, 2003, **42**(28): 5759~5764
- 13 Kihm K D. Applications of laser speckle photography for thermal flow problems. *Optics and Lasers in Engineering*, 1998, **29**(3): 171~200
- 14 Lisa C L, Vincent T. Roughness measurement of metallic surfaces based on the laser speckle contrast method. *Optics and Lasers in Engineering*, 1998, **30**(5): 433~440
- 15 Cheng C F, Liu C X, Zhang N Y, et al. Absolute measurement of roughness and lateral-correlation length of random surfaces by use of the simplified model of image-speckle contrast. *Appl Opt*, 2002, **41**(20): 4148~4156
- 16 Junji O, Toshimitsu A. Statistical properties of laser speckle produced in the diffraction field. *Appl Opt*, 1977, **16**(6): 1742~1753
- 17 Junji O, Toshimitsu A. Development of laser speckle and its application to surface inspections. *Appl Opt*, 1977, **16**(1): 180~183

Study on Statistical Characteristics of Speckle Patterns Generated by Optical Disk Information Marks

Li Xinzhong^{1,2}, Dai Qin^{1,2}, Wang Yongyang^{1,2}, Wang Xijun^{1,2}

¹ Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130031

² Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Received date: 2006-05-07

Abstract A method of laser speckle for information marks measurement of optical disk was proposed. When laser beam illuminating the weak scattering object, there was an approximately linear relationship between the speckle average contrast and the roughness of the illuminated surface in the diffraction field. According to this theory, the optical disk can be regarded as a weak diffuse object. In this paper, the patterns generated by several regions of blank, read-in-data and damaged optical disks were studied. The experimental results indicated that this method could be applied to obtain some statistical characteristics of optical disk due to its advantages of quantitative and full-field measurement, which provided a novel technique to character the optical disk quality.

Keywords Laser speckle; Optical disk; Information mark; Statistical characteristics



Li Xinzhong was born in 1979 in Shandong province, China. He graduated from Qufu Normal University in 2002 and obtained his bachelor degree. Since then he has studied in Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Academy of Sciences for Ph. D. Degree. Diode pumped solid-state laser and laser speckle measurement are his mainly research.