

光盘表面缺陷的快速分类与质量评价

吴忠俊 李锡善 甘柏辉 孙晶砚

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 本文介绍一种利用多通道脉冲宽度鉴别技术直接对光盘表面或光盘盘片表面缺陷进行快速分类和统计的方法和实验结果。通过对聚焦激光束扫描盘面获得的缺陷信号的脉冲宽度分类, 统计各类缺陷个数, 计算缺陷密度值, 有效地评价光盘表面的性能质量。

关键词 光盘, 表面缺陷, 测量

Fast classification and counting of surface defects and evaluation of surface performances for optical disks

WU Zhongjun, LI Xishan, GAN Baihui, SUN Jinfan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract In this paper, we describe a new method for fast direct classification and counting of the surface defects in optical disks and substrates, and present the corresponding experimental results of the surface performance evaluation by this method. Defect signals are obtained with an auto-focusing laser beam scanning the surface of optical disk or substrate, and they are directly classified and counted by the electronic circuits. The number of all kinds of defects and the size are transferred into the micro-computer, then the defect density of optical disk or substrate are calculated by the measuring software, so that the surface performances of optical disks or substrates are effectively evaluated.

Key words optical disk, surface defect, measurement

1 引言

光盘基片和光盘制作技术是一项新的工艺技术, 光盘基片和光盘的质量检验是一个新问题。一般的光学元件表面质量是以光洁度为测试参数, 表面缺陷的检查采用暗场照明, 目视观察, 利用光散射原理判别缺陷有无, 这种方法也可用于光盘表面的缺陷检查, 获得表面的初始缺陷信息, 但不能定量统计缺陷特性, 判断取决于个人的主观评判^[1]。Yamada 等提出用频谱仪测量未记录信息的记录介质回放信号的信噪比, 根据信噪比来评价光盘表面性能质量, 这种方

法反映了盘面特性对记录性能的影响,但对盘面采样范围较小不利于对整个盘面质量的评价,不能反映盘面缺陷对原始误码率的影响^[2]。Dacid Y. Lou 等提出了光盘表面缺陷密度的概念,采用多通道分析技术测量未记录信息的记录介质或基片的回放信号脉冲宽度,统计盘面的缺陷密度来评价表面性能质量,这种方法首先要把脉宽信号转换成幅度信号,然后才能进行多通道分析和计算缺陷密度,这样降低了测量速度^[3]。

我们提出了采用多通道脉冲宽度分析技术直接对伺服聚焦激光束在高速旋转的光盘或光盘盘基表面上扫描所得反射缺陷信号进行脉冲宽度分类,多通道计数器进行缺陷统计和微计算机控制测量光盘缺陷的快速测量方法,为光盘和光盘基片质量的自动化检测和评价提供一条途径。本文介绍该方法的原理和对光盘盘基表面缺陷质量评价结果。

2 光盘表面缺陷的分类原理

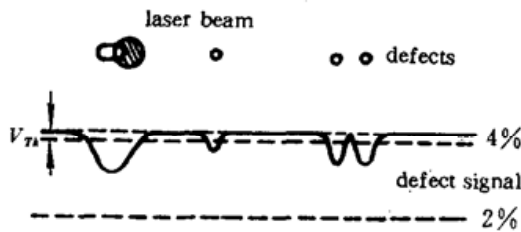


Fig. 1 Focused laser beam picking up the optical disk surface defects

图 1 是聚焦激光束扫描光盘表面缺陷示意图,当激光在扫描方向上通过一个缺陷时,由于衍射、散射等原因,反射光强度发生变化,在探测反射光的光电探测器上产生一个脉冲信号,在光盘转速恒定情况下,脉冲的幅度和持续时间(脉宽)取决于在扫描方向上缺陷的大小,即

$$\mu = 2\pi r\phi t$$

式中, μ 为盘面沿激光束扫描方向缺陷尺寸大小, r 为光盘径向半径, ϕ 为光盘转速, t 为缺陷脉冲信号脉宽。

号脉宽。

光盘或基片的缺陷密度定义为

$$D_r = \frac{\sum n_i \times T_i}{T} = \int \frac{\mu M_\mu d_\mu}{S}$$

式中, T 为测量时间, S 为在时间 T 内激光束扫描盘面的距离, T_i 为脉冲宽度, n_i 为在时间间隔 T 内,对应脉冲宽度为 T_i 的缺陷信号个数, μ_i 为缺陷尺寸(宽度), M_μ 为在 S 范围内,宽度在 μ 和 $\mu + d_\mu$ 之间的缺陷个数。

光盘基片表面反射率一般低于 5%,缺陷信号十分微弱,并且缺陷信号是随机脉冲信号,幅度和脉宽大小不一,小的脉宽达几十 μs 量级,大的达几十 μs 量级,这要求前置放大器不仅要有低的噪声,而且还要有较宽的频带和动态响应范围。缺陷信号首先经过低噪声、宽频带前置放大器放大,再进行宽度分类。图 2 是多通道脉冲宽度分析技术对缺陷脉冲信号进行分类和统计的原理框图。

光电探测器输出信号经低噪声前置放大器放大,放大的缺陷信号加到阈值鉴别电路,与设定的参考电压阈值进行比较,缺陷信号幅度大于阈值电压,则变成相应脉宽的 TTL 电平信号,脉冲宽度对应缺陷尺寸。脉冲 TTL 信号经一个缓冲器由多通道的脉冲宽度鉴别器和计数电路进行判别分类和统计。每一通道分别设置脉冲宽度鉴别上限 T_H 和下限 T_L ,当缺陷脉冲信号脉宽 T_{PW} 落入 T_L 和 T_H 之间(即 $T_L < T_{PW} < T_H$) 时,该通道产生一个计数脉冲,则通道计数器进行计数加 1。在一定测量时间内,每个通道计数器的数就是该通道的脉冲宽度所对应的缺陷尺寸个数。以盘片转动一周作为一次测试单元时间,计算机控制将每个计数器统计缺陷数送入内存

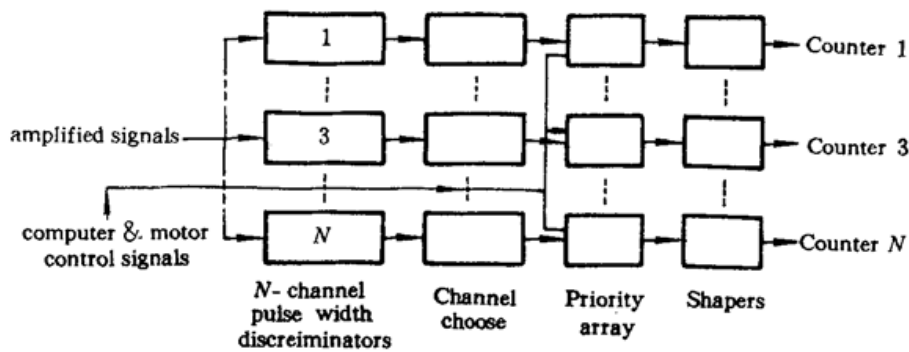


Fig. 2 Schematic diagram of multi-channel pulse width discrimination system

处理,按(1)式计算得出缺陷尺寸分布,计算缺陷密度 D_r 或者进行下一圈缺陷统计,最后计算缺陷密度 D_r 。激光束一边扫描探测光盘表面缺陷,一边由脉宽分析电路对缺陷信号实时分类和统计,这样光盘可以较高的转速旋转,同时可检测较小的缺陷(缺陷信号脉宽窄),提高测量速度。

在脉冲宽度鉴别电路中,为防止相邻通道之间串扰或同一缺陷信号位于两个通道的上限和下限交接处时同时选通两个通道的情况,采用通道优先级排序电路,保证一个缺陷脉冲信号通过鉴别后,只有一个计数脉冲产生。

3 光盘表面质量评价

3.1 实验安排

图 3 是按光盘记录与读出原理用聚焦激光束表面检测缺陷的光学系统图,光源采用腔长为 180 mm 的 He-Ne 激光器,输出功率为 1.4 mW,功率稳定度优于 5%,输出激光束经过检偏器后变成线偏振光,再经偏振分束棱镜 PBS 和半透半反镜 HR,由聚焦物镜将光束聚焦在盘面,盘面激光功率约 0.25 mW。聚焦物镜数值孔径 $N_A = 0.47$,焦距 $f = 4.7$ mm,在盘面聚焦激光束斑尺寸约为 $1.2 \mu\text{m}$,图中 PBS 主要用于光学隔离, S 光和 P 光消光比优于 500:1,PIN 管及前置放大器检测缺陷信号。伺服聚焦系统利用音圈物镜作为执行机构,音圈物镜的共振频率为 30 Hz,电机特性为:1 Hz 时 9mm/A,100 Hz 时,135 $\mu\text{m}/\text{A}$,电流驱动范围 ± 1.2 mm。由临界角棱镜和四像限探测器构成检测焦距误差信号的传感器。焦距误差信号经过前置放大 PID 校正环节进行位相和幅度补偿,再经功率放大驱动音圈物镜,构成一个闭环随动控制系统。调焦伺服系统的闭环伺服带宽为 2 kHz 左右,根据音圈物镜的电机特性和焦距误差检测传感器的灵敏度,经测定闭环后系统调焦误差优于 $\pm 0.5 \mu\text{m}$ 。光盘或盘基由精密转台带动以 1500 转/分旋转,光学系统布置在一平台上由步进电机带动导轨沿径向移动,半径值根据移动步数和步距决定。多通道脉冲宽度分析系统由 32 个通道和计数器组成,设计的 32 通道脉冲宽度鉴别器电路可鉴别的脉冲范围为 40 ns~20 μs ,相邻通道上下限衔接,根据转速计算最小可测试缺陷尺寸为 0.30 μm ,最大为 180 μm 。计数器的统计结果与微计算机之间的数据传输及控制接口采用 IEEE 488 通讯标准,通过 GP-IB 接口总线方法制作接口实现。

3.2 实验与结果

图 4(a)是对一张镀有磁光记录介质的磁光盘表面缺陷进行测量所得的缺陷尺寸密度分布图,(b)是对一张光盘基片表面缺陷进行分类、统计和计算所得的缺陷数尺寸密度分布图。从图 4 可以看出光盘盘基和光盘记录介质的表面各种大小缺陷数量的分布状况。根据相应的缺

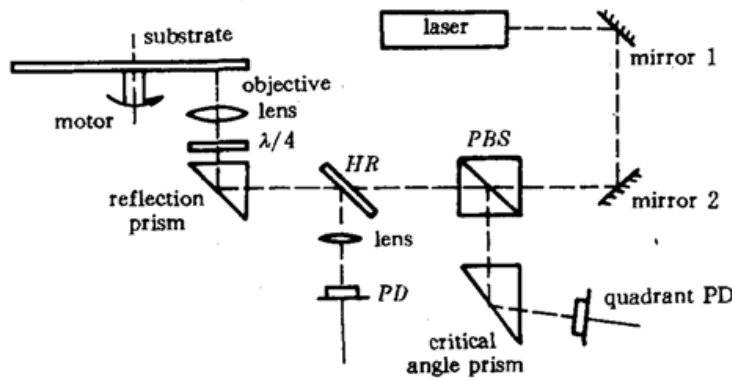


Fig. 3 Optical system for testing the surface defects of optical disks

陷密度值 D_v 评价光盘盘基和光盘记录介质表面性能质量,结合光盘和盘基的加工生产和制备工艺,对产生缺陷的原因进行研究。

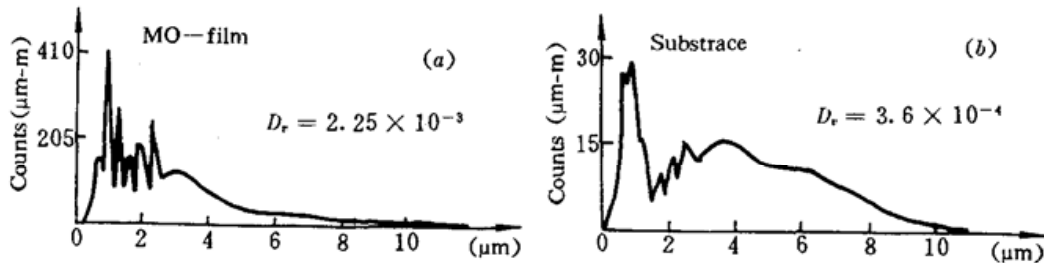


Fig. 4 Distribution of defect density of optical disk and substrate

表 1 是我们使用上述方法测量缺陷密度 D_v 与使用暗场照明,目视观察评价测量方法对一批玻璃光盘基片进行测量比较所得实验结果均在同样条件下测得。从该表可以看出我们提出的方法测得结果与目视观察结果相符,且是定量结果。

Table 1 Comparison between measurements and appearance

No	No of circle	D_v	Appearance
1	400	1.01×10^{-5}	good
2	400	1.41×10^{-6}	good
3	200	2.61×10^{-6}	good
4	200	2.46×10^{-4}	some defects
5	200	5.02×10^{-4}	line defects
6	200	1.36×10^{-3}	dusty
7	1000	6.17×10^{-4}	obvious defects
8	1000	2.25×10^{-3}	obvious defects

表 2 是对磁光盘进行缺陷密度测量和进行光盘原始误码率测量的结果比较。这一结果说明光盘的缺陷密度 D_v 直接与其原始误码率有关,利用 D_v 值来评价光盘表面性能是客观的。

表 3 是光盘盘基清洗前后缺陷密度 D_v 值的变化结果,这一结果说明这种方法不仅可以探测出光盘表面本身固有的缺陷,如麻点、划痕、气泡等,同时也可测出灰尘、污染等。

Table 2 Comparison between BER and D_v

Values	Disk sample 1	Disk sample 2	Disk sample 3
D_v of basis disk	4.336×10^{-4}	3.603×10^{-4}	1.486×10^{-3}
D_v of magneto-optic film	2.25×10^{-3}	8.13×10^{-3}	2.47×10^{-2}
BER	1.68×10^{-3}	3.51×10^{-3}	5.0×10^{-3}

注：原始误码率 BER 是光盘动态读写测试装置测试多个半径上的原始误码率的平均值。盘基由上海光机所提供；磁光膜由上海冶金所提供

Table 3 Defect densities before and after cleaning

No of disk	D_v before cleaning	D_v after cleaning	No of disk	D_v before cleaning	D_v after cleaning
1	6.9396×10^{-4}	3.4019×10^{-5}	3	1.1416×10^{-3}	4.0671×10^{-6}
2	7.4211×10^{-4}	9.0698×10^{-6}	4	2.149×10^{-3}	1.7083×10^{-6}

参 考 文 献

- 1 David Y. Lou, *Appl. Opt.*, **21**(9), 1602~1609(1982)
- 2 Kouhi Yamada *et al.*, *SPIE*, **329**, (1982)
- 3 David Y. Lou *et al.*, *Appl. Opt.*, **20**(5), 887~891(1981)