

光盘衬底光学性能测试

李锡善 许世忠

(中国科学院上海光机所)

摘要: 本文讨论了不同光盘衬底材料的基本性能及基片的缺陷密度、粗糙度和平整度等参数测量方法。

一、前 言

光盘衬底(基片)是光盘的重要组成部分之一。光盘对衬底材料的化学稳定性、机械强度、热光稳定性等参数有一定要求;对基片的表面光学状态如平整度、粗糙度和缺陷密度等有极严格的要求。因而,国外在光盘工业兴起的同时,光盘基片制备工艺和相应检测技术成为光盘生产不可缺少的重要组成部分^[1-10],受到普遍关注。

二、光盘衬底的基本要求

1. 衬底材料的化学稳定性要好。其防酸、抗潮湿性能保证光盘在长期(10年)存放时,化学稳定性不发生明显变化;
2. 衬底材料的膨胀系数尽可能和记录介质膜及保护膜等膜层的膨胀系数接近;
3. 要有一定机械强度,以适应高速旋转状态和便于加工制作成型;
4. 具有较好的耐热性和耐光照性。
5. 对成品基片的表面光学状态有严格要求:(a)表面平整度一般应在 $5\mu\text{m}$ 以内,不允许高频起伏存在;(b)粗糙度 $Ry < 50 \text{ \AA}$, $Ra < 10 \text{ \AA}$;(c)缺陷密度控制在 10^{-6} 错码率之内。
6. 对基片外形尺寸有较严格公差要求;
7. 紫外透过高,对记录和读出波长吸收小。

表1和表2分别给出光盘基片和基片材料的性能要求及性质比较。

三、光盘基片光学性能测试方法

这里主要介绍光盘基片的缺陷密度、粗糙度和表面平整度的测量方法。

1. 缺陷密度测量

近年来,随着光盘技术的迅速发展,光盘检测设备也相应出现。日本Toshiba公司已研制成光盘系列测试设备。图1—3分别表示其中三种设备的原理示意图。

图1所示测试装置可用于基片或原盘的表面麻点、伤痕和异物等缺陷检测。测试激光束

斑点直径 $50\mu\text{m}$ ，试样半径可达 60mm 。由于聚焦扫描光斑较大，对微缺陷的探测是不太灵敏的。

图2 是一种光盘成品检测系统，可同时检测32张光盘。通过测试盘面的伤痕、污染和杂物等缺陷，判明光盘是否合格。盘面聚焦激光斑直径 $50\mu\text{m}$ 。可实现高速检测，检查一片只需24秒时间。

表1 光盘基片基本性能要求

| 参 数 | 视盘(PMMA) | 小型盘(PC) |
|---|---------------------------------|------------------------------|
| 1. 光学性能 | | |
| (1) 透射率($\lambda = 630\text{nm}$) (%) | ≥ 90 | ≥ 90 |
| $\lambda = 300 - 380\text{nm}$ | ≥ 80 | — |
| (2) 应力双折射 (单程) (nm) | ≤ 20 | ≤ 50 |
| (3) 光学缺陷 (直径大于 $200\mu\text{m}$) | 无 | 无 |
| 2. 机械性能 | | |
| (1) 额定厚度 (mm) | 1.25 ± 0.10 | 1.2 ± 0.10 |
| (2) 厚度偏差 (μm) | $\pm 20 (D = 300)$ | $\pm 50 (D = 120)$ |
| (3) 挠曲 (角度) | ± 0.4 | ± 0.6 |
| (4) 平均粗糙度 R_a (nm) | ≤ 10 | ≤ 15 |
| (5) 洛氏硬度 | 150 | 86 |
| (6) 冲击韧性 kJ/m^2 | 12 | 无破损 |
| 3. 热性质 | | |
| ① Vicat软化温度 B ($^{\circ}\text{C}$) | 96—107 | 145 |
| ② 熔化指数 (3.8kg) ($\text{g}/10\text{min}$) | 10—22 (230°C) | 30 (260°C) |
| 4. 理化性质 | | |
| (1) 饱和 (相对湿度100%) 时 H_2O 的吸收(重量) | 2.1 | 0.40 |
| (2) 扩散系数(H_2O , 2.3°C) (mm^2/s) | 5×10^{-7} | 48×10^{-7} |

表2 不同盘基材料性能比较

| 性 质 | 玻 璃 | PMMA | PC | PS | PVC |
|-----------|-----|------|----|----|-----|
| 抗热变形强度 | ◎ | △ | ○ | △ | × |
| 吸水 (挠曲) | ◎ | × | △ | ○ | ○ |
| 双折射灵敏度 | ◎ | ○ | × | # | △ |
| 透 过 率 | ○ | ◎ | △ | ○ | △ |
| 密度 (重量) | × | ○ | ○ | ○ | △ |
| 机 械 强 度 | # | △ | ◎ | × | ○ |
| 抗 刮 强 度 | ◎ | ○ | × | △ | △ |
| 耐 溶 剂 性 能 | ○ | △ | △ | # | △ |
| 加 工 性 能 | # | ○ | △ | ○ | △ |
| 价 格 | # | ○ | △ | ○ | ○ |

说明： ◎ = 优异 ○ = 好 △ = 可以 × = 不宜 # = 不行

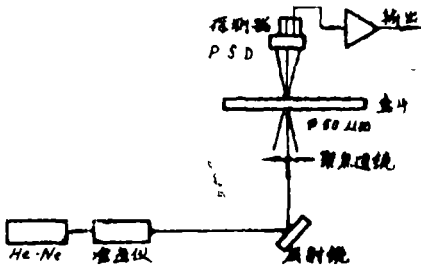


图1 5210光盘缺陷检测仪光路图

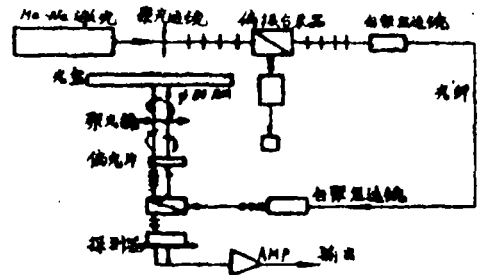


图2 5220光盘成品检测系统

图3是一种高精度、高灵敏度、高速度检测装置。可用于抛光平面和镀膜面的检测。聚焦光束的宽度 $15\mu\text{m}$ ，长 50mm ，可作高速扫描测量，15秒可检测一片。

图4是一种通过信噪比来评价光盘或基片表面质量的测试装置。

$$S/N_D = 20\lg(V_{D0}/2\sqrt{2}V_{A0}) \quad (1)$$

式中， S 为反射光强进行100%正弦调制时的信号值， N_D 为某一频率(f_0)时的交流信号 V_{A0} ，可用频谱分析仪测出， V_{A0} 是 V_{D0} 中的噪声信号(由表面缺陷引起)， V_{D0} 为反射光强中的直流信号，可用数字电压表量出(图5)

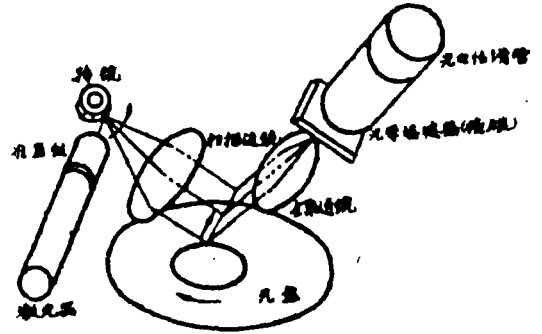


图3 5510光盘检测系统

S/N_D 值与基片的表面微观不平度、基片的清洁程度、记录材料的性质和材料的成膜工艺等参数有关。通过测定表面的 S/N_D 值，可以评定表面的微观不平度和缺陷密度。

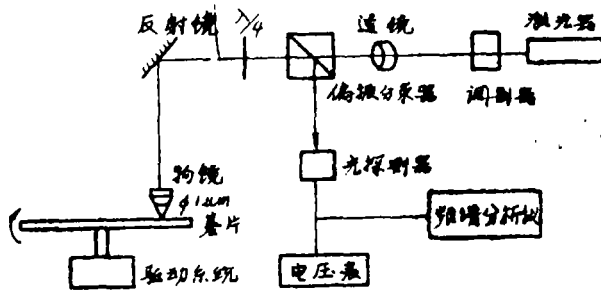


图4 缺陷测量装置(激光扫描法)

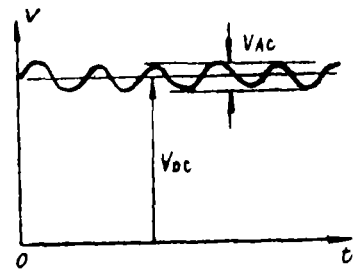


图5

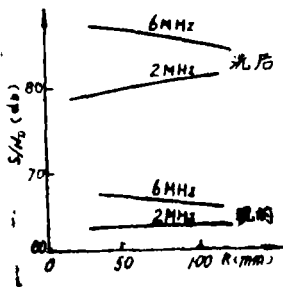


图6 表面清洗对信噪比影响(浮法玻璃)

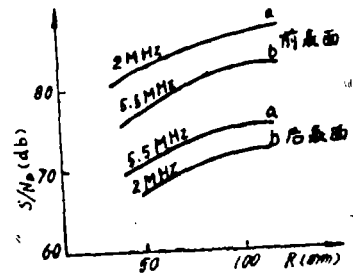


图7 浮法玻璃基片前后表面状态

图6表明清洗程度对信噪比有明显影响。所以基片在镀膜或测试前必须在1000级净化条件下用超声清洗机认真清洗。

图7表示浮法玻璃的上下表面光洁度是不同的，上表面质量好一些。化学钢比对表面光洁度也有一定影响。

为得到基片缺陷分布的整体概念，可采用图8所示的暗场散射观察法。

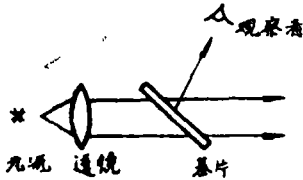


图8 缺陷暗场散射观察法

应用图4的测量装置，可由信噪比导出缺陷的统计分布。另外，也可通过阈值比较电路直接得到基片的缺陷密度。其电学处理方框图如图9所示。

缺陷密度 D_v 的含义是：由阈值 V_a 和 V_b 所确定的缺陷面积占基片总面积的百分比。因而可用 D_v 预示光盘记录和读出时的误码特性。

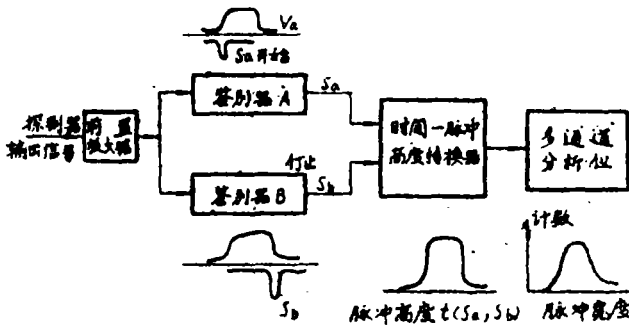


图9 缺陷测量系统中电量处理方框图

$$D_v = \frac{\sum n_i T_i}{T} = \int \frac{\mu n_\mu d_\mu}{S} \quad (2)$$

T —测量时间间隔； T_i —第 i 个脉冲宽度， n_i —与 T_i 时应缺陷数量， S —在 T 时间内移动距离， μ —缺陷宽度； n_μ — μ 到 $\mu + d_\mu$ 的缺陷数。

图10表示阈值 V_a 和 V_b 的大小对所测缺陷密度 D_v 的影响。

图11表示光盘缺陷密度和误码率之间的关系。用同样方法可以判断光盘基片对光盘记录性能的影响。

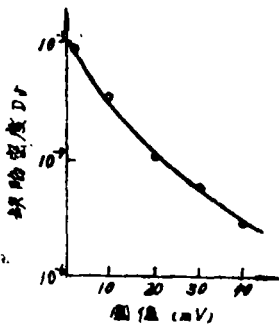
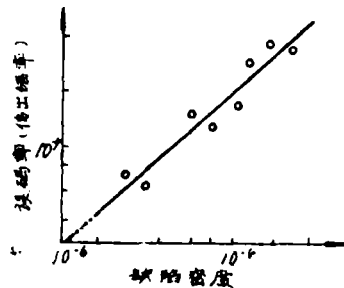


图10 V_a 和 V_b 对 D_v 的影响



缺陷密度和误码率的关系

16位型密勒调制器 1.3 μ m/位

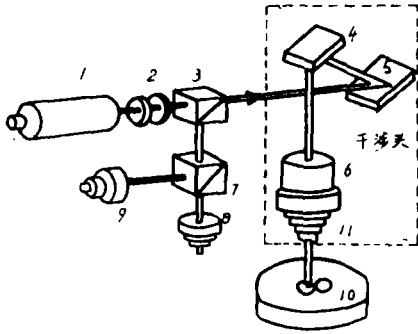
图11 D_v 和误码率间的关系

2: 粗糙度测量

光盘基片表面粗糙度可用接触式或非接触式表面轮廓仪进行测量^[11]。接触式轮廓仪的分辨为 $1\text{ \AA} - 10\text{ \AA}$ ，非接触式可达 0.1 \AA 。图12表示一种非接触表面粗糙度测量仪的原理图。由光源发出的激光束经扩束准直后，再经分束器进入干涉头，由反射镜转向后进入 Wollaston 棱镜和显微物镜，入射光束被组合棱镜横向剪切为两束垂直偏振光束，并被显微物镜聚焦在待测试样表面上，反射后，又在 Wollaston 棱镜合成一束光，但保留了各自的偏振特性。再经 (4,5) 反射镜反射后到达非偏振分束器(3)，进而射到偏振分束器(7)上的光线分别被探测器 A 和 B 接收。干涉光束的强度与两焦点处表面高度差有关，其高度差 Δh 可由下式给出。

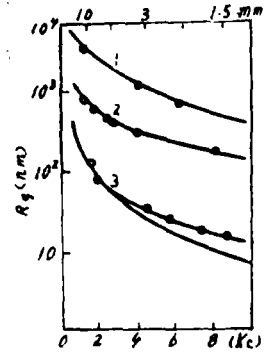
$$\Delta h = \Delta V \cdot \frac{\lambda}{4\pi(V_a + V_b)} \quad (3)$$

ΔV 是接收器 A 和 B 的电压差值， $\lambda = 6328\text{ \AA}$ ， V_a 和 V_b 分别为两个接收器的电压。例如，若 $\Delta V = 1\text{ mV}$ ， $V_a = V_b = 5\text{ V}$ ，那么光程差的分辨率近似为 1 \AA 。所以用此方法可以发现 1 \AA 的微观不平度。图13表示不同材料盘基的均方根粗糙度。



1—激光光源；2—准直扩束镜；3—分束器；
4,5—反射镜；6—Wollaston棱镜；7—偏振分束器；8—接收器A；9—接收器B；
10—试样；11—显微物镜。

图12 双光束外差干涉表面轮廓仪



在每秒20转时的等效频率 (KC)

- 1—铝磁盘
- 2—横压有机玻璃
- 3—抛光玻璃

图13 不同基片材料的表面粗糙度

另外，应用散斑干涉等方法也可用于粗糙度测量。

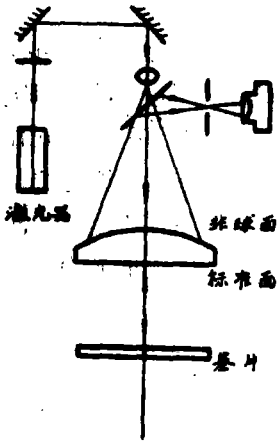
3. 基片表面平整度测量

应用斐索型激光平面干涉仪 (图14) 可以测定基片的平整度。图15表示一片 $5\frac{1}{4}\text{ in}$ 玻璃基片的测定结果。基片呈现凹面形，外环比内环高 $9\mu\text{m}$ (三级品)。

图15中干涉条纹已相当密集。如果条纹再多一些，将很难判读。如果采用双频激光全息干涉仪，此困难便不复存在。图16是其中一种形式的双频全息干涉仪。因双频全息干涉仪的等效波长

$$\lambda_e = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \quad (3)$$

若 $\lambda_1 = 4800\text{ \AA}$ ， $\lambda_2 = 5100\text{ \AA}$ ，则 $\lambda_e = 8.16\mu\text{m}$ 。若用此种双频干涉仪测量图15所示基片的平整度，干涉场中的条纹数只有2,2条，因而较图15容易识别。



Fizeau型激光干涉仪

图14

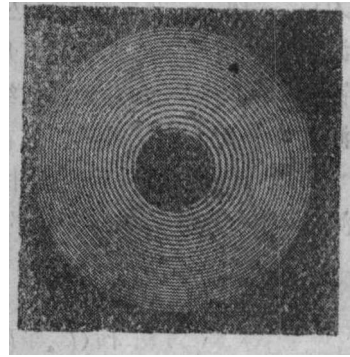


图15 $5\frac{1}{4}$ in玻璃基片平整度 (等外品)

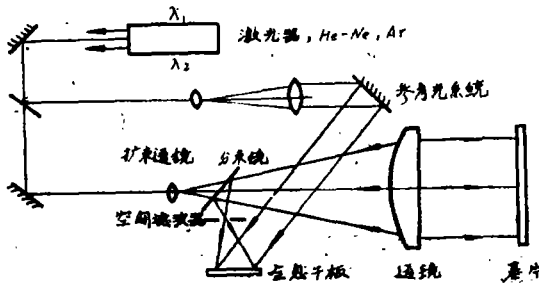


图16 双频全息干涉测量原理图

还有一种气动平面度测量仪，也可用来测量光盘基片的平整度。它是应用气阻力学平衡原理来获得样品上各点程差测量的。测量精度为 $0.1\mu\text{m}$ 。

目前，国外已有商用光盘测试仪器出售。国内，这方面的工作开始不久，需要迅速做好这方面的工作，以适应国内光盘技术发展的需要。

参 考 文 献

- [1] K. Almaryouk, Appl. Opt., 22, No12, (15, June) 1983, p1893.
- [2] M.P. Kothiyal, Optics Communications, 56, No3, 1985, p145.
- [3] A.F. Fercher, Optical Engineering, 25, No5, 1986, p623.
- [4] J.P. Rossi, Optical Engineering, 25, No5, 1986, p613.
- [5] H. Fujii, Optics Communications, 11, No1, 1974, p35.
- [6] H.M. Pedersen, Optics Communications, 12, No2, 1974, P156.
- [7] J.W. Goodman, Optics Communications, 14, No3, 1975, 324
- [8] J.C. Stover, Appl. Opt., 14, No8., 179A, 1975, p8.
- [9] J.M. Bennett, Workshop on Optical Fabrication and Testing, October, 19-24, 1986, Seattle Wash.
- [10] Y. David, Appl. Opt., 20, No5, 1981, p887
- [11] J.C. Wyant, Appl. Opt., 10, No. 9, 1971, p2113.

Measurement of properties of Optical Disc Substrate

Li Xishan Xu Shizhong

Abstract

This paper discusses material properties of the optical disc substrate and measurement methods of the defect density, roughness and planeness.

