

第三章 光记录原理

- 3.1 概述
- 3.2 光盘存储器机理
- 3.3 重写
- 3.4 光路系统基础
- 3.5 激光光源的选择

引言：

英国等多国科学家合作于2012年在
Nature Communication上发表的利用超快激光实现热致磁化翻转是一项的重要的科学发现，利用超快激光的热效应而不是用磁场来翻转磁介质可上百倍地提高磁盘的写入速度，因而从原理上有可能制造出速度百倍于目前硬盘的超高速硬盘。这个发现被中国科学报评为2012年世界十大科学进展。

日本石英玻璃储存技术容量达到蓝光等级，寿命超过3亿年

日立制作所(Hitachi)2014年10月20日发表与京都大学共同研发的石英玻璃储存技术，可在石英玻璃内记录下与蓝光光碟记录密度相同的100层数位资料，每层间距60 μm ，记录密度达每平方寸1.5GB。并验证读写均正常无误。

From: <http://www.eepw.com.cn/article/264272.htm>

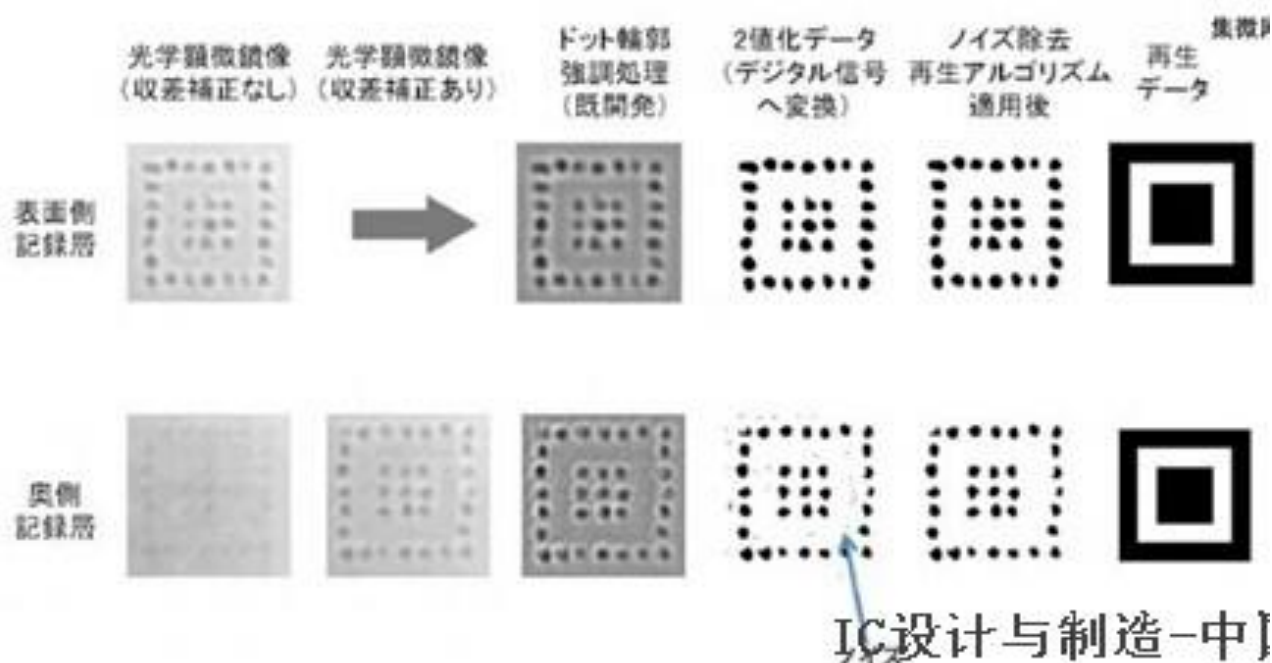


図1 データ再生のプロセス

新型光学存储器：玻璃存储（5D Glass Storage）

玻璃存储（Glass Storage）是一种新兴的存储技术，其主要原理是依靠飞秒激光，在单晶玻璃加工出不同的纳米结构voxel，完成记录；当已知偏振态的光经过voxel后，出射光的偏振态改变，检测出射光偏振态，即可完成读出。

特点：

- 存储寿命长
- 存储密度高：记录单元为纳米尺寸，远小于蓝光光盘的记录坑点尺寸
- 环境要求低：耐高温和高湿度



>900 years

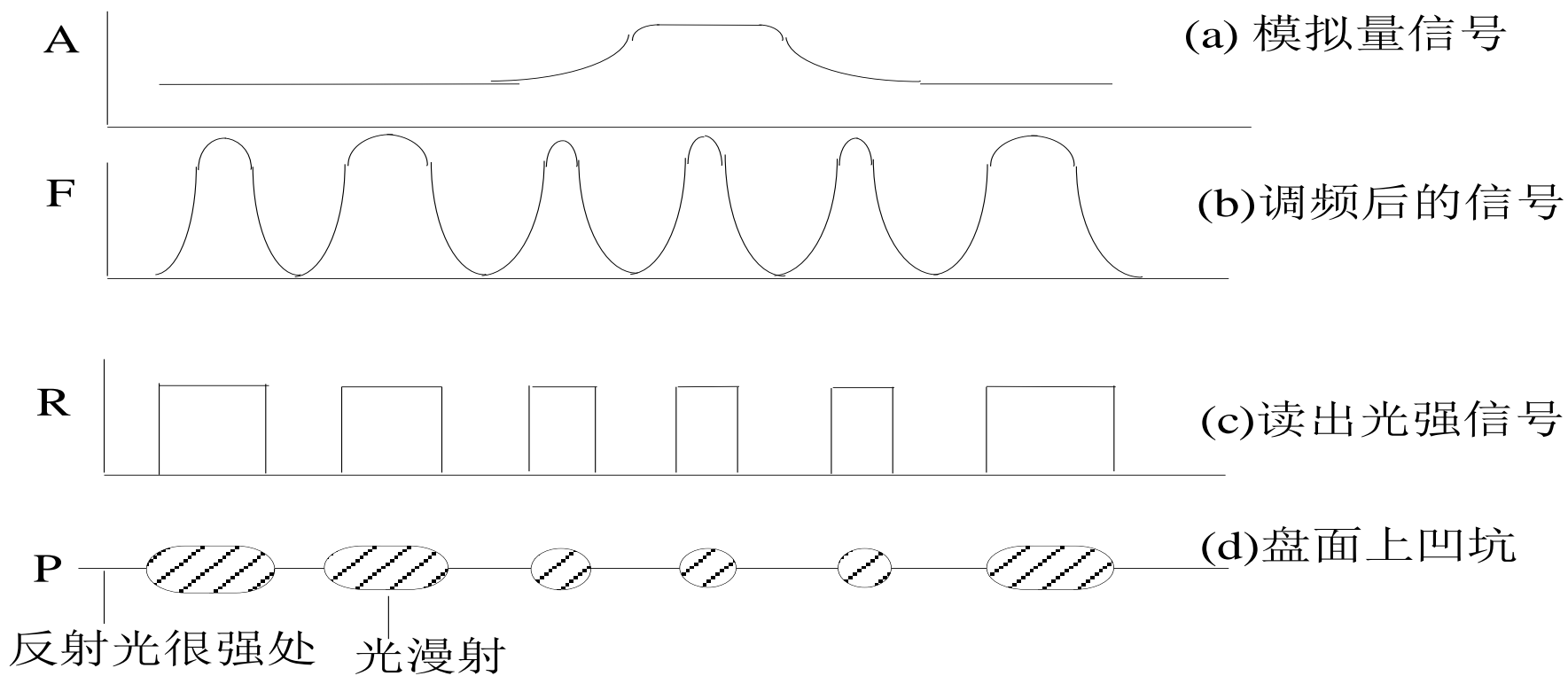


<60 years

3.1 概述

1.种类

- **CD:** 存储数字音视频信息(连续播放60分以上),标准12cm大小;
- **CD-ROM:** 不可擦只读光盘, 550MB容量, 12cm大小;
- **CD-I:** 使用**CD-ROM**规范的交互光盘, 规范描述提供音频、视频、图像、文本和可执行及其代码的方法;
- **DVI:** 交互的数字音频, 产生数字压缩视频信息的技术。
- **WORM:** 一写多读光盘, 如: **CD-R**
- **可擦光盘:** 相变光盘、磁光盘、**CD-RW**等, 3.25英寸5.25英寸两种。

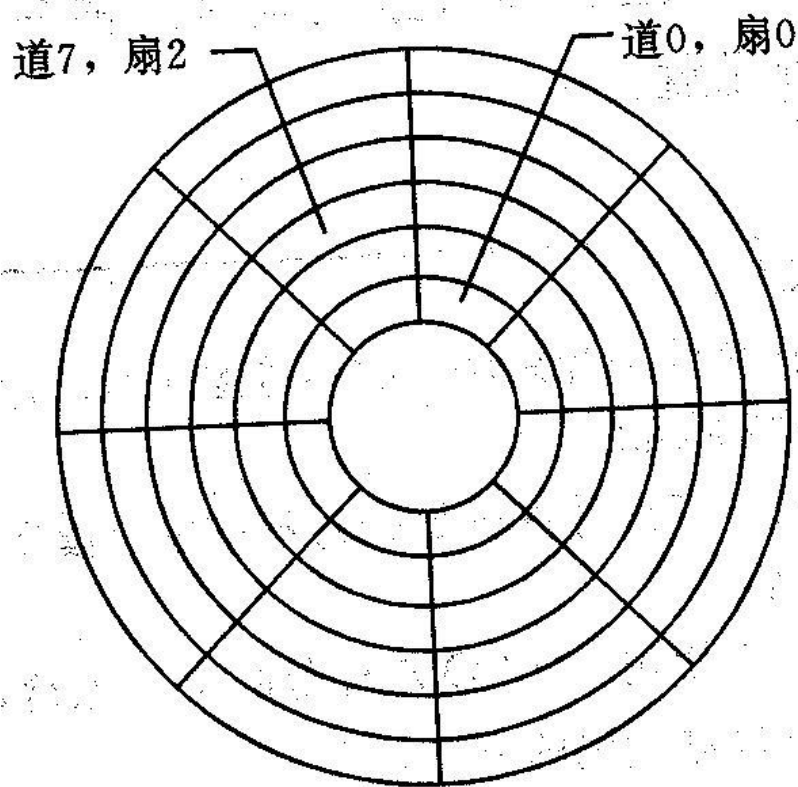


只读光盘读出原理示意图

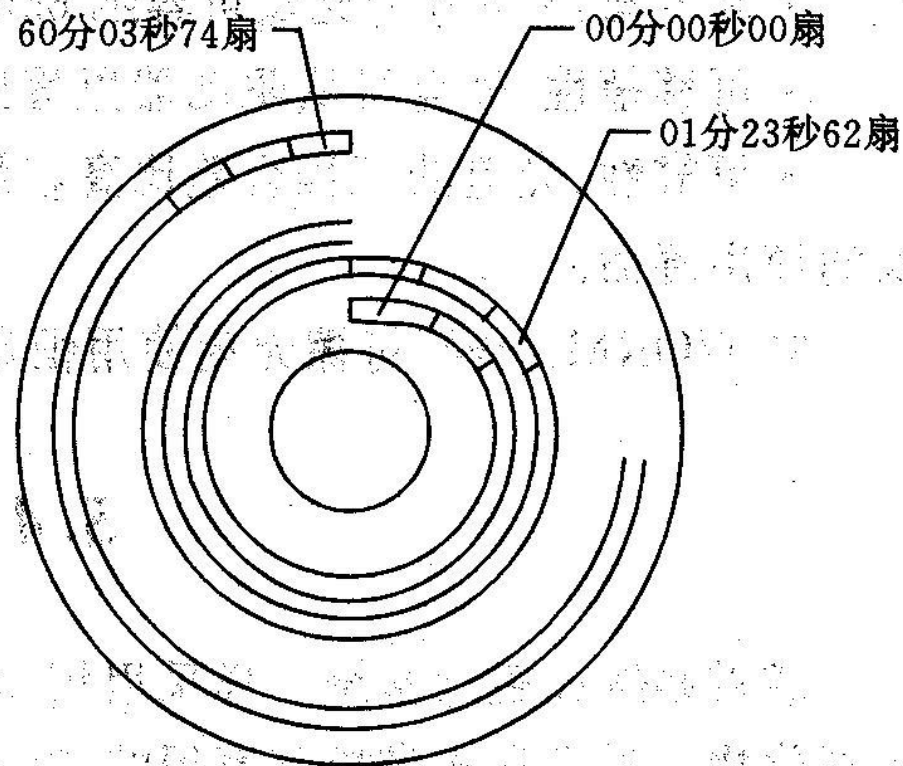
(1) CD-ROM

- **原理：** 凹坑，反射激光发生强度变化，检测到变化转换为数字信号
- **盘面布局**
 - CAV：** 单个数据块可由磁道和扇区直接寻址，定位快；
存储在光盘外部长光轨道上的数据总量和内部短光轨上的数据总量相同
 - CLV：** 以相同尺寸段均等地存储数据信息。读取光盘边缘数据时，光盘转速要慢于读取光盘中心的转速。光轨外部定位时间长。

•**特点：**CD-ROM恒定线速度为1.2m/s，计4391s或73.2分钟，容量为774.57MB；
容量大；价格便宜；盘片可换，便于保存；
只读，不可写；存取时间长。



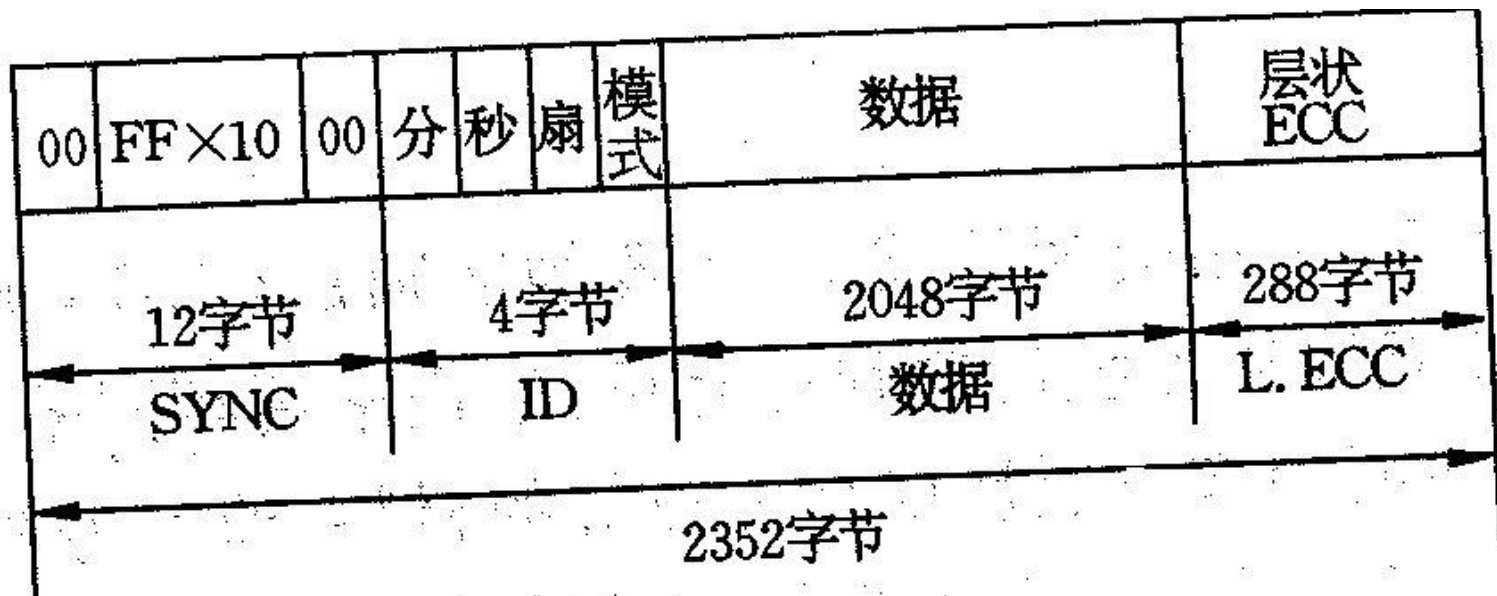
采用恒角速度的盘面布局



采用恒线速度的盘面布局

•块数据格式

模式：方式0表示一个空的数据域，方式1表示使用纠错码和2048字节的数据，方式2表示不含纠错码的2336字节的用户数据。



CD-ROM 块格式

(2) WORM (一写多读光盘)

- 原理： 高功率的激光在光盘上产生一系列的气泡，低功率的光产生足够的热，使与记录的气泡破裂，破裂的气泡激光照射时，对比度高。
- 采用恒角速提高速度。

(3) 可擦光盘

- 磁光盘

激光束加热介质中指定的点，当温度升高时，磁场可改变点的磁化方向。

- 采用恒角速提高速度。
- 大容量、可移动、高可靠性

2.特点

1).高的面密度

以光束经紧密聚焦于记录媒体表面上的光斑作读、写的。光斑是由物镜出射的光尖(Optical Stylus)在盘面上形成的。

最小有效的光斑直径近似地为:

FWHM(Full Width at Half Maximum Intersity) = $0.6 * (\lambda / NA)$

λ 为光波波长, $NA = n \sin \theta$ 为聚焦透镜的数值孔径(它指边缘光线入射角的正弦函数值)。

例: 波长的典型值为 $\lambda \approx 800\text{nm}$,数值孔径为0.5(它受Laser光源和透镜技术上的限制)。可算出 $FWHM \approx 1\mu\text{m}$ 。

- 2). 较低的位成本
- 3). 可用一个光头实现多通道工作
- 4). 通过基片模压复制,价格低廉,有利于信息的交换和使用
- 5). 原始误码率稍高。

仰赖表面的光反射和漫射来区别有无标记。
若表面有缺陷,则易显露

- 6). 存取速度较慢。

光盘头的重量稍重,运行速度因之降低
道密度极高,寻道的困难增加,导致速度减慢。

- 7). 重写能力较差,可擦除性能尚须提高。

3.2 光盘存储器机理

3.2.1 只读光盘的读、写机理

基盘是用高精度模具注塑；

盘基上溅射了一层铝薄膜, 厚度约100nm, 以增加表面的反射能力, 凹坑则呈黑色; 铝层上覆盖了一层10~20nm的塑料膜, 用以保护盘面免受擦伤和握持时手指的污染。

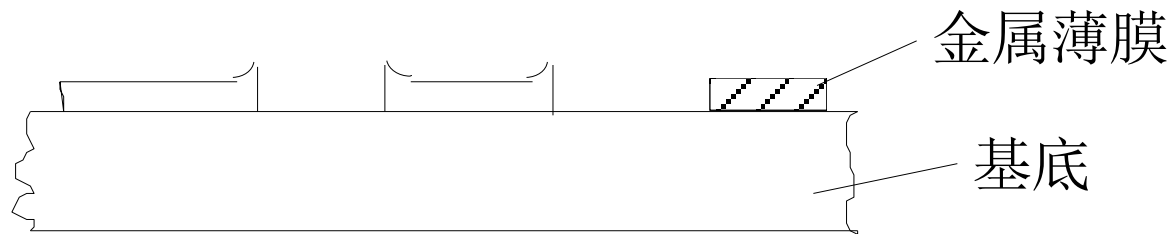
3.2.2 写一次光盘存储器的读、写机理

1. 光尖应具备足够的能量密度
2. 媒体在写入后, 已改变光学性质的部分应具有永久性。
3. 具备其他有利于读写的性能

例1. 金属薄膜烧蚀记录(Ablative)

薄膜与基底受到的能量不同,薄膜在加热后,金属被融化,烧蚀出小孔,小孔的周边卷成小珠。

选用Te,Bi,Si等元素及其合金作媒体材料,熔点低。

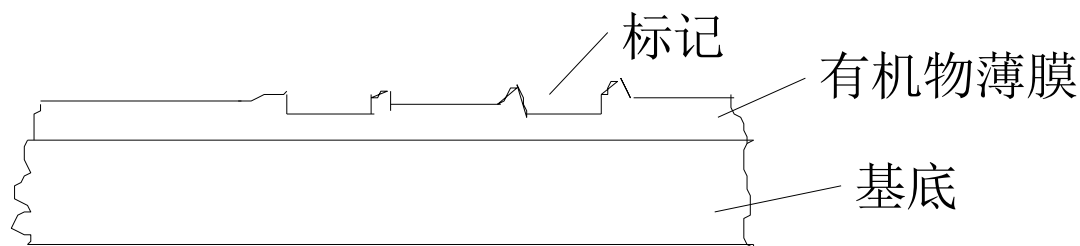


凹坑烧蚀的形成

2. 染料/聚合物烧蚀记录(Dye/polymer)

在有机物薄膜上吸收光能形成标记的写入方法。

材料是有机物质薄膜,薄膜的热传导率很低,在光斑下形成很高的温度,烧蚀时的反压将熔化物推出标记之外,形成凹坑。

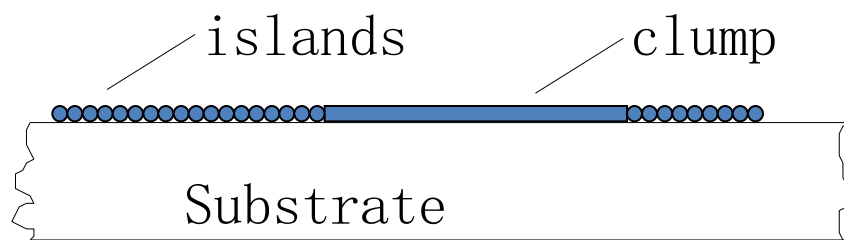


有机物薄膜标记的形成

3. 网纹媒体的凝聚记录(Coalescent and Textured)

有网纹的表面与光滑表面的光反射性质是不同的。

网状表面吸收光和热的能力很强,在热的作用下,分离的颗粒很快**结成较大的块**。结块后,吸收能力降低了,但对光的反射能力则增强了,因而增加了写入标记处与其余部分的光学对比度。



网纹与凝聚

4. 金属媒体的相变记录(phase change)

某些金属材料有两种或多种金相组织结构,它们显示出不同的光学性质。

相变记录是利用改变材料的金相结构实现标记的写入,没有材料的挥发与溢出,比较洁净。

一种由硫化物(Chalcogenide)材料沉积生成的非晶态薄膜,在光束加热后可转变为晶态。晶态、非晶态对光的反射率不同。

估算上述几种“写入”后的两种状态的反射率

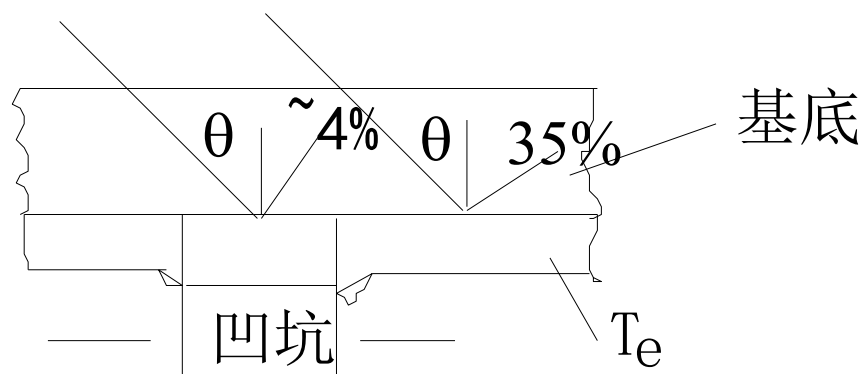
1. 涂布在透明基底上的Te媒体反差的估算

设入射光为偏振光,它的偏振状态以P、S表示。
P表示在偏振面内,S表示在垂直于偏振面的平面上。于是反射系数分别为:

$$r_p = \frac{[n_f^2 \cos \theta - n_0(n_f^2 - n_0^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}]}{[n_f^2 \cos \theta + n_0(n_f^2 - n_0^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}]}$$

$$r_s = \frac{[n_0 \cos \theta - (n_f^2 - n_0^2 \sin^2 \theta)^{1/2}]}{[n_0 \cos \theta + (n_f^2 - n_0^2 \sin^2 \theta)^{1/2}]}$$

$\theta \sim$ 入射角; $n_f \sim$ 薄膜的折射率



Te层与透明基底反射率计算

若 $\theta=0$,即光线垂直入射,则(3-2)和(3-3)两式可简化为

$$r_p = \frac{(n_f - n_0)}{(n_0 + n_f)} \quad r_s = \frac{(n_0 - n_f)}{(n_0 + n_f)}$$

通常,反射率是指表面反射光照度与入射光照度的百分比。由对称、法向入射的光束,其反射率与偏振无关,故反射率有:

$$R = |r|^2$$

由空气经透明基底入射的光束, $n_0=1.5$;碲的结晶薄膜的透射率 $n_f=5+2i$ (虚数部分表示吸收率)穿孔处 $n_f=1$ 。可求得:在穿孔处,反射率为4%;在未穿孔处,反射率为35%。两者对比度大,故从光电器件的输出端可获得不同的信号电平。

3.2.3 可擦除光盘存储器的读、写机理

一、磁光记录

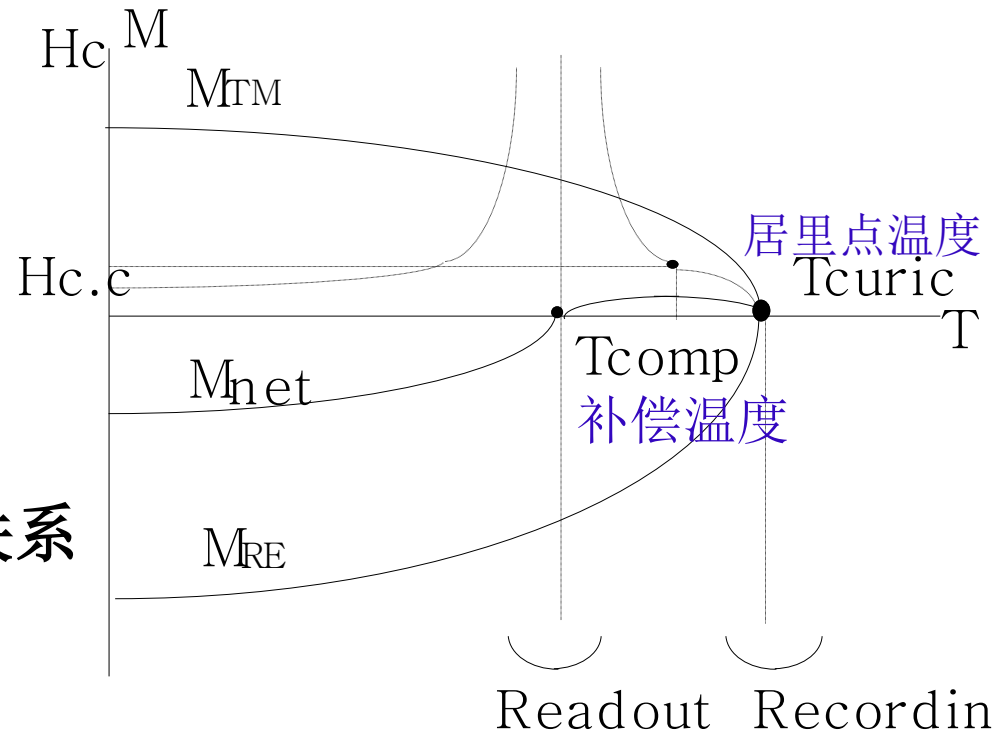
写：MnBi材料的 $H_c \approx 2000\text{Oe}$,矫顽力很高,常温下很难磁化,即不能进行磁化状态的变化(翻转)。只有在居里点温度时($\sim 200^\circ\text{C}$),矫顽力下降到 400Oe ,方可对媒体磁化。

读：具有磁化图形的已记录媒体,使用kerr效应读出。

光在传播时,具有偏振性质,偏振光在磁场的作用下,它的偏振面发生旋转,偏转角的大小和方向与磁场的大小和方向相一致。偏振光在磁性物质上反射所产生的偏振面旋转现象称为克尔(Kerr)效应。偏振光在磁场中透射产生的偏振面旋转现象称为法拉第(Faraday)效应。

设计:

- 材料的选择: 使克尔(Kerr)效应或法拉第(Faraday)效应偏振面旋转角度大。
- 读写装置: **读取标记**的光束须使用起偏器产生偏振,并用检偏器检出偏振角的大小与方向。用于**写入标记**的光束,须具有足够的能量使媒体很快升温到居里点温度,以便媒体磁化,实现信息的写入。



磁化强度和矫顽力与温度的关系

利用材料具有居里点温度和补偿温度的性质,设计了两种写入方法:

居里点写入。当温度升高到 T_{curic} 时,材料的矫顽力趋近于零,可以使用磁场强度很小的偏置磁场对材料进行磁化。

补偿点写入,加热温度不需达到 T_{curic} 以上,只要稍大于 T_{comp} , H_c 便下降很快,此时若偏置磁场足够大,如大于 $H_{c.c}$,便能使加热部分的磁化方向和强度跟随偏置磁场,实现标记的写入。

问题讨论:

1. Kerr旋转角的方向与信号对比

记录过程中,在经过 T_{curic} 附近的某一温度时,此时的矫顽力与外磁场的场强相等,媒体的磁化方向被外磁场固定下来,冷却后此点的磁化方向便与外磁场一致。若 $T_{comp} \ll T_{curic}$, 则磁化方向由过渡族金属的亚晶控制。若其亚晶格平行或反向平行于外磁场,则在记录处的磁化将平行于外磁场。剩磁方向与外场相反。

有相反的信号对比,即Kerr角的旋转方向相反,可以观察到黑色斑点呈现在光亮的背景上,或白色斑点呈现在黑色的背景上。

2. 稀土RE含量的考虑

高或低的稀土含量都有所应用,但一般认为以低稀土含量为宜。因为低RE含量的M—O媒体有补偿点存在,且有 $T_{comp} < T_{curic}$ 。

3. 记录灵敏度与速率

当激光功率一定时, $\Delta T = T_{curic} - T_a$ 温差愈小,灵敏度愈高,即热量的积累达到可磁化的时间愈短,故记录速度快。过分灵敏则因激光功率的波动或环境温度的变化而导致数据损坏。调整材料的RE和TM成份,可得到要求的灵敏度。

4. 补偿点温度的确定

有用的M-O材料在任何温度下,矫顽力都应超过退磁场,否则邻近磁畴将相互干扰。补偿点温度不能太低,也不能靠近 T_{curic} ,否则将产生不良影响,据实验, $T_{comp} \approx T_{curic} - 70^\circ\text{C}$ 比较适宜。一般应在 T_{curic} 与 T_a 之间。

5. 薄膜的熔点

薄膜的熔点应高。**M-O**材料需经历很多次写入,不能因长时间连续多次照射而受到损坏。**光斑中心的热量比边缘大两倍**,故薄膜应能经受温升 $2(T_{\text{curic}} - T_a)$ 度的照射而不致损坏。

6. 热扩散程度

热扩散使记录的标记尺寸扩大,也可能因道距小而使邻道受到干扰,也可能涉及邻位使其局部被抹除,但是,它可使记录处**避免因加热过分迅速而被损坏**。热扩散可以使用短脉冲记录或快速扫描而减弱。

7. 形状各向异性与光吸收

M-O材料大多是垂直取向的,从磁化方向看,属于垂直记录。形状上的垂直取向有利于光线的吸收,即具有较高**吸收系数**(折射率的虚数部分),因而温度上升较快。但若吸收系数太大,则在读出时,反射光线太多。

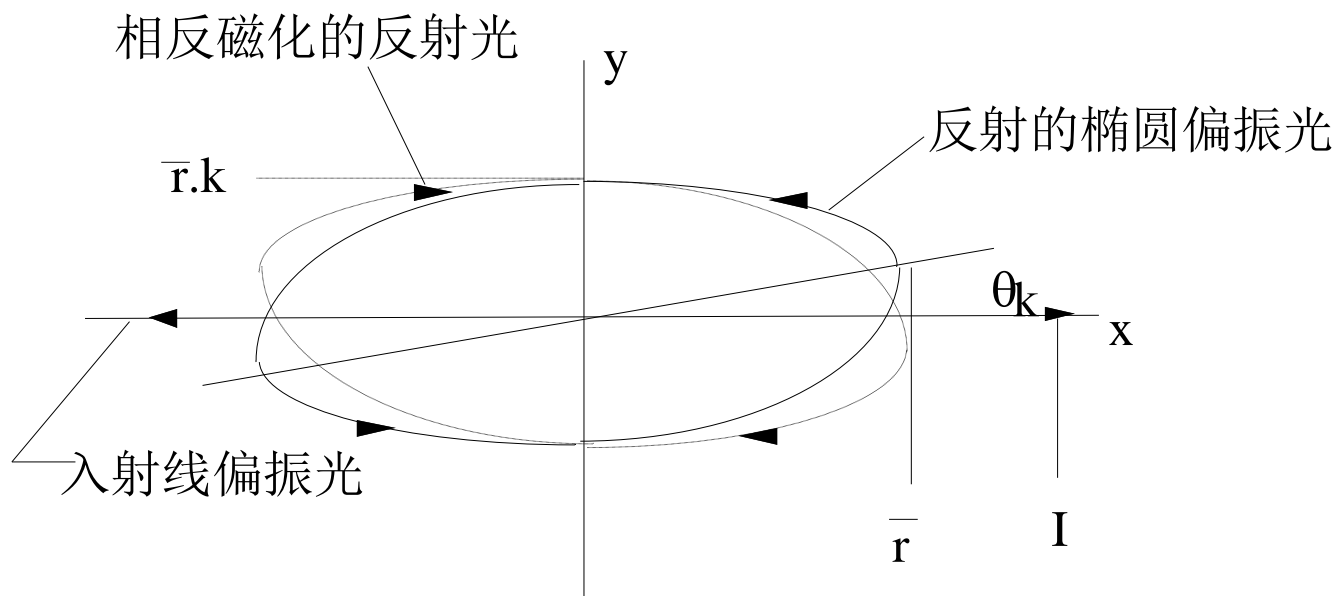
读出机理

采取Kerr效应读出, 如何测出偏振旋转角?

1、采用测量正交的偏振光分量光强以判定Kerr旋转角大小。

难以实现

2、采用椭圆度量技术(Ellipsometric Technology)测量Kerr旋转角



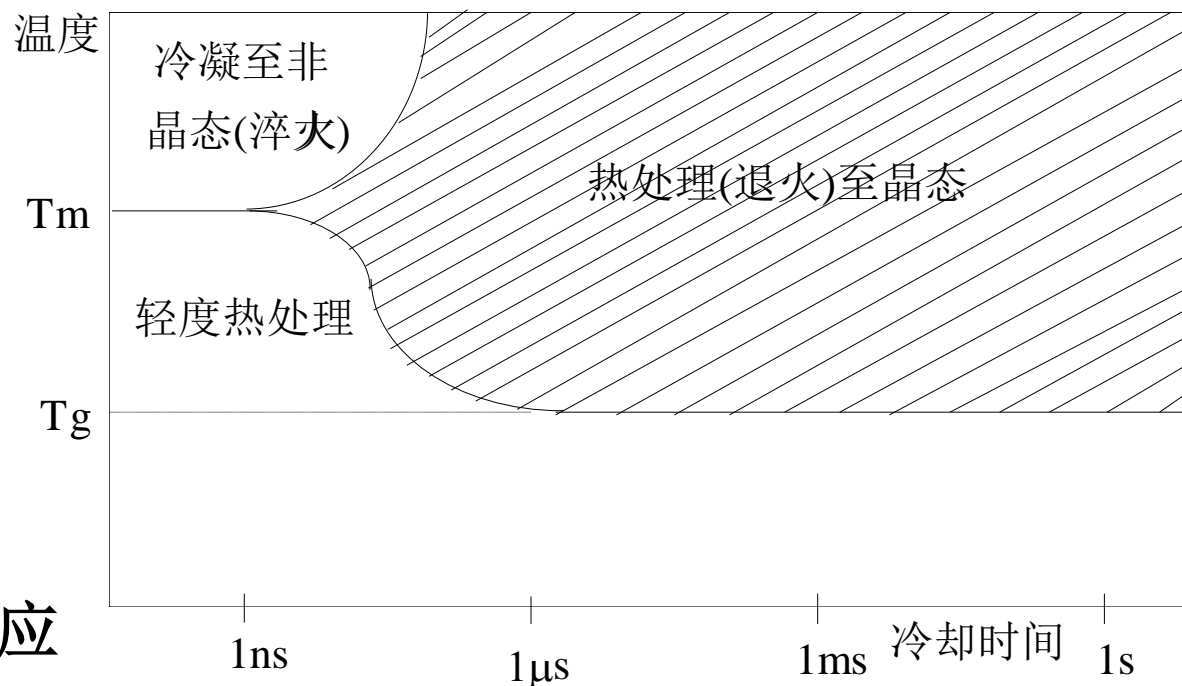
二、相变记录

目前,典型的相变光记录材料是一种有多种成份的合金,它具有**稳定的晶态和亚稳非晶态**两种金相。**两种金相组织的光学性质不相同。**

只写一次的非晶态薄膜媒体,只能在写入(加热)后转变为晶态,不能逆转。而可擦除的相变光记材料,则在激光加热到低于熔点温度后,重新结晶,使原为非晶态的标记,变为晶态,实现**擦除**目的。

相变记录的**写入机理**是:

- 利用激光束加热,使被记录媒体的局部面积的温度升高到熔点 T_m 以上,然后,**快速冷却**得到非晶态,做下一个标记
- 若在临界温度 T_g 以上的温度对媒体加热处理,则在缓慢冷却后,恢复为晶态,此时即实现了对已记录信息(标记)的**擦除**。擦除时的温度不应大于 T_m 。



相变材料的热效应

相变记录的**读出**与**利用反射光的反差**读出的原理相同。读出时,激光束有轻度的或短暂的加热,它最多只是部分结晶,不致丢失数据。但是,为了数据的安全,应使 $T_g \gg T_a$ 。

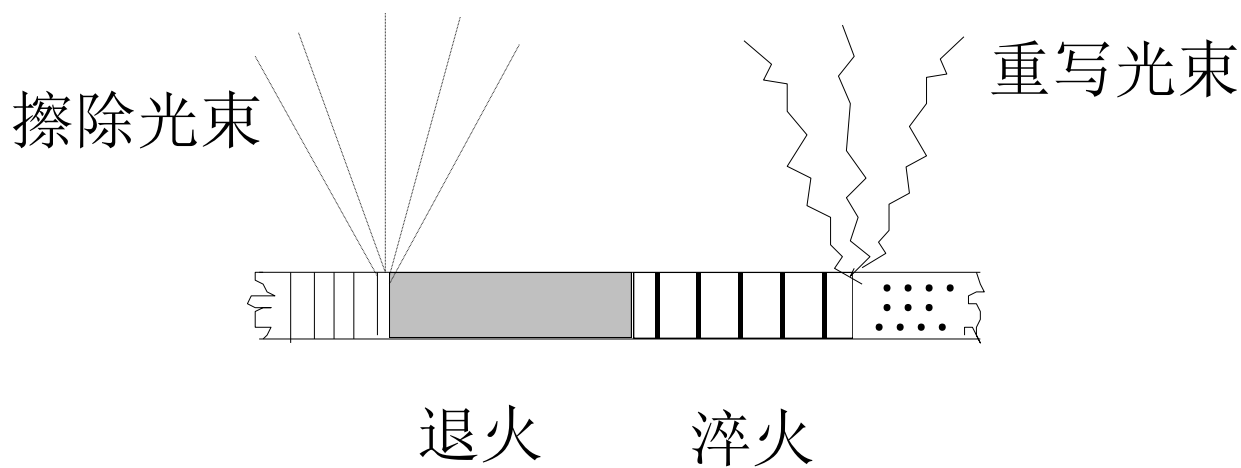
对于**相变记录媒体**的一般要求有:

1. 晶态和非晶态的折射系数(Refraction Index)的变化量应大,以便能获得大的光学对比度;
2. 热传导率适度,以使媒体取得较好的写入和擦除效果;
3. 熔点要低,避免要求大的激光功率,且在熔点时迅速热处理的性能好;
4. 其他,如不发生相偏析,处理后无内应力,刚性好无附加的变形等。

3.3 重写

3.3.1 相变型光记录的重写

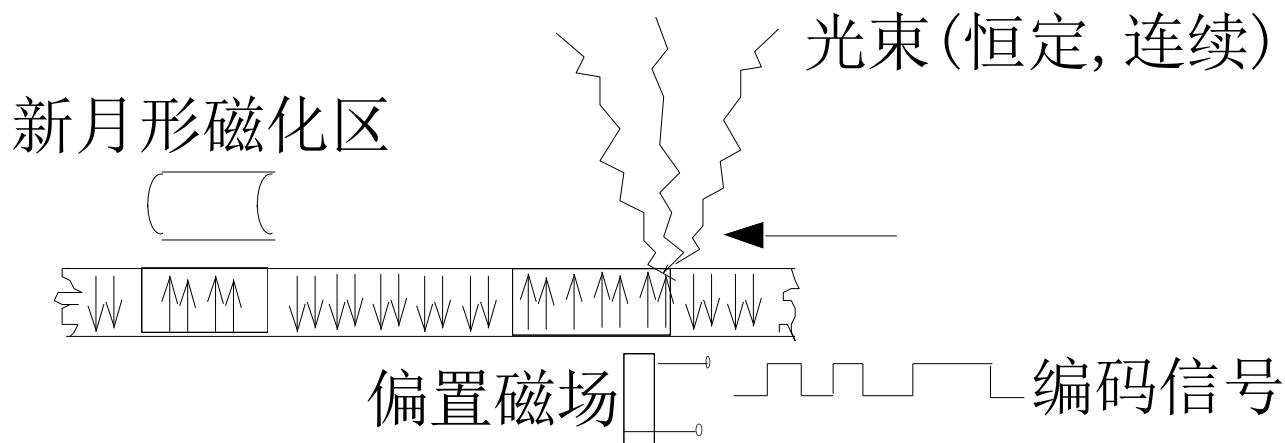
使用双光束的一次通过光学头的擦除和写入。



双光束实现擦除后再写入

3.3.2 磁光型光记录的重写

实现重写的对策是改变偏置磁场和激光束的通断状态,使其类似于磁记录中的不归零制记录。即光束以恒定功率连续加热,始终保持加热到记录温度以上,而偏置磁场则按一定的编码翻转。不需擦除



不归零制记录方式的实现原理

用磁场调制的方法有三点好处:

1. 激光源与激光驱动电路被简化,光束不必使用如声光调制器等进行脉冲调制;
2. 位密度可以提高,即编码效率得到提高。翻转间距取决于偏置磁场的后沿梯度和开关频率,可以获得极小的翻转间距有利于位密度的提高。但是,受M-O材料记录阈值的影响而增大。
3. 记录时,由于热扩散引起的非线性,因光束恒定地连续照射使信道有相同的热初始状态而被克服。

缺点:

1. 偏置磁场在距离较大的情况下(至少大于盘面的轴向偏摆),很难获得较大的磁场强度。增加磁场强度,电感加大,电流交变频率难以提高,直到现在频率只有1MHz,故数据传输率难以提高。
2. 结构复杂,如需采用三维驱动(光学头聚焦,两级光学头进行信道定位)等,致使成本增加,一次性驱动器投资量比同容量磁盘驱动器大3~4倍。

其它两种实现重写的方法：

- 1、利用退磁场,以高功率激光束写入,低功率激光束擦除。
- 2、利用退磁场、双层媒体和两种强、弱不同的磁铁构成,强光写入,弱光擦除。

3.4 光路系统基础

光路系统用以产生读、写用的光尖(Optical Stylus),所谓光尖是指经光路系统紧密聚焦后形成的光束锥尖。它入射在光盘表面上形成光斑,实现标记的写入与读出。

3.4.1 衍射极限(The Diffraction Limit)

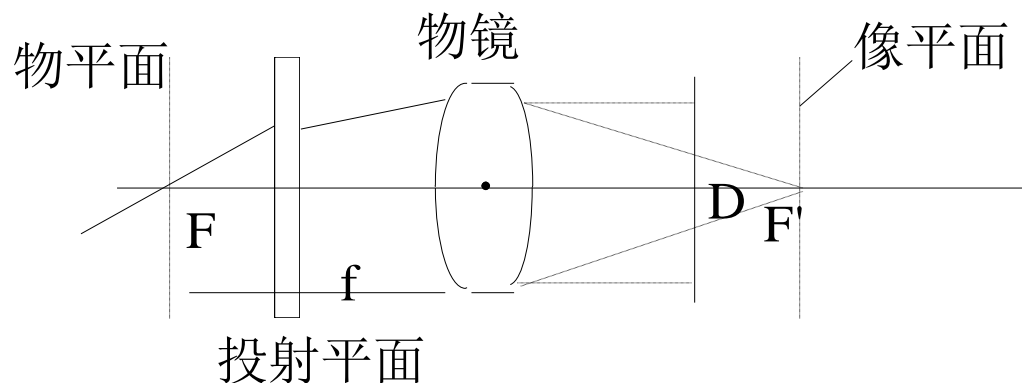
光线经透镜入射和折射后,服从**折射定律**。每经过两种透明物质的界面,便存在如下关系:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

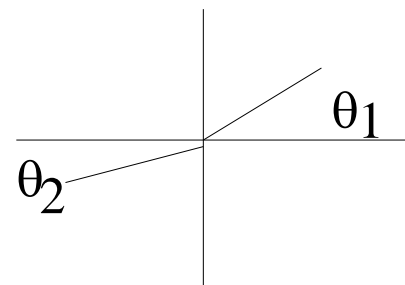
透镜的主要参数是其直径**D**和焦距**f**,其性能则以数值孔径**NA**表征

$$NA = n \sin \theta_{\max}$$

θ_{\max} ~ 透镜边缘聚焦光线的入射角, n ~ 介质的折射率。



(a)



(b)

物镜与光线折射

光斑直径计算:

从几何光学的角度看,似乎光线可完全聚焦于一点,因而光束可以形成几何锥尖,因而可以无限地提高光记录的密度。但是光子并非质点,光的波动传播性质会产生衍射效应,阻碍形成小于波长的光斑直径。

在理想情形下(光线完全聚集,光学无象差),可求出中心光斑的照度为: (, P 为光束功率)

$$I_{\max} = \pi P NA^2 / \lambda^2$$

如果焦点处的光斑是光强分布较均匀的圆形轮廓,则其直径为:

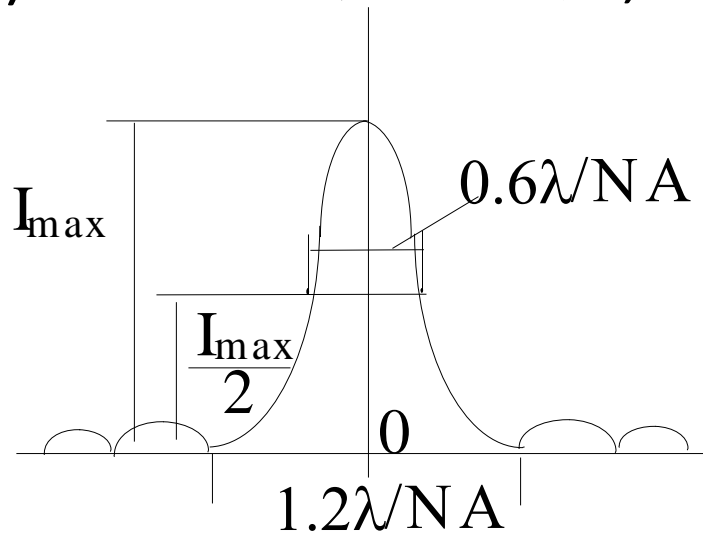
$$I_{\max} = P / (\pi D^2 / 4) \longrightarrow D = 2 [P / \pi I_{\max}]^{1/2} = 2\lambda / (\pi NA)$$

由爱尔轮廓求光斑尺寸

爱尔轮廓的照度花样：

$$I(r) = \frac{P}{\pi} J_1^2(2\pi r NA / \lambda) / r^2$$

r ～物(焦)平面上的径向坐标, J_1 ～Bessel函数。



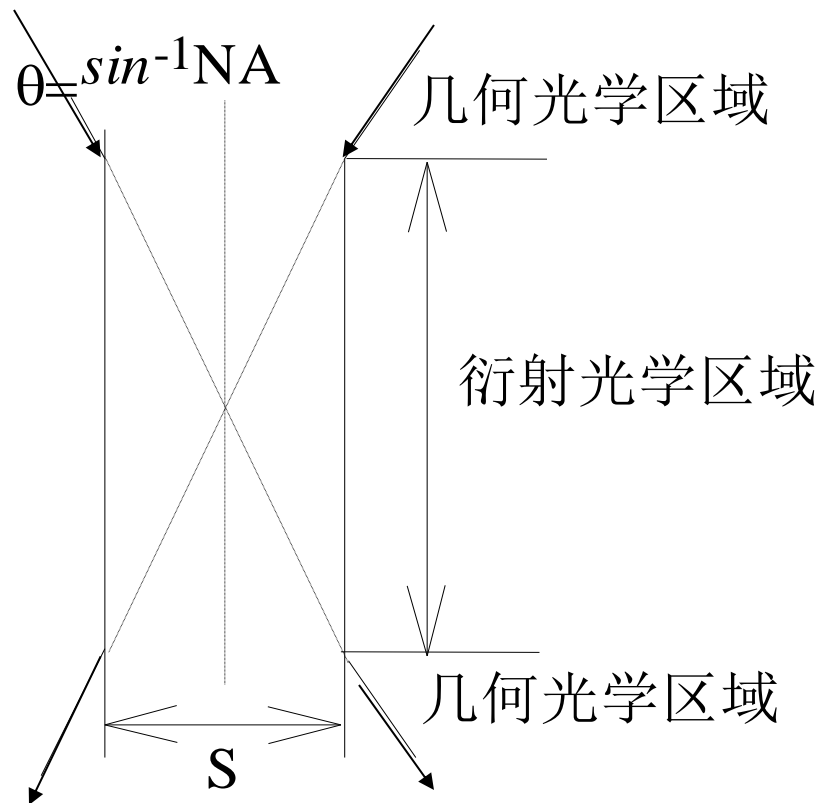
衍射光斑光强分布图

光线示踪等效分析衍射光斑的大小

经透镜的光线会聚于焦点。离开焦点,照度花样的直径 S 增加,增加的比率为 $ds/dz=\tan\theta$ 。光线聚焦形成光尖的锥角的一半 $\theta=\arcsin NA$ 。在 $S \cos\theta$ 范围内,光线因衍射而形成衍射光斑,其直径为 S 。

若最小光斑直径为 λ/NA 数量级值,则焦深等于 $[\lambda/NA] \cos[\arcsin NA] \propto \lambda/NA^2$,即具有 λ/NA^2 数量级值。这一事实说明:追求大的 NA 值,可以得到细小的光斑尺寸(或最灵敏的光尖),但同时要求严格的位置容差。

最好的降低光尖尺寸的方法是采用短波长 λ 的光源。



光线示踪等效衍射分析 p.77

3.4.2 高斯光束的尖端钝化(Trucation of a Gaussian Beam)

高斯光束是指傍(近)轴光束。

光尖的轮廓和照度将受到光束强度不均匀和光在孔径外损失两者的影响。

光束强度的不均匀称之为“**变迹**”(apodization); 光在孔径外的损失现象则称为“**钝化**”(truncation)。

准直的激光束可按高斯光束描述其光强分布,对于圆形轮廓内的光强分布可用下式表示:

$$\Phi(\rho) = \Phi_0 \exp(-\alpha \rho^2 / NA^2)$$

ρ 为径向坐标, Φ_0 为中心处的光强, α 称为变迹因子 (apollization factor),若光束在光轴上的最大强度为 V_0 ,则边缘的强度按 $e^{-\alpha}$ 衰减而有 $V_0 e^{-\alpha}$ 值。于是,光束的最大强度一半处的轮廓宽度(FWHM)等于 2ρ ,此时, ρ 应满足下面的关系:

$$\Phi(\rho) = \Phi_0 / 2$$

求得:

$$\rho = 0.835 NA / \sqrt{\alpha} \qquad \varphi = 2\rho = 1.67 NA / \sqrt{\alpha}$$

为光束最大强度一半处的轮廓宽度

定义： $\phi / 2NA$ 为**填充因子**(The fill factor), (即：最大光强一半处轮廓宽度与数值孔径的比值.) 用以说明光束在孔径处的损失, 则

$$\text{填充因子} = 0.83 / \sqrt{a}$$

半光强的轮廓尺寸大于数值孔径, 则被认为光线填满了透镜, 反之则被视为没有填满。当 α 很大时, 光强较集中于中心附近, 孔径外光的损失小, 孔径实质上不会钝化光束; 但此时填充因子小, 透镜被认为未被光线填满。

对 $\Phi(\rho)$ 分别求在孔径内和整个光束内的积分,
取其比值作为功率的比值,可得: $p/P=1-e^{-\alpha}$

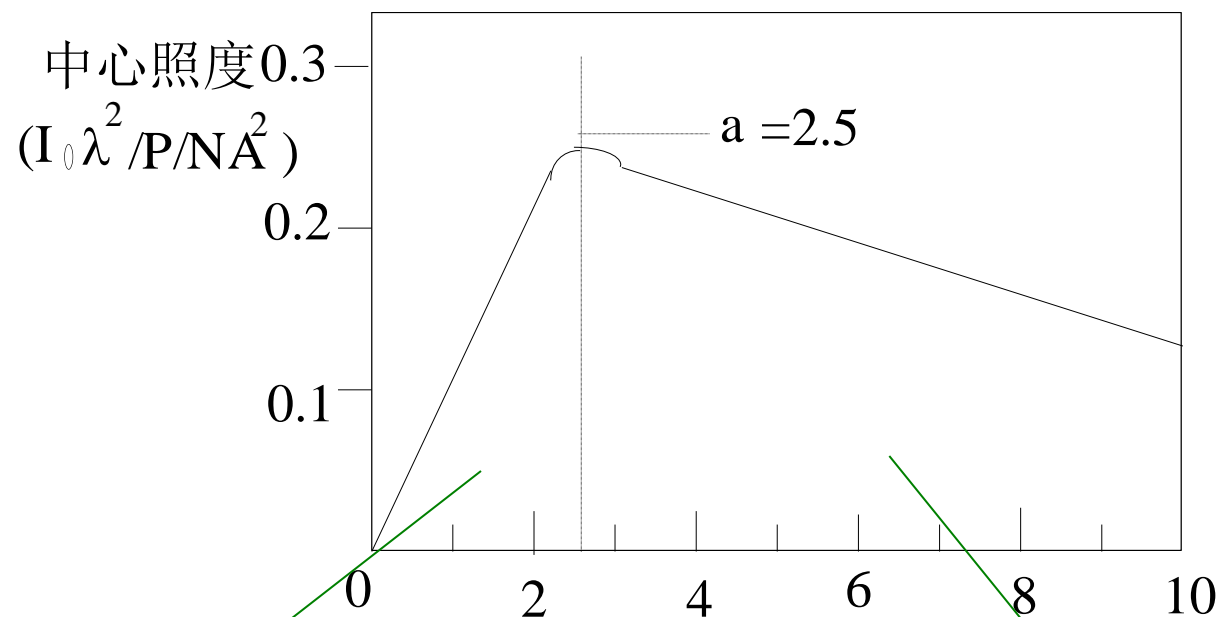
进入透镜的有用光功率是变迹因子 α 的
函数。

整个光束的功率可求得为(证明从略):

$$p = \pi \Phi_0 D^2 / 4 \alpha$$

由理想的高斯光束聚焦产生的光斑中心
照度为

$$I_{\max} = 4 \pi p NA^2 [1 - e^{-\alpha/2}]^2 / (\alpha \lambda^2)$$



光束填很满 (即钝化)

变迹因子^a

光束未填满透镜

$I_{\max} = f(a)$ 曲线

结论:

1. 当 α 很小时,进入透镜的光束强度较弱,因为光斑直径大于孔径,大部分光能损失在孔径之外,但光束强度较均匀;
2. 当 α 很大时,照度也不强,因为透镜未被光束填满,实际有效孔径小;
3. 当 $\alpha=2.5$ 时,光束尺寸与孔径尺寸得到很好的匹配,光的照度最强,而且边缘光强只比中心处的光强小10%;
4. 曲线的前段比后段梯度大, α 的改变对光强的变化比较灵敏,一个填充很满(特别钝化)的透镜比未曾填满的透镜更差。

3.4.3 高斯光斑近似式(The Gaussian Spot Approximation)

- 1.光斑近似式**
- 2. 焦深,**
- 3. 最佳NA值,**
- 4.扫描标记限度**

1.光斑近似式

α 很大的高斯光束产生的光斑的表达式(爱尔花样近似地表示):

$$I(r) = 4 \pi P N A^2 \exp[-4 \pi^2 N A^2 r^2 / (\alpha \lambda^2)] / (\alpha \lambda^2)$$

高斯光斑轮廓也可用其方差(**Variance**) σ^2 和光功率**P**表述

$$\begin{aligned} I(r) &= P \cdot \exp[-r^2 / (2 \sigma^2)] / (2 \pi \sigma^2) \\ &= (P / 2 \pi \sigma^2) \cdot \exp[-r^2 / (2 \sigma^2)] / (2 \pi \sigma^2) \end{aligned}$$

可得光斑半径的有效值:

$$\sigma = \lambda \left(\frac{\alpha}{4} \right)^{1/2} / (\pi N A)$$

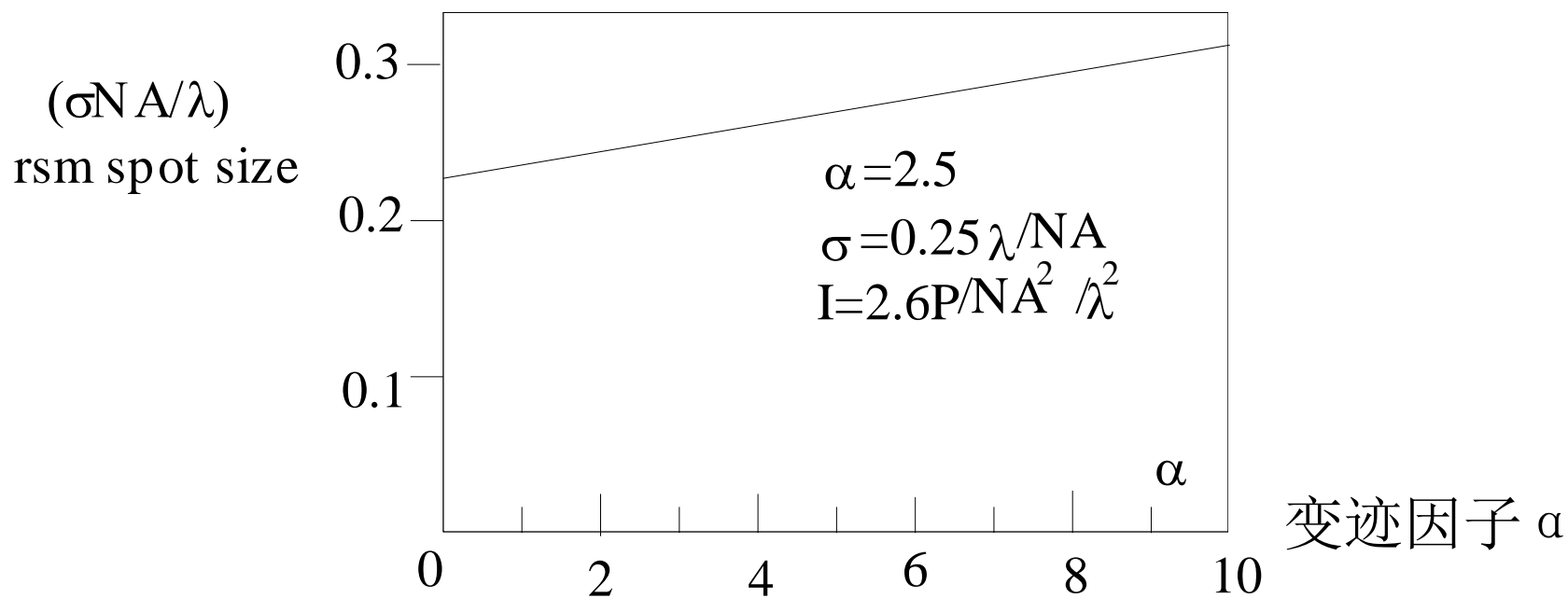
若 $\alpha=2.5$,则可求得FWHM值(以S简单地表示)为:

$$S=2.35\sigma$$

S是按高斯光斑近似式求出的光斑尺寸。给出任意 α 值,可求出对应的光斑尺寸。

具有高斯轮廓的光斑有两个参数,即有效半径 σ 由照度与总功率所限定。

$$\sigma^2 = \alpha(1 + e^{-\alpha/2}) / [8\pi^2(1 - e^{-\alpha/2})](\lambda / NA)^2 = f(\alpha)$$



光斑大小与变迹因子关系

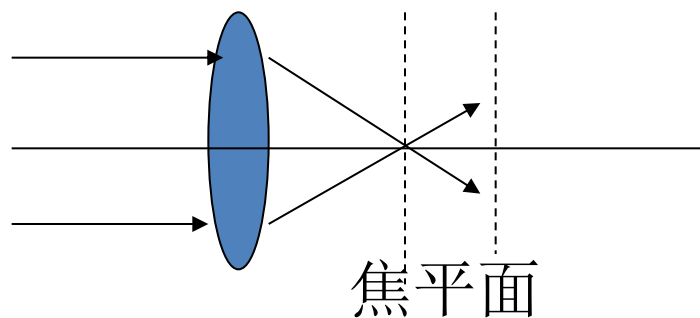
2 焦深(Depth of Focus)

高斯光束传播仍是高斯光束,若以 σ_0 表示最小的算术平均(rms)半径,则在焦深限度内其他地方光束尺寸为:

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = [1 + \lambda^2 Z^2 / (16 \pi^2 \sigma_0^4)]^{1/2}$$

光束的功率在各断面是相等的,可以认为光斑的光强与光斑面积成反比,

$$\text{即 } \frac{I_0(z)}{I_0(o)} = \frac{\sigma_0^2}{\sigma^2}$$



$I_0(z), I_0(o)$ 分别是 z 平面与细部所在平面上中心处的光强。

比值 $I_0(z)/I_0(o)$ 的大小是判定焦深的依据, 若取比值为80%时, 聚焦仍很清晰, 则可求得 z 值的变动范围为

$$\pm 6.3\sigma_0^2 / \lambda$$

按 $\sigma_0=0.25\lambda/NA$, 则 $z=\pm 0.4\lambda/NA^2$, 即焦深 Δz 为:

$$\Delta z = 0.8\lambda / NA^2$$

取 $\lambda=0.8\mu\text{m}$, $NA=0.5$, 则求得 $\Delta z=1.7\mu\text{m}$, 而此时的光斑尺寸为 $S=0.94\mu\text{m}$ 。

3 最佳NA值(Optimum NA)

最佳NA值即指写标记时满足功率最小的数值孔径。

假定要求作半径为r的标记,光脉冲的长度极短,以致可以忽略媒体相参光尖的相对位移,并称之为静态写入。光斑轮廓是高斯型的,故用以形成半径r的标记的入射光束功率可由下式求出。

$$P = 2\pi\sigma^2 \cdot I_{crit} \cdot \exp[-r^2 / (2\sigma^2)] = P_0 \cdot \exp[-r^2 / (2\sigma^2)]$$

媒体的功率阈值,功率低于此值,将无从作出任何尺寸的标记

随光斑半径的衰减率

功率的极小值时，求得 $\sigma = r\sqrt{2}$

因 $\sigma = 0.25\lambda / NA$ 故 $NA = 0.35\lambda / r$

即静态写入的最佳数值孔径

4 扫描标记限度(The Scanned Marking Limit)

当激光脉冲持续时间 τ 极短时,即
 $\tau \ll \frac{S}{V}$ ($S = FWHM$, V 为扫描速度)时,定义为静态写入标记。

媒体上的点通过光尖中心的速度比激光脉冲持续的时间短,即 $\tau > \frac{S}{V}$ 。此时的记录称为动态扫描写入标记。

例如, $S=1\mu\text{m}$, $V=10\text{m/s}$, $S/V=100\text{ns}$ 时,若激光脉冲持续时间大于此值,则属于动态写入标记。

当用扫描作标记时,累积曝光(即单位面积上的能量)不是与光尖在某处的照度成正比,而是与照度轮廓内照度的线性积分成正比。

考虑到媒体的阈值,写入标记只能发生在曝光达到临界值以上时,计算出最低功率应大于:

$$P_0 = (2\pi)^{1/2} \sigma V \cdot \varepsilon_{crit}$$

作出宽度为 $W(y=W)$ 的标记所需功率为:

$$P_w = P_0 \exp[-W^2 / (8\sigma^2)]$$

可知只有 $\sigma=W/2$ 时, P_w 最小。此时光尖向-x方向移动,动态地写入标记。由此推知,动态写入标记时,最佳数值孔径应为:

$$NA = 0.25\lambda / \frac{W}{2} = 0.5\lambda / W$$

动态写入标记的最佳数值孔径比静态下要求稍小,此时,光束的功率应有:

$$P_w = 1.65 P_0$$

说明,光束功率应为媒体临界功率的**1.65**倍以上才能保证标记的可靠写入。

结论:

- 若 $P < P_0$,则曝光不足,不能写入正确的标记;
- 若 $P < 2P_0$ 则写入标记的长度短于记录脉冲的长度;
- 若 $P > 2P_0$,则写入标记的长度略大于记录脉冲的长度。

3.4.4 标记读出的光学原理

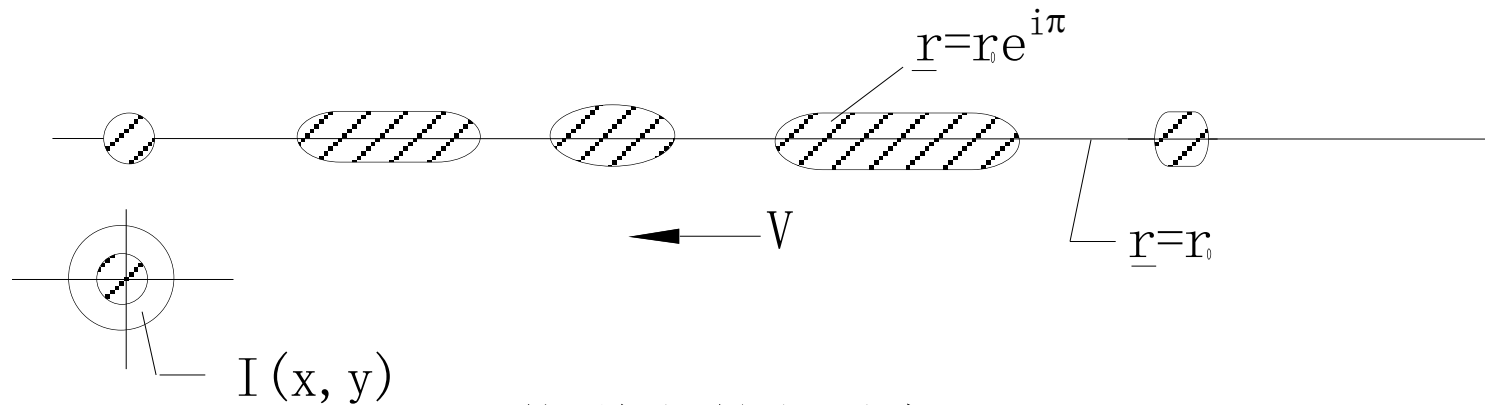
读出：光尖读出

基于检测反射光照度的差别，
偏振旋转角方向的差别；
反射光光程差的差别。

I .检测反射光强度差别的读出机理

由扫描作出的标记串。标记的长度与记录脉冲的长度一致。若基底有相同的反射系数,即有 $r = r_0$,标记也有相同的反射系数, $\underline{r} = r_0 \cdot e^{i\bar{\phi}}$ 则基底的反射率为R0,而有

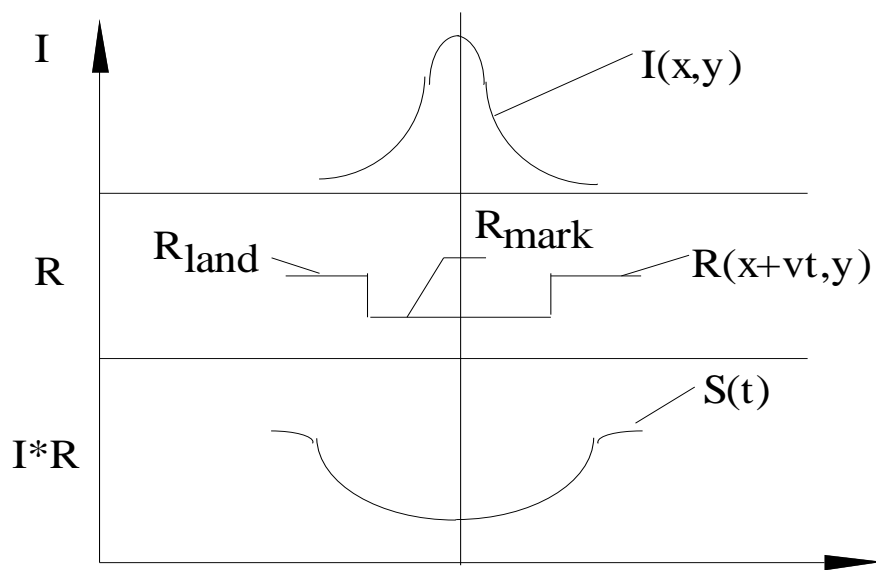
$$\underline{r}_0 = \sqrt{R_0}$$



信道上的部分标记

读出过程中,光尖的能量恒定,光盘的扫描速度 V 也恒定。在每一时刻光从表面上的反射光总量等于光尖照度轮廓乘以聚焦于上的反射图案的积分,光盘读出信号的波形表达式:

$$S(t) \propto \int_0^\infty \int_0^\infty I(x, y) \cdot R(x + Vt, y) dx dy$$



读出过程的图解模型

特点:

- (1) 标记的边缘很陡,但读出后的读出信号不尖锐;
- (2) 短标记读得的幅度小于长标记的幅度,因相邻位信号迭加,落在标记外的光发生影响所致,如同磁记录一样,由波形发生拥挤所致;
- (3) 分辨率主要取决于光尖轮廓的大小和照度的分布。

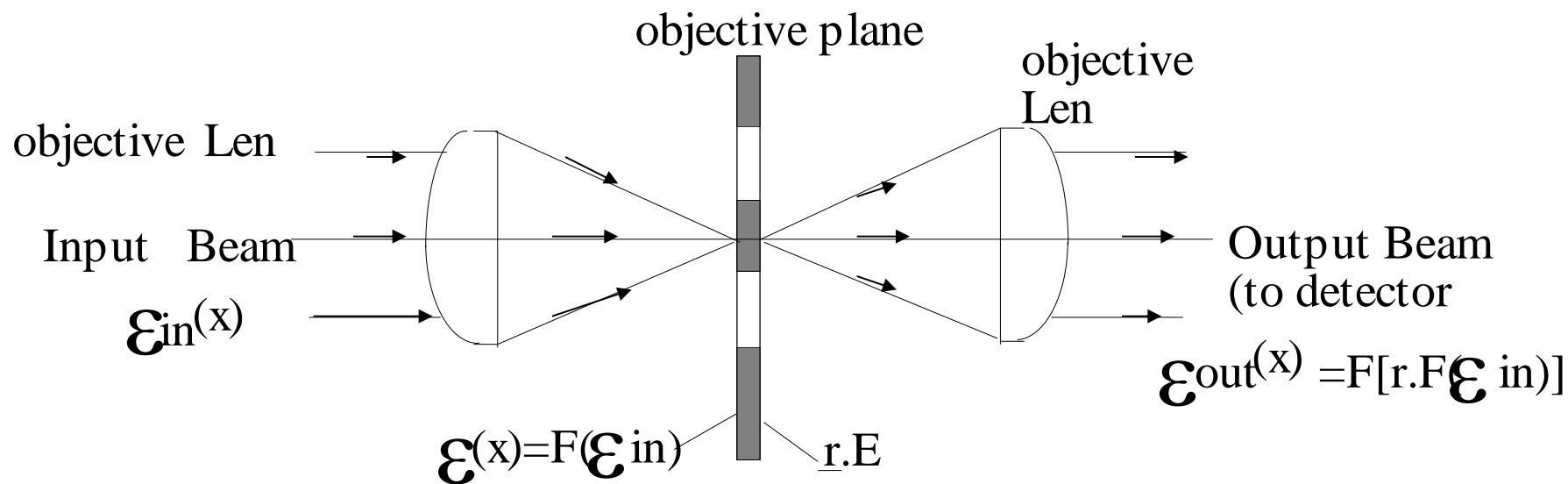
II.检测相差(光程差)的读出机理

光路被展开以区分物镜的入射和反射两种作用。

- 物镜使入射光束聚焦。光束在孔径处的照度分布以 $\varepsilon_{\text{in}}(\mathbf{x})$ 表示, ε 表示复数的光强分布与相位两者。
- 物镜将入射光作傅里叶变换,变换为 $\mathbf{E}(\mathbf{x})$ 并入射在物平面上。从物平面反射后,光的强度被减弱,相位也发生变化,功率也发生变化,这是由于衍射光被散射在物镜孔径之外所做。
- 物镜再次作富里叶变换而输出

反射光束精确地等于入射光束与反射图案富里叶变换的卷积，考虑反射表面衍射时读出信号的解析表达式：

$$\varepsilon_{out}(x) = F[E(x)] * F[r] = \varepsilon_{in}(x) * F[r]$$



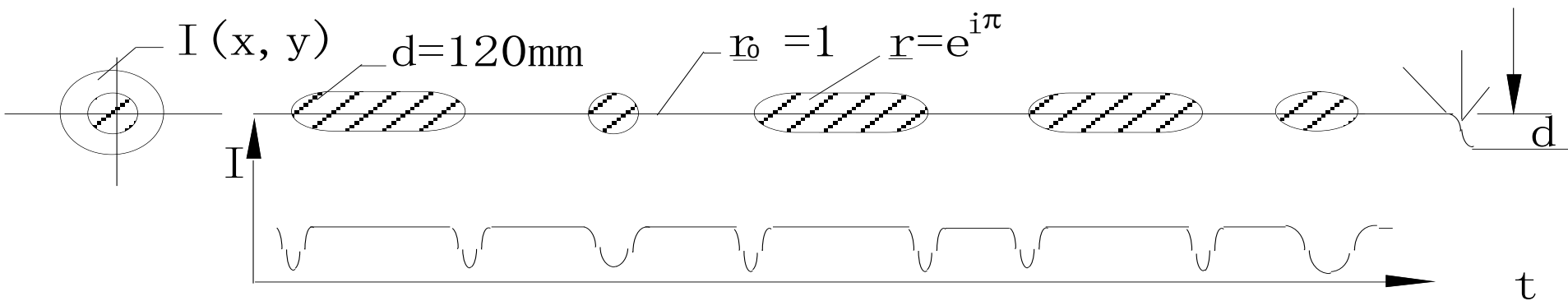
光路展开示意图

检测光的反差的方法

- (1)全孔径检测法。它是指用单个检测器收集所有从物镜发射的光的一种方法;
- (2)点检测法。它指用一个小的检测器仅收集光轴附近反射光的一种方法;
- (3)对半孔径检测法。它使用两个检测器分别收集从相反的一半孔径反回的光,读出信号是两检测器电平输出信号之差。其信号可正可负,表明光线反射后发生偏转。

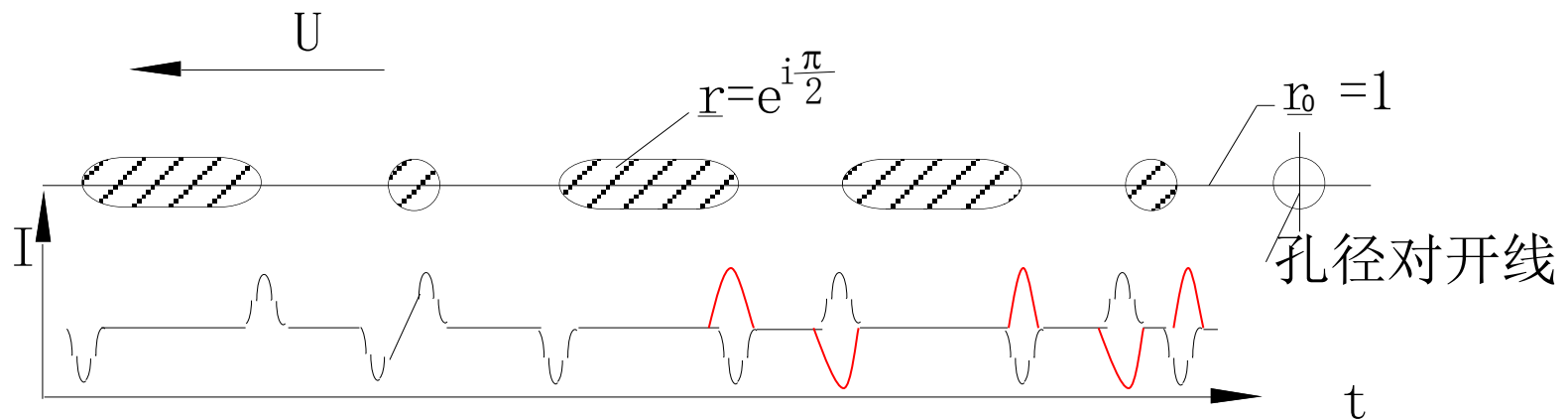
例一,用全孔径法检测凹坑深度为 $\phi \approx \pi$ 时的读出信号。

凹坑深度 $d=120\text{nm}$,折射率 $n=1.5$,入射光波长 $=800\text{nm}$ 。凹坑底面与上表面间的相差为 $\phi=4\pi n \cdot d/\lambda=4\pi \cdot 1.5 \cdot 120/800 \approx \pi$ 。当相差为 π 时,读出信号最大。相差为零时(坑底或上表面)无输出。故信号变化最大在凹坑边缘处,而凹底及上表面则不变化。



例二,用对半孔径法检测凹坑深度为 $\varphi \approx \pi/2$ 时的读出信号。

孔径的对开线垂直于扫描方向。当 $\varphi \approx \pi/2$ 时,孔径的一半照度最大,另一半最小,反差最大,这是在凹坑的边缘处。在其他部位,无论坑底或上表面,孔径的两半边的光强相等,反差为零,无输出。对于这种凹坑深度。读出时,凹坑前沿若为正向脉冲,则凹坑后沿定为负向脉冲。



3.5 激光光源的选择

1. 激光器的外形尺寸要小。通常,可供光盘驱动器使用的激光器只有几百微米长;
2. 价格低廉。用于**CD(Compact Disc)**的激光二极管价格很便宜;
3. 应能对激光束调制。调制激光束的光强和光脉冲速度。通常脉冲频率可达**GHz**级。
4. 效率应较高。激光二极管的效率约为**10%**。
5. 电特性应好。要求光束输出强度与电流大小成线性关系,在低电压下(**1~2**伏)能工作,不需特殊要求的电源。

6. 光波波长要短。目前使用的AlGaAs激光器工作波长780nm,GaAs激光器工作波长840nm,更短波长的半导体激光器在研究开发中。
7. 功率应适当。一般半导体激光器的功率在3~35mw,目前,写入用的激光器约为20~30mw,读出用的激光器只有3~5mw。
8. 光束的准直性应较好。半导体激光器不太准直,光束断面呈椭圆形。
9. 象散性。有象散出现。只需几微米移位,光束质量便变差。
10. 噪声。半导体激光器比其他品种(如气体激光器)的激光器噪声要大。
11. 耐用性。耐电流冲击的能力差,在电流冲击下瞬时(1 μ m)便损毁,故电源设计与调整要细心。正常寿命为10⁵小时,高温(60℃)下寿命减少到只剩下额定值的10%。

例：红光DVD vs 蓝光DVD

- 红光DVD:波长650nm的红色激光和数字光圈为0.6的聚焦镜头，盘片厚度为0.6毫米。
- 蓝光DVD:波长450nm的蓝紫色激光，通过广角镜头上比率为0.85的数字光圈，成功地将聚焦的光点尺寸缩到极小程度。此外，蓝光DVD的盘片结构中采用了0.1毫米厚的光学透明保护层，以减少盘片在转动过程中由于倾斜而造成的读写失常，这使得盘片数据的读取更加容易，并为极大地提高存储密度提供了可能。
- 蓝光DVD盘片的轨道间距减小至0.32nm，仅仅是当前红光DVD盘片的一半；而其记录单元—凹槽（或化学物质相变单元）的最小直径是0.14nm，也远比红光DVD盘片的0.4nm凹槽小得多。蓝光DVD单面单层盘片的存储容量被定义为23.3GB、25GB和27GB，其中最高容量（27GB）是当前红光DVD单面单层盘片容量（4.7GB）的近6倍，这足以存储超过2小时播放时间的高清晰度数字视频内容，或超过13小时播放时间的标准电视节目（这仅仅是单面单层实现的容量，就像传统的红光DVD盘片一样，蓝光DVD同样还可以做成单面双层、双面双层。）