

视觉知识培训

◆ 工业相机

◆ 镜头

◆ 光源

第一讲：工业相机

- 相机分类
- 相机基本概念
- 相机基本结构
- 相机基本成像原理

相机分类

- 传感器格式：
 - 面扫描相机：CCD感光芯片上的点阵呈面状分布的相机，其所成图象为二维“面”图象。
 - 线扫描相机：CCD感光芯片上的点阵呈线状（一行或两行）分布的相机，其所成图象为一维“线”图象。
 - 与面扫描相机一次成象相比，线扫描相机需要多次成象后，将所成的“线”象拼成一幅完整的图象。因此，线扫描相机更多地被用于分辨率要求极高的项目里。同时还需要大口径镜头、强亮度光源以及大光圈，以适应其非常高的成象速度。

相机分类

- 图象传感器：
 - CCD相机：使用CCD式感光芯片为图象传感器的相机
 - CMOS相机：使用CMOS式感光芯片为图象传感器的相机
 - CMOS相机工艺简单、成本低廉、低功耗、系统整合性好、区域读取图象灵活。但由于目前生产工艺上的差距，CMOS在除噪及灵敏度方面仍逊于CCD 相机
- 图象颜色：
 - 单色相机：输出图象为单色图象的相机。
 - 彩色相机：输出图象为彩色图象的相机。
 - 由于使用滤片使得彩色相机的灵敏度远低于单色相机。同时由于彩色相机中的象素只“存放”一种色光的灰度值，因此彩色相机的分辨率也远远不及单色相机。

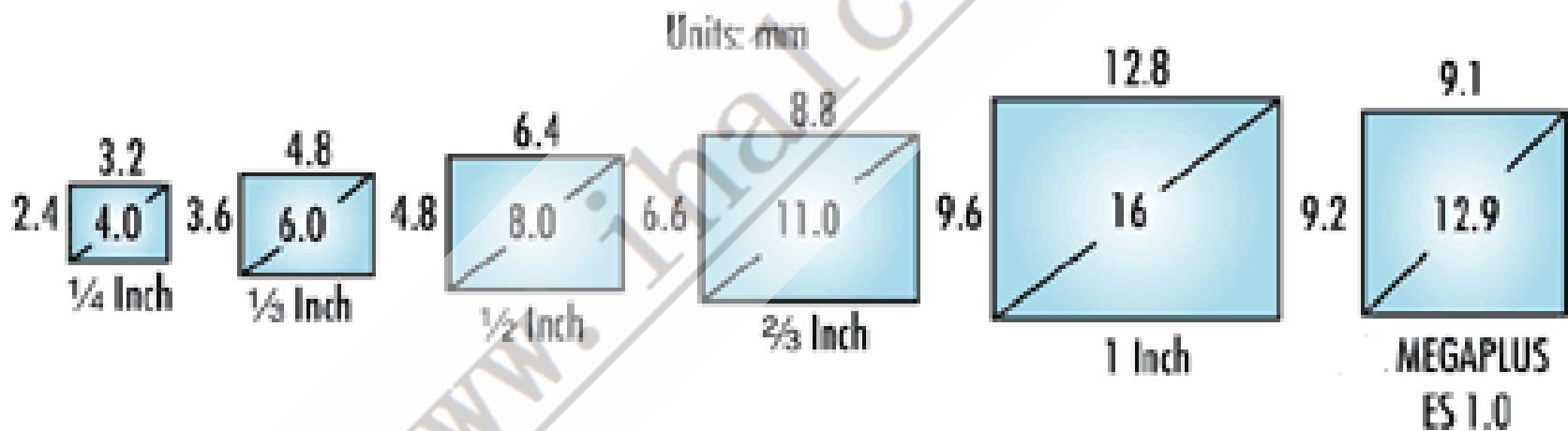
相机分类

- 输出信号：

- 模拟信号相机：从传感器中传出的信号，被转换成模拟电压信号，即普通视频信号，后再传到图像采集卡中。
- 数字信号相机：信号自传感器中的像素输出后，在相机内部直接数字化并输出。
- 模拟相机和数字相机之间的主要区别在于图像是在哪里被数字化的。数字相机在相机里将信号数字化，并且通过串行总线接口将信号以数字方式传输给计算机（或图像处理器）。而在另一方面，模拟相机系统并不是在其内部将图像信号数字化（数字化是由计算机完成的），而是通过同轴电缆而进行传输的。
- 尽管两种方法都能够有效地传输信号，但模拟信号可能会由于工厂内其他设备（比如电动机或高压电缆）的电磁干扰而造成失真。随着噪声水平的提高，模拟相机的动态范围（原始信号与噪声之比）会降低。动态范围决定了有多少信息能够被从相机传输给计算机。

传感器

- 传感器的尺寸: 图像传感器感光区域的面积大小。这个尺寸直接决定了整个系统的物理放大率。如: 1/3"、1/2"等。绝大多数模拟相机的传感器的长宽比例是4:3 (H: V), 数字相机的长宽比例则包括多种: 1: 1, 16: 9, 3: 2 etc.
- 传感器尺寸决定了相机接口



传感器大小

型号	长宽比	直径 mm	成像面积		
			对角线	宽	高
1/3.6"	4:3	7.056	5.000	4.000	3.000
1/3.2"	4:3	7.938	5.680	4.536	3.416
1/3"	4:3	8.467	6.000	4.800	3.600
1/2.7"	4:3	9.407	6.592	5.270	3.960
1/2"	4:3	12.700	8.000	6.400	4.800
1/1.8"	4:3	14.111	8.933	7.176	5.319
2/3"	4:3	16.933	11.000	8.800	6.600
1"	4:3	25.400	16.000	12.800	9.600
4/3"	4:3	33.867	22.500	18.000	13.500
APS尺寸	3:2		30.100	25.100	16.700
35mm全画幅	3:2		43.300	36.000	24.000
645全画幅	4:3		69.700	56.000	41.500

传感器的分类

- **CMOS传感器和CCD传感器的区别**

- 成本差异：由于 CMOS 传感器采用一般半导体电路最常用的 CMOS 工艺，可以轻易地将周边电路(如 AGC、CDS、时序、或 DSP 等)集成到传感器芯片中，因此可以节省外围芯片的成本。
- CMOS 传感器可以随机寻址，能够非常方便地仅将队列中感兴趣地部分读出，提高帧率。
- 噪声差异：由于 CMOS 传感器的每个感光二极管都搭配一个放大器，而放大器属于模拟电路，很难让每个放大器所得到的结果保持一致，因此与只有一个放大器在水平寄存器输出端的 CCD 传感器相比，CMOS 传感器的噪声就会增加很多，影响图像品质。
- 功耗差异：CMOS 传感器的功耗低于 CCD 传感器

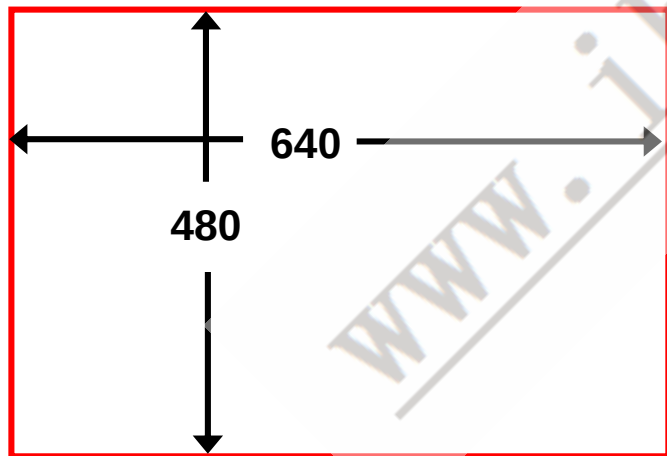
相机的基本概念

- 物理放大率：传感器感光面积于视野的比值，整个参数基本取决于镜头。
- 系统放大率：最后显示环节上目标的尺寸于实际目标尺寸的比值。系统放大率取决于物理放大率和显示系统的阐述。对于自动测量和检测系统而言，物理放大率具有关键的意义。系统放大率仅仅对于需要人机交互进行检测的系统有意义
- 象素 (Pixel)：传感器感光面上最小感光单位。

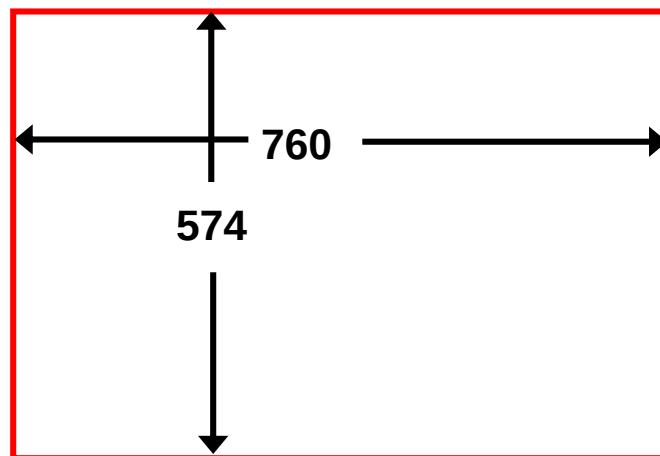
相机的基本概念

- 分辨率 (Resolution): 传感器感光面指的片点阵行与列的象素数量。相机的分辨率会直接影响到整个系统的测量精度。一个相机的分辨率与它的价格是呈正比的。如: 640×480

美制 RS - 170 Norm



欧制 CCIR - Norm

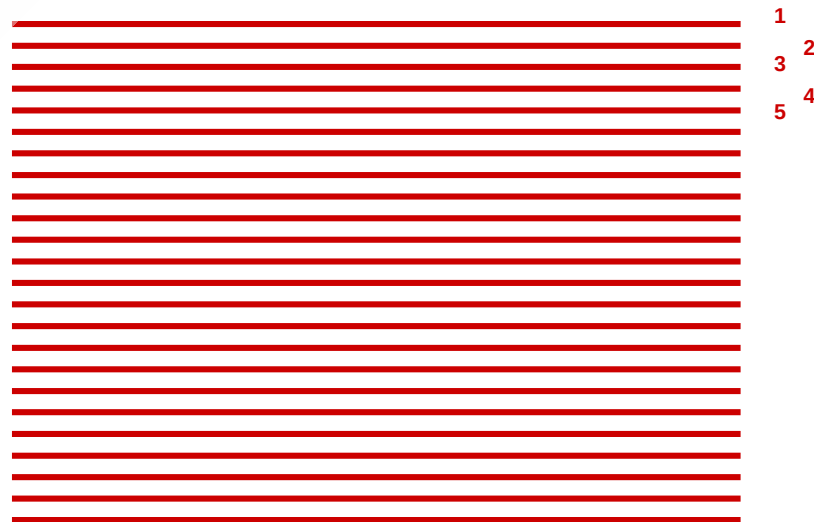
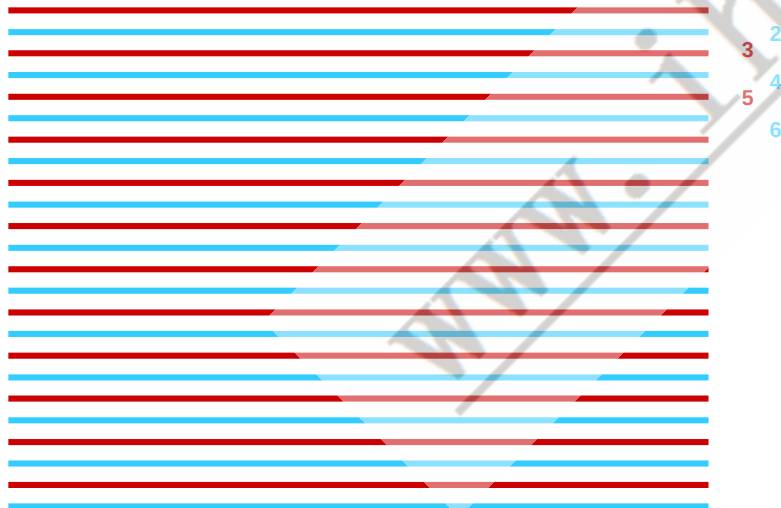


相机的基本概念

- 像素孔径比 (Pixel Aperture)：指像素长与宽的比值。对于正方形的像素来说，其像素孔径比为1: 1。此参数，对于系统的标定有影响。
- 放大率 (Gain)：调节相机的放大率，可以加强CCD芯片中输出的信号。在灯源强度不够的情况下，可以对成象作出一定程度上的改善。如：1: 10或1: 20。
- 快门速度 (Shutter Speed)：CCD相机都是采用电子快门装置。

相机的基本概念

- 相机扫描方式:
 - 隔行扫描 (Interlace)
 - 数据传输和图像处理速度限制决定的, 时钟频率小, 基本上已经被淘汰
 - 逐行扫描 (Non Interlace / Progressive scan)
 - 卷帘曝光
 - CMOS传感器大多为逐行扫描
 - 全局曝光
 - CCD传感器多为全局曝光



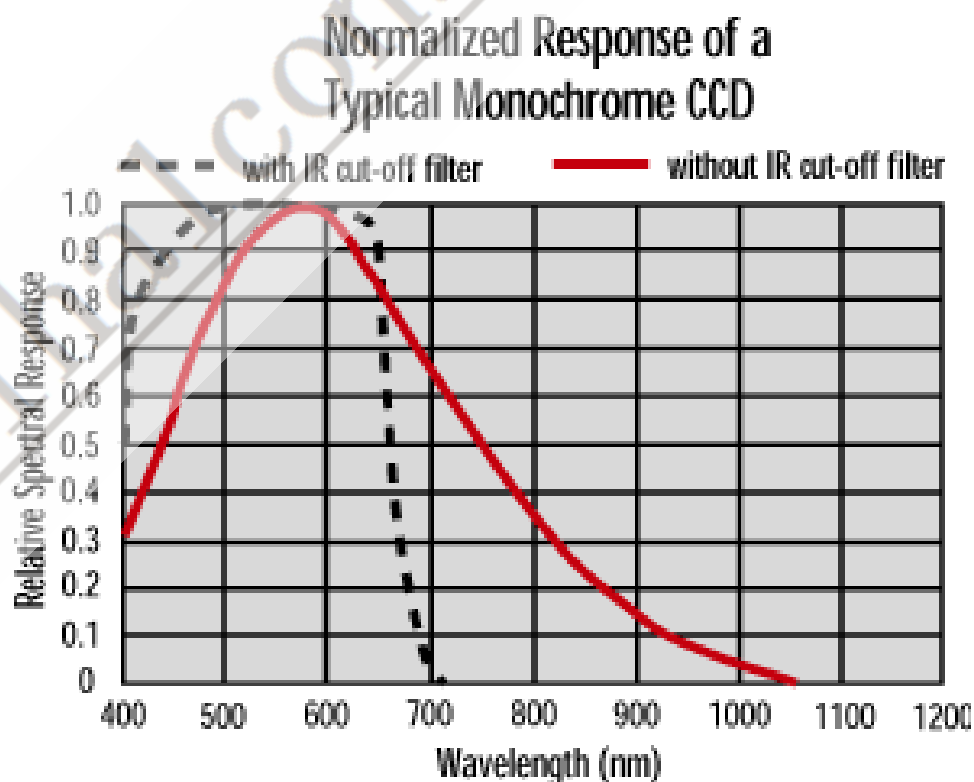
相机的基本概念：

- 异步触发（Reset&Restart）：通常情况下相机是不间断地拍照的——无的放矢。当CCD相机处于异步触发方式时，相机并不是以固定时钟连续扫描和输出连续信号。而是在收到一个触发信号后，再开始扫描输出新的一帧信号。
- 最低照度：也称灵敏度，是CCD对环境光线的敏感程度，或者说是CCD正常成像时所需要的最暗光线。照度的单位是勒克斯（LUX），数值越小，表示需要的光线越少，摄像头也越灵敏。如普通型CCD：正常工作所需照度 $1\sim 3$ LUX。
- 部分取像：指相机在取像时只读取整个感光面的一部分图象。

相机的基本概念

- CCD传感器的灵敏度:

上面是一个典型的CCD图像传感器对于不同光谱的响应曲线



相机的基本概念

• 信号格式传输

- 模拟图象信号的格式包括：复合视频信号，Y/C分离信号，RGB分量信号。绝大多数周边设备都能够兼容这些信号格式。通常情况下对于彩色视频信号，Y/C分离传输的方式优于复合视频传输的方式，RGB分量传输的方式又优于Y/C分离传输方式。
- 数字相机的信号传输格式更为复杂，目前普遍应用的包括：
 - *IEEE-1394 (Fire Wire)
 - *USB2.0
 - *CameraLink
 - *Ethernet

上述数字相机的传输方式无论是在机械上还是在电气上都是不兼容的。

相机传输方式对比



数字相机常用接口比较

	CameraLink	Usb2.0	1394a	1394b	GigE
速度	Base: 255MB/s Full: 680MB/s	38MB/s	32MB/s	64MB/s	1000MB/s
距离	10m	5m	4.5m	10m	1
优势	1. 带宽高 2. 有带预处理功能的采集设备 3. 抗干扰能力强	1. 易用 2. 价格低 3. 多相机	1. 易用，价格低，多相机 2. 传输距离远，实际线缆可达到17.5m，光纤传输可达100m 3. 有标准DCAM协议 4. CPU占用最低	1. 易用，价格低，多相机 2. 传输距离远，线缆价格低 3. 标准GigE Vision协议	
缺点	1. 价格高 2. 线中不带供电	1. 无标准协议 2. CPU占用高	1. 长距离传输线缆价格稍贵	1. CPU占用稍高	

China Daheng Group, Inc. Beijing Image Vision Technology Branch

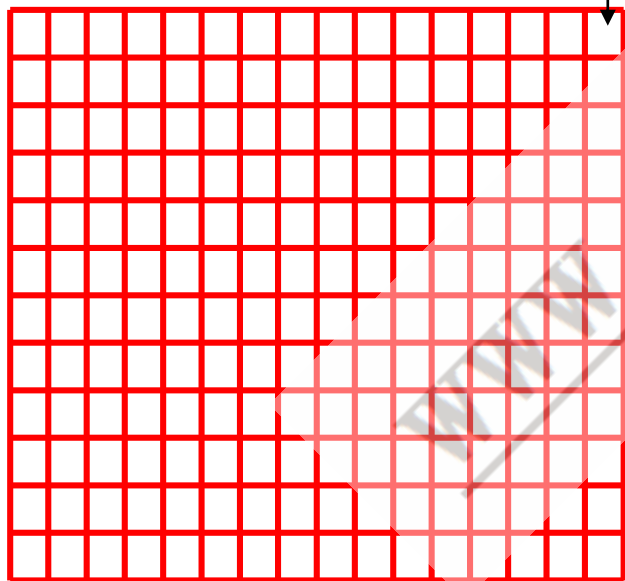
www.daheng-image.com



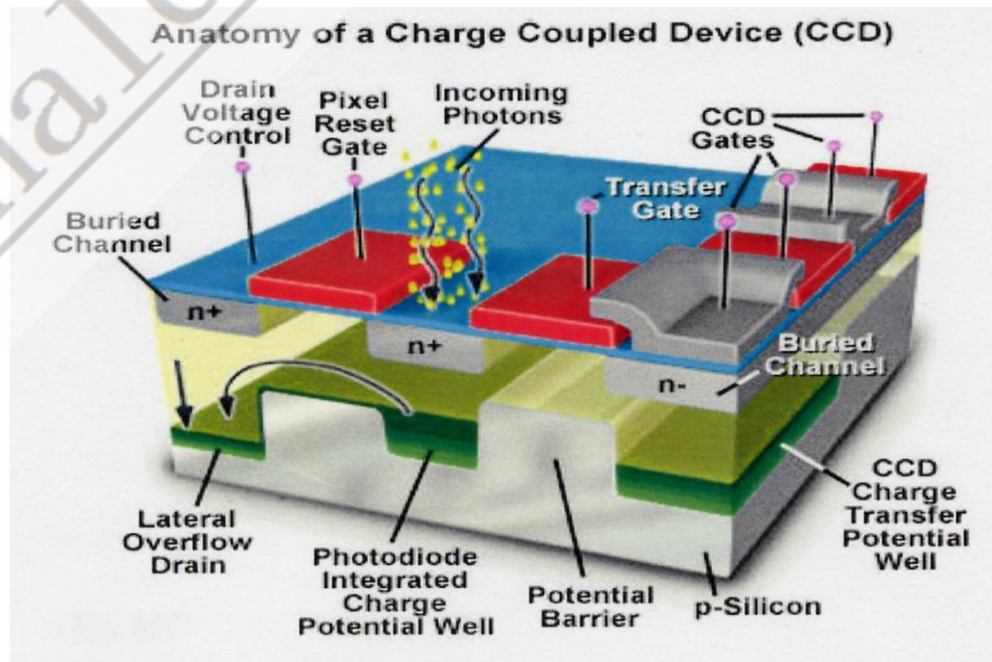
相机基本成像原理:

- 图像传感器 (Image sensor): 是一个由N行及M列感光单元 (CCD Pixel) 组成的矩阵。
- CCD的基本工作原理是, 当然光子撞击到硅原子上时, 会产生自由电子。再将这些自由电子收集在一起形成信号。

感光单元
(CCD Pixel)



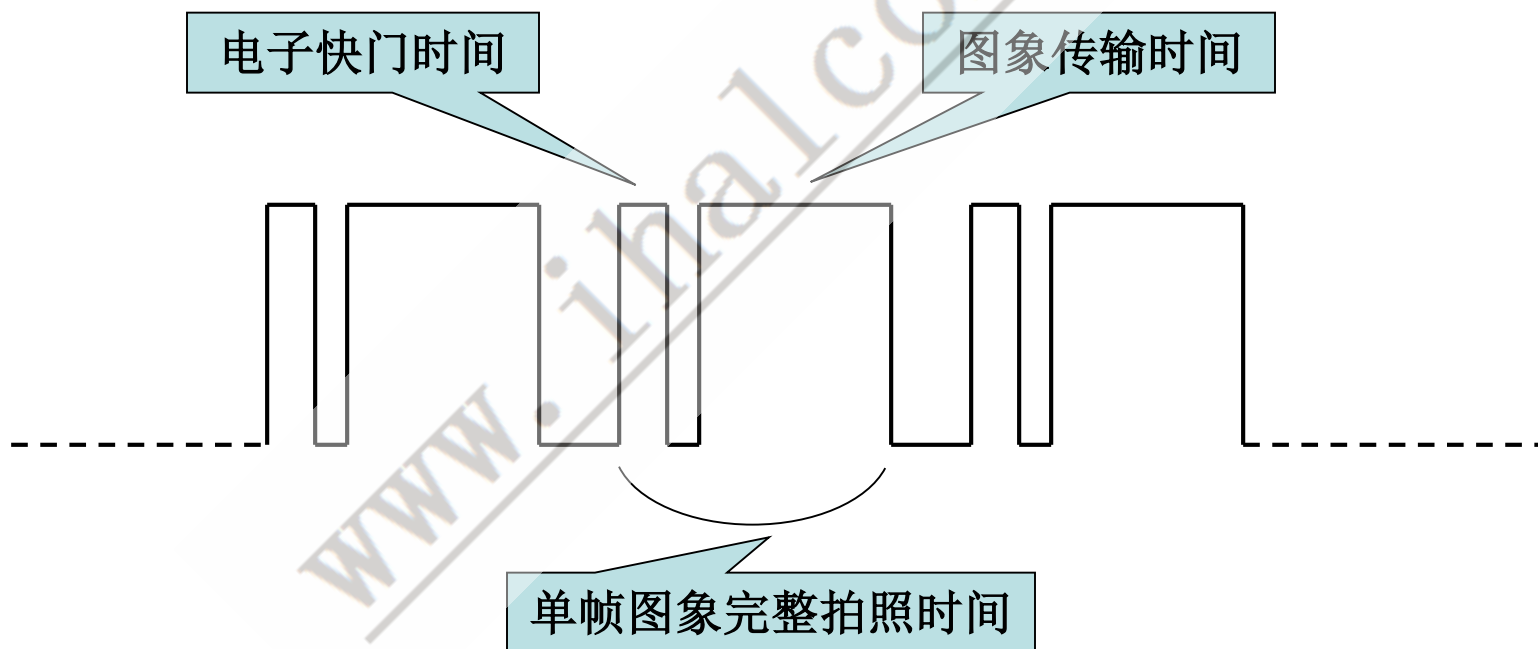
工作原理



相机的帧率

- 相机拍照时间示意图：

- 电子快门时间是可变的，可由用户自己设置。但相机传输速率（Frame rate）是相对固定的。因此，传输速率是相机的成像速度的“瓶颈”。例：电子快门速度可达1/1000秒，但成像却只能达到60帧/秒。



视觉系统成象原理

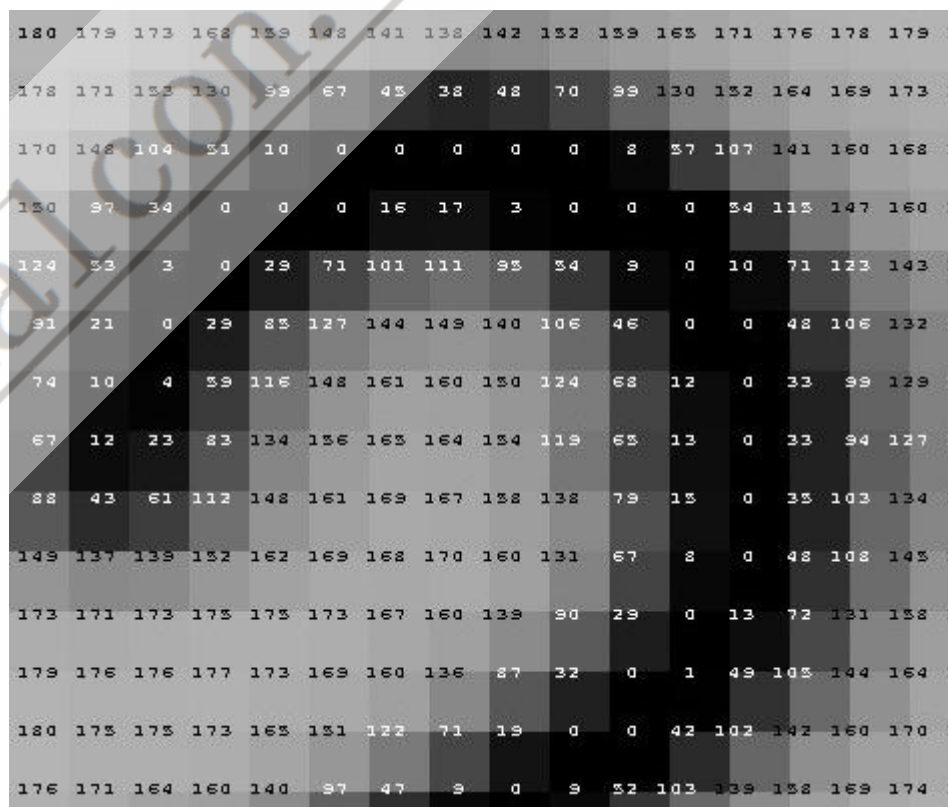
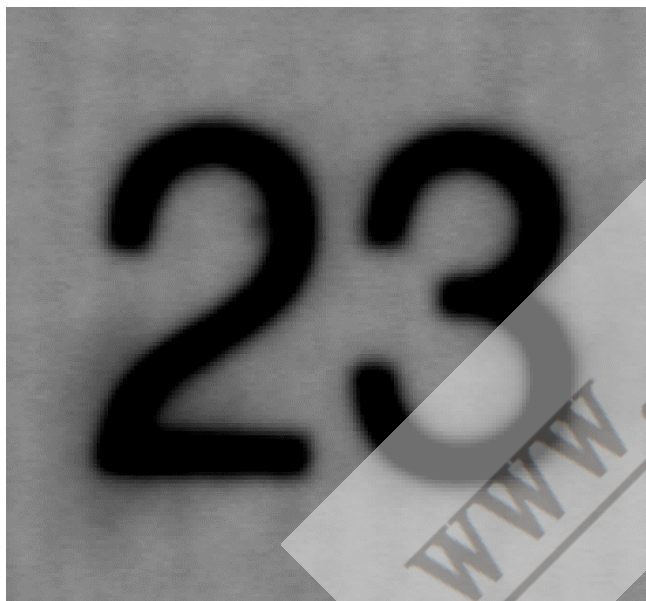


- 视野 (FOV) 或现场是相机及光学系统“看”到的真实世界的具体部分。
- CCD芯片将光能转化为电能。
- 相机将此信息以模拟信号的格式输出至图象采集卡。
- AD — 转换器将模拟信号转换成 8 位（或多位）的数字信号。每个象素独立地把光强以灰度值 (*Gray level*) 的形式表达。
- 这些光强值从CCD芯片的矩阵中被存储在内存的矩阵数据结构中。

视觉系统成象原理

模拟信号经A/D转换，传输至内存的图象

相机“看”到的图象



视觉系统成象原理

- 灰度值 (Gray Level) —— 象素光强弱信息的表示
 - 灰度值为真实世界图象量化的表现方法。通常灰度值从最黑到最白为0—255。
 - 光线进入CCD象素，如果光强达到CCD感应的极限，此象素为纯白色。对应于内存中该象素灰度值为255。
 - 如果完全没有光线进入CCD象素，此象素为纯黑色。对应于内存中该象素灰度值为0。

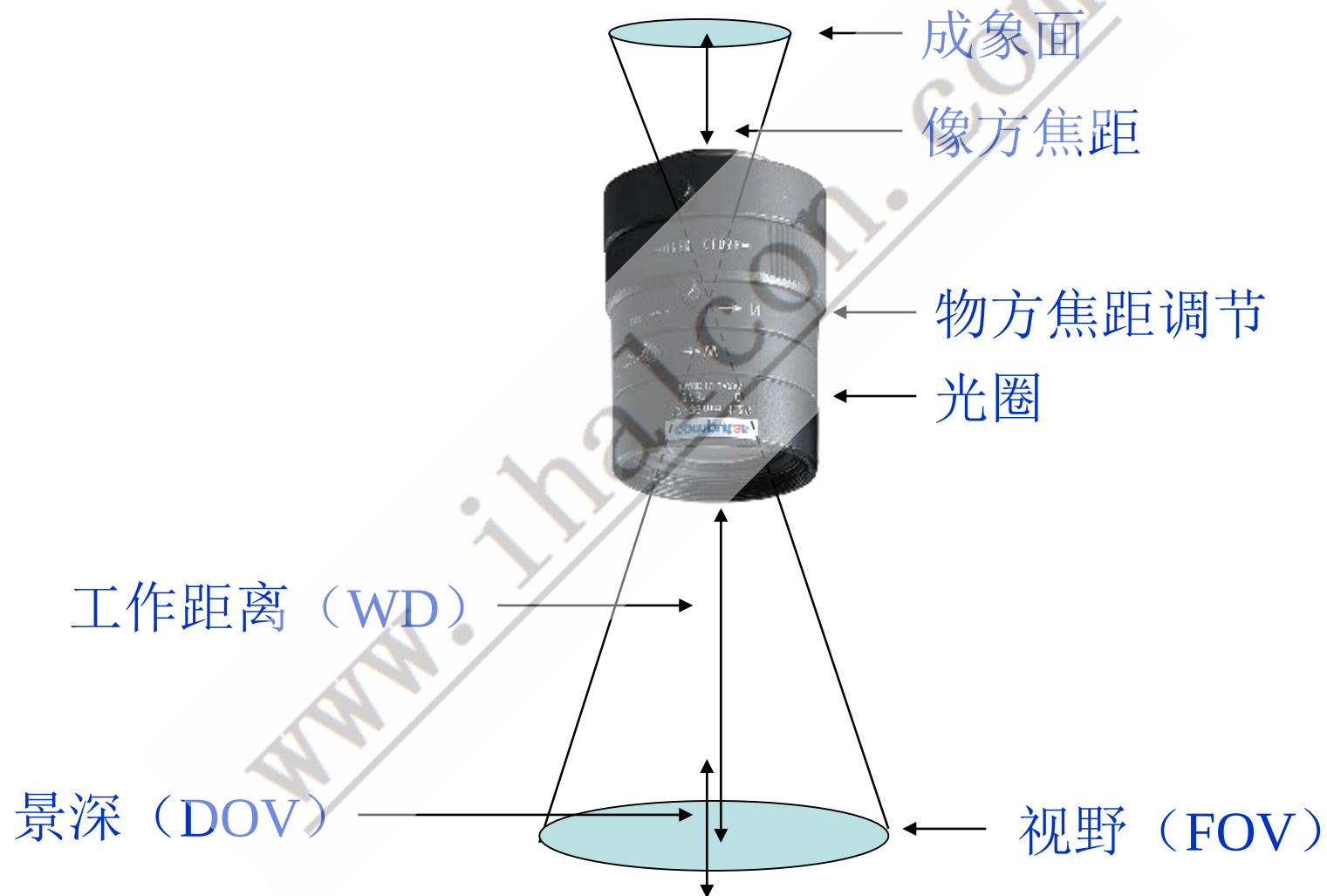
选型注意事项

- 分辨率
- 芯片类型（CCD，CMOS）
- Sensor大小
- 接口（C，F，M58）
- 帧率
- 数据传输方式
- 供电和外触发

第二讲：镜头知识介绍

- ◆镜头基本概念
- ◆镜头分类
- ◆镜头的成像原理及各参数间关系

镜头基本概念:

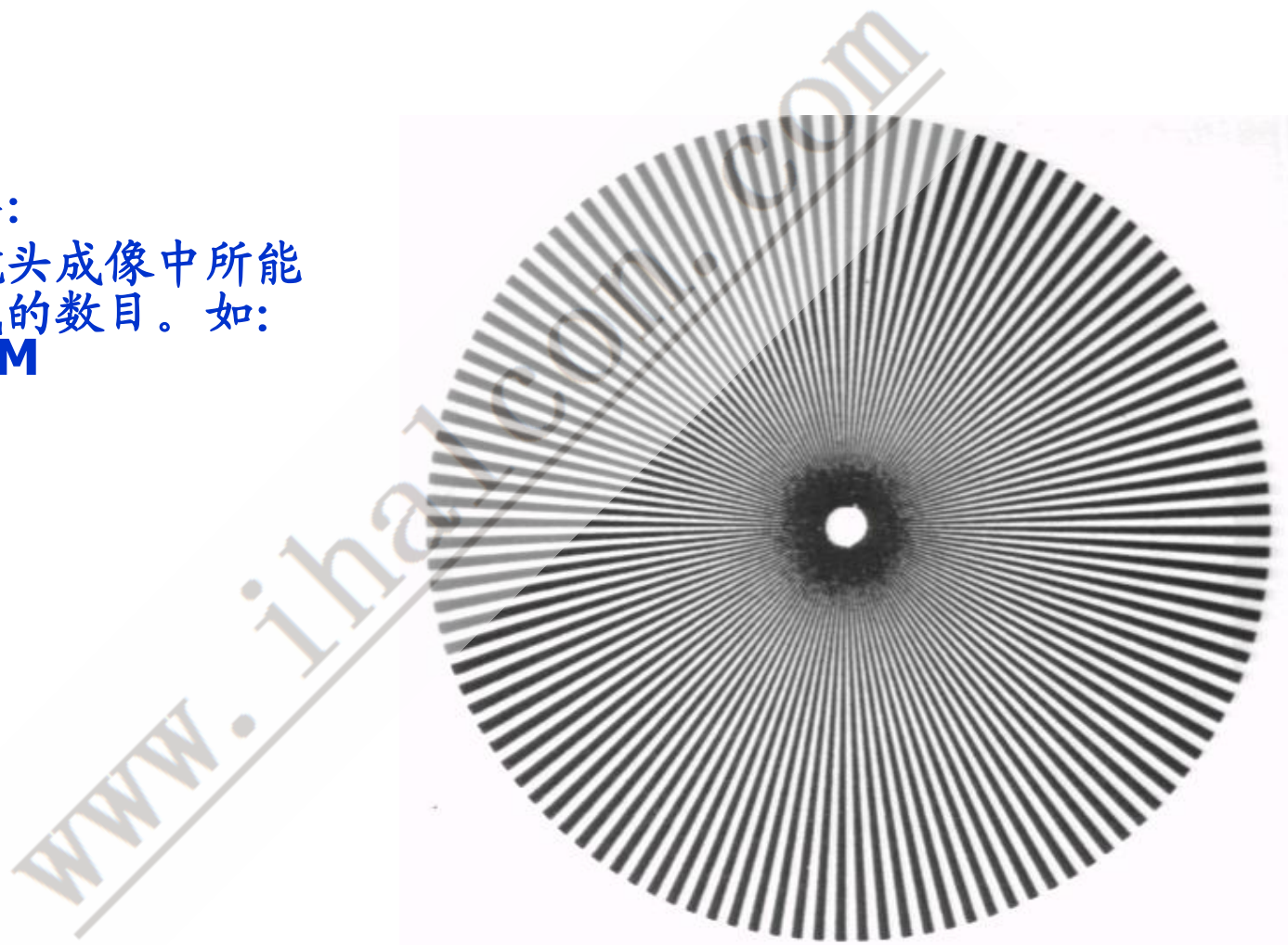


镜头基本概念

- **视野 (FOV):**
图象采集设备所能够覆盖的范围，它可以是在监视器上可以见到的范围，也可以使设备所输出的数字图象所能覆盖的最大范围。
- **最大最小工作距离 (Work Distance) :**
从物镜到被检测物体的距离的范围，小于最小工作距离大于最大工作距离系统均不能正确成像。
- **景深 (Depth Of Field) :**
在某个调焦位置上，景深内的物体都可以清晰成像。
- **畸变**
几何畸变指的是由于镜头方面的原因导致的图象范围内不同位置上的放大率存在的差异。几何畸变主要包括径向畸变和切向畸变。如枕形或桶形失真。
- **镜头接口:**
C-MOUNT、CS—Mount、F、M58

镜头基本概念

- 镜头分辨率：
一毫米内镜头成像中所能
分辨出的线的数目。如：
100线/MM



镜头的分类

• 以镜头的视场大小分类

— 广角镜头

- 像方焦距比标准焦距（50MM）短的镜头。视角90度以上，焦距可小于几毫米
- 景深大、最小工作距离短、同样工作距离下视野大。

— 远距镜头

- 像方焦距比标准焦距（50MM）长的镜头。如75MM镜头
- 视角20°内、景深小、最小工作距离长、同样工作距离下视野小。

— 标准镜头

- 视角30度左右，1/2英寸摄像机中标准镜头焦距为12mm，在1/3英寸CCD摄像机中，标准镜头焦距定位8mm。

• 以镜头安装分类

— C安装座，像焦距17.526mm

— CS安装座，像焦距12.5mm

如果要将一个C安装座镜头安装到一个CS安装座摄像机上时，则需要使用镜头换器

镜头的分类

- 变倍镜头

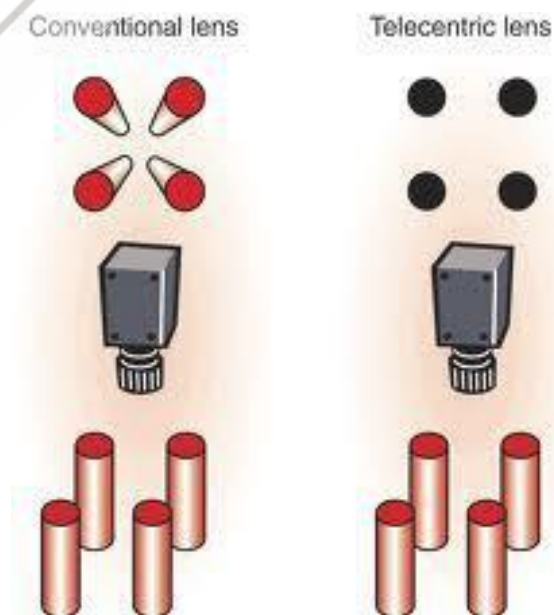
- 也称为伸缩镜头，有手动变倍和自动变倍

- 变焦镜头

- 它介于标准镜头和广角镜头之间，焦距在最大焦距和最小焦距之间连续可变，可将远距离物体放大，同时又可提供一个宽广的视景。

- 远心镜头

- 像方远心镜头
- 物方远心
- 双远心镜头



选择镜头的依据

- 镜头的成像尺寸与CCD靶面一致
 - 两者相对应，否则会出现黑角或模糊（画面在焦点以外）等问题
 - Eg: $\frac{1}{2}$ 镜头可用于 $\frac{1}{2}$ 相机也可用于 $\frac{1}{3}$ 相机，但视角会减少25%， $\frac{1}{3}$ 镜头用于 $\frac{1}{2}$ 相机会出现黑角
- 镜头分辨率（ $N=180/\text{画幅格式的高度}$ ）
 - Eg: $\frac{1}{2}$ 英寸 4.8×3.6 因此该镜头最低分辨率应为38线对/mm，摄像机靶面越小对镜头分辨率要求越高
- 镜头焦距与视野角度
- 光圈或通光亮
 - $F=\text{焦距}/\text{同光孔径}$ (F 值越小，通光量越大)
 - 根据被检测部分的光线变化程度来选择用手动光圈还是自动光圈

镜头的主要指标

规格	VS-LD20			
焦点距离(f) mm	20			
变倍范围	0.04x~0.22x			
光学倍率	0.04x	0.08x	0.15x	0.22x
视场2/3"(VxHmm)	165x220	82.5x110	44x58.7	30x40
视场1/2"(VxHmm)	120x160	60x80	32x42.7	21.8x29.1
视场1/3"(VxHmm)	90x120	45x60	24x32	16.4x21.8
WD (mm)	511.0	251.7	130.7	86.8
物像间距离 O/I(mm)	557.0	298.6	179.0	136.5
实效 F *1	2.22	2.30	2.45	2.60
景深(mm) *2	102.0	24.1	8.0	4.0
TV失真	0.06%	0.00%	-0.08%	-0.15%
光圈·调焦操作	手动			
光圈·调焦固定螺丝	○			
重量	约45g			
兼容CCD / 接口	2/3"以下 / C接口			
镜头旋转最大延长量	3.7mm			

广角镜头

焦距
倍率
视场
物距
实效F
景深
TV失真
接口

规格	SV-L1614MP	SV-L2514MP
焦点距离 (f mm)	16.2	25
FNO	1.4~16	1.4~16
视角 (°) (1")	33.6x44.3	22.0x29.3
摄影距离 (mm)	300~∞	300~∞
光圈·对焦操作	手动	手动
滤色镜螺纹	M35.5 P=0.5	M35.5 P=0.5
CCD尺寸/接口	1"以下/C接口	1"以下/C接口
重量	约140g	约125g

镜头的成像原理及各参数间关系



镜头各参数之间的关系

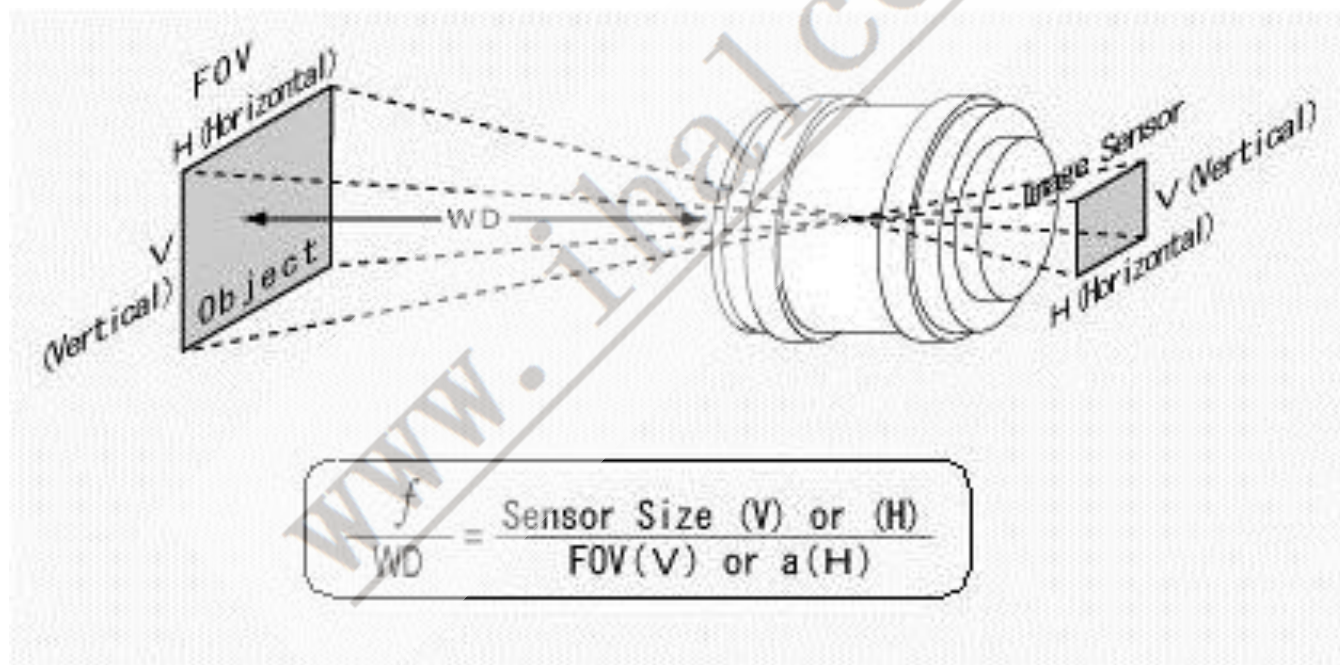
焦距 $f = WD \times \text{靶面尺寸(H or V)} / \text{FOV(H or V)}$

视场 $\text{FOV(H or V)} = WD \times \text{靶面尺寸(H or V)} / \text{焦距}f$

视场 $\text{FOV(H or V)} = \text{靶面尺寸(H or V)} / \text{光学倍率}$

工作距离 $WD = f(\text{焦距}) \times \text{靶面尺寸} / \text{FOV(H or V)}$

光学倍率 = 靶面尺寸(H or V) / FOV(H or V)



如何选择工业镜头

- 物方尺寸-----拍摄范围
- 像方尺寸-----使用的CCD的靶面大小
- 工作距离-----物方镜头前表面距离拍摄物的距离
- 分辨率-----使用的CCD像素大小
- 景深-----镜头能成清晰像的范围。像/物倍率越大景深越小。
- 接口-----照相机接口，多为C接口

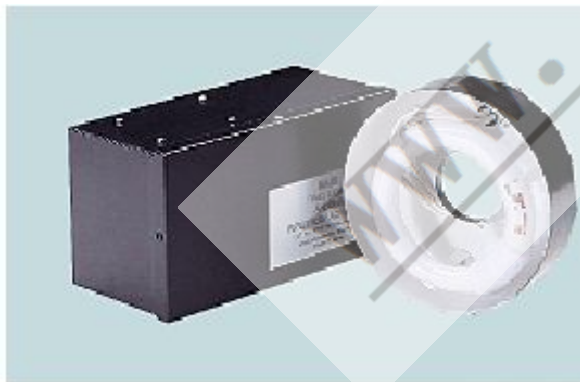
第三讲：光源应用

- ◆光源的分类
- ◆光源技术应用
- ◆光源配件的介绍

光源的分类

理想的光源应该是明亮，均匀，稳定的

- 视觉系统使用的光源主要有三种
- 高频荧光灯
- 光纤卤素灯
- **LED（发光二极管）光源**



光源种类

• 高频荧光灯

- 使用寿命约1500—3000小时
- 优点：扩散性好、适合大面积均匀照射
- 缺点：响应速度慢，亮度较暗

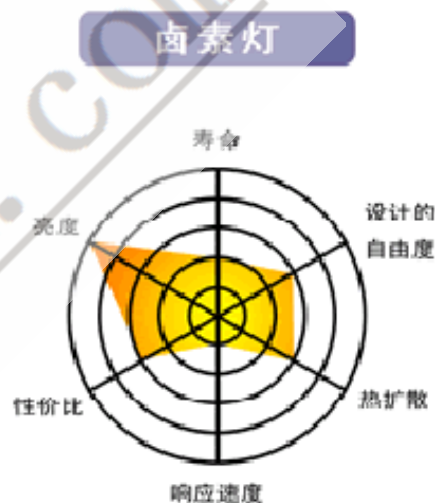
荧光灯



光源种类

• 光纤卤素灯

- 使用寿命约1000小时
- 优点：亮度高
- 缺点：响应速度慢，几乎没有光亮度和色温的变化

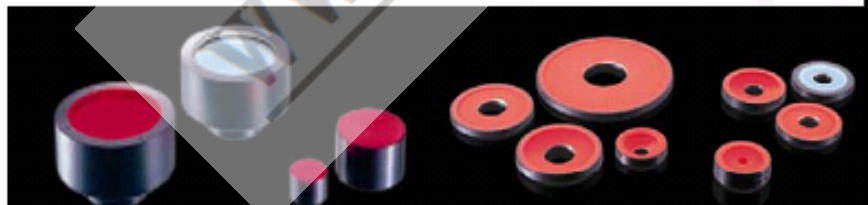


光源种类

• LED光源

- 使用寿命约10000—30000小时
- 可以使用多个LED达到高亮度，同时可组合不同的形状
- 响应速度快，波长可以根据用途选择

LED灯



LED光源的优势

- 可制成各种形状、尺寸及各种照射角度
- 可根据需要制成各种颜色，并可以随时调节亮度
- 通过散热装置，散热效果更好，光亮度更稳定
- 使用寿命长（约3万小时，间断使用寿命更长）
- 反应快捷，可在10微秒或更短的时间内达到最大亮度
- 电源带有外触发，可以通过计算机控制，起动速度快
可以用作频闪灯
- 运行成本低、寿命长的LED，会在综合成本和性能方面体现出更大的优势

LED光源的颜色

- 主要颜色

- 红色
- 蓝色
- 绿色
- 白色

- 其他颜色

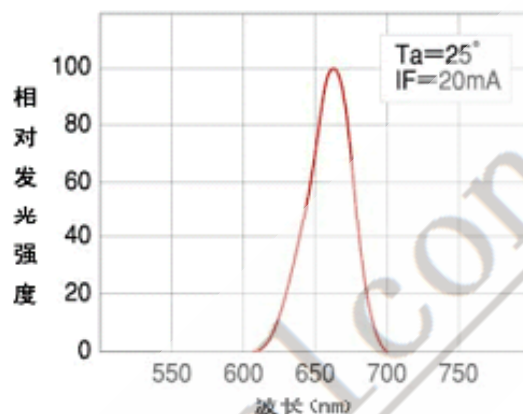
- 橙色
- 红外
- 紫外



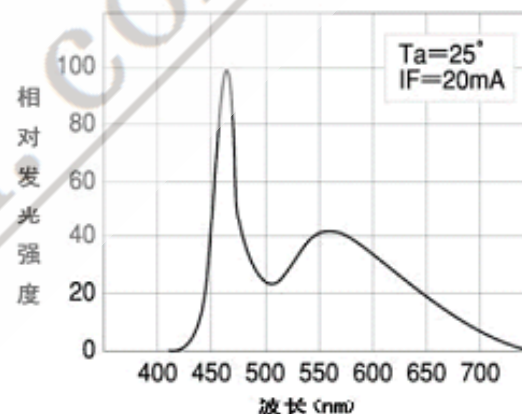
LED光源的光谱

- 每一种类型的LED都有特别的光谱
- CCD摄像机的灵敏度受光谱的影响

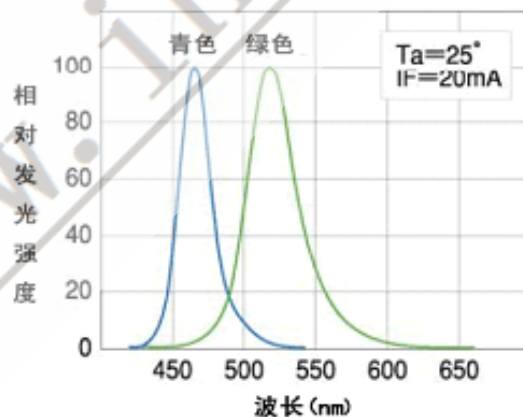
红色(中心波长660nm)



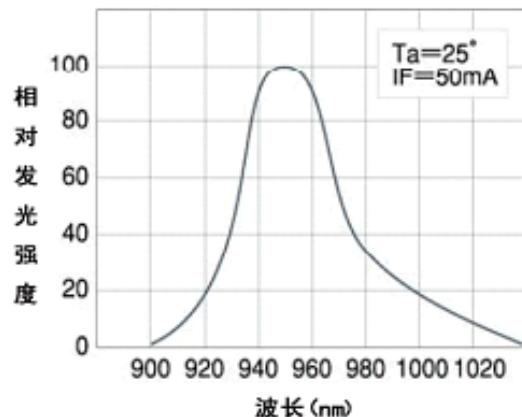
白色(全域性波长)



青色/绿色(中心波长470/525nm)

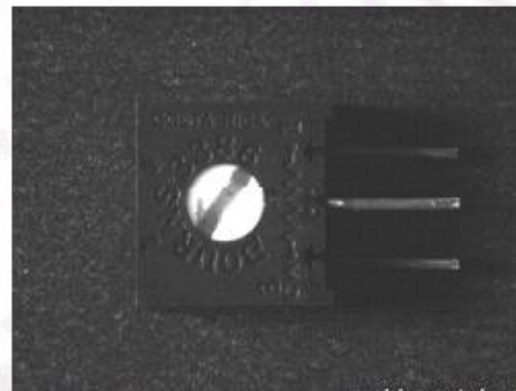
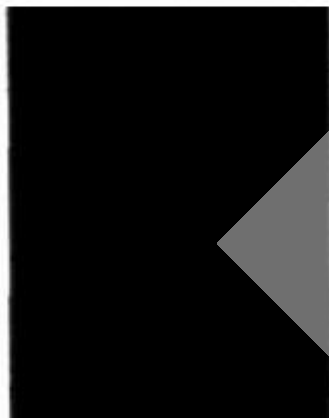


红外(中心波长950nm)



光源对成像的影响

根据被测物的特征改变打光方式，可以突出被测物



光源对成像的影响

根据被测物的特征改变光源的颜色，可以得到对比鲜明的图像



二值化处理后差别更加明显!



照明技术的基础知识

- 光在真空中呈直线传播
- 光的反射
 - 入射角 = 反射角
- 光的折射
 - 受到材质的影响
- 光的透射
 - 材质和厚度影响透射率
 - 光的波长越长,对物质的透过力越强
- 光的吸收
 - 形成色差

照明技术的基础知识

• 照射光的种类

■ 直射光

- 主要来自于一个方向的光，可以在亮色和暗色阴影之间产生相对高的对比度图像。

■ 漫射光（扩散光）

- 各种角度的光源混合在一起的光。日常的生活用光几乎都是扩散光。

■ 偏光光

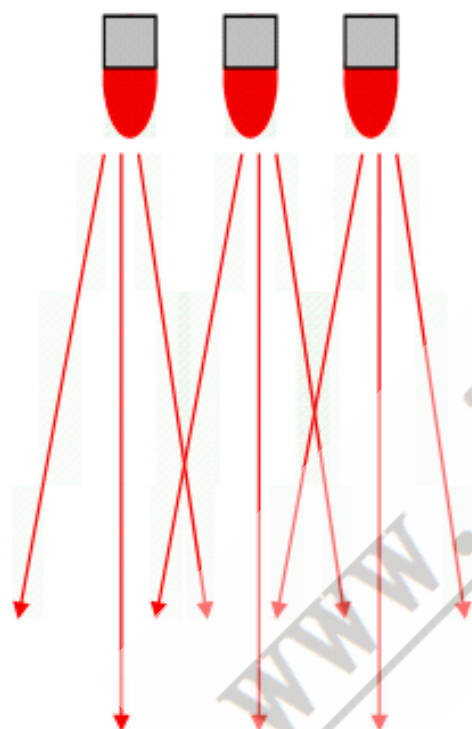
- 在垂直于传播方向的平面内，光矢量只沿某一个固定方向振动的光。通常是利用偏光板（片）来防止特定方向的反射。

■ 平行光

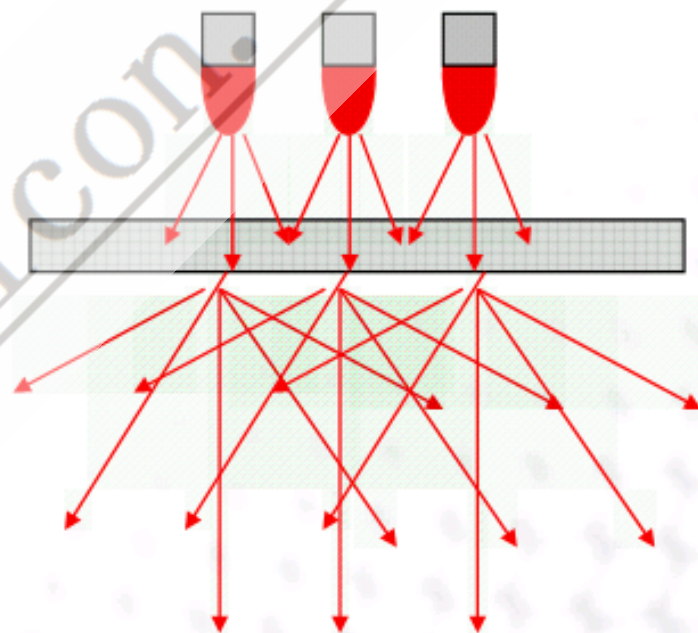
- 照射角度一致的光。太阳光就是平行光。发光角度越窄的LED直射光越接近平行光。

照明技术之一

- 直射光和漫射光 (Regular light & Diffused light)



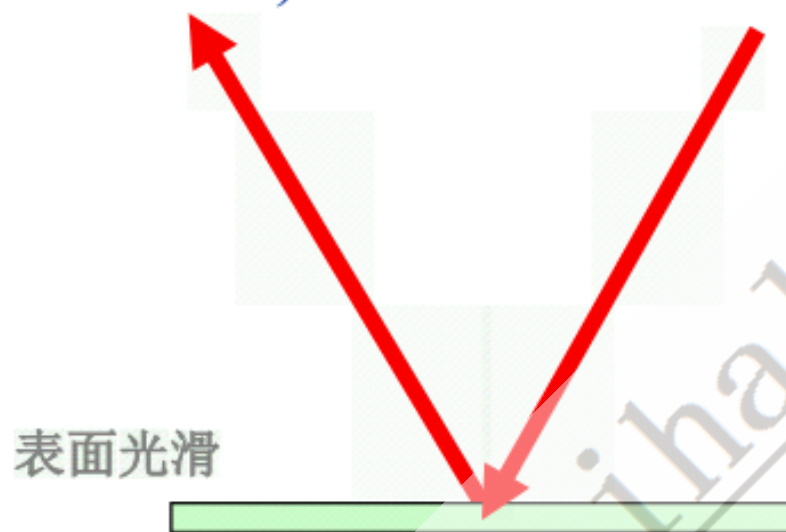
明亮、射角窄、会有光点



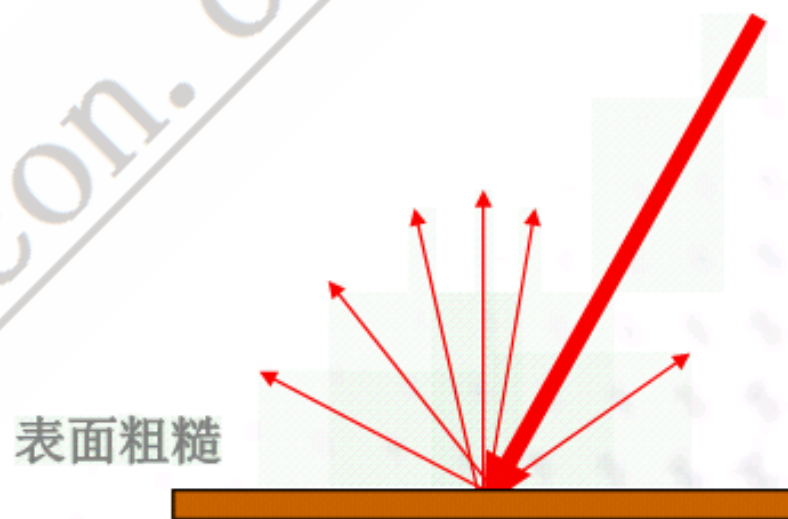
较暗、射角宽
无光点、光斑均匀

照明技术之一

- 镜面反射和漫反射 (Regular reflection & Diffused reflection)



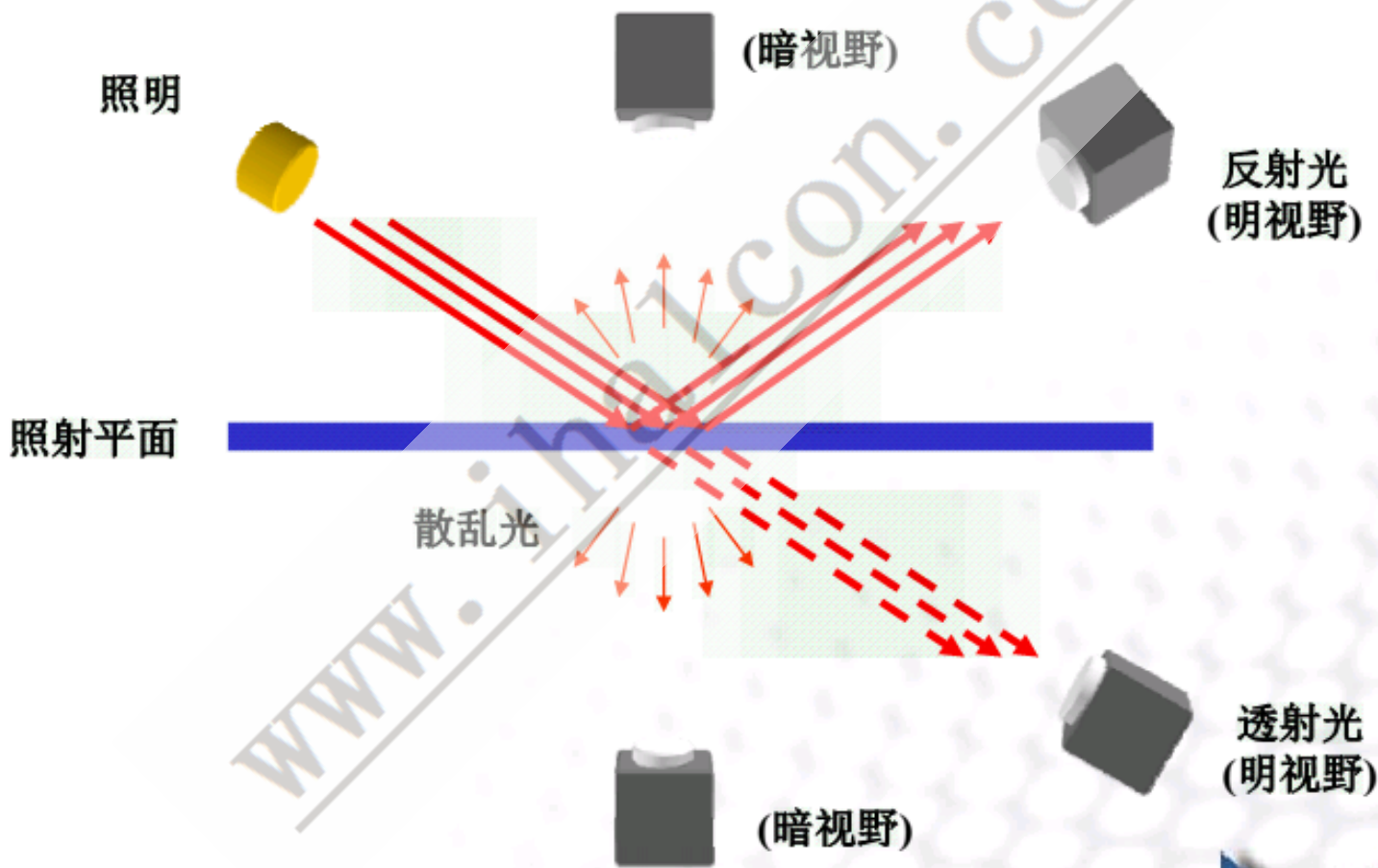
明亮
与照射距离无关
与角度有关
不反映照射物的颜色



较暗
与照射距离有关
与角度无关
反映照射物的颜色

照明技术之二

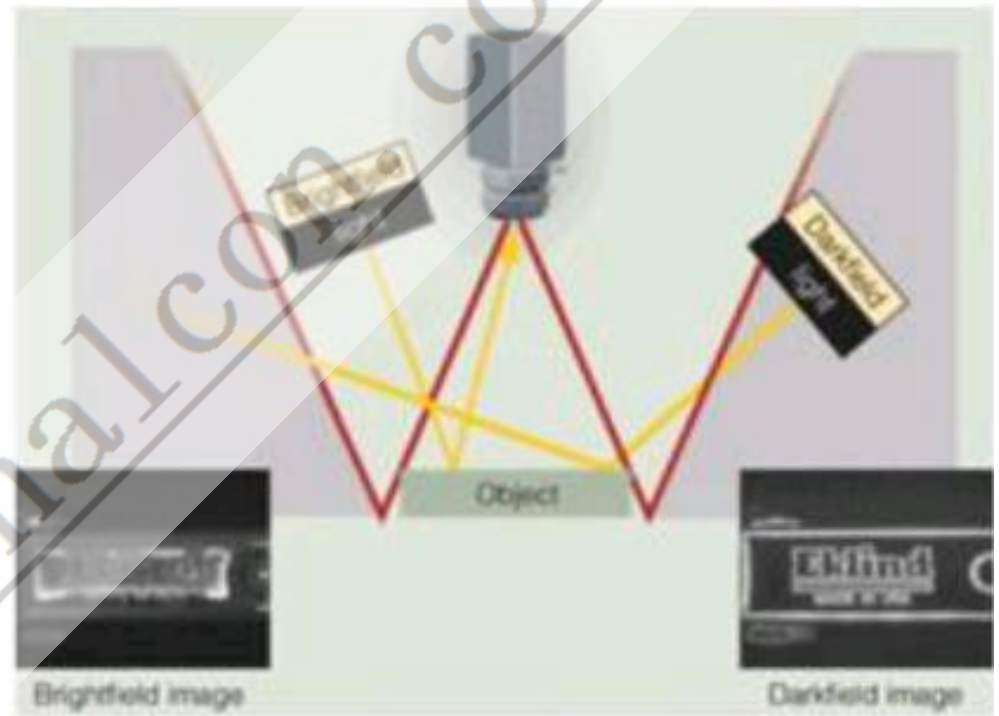
- 明视野和暗视野 (Bright field & Dark field)



照明技术之二

• 明暗视野的定义

在“W”二个“V”内发出的光，经目标表面反射，全部落在镜头的范围内，称作亮场照明；而从在“W”二个“V”外发出的光，经目标表面反射，没有光线落入镜头的范围内，称作暗场照明



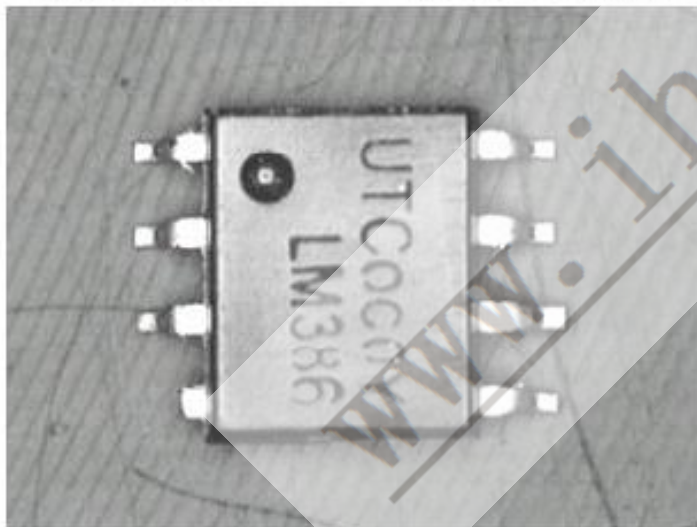
照明技术之二

明视野：

用直射光来观察对象物（散乱光呈黑色）

FPQ-75

LWD 90mm

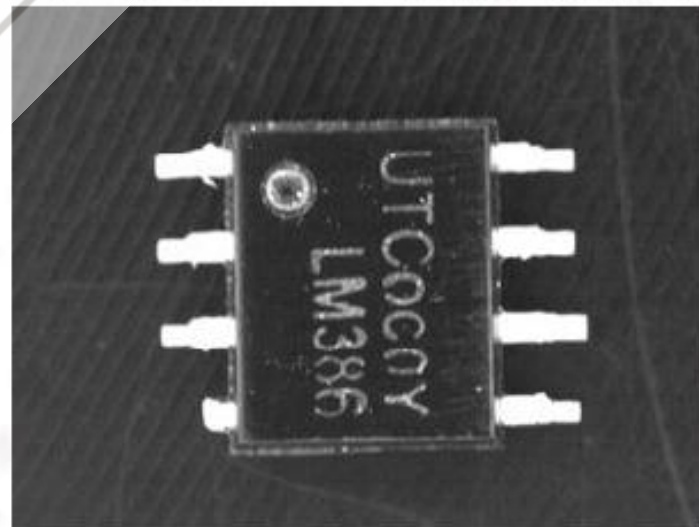


暗视野：

用散乱光来观察对象物（散乱光呈白色）

FPQ-75

LWD 10mm



照明技术之二

硬币铸造

明视野照明



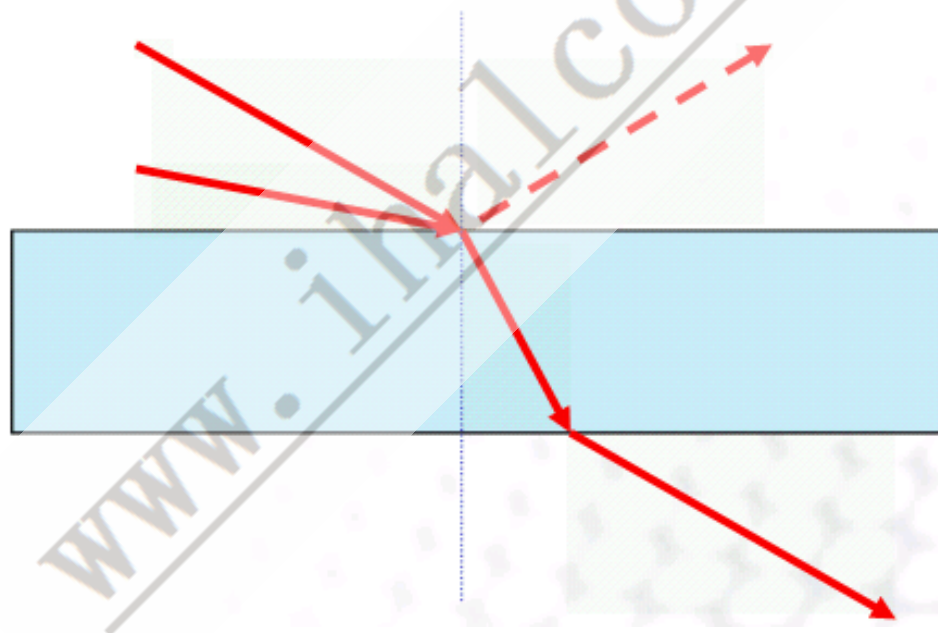
暗视野照明



照明技术之三

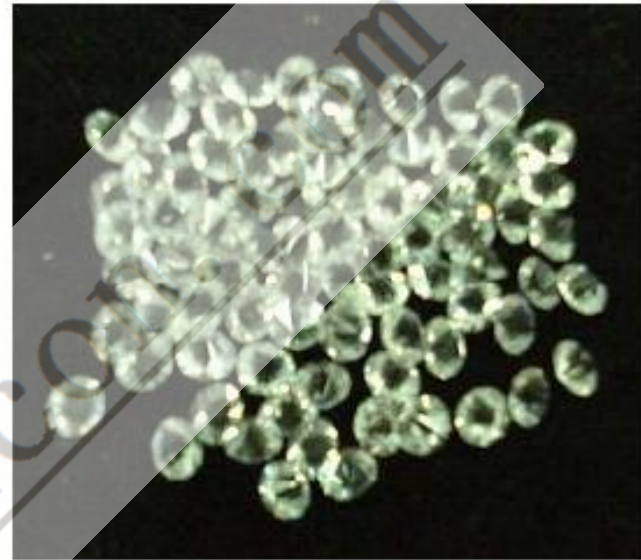
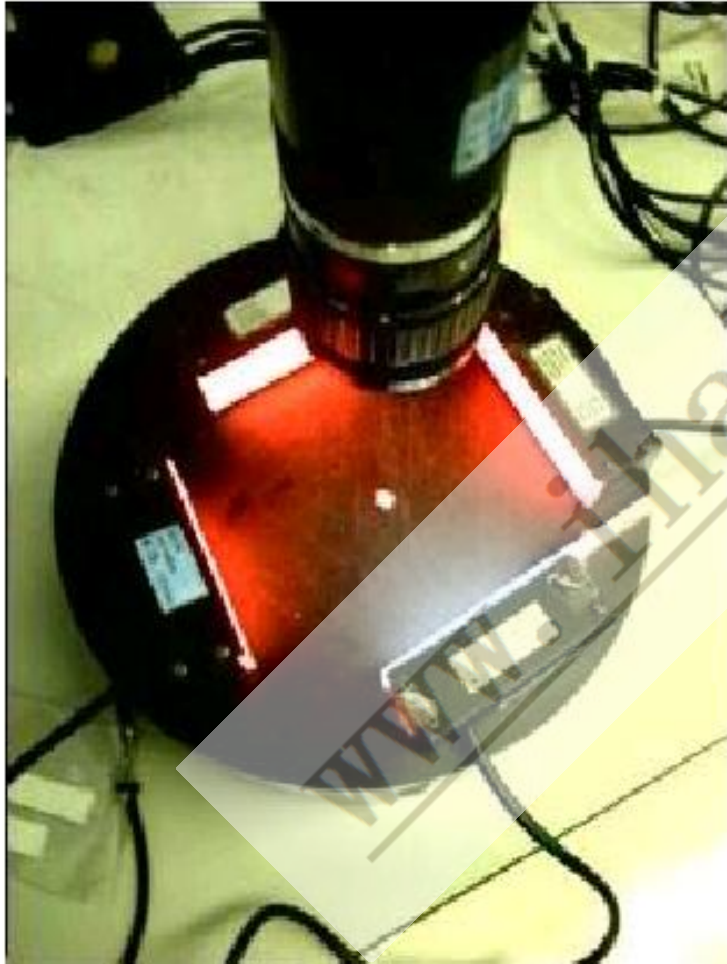
- 折射照明 (Refraction light)

- 光由一种介质(物质)斜射到另一种介质，传播方向发生改变
- 当入射角满足一定的条件时，不会发生折射



照明技术之三

钻石 棱角测定



照明技术之四

• 透射照明 (Penetrating light)——背光的运用

- 透射照明，即使光线透射对象物，并观察其透射光的照明手法
- 因材质和厚度不同，对光的透过特性(透明度)各异
- 光根据其波长之长短，对物质的穿透能力(穿透率)各异
 - 波长越长，对物质的透过力越强。
 - 波长越短，在物质表面的扩散率(反射和透射的比率)越大

扩散比率		
颜色	波长(nm)	扩散比率
红外	950	0.23
红	660	1.00
绿	525	2.25
蓝	470	3.89
紫外	370	10.12

照明技术之四

- 案例一

读取塑封带内的TSOP型号



使用红色照明(660nm)

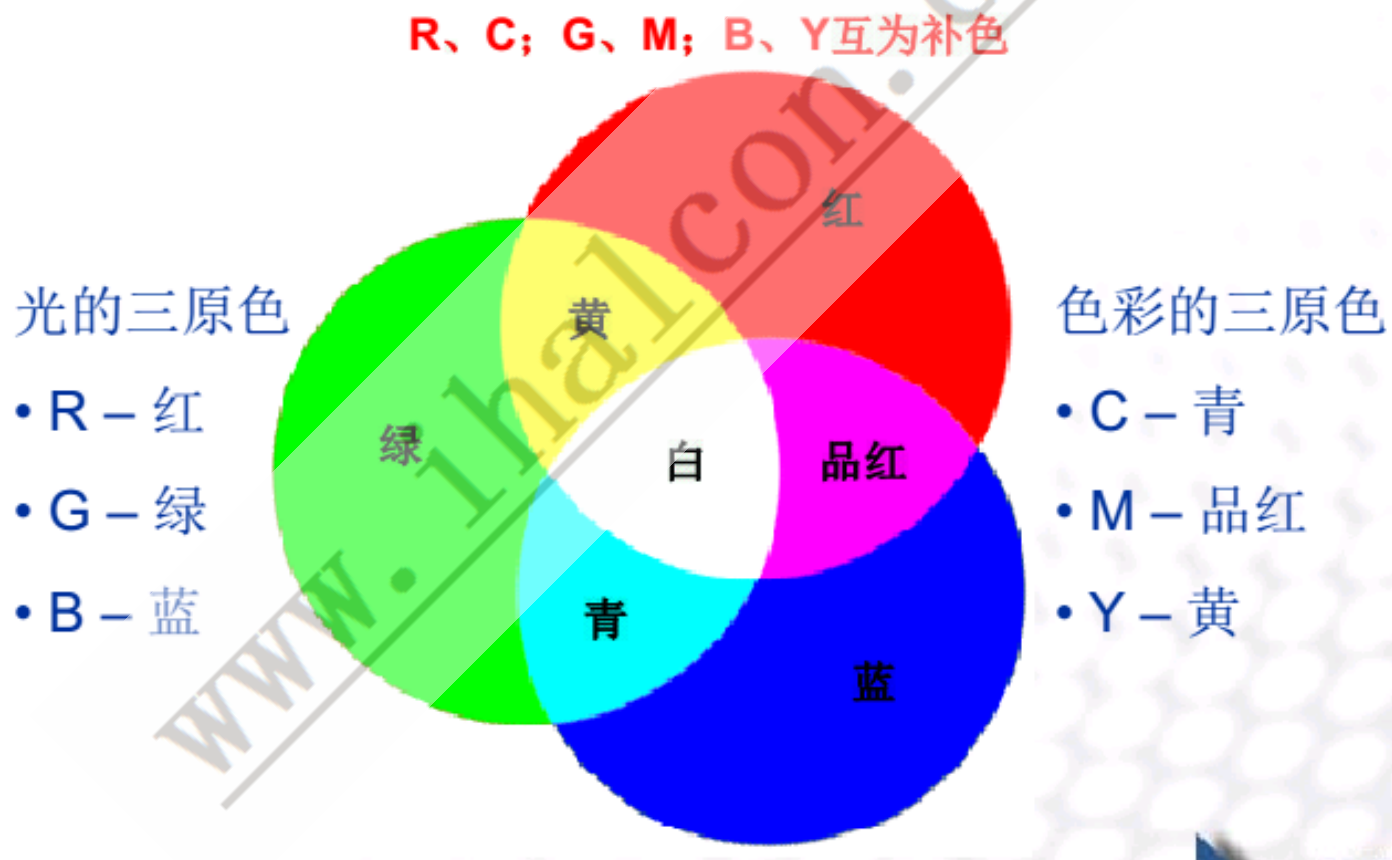


使用蓝色照明(470nm)



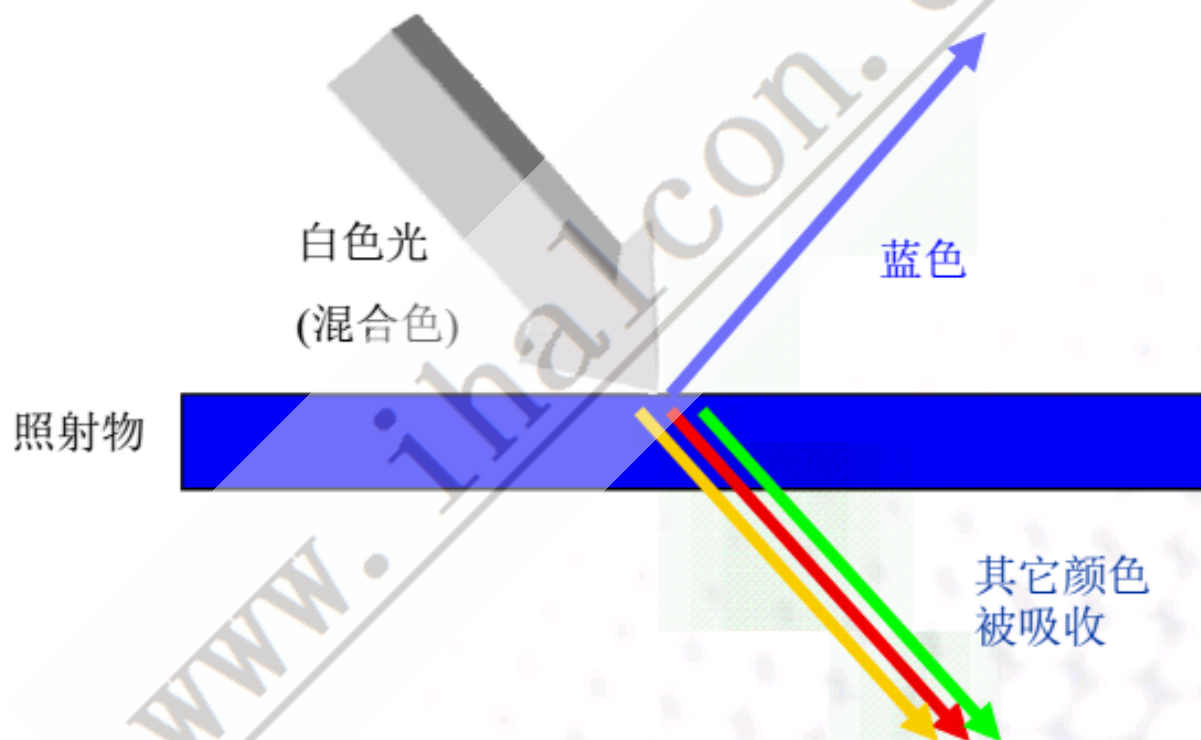
照明技术之五

• 颜色和补色



照明技术之五

- 非发光物体的颜色



照明技术之五

- 测试



白光



红光



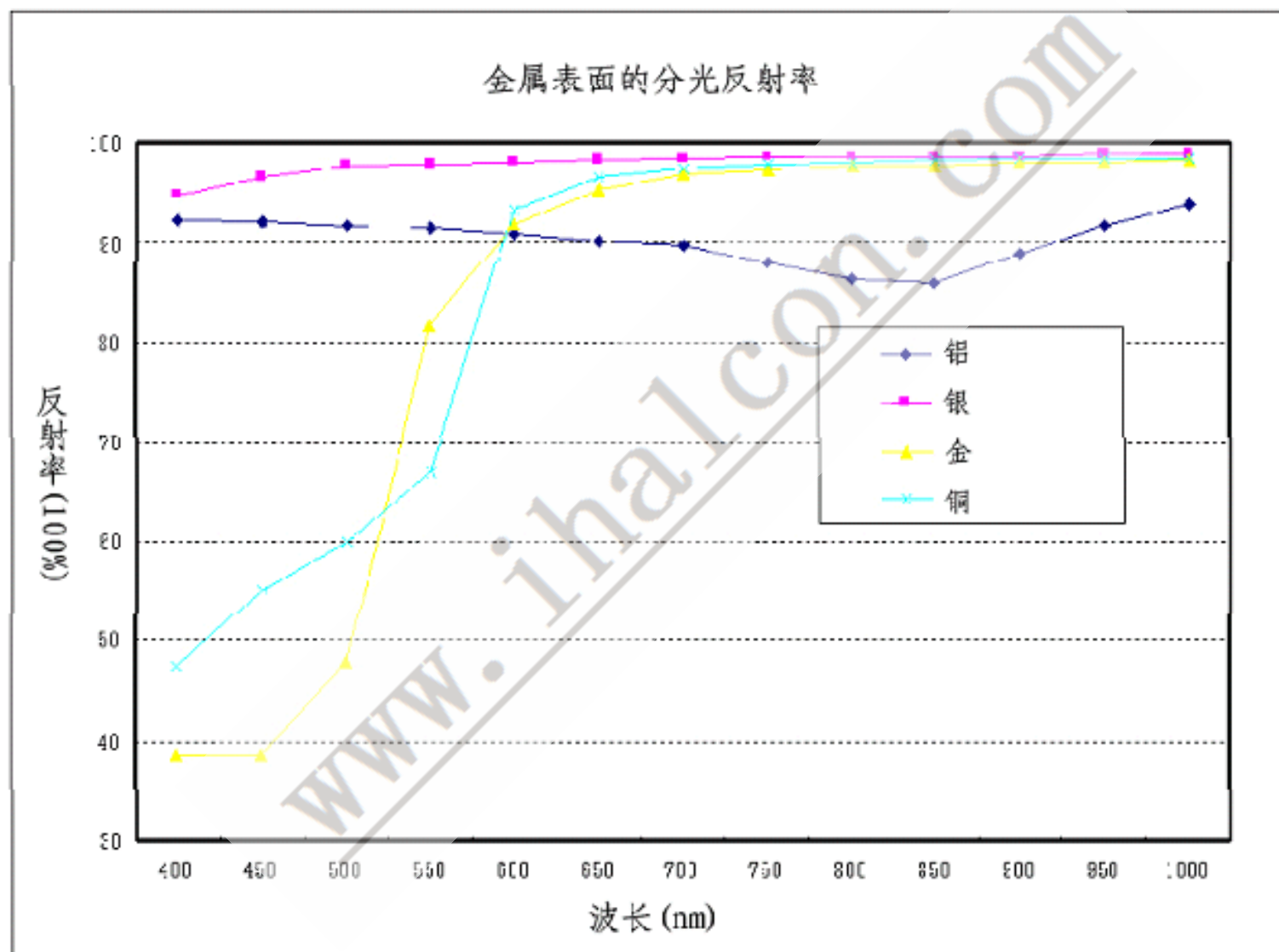
蓝光



绿光



照明技术之五



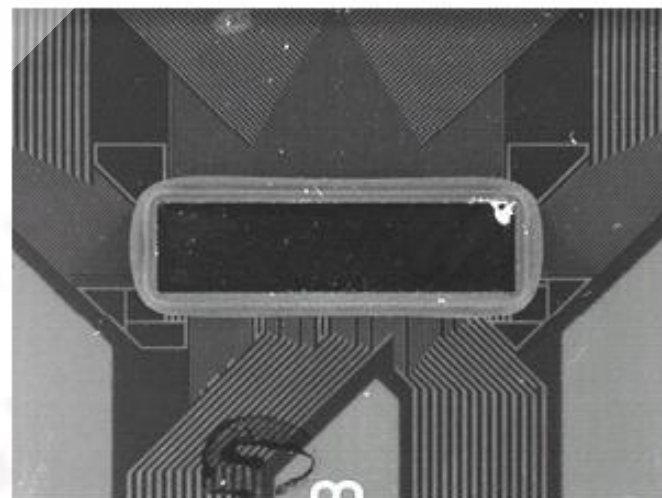
照明技术之五

- 案例一
树脂芯片的表面检测

使用红光单独检测芯片



使用绿光可以检测芯片和导线



光源配件的应用

- 偏光器(Polarizer)

偏光镜片



偏光板



两者结合，用来消除照明时产生的泛光

光源配件的应用

- 偏光技术的应用

未使用偏光器

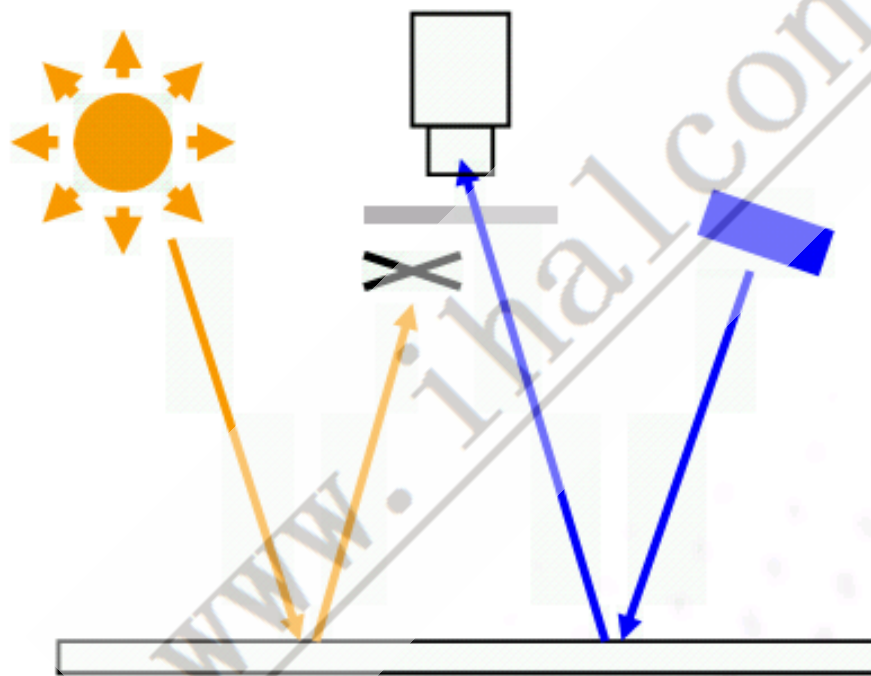


使用偏光器



光源配件的应用

- 防外乱光滤镜(Shape-cut filter)



R-64系列



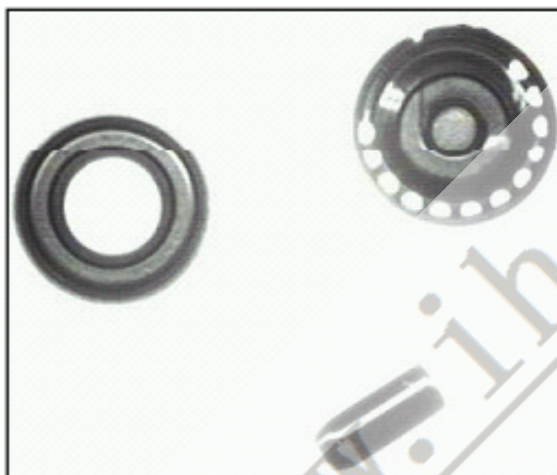
V-44系列



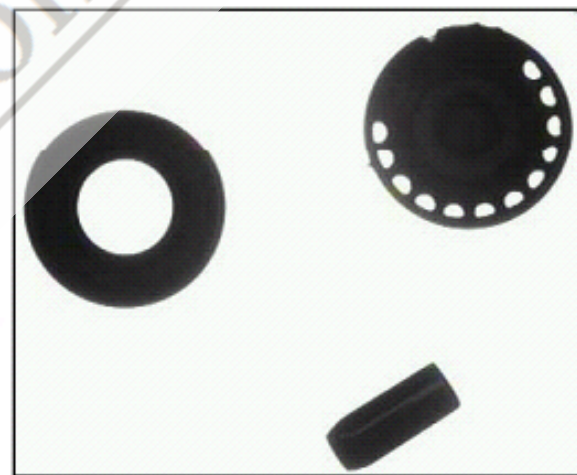
光源配件的应用

- 防外乱光滤镜的应用

金属工件的轮廓检测



由于来自室内的光源产生了漫射光，其他不需要的细节也进入了摄像机



添加滤镜将漫射光滤掉，从而得到对比度良好的对象轮廓

如何选择光源

- 摄像机的种类
- 摄像机的视野和工作距离
- 照明和被测物之间的距离
- 被测物的形状、材质、纹理和颜色等
- 被测物的运动速度
- 工作环境的温度、外乱光等