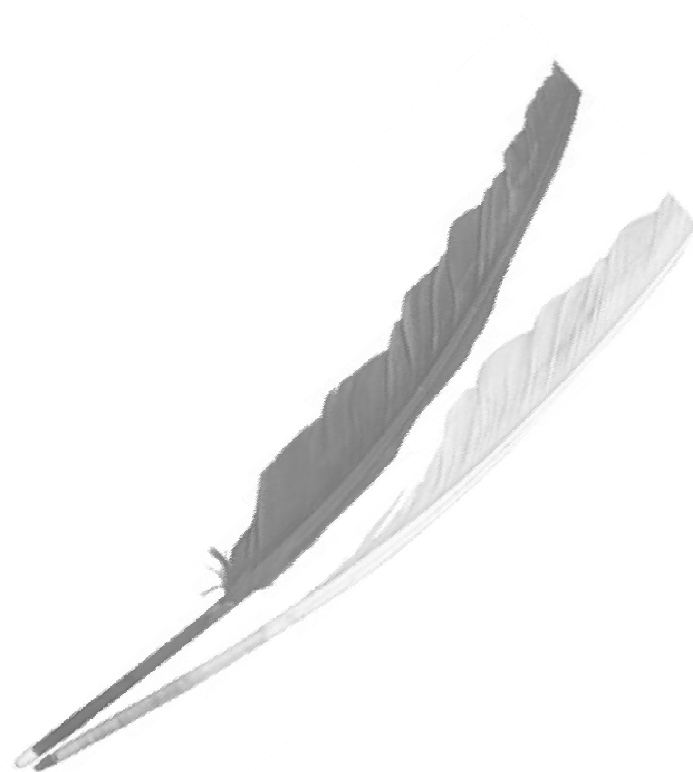




07-Aug-2011

镜头光学性能的评测技术

研发部
作成：宋红霞
2011年11月27日



舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

•提纲



舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

•概述

手机相机模组是近几年发展起来的科技产品，是光学设计、薄膜技术、微机构、模具、组装校验、电路监控、取像电路IC、影像感应器、储存记忆器等多方面的结合体，当然光学设计（光学元件、镜头）是相机模组系统的先行者。这里主要从镜头品质方面考虑来评测手机相机模组的品质。

2002年的CIF10万像素，2003到2004上半年的VGA 30万像素为主流，2004年下半年的SXGA130万像素为主流，2005到2007年高像素200、300万像素，如今更高像素500/800万像素普及，2009年Samsung推出1200万像素，而 OmniVision 将画素尺寸缩小到 0.9 微米 。随着高像素模组的普及人们要求的提高，对相机的成像质量要求越来越高，为此，需要对手机模组像质进行严格的评价，对模组的设计和产品的出货检验提供技术支持和保障。

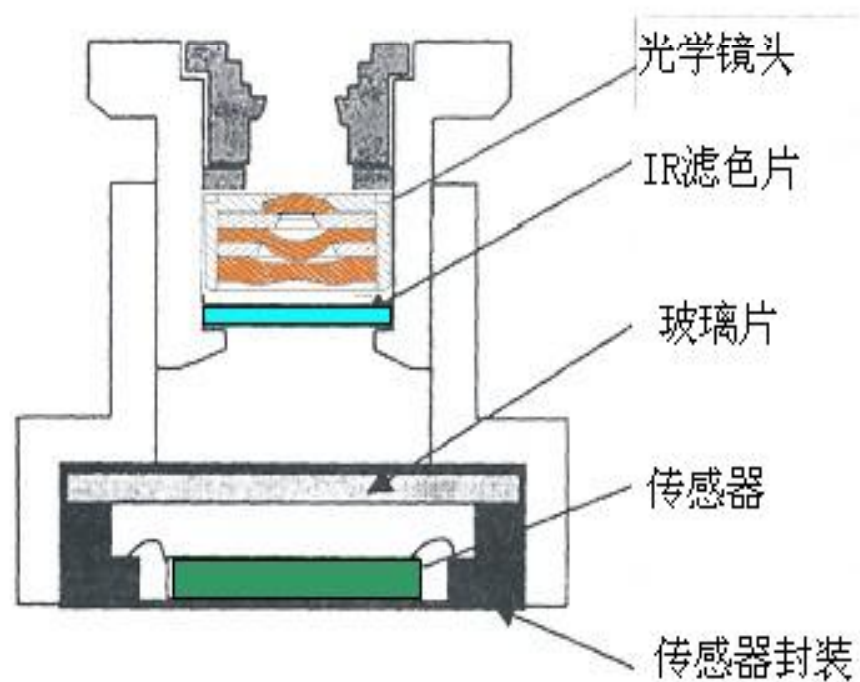
根据行业最常规的检测项目和我司现有条件，主要从分辨率、相对亮度、色彩还原、畸变、杂光、鬼影等最影响模组品质方面作一些介绍。当然，模组高度等尺寸，模组镜头的一些参数，焦距、后焦、FNO数、镜头的光谱透过率（有时包括滤色片）是否与设计符合，也是评测的项目。



07-Aug-2011

•手机相机模组的构成

手机相机模组有镜头、传感器、后端图像处理器、软板四个主要组成部分。
因此，手机相机模组品质评价也相应与这四个部分有关



手机相机模组的主要构成



07-Aug-2011

•镜头 (Lens)

镜头是相机模组的主要零部件之一，镜头模块包括镜片、框架、连接线、滤光膜与相关外围组件，目前，Lens厂商竞争的关键在于：如何减小镜片尺寸（镜头），成型工艺等。镜片（镜头）跟后端的传感器成像有很大的关联，因此，各厂商的镜片（镜头）各种规格也随着传感器的种类不同有不一样的设计，业界对“镜片（镜头）尺寸”的定义也随着传感器图像大小（pixel size）而定。

镜片材质又以塑料和玻璃之分，塑料材质成本低，重量轻，但是像质比玻璃差。而且在极度精小尺寸下，塑料成型的工艺也有一定问题，玻璃镜片虽然成本高，重量重，但有良好的成像效果，而且尺寸精细度（镜片直径与厚度）可达更高要求。

•传感器 (Sensor)

目前用在手机相机模组中的传感器可分为光电耦合组件（Charge Couple Device，简称CCD），与互补金属氧化物影像传感器（CMOS Image Sensor, CIS）两种技术。两者都是利用感光二极管（photodiode）进行光电转换，其差别在于数字数据的传输方式不同，CCD传感器是通过电荷，而CMOS是通过类似内存电路的方式传输数据。

在一般情况下，CCD和CIS 相比具有更优秀的图象质量，但是相比较CIS，其制作成本偏高，耗电较大，因此在手机相机模组中COMS是首选。CMOS相机模组具有标准独立的接口，其构成的组建包括塑料镜座（Holder）、镜片组（LENS）、IR Filter（红外线滤膜）、传感器芯片（Sensor IC）、外设电子组件（peripheral electronics components）、载板（Substrate）、软板（Flexible printed Circuit）

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

•后端图像处理芯片 (Bankend IC)

后端图象处理IC叫法很不统一，目前向着采用中央处理器进行图像信号处理的方向发展，同时可以进一步减少相机手机的体积。通常包括以下功能区块：数字讯号处理器 (format convert)、影像调整 (gamma correction)、白平衡与色彩调整 (auto white balance & color correction)、JPEG辅助处理器 (JPEG Co-processor)。

•软板 (FPC)

软板为软性印刷电路板 (flexible printed circuit, FPC) 的简称，可弯曲性的材质的电路板组件，适合不同空间形状的电子产品，同时具有可以提高配线密度、灵活度高等优点。因为多数手机中的相机模组都是内建式的，所以这些手机相机模组都需要软板。但是现在也出现了插槽式手机相机模组，并没有软板，在体积、质量和成本上都交目前软板底，具有相当的竞争力。



07-Aug-2011

•模组组装工艺

模组封装主要采用CSP和COB两种方式，由于COB拥有质量与价格上的竞争优势，现已逐渐成为业界主流。

CSP和COB比较：

	CSP-Chip Scale Package	COB-Chip on Board
优势	凭借玻璃覆盖，模块组装厂商可有较高良率（95%）	因为Packaging Level（包装水平），封装厂可在无多添特殊下发展，因为吸引绝大多数厂商投入
劣势	1. 因为Wafer-level（晶圆级），且制程需专利限制	1. 封装制程极易造成残渣掉落，发展初期良率不易提升（良率需达90%以上才可能商业运转） 2. 成本比CSP高15%
未来需努力的课题	手机客户要求上盖整机出货的设计	镜头组装厂商组装
制造厂商	台湾DSC厂商可自行组装	转由封装厂商组装

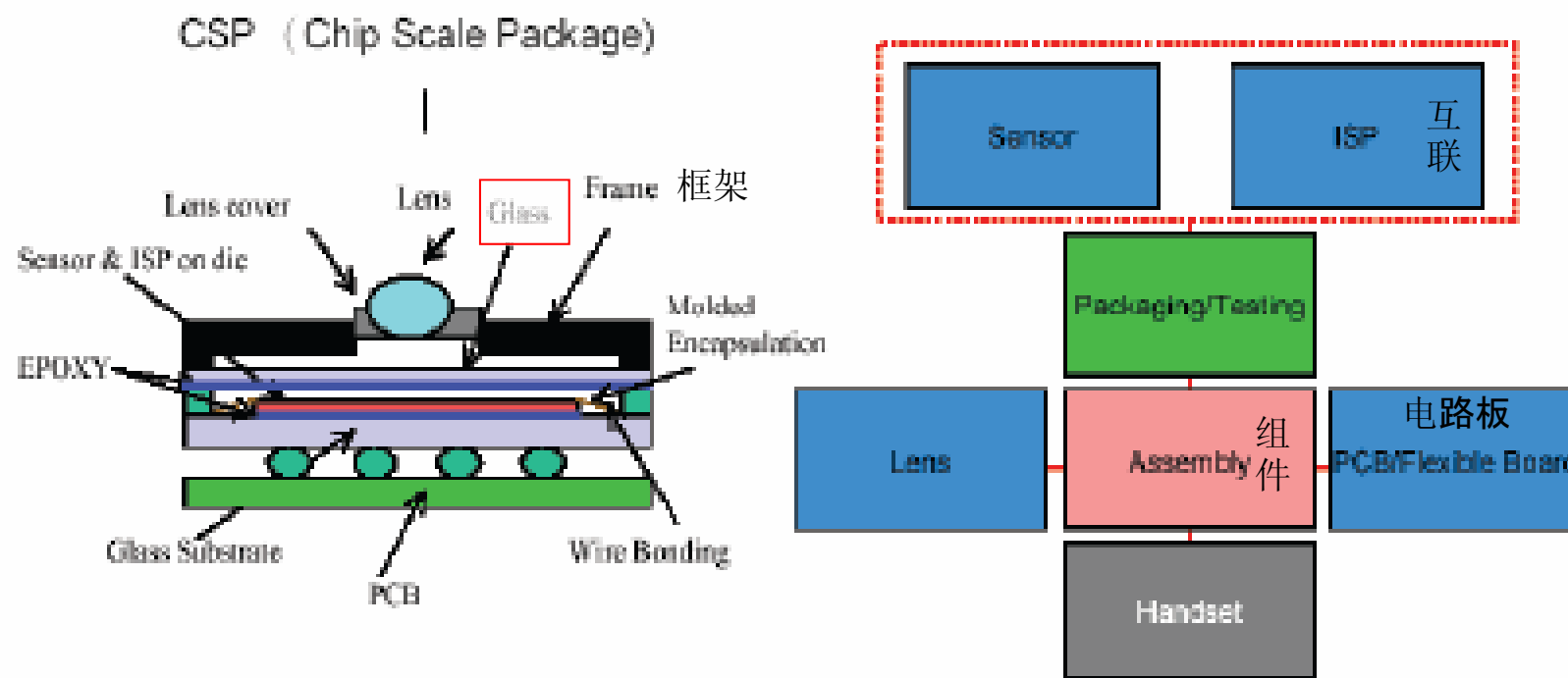
舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

- CSP (Chip Scale Package)

CSP组装工艺原理图:

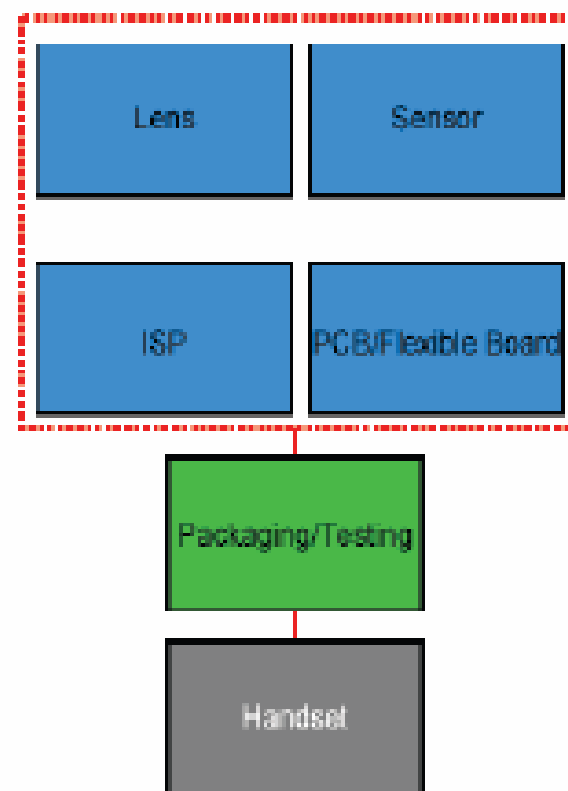
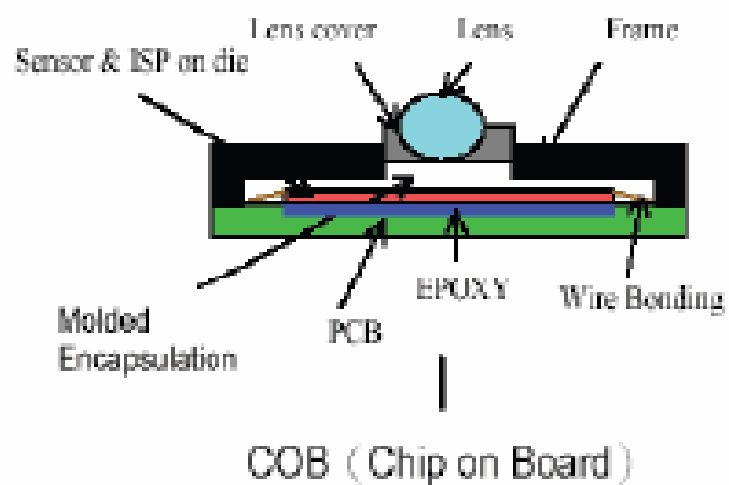




07-Aug-2011

- COB (Chip on Board)

COB组装工艺原理图:





07-Aug-2011

几种像差的基本概念

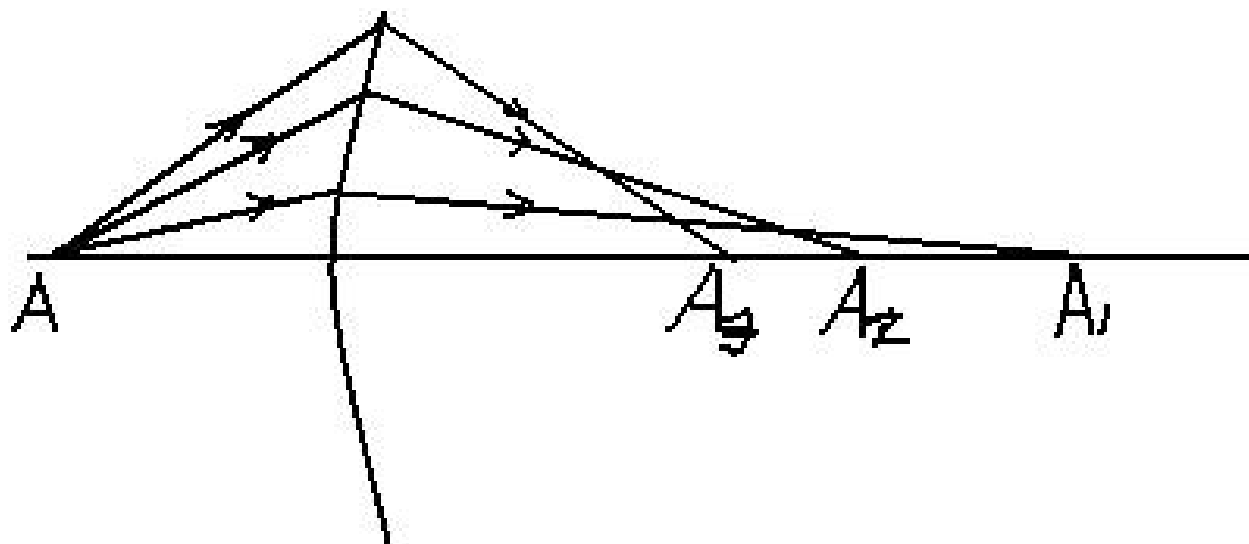
- 球差
- 彗差
- 象散
- 场曲
- 畸变
- 色差



07-Aug-2011

球差

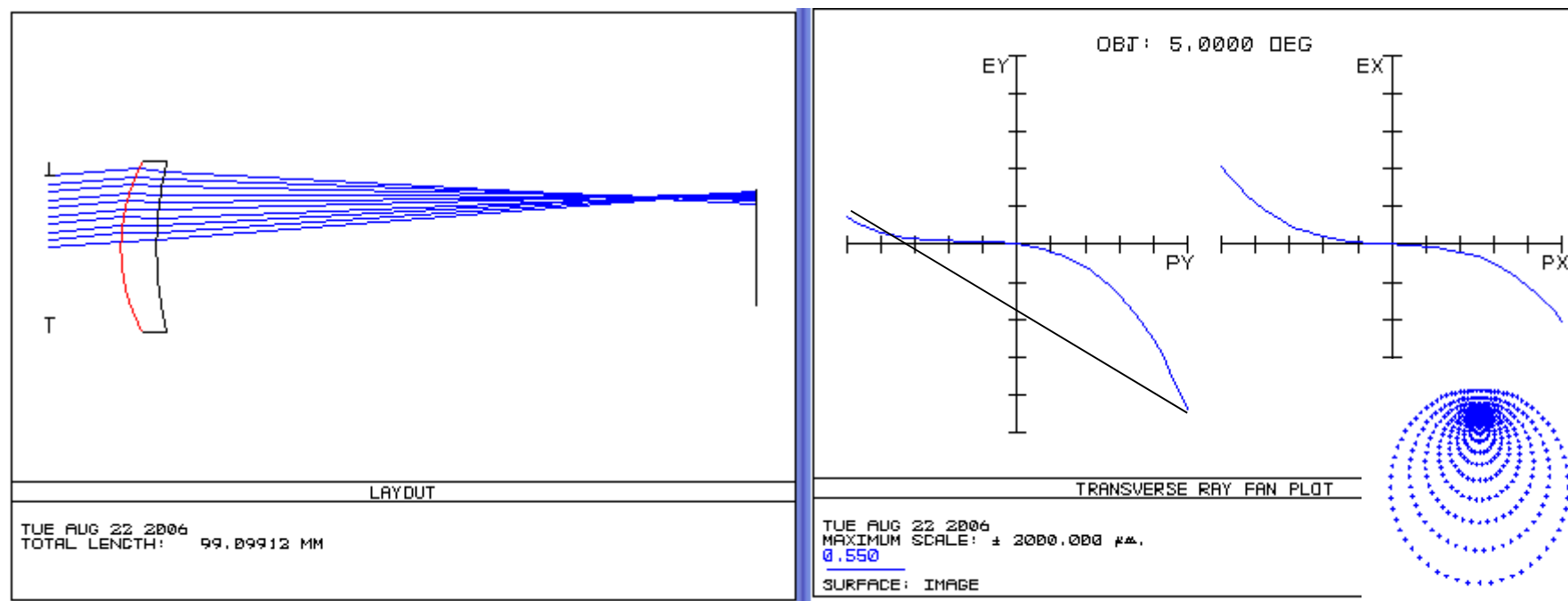
- 轴上物点以宽光束成像时，在像方不能得到一个唯一的像点——球差





07-Aug-2011

彗差



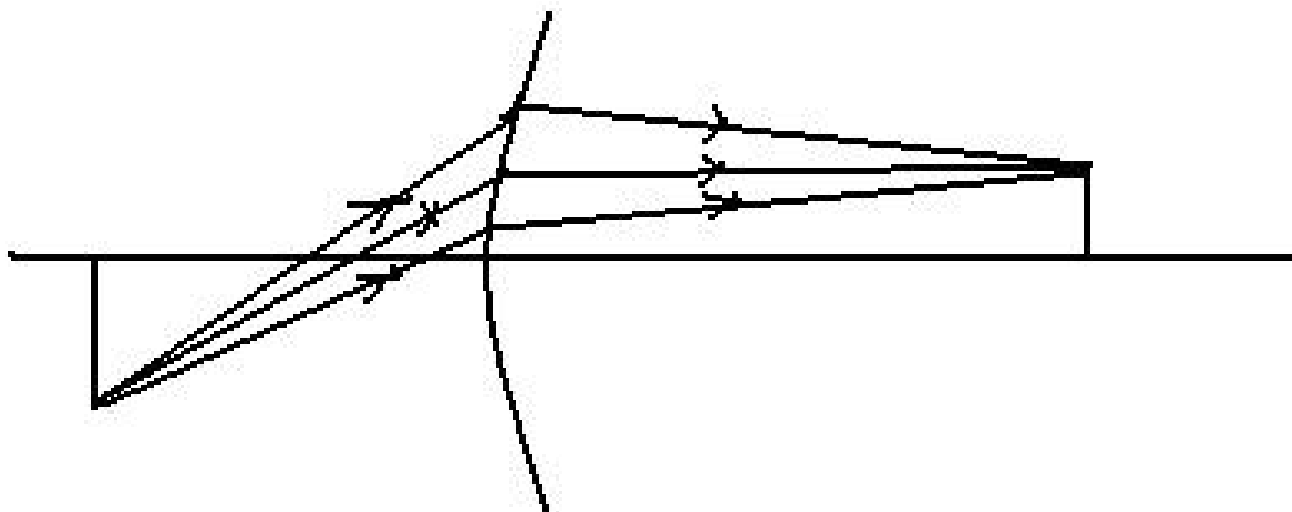
彗差是由于通过透镜的轴外光线相对主光线的轴向放大倍率不同而产生的



07-Aug-2011

彗差

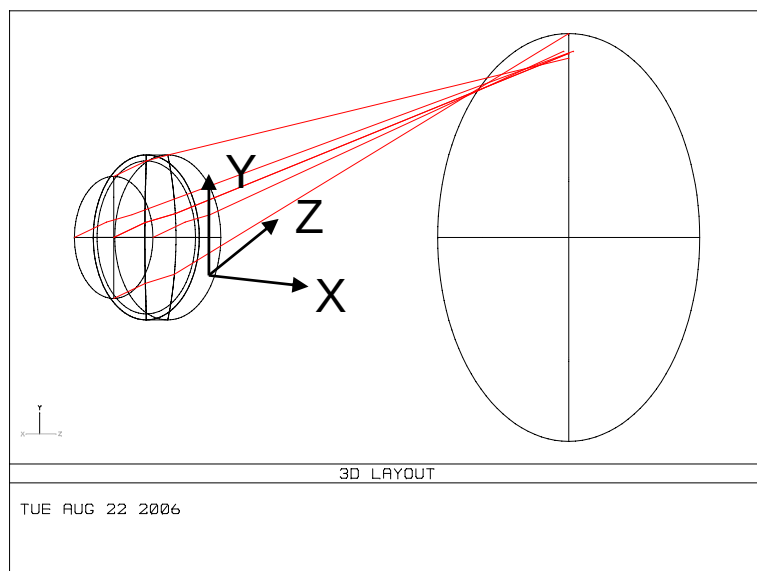
- 对主光线对称的光线，经系统成像后失去对称性——彗差





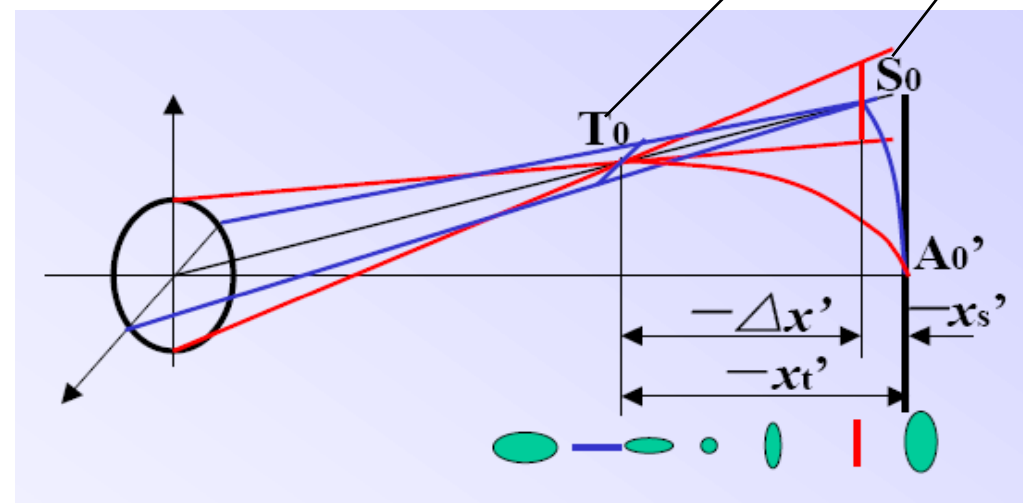
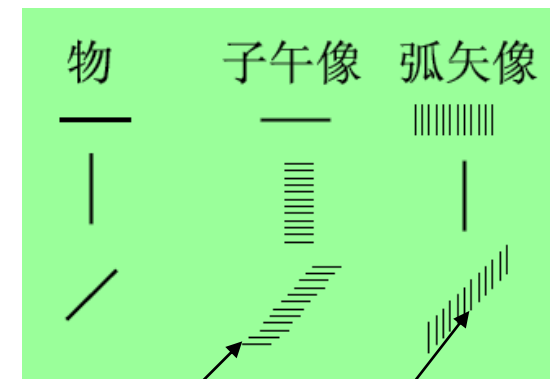
07-Aug-2011

像散与像面弯曲



1、子午像面：轴外物点的主光线与光学系统主轴所构成的平面，称为光学系统成像的子午面。位于子午面内的那部分光线，统称为子午光束。子午光束所结成的影像，称为子午像点 t 。子午像点所在的像平面，称为子午像面。

2、弧矢像面：过轴外物点的主光线，并与子午面垂直的平面，称为光学系统成像的弧矢面。位于弧矢面内的那部分光线，统称为弧矢光束。弧矢光束所结成的影像，称为弧矢像点 s 。弧矢像点所在的像平面，称为弧矢像面。

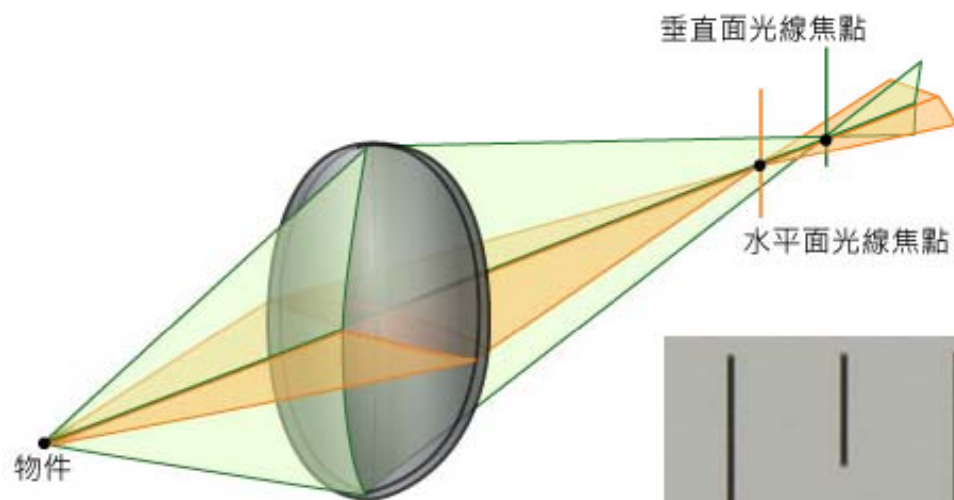


- 当YZ面与XZ面上的焦点位置不同时, 发生像散
- 像散为零时的像面弯曲称作“匹兹凡”面弯曲

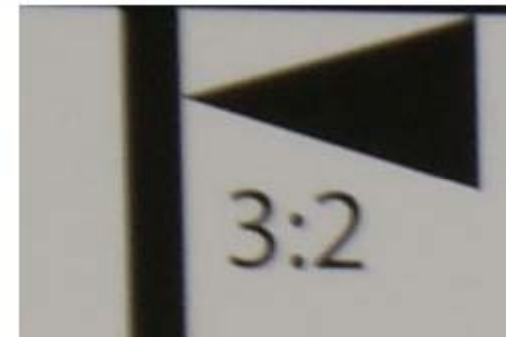
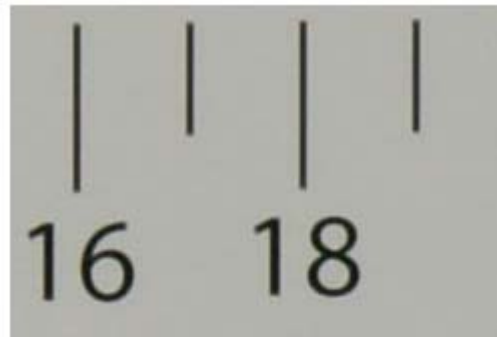


07-Aug-2011

像散(Astigmatism)



在测试镜头时常会看中间及边缘的成像质量, 几乎可以肯定, 越接近边缘的影像质量都会下降, 这是由于水平面光线(橙色)和垂直面光线(绿色)聚焦在不同焦点上所引起。



上图是测试图中 100 % 局部裁切, 左为图片Center, 成像清晰;而右为图片的Corner, 出现明显象散

像散原因: 如曲面不均匀, 有如人眼的散光问题, 或镜片组没有对准中轴。

舜宇浙江光学研发部



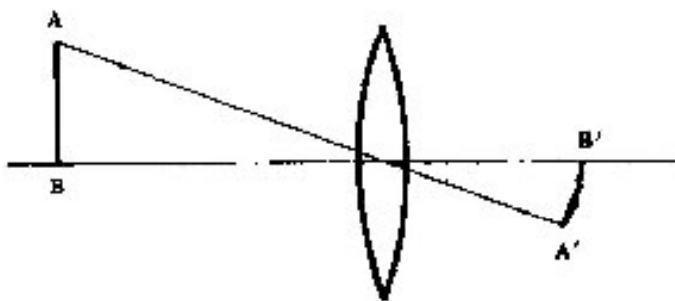
07-Aug-2011

场曲

- 场曲——像面弯曲

但存在场曲时，不可能得到一个整个像面都清晰的平面像；

当调焦至画面中央处的影像清晰时，画面四周的影像模糊；而当调焦至画面四周处的影像清晰时，画面中央处的影像又开始模糊。



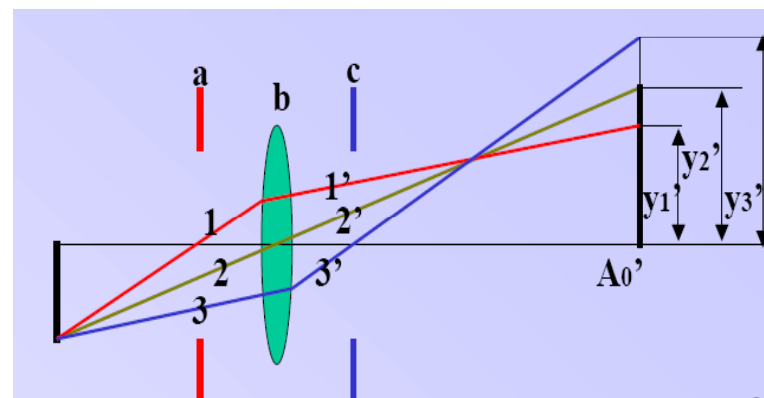
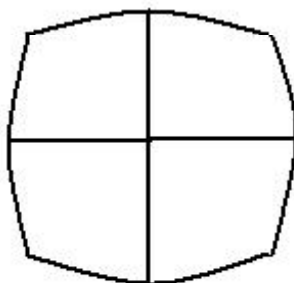
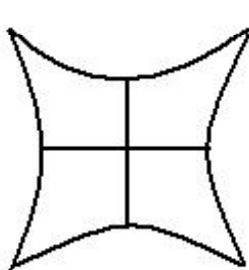
舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

畸变

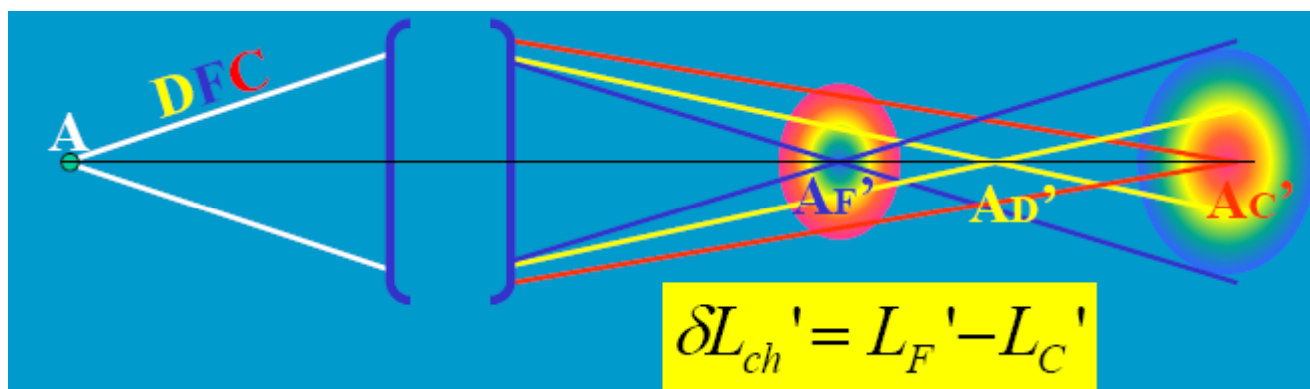
- 畸变是垂轴放大率不为常数时产生的成像缺陷；
- 畸变分为：枕形和桶形两种





07-Aug-2011

位置色差

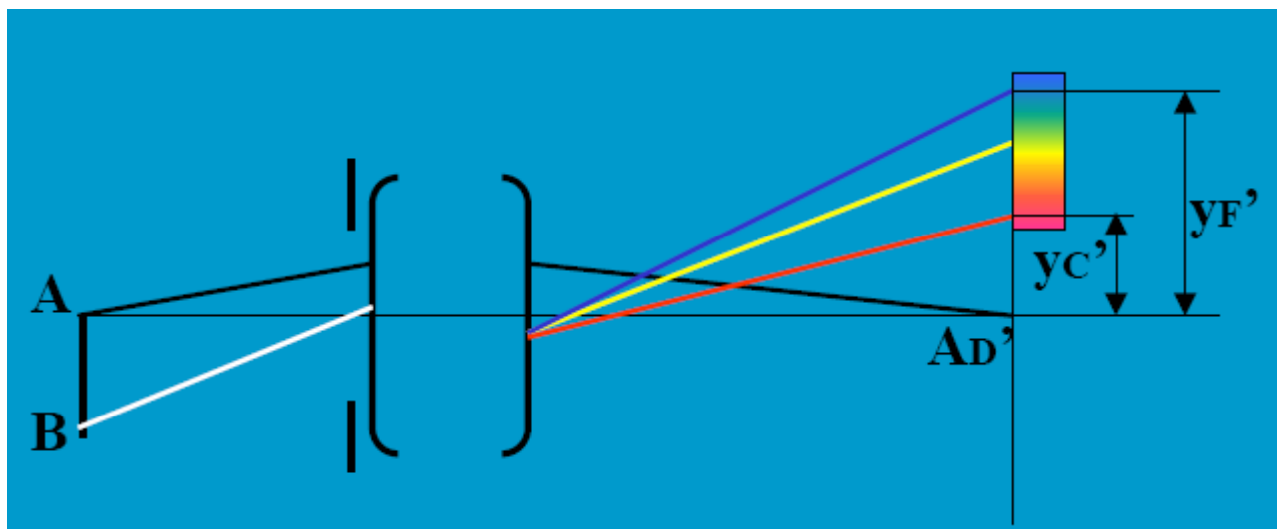


- 主要是同种材料对不同波长的折射率不同引起的



07-Aug-2011

倍率色差

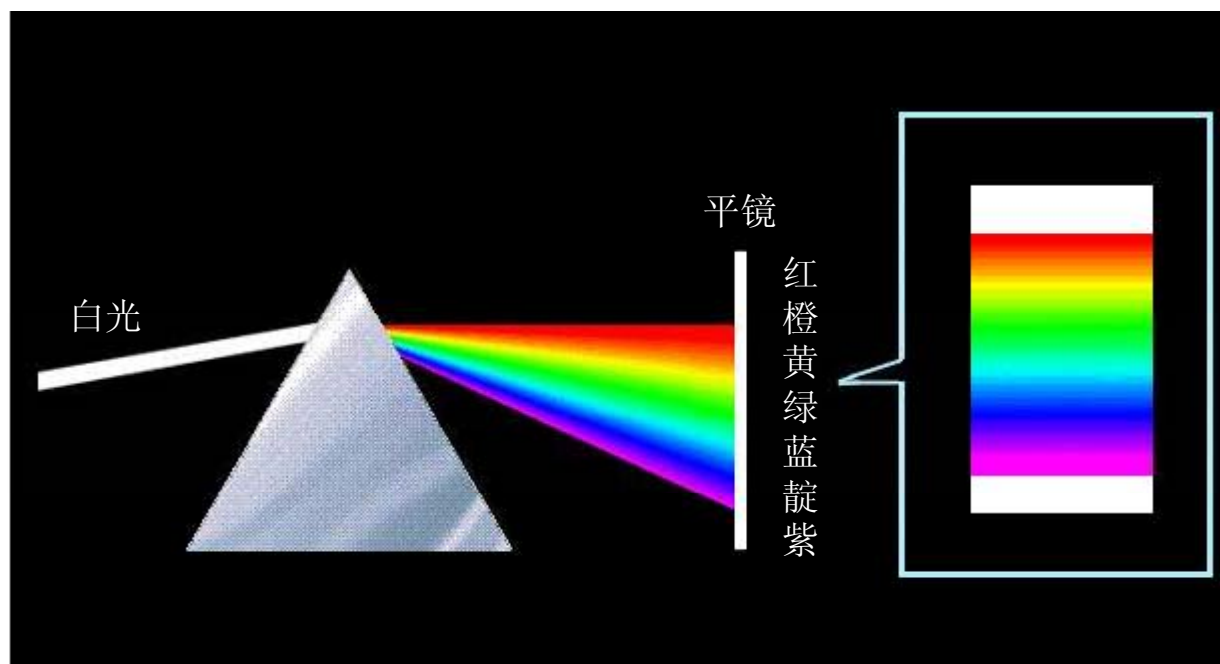


- 不同波长的主光线对参考波长的主光线的放大倍率不同



07-Aug-2011

色散

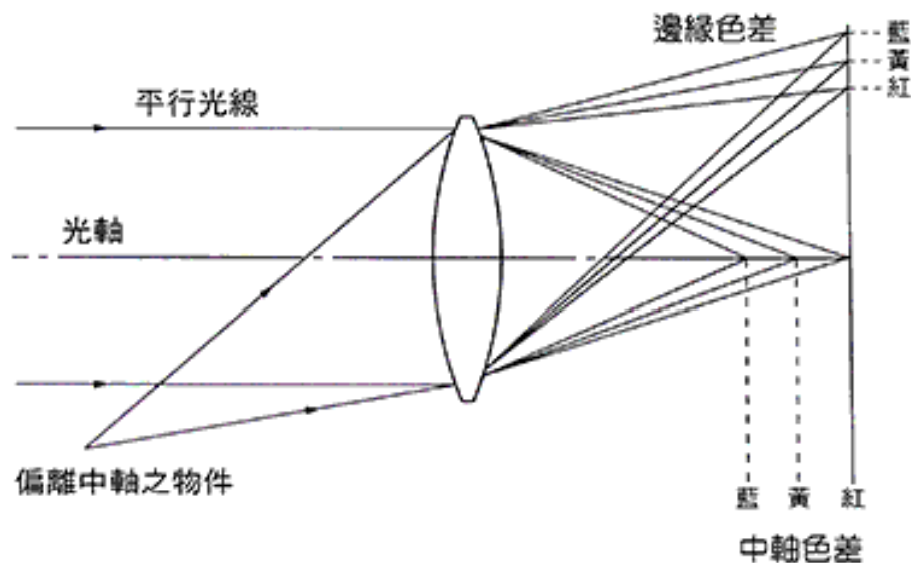


- 利用菱镜便可将白光分解成不同颜色（波长）的光线



07-Aug-2011

色散



光线穿过镜头后，有机会出现类似棱镜的效果，不同波长的光线不能在同一焦点上聚焦，在影像上形成色散，即是所谓的紫边现象。

由于短波长的折射率较高，因此紫色对色差也特别敏感。由色差而形成的紫边，通常可以在画面边缘看到，而由于紫色折射的较多，所以紫边一般都是由内向外扩散。

舜宇光学研发部



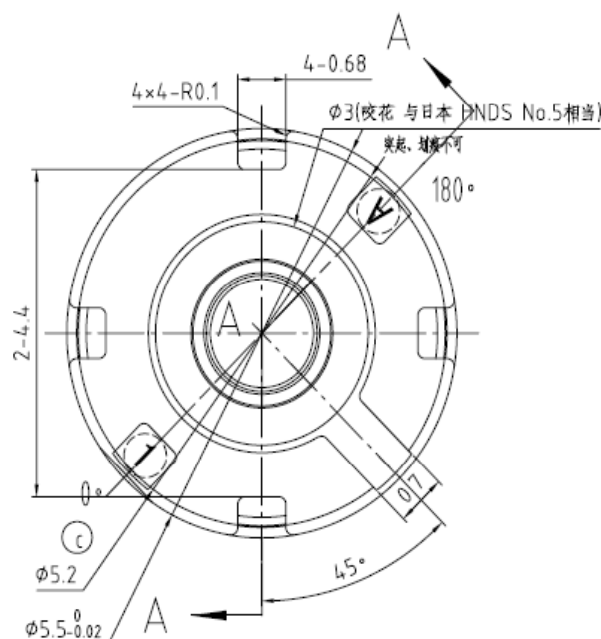
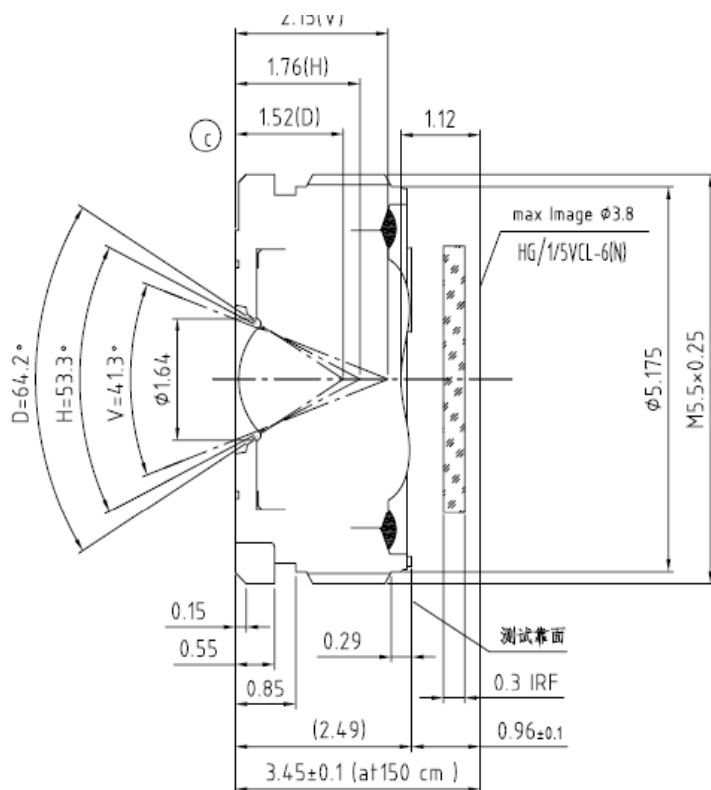
07-Aug-2011

- 镜头产品的开发流程
 - 项目输入
 - 技术评估
 - 详细设计
 - 客户确认
 - 出图
 - 开模
 - 组立
 - 评测
 - 出货



07-Aug-2011

● 镜头产品规格书



LENS	
● Total Track	3.45±0.1(at Infinity)
● E.F.L	2.789
● B.F.L(Optical)	1.12
● F.F.L	0.96±0.1
● F.NO	2.4±5%
● Field of view	
VERTICAL	41.3°(Y'=1.05)
HORIZONTAL	53.3°(Y'=1.4)
DIAGONAL	64.2°(Y'=1.75)
● ENTRANCE PUPIL	
Position	0.518 (Right to from surface)
Diameter	Ø1.196
● TV-Distortion	<0.4%
● REL. illumination	58%(Y'=1.75)
● CHIEF RAY ANGLE	<26.05°
● Max image	Ø3.8
● COMPOSITION	3P ELEMENTS
● SENSOR	1/5" CMOS (2.8x2.1, DIA.=3.5)
IR-Filter	
● Thickness	
● Cut Off	
Barrel Material	PC增透型(BL)

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

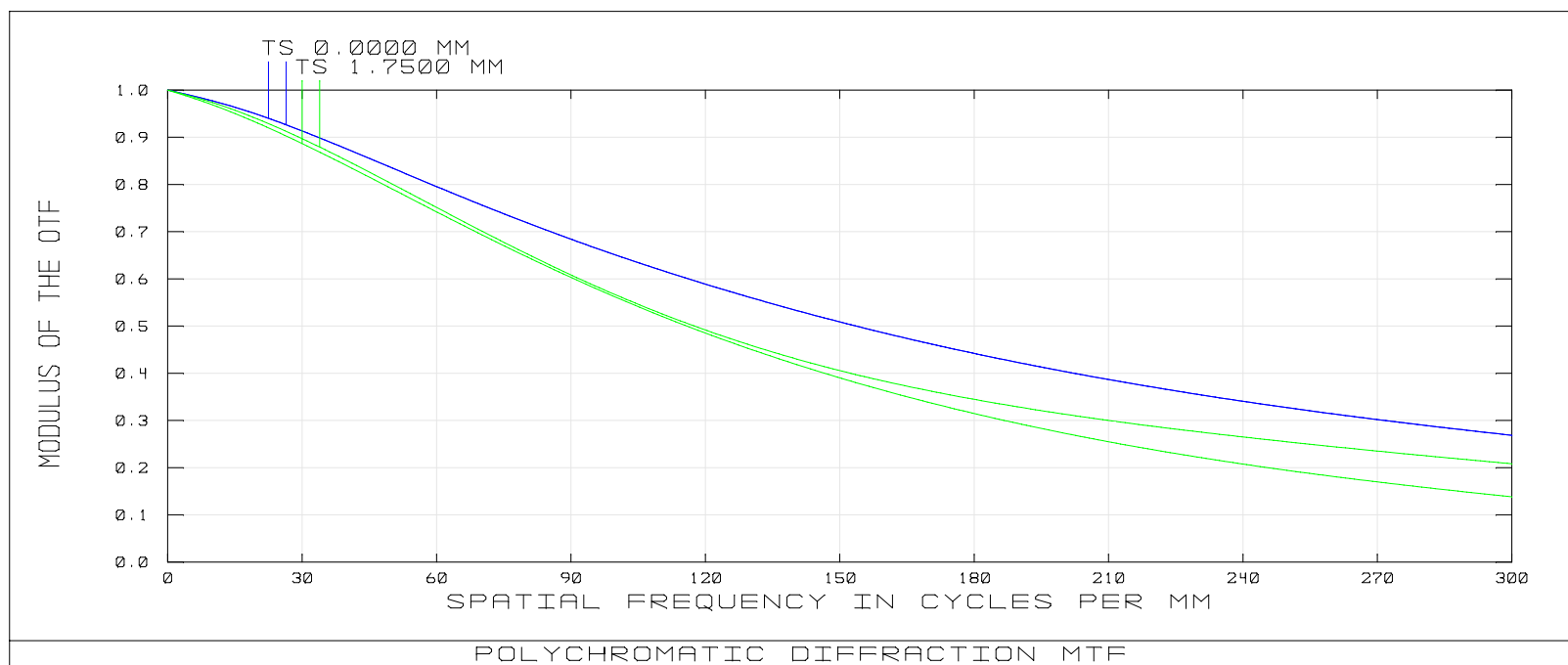
- 镜头评测的主要项目与方法
 - MTF、鉴别率测试
 - 畸变(Distortion)
 - 像面相对照度(Relative Illumination)
 - 色彩还原性(Color check)
 - 视场角FOV(View of angle)
 - 主光线入射角CRA(Chief Ray Angle)
 - 室内外景物实拍
 - 杂光测试(flare)
 - 鬼像测试(ghost)



07-Aug-2011

• MTF (Modulation Transfer Function)

MTF: 为光学调制传递函数测试, 即 Contrast Transfer Function, 也就是: 对比度转换函数。Modulation 是 I 的 maximum 减去 I 的 minimum 除以 I 的 maximum 加上 I 的 minimum; 也就是 (光的最亮度减去光的最暗度) 与 (光的最亮度加上光的最暗度) 的比值, 所得出来的结果 M , 就是光的对比度。物的 Modulation 为 M_o , 像的 Modulation 为 M_i , $MTF = M_i / M_o$ 。是利用一光强分布在空间上成正弦变化的物体经由待测系统收集并分析成像面上的光强分布 (PSP), 最后经由傅里叶换算所得出的结果。它是手机模组镜头最准确的像质评测方式。这是理论模拟的 MTF 曲线图:



舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

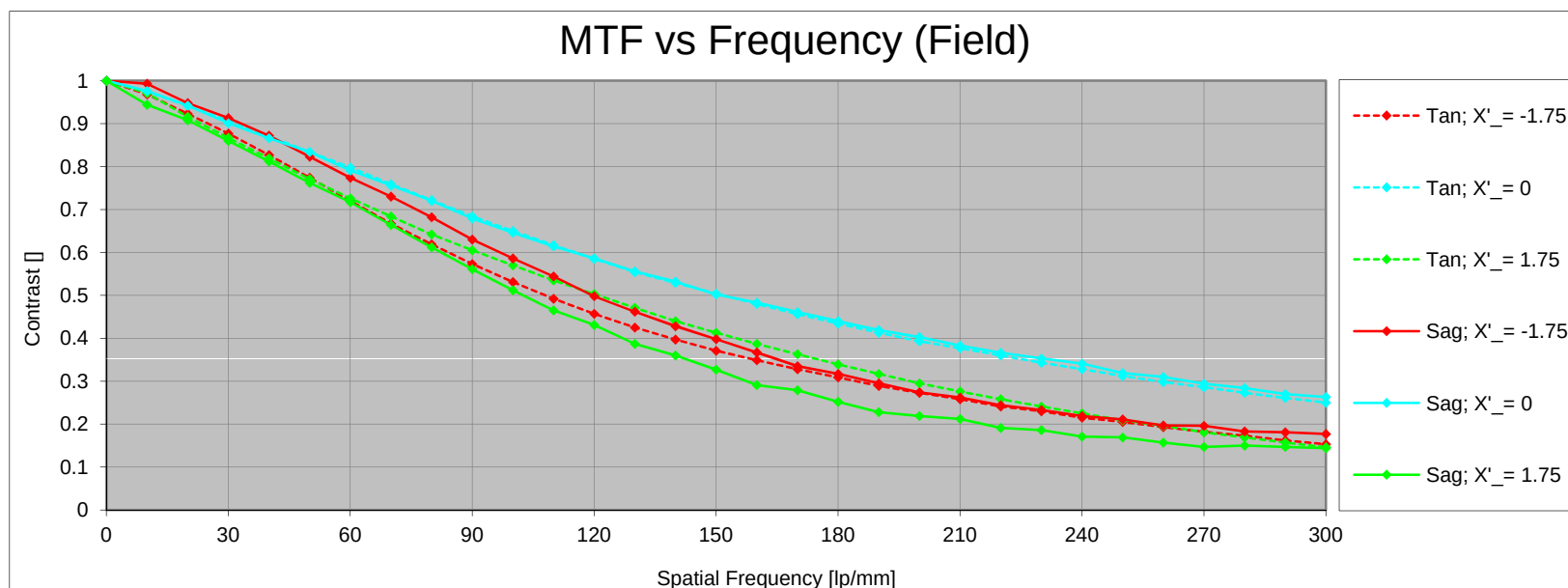
• MTF检测方式:

我司目前主要的检测设备有:

1. 德国Trioptics公司的Image Master HR (研发阶段用 MTF测试仪)
2. 德国Trioptics公司的Image Master Pro5 (工业性量产用 MTF测试仪)
3. UMA 九华机 (量产用 MTF测试仪) 国内厂家用的比较多, 渐渐将会被淘汰

HR 和 Pro5是国际上比较认可的MTF测量设备, MTF曲线, 是绝对测试, 能够很好的评价镜头设计加工的优劣, 对验证和改善镜头品质方面有较好的参考价值。

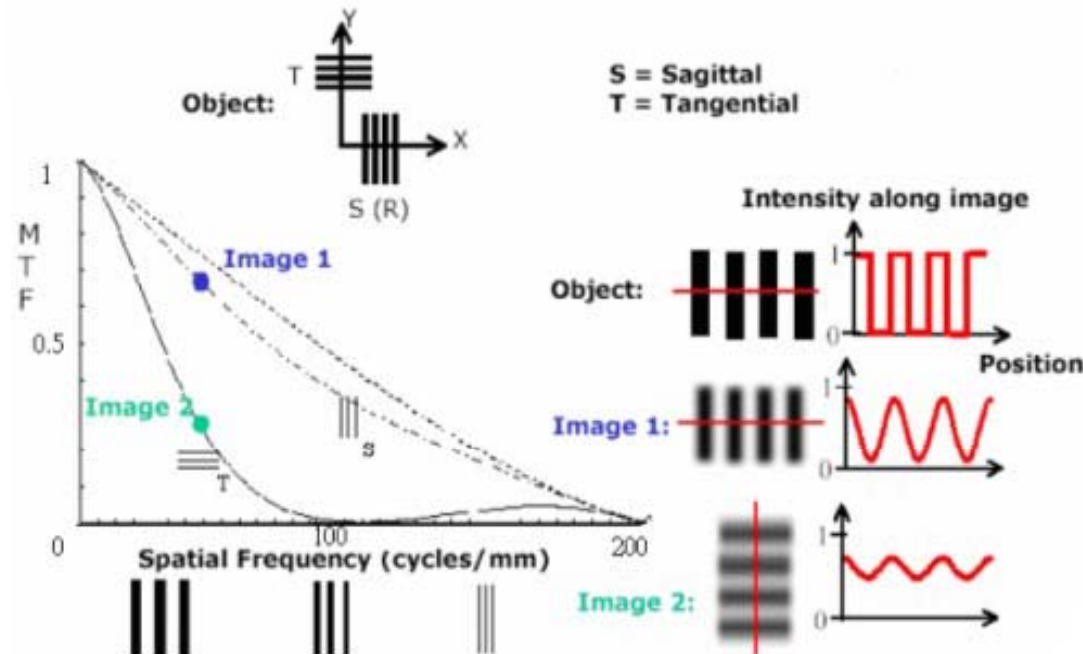
这是测量的MTF曲线:



舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

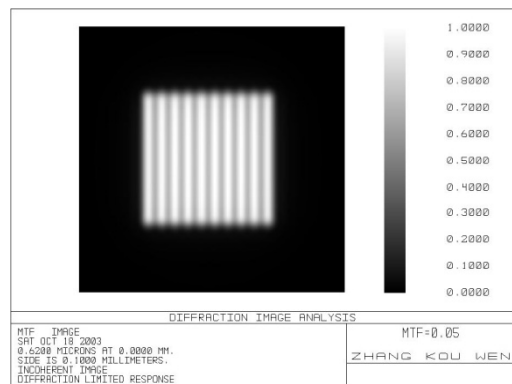


上图是光学模拟与镜头业界商务中所常用的MTF调制转换函数的图例，横坐标代表每毫米解析若干黑白线对的空间频率，纵坐标为像面上黑白线对（对比度）为0~1的MTF值，其MTF值与方向有关，图中T代表Y轴方向，S代表X轴方向。

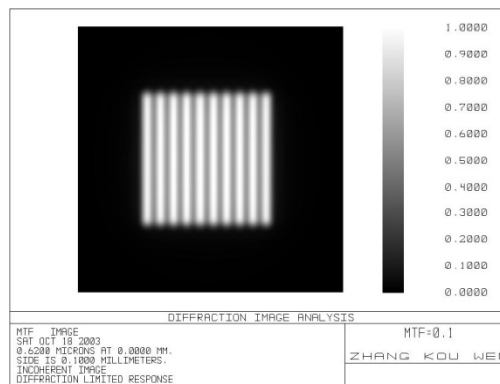


07-Aug-2011

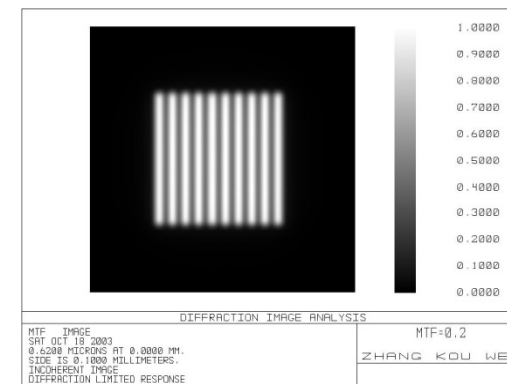
• 鉴别率MTF标板图片



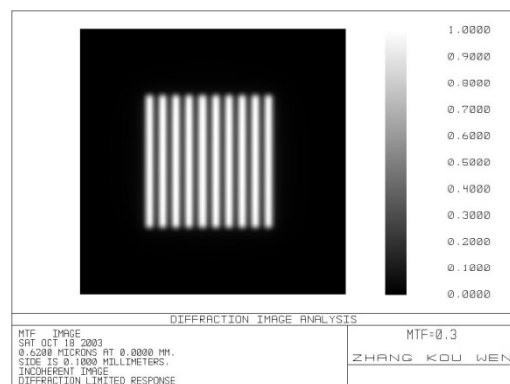
MTF=0.05



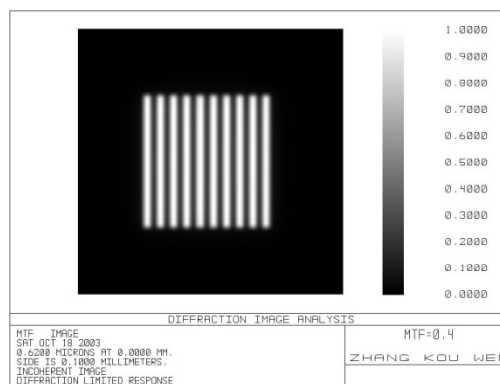
MTF=0.1



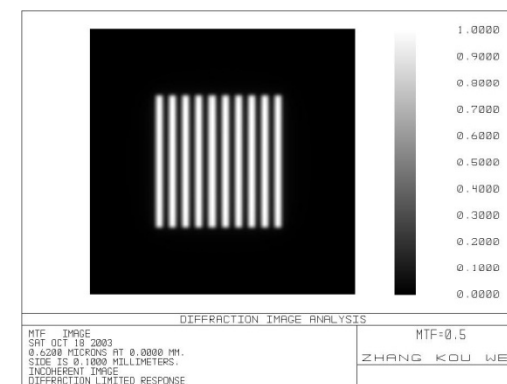
MTF=0.2



MTF=0.3



MTF=0.4



MTF=0.5

舜宇浙江光学研发部



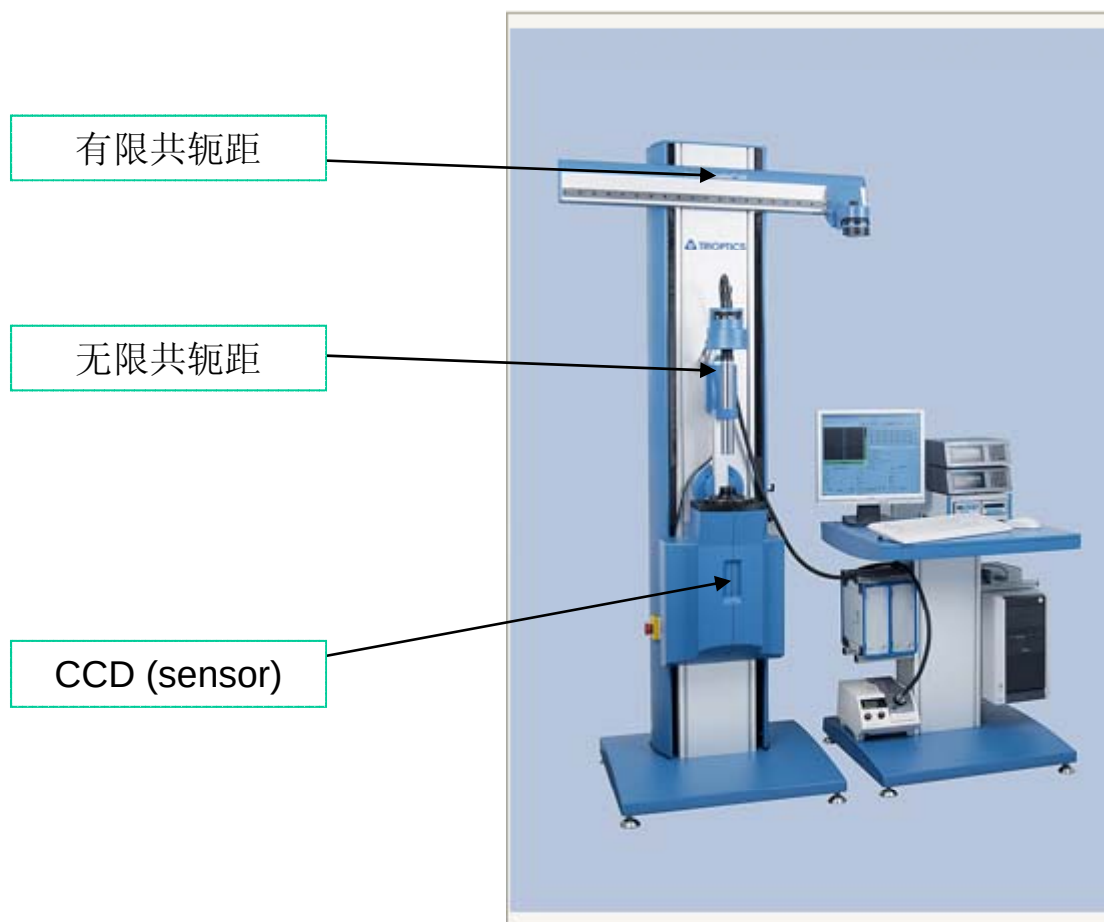
07-Aug-2011

•Image Master HR

HR 检测原理：光线从前端入射至Chart, 经过平行光管入射至成像系统（lens）投射到CCD（物镜）上，模拟一个正常光线入射成像的过程，就是我们通常所说的正投影的一个检测方式。

这个设备有个弊端：有限共轭系统测量行程只有80cm，因此对Lens的测量像面受到了限制；

无限共轭系统的最大张角是 $\pm 90^\circ$ ，实际是 $\pm 86^\circ$





07-Aug-2011

- Image Master HR 功能介绍:

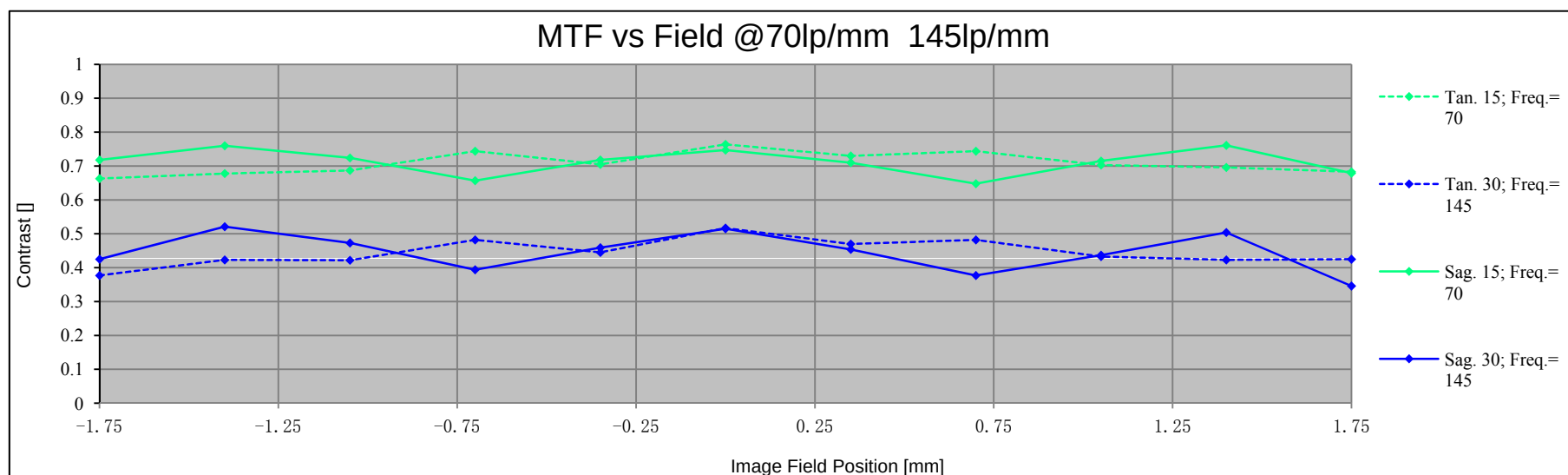
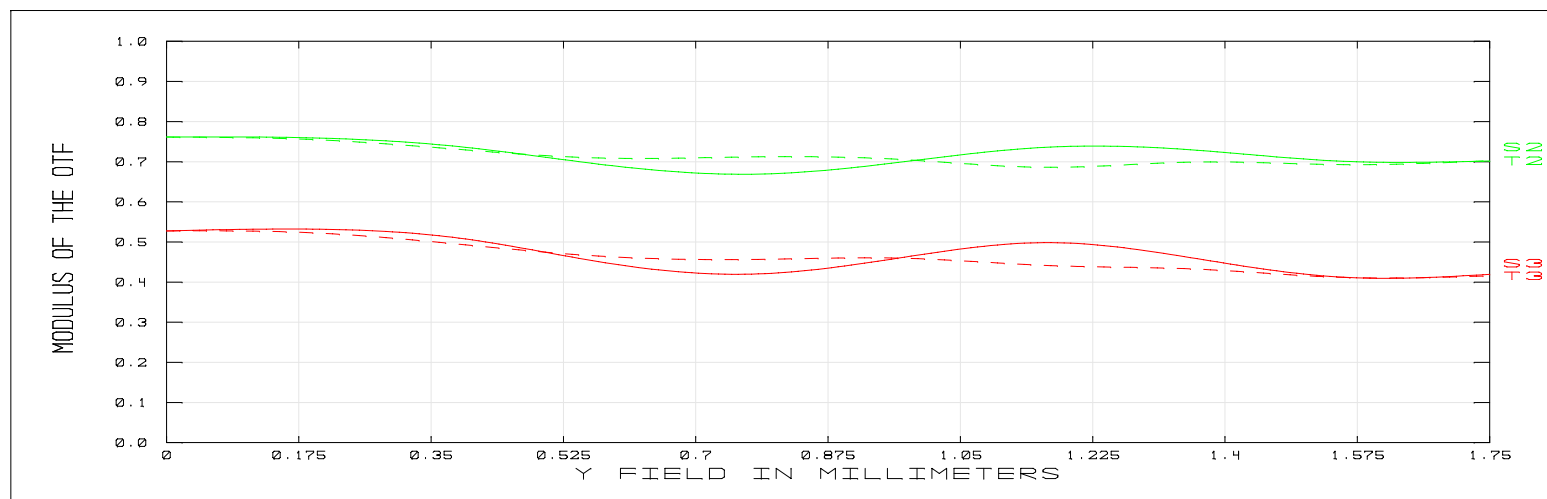
- 在轴和离轴的MTF、LSF、PSF
- EFL (1-50mm)
- ThroughFocus/Freq. (离焦)
- Optical Distortion
- 横向色差和纵向色差
- 场曲、像散
- FOV(View of angle)视场角
- CRA(Chief Ray Angle)主光线入射角
- Relative Illumination相对照度

Trioptics HR 可测试物距在有限和无限距离时的镜头MTF曲线, 适用于测量EFL在0-50mm范围内的各类镜头, 可测量的项目比较多, 因此测量速度比较慢, 一般适用于研发阶段的测量分析, 测量精度比较高。



07-Aug-2011

• MTF vs Field

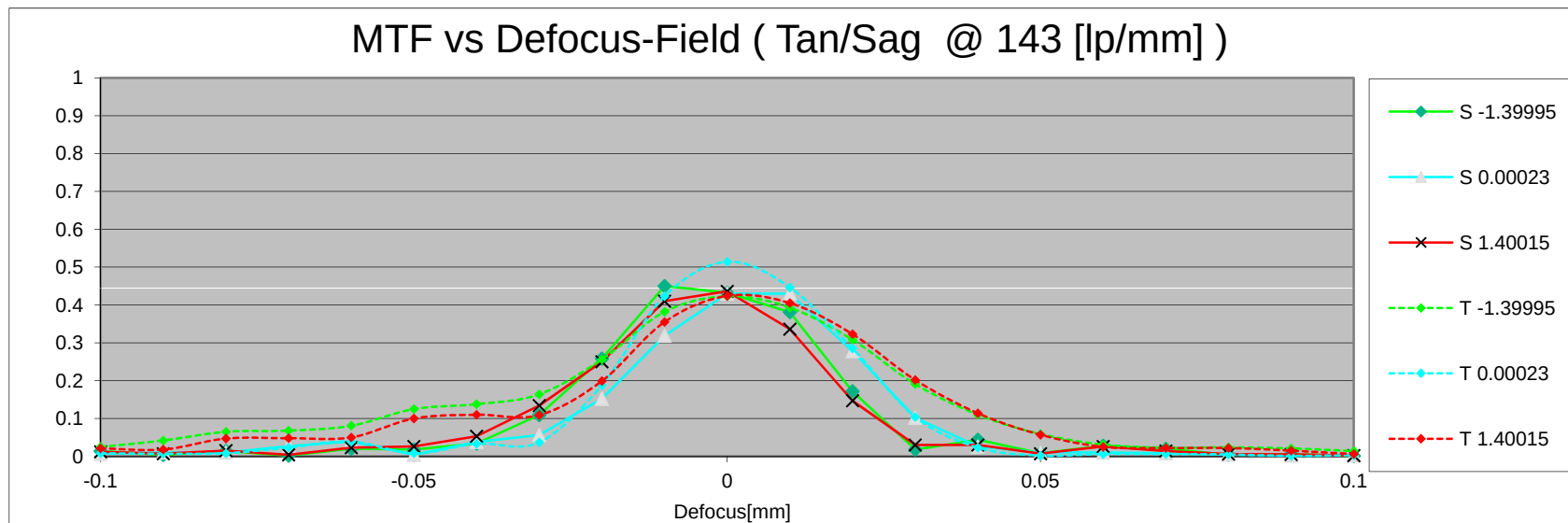
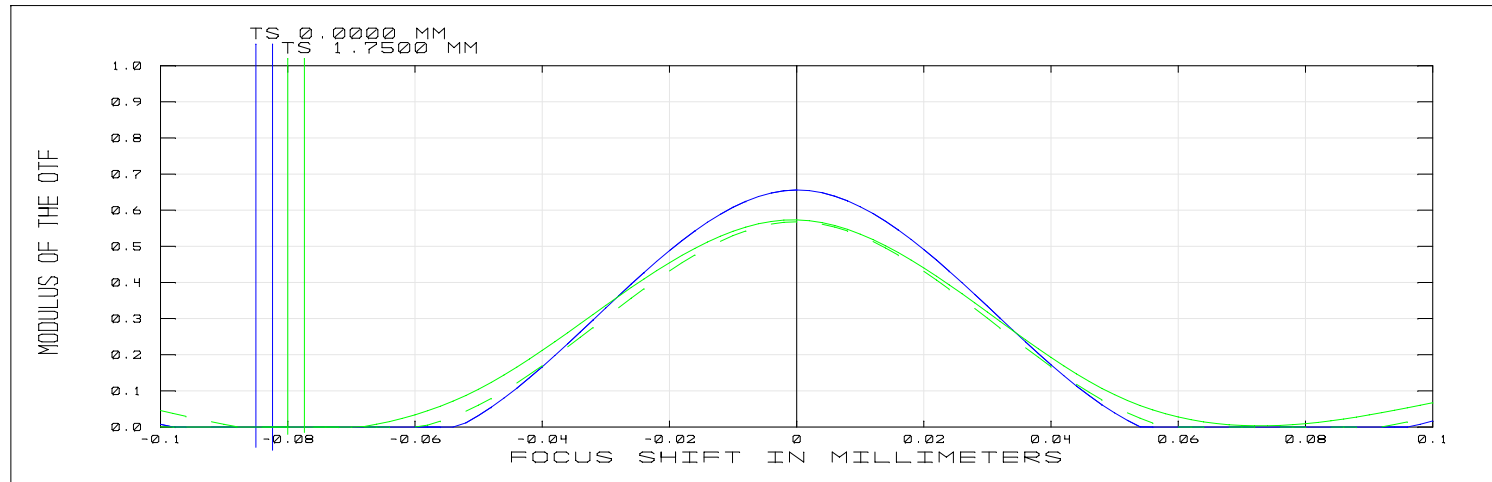


舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

• MTF vs Defocus

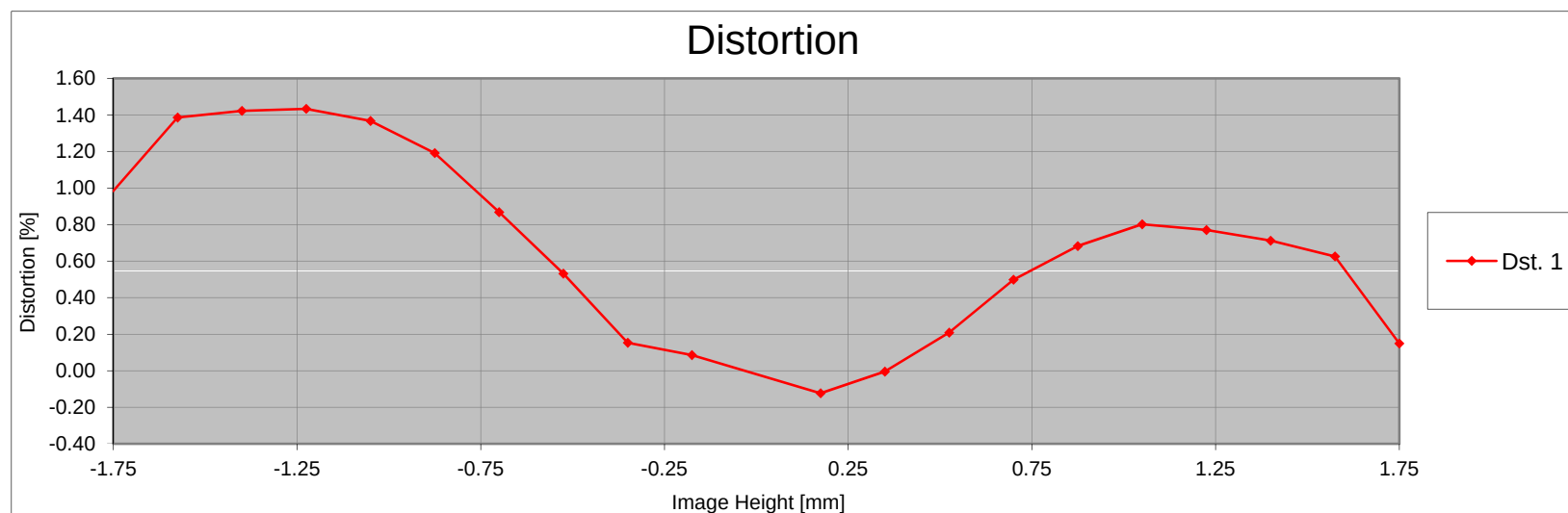
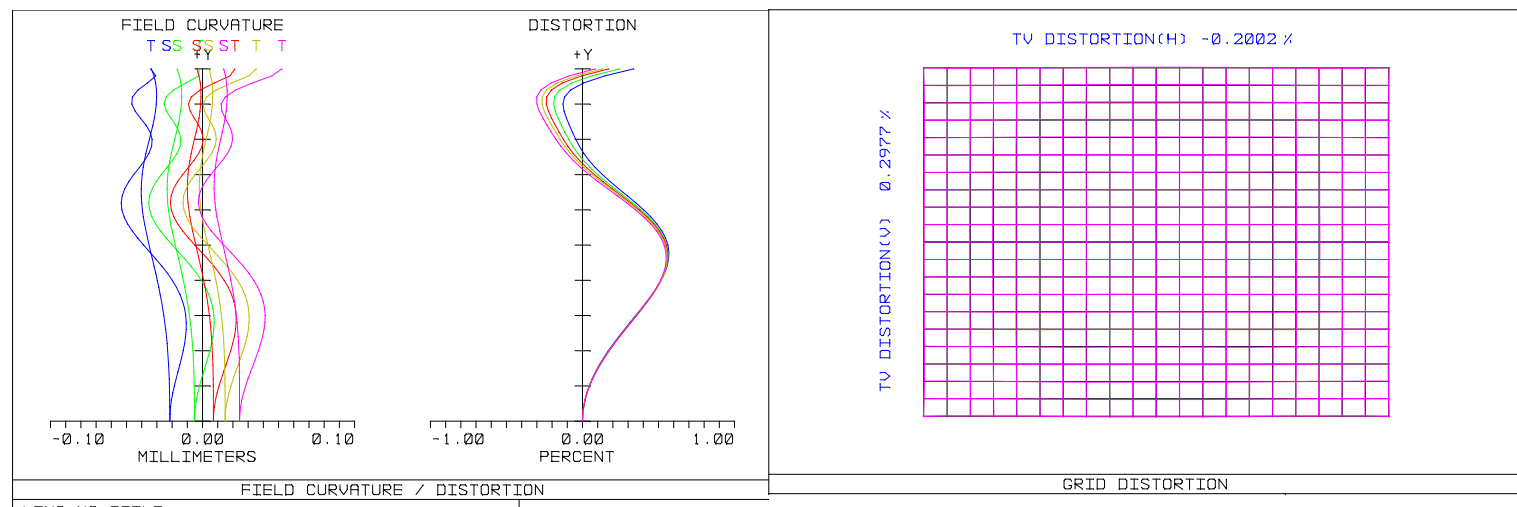


舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

• Distortion

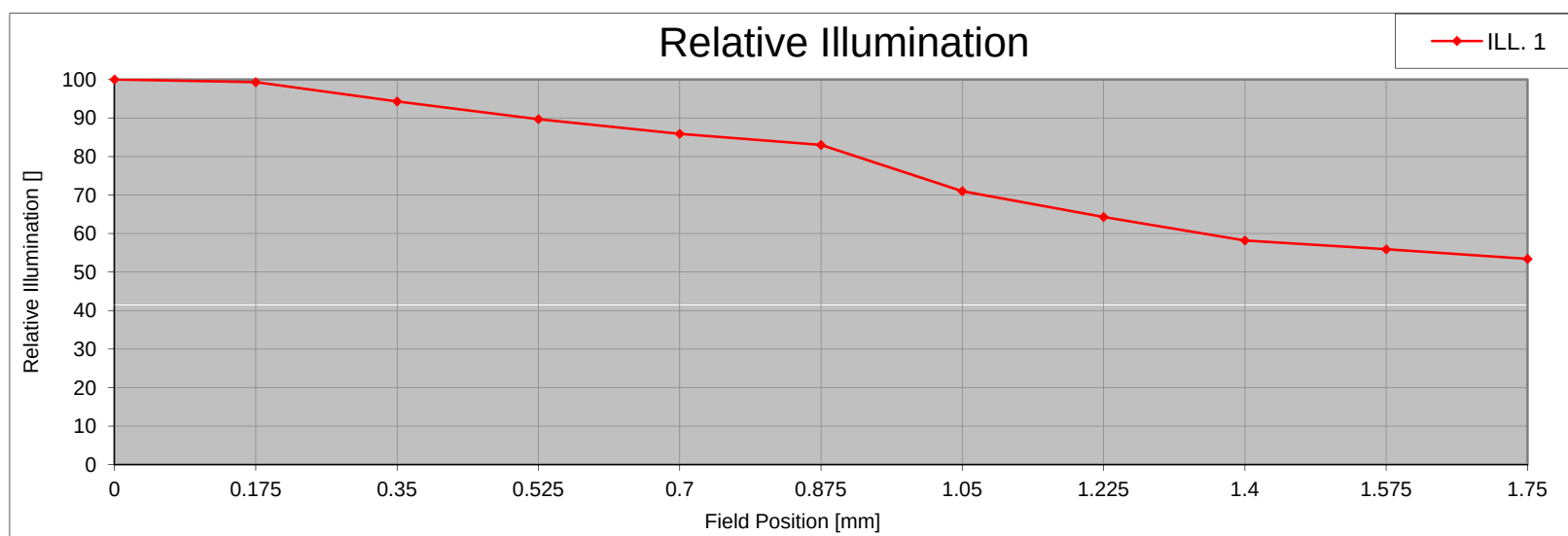
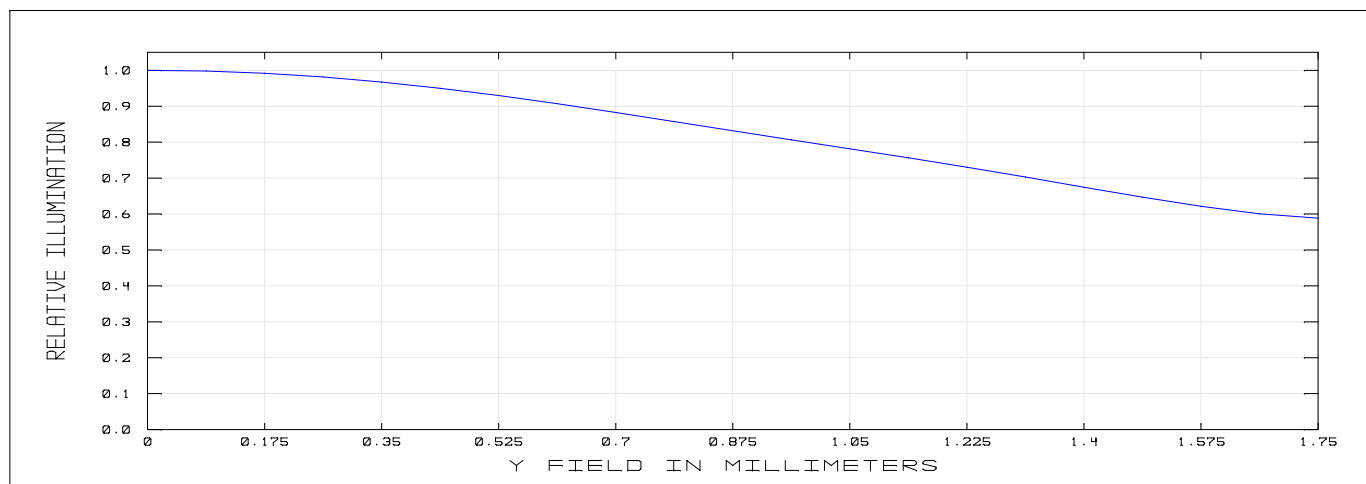


舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

- Relative Illumination

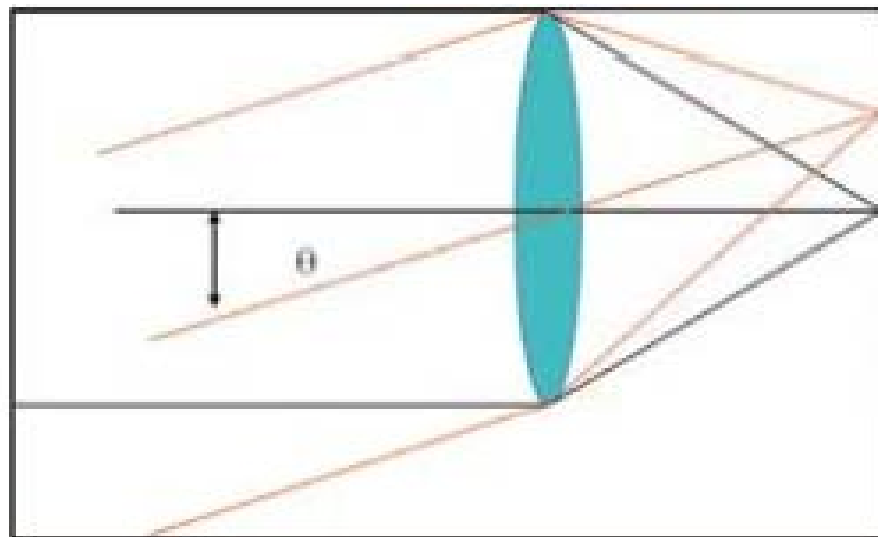


舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

- CRA的概念:

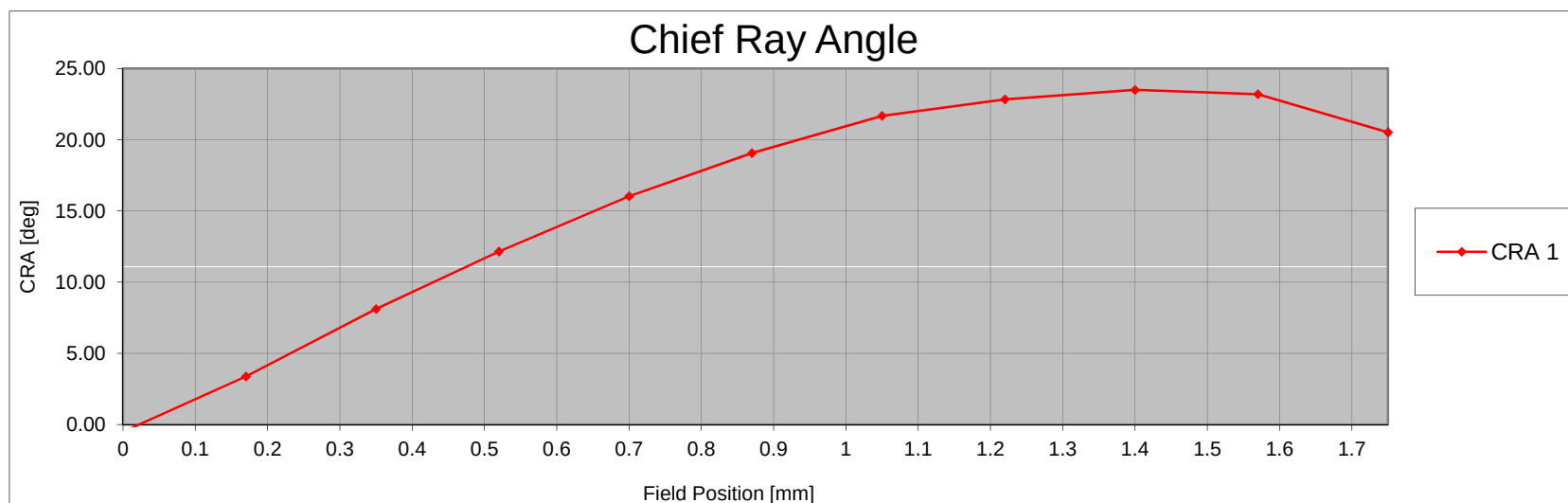
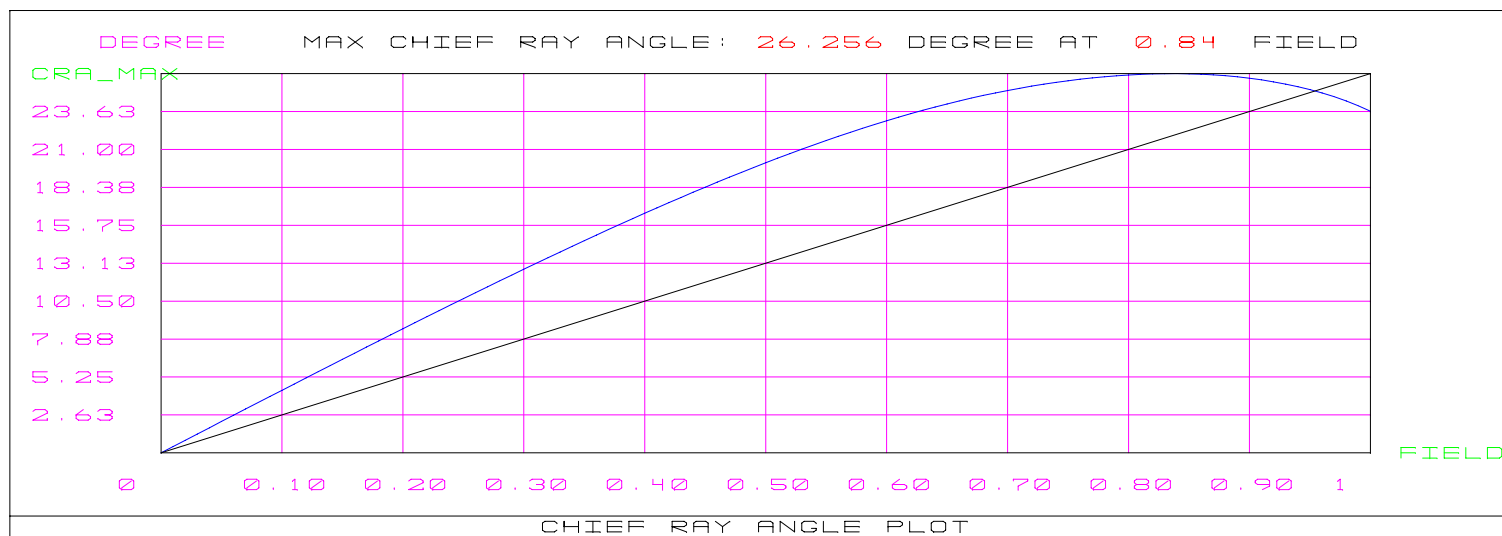


要定义镜头主光线角，首先须定义主光线。主光线在光学上的定义为一个通过入瞳中心的离轴光线，而主光线与感光器(sensor)法线方向的夹角即为镜头主光线角(如图所示)。以手机镜头而言，镜头主光线角在 25 度左右。早期的镜头使用底片作为感测器，光束直接打在感光颗粒上无任何遮挡，现在手机所使用的 CMOS 感测器除了感光区域外，还包含电路，因此在亮度不足或偏暗的情况下，其影像感测效果就会不佳，解决的方式是在每一光电二极管前装置微透镜，以提高光学效能，因此手机镜头的主光线角必须与Sensor的主光线角匹配，否则会有白平衡色差问题。



07-Aug-2011

- CRA:



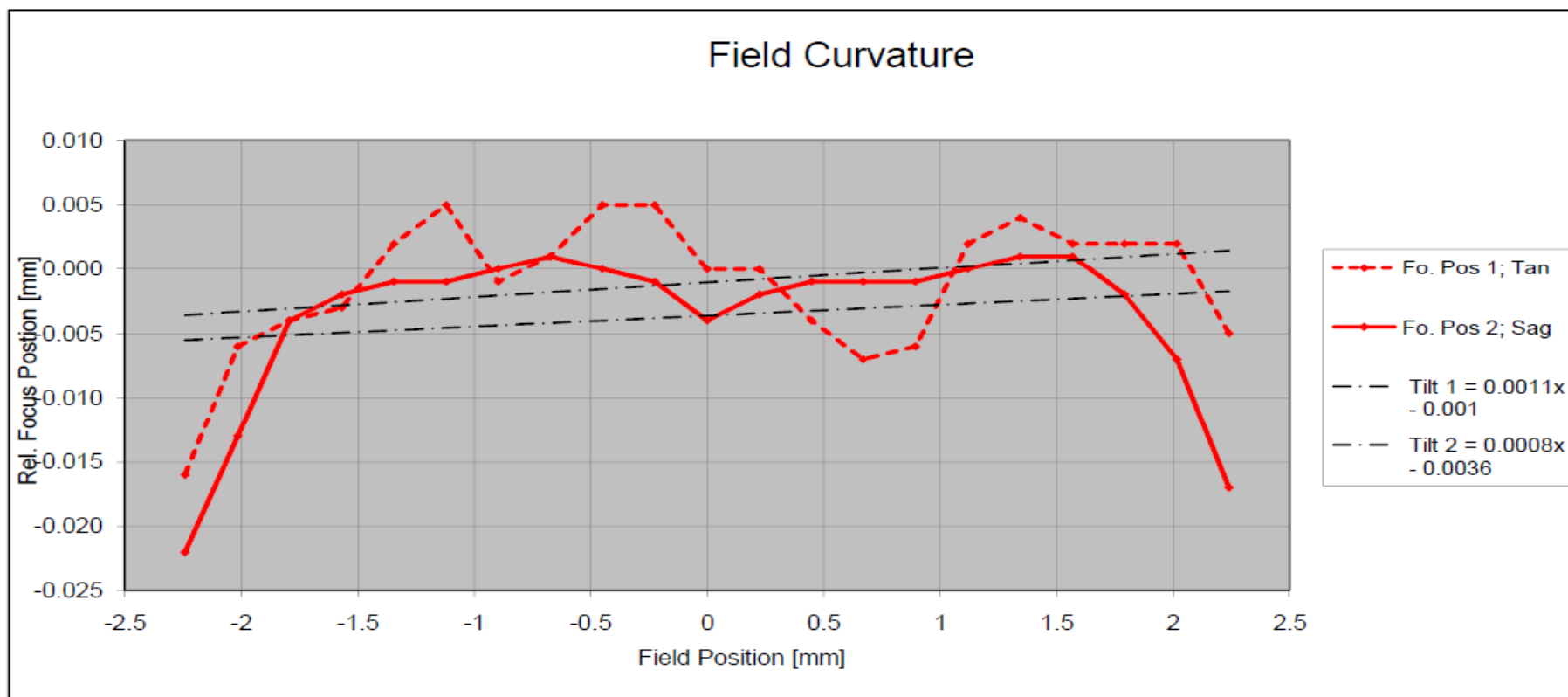
舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

- Field Curvature:

All field(S&T direction) $\leq 0.1\text{mm}$.

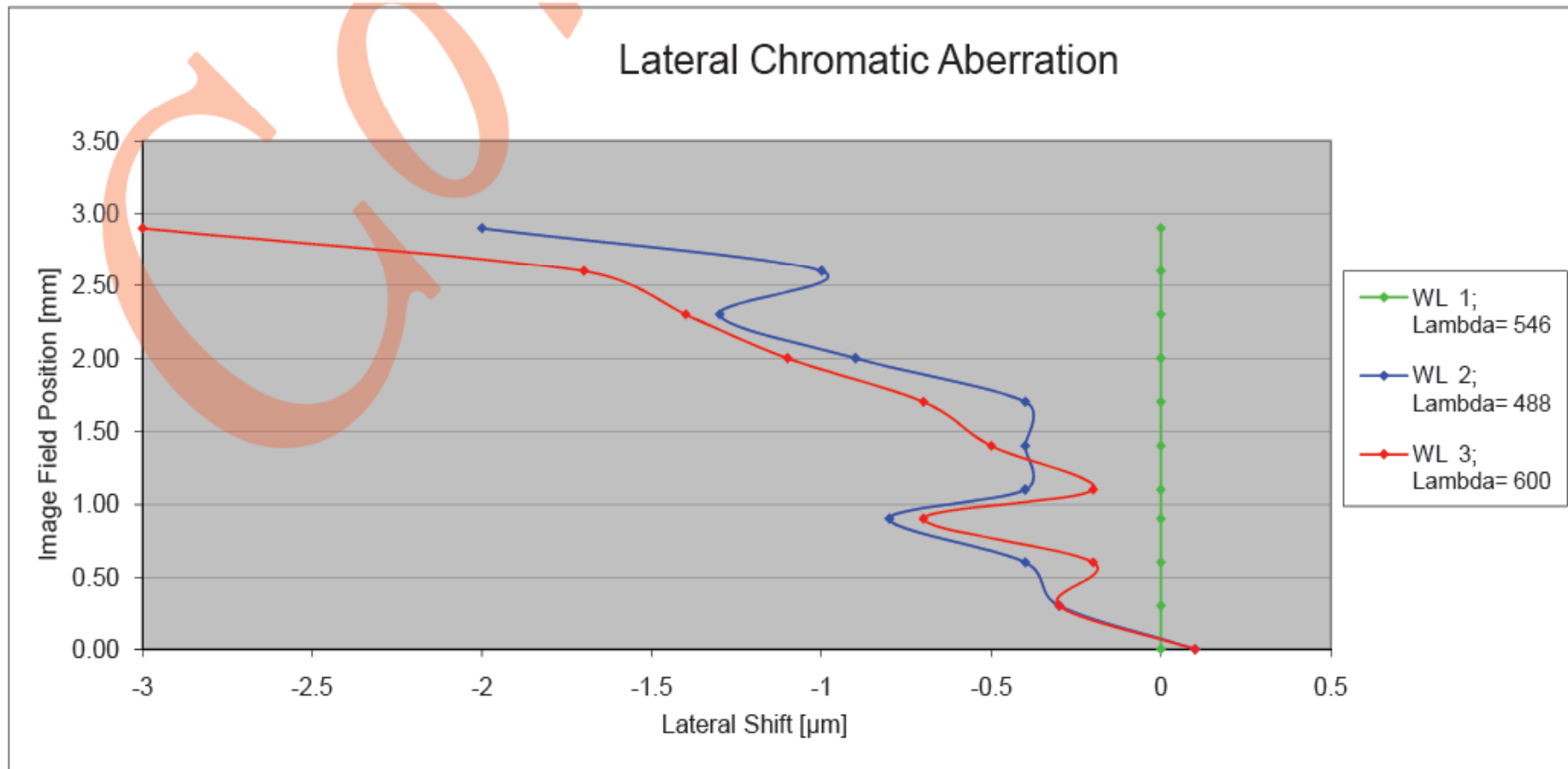




07-Aug-2011

- Field Curvature:

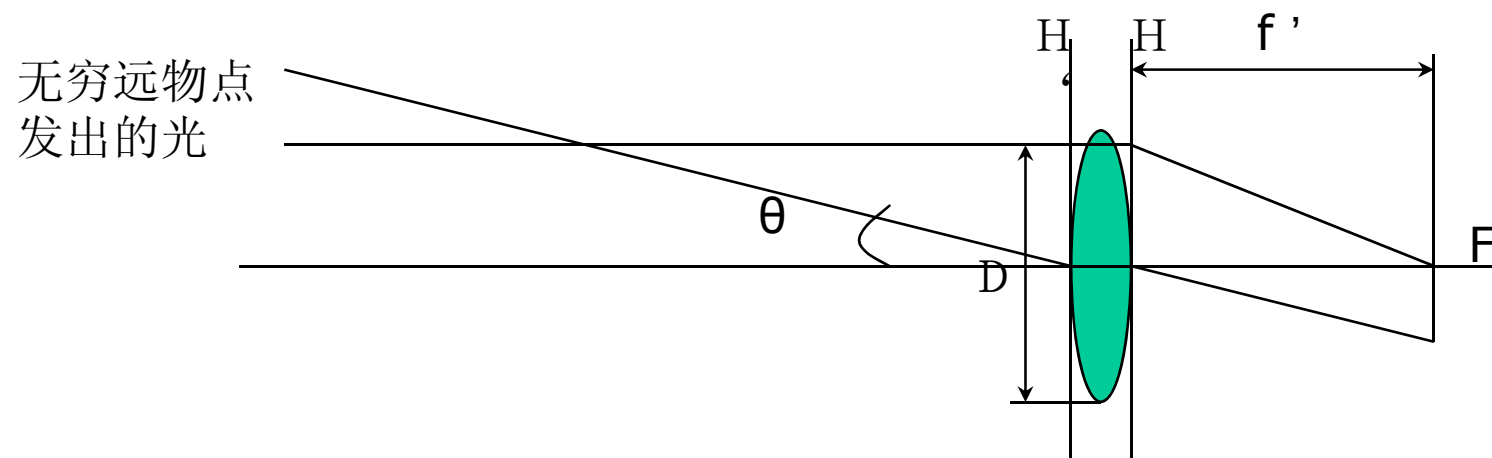
All field Value $\leq 2.8\mu\text{m}$.





07-Aug-2011

- FOV:



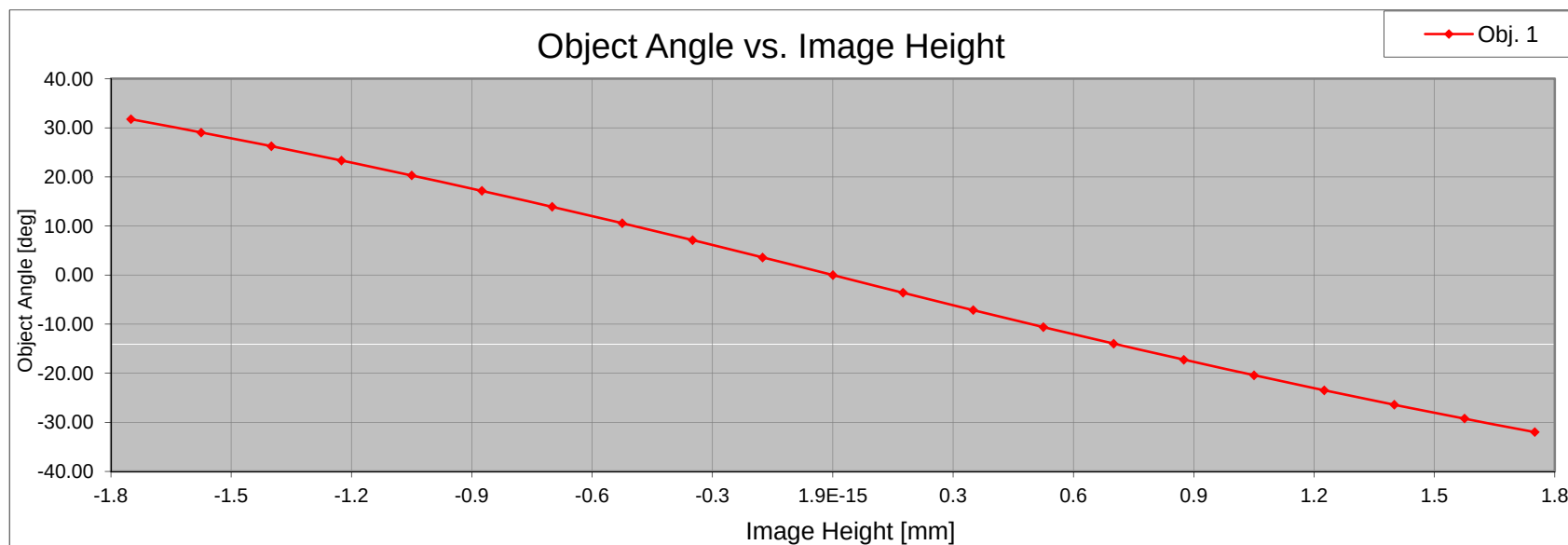
- 视场角: 如果 y' 是 CCD(CMOS) 的半对角线高度, 那么视场角 $2\theta = 2\arctan(y'/f')$. 可见当 y' 不变, 则焦距越短, 视场角就越大.



07-Aug-2011

- FOV:

90.000	1.575	58.654
91.000	1.592	59.203
92.000	1.610	59.750
93.000	1.627	60.295
94.000	1.645	60.838
95.000	1.662	61.380
96.000	1.680	61.920
97.000	1.697	62.460
98.000	1.715	62.999
99.000	1.732	63.539
100.000	1.750	64.081

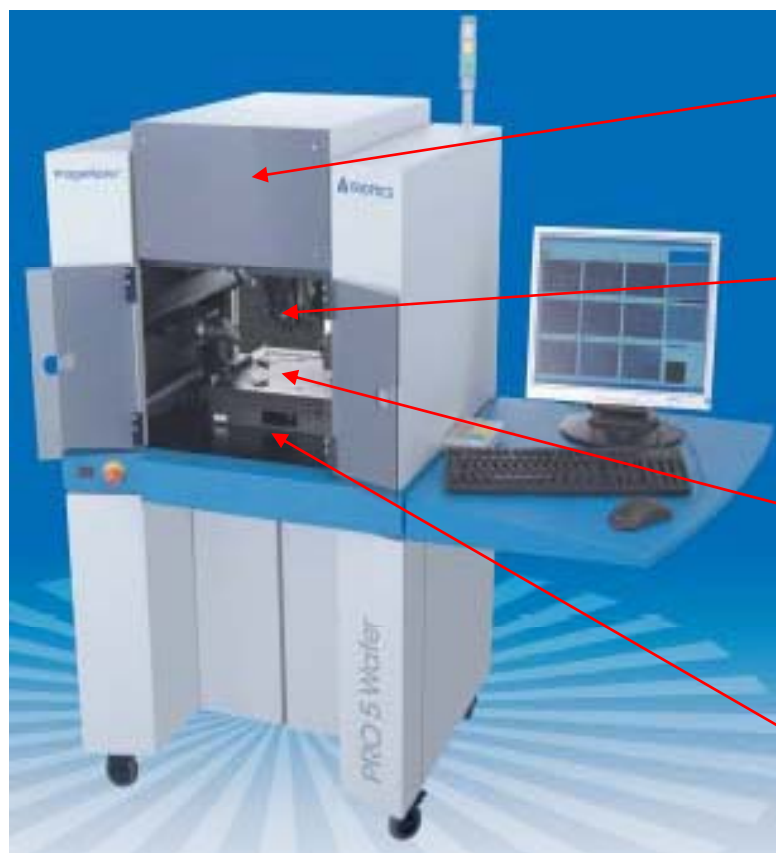




07-Aug-2011

- Image Master Pro5:

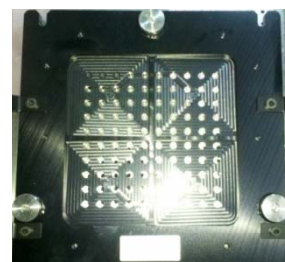
Pro5检测原理：光线从后端入射至Chart (reticle), 从lens(成像系统) 后端入射，投射到CCD（物镜）上，模拟的是一个逆投影的一个方式。



CCD



Telescope



Tray
(Lens)



Reticle

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

- Image Master Pro5 功能介绍:

MTF光学传递函数

EFL焦距

Defouce场曲、象散

性能指标:

Infinite conjugate set up/无限轭式系统

Focal length range/可测焦距范围:1-6mm(我司目前使用25、50mm telescope)

F-number ≥ 2

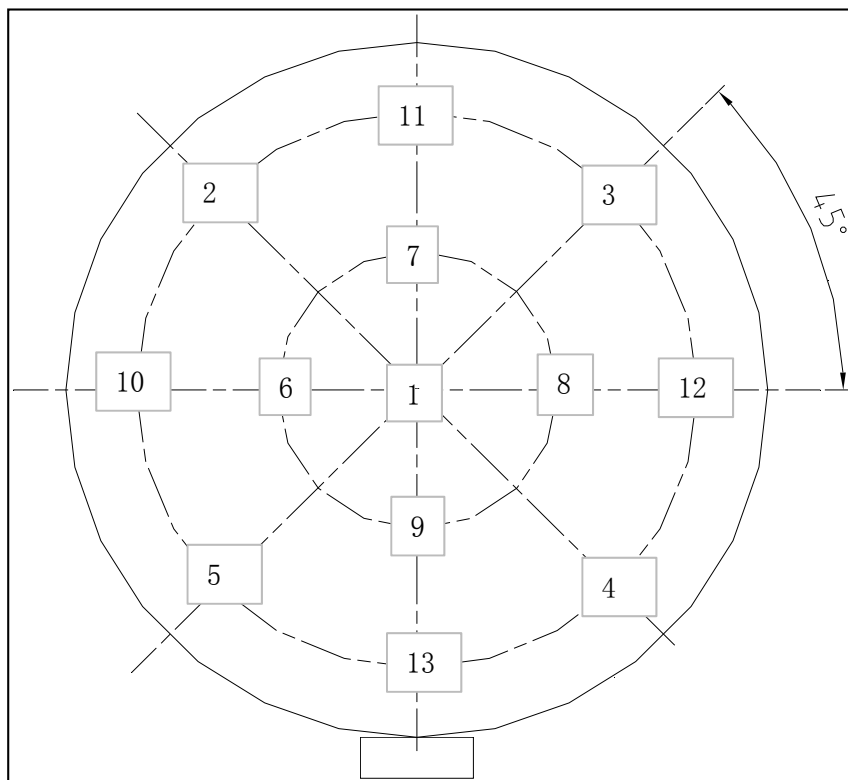
Wavelength range/可测波长范围: 可见光、白光

Pro5为工业型量产用MTF检测设备, 因此有个优势: 检测速度比较快, 约4' /pcs.
一个tray盘最多能测量100pcs样品。弊端: 功能局限性 ; 检测样品规格的限制性。
。



07-Aug-2011

- Image Master Pro5 检测布点方式:



13个CCD的布点图

1: Center

2-5:0.8 Field (Y' =与reticle对应)

6-9:0.4 Field (Y' =与reticle对应)

11-13:0.8 Field(Y' =与reticle对应)

Pro5检测的MTF 是从整个像平面检测某一个Freq. 下某个点的MTF值;

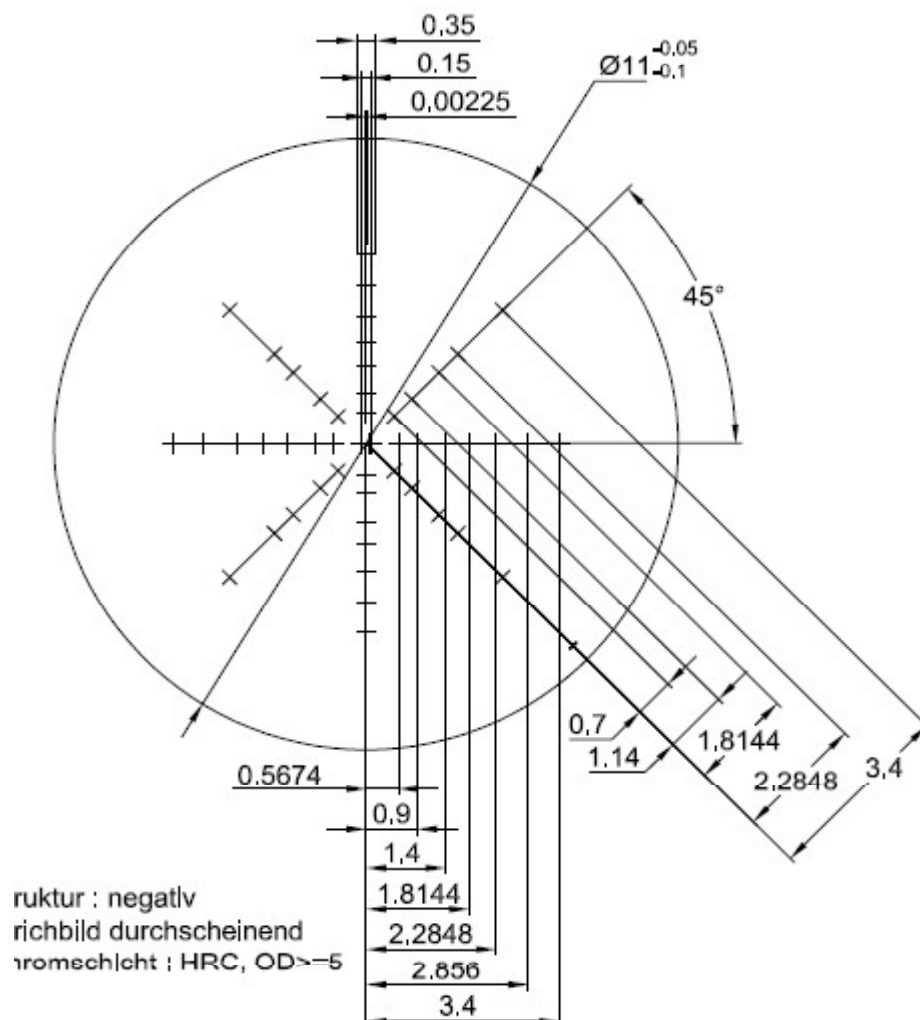
HR检测的MTF是从像面某一直线上取不同的点检测不同频率的MTF值;

具体两者的对比较复杂, 就不做介绍了; 但是在lens特定条件下的检测某一个点排除测量环境因素和测量误差的影响, 这两个设备测得的MTF值应该是非常具有对应性的。



07-Aug-2011

- Image Master Pro5 reticle的设计:



这是我司对应多款样品设计的一个reticle，兼容了多个视场，比较复杂；

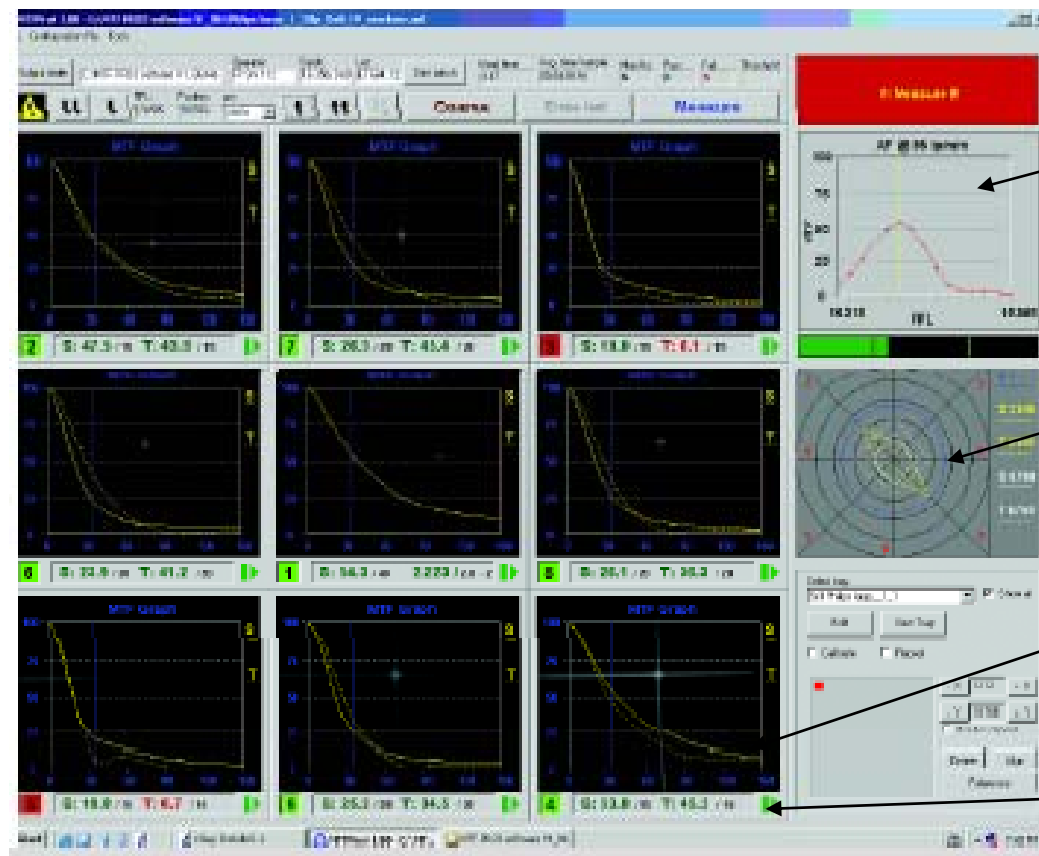
Reticle的设计和前面CCD的布点是相通的；

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

- Pro5测量界面:



Aoto focus @36lp/mm
的曲线图

MTF值直观体现为雷达
图，可观察样品均匀性

MTF曲线图

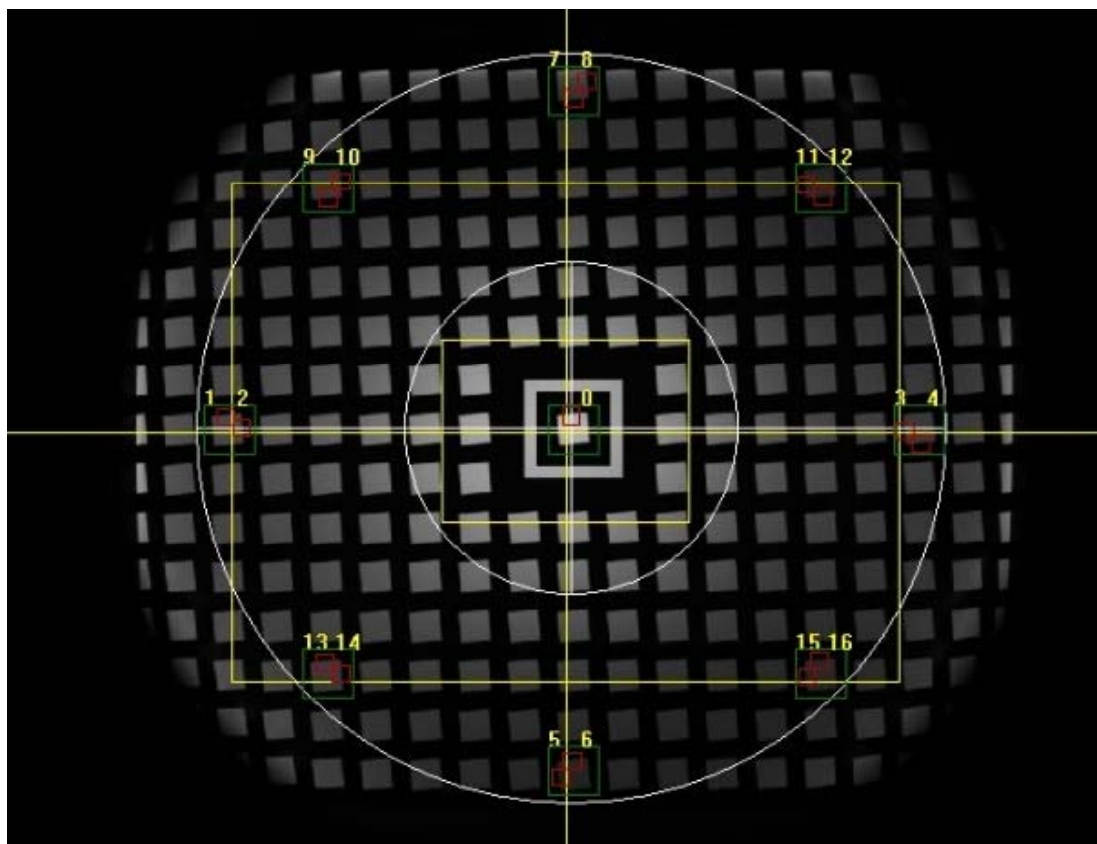
目标点位测量MTF值，
最终获取值

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

SFR检测方法



没有固定的线宽,通过计算ESF来间接得到MTF值,理论上讲可以测全频率的,但实际上会受到芯片的分辨率影响,在大于100lp/mm 会出现不稳定及不准确的情况.



07-Aug-2011

CTF检测方法



线宽是固定的,即物方的空间频率是固定的.

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

•CTF (contrast transfer function) :

CTF: 又称解像力测试, 一般常用特定设计的测试板并配合适当的投影系统结合待测Lens, 在适当的距离下观察投射出的影像品质。

CTF测试的限制: 因测试标靶为具有高对比的物体, 因只反映待测Lens对此种对比下的解像力程度; 使用光源与待测镜头实际运用环境不相同, 无法反映镜头在实际使用环境下的解像力程度;

若采用人为判断, 判断结果受到检测人员经验、疲劳程度等因素的影响;

若采用电子取像元件(Imatest)来判断结果, 受到取像元件的影响, 一般只能判断解像力大于0.3的影像 (from zeiss); 取样频率分散, 无法有效表现镜头的解像力特性。

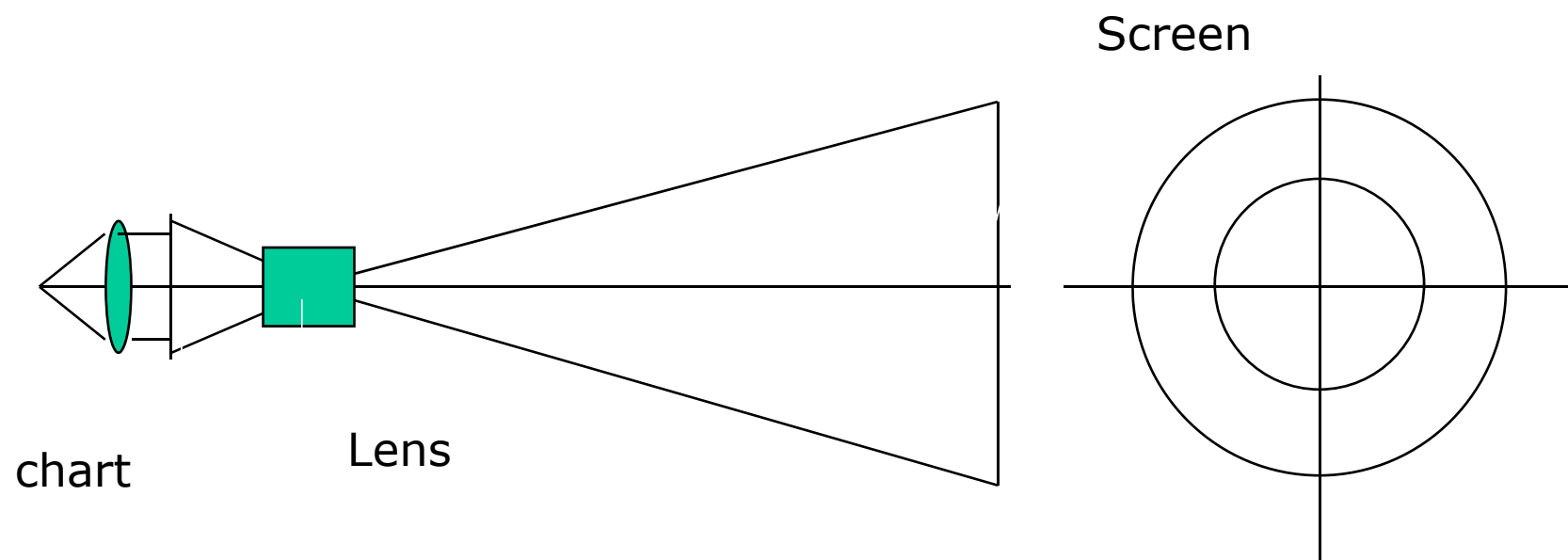
CTF测试结果差异性很大, 具体影像因素有:

1. 暗房亮度不一致;
2. 不同判断人员;
3. 检测人员的视觉疲劳;
4. 测试标板对比不一致;
5. 投影机光源色温不同。



07-Aug-2011

- 投影方式检测鉴别率：



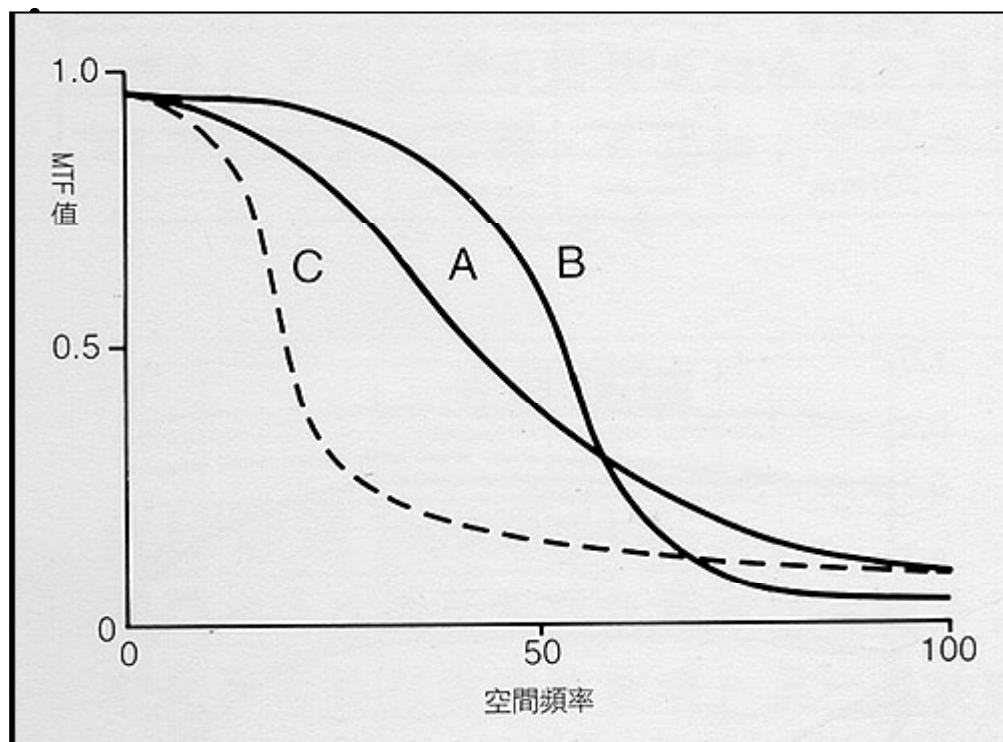
投影检测鉴别率这个方式是最直观最原始的分辨率检测方式，目前在我司作为内部鉴别率检测的方式还是占比较重要的地位的。

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

• MTF特性



A: 解像力和对比度均匀性较好

B: 对比度较好, 解像力不良

C: 解像力较好, 对比度不良



A 照片 9



B 照片 10



C 照片 11

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

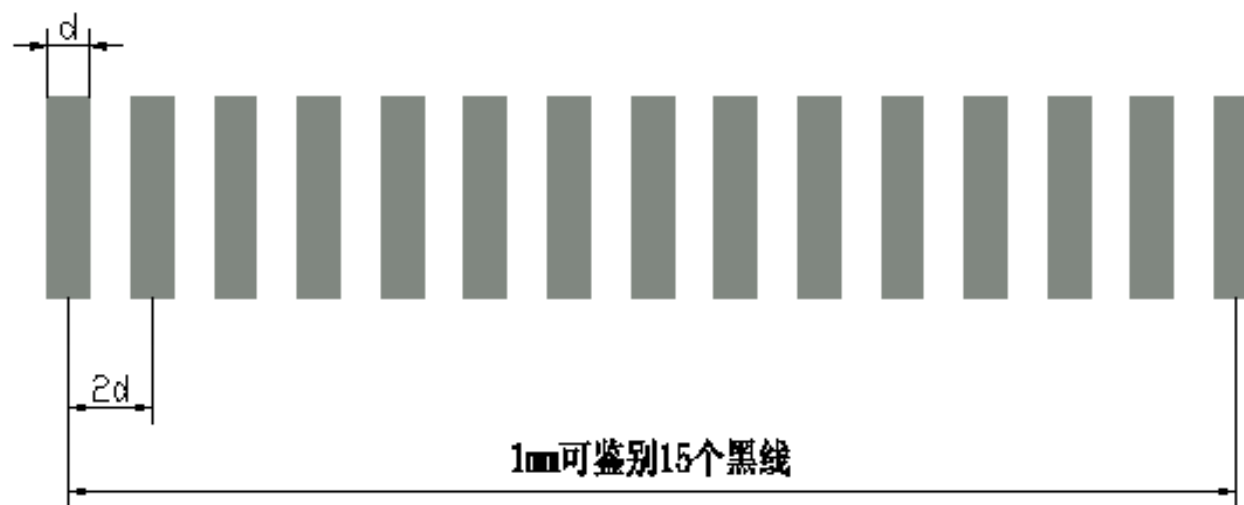
镜头成像效果的评价

- 解像力
- FNO.
- 后焦
- TV 畸变
- 相对照度
- 色彩还原性
- 实景拍摄



07-Aug-2011

- 鉴别率的概念:

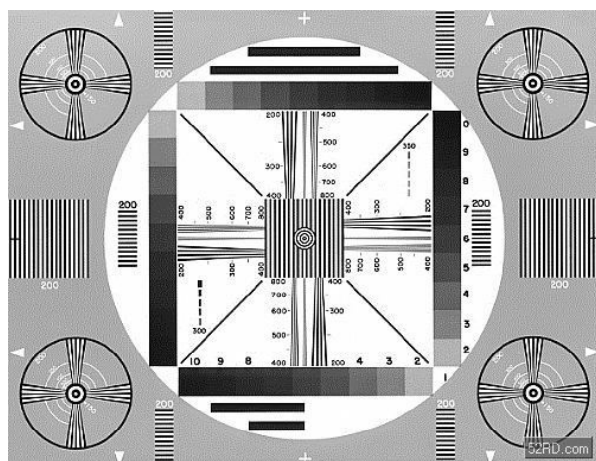


每毫米可以分开的线对数(line pair/mm)

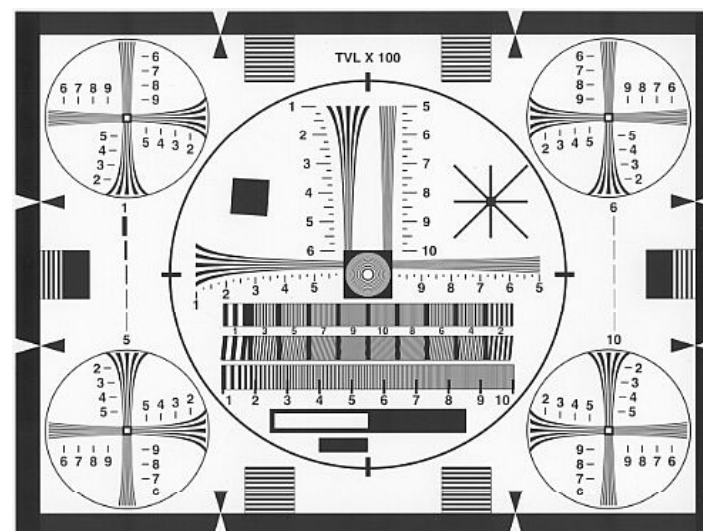


07-Aug-2011

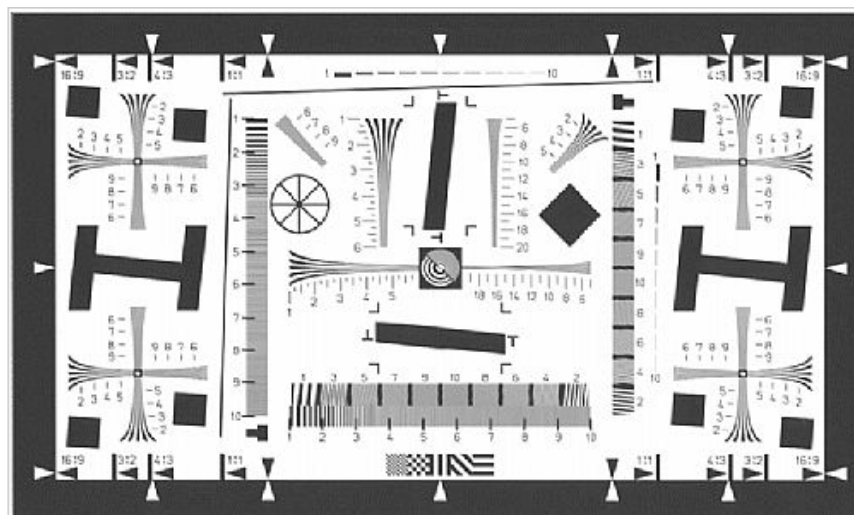
• 拍摄鉴别率标版:



EIAJ resolution chart



IEEE resolution test chart



ISO12233

一倍标准卡 200 x 356mm

两倍标准卡 400 x 711mm

四倍标准卡 800 x 1422mm

通常都是在超焦距时进行拍摄:

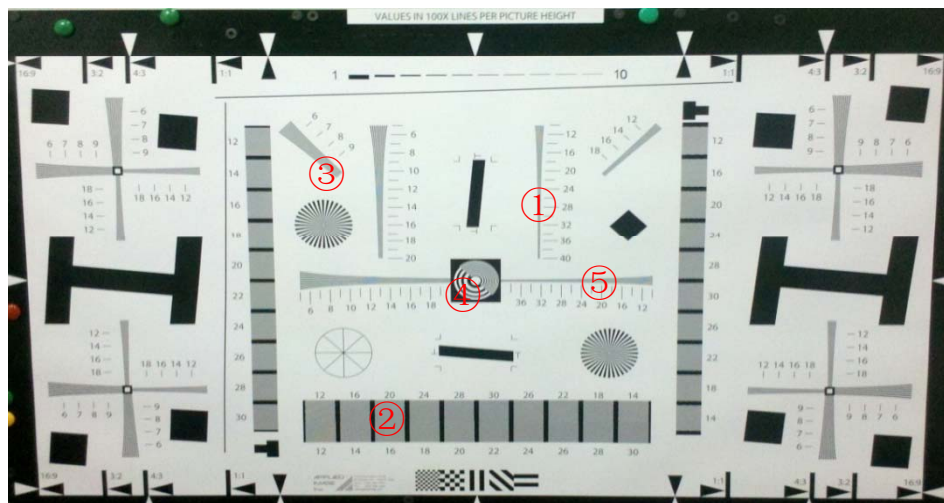
$$P = \frac{EFL * EFL}{(FNO * 2 \text{pixels})}$$

浙江光学研发部

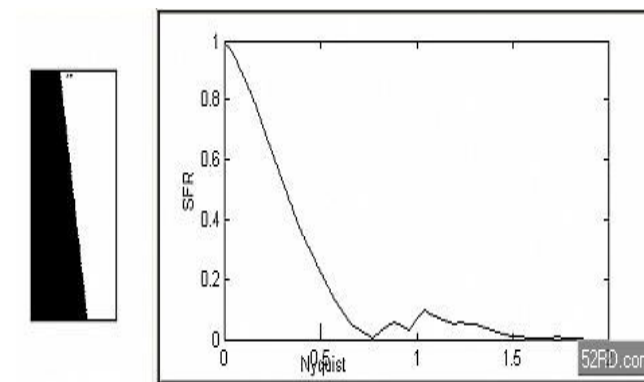


07-Aug-2011

- 增强性鉴别率标版详解:



ISO12233 增强型



SFR (Spatial frequency response)

1. 垂直解像力条 (Vertical Res)---可目测镜头对垂直影像的解像力
2. 对比指示条 (Contrast indicator)---用于显示在空间频率不同下的对比状况
3. 对角线解像力条 (Diagonal Res)---45° 倾斜的对角线解像力条
4. 中央对焦区 (Center focusing area)---两种不同频率的同心圆，协助对焦
5. 水平解像力条 (Horizontal Res) ---可目测镜头对水平影像的解像力

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

•鉴别率拍摄方式及标准:

具体实验测试操作：将模组调至近焦、调焦和远焦位置，对准分辨率标板的中心，且使标板充满全屏（全视场），拍摄图片并保存，通过计算机图像处理软件按实际像素图像模式进行目视观测，判断整个视场的纵、横向及45° 方向上的分辨率中心 $\geq N_0$ ，四周 $\geq 0.8 N_0$ ，并计算整个视场的分辨率算术平均值，且 $\geq 0.8 N_0$ ，其中 N_0 为模组理论上可以达到的最高分辨率， $N_0 = 0.5 \times M_0$ （ M_0 为短边方向的有效像素数），单位是LW/PH。

行业内TV Resolution标准:

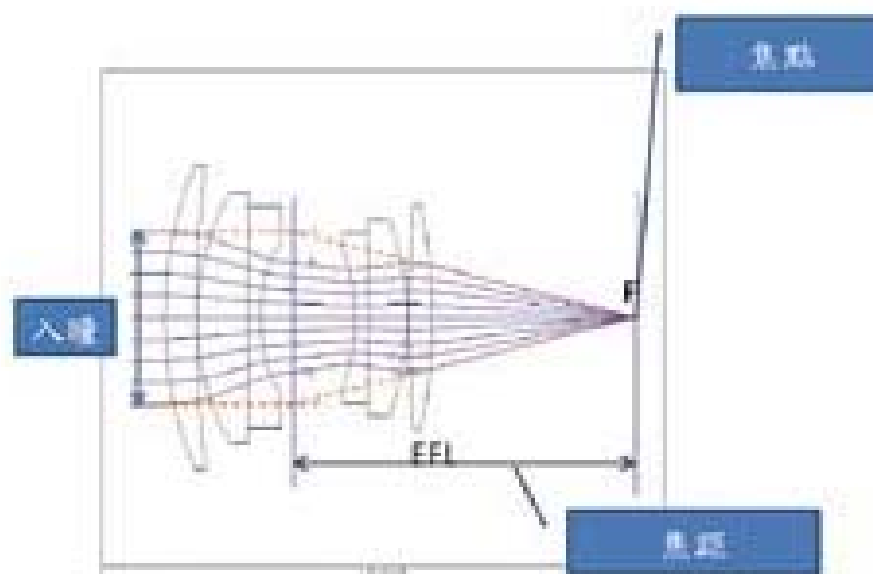
分辨率 标准	对应像素大小	On axis	Off axis
	0.3MP (640X480)	350 lines	250 lines
	1.3MP (1280X1024)	700 lines	550 lines
	2MP (1600X1200)	850 lines	650 lines
	3MP (2048X1536)	1100 lines	850 lines
	5MP (2592X1944)	1400 lines	1000 lines
	8MP (3264X2488)	1700 lines	1200 lines

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

- FNO(光圈) :



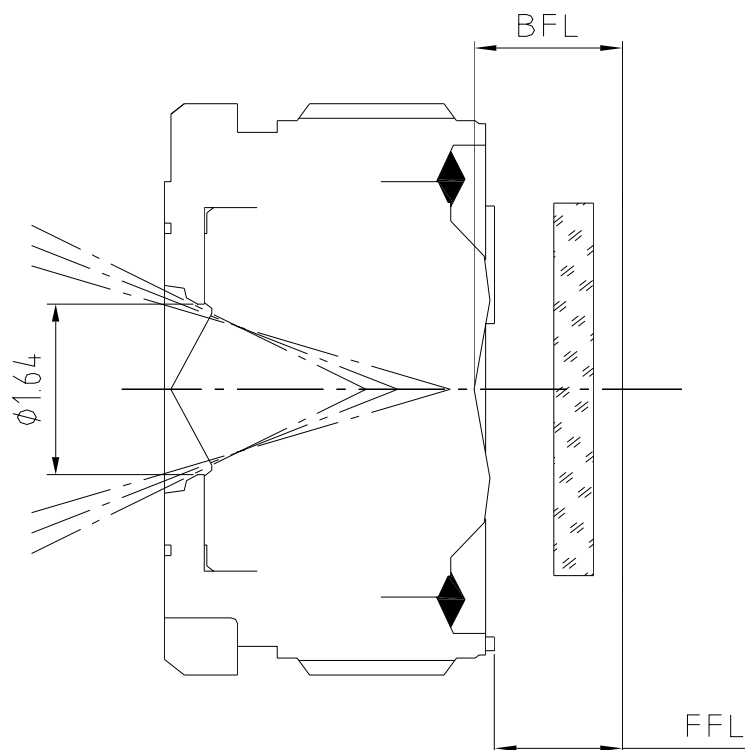
镜头F数在光学上的定义为光学镜头有效焦距与入瞳的比例（如图所示），以手机镜头而言，镜头F 数约在 2 到 2.8 之间， 镜头F 数与景深、影像锐利度、相对照度息息相关。在实验室中手机镜头F 数的量测设备需具有准直仪、待测镜头载台、共焦显微镜以及具光学尺的移动平台。量测方式上须先量测手机镜头的有效焦距以及入瞳大小，再将二者相除，即可得出镜头F数。

$$FNO = EFL / \text{入瞳口径}$$



07-Aug-2011

- 后焦:



平板玻璃增加的等效厚度 = $(n-1)/n * t$, n 表示折射率, t 表示平板的厚度。通常平板的折射率为1.51637, 所以近似增加的等效厚度 = $t/3$

镜头后焦距在光学上的定义为光学镜头最后一个光学面到焦点的距离(如图所示), 以手机镜头而言, 镜头后焦距依不同镜头可由 0.5 公分到 3.5 公分不等, 镜头后焦距误差会造成影像全部模糊, 影响整个成像品质。当然在实务上可靠着组装时调整镜头模组与感测器模组的间距以取得好的影像, 然而对于每个月产量达百万颗手机镜头厂商而言, 组装调整所耗费的人力必须达到最小, 为免提高成本, 因此会转向要求提高到镜头后焦距此项规格的良率。

舜宇浙江光学研发部

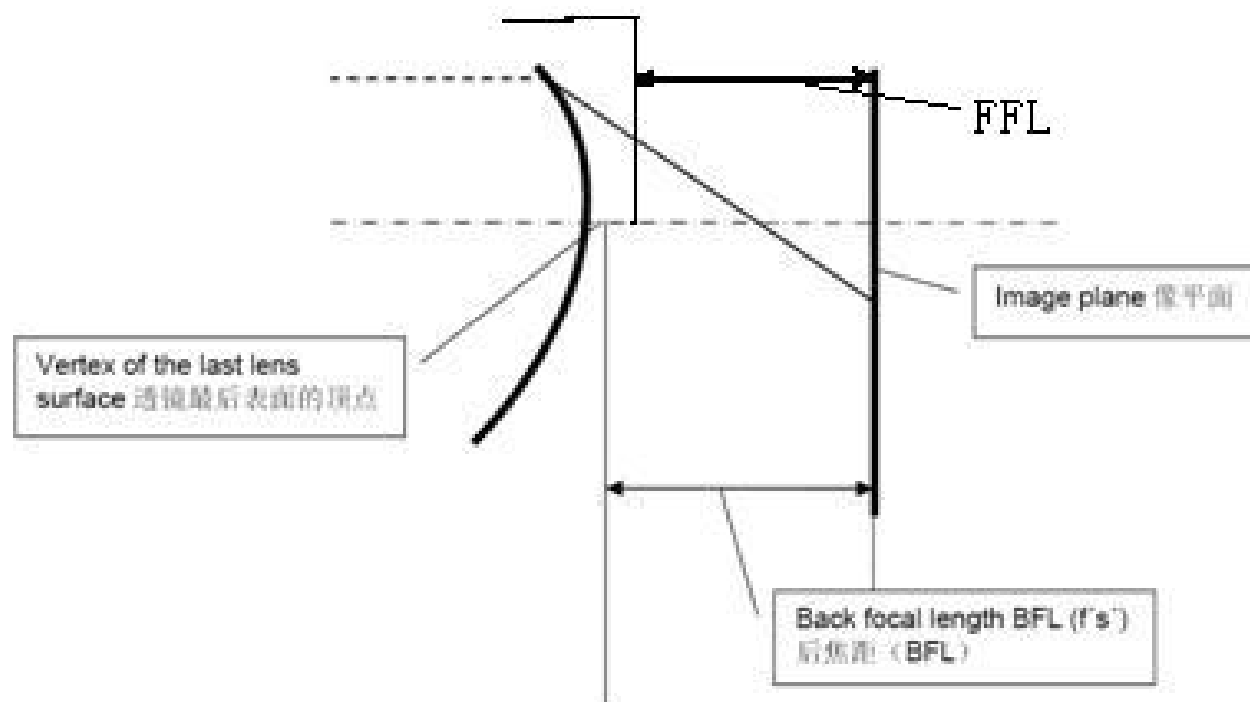


07-Aug-2011

- 光学后焦与机械后焦:
- BFL---back focal length

最后镜片最后一面到像面的距离

- FFL

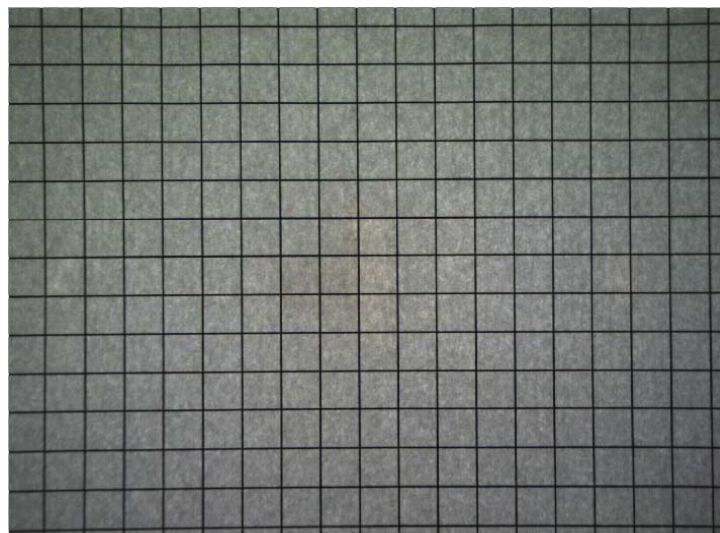


舜宇浙江光学研发部

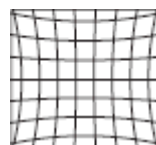
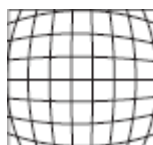
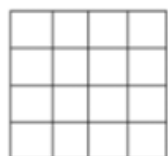


07-Aug-2011

• TV Distortion:



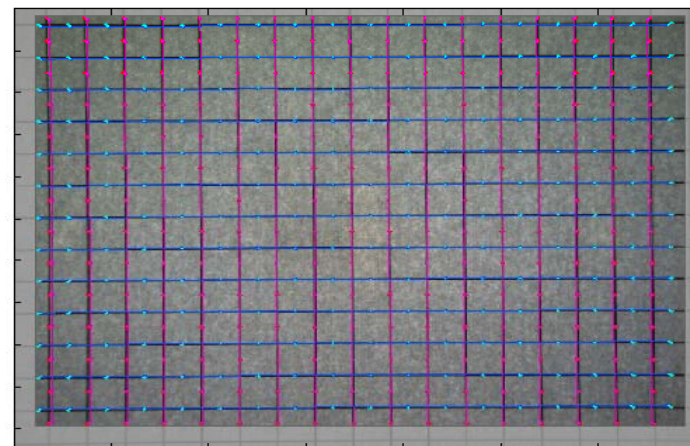
测试镜头的成像变形程度



Barrel distortion (+) Pincushion distortion (-)

畸变不影响成像质量, 光阑移动, 主光线与高斯像面的交点改变, 相应其放大倍率改变, 造成像变形

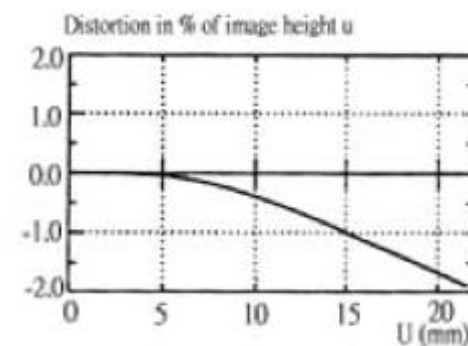
Distortion: 3rd order correction 04-Aug-2009 15:00:57
T-J.bmp



SMIA TV Distortion = 0.95%
 $k_1 = -0.0148$ ($r_u = r_d + k_1 r_d^3$)
(r in center-corner units.)
 $h_1, h_2 = -0.0253, 0.00953$
PW Pro Coeff. = -0.02144
PW Pro Scale = 1.015
Line calc: 3rd order



Max TV Distortion=0.95%

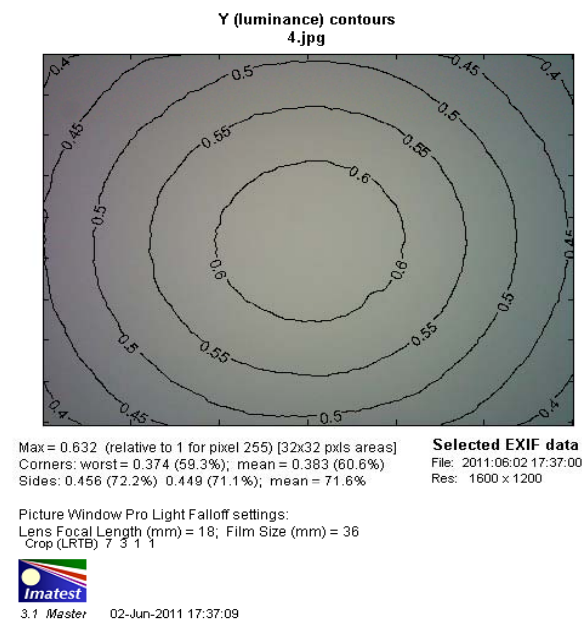


舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

- 相对照度:



相对亮度的考察和计算方法是模组画面四个角亮度的平均值/中心。影响手机相机模组拍摄画面相对亮度的主要因素有：Lens、芯片

A. Lens方面，CRA (chief ray angle)与芯片的配合度

B. 边缘光线在芯片上会聚角度大小

目前的大部分芯片都具有调节相对照度的能力

舜宇浙江光学研发部



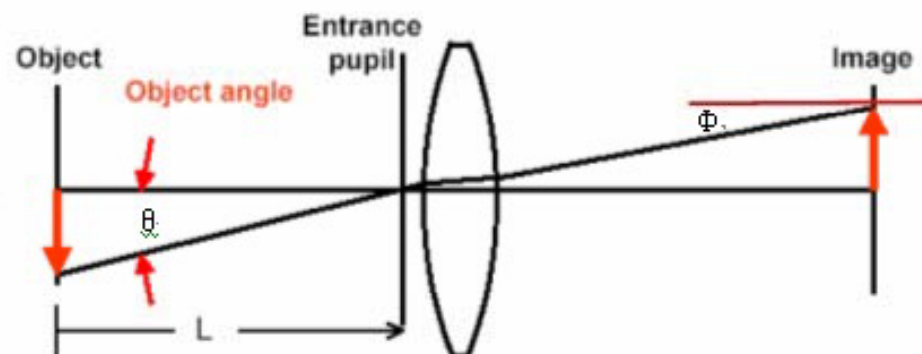
07-Aug-2011

- 拍摄相对照度:



因相对照度低照成的暗角图片

镜头的相对照度在光学上的定义：在成像平面上视场角中心点与全视场角的照度比值。对于一个无渐晕 (vignetting) 的Lens, 离轴像点的照度通常比轴上像点的照度低, 而且对应此离轴像点的主光线角成 $\cos^4 \theta$ 。若有渐晕镜头, 离轴像点的照度会更进一步降低。以手机镜头而言, 镜头相对照度会要求在 0.7 视场角需高于 70%, 否则边缘会有明显暗角产生



vignetting (渐晕、光晕)：离轴越远 (越接近最大视场) 的光线经过光学系统的有效孔径阑越小, 所以越离轴的光线在离轴的像面上的光强度就越弱, 而形成影像由中心轴向离轴晕开。



07-Aug-2011

•DNP标准灯箱 DNP Standard Color Viewer :



DNP Standard Color Viewer

光源的色温是以光源发光时所显现的颜色与一个绝对黑体被高温燃烧时所显现的颜色相一致时这个黑体被燃烧温度来定义的，它的单位是绝对温度Kelvin『K』,K值越高，显现的颜色就愈趋向于白蓝色；K值越低，显现的颜色就愈趋向于黄红色。我们知道，光源是会呈现不同颜色的。太阳刚升和降落时是红色的，而在中午时分却是白色的。我们家庭照明使用的白灯是呈黄颜色的，而办公室里使用的日光灯一般为白色的。光源呈现不同的颜色是以色温来表示的。

D65光源：一种色温为6500K发光颜色偏白的光源。它原来也是国际上认定的标准光源色温之一，但是在欧美国家，D65光源正逐级被D50光源所取代。

D50光源：一种色温为5000K，发光颜色偏黄的光源。根据ISO3663:2000国际标准，D50光源才是真正意义上的标准光源色温。

•Judge II标准多光源对色灯箱 :



Judge II标准多光源对色灯箱

光源种类-D65 D65 国际标准人工日光，色温6500 K

光源种类-CWF CWF 冷萤光、美国商店光源，色温4200 K

光源种类-F/A F/A 夕阳光、黄光源、比色参考光源，色温2700 K

光源种类-UV UV 紫外灯光源，波长365 nm



07-Aug-2011

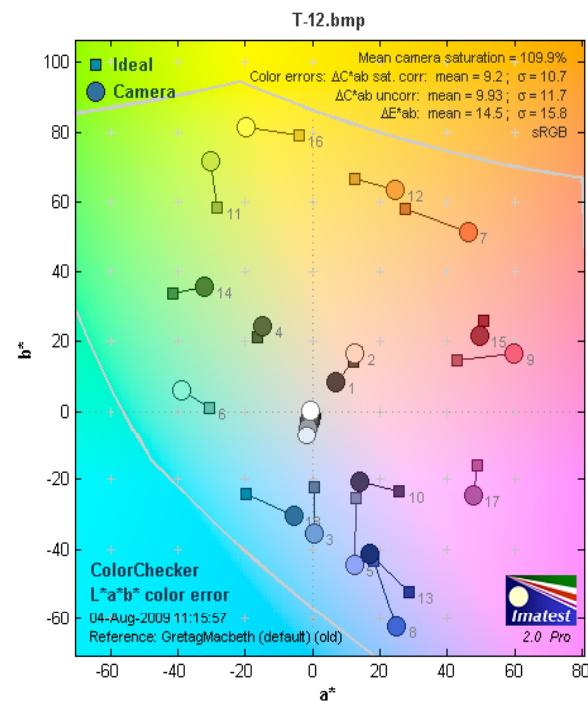
- 色彩还原性测试:



24色卡色彩测试标板 ColorChecker



测试玻片-彩条图 DNP Standard Color-bar Chart (日本)



需要第三方软件(如IMATEST)来计算色彩的还原性,用肉眼只能做粗略的判断

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

- 出现色偏的影响因素：



D (日光) -light



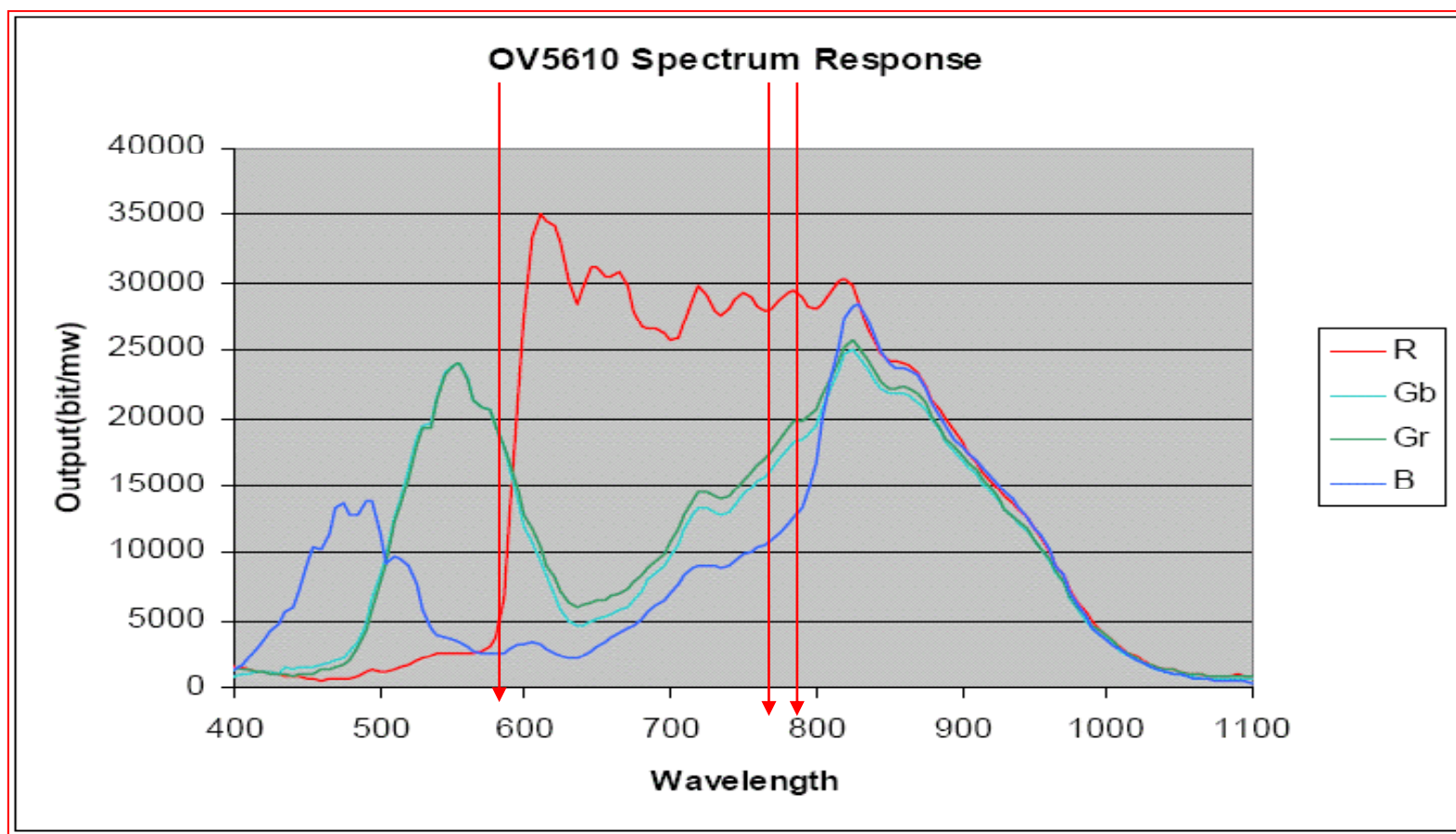
A—light

- A. 色彩还原性与镜头光谱透过率（包括滤色片）和芯片的光谱响应有关；
- B. Lens 解像力相关，有时候分辨率不良也会导致色偏出现；
- C. 和镜片镀膜工艺相关
- D. 与CRA匹配程度, CRA偏大会出现色偏现象
- E. 色彩饱和度是与CCD关联，CCD白平衡做的好坏影响色温，会导致清晰度不足，出现色偏



07-Aug-2011

Sensor 的光谱响应曲线





07-Aug-2011

白平衡造成的色彩差异

不同色温下光源所呈现的颜色：



偏黄

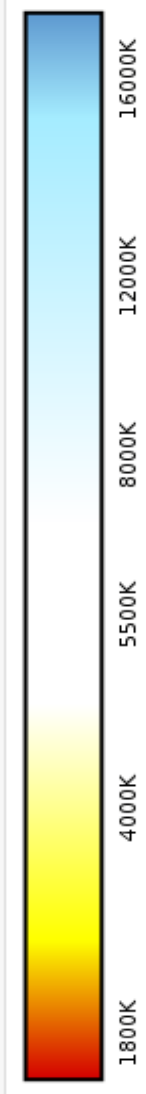


自动白平衡

白炽灯



手动白平衡



舜宇浙江光学研发部

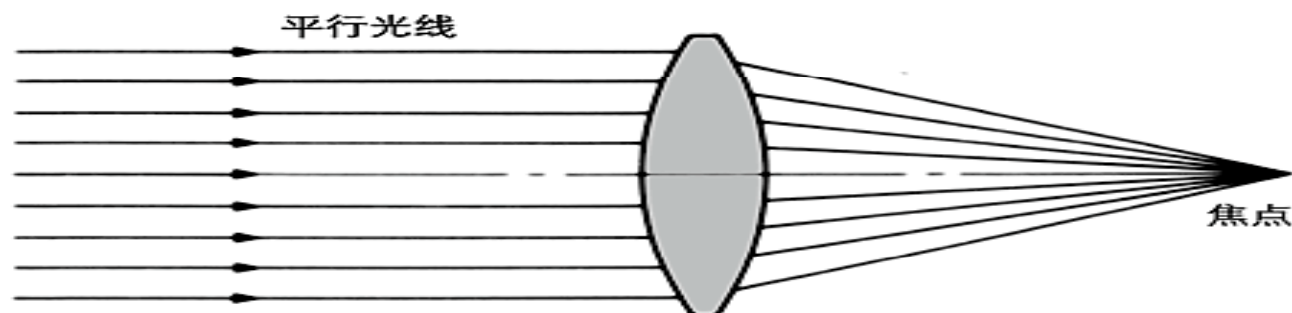


07-Aug-2011

• 景深的概念与计算:

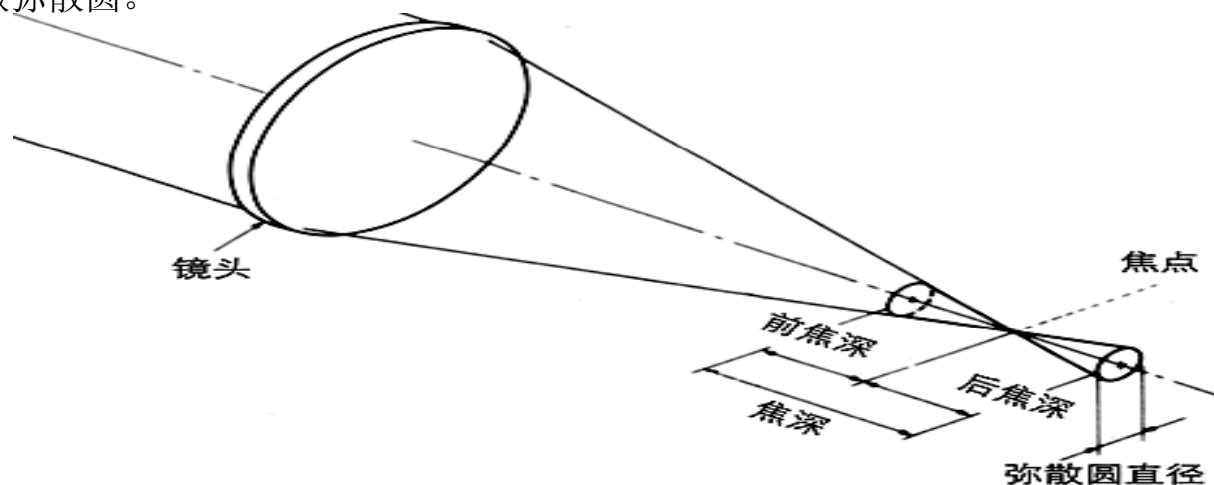
焦点 (focus):

与光轴平行的光线射入凸透镜时, 理想的镜头应该是所有的光线聚集在一点后, 再以锥状的扩散开来, 这个聚集所有光线的一点, 就叫做焦点。



弥散圆 (circle of confusion):

在焦点前后, 光线开始聚集和扩散, 点的影象变成模糊的, 形成一个扩大的圆, 这个圆就叫做弥散圆。



舜宇浙江光学研发部

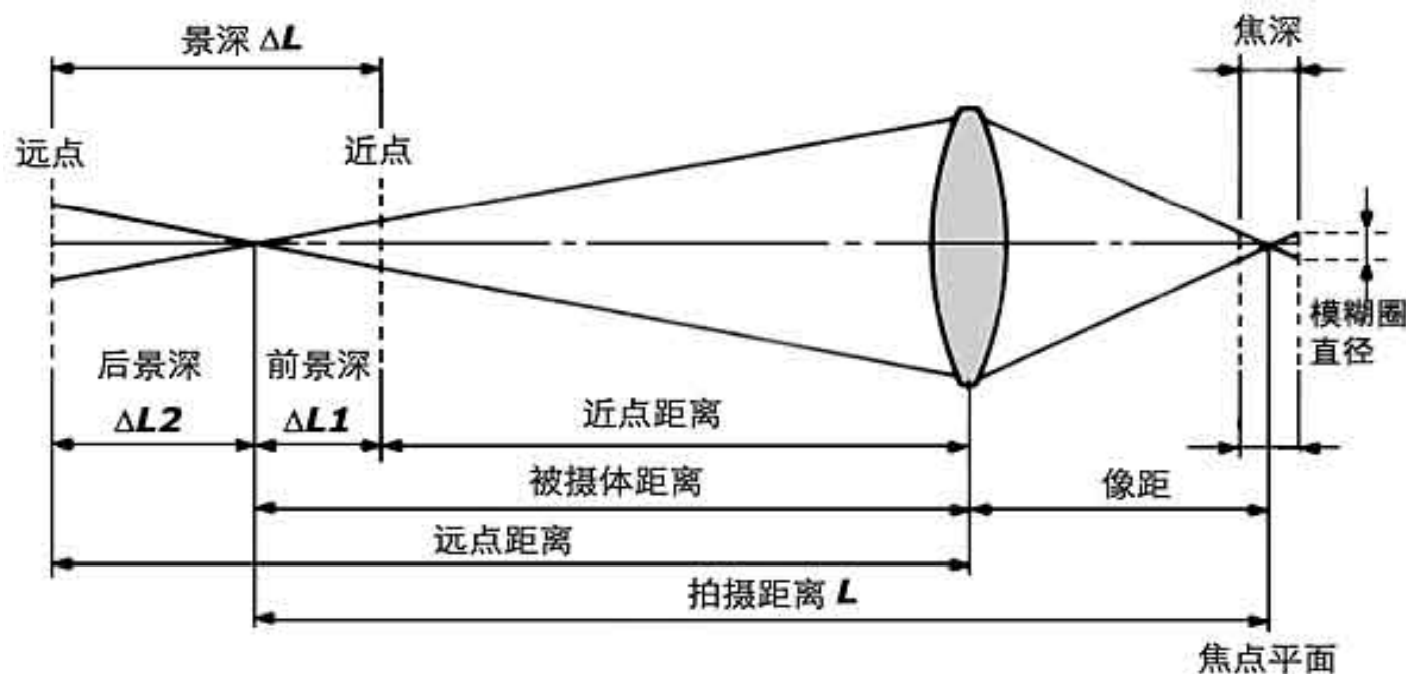


07-Aug-2011

• 景深的概念:

景深(depth of field):

在焦点前后各有一个容许弥散圆，这两个弥散圆之间的距离就叫景深，即：在被拍摄主体(对焦点)前后，其影像仍然有一段清晰范围的，就是景深。换言之，被拍摄体的前后纵深，呈现的影像模糊度，都在容许弥散圆的限定范围内。



以持照相机拍摄者为基准，从焦点到近处容许弥散圆的距离叫前景深，从焦点到远方容许弥散圆的距离叫后景深。

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

• 景深的计算:

下面是景深的计算公式:

$$\text{前景深 } \Delta L_1 = \frac{F\delta L^2}{f^2 + F\delta L} \quad (1)$$

$$\text{后景深 } \Delta L_2 = \frac{F\delta L^2}{f^2 - F\delta L} \quad (2)$$

$$\text{景深 } \Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = \frac{2f^2 F\delta L^2}{f^4 - F^2\delta^2 L^2}$$

δ	——	容许弥散圆直径
f	——	镜头焦距
F	——	镜头的拍摄光圈值
L	——	对焦距离
ΔL_1	——	前景深
ΔL_2	——	后景深
ΔL	——	景深

从公式(1)和(2)可以看出, 后景深 > 前景深。

由景深计算公式可以看出, 景深与镜头使用FNO、 f 焦距、拍摄距离以及对像质的要求(表现为对容许弥散圆的大小)有关。这些主要因素对景深的影响如下(假定其他的条件都不改变):

- (1)、镜头光圈:
光圈越大, 景深越小; 光圈越小, 景深越大;
- (2)、镜头焦距:
镜头焦距越长, 景深越小; 焦距越短, 景深越大;
- (3)、拍摄距离:
距离越远, 景深越大; 距离越近, 景深越小。

同理也可以得出关于焦深的结论.

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

• 超焦距:

当镜头对焦在无穷远时，（从超焦距到无穷远这段距离内的物体，在相片上都清晰，而近于超焦距的物体都模糊不清）仍能成像在焦深之内最近的一段距离就是超焦距H。换句话说当镜头对焦在无穷远时，景深是从超焦距到无穷远。

H为超焦距，

F为镜头焦距 (EFL)，

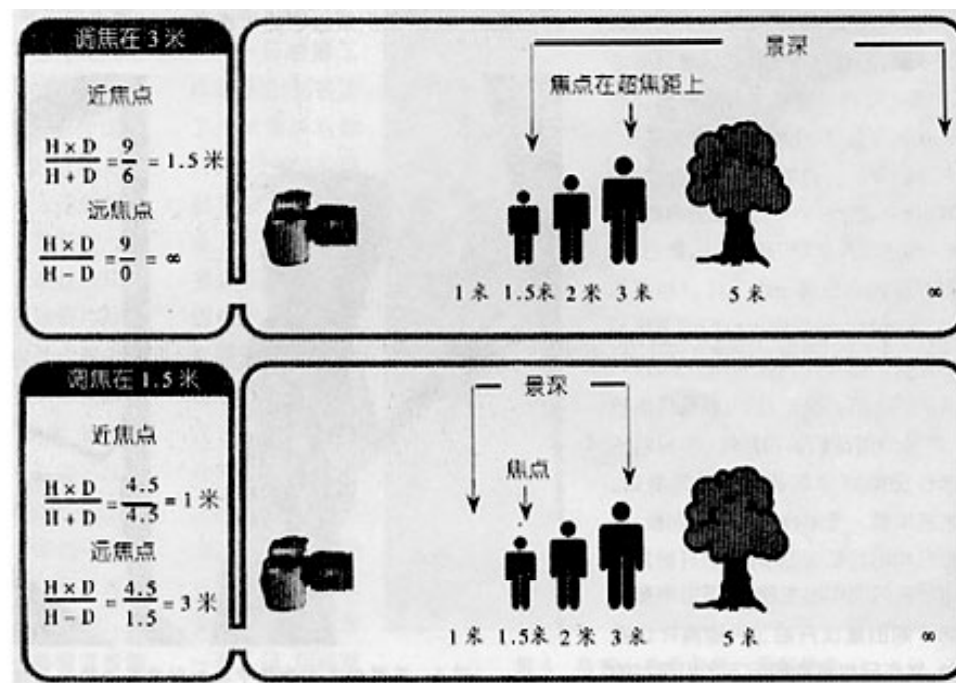
C为模糊圈 (circle of confusion)

f为所用光圈 (FNO)

$$H = F^2 / C f + F$$

$$\text{景深近限} = HD / H + D \quad \text{景深远景} = HD / H - D$$

H为超焦距，D为调焦距离



超焦距是镜头聚焦到 ∞ 时，从镜头到景深近界限的距离。

当聚焦在超焦距上，景深便扩大为1/2超焦距至 ∞ 。

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

- 景深表:

Executing E:\Zemax\Z\ZEMAX\MACROS\景深表1.ZPL.

-----Start Of File-----

Hyperfocal Distance(mm) = 953.3976

Sensor Size(um) =1.75

Deep of Field criterion(um) =3.50

物距 (mm)	近景深 (mm)	远景深 (mm)	离焦 (mm)
300000	950	INFINITE	-0.0061
3000	723	INFINITE	-0.0035
2000	646	INFINITE	-0.0021
1500	583	INFINITE	-0.0008
1200	531	INFINITE	0.0006
1000	488	INFINITE	0.0019
900	463	16069	0.0028
800	435	4972	0.0040
700	404	2634	0.0054
600	368	1619	0.0073
500	328	1051	0.0100
400	282	689	0.0141
300	228	438	0.0208
250	198	339	0.0263
200	165	253	0.0344
150	130	178	0.0480
100	91	112	0.0753
50	48	53	0.1582

-----End Of File-----

- 对一个镜头计算其景深表，然后根据景深范围选择两段或三段来达到在一定范围内对焦的功能
- 镜头的移动量可以根据高斯公式做近似计算，精确计算需要有实际光学系统的数据做精确模拟

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

•实景拍摄图片:



小景深



大景深



Mamiya 645 Pro TL + A 150/2.8 @ f/2.8, 1/125s, Agfa

A150/2.8 @f/2.8 1/125S



Mamiya 645 Pro TL + A 150/2.8 @ f/5.6, 1/30s, Agfa

A150/2.8 @f/5.6 1/30S



Mamiya 645 Pro TL + A 150/2.8 @ f/11, 1/8s, Agfa R

A150/2.8 @f/11 1/8S



Mamiya 645 Pro TL + A 150/2.8 @ f/22, 1/2s, Agfa RSX II

A150/2.8 @f/22 1/2S

舜宇浙江光学研发部



07-Aug-2011

杂散光现象及解析

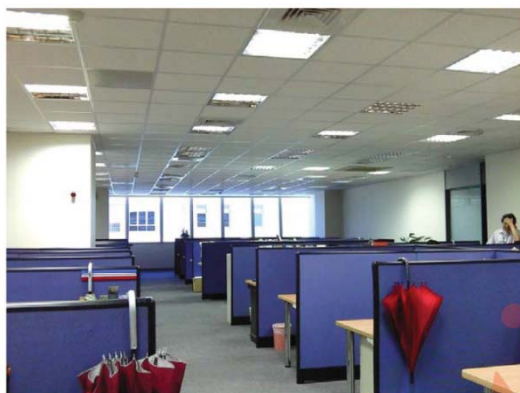
- Flare
- Ghost
- 产生原因
- 理论分析与解析
- 与Sensor相关



07-Aug-2011

• Flare and Ghost 杂散光测试:

- 测试镜头的杂散光(flare/stray light), 是象质评定的重要内容之一。由于杂散光的存在, 就可能造成:
 1. 形成画面灰雾效果, 是像面阴暗对比下降, 从而影响像的清晰度和色彩还原效果;
 2. 杂光现象直接影响系统的成像效果。
- 所以建立严格的测试手段, 对杂散光进行定量的控制和分析势在必行。
- 杂散光目前还没有一个标准, 比较难以量化
- 杂光的表现多种多样



室内场景拍摄



白炽灯拍摄

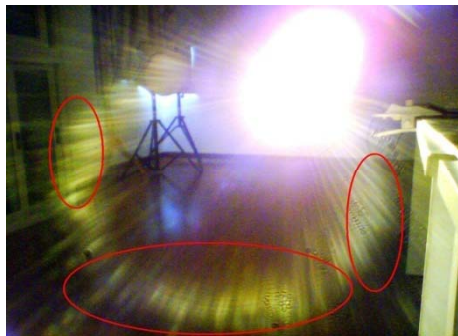


强日光灯拍摄



07-Aug-2011

• 常见的杂光现象:



环状羽毛杂光



发胖



彩虹



光晕



红色拖影

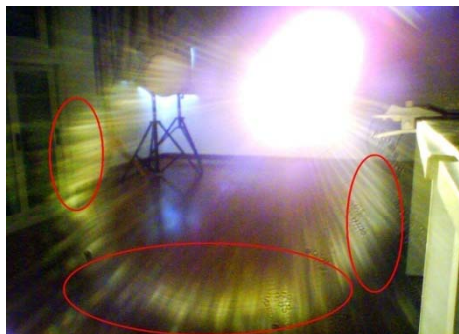


亮斑

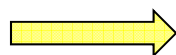


07-Aug-2011

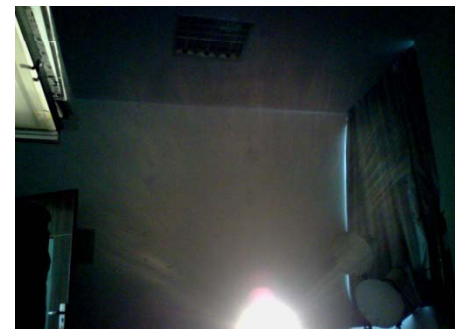
• 经验判断杂光产生原因:



环状羽毛杂光



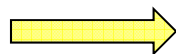
通常为光栏口径造成



OK现象



发胖



Lens出瞳脏污、
IR表面清洁度

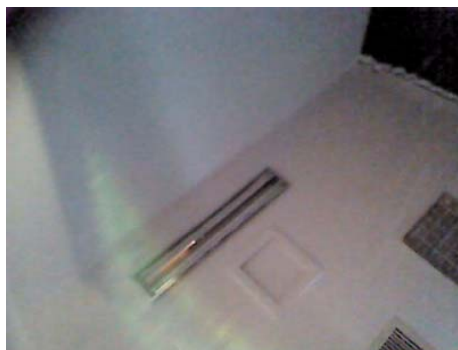


OK现象

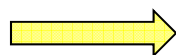


07-Aug-2011

• 经验判断杂光产生原因:



彩虹



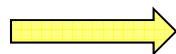
表面光洁度
镜片开裂等



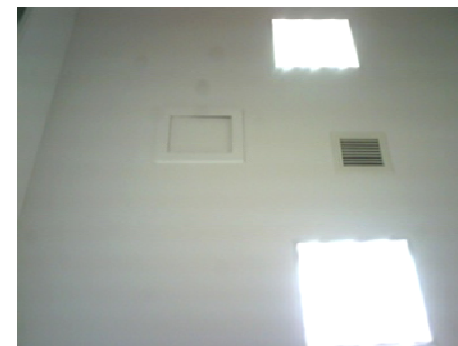
OK现象



光晕



IR、镀膜工艺



OK现象

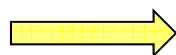


07-Aug-2011

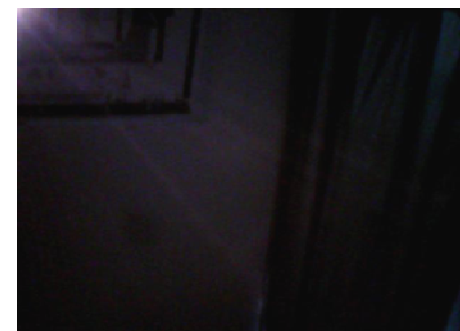
• 经验判断杂光产生原因:



红色拖影



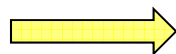
白物导致



OK现象



开裂



开裂



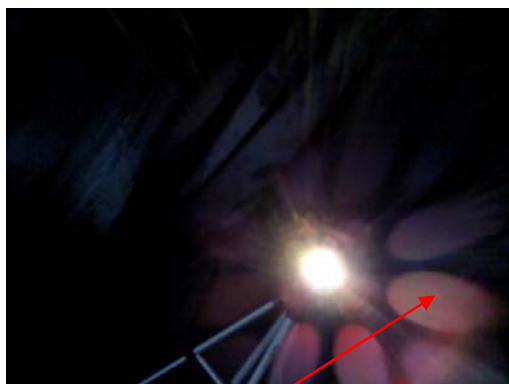
OK现象



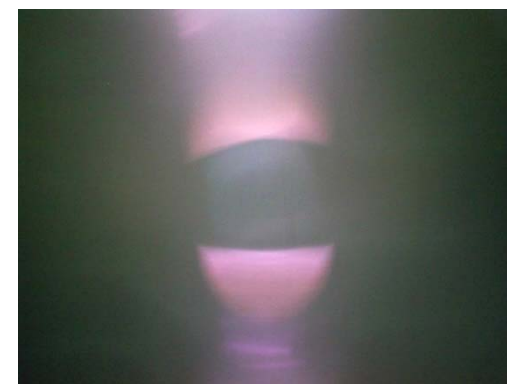
07-Aug-2011

- Ghost:

Ghost是flare的一种, 鬼像与光学系统有直接关系, 表现方式各有不同



白炽灯下



日光灯下

此类ghost完全有sensor造成

严格地讲, 任何光学系统只要在足够能量的小面积光源照射下, 都会产生鬼像, 通常可以通过多种镀膜来减轻



07-Aug-2011

• 杂散光的分析手段:

杂散光是光学系统中非正常传输光的总称，产生于漏光、透射光学表面的残余反射和镜筒内壁等非光学表面的残余反射，以及由于光学表面质量问题产生的散射光，而红外光学系统还有因系统自身热辐射产生的杂散光。

杂光来源:

1. 视场外光源
2. 镜筒内壁散射
3. 光线越过某些表面
4. 镜片表面偶次反射
5. 机械部件的反射
6. 光学元件的反射
7. 光学元件的污染
8. 形变

处理方式:

1. 做拦光或遮光处理
2. 镜筒内壁涂黑漆，并且加入消杂光螺纹
3. 加挡光部件
4. 镀膜
5. 消光处理
6. 增加粗糙度，改变部件颜色
7. 清洁
8. 显微镜直观观察，或者替换验证

同时，结合理论软件进行分析





07-Aug-2011

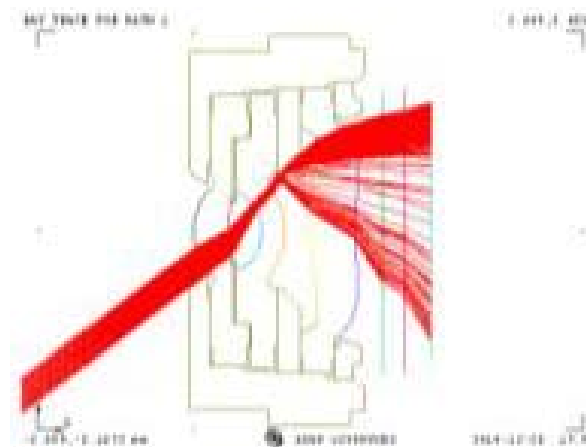
- Flare分析实例:



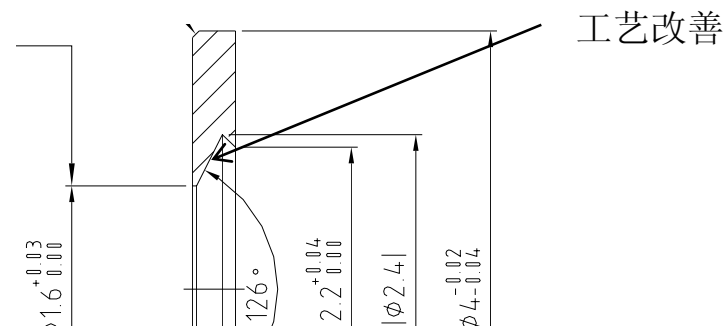
白炽灯下现象



日光灯下现象



理论分析



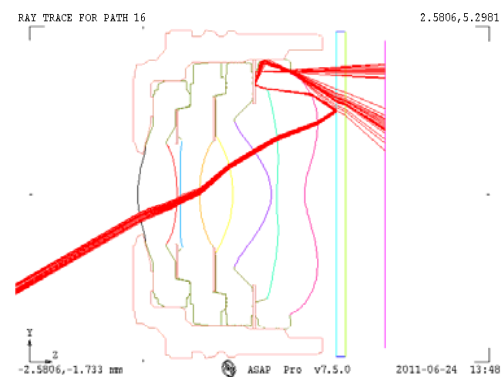


07-Aug-2011

- Flare分析实例:



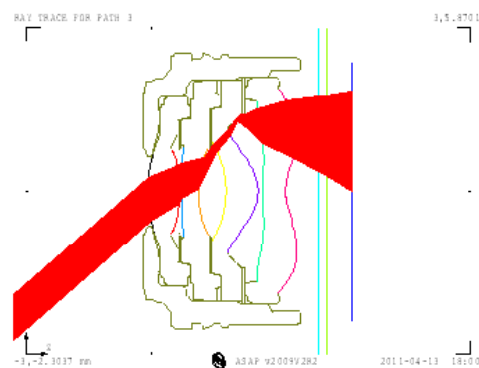
30° flare现象



30° 理论模拟



35° flare现象



35° 理论模拟

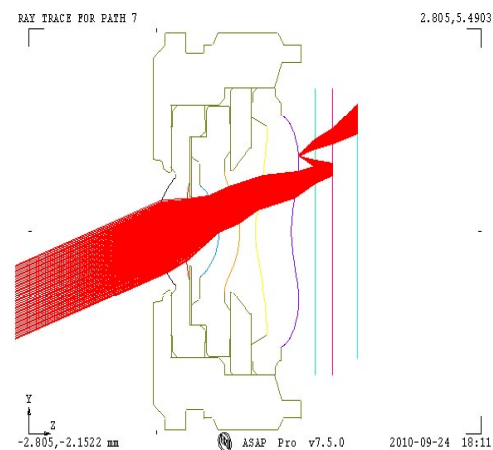


07-Aug-2011

- Ghost分析实例:



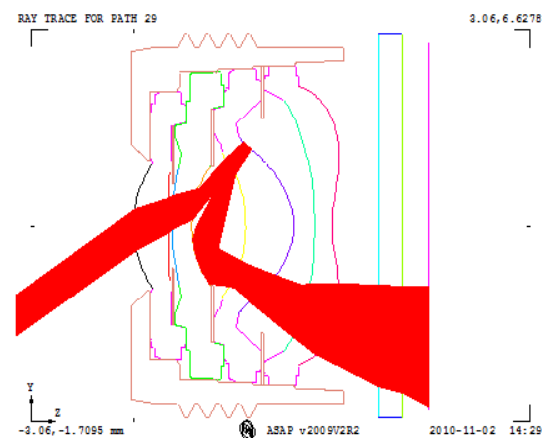
小角度 Ghost现象



理论分析结果



大角度 Ghost现象



理论分析结果

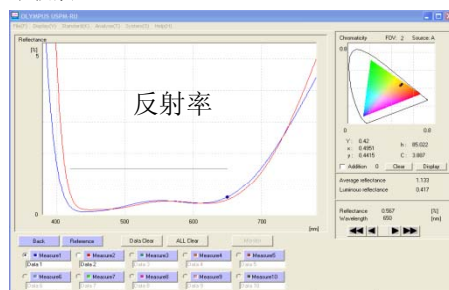


07-Aug-2011

• 不同镀膜工艺的Ghost表现:

MI5140 sensor 1/4", CCT:2800K lights, tripod, testing at 0.8m objective distance

A: 原镀膜工艺:

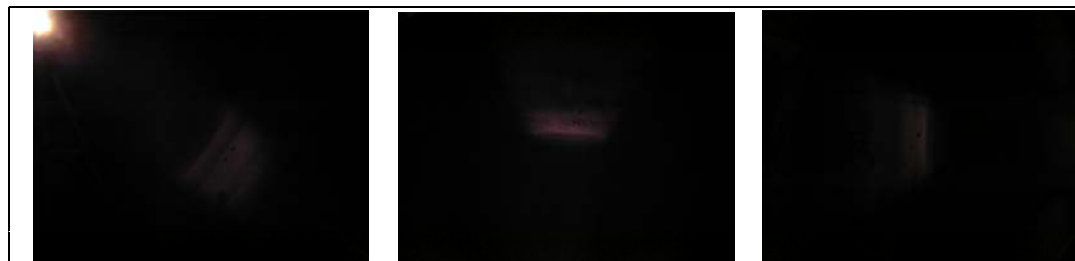
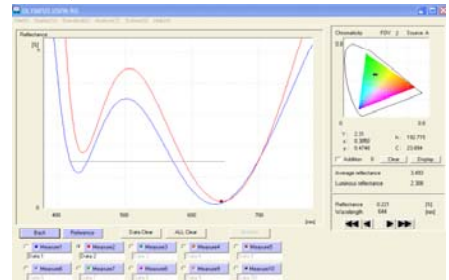


D-37°

H-37°

V-37°

B: 工艺调整一:

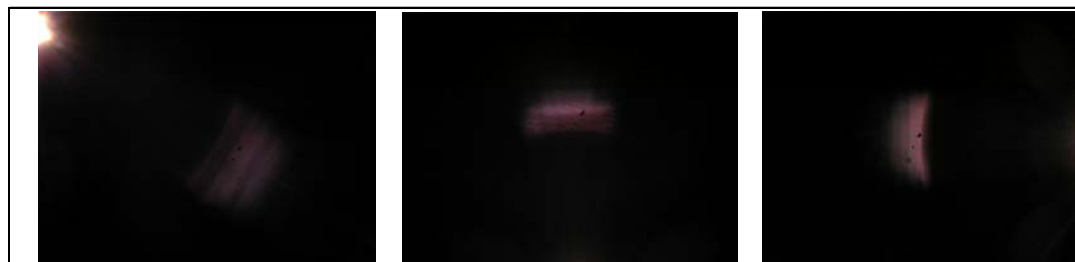
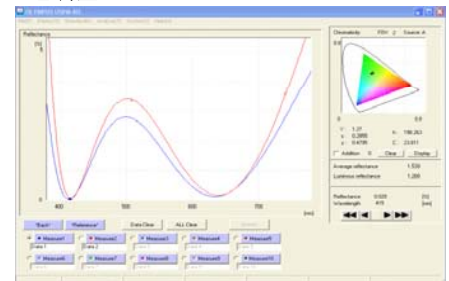


D-37°

H-37°

V-37°

C: 工艺调整二:



D-37°

H-37°

V-37°



07-Aug-2011

Thank You !

舜宇光学研发部