



# 《传感器技术》

主讲人：李刚



# 12

## 图像传感器 原理与应用



# 12.1 图像传感器



## 第一节 图像传感器及应用

图像传感器可以分为CMDS和CCD两大类。它们具有光电转换、信息存储和传输等功能。

CCD具有集成度高、分辨力高、动态范围大等优点。CCD图像传感器被广泛应用于军事、卫星、医疗、天文、图像识别、工业显微镜等领域。

CMDS具有价廉、集成度高，耗电量不到CCD的1/10、发热小，响应速度快、感光面积大等特点，多用于视频设备、照相机、监视器等。

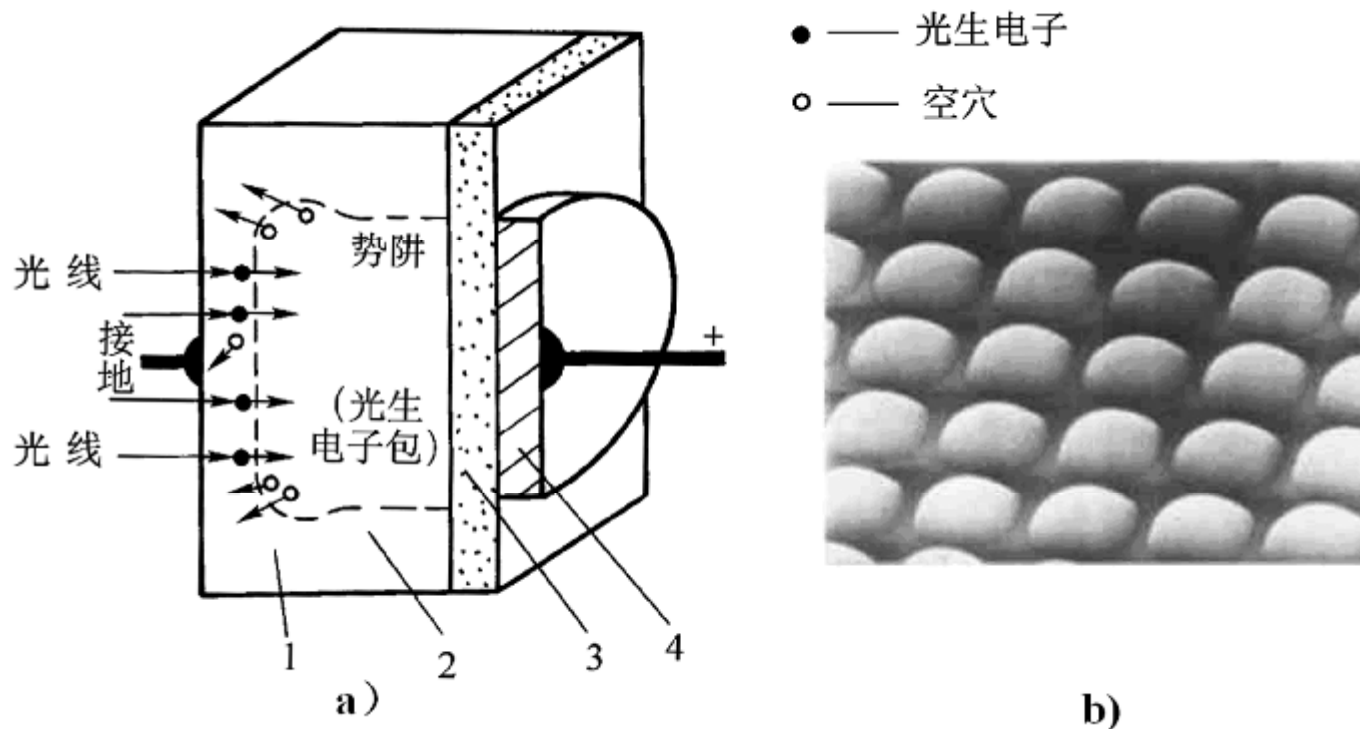
本节重点介绍CCD和CMDS图像传感器在工业检测和自动控制系统中的应用。

## 一、CCD图像传感器的工作原理

一个完整的CCD器件由光敏元、转移栅、模拟移位寄存器，以及一些辅助输入、输出电路组成。

CCD的光敏元实质上是一个MOS电容器，它能存储电荷。在设定的CCD积分时间内，光敏元对光信号进行短暂取样，将光的强弱转换为视界内的各光敏元的电荷量。取样结束后，各光敏元的电荷在转移栅信号驱动下，转移到CCD内部的移位寄存器相应单元中。移位寄存器在驱动时钟的作用下，将信号电荷顺次转移到视频输出端。输出信号可接到图像显示器或其他信号存储、处理设备中，并进行信号再现，或进行存储处理。

## MDS电容器组成的光敏元

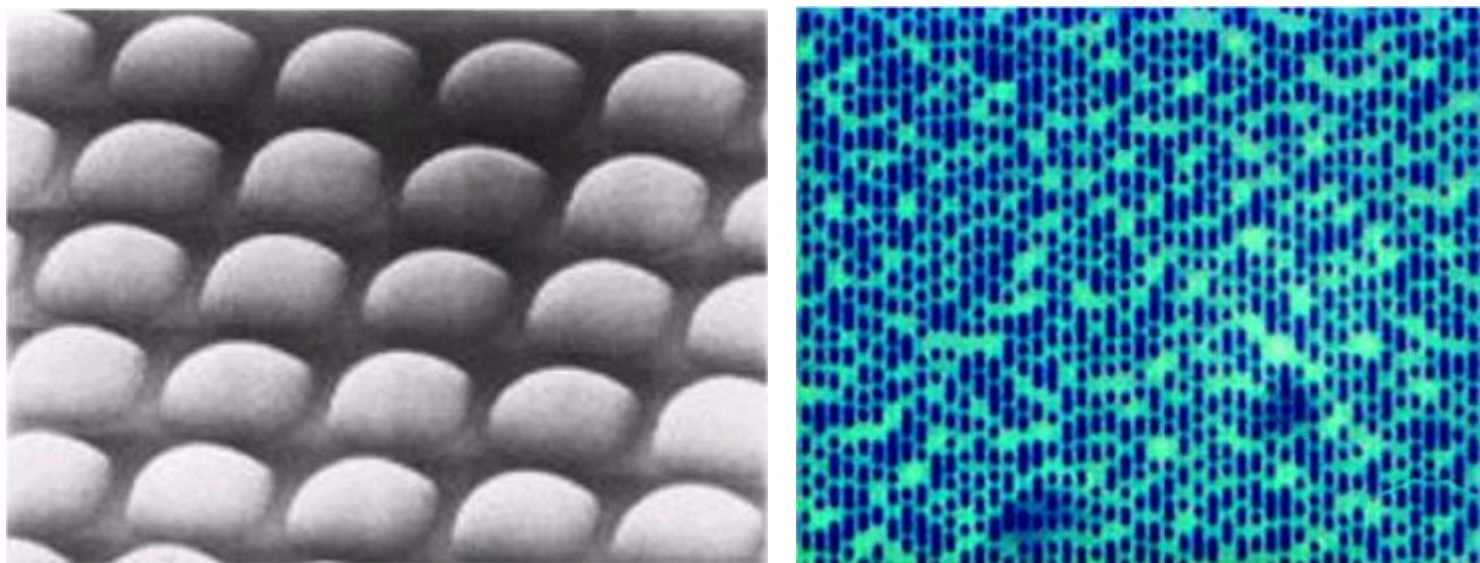


a) 结构示意图 b) CCD光敏元显微结构

1—P型硅衬底 2—耗尽层边界 (虚线) 3— $\text{SiO}_2$  4—金属电极

## CCD的光敏元结构及存储电荷

### MDS电容器组成的光敏元的显微照片



### CCD读出移位寄存器的数据面显微照片

## 二、CCD图像传感器的分类

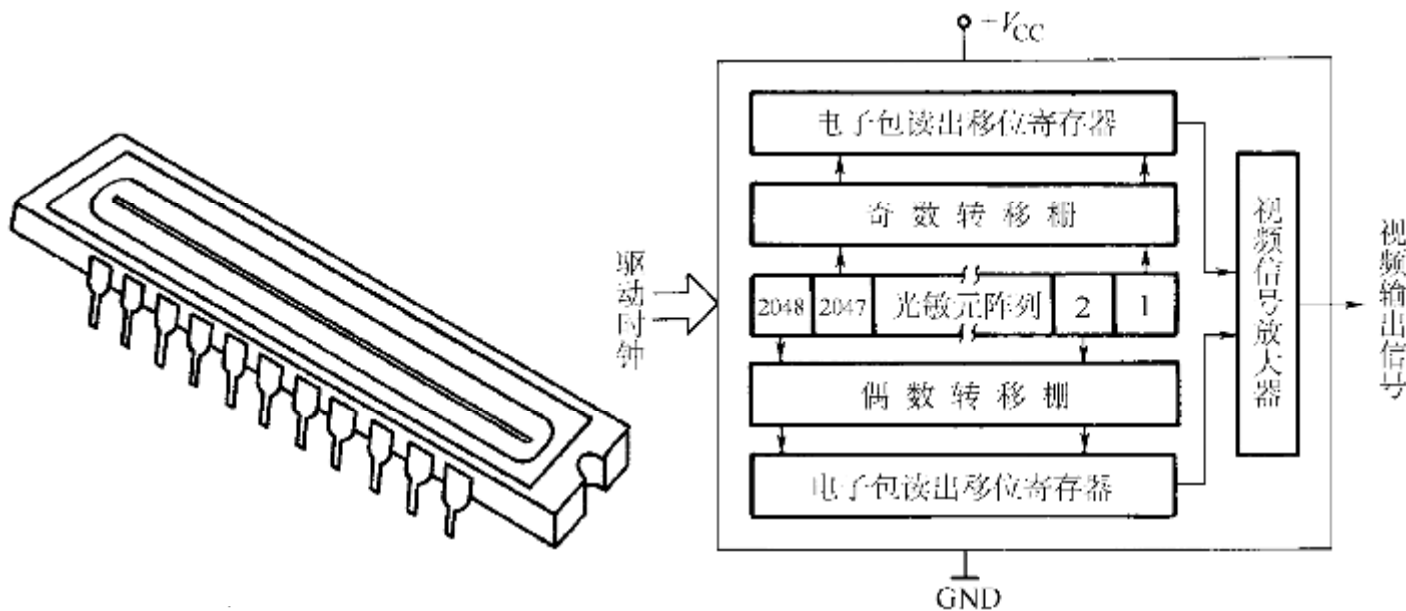
CCD图像传感器有线阵和面阵之分。

所谓线阵是指在一块硅芯片上制造了紧密排列的许多光敏元，它们排列成一条直线，感受一维方向的光强变化；所谓面阵是指将光敏元排列成二维平面矩阵，感受二维图像的光强变化，可用于数码照相机。线阵的光敏元件数目从256个到4096个或更多；而在面阵中，光敏元的数目可以是 $600 \times 500$ 个、 $4096 \times 4096$ 个以上。CCD图像传感器还有单色和彩色之分，彩色CCD可拍摄色彩逼真的图像。

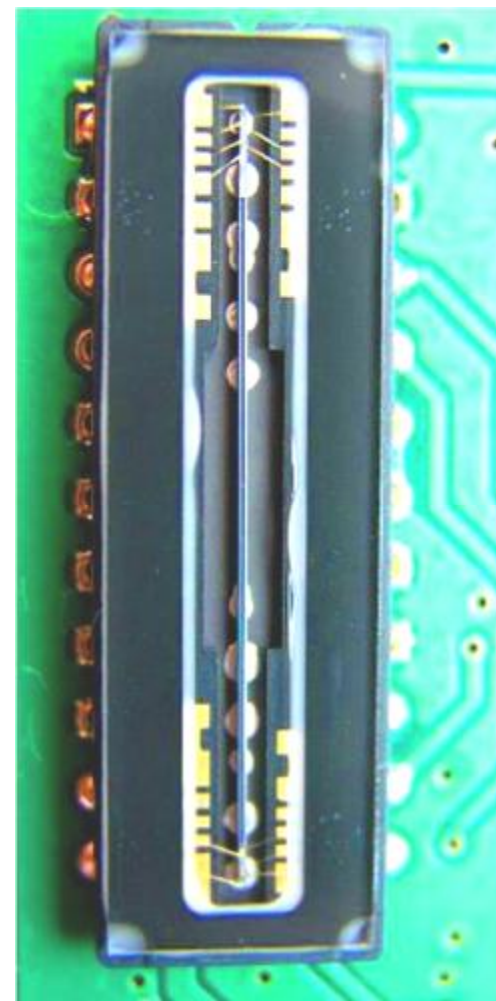


## 1. 线阵CCD

线阵CCD由排成直线的MDS电容器光敏元阵列、转移栅、读出移位寄存器、视频信号电路和时钟电路等组成。转移栅的作用是将光敏元中的电子包“并行”地转移到奇、偶对应的读出移位寄存器中去,然后再合二为一,恢复光生信号在线阵CCD上的原有顺序,传送到视频输出端。



## 线阵CCD外形



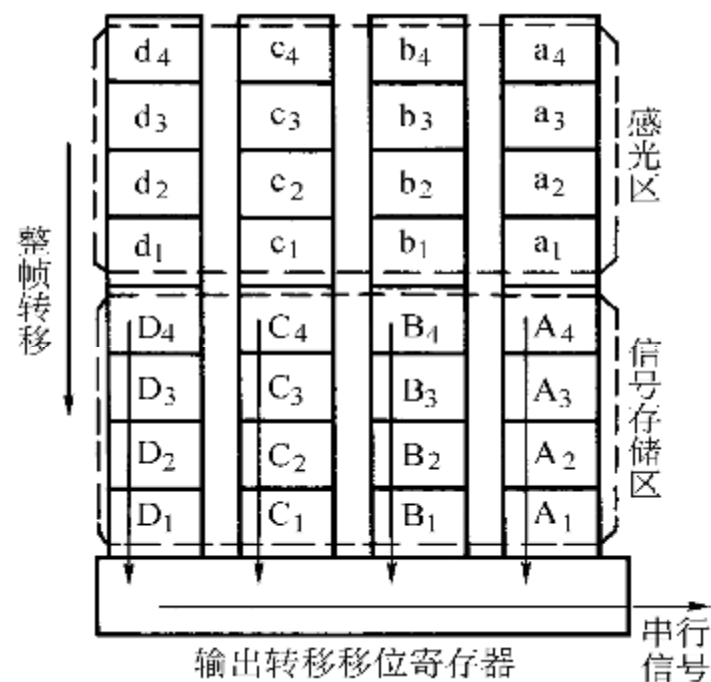
## 2. 面阵CCD

线阵CCD只能在一个方向上实现电子自扫描。为了获得二维图像，人们在1/2in（英寸）或更大尺寸上研制出了能在 $x$ 、 $y$ 两个方向都能实现电子自扫描的面阵CCD。

面阵CCD由感光区、信号存储区和输出移位寄存器等组成，根据不同的型号，有多种结构形式的面阵CCD。

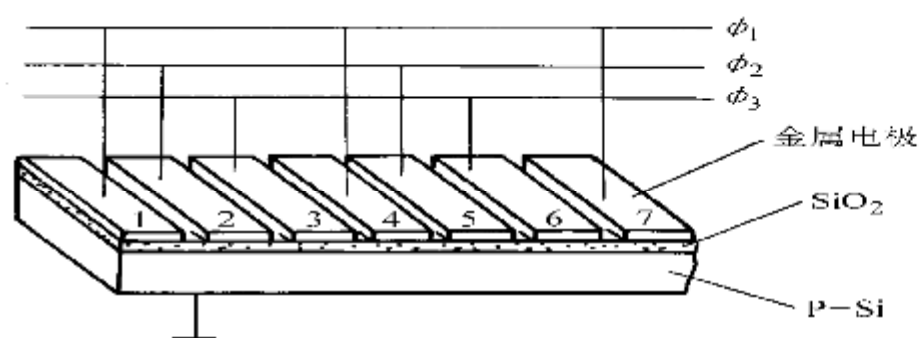
### 4×4帧转移面阵CCD的结构及工作原理

在光敏元曝光（或叫光积分）期间，整个感光区的所有光敏元的金属电极上都施加正电压，使光敏元俘获受光照衬底附近的光生电子。曝光结束时刻，在极短的时间内，将感光区中整帧的光电图像电子信号迅速转移到不受光照的对应编号存储区中。

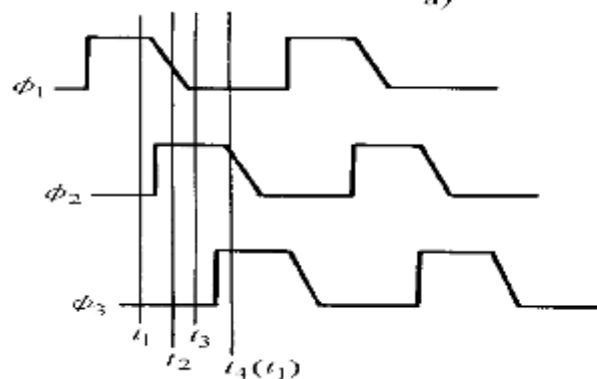


此后，感光区中的光敏元开始第二次光积分，而存储阵列则将它里面存储的电荷信息一位、一位地转移到输出移位寄存器。在高速时钟的驱动下，输出移位寄存器将它们按顺序输出，形成视频信号。

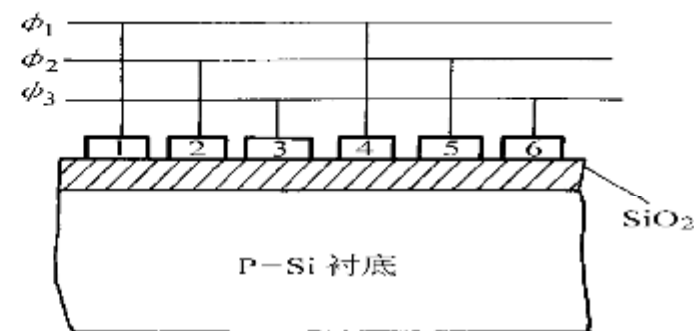
## 三相CCD移位寄存器结构及电子包的转移过程



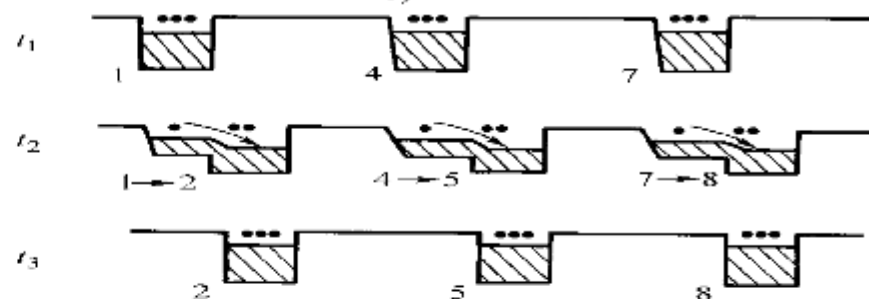
a)



c)



b)



d)

a) 侧视图      b) 正视图

c) 三相时钟的变化时序      d) 电子包的转移过程

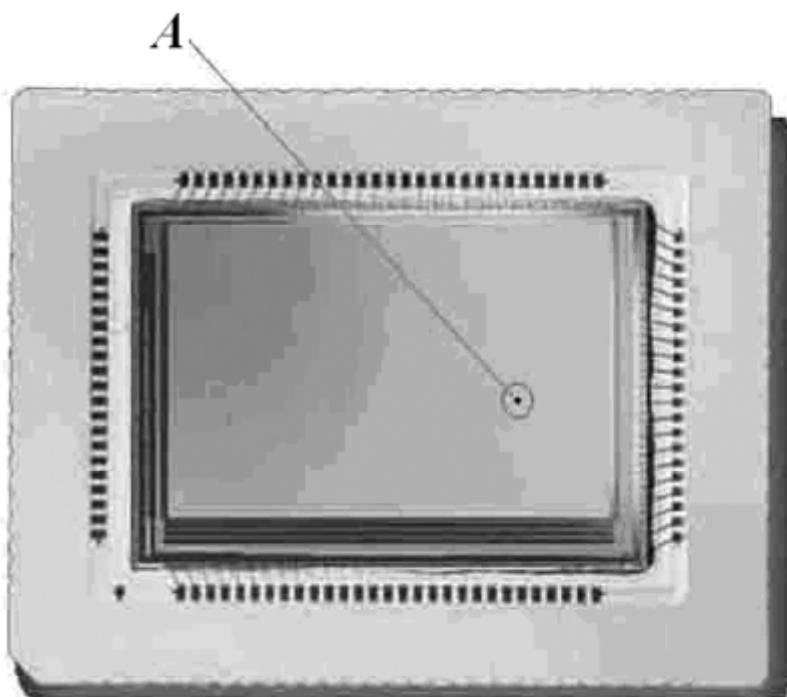
### 3 . 彩色CCD

单色CCD只能得到具有灰度信号的图像。

为了得到彩色图像信号，可将3个（或4个）像素一组，排列组成等边三角形或其他方式。每一个像素表面分别制作红、绿、蓝（即R、G、B）三种滤色器，形如三色跳棋盘。

每个像素点只能记录一种颜色的信息，即红色、绿色或蓝色。在图像还原时，必须通过插值运算处理来生成全色图像。

## 彩色CCD结构示意图

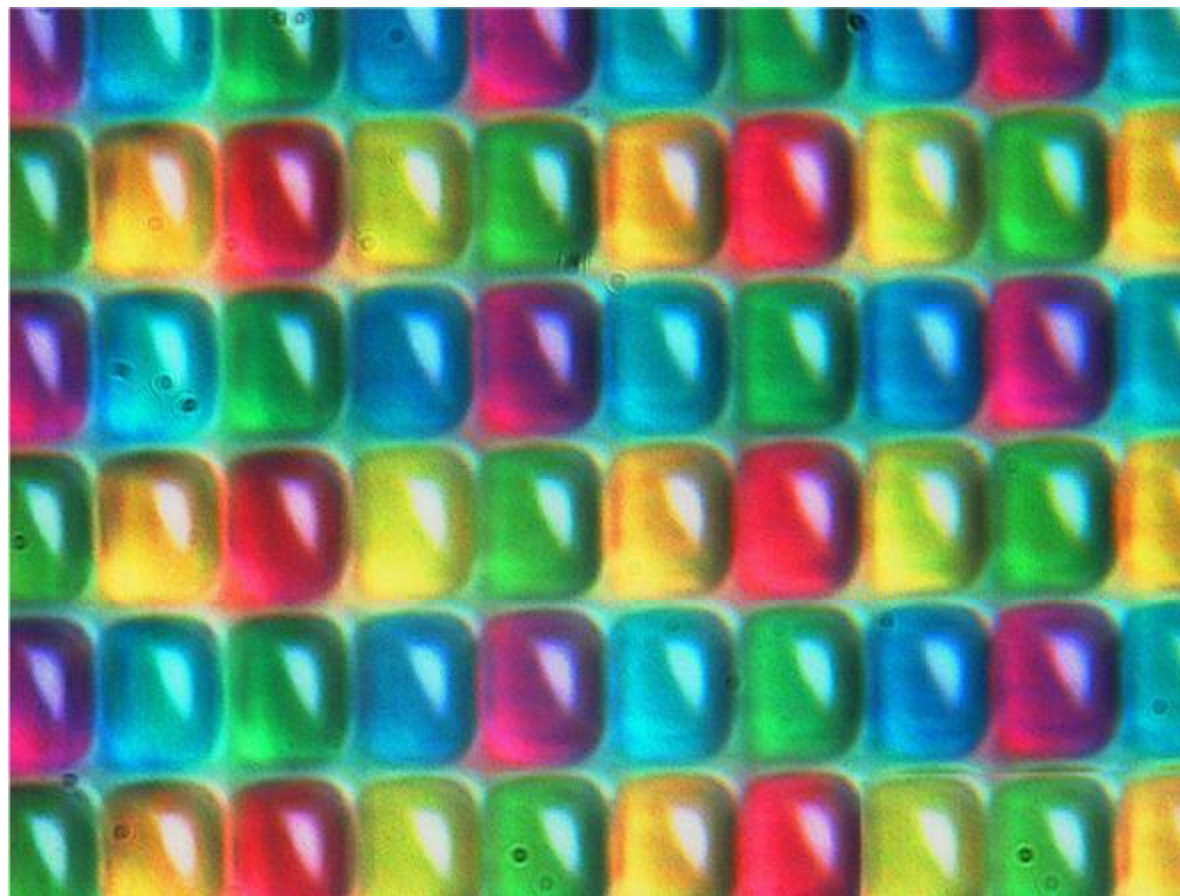


A放大

			G	R	G	R		
	B	G	B	G	B	G	B	
G	G	R	G	R	G	R	G	R
G	B	G	B	G	B	G	B	G
R	G	R	G	R	G	R	G	R
G	B	G	B	G	B	G	B	G
R	G	R	G	R	G	R	G	R
G	B	G	B	G	B	G	B	G
	G	R	G	R	G	R	G	R
		B	G	B	G	B	G	



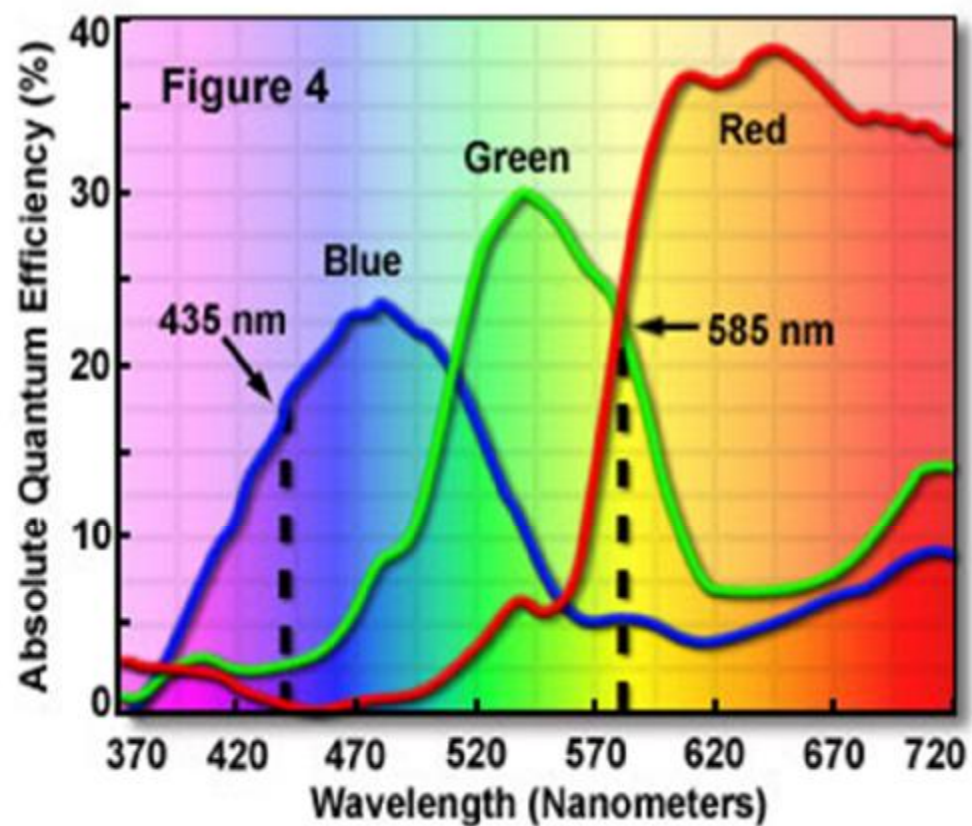
## 彩色CCD显微照片（放大7000倍）





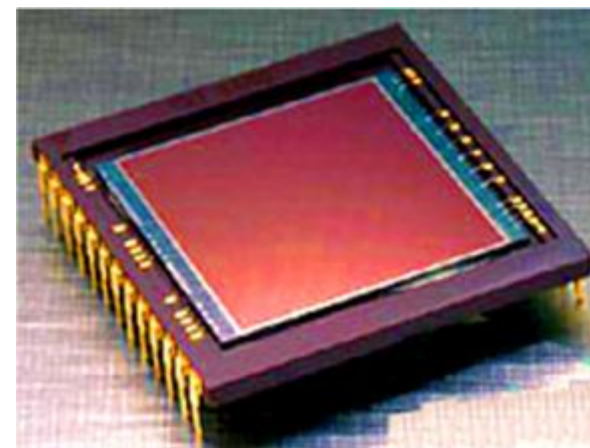
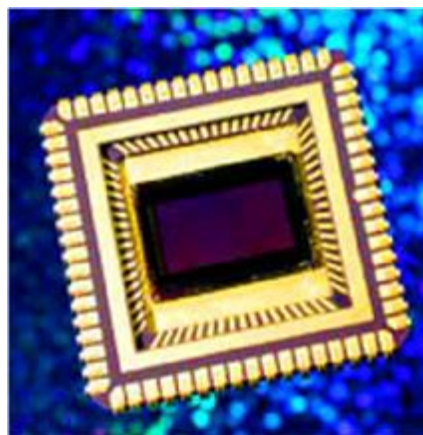
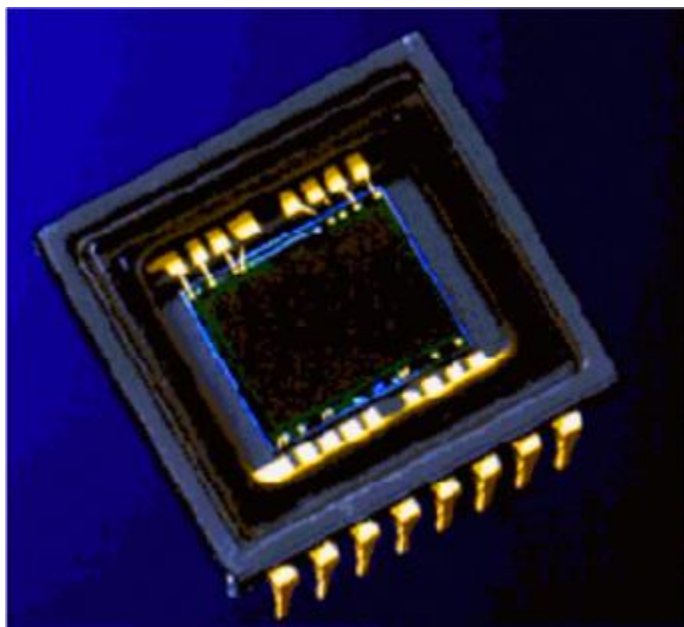
## 红绿蓝三色光谱响应曲线

Bayer Filter Transmission Spectral Profiles

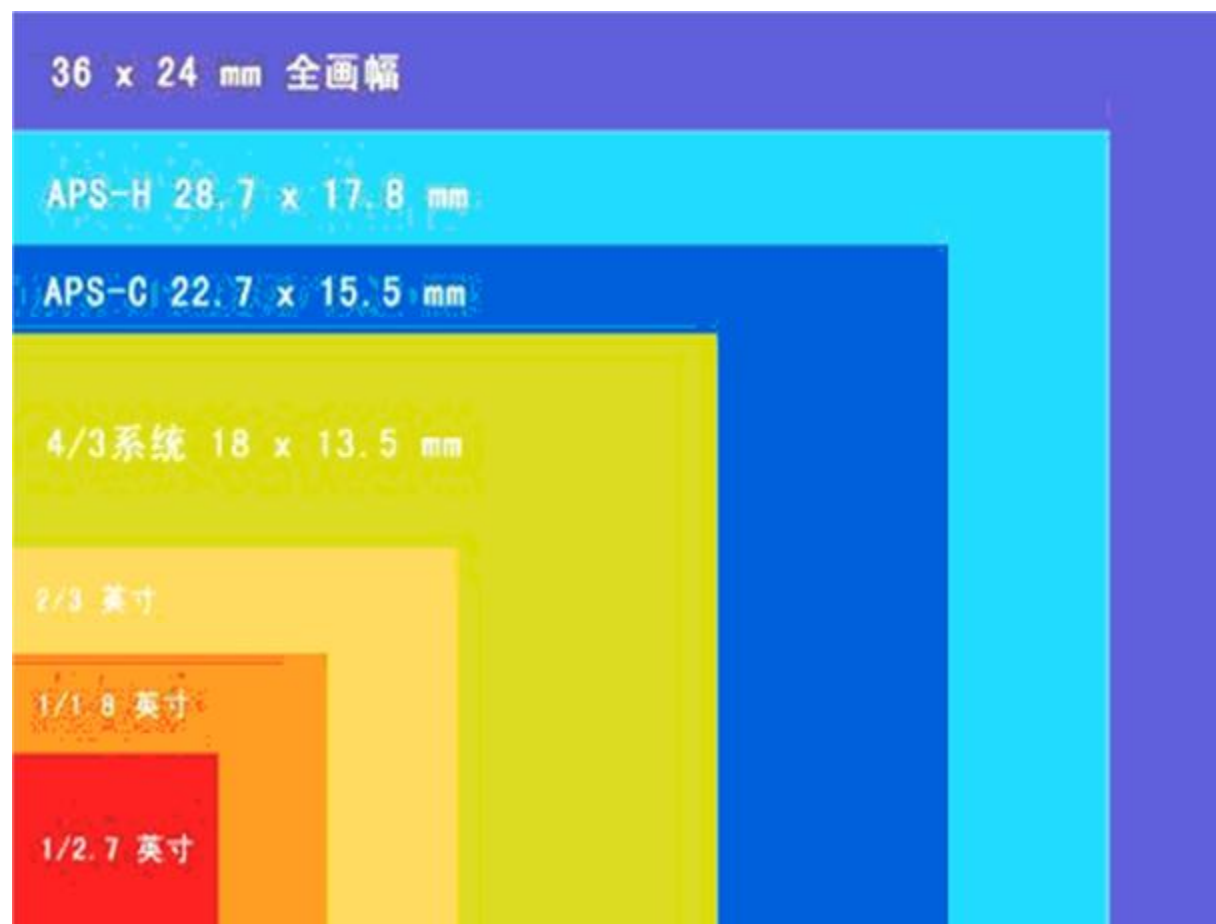


## 面阵CCD外形

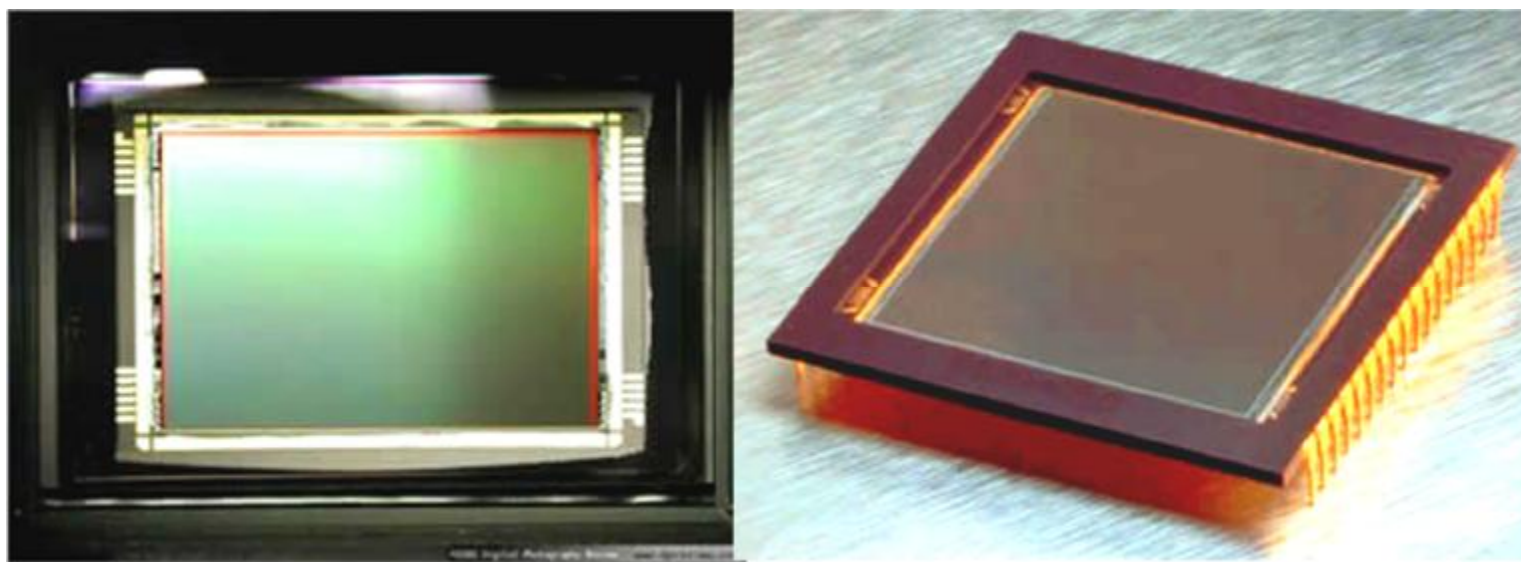
1/2.5英寸的面阵CCD的尺寸为 $5.38 \times 4.39\text{mm}$ ;  
 $36\text{mm} \times 24\text{mm}$  CCD等效于35mm。



## 面阵CCD的画幅示意图



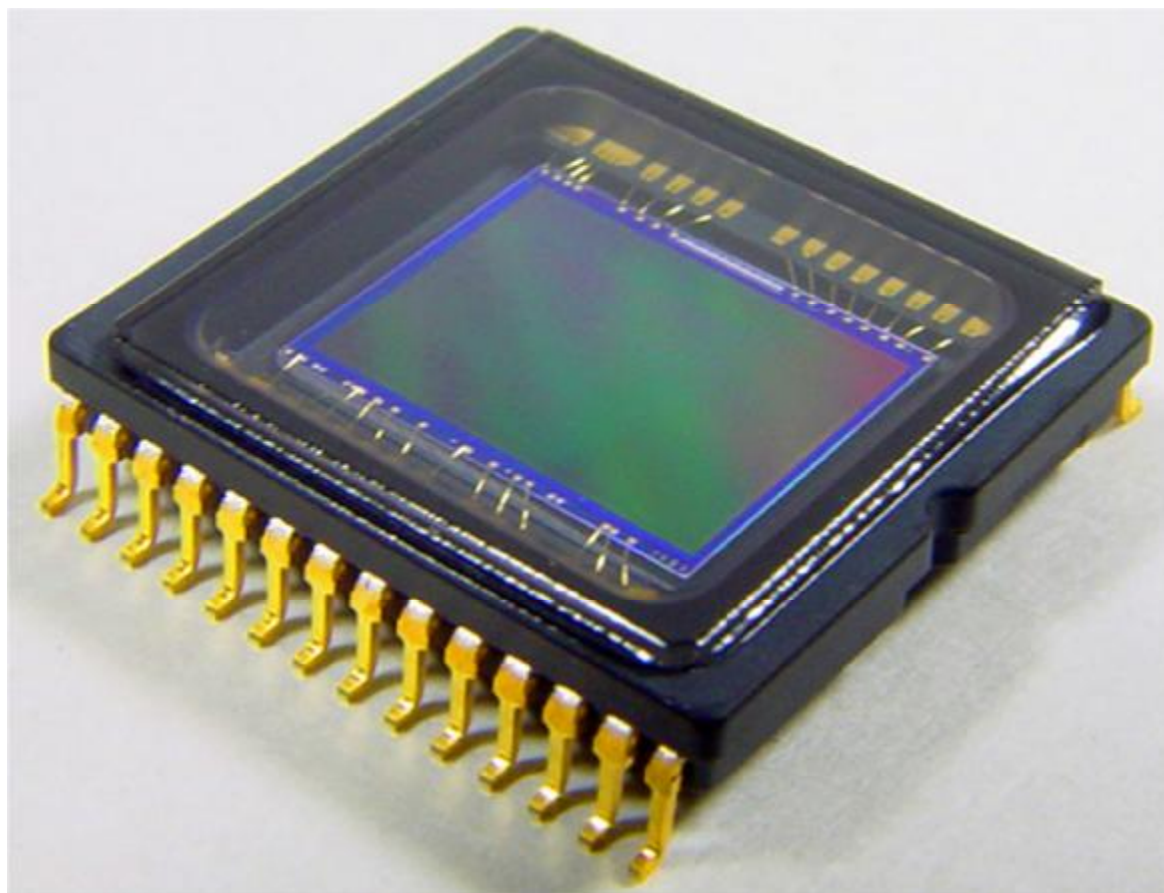
## 面阵CCD外形 (续)



1600万像素的面阵CCD



## 面阵CCD外形（续）



### 三、CCD图像传感器的应用

线阵CCD可用于一维尺寸的测量，增加机械扫描系统，也可以用于大面积物体

（如钢板、地面等）尺寸的测量和图像扫描。

例如彩色图片扫描仪、卫星用的地形地貌测量等，彩色线阵CCD还可用于彩色印刷中的套色工艺的监控等。

面阵CCD除了可以用于拍照外，还可以用于复杂形状物体的面积测量、图像识别（如指纹识别）、印制电路板焊点短路识别等。



## 线阵CCD在图像扫描中的应用

1—辉光放电管光源

2—平板玻璃

3—原稿

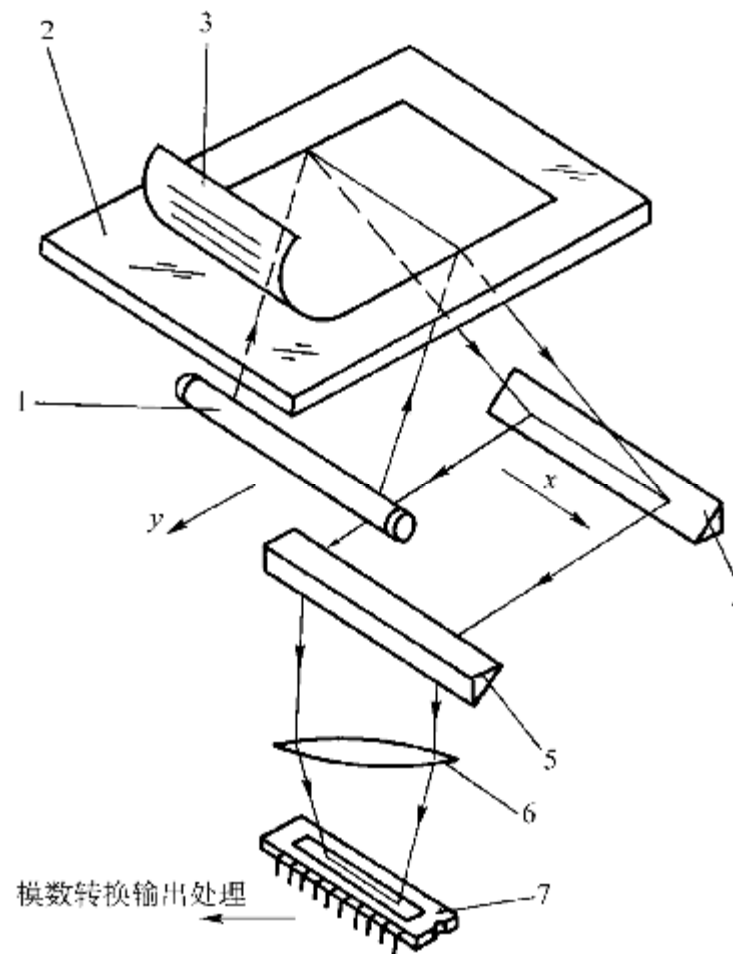
4—反光镜1

5—反光镜2

6—透镜

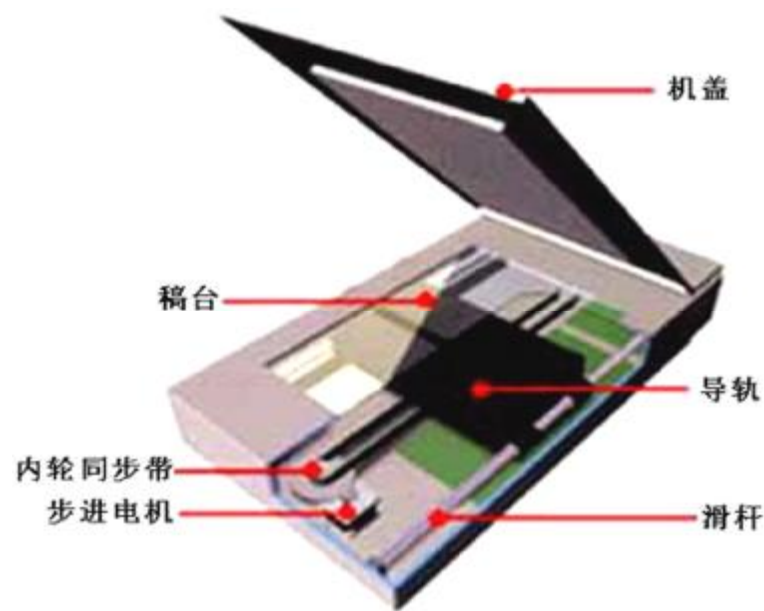
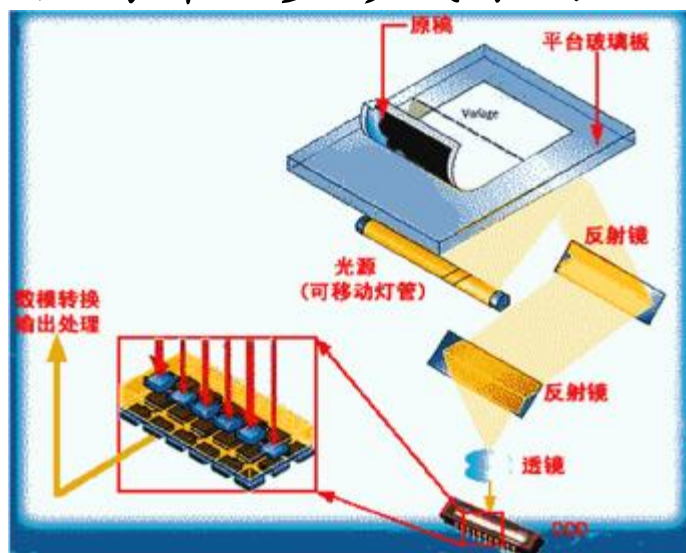
7—CCD

安装在扫描仪内部的可移动光源与光学系统、线阵CCD的扫描头一起，在步进电机的驱动下，沿 $y$ 方向扫过整个原稿。



## 线阵CCD在扫描仪中的应用（续）

照射到原稿上的光线经反射后, 穿过一个很窄的缝隙, 形成沿 $x$ 方向的光带, 再经过一组反光镜, 由光学透镜聚焦, 照到彩色线阵CCD上, CCD将光带转换为RGB串行模拟信号, 此信号又被A/D转换器转变为数字信号。扫描仪每扫一行, 就得到原稿 $x$ 方向一行的图像信息。随着沿 $y$ 方向的移动, 在计算机内部逐步形成原稿的全图。





## 线阵CCD在图像扫描中的应用

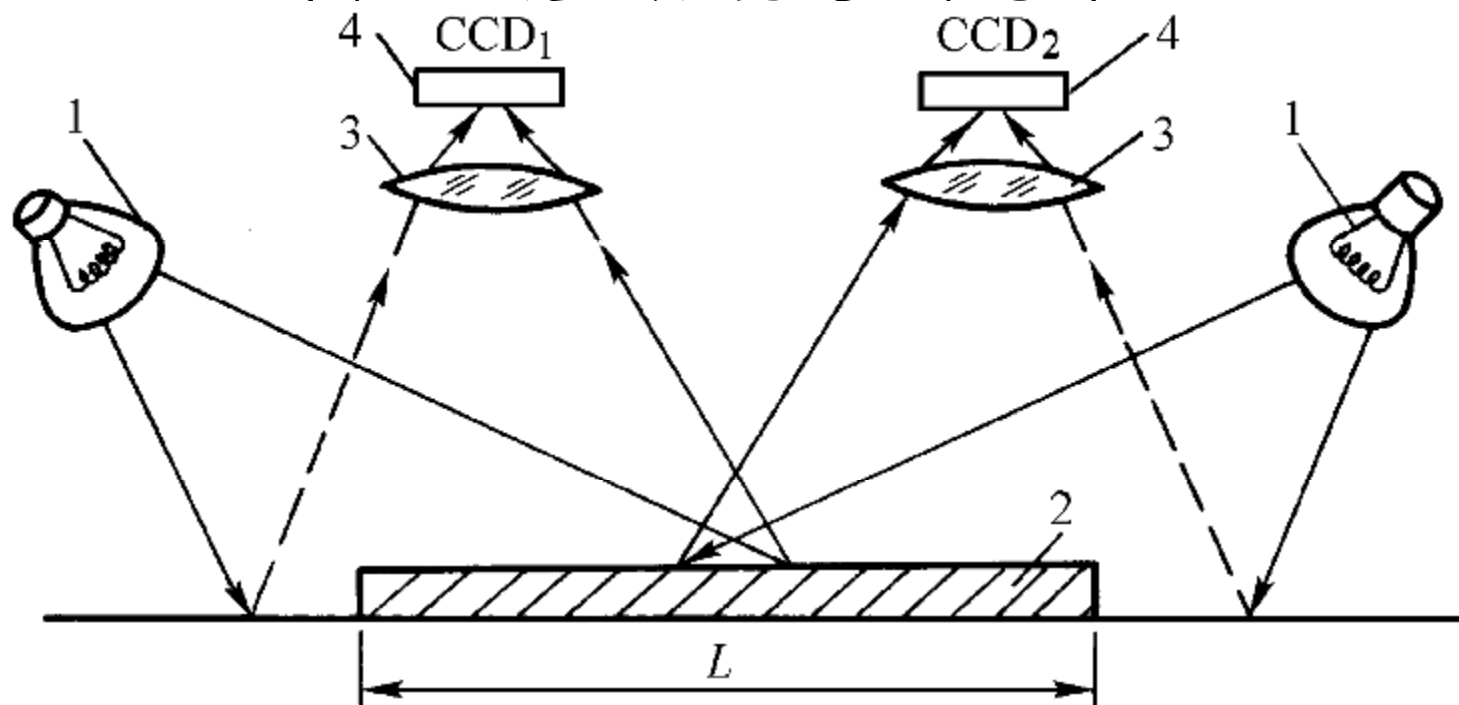


用于卫星，可以对  
地球上空的云层分布进  
行逐行扫描



用于彩色印刷中的  
套色工艺监控

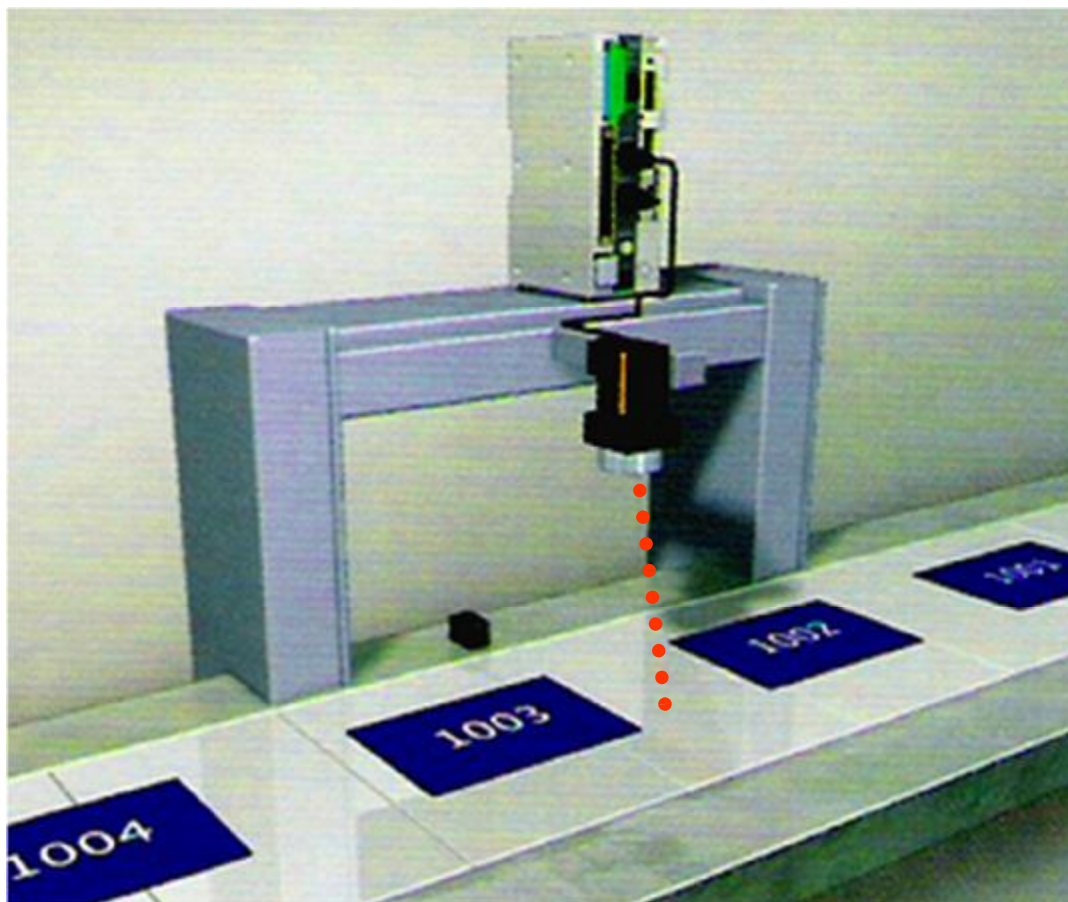
线阵CCD测量钢板宽度的示意图



1—泛光源 2—被测带材 3—成像物镜 4—线阵CCD

也可以不用泛光源，改用超高亮度和平行度的大功率LED阵列线性条形光源，置于被测带材的正下方。

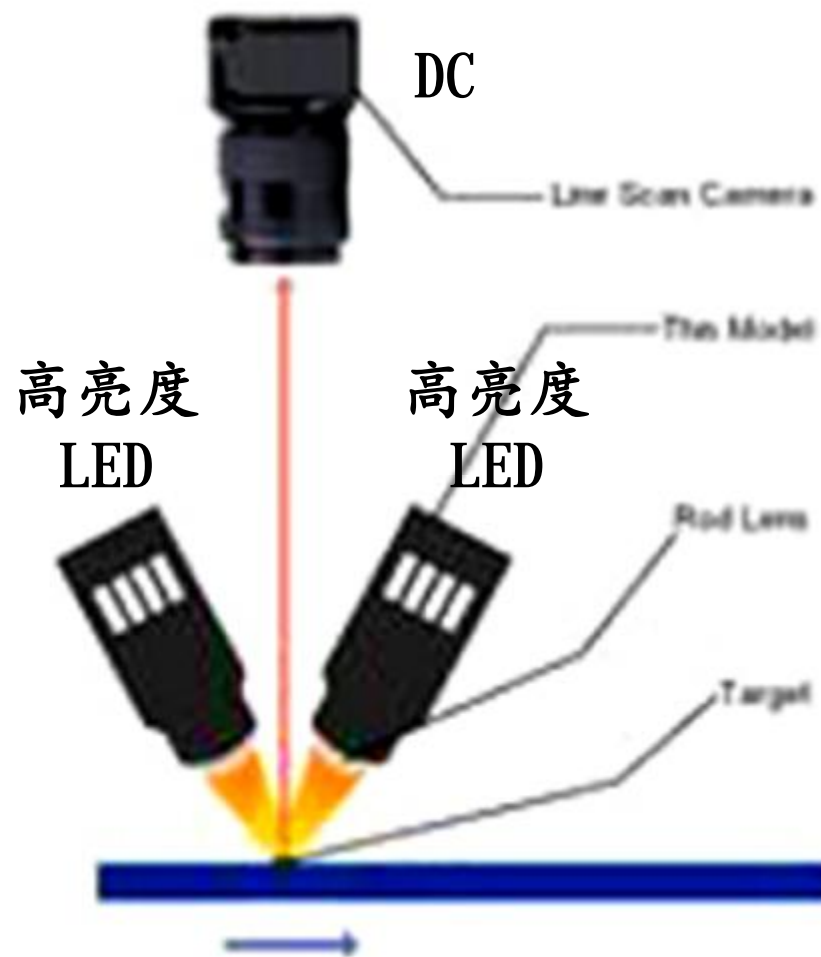
## 线阵CCD用于字符识别





## CCD在印刷电路板（PCB）的故障、位置中的应用

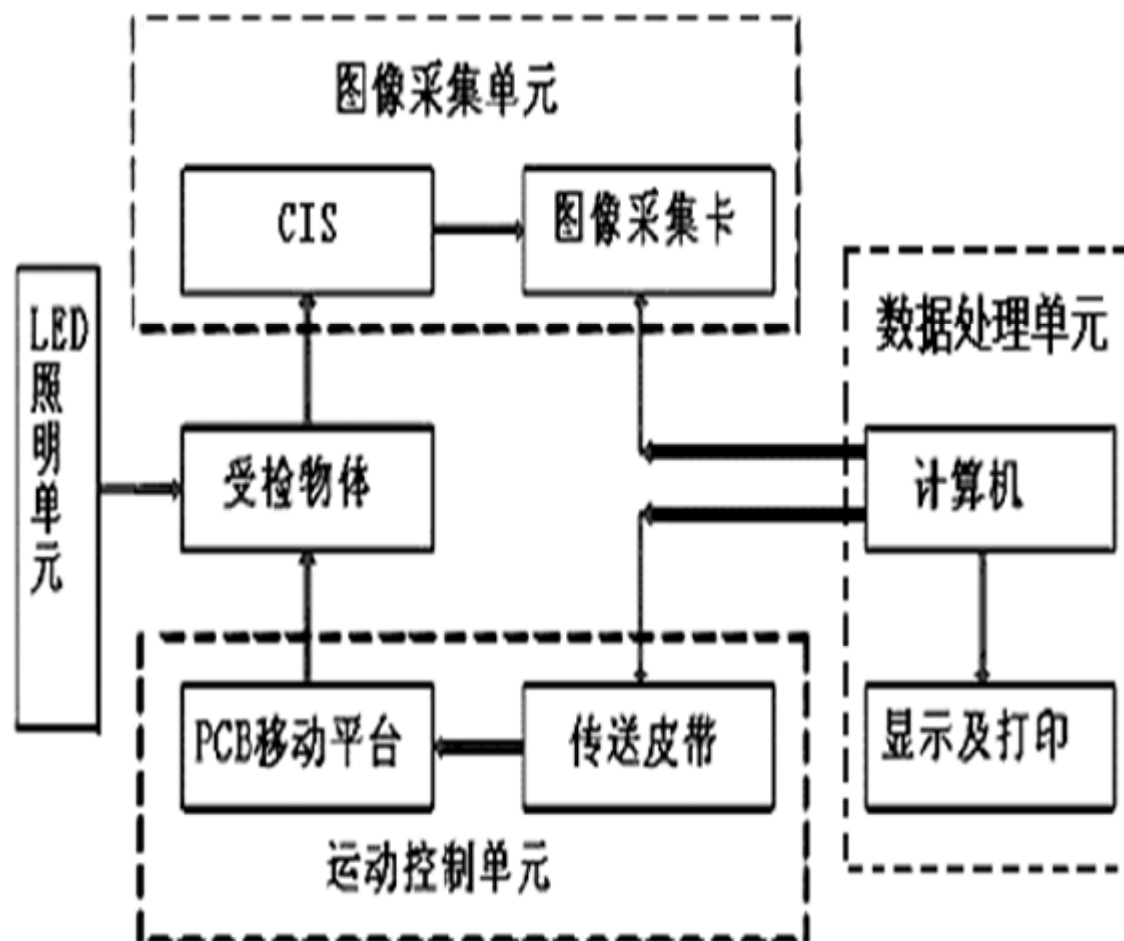
目前，PCB向着超薄型、小元件、高密度、细间距方向快速发展。线路板上元器件组装密度提高，PCB的线宽、间距、焊盘越来越小。目前，PCB的设计、加工水平已经达到0.1~0.3mm(孔径)、两孔之间的最小间距达到0.1mm。



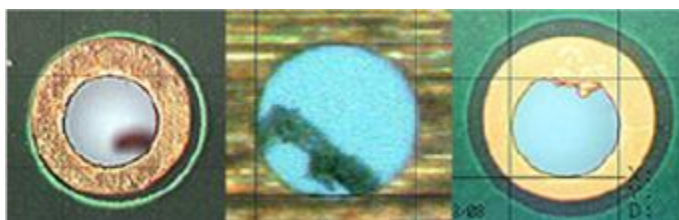


## CCD应用于PCB的光电检测系统

图像传感器捕获电路板图像，通过图像采集卡将图像数据传到计算机系统，并进行算法分析，从而判断被检测电路板是否合格。



## PCB质量的光电检测机



有缺陷的孔  
放大图



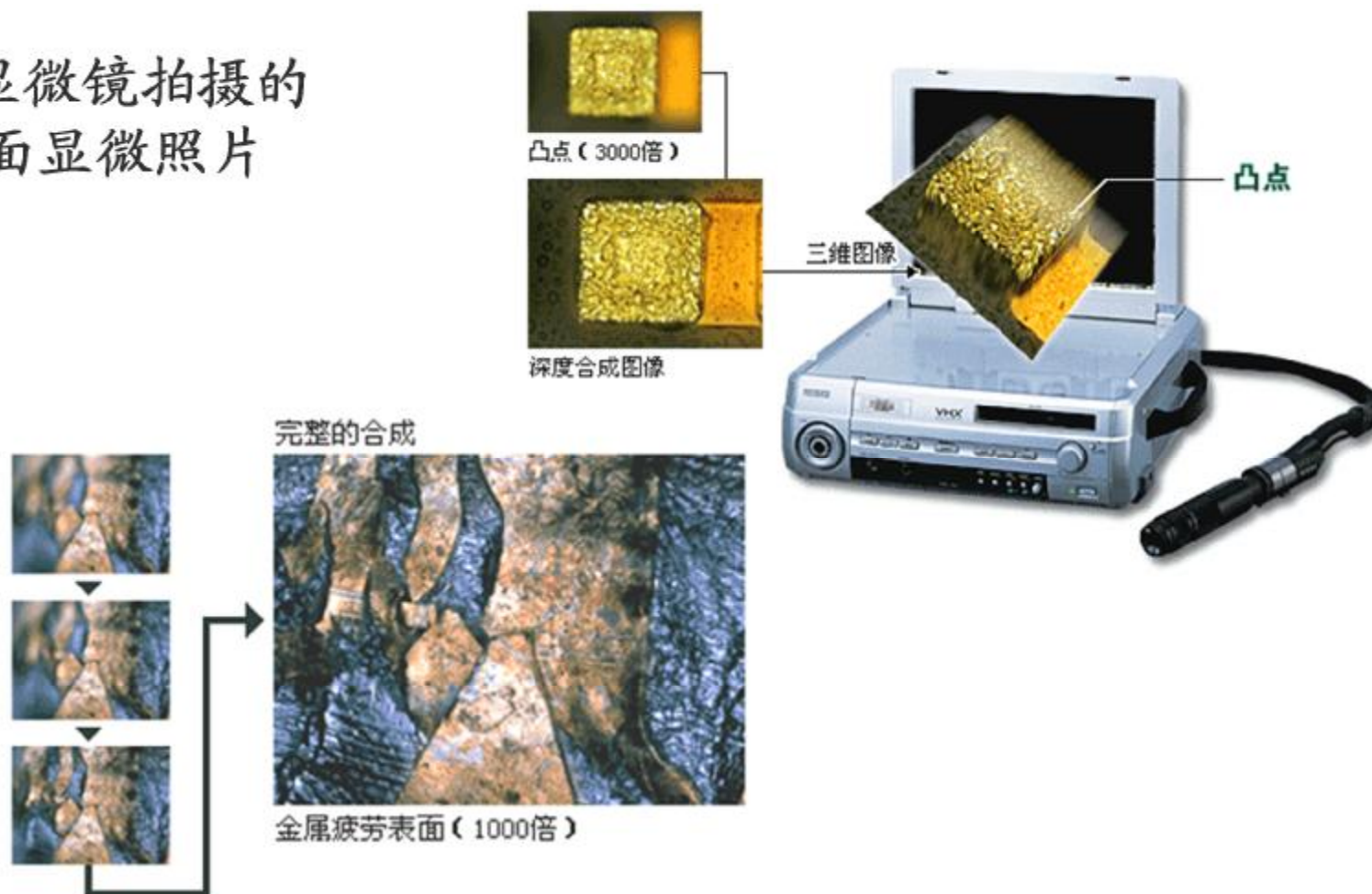
## CCD工业显微镜



可以测量零件的尺寸、形状、角度和位置，可以输出到AutoCAD，形成工程图。



## CCD数码显微镜拍摄的 金属表面显微照片



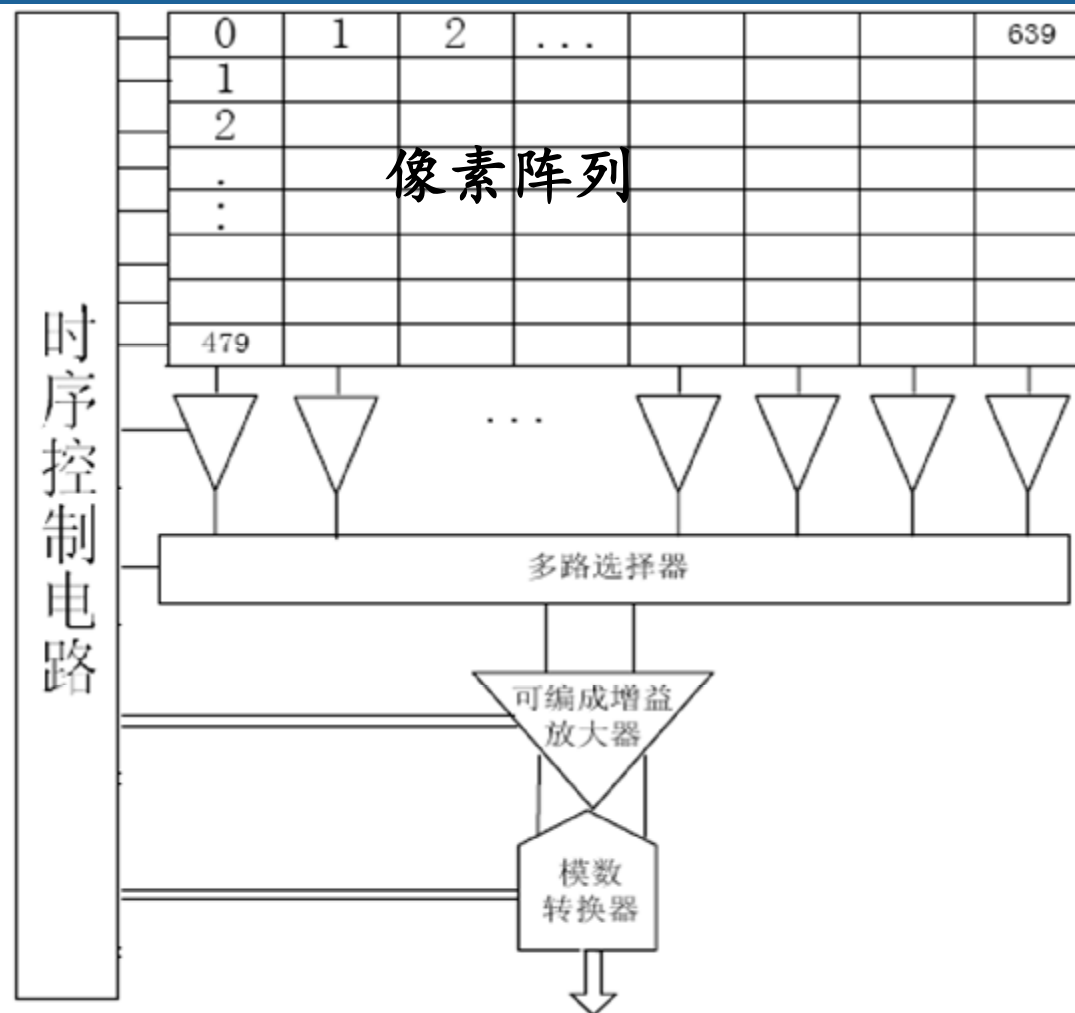
#### 四、CMDS图像传感器

CMDS图像传感器是采用互补金属一氧化物一半导体工艺制作的图像传感器，简称CMDS。现在市售的视频摄像头多使用CMDS作为光电转换器件。虽然目前的CMDS图像传感器成像质量比CCD略低，但CMDS具有体积小、耗电量省、售价便宜的优点。随着硅晶圆加工技术的进步，CMDS的各项技术指标有望超过CCD，它在图像传感器中的应用也将日趋广泛。

现在的低端数码相机大部分采用CMDS图像传感器，还大量用于手机、汽车倒车监视器等视频装备。

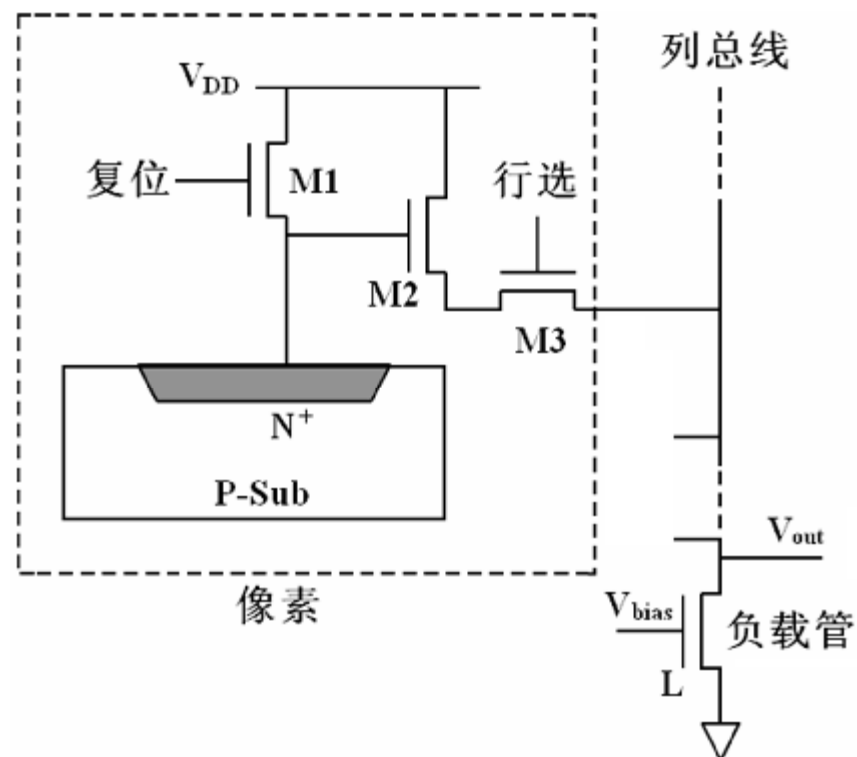
## CMOS图像传感器的结构

CMOS图像传感器由像素阵列、模拟信号调节电路、模拟多路选择电器、可编程增益放大器、模数转换电路和时序控制电路构成。



## CMOS图像传感器像素的内部电路

CMOS中的光探测部件和输出放大器是每个像素的一部分，积分电荷在像素内就被转为电压信号，由自带的MDS管放大，通过x-y输出线输出，图像质量较高。



### CMDS图像传感器特点

CMDS传感器经光电转换后直接产生电压信号，信号读取十分简单，还能同时处理各单元的图像信息，速度比CCD快得多。采用了数字/模拟信号混合设计，图像传感器所需的所有功能，如垂直位移、水平位移暂存器、传感器阵列驱动与控制系统、模数转换器（ADC）接口电路等，可以集成在一起，实现单芯片成像，因此体积小。使用单一工作电压（CCD需要三相驱动电压），因此CMDS功耗低。

CMDS的暗电流和噪声比CCD大，随着CMDS工艺的改进，性能正迅速提高。

## CMDS视频摄像头



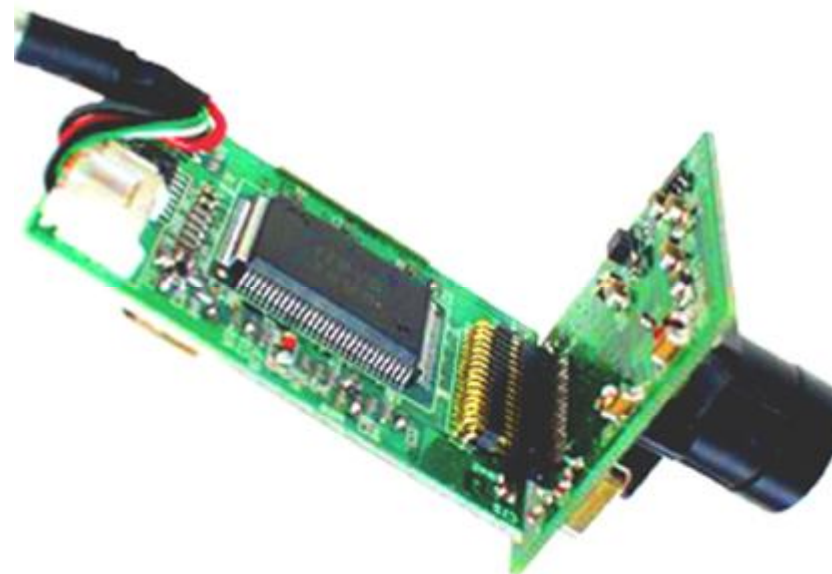
带红外LED  
照明的CMDS视  
频摄像头



## CMDS视频摄像头的外部结构

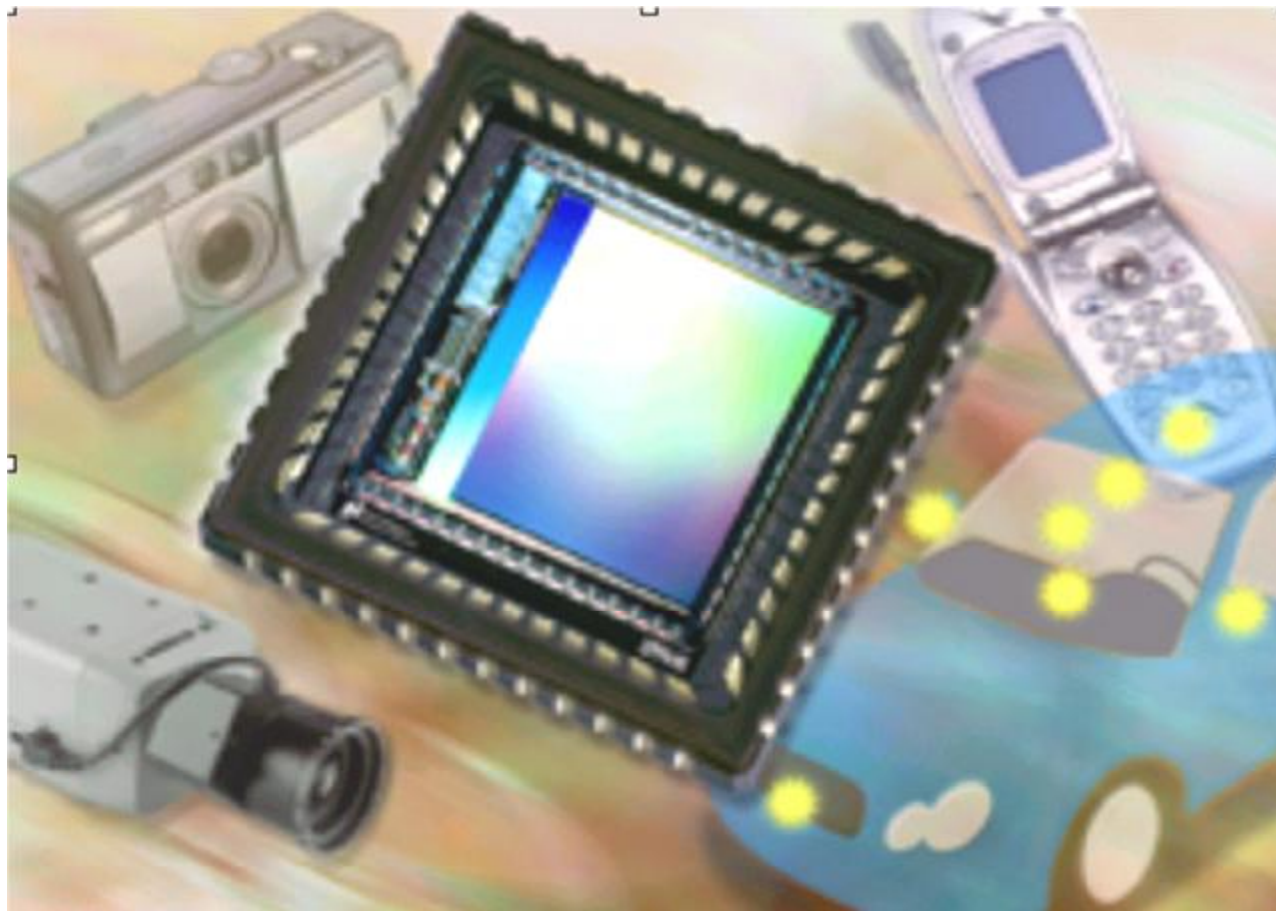


## CMOS视频摄像头的外形及内部结构





## 用于图像记录的CMDS图像传感器



## CMOS数码照相机

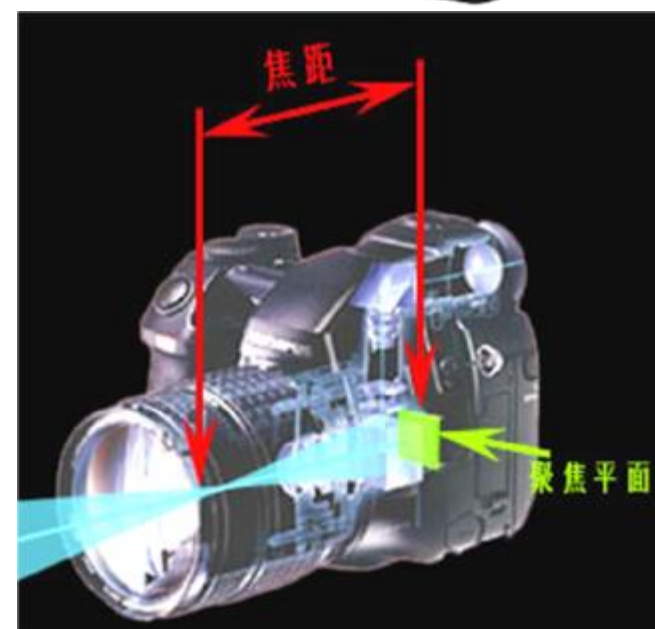
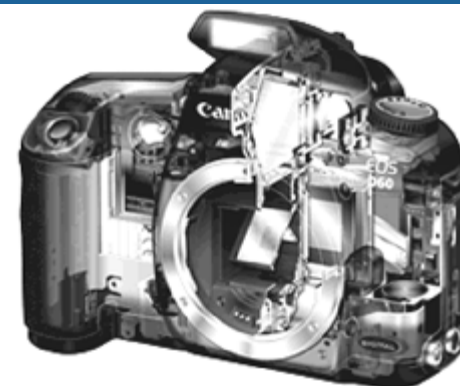
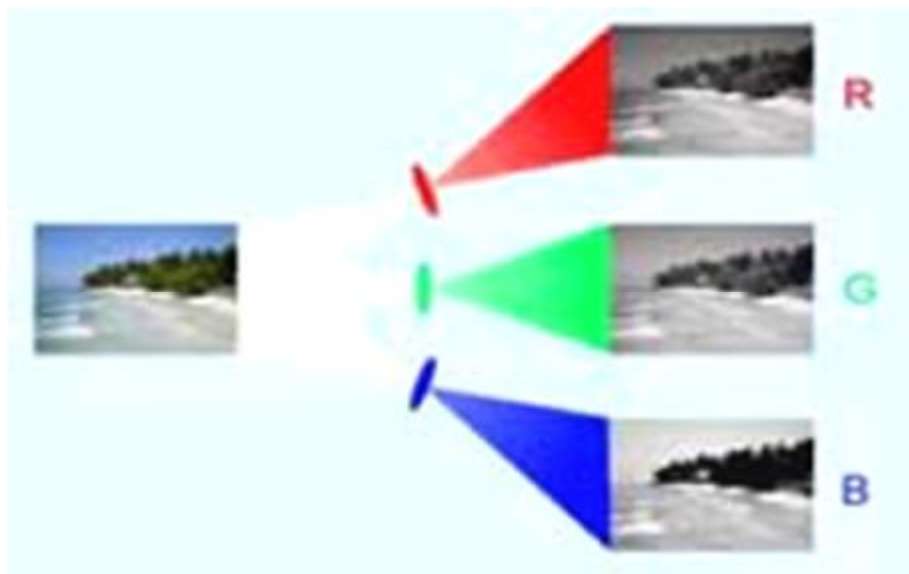
数码相机简称DC，它采用CMOS作为光电转换器件，将被摄物体的图像以数字形式记录在存储器中。

数码相机有光学镜头、取景器、对焦系统、光圈、电子快门、内置电子闪光灯、液晶显示器（LCD）。



## CMOS数码相机结构

### 三基色分离原理



## 数码相机的结构解剖图



CMOS及镜头





# 12.2 热成像技术

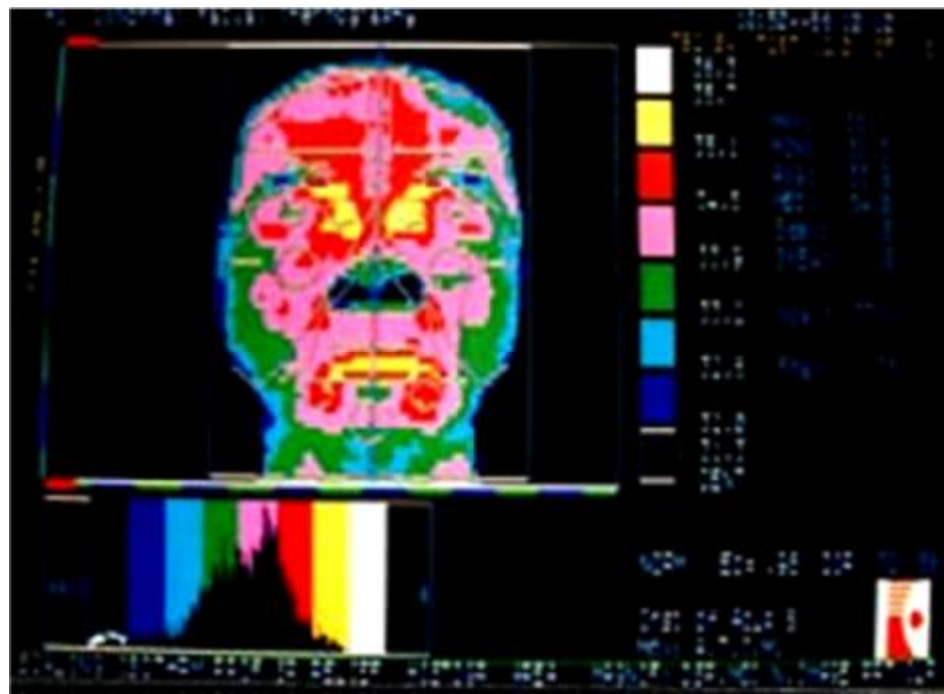




## 第二节 热成像技术及应用

### 红外热像传感器的红外摄像功能

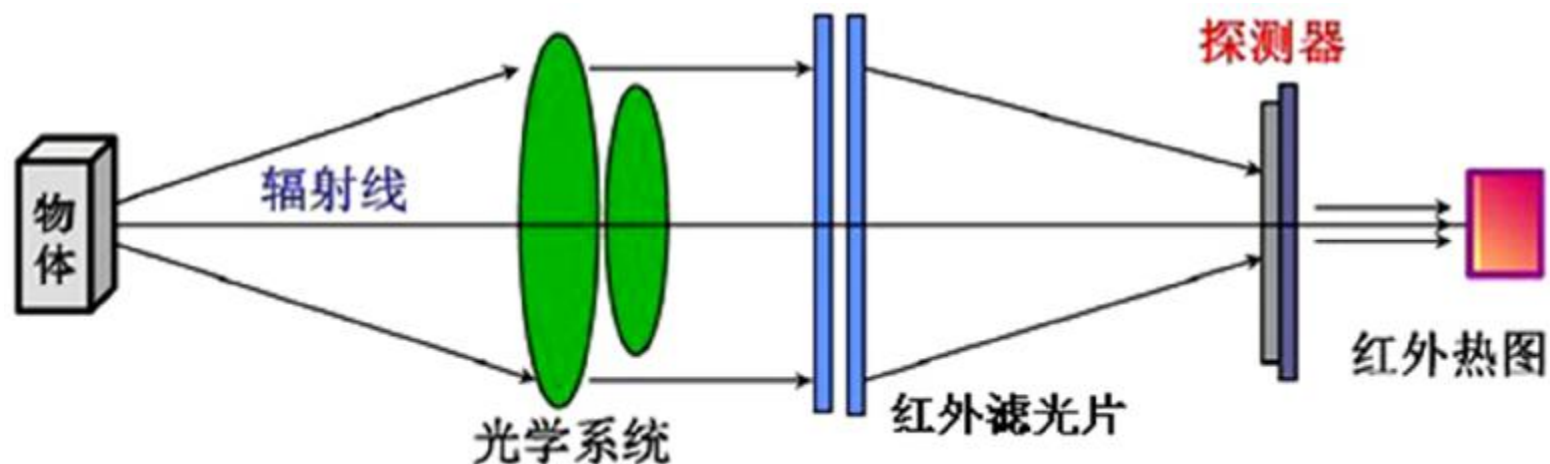
任何物体只要温度高于绝对零度，内部原子就会作无规则运动，并不断地辐射出热红外能量。红外探测器可将物体辐射的红外功率信号转换成电信号，在计算机成像系统的显示屏上，将得到与物体表面热分布相对应的热像图。



不同的颜色和亮度  
代表不同的温度

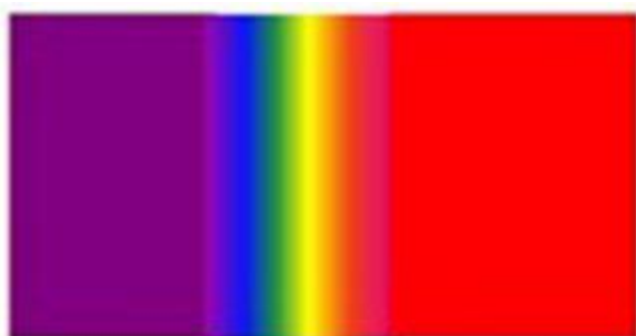


## 红外热成像原理



光学成像物镜对准被测目标，被测物的红外辐射能量成像在红外探测器的光敏元件上，从而获得红外热像图，一般工作在 $8\sim 14\mu\text{m}$ 波段上。

## 人眼的视场与客观世界光辐射的比较



紫外线

可见光

红外线

紫外光

可见光

红外线

客观世界的光辐射



紫外线

可见光

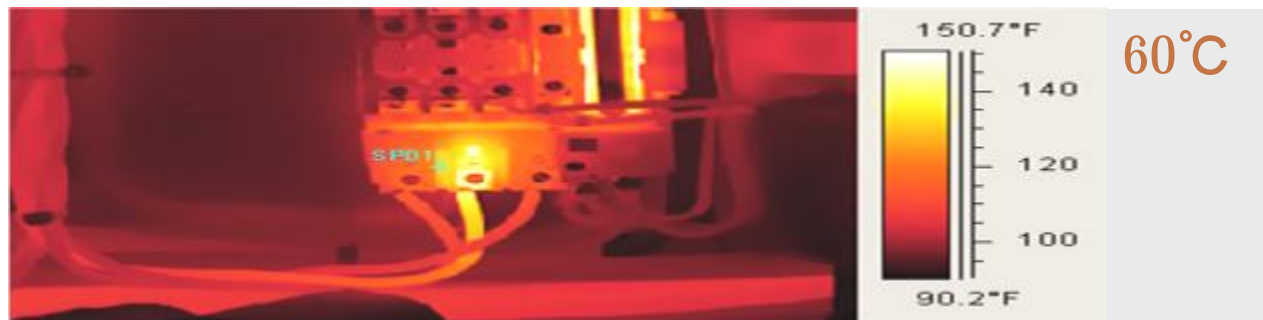
红外线

紫外线

可见光

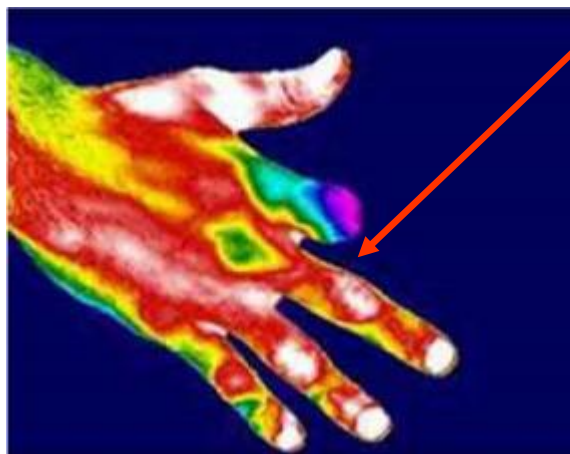
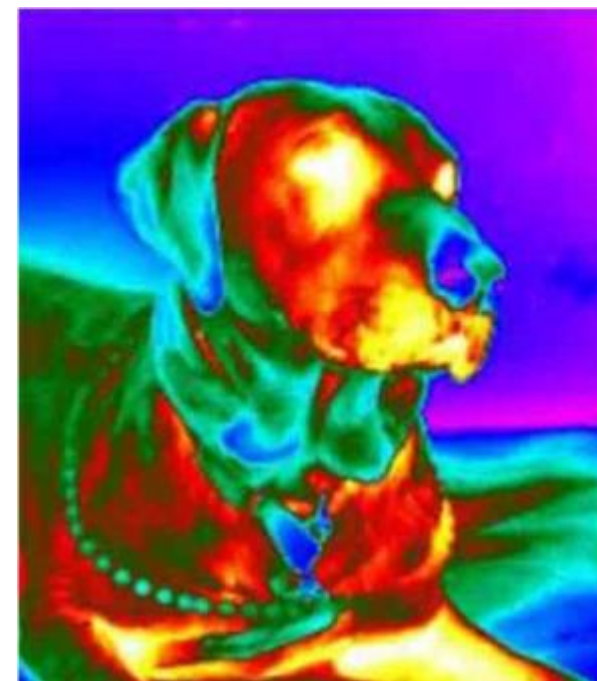
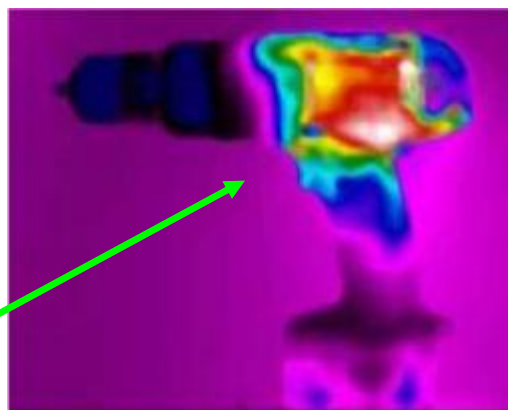
红外线

人眼能感知的光辐射



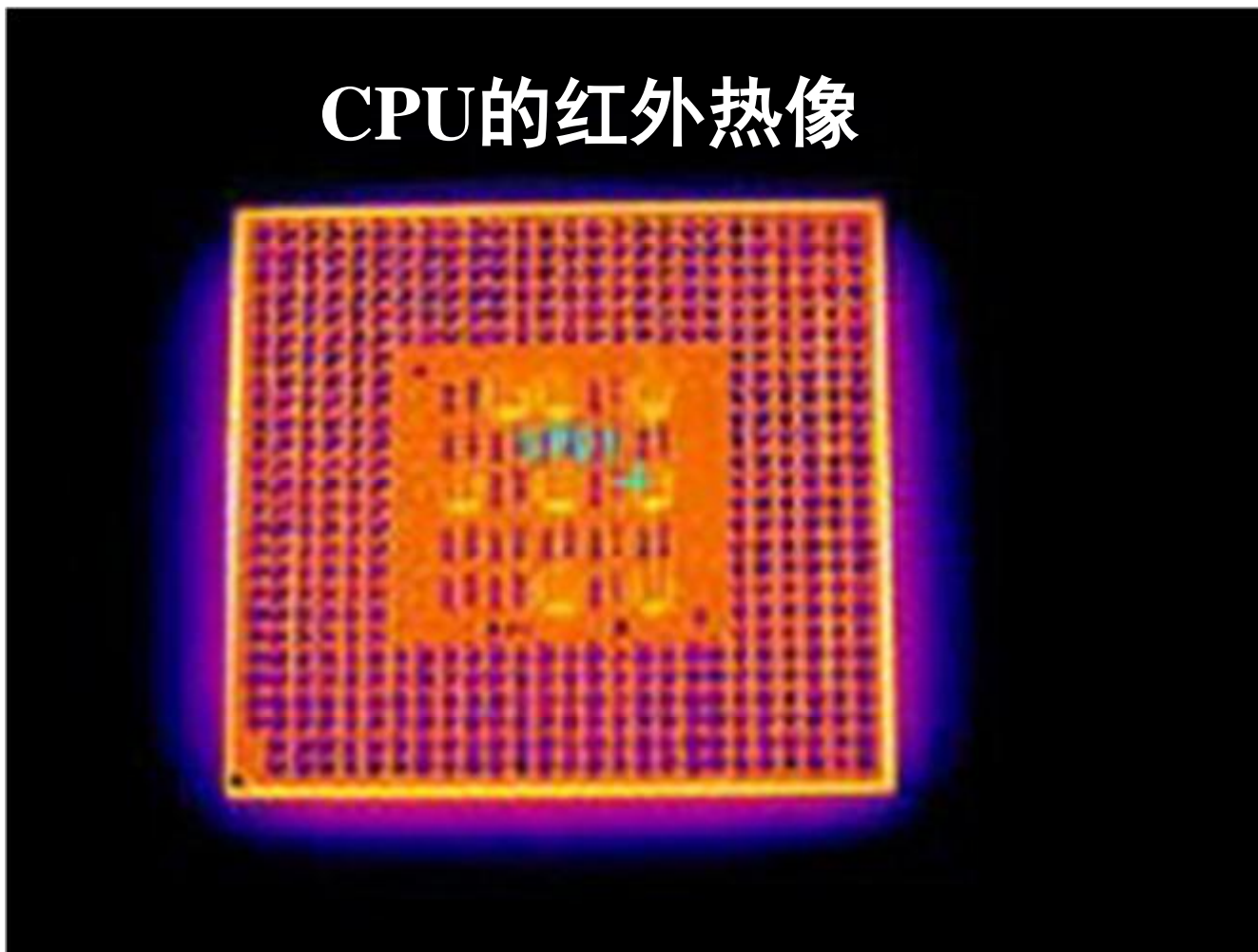
## 红外热像

手指的血流图

手枪钻的发  
热部位

狗

## CPU的红外热像

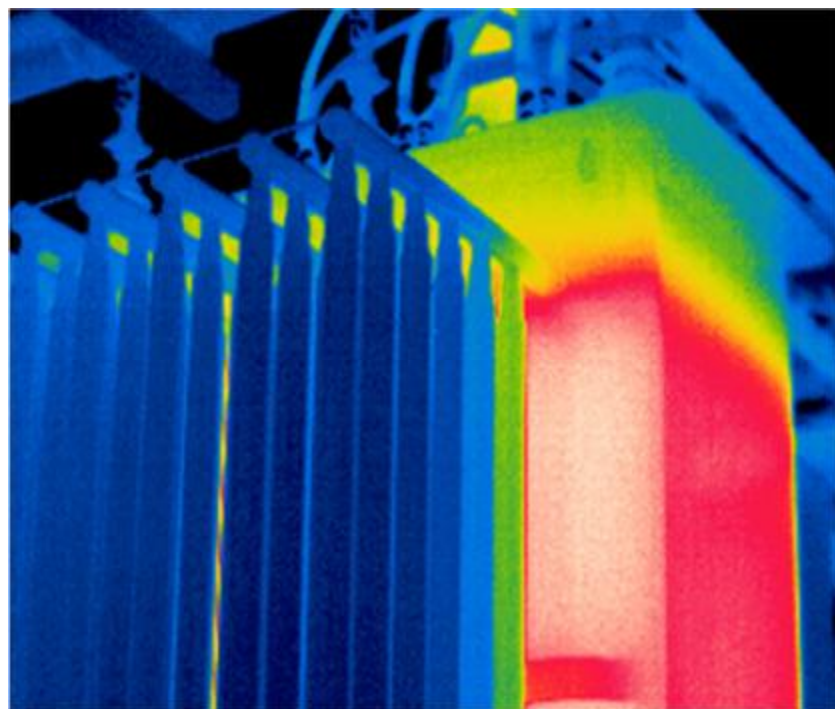


## 热成像仪在电力领域的使用

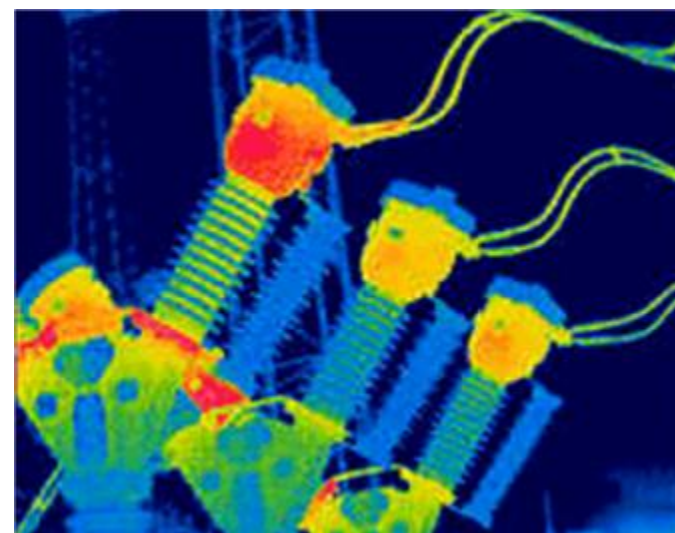




## 变电设备热像



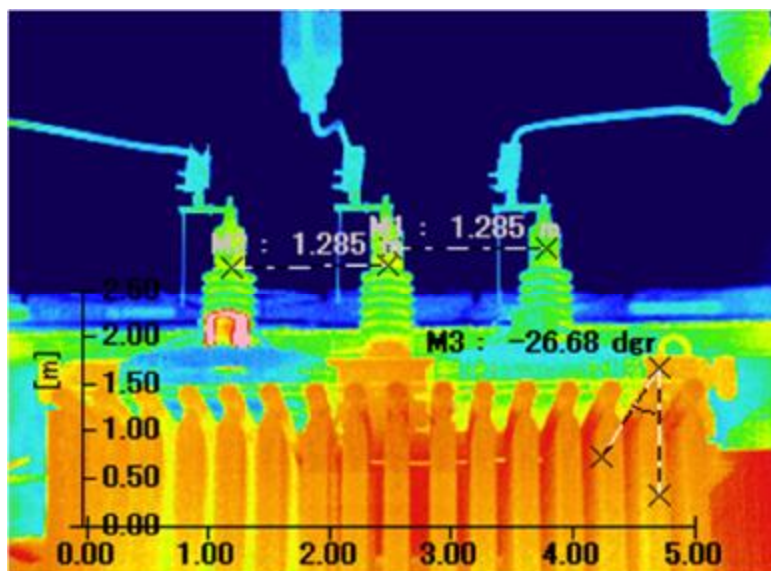
变电站的热像



从热像中可以判断过热位置



## 白天的图像与晚上的热像对比

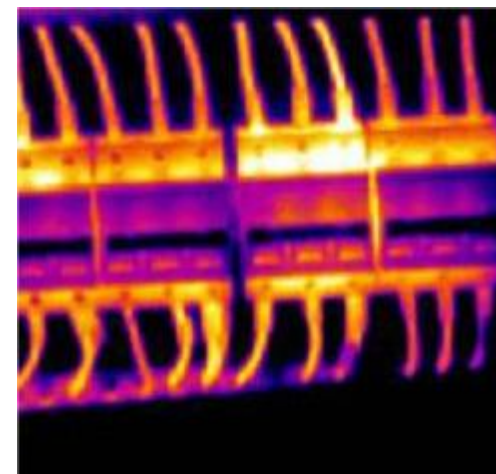
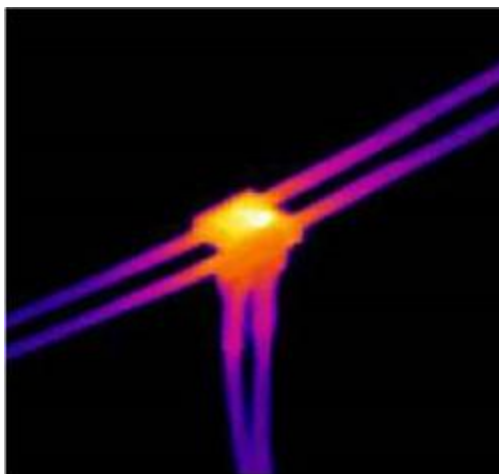
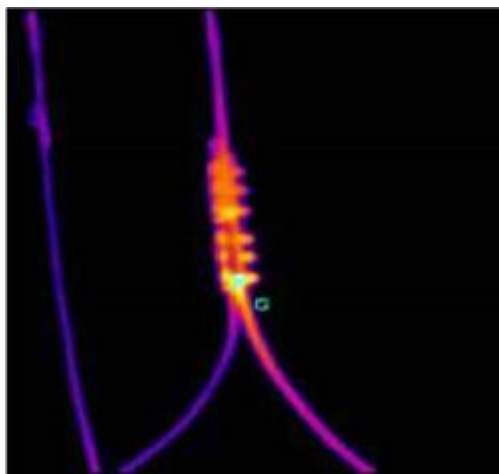
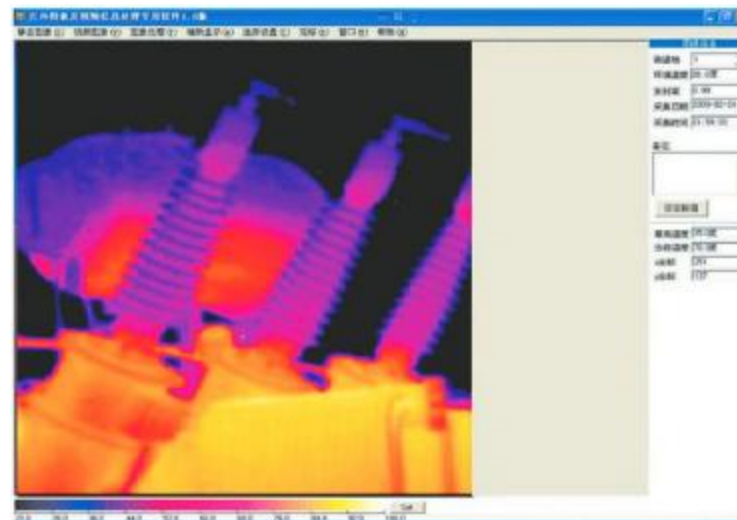


热像

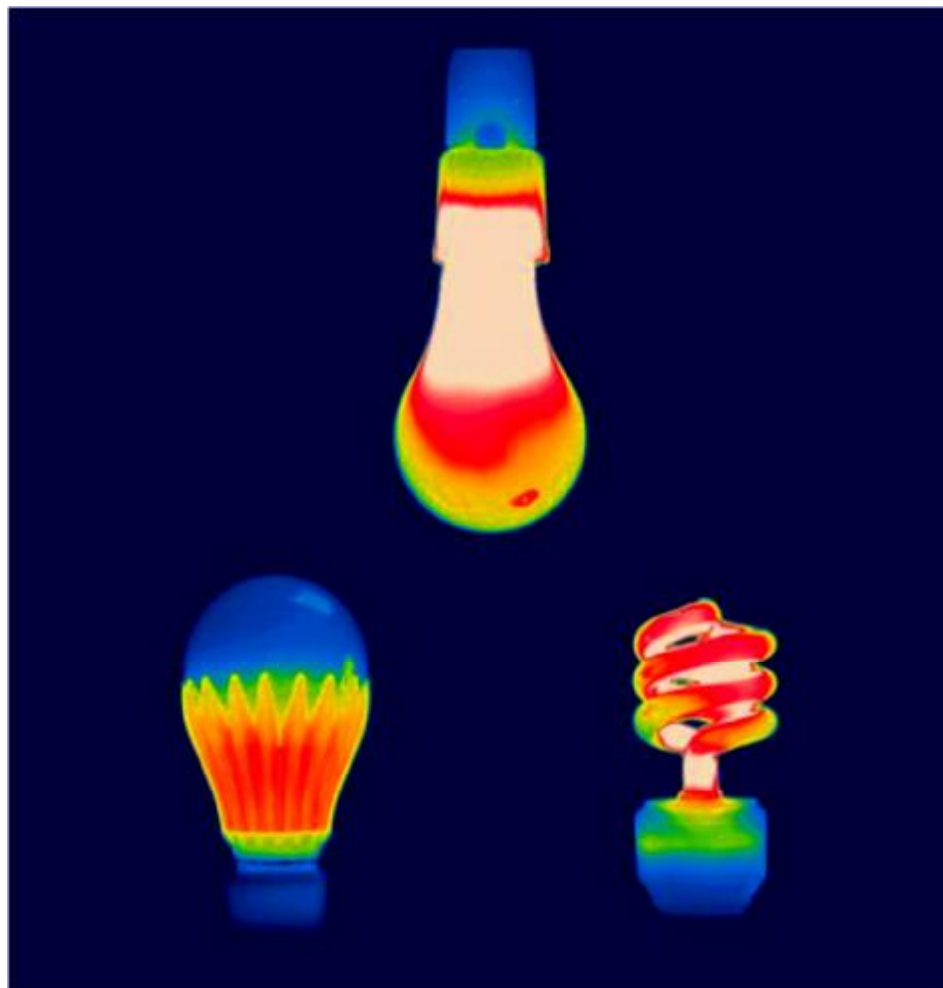


## 各种输电设备的热像

### 输电线接头过热



## 各种电灯的热象





12 | END



# THANKS



## 《传感器技术》

主讲人：李刚