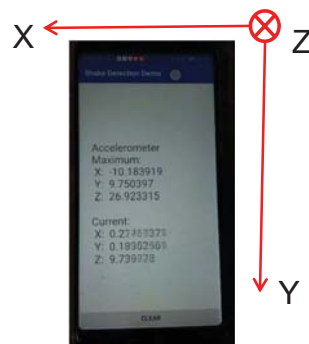


# 加速度检测

- 加速度测量系统是（质量/弹簧/阻尼）的二阶系统
- 在（ $\omega \ll \omega_0$ ）条件下，用质量块的相对位移代表加速度，此时加速度测量的灵敏度为（ $1/\omega_0^2 = m/k$ ），与k有关。
- 平衡式加速度测量的灵敏度为（ $mR/Sf$ ），与k无关。
- 加速度传感器的种类很多，相对位移检测方法各不相同。
- **加速度有静态和动态分量**，请看演示实验
  - 摆放的姿态与三轴加速度的关系
  - 三个方向上摇动手机的最大加速度

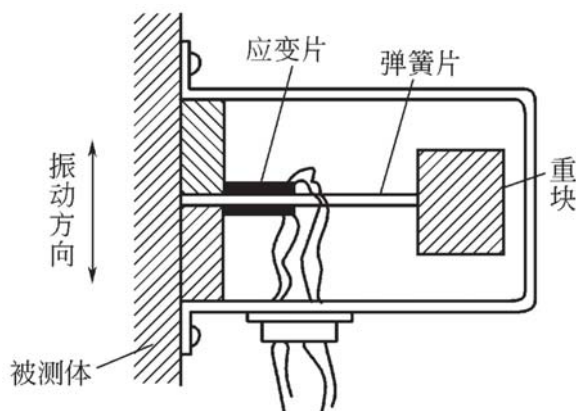


- 静态加速度输出可成为倾角传感器。
- 其他，有交叉灵敏以及加速度方向突然变化时的响应等问题。

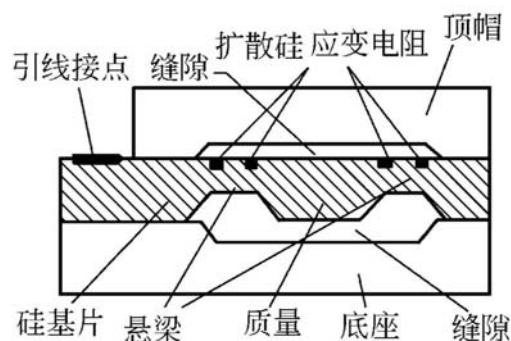
1

## 各种加速度传感器

- 质量块的相对位移的检测方法不同



应变片悬臂梁振动检测



扩散硅压阻膜片

2

# 叉指电容式MEMS加速度传感器

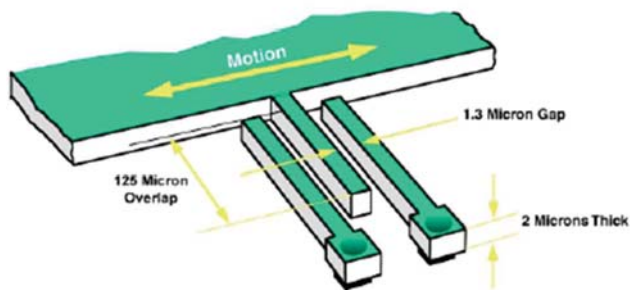


Figure 1. Beam Dimensions for a Single Finger.

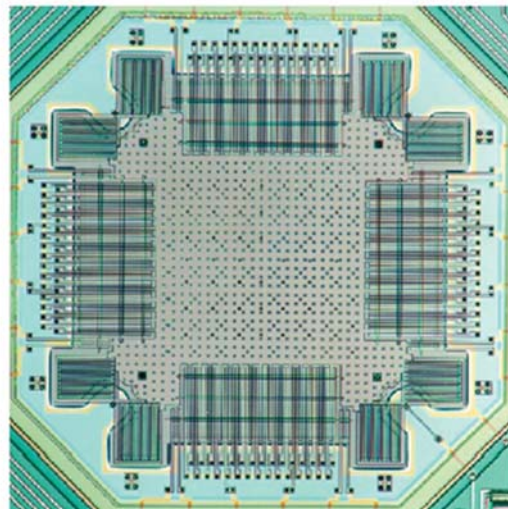
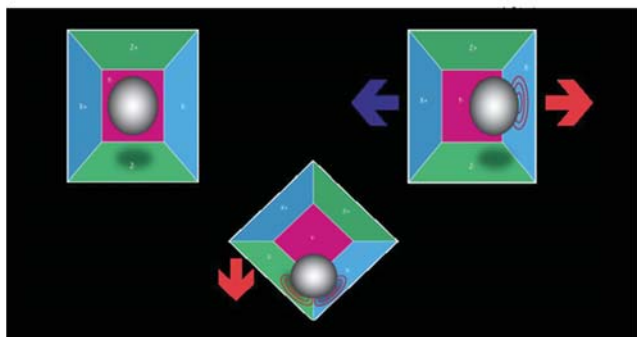


Figure 2. ADXL202 Beam Structure.

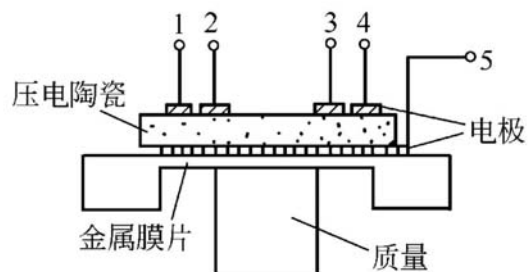
3

## 压电式加速度传感器

- 压电式三轴加速度计：



- 压电陶瓷膜片：



可在膜片圆周上布置多个电极，检测加速度方向。

4

## 加速度传感器—思考题

- 4-11 手机中的加速度传感器都有哪些应用？
- 4-12 如果你可以拿到手机中的加速度传感器数据，你想做什么样的实验研究或应用开发？
- 4-13 为什么计步器明显有测量误差？误差与哪些因素有关？

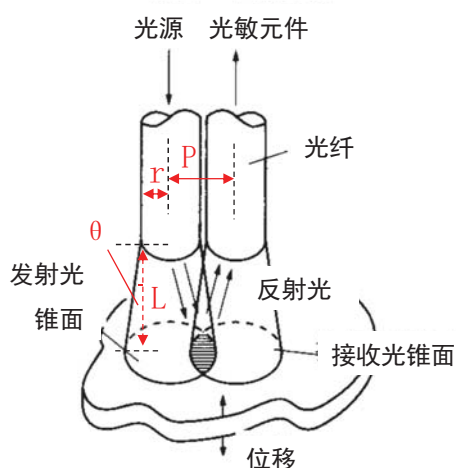
5

## 距离测量

- 光纤位移检测、光电测距传感器
- 光栅标尺、莫尔条纹、磁标尺
- 鉴向和计数
- 测长的点/阵列传感器
- 二维码定位系统
- PSD测距
  - 位置敏感器件原理
  - 三角测量原理
  - 光电检测的抗干扰问题
  - 同步积分原理

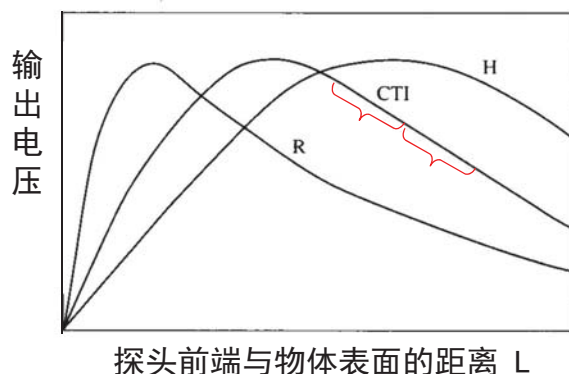
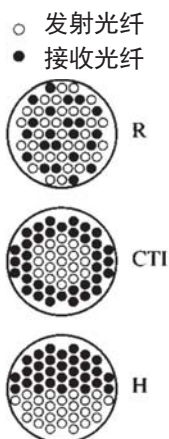
6

# 反射式光纤位移传感器



非功能性光纤。  
关注某一发射光纤，讨论其反射光被所有接收光纤接收的情况。

如果  $2L \tan \theta < P - 2r$ ，  
则无反射光入射。



实验观察：  
镜面与非镜面反射输出信号的差别；  
环境光的干扰；  
线性测量范围；  
如何保证振动测量的线性动态输出？

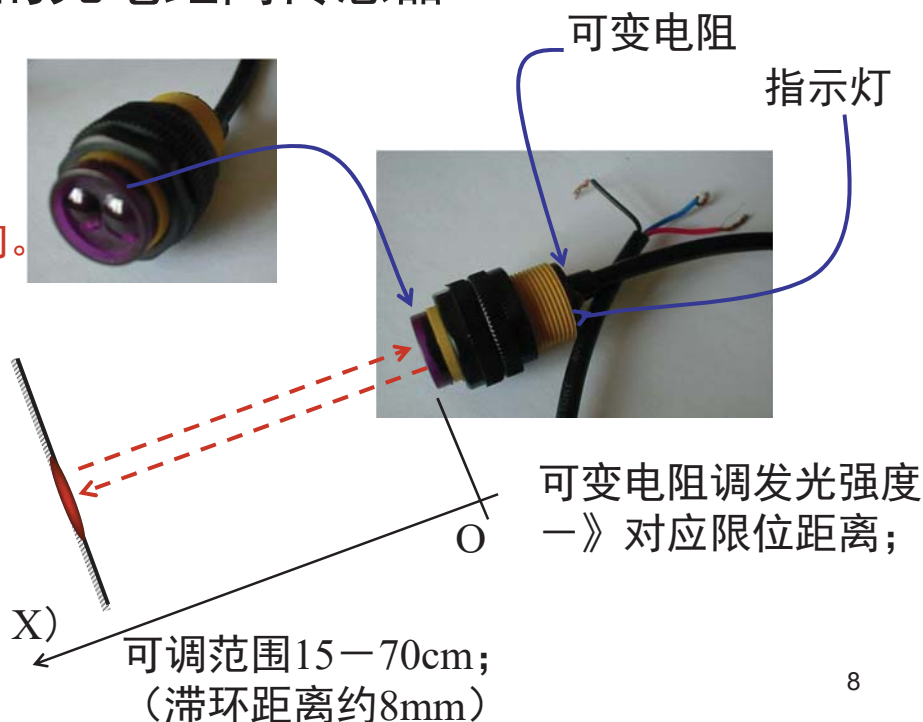
7

# 光电测距（开关）传感器

- 电设用到的光电距离传感器

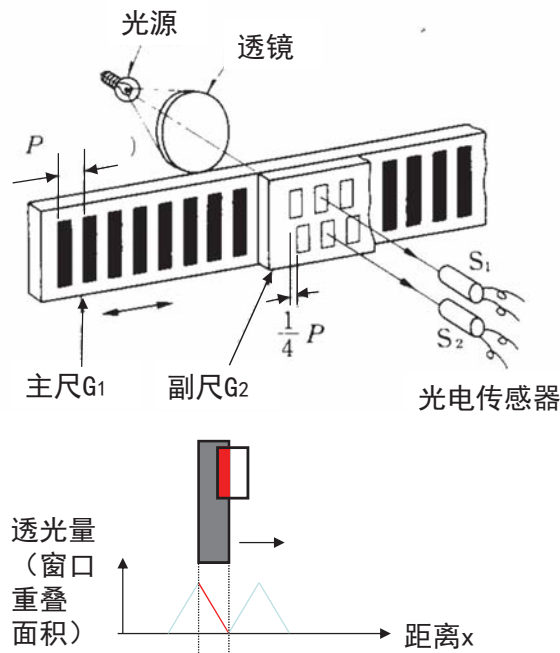
不受光照影响；  
受光反射系数影响。

接近开关输出。



8

# 光栅标尺位移传感器



- 应用：数字机床等长达几米。
- 主尺和副尺光栅相迭
- 栅距P一定，小至微米级
- 光电传感器检测透射光强
- 输出信号为平滑的三角波
- 上下栅格相位差 $\frac{1}{4}$ 栅距
- 鉴相判断移动方向
- 正向和反向分别计数

9

投票 最多可选3项

设置

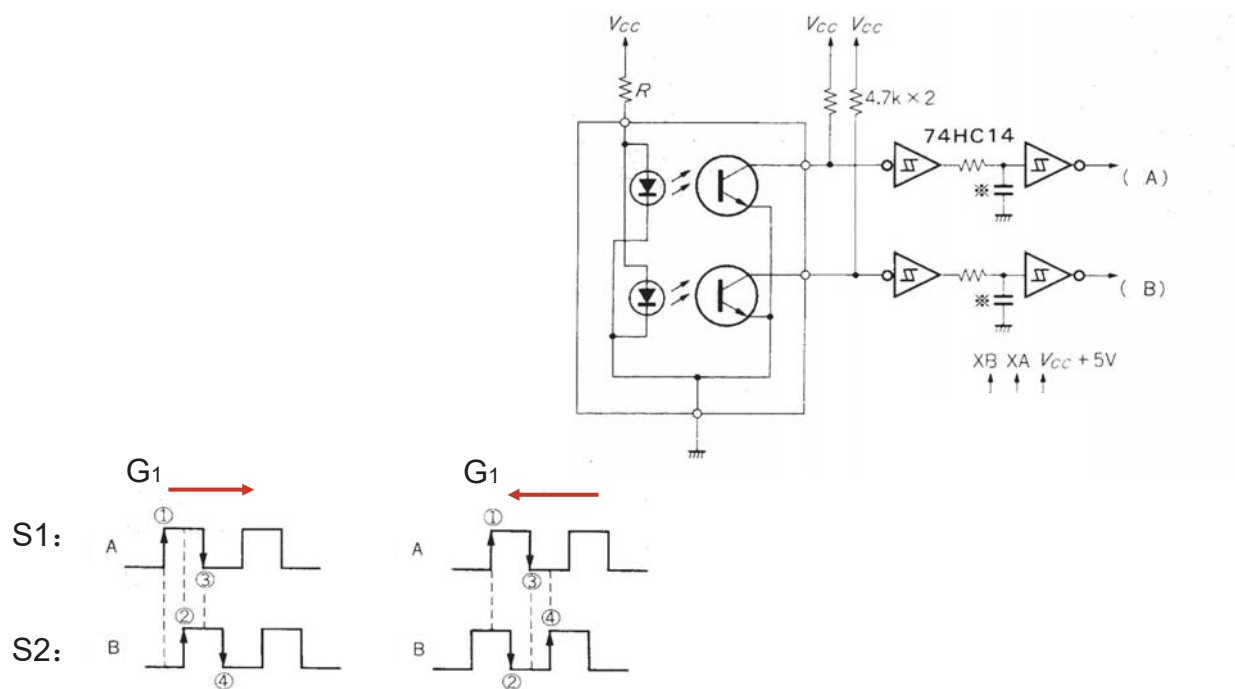
光栅标尺的主尺上有透光窗口，如果副尺上不设窗口，只设光电传感器似乎也能得到光脉冲信号，这样做行不行？为什么？

- A 行
- B 不行
- C 传感器不能输出对应栅格的脉冲
- D 传感器输出变化不明显
- E 传感器比栅格宽

提交

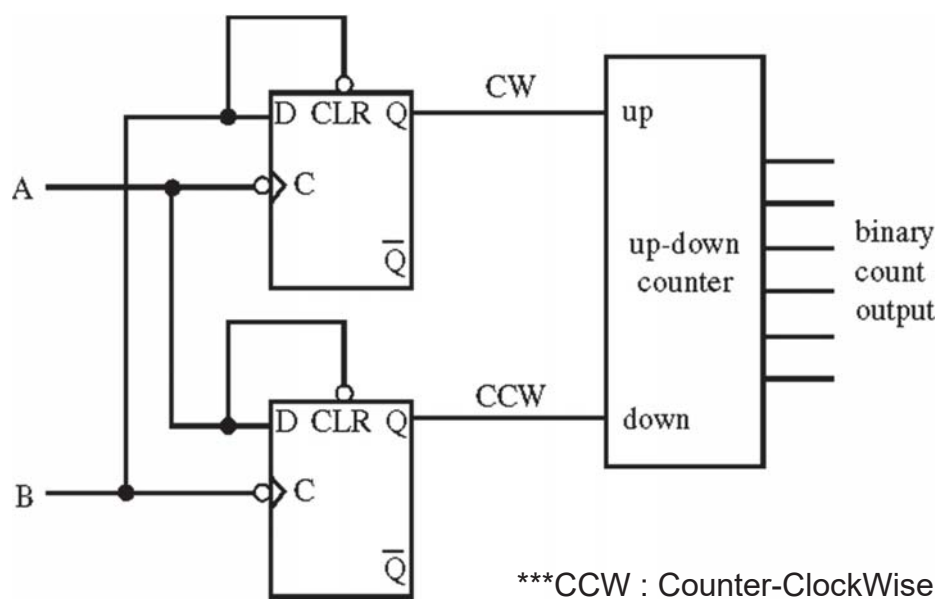
10

# 光电传感器输出波形的整形



11

# 分辨正反向的正交译码电路

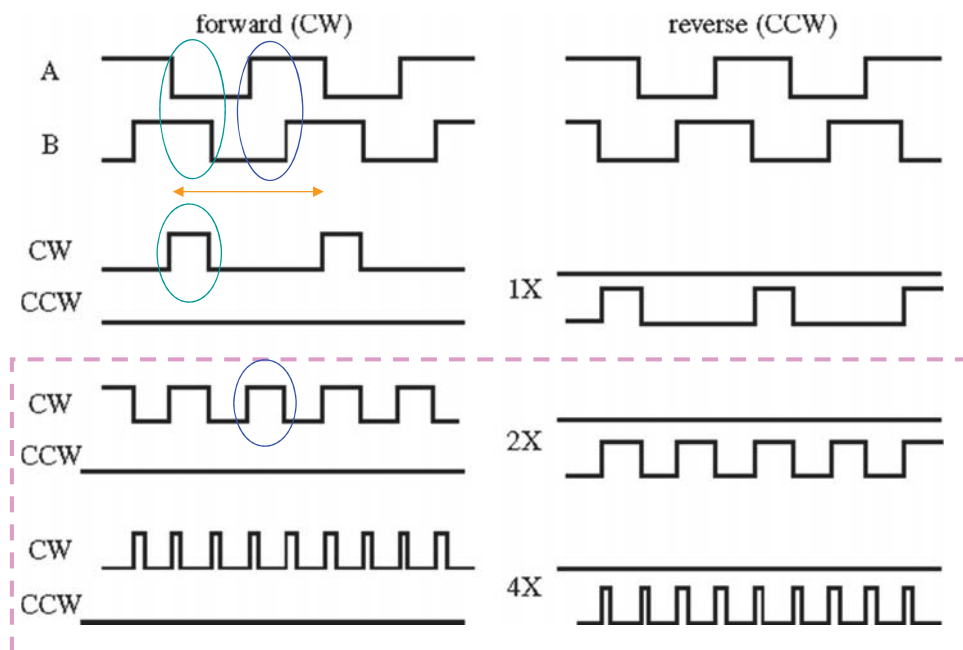


D触发器:  $CK \uparrow, D = Q$

12

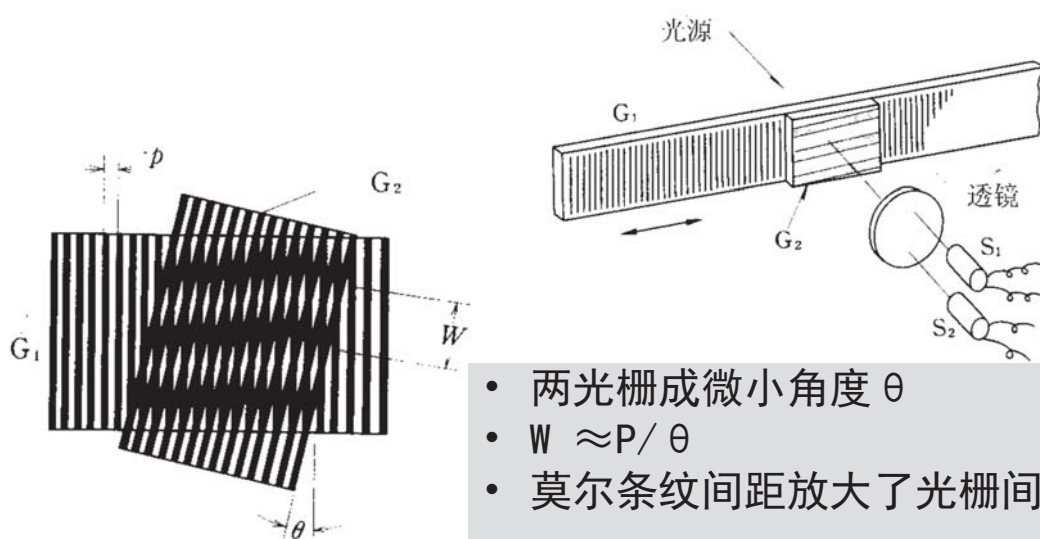


# 正反方向的检测和分辨率的提高



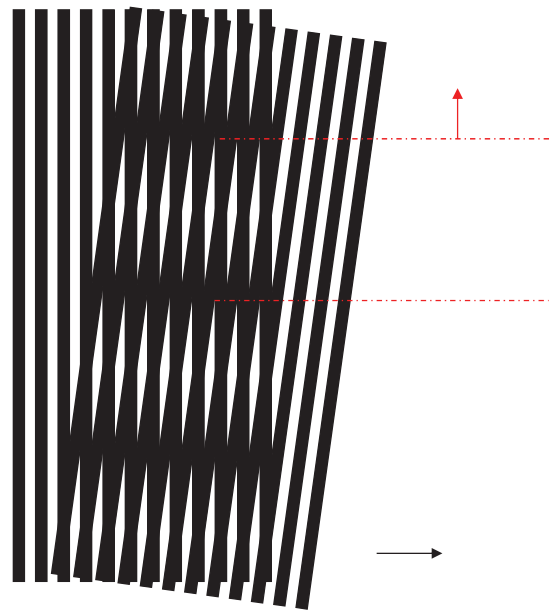
\*\*\*quadrature decoder circuit  
IC: HCTL-2016 13

## 莫尔条纹标尺



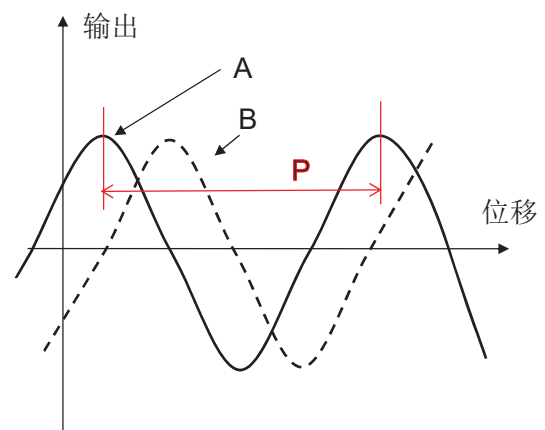
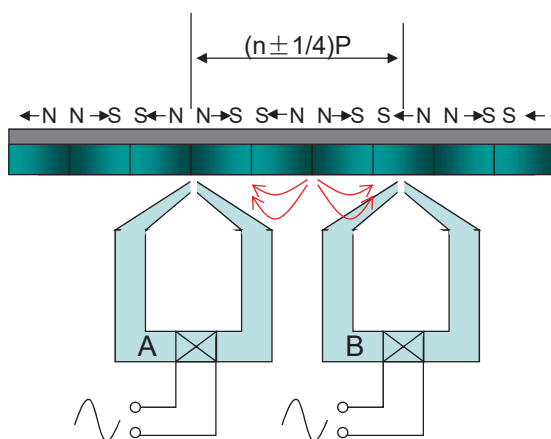
- 两光栅成微小角度  $\theta$
- $W \approx p / \theta$
- 莫尔条纹间距放大了光栅间距
- 相对于  $G_1$ ,  $G_2$  向右倾斜  $\theta$  时:  
若  $G_1$  向右移动, 则条纹向上移动。
- AB相鉴向传感器  $S_1 S_2$  该如何配置?

# 莫尔条纹移动示意



15

# 磁标尺位移传感器



铁心：易饱和铁心，又小又薄

**动态磁头：**有相对移动时，输出感应电压  
没有移动时，输出为零。

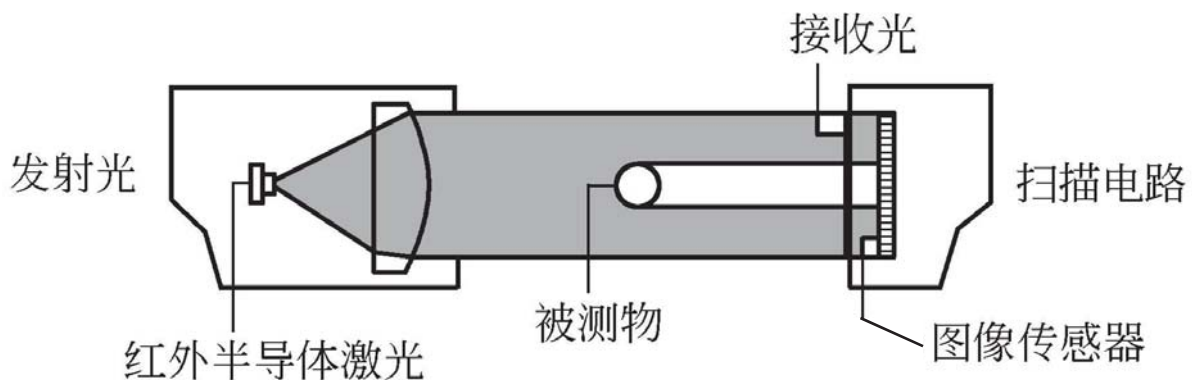
**静态磁头：**激励和感应，检测漏磁通过铁心多少，  
输出绝对位置。

例：

磁极距离P约	0.2mm
磁标尺总长	3m
标准测量不确定度	0.002mm



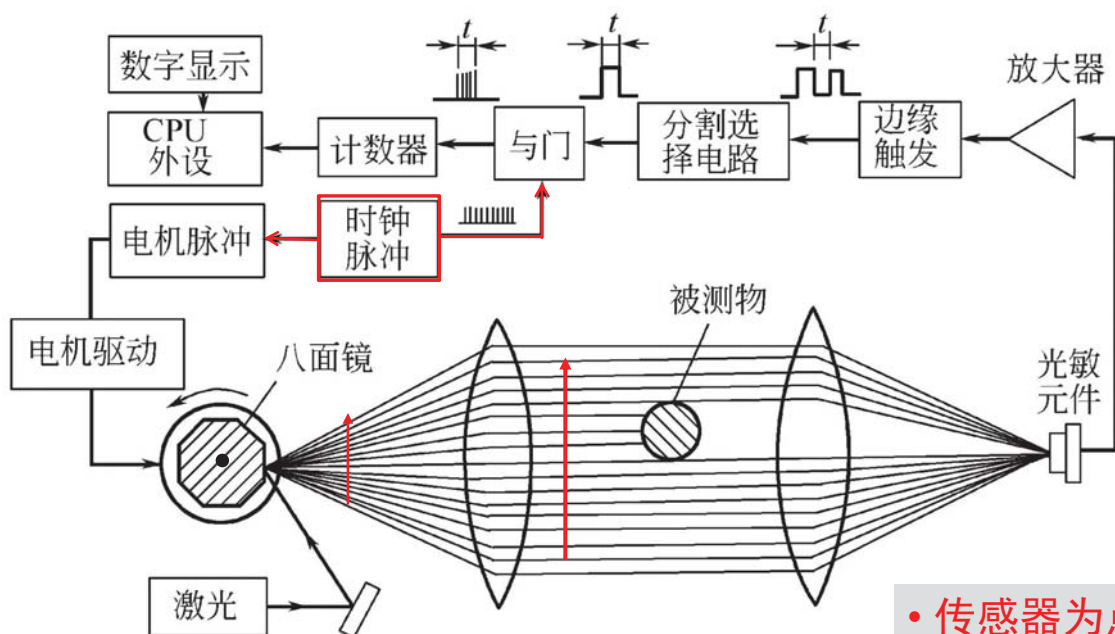
# CCD/CMOS图像传感器测长



- 传感器为线阵或面阵
- 电子式扫描

17

# 激光扫描测长



- 传感器为点
- 机械式扫描

Q1: 长度标定方法?

Q2: 如果电机转速发生变化, 还能否测长?

18

投票符合自己的情况或正确的表述。

- A 使用图像传感器读出过各像素的数据。
- B 处理过图像传感器的像素数据。
- C 图像传感器的帧速率有可能达到1000帧每秒。
- D 图像传感器是并行输出各像素点的光电信号。
- E 听说过CCD和CMOS图像传感器。

提交

19

## 光栅编码尺和位置传感器



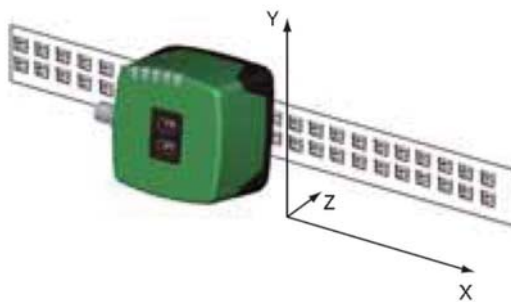
# 倍加福公司的DM二维码和位置传感器



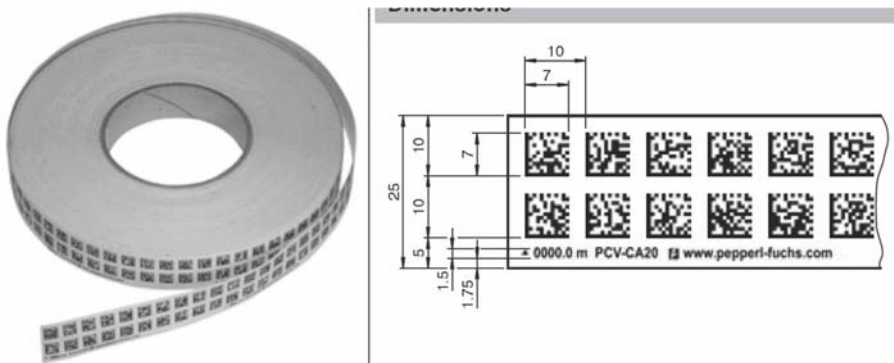
21

## DM二维码和读码器

- 读码器:



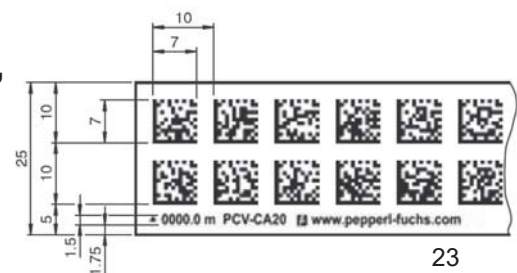
- 条码:



22

# 倍加福公司的DM二维码和读码器

- 读码器：RS485读码器输出24位二进制码；  
精度可设置为10mm，1mm，0.1mm。
- 精度设为1mm时，读码器每向前移动1mm，位置值自动加1。  
测距总长： $2^{24}=16777216\text{mm}=16.77\text{km}$
- 利用窗口内条码的冗余性，模糊的码带最长可到20mm。  
(至少有一个清晰可读)  
读取区域小，能保证最小的轨道弯曲半径。
- 条码：标准两行，可用多行。  
可以粘贴标记码带并参数化设置，  
用来产生控制信号。



最多可选2项

⚙ 设置

关于DM码定位和光栅条纹定位，请选择正确的描述

- A DM码定位的关键技术是快速图像处理。
- B 一边高速移动一边拍摄DM码，为了采集清晰图像要大光圈、短时曝光。
- C DM码定位比光栅标尺定位实时性好。
- D 定位容错高的是DM码的方法。
- E DM码测距的精度取决于印刷二维码的宽度。

提交

24

## 思考题

- 5-1 反射式光纤位移传感器的位移特性由上升和下降两段组成，非单调性变化，为什么？用该传感器测量反射面振动位移时应注意什么？
- 5-2 填空：  
光栅标尺由栅距同为P的（ ）和（ ）构成。  
光电传感器检测透过两窗口的光强，理想输出波形是（ ）波形。  
A相和B相传感器面对的副尺窗口相距（ ）个栅距，输出信号相差（ ）rad。
- 5-3 车床上的活动部件来回不确定地滑动，为检测部件绝对位置，需要同时检测（ ）和（ ）。
- 5-4 利用D触发器和A、B相传感器脉冲输出，设计鉴向电路，并绘制鉴向时序图。为得到栅距1/2倍和1/4倍的测量分辨率，应如何设计电路？
- 5-5 设动态磁栅标尺的磁极距离为0.2mm，磁标尺总长为3m，位移测量的标准测量不确定度为0.002mm。问传感器输出电压的分辨率至少应为多少V<sub>pp</sub>，才能达到0.002mm的测量不确定度？
- 5-6 在立体仓库应用中，DM二维码定位系统的关键技术有哪些？1cm大小的DM码定位，精度可以有10mm、1mm、0.1mm可选，如何做到的？

## PSD(Position Sensitive Device)测距原理

### (1) PSD元件

检测入射光点的位置

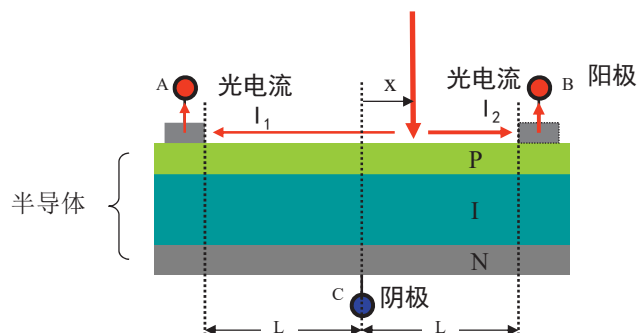
P层: A、B两电极、

N层: C电极

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{L-x}{L+x}$$

$$x = L \left( \frac{I_2 - I_1}{I_1 + I_2} \right)$$

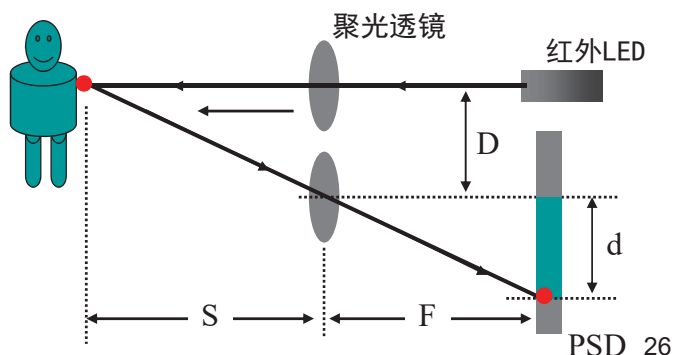
: 入射光线的重心



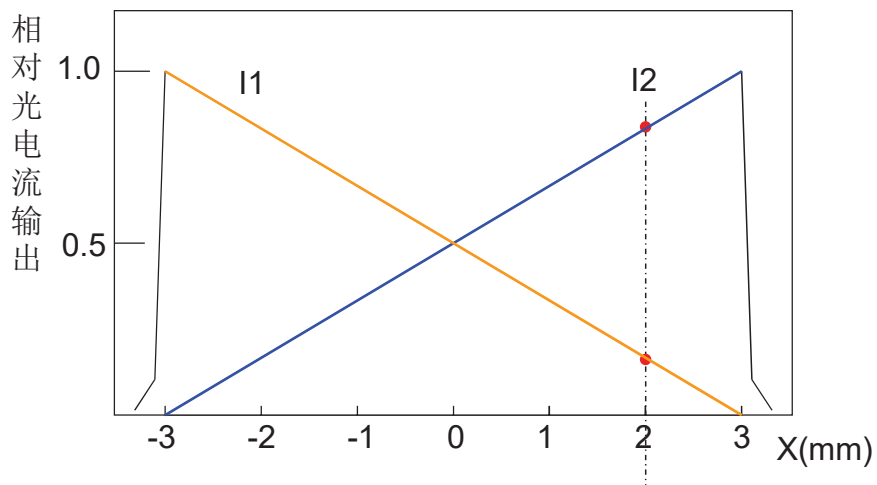
### (2) PSD三角测量

已知焦距F和基线长D，  
PSD输出漫反射光点的位置d

- 一> 求距离S ( $S=FD/d$ )
- 一> 为了提高测距灵敏度，  
应如何设计D? (适当增大D)
- 一> 抗干扰光的措施?



# PSD输出电流特性



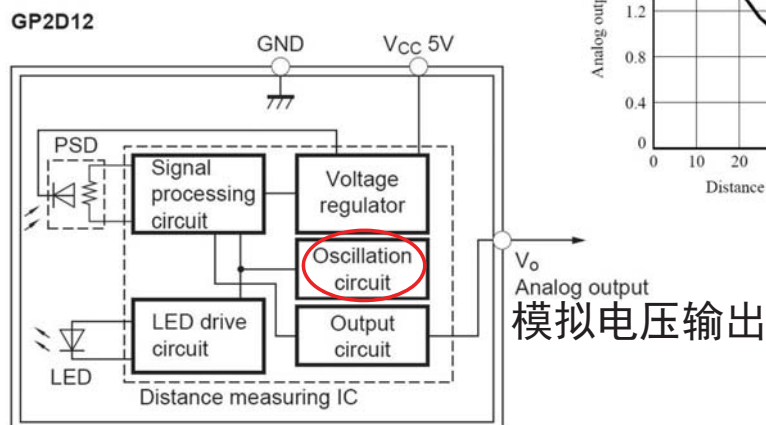
27

## PSD器件 SHARP GP2D12

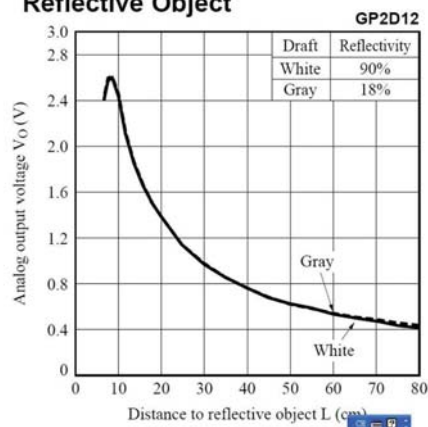
外观



内部电路结构



Analog Output Voltage vs. Distance to Reflective Object




28

# 光电检测的特点

- 发光器件和收光器件同时存在  
主动发光，近距离发光；  
—》信号源
- 照明光和其他干扰光不可避免地存在  
—》干扰源
- 调制解调的信号处理方法  
—》传统的方法是提高信噪比

29

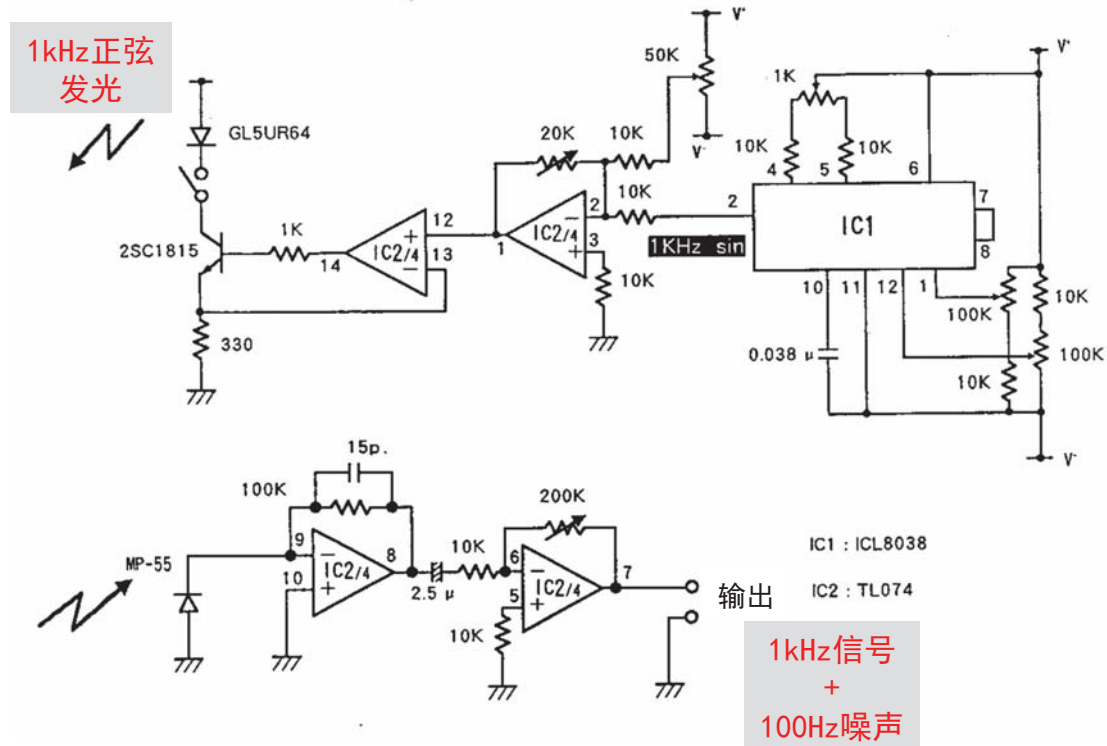
## 光电传感器的信号处理方法

- 提高SN比：
  - 放大信号（如：增大发光强度，利用红外LED）
  - 抑制噪声（如：远离或不正对干扰光）
- **调制发光**：主动区别干扰光（调制频率已知）  

- 解调信号的处理方法
  - **同步积分**—》锁定放大器(Lock-in Amp.)；  
(在接收信号中求调制频率成分的幅值/相位)
  - 高通或带通滤波。

30



## (1) 发光二极管(LED)正弦波发光电路



## (2) 光敏二极管(PD)信号放大电路

31

## 思考题

当1kHz闪光的LED (Signal) 和50Hz电灯 (Noise) 同时照射光电传感器时、画出下列各种情况下的输出信号波形。

- (1) LED光照强、电灯光照弱；
- (2) LED光照强、关闭照明电灯；
- (3) 关闭LED指示灯、电灯光照弱；
- (4) 关闭LED指示灯、电灯光照强；
- (5) LED光照弱、电灯光照强。

哪一种情况SN比最高？

32

# 光电传感器输出信号

$$x(t) = A \sin(2\pi f_s t + \theta_1) + B \sin(2\pi f_n t + \theta_2),$$
$$f_s = 1000\text{Hz}, \quad f_n = 100\text{Hz}$$

(1)  $A=2.5\text{V}$ ,  $B=0.5\text{V}$

(2)  $A=2.5\text{V}$ ,  $B=0$

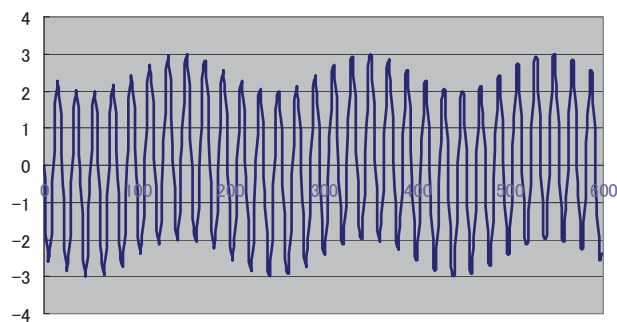
(3)  $A=0$ ,  $B=0.5\text{V}$

(4)  $A=0$ ,  $B=1.5\text{V}$

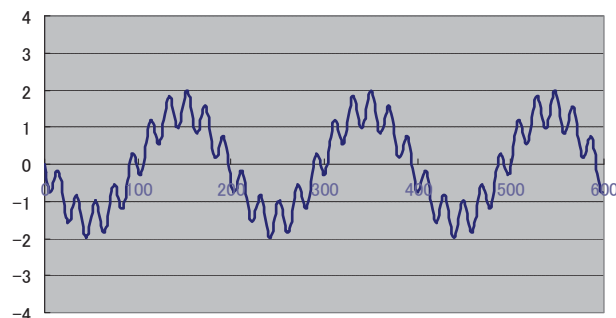
(5)  $A=0.5\text{V}$ ,  $B=1.5\text{V}$

33

(1)  $A=2.5\text{V}$ ,  $B=0.5\text{V}$



(5)  $A=0.5\text{V}$ ,  $B=1.5\text{V}$



思考: 如何求其中窄频带信号的包络线和幅值?

34

# 同步积分的原理

$$y(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t x(\tau) \cdot \sin 2\pi f_s \tau d\tau$$

设  $T = N / f_s$

$$\begin{aligned} x(t) &= A \sin(2\pi f_s t + \theta_1) + B \sin(2\pi f_n t + \theta_2) \\ &= A \cos \theta_1 \cdot \sin 2\pi f_s t + A \sin \theta_1 \cdot \cos 2\pi f_s t + B \sin(2\pi f_n t + \theta_2) \end{aligned}$$

则  $y(t) \approx \frac{A}{2} \cos \theta_1$

接收信号与发光信号同步积分结果：

- 输出直流成分、与发光信号同频率同相成分的大小成比例。
- 主动改变  $\theta$  角—调出最大输出—求A。（微弱信号检测）
- A不变—求  $\theta$  角；（相位差测量）

35

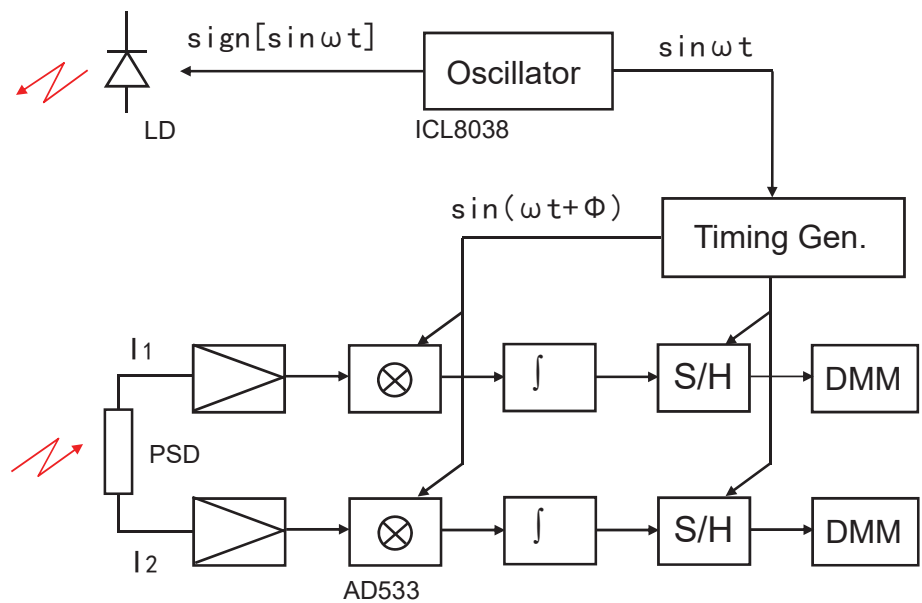
# 三角函数的正交性

设  $T = 2\pi / \omega_0$

$$\begin{aligned} n \neq m \left\{ \begin{aligned} \int_0^T \sin n\omega_0 t dt &= 0, \\ \int_0^T \cos n\omega_0 t dt &= 0; \\ \int_0^T \sin n\omega_0 t \sin m\omega_0 t dt &= 0, \\ \int_0^T \cos n\omega_0 t \cos m\omega_0 t dt &= 0; \\ \int_0^T \sin n\omega_0 t \cos m\omega_0 t dt &= 0, \\ \frac{1}{T} \int_0^T 1 dt &= 1, \\ \frac{1}{T} \int_0^T (\sin n\omega_0 t)^2 dt &= \frac{1}{2}, \\ \frac{1}{T} \int_0^T (\cos n\omega_0 t)^2 dt &= \frac{1}{2}; \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

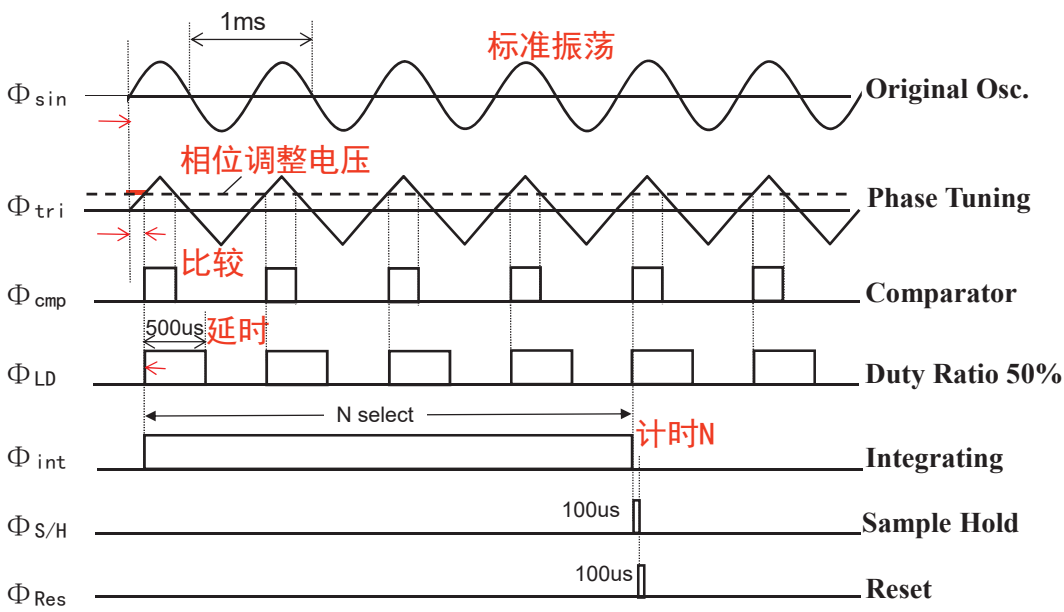
36

# PSD输出信号的同步积分流程图



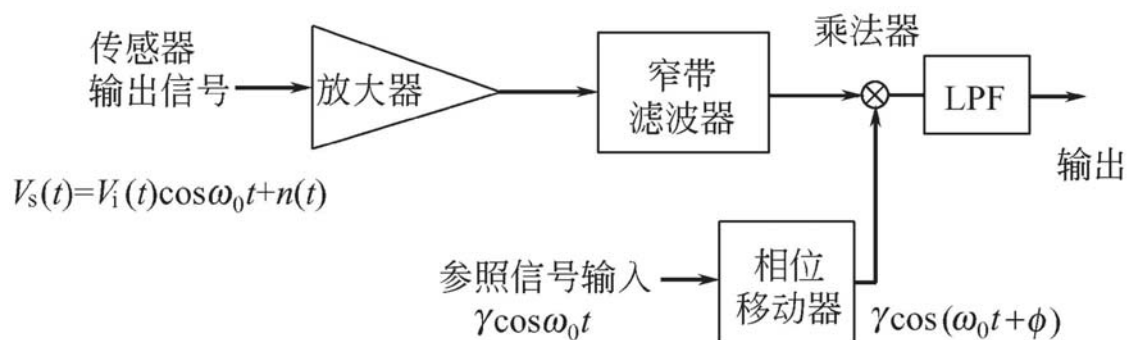
37

# 同步积分的时序图



38

# 基于锁定放大器的微弱信号检测原理



$$V_s(t) = V_i(t)\cos\omega_0 t + n(t)$$

$$V_o(t) = r\cos(\omega_0 t + \phi)(V_i(t)\cos\omega_0 t + n(t))$$

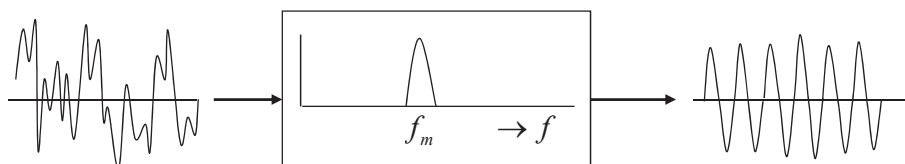
$$= r \frac{1}{2} V_i(t) [\cos\phi + \cos(2\omega_0 t + \phi)] + rn(t)\cos(\omega_0 t + \phi)$$

39

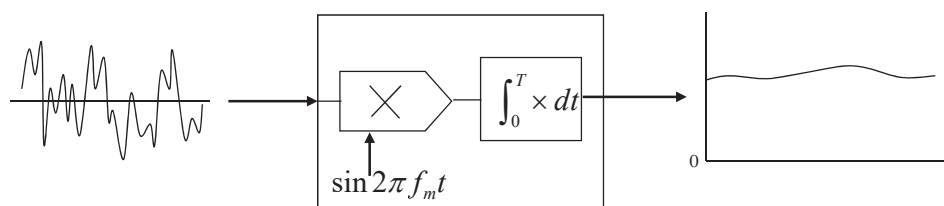
## 思考题

### 6-1 比较同步积分和窄带滤波的异同点

(a) 窄带滤波去噪的结果：时域里卷积，输出窄带信号



(b) 同步积分去噪的结果：时域里积分，输出直流信号



40

## 思考题

6-2 填空：

- 1) PSD元件的两正极输出电流与入射光点到两电极的距离成（ ）关系。
- 2) PSD元件输出(入射光点的位置信息)，是连续的（模拟量/开关量）输出，表示入射光斑的（ ）。
- 3) PSD距离传感器由（ ）、（ ）、两片（ ）和（ ）组成。为提高测距灵敏度应该尽量将基线D设计得（ ）一些。为抗其他光源的干扰，需要（ ）发光，并根据（ ）解调接收信号。
- 4) 同步积分是一种从被噪声淹没的信号中分析（ ）信号成分大小的有效方法。

6-3 写出计算公式：

CCD图像传感器能够输出的入射光点位置是空间离散信息，用各像素灰度值 $P(i)$ 表示，设图像传感器像素间距为 $d(\mu\text{m})$ ，求入射光点的重心位置。

6-4 如何检验在光电测距传感器（含LED发光和PD或PSD敏感元件）中是否有发射调制和接收光的解调机制在其中？

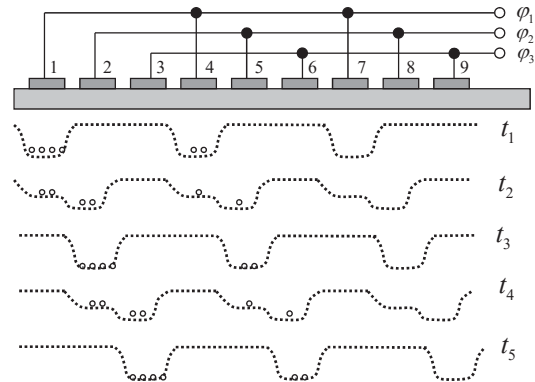
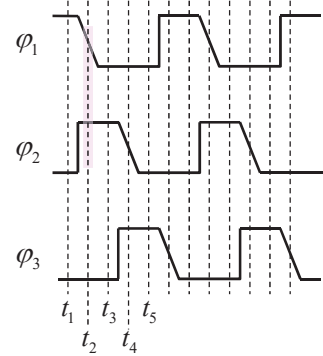
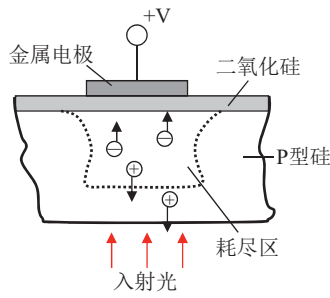
41

## CMOS/CCD图像传感器

- 两者都是光电传感元件的二维阵列（面阵）传感器
- 阵列信号的读出方式不同：
  - CCD (Charge-Coupled Devices) 是电荷耦合移送方式，按顺序输出；
  - CMOS 是行列开关扫描的读出方式，可以随机抽取，数字输出。
- CMOS Image Sensor
  - Complementary metal-oxide semiconductor (CMOS) is the architecture of most computer CPUs and memory modules. Image sensors are silicon chips that capture and read light. High-performance CMOS image sensors use “active-pixel” architectures invented at NASA’s Jet Propulsion Laboratory in the mid 1990s. They can perform camera functions on-chip.
- Charge-Coupled Devices
  - Charge-coupled devices (CCDs) were the prevailing technology in image capture for 30 years. By the late 1990s, they began to be replaced in key applications by CMOS image sensors.

42

# CCD—电荷耦合元件



**光敏元件:** 加正偏压;  
电子势阱;  
电荷量与入射光强成正比。

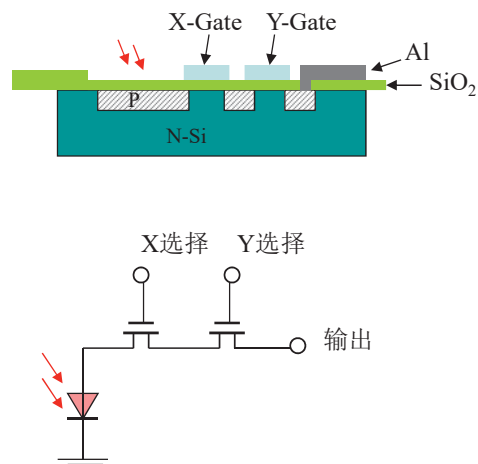
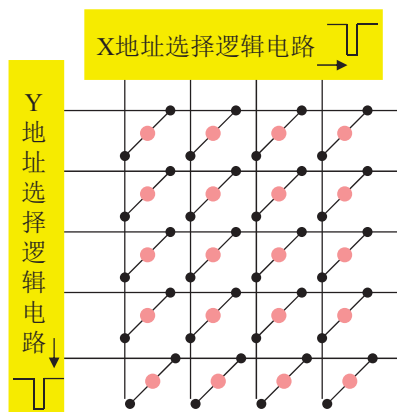
**转移门:**  
高速转移;  
感光时不转移 (防止拖影模糊)

**移位寄存器:** 三相脉冲驱动  
电荷耦合传输;  
依次串行输出

43

## 指定XY地址的电荷输出方式

- 光电二极管和两个MOS三极管的组合
- 地址译码器产生X方向和Y方向的扫描脉冲信号
- 两个MOS三极管上都加地址脉冲时，该点的光电信号有输出。



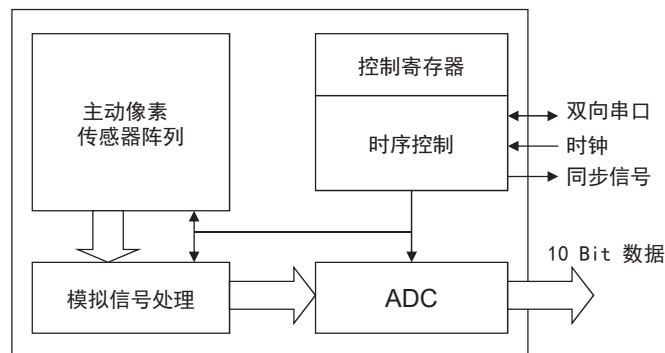
44



# CMOS图像传感器产品

<http://www.micron.com>

<http://www.aplina.com>



## 偏置非均匀性校正

- 软件方法：灵活性高，校正速度慢
- 硬件方法：设置校正电路=>EPROM存储偏置非均匀性数据，DA转换至差分放大器，消除非均匀影响。

## 随机选址

从（1024，1024）中随机选（200，200），有效数据量1/25，帧频提高25倍  
DSP控制随机采样：输出像敏单元区域的地址，进行采样。

45

# CMOS与CCD的比较

- 敏感元件一样，硅材料、光谱特性、量子效率、存储容量没有区别
- 填充率、暗电流、电子噪声、功耗等方面的比较

	CMOS	CCD
• 工艺难度	小	大
• 像敏单元放大：	yes	no
• 信号输出：	行列开关控制，可随机采样	逐个单元顺序输出
• ADC：	同一芯片内可设置	器件外设置
• 逻辑电路：	芯片内可设置若干	器件外设置
• 接口电路：	芯片内可设置接口电路	器件外设置
• 驱动电路：	芯片内设有时钟驱动电路	器件外设置、复杂

46

## 第二次作业题 2023/4/1 网络学堂提交截止

- 3-4 用半桥电路差动检测悬臂梁自由端的振动时，上下两个应变片连接在R1和R2处，和连接在R1和R3处有何不同？用公式推导说明。
- 3-7 为什么说变极距式差动电容位移测量比单电容局部线性位移测量的线性度还要好？
- 4-9 闭环式加速度测量的灵敏度是否与弹簧弹性系数有关？开环检测呢？分别写出其测量灵敏度的表达式。
- 4-10 用固有频率为2000Hz，衰减比为0.5的加速度检测仪，分别检测1200Hz的振动加速度和400Hz的振动加速度，比较两种情况下加速度检测的系统误差的大小。
- 5-2 填空：  
光栅标尺由栅距同为P的（ ）和（ ）构成。  
光电传感器检测透过两窗口的光强，理想输出波形是（ ）波形。  
A相和B相传感器面对的窗口相距（ ）个栅距，输出信号相差（ ）rad。
- 5-4 利用D触发器和A、B相传感器脉冲输出，设计鉴向电路，并绘制鉴向时序图。为得到栅距1/2倍和1/4倍的测量分辨率，应如何设计电路？
- 5-5 设动态磁栅标尺的磁极距离为0.2mm，磁标尺总长为3m，位移测量的标准测量不确定度为0.002mm。问传感器输出电压的分辨率至少应为多少V<sub>pp</sub>，才能达到0.002mm的测量不确定度？