

精密光学编码器用的自扫描 光电二极管阵列传感器

袁祥辉 吕果林 黄友恕 蒋子平
(重庆大学光电信息工程系 重庆 400044)

摘要 根据精密光学编码器的性能要求,设计和制造了一种具有16个像元的专用的自扫描光电二极管阵列(SSPA)。通过分析SSPA的工作原理、设计和实验结果,表明此传感器能满足精密光学编码器的要求。

关键词 光学编码器 自扫描光电二极管阵列 光电传感器

1 引言

角数字编码器是测量轴角位置最直接的方法之一。它具有很高的分辨率、精度和可靠性。

在数字编码器中,大部分是采用光学和光电原理构成的光学编码器。其组成有光源、光学系统、码盘和读出电路。常用的数字编码器的精度与码盘的精度、码盘的透明与不透明图形的清晰程度、图形边缘的锐利情况以及光学系统中窄缝的尺寸等因素有关。编码器的分辨率则与码道的数量和细分技术有关。对码盘尺寸足够大的角编码器其精度和分辨率均可达到很高的水平。但对码盘尺寸较小的编码器若要提高分辨率,必须增加码道的数量,在尺寸受限的情况下,必须要减小码道的宽度,通过窄缝的光强相应减小,这样一来对光电变换用的读出阵列性能要求较高,而每个光电器件的输出都要配置相应的处理电路。这对整个光学编码器的调试增加了难度,不利于提高可靠性和降低成本。至于光学编码器的精度的提高,除了提高码盘的质量之外,光学窄缝的尺寸应足够小,这对窄缝的加工提出了更高的要求。

我们根据用户的需求,开发了一种新型的专用自扫描光电二极管阵列,作为光学编码器的光电转换电路。这种光电阵列传感器具有以下特点:

- (1) 光电二极管是在电荷贮存方式下工作,因此具有高的灵敏度。
- (2) 光电信号是串行输出,信号处理仅需要一路放大器,有利于提高系统可靠性。

(3) 二极管的位数可根据需要设计, 很容易满足光学编码器对分辨率的要求。

(4) 光学窄缝直接制造在光电二极管阵列的表面上, 窄缝尺寸准确, 宽度很小, (可达 $10\mu\text{m}$ 左右), 有利于提高测量精度。此外不另加光学窄缝, 使光学系统简化。

(5) 光电阵列封装在双列直插式8脚陶瓷管内。在光学编码器中安装和调试方便。

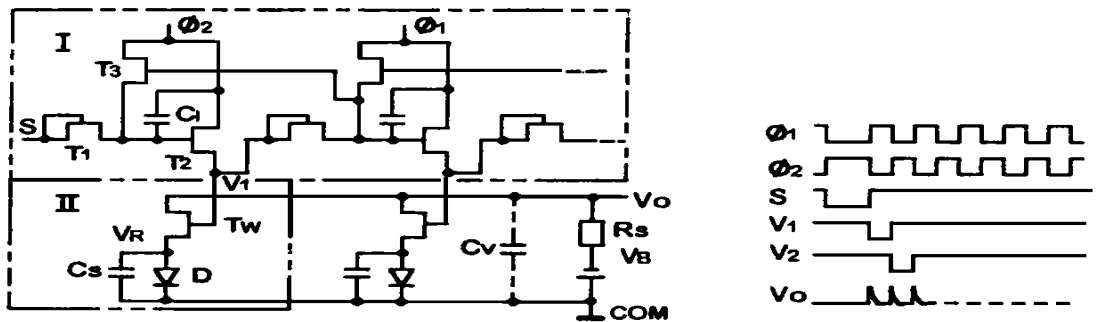
(6) 自扫描光电二极管阵列用 IC 工艺可批量生产, 使成本大为降低。

2 工作原理及设计分析

(1) 工作原理^[1]

自扫描光电二极管阵列(SSPA: Self Scanning Photodiode Array) 电路图和时钟波形图如图1所示。由光电二极管 D 和并联的存贮电容 C_s 组成一个单元, 通过 MOS 开关管 T_w 连到公共的视频输出线。 T_w 的导通和截止由片上的移位寄存器按序进行。因此每个单元中 C_s 周期地被充电到电源电压 V_B , 在 C_s 上存贮的电荷量 $Q_s = C_s V_B$ 。

移位寄存器由周期性起始脉冲 S 和两相互补时钟 Φ_1, Φ_2 驱动。采样速度由时钟频率 f_{cp} 确定。积分时间 T_{INT} 为起始脉冲周期。在光照积分时间内, 存贮在 C_s 上的电荷被光电二极管产生的正比于光强的光电流 I_L 所泄放(暗电流忽略不计)。在积分时间内泄放的电荷量 $Q = I_L T_{INT}$ 。当积分结束后, 对 C_s 再充电, 使 C_s 上电压恢复到 V_B , 对 C_s 所充电荷量为 $I_o \tau = I_L T_{INT}$, I_o 为充电的峰值电流, 其值与光强成比例, τ 为充电时间常数。因 $T_{INT} \gg \tau$, 所以 $I_o \gg I_L$, 这表明电荷存贮方式光电二极管具有很高的灵敏度。 I_o 在负载电阻 R_L 上产生的脉冲电压即为光电转换的输出信号 V_o 。



(a) SSPA circuit diagram

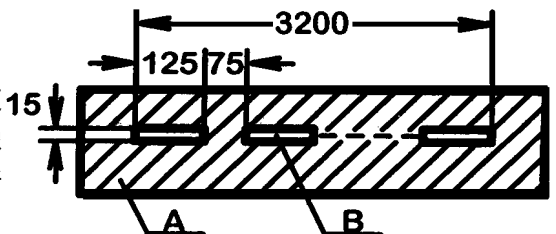
(b) waveforms timing diagrams

Fig. 1 SSPA circuit and waveforms timing diagrams

(2) 设计分析

1) 像元数及像元尺寸

根据光学编码器分辨率的要求和相应码道的几何尺寸, 设计的光电阵列传感器为16个像元的光电二极管线阵, 几何尺寸和布局如图2所示。每个光敏元面积为 $125 \times 15\mu\text{m}^2$, 二极管中心距为 $200\mu\text{m}$; 总长度为 3.2mm 。对于16元光电二极管的光学编码器分辨率可到 12^{16} 分之一。窄缝宽度为 $15\mu\text{m}$, 相当于 $15 \times 10^{-4} / R(\text{rad})$, R



A—multilaminar dielectric film and Al-film

B—photosensitive face

Fig. 2 Sensor geometry of SSPA

为码盘的半径(单位: Cm)。

2) 交扰分析^[2]

为了保证光学编码器的分辨率和精度, 在光电二极管阵列设计上尽可能减少相邻二极管之间交扰和光缝(光敏面)两侧光照的影响。相邻二极管之间的交扰其含义为: 当入射光仅照在某二极管上, 其光强使该二极管的输出电压达到饱和, 此时相邻二极管的输出大小将反映出交扰的程度。显然当交扰足够大时可能引起误码输出, 使分辨率下降。而光敏面两侧光的影响则相当于将光缝尺寸增大, 不利于精度的提高。产生交扰的原因是光入射在光敏区内的 PN 结和区外的硅衬底上, 均会产生光生载流子。这些载流子被邻近的光电二极管收集, 使其产生不希望的输出信号。为减少交扰, 在光电阵列的设计上适当地增大二极管之间的间距和减小光窗的宽度; 从工艺上采用多层薄膜对光的吸收和反射, 从而减小交扰。

3) 存贮电容的分析

在电荷存贮方式下工作的光电二极管阵列中, 存贮电容的大小和结构, 对饱和输出电压的大小和输出电压的线性度均有影响。在光学编码器中, 其输出信号是二进制的高、低电平, 因此对线性要求不高。由于有交扰的存在, 在信号处理时均需加阈值电平, 使低电平控制在给定的阈值电平, 输出的高电平可达到饱和输出电压。适当增加存贮电容可使饱和输出电压增加, 提高了高电平电位, 有利于信号处理。

4) 扫描电路设计

本器件扫描电路采用四管单元带自举电容的 MOS 动态无比电路, 如图1中(b)所示。该电路原理是利用相关的节点电容存贮电荷和栅极高阻抗使电容上电荷得到保持, 在起始脉冲和两相互补时钟的驱动下进行工作的。该电路的优点是: (a) 功耗低且与位数无关; (b) 自举电容 C_i 的作用是使移位寄存器输出幅度大, 开关管 T_w 导通充分, 有利于增加视频输出信号幅度; (c) 反馈管 T_3 使电路不易受光照的影响和改善移位寄存器的低频特性。

本器件采用 MOS IC 工艺制造, 器件封装在双列直插式8引线陶瓷管壳中, 盖板为光学玻璃。管壳引线如图3所示。

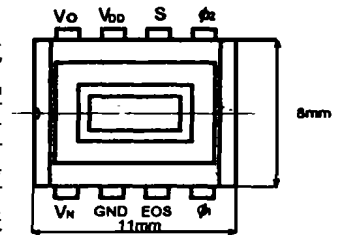


Fig. 3 Package and pin configuration

3 实验结果

研制的16元专用的自扫描光电二极管阵列电气参数和光电参数如下:

Table 1 Electrical characteristics

parameters	min	typ	max	units
video line bias (V_B)		- 5		V
clock amplitude (V_Φ)	- 5	- 10	- 15	V
clock repetition rate (f_{cp})	10		1000	kHz
capacitance of clock line (C_Φ) ¹		4		pF
capacitance of video line (C_v) ²		4		pF
DC power dissipation (P_{DC})		1		mW

Note: test voltage= - 5V for 1 and 2

Table 2. Electro-optical characteristics

parameters	type	units
elements (N)	16	
center-to-center spacing	200	μm
aperture size ($W \times L$)	15×125	μm^2
responsivity (R)	70	$\text{mV}/(\text{Lx} \cdot \text{s})$
non-uniformity of response (NU)	± 5	%
saturation exposure (H_J)	1.0	$\text{Lx} \cdot \text{s}$
saturation output voltage (V_s)	70	mV
spectral response range	400~1000	nm

上停光电参数测试条件为:

光源: 色温为2854°K钨灯;

电源电压: $V_{DD} = -10\text{V}$;

衬底电压 $V_{COM} = +5\text{V}$;

时钟频率 $f_{\phi} = 100\text{kHz}$;

积分时间 $T_{int} = 2\text{ms}$;

负载电阻 $R_L = 10\text{k}\Omega$

光电转换特性曲线如图4。

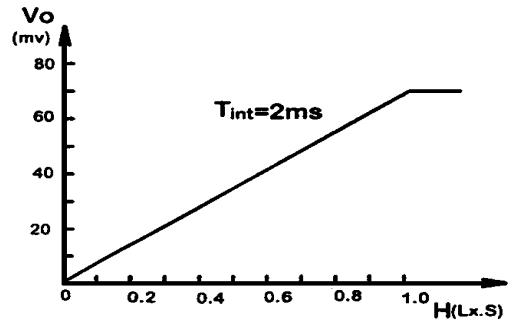


Fig. 4 Output voltages as a function of exposure values

4 讨 论

1) 在SSPA中光电二极管灵敏度高,在探测相同光强时,较常用的光电二极管所需的光敏面小得多,因此用SSPA作光编码器光电转换阵列其光学窄缝尺寸可以很小($15\mu\text{m}$)。另一方面光缝是直接制作在光电阵列表面,这样既简化了光学系统又能保证编码器精度的提高。

2) 入射光交扰的分析

因采用SSPA,编码器码盘的像可直射在SSPA上,不可避免地会产生交扰,由于设计和工艺上采取了措施,实验表明效果较好,像元之间的交扰小于1%,而光缝两侧光的影响情况是:当光斑入射在光缝一侧时,二极管的输出电压均为饱和输出电压的20%;若光斑入射在光缝两侧,则输出为40%左右。为了减小这种交扰,可将入射光光强适当减小,增加曝光积分时间,使曝光量不变。因入射光强减小,光缝周围的多层膜对光的吸收和反射效果更明显,加之处理电路中选取适当的阈值电平,入射光的交扰将大为减少。

3) 矩形光窗对精度的影响

对光学角编码器因各码道处于不同的径向位置,在相同的角度下其弧长是不同的,用矩形窗口光电阵列,严格地说在精度上是会有所影响。但是由于光电二极管面积很小(仅为 $125 \times 15\mu\text{m}^2$)整个光电阵列尺寸仅为3.2mm,当码盘半径为 R 时相应的最小的径向线宽为 $15 \times 10^{-4} \times \frac{3600}{R} \text{arc sec}$,最大径向线宽仅为 $15 \times 10^{-4} \times \frac{3600}{R - 0.32} \text{arc sec}$, R 的单位:cm。当 R 足够大

时矩形窄缝的影响可忽略不计。

5 结 束 语

因 SSPA 中光电二极管的几何尺寸和形状设计灵活, 针对用户要求设计和制造的16元专用的 SSPA, 对光学编码器的分辨率, 精度和可靠性均有改进, 尤其是对小尺寸编码器效果会更为明显。由于 SSPA 采用集成电路工艺制作, 批量生产将会使器件成本降低, 因此开发这类性能价格比高的光学编码器是很有发展前景的。

参 考 文 献

- 1 袁祥辉, 固体图像传感器及其应用. 重庆: 重庆大学出版社, 1996, 4 ~ 12
- 2 Kenney S B, Hirlman E Dan. Edge effects of silicon photodiode array. Proc SPIE Sensor and Integration, 1991, 1480: 82 ~ 93

Self Scanning Photodiode Array Sensor for Precision Rotary Encoder

YU AN Xiang-Hui, Lü Guo-Lin, HU ANG You-Shu, JIANG Zhi-Ping

(Dept. of Optoelectronic Information, Chongqing University Chongqing 400044)

Abstract

Based on the property of the precision rotary encoder, The 16 elements, Special Self Scanning Photodiode Array (SSPA) has been designed and fabricated. Through analyzing the operation principle, design and experimental result of SSPA, it can meet requirements of the precision rotary encoder.

Key words: Rotary encoder, Self Scanning Photodiode Array, Optoelectronic sensor

袁祥辉 男, 1937年2月生, 1961年毕业于重庆大学电机系。现为重庆大学工程学院教授, 博士生导师。主要从事 MOS 图像传感器及应用、光电检测技术及仪器、红外焦平面阵列读出电路等研究。