

新型集成阵列四象限 CMOS 光电传感器的研制

周 鑫, 朱大中

(浙江大学信息与电子工程学系, 微电子技术与设计研究所, 浙江杭州 310027)

摘 要: 本文介绍了一种用于目标跟踪和坐标定位的新型集成阵列四象限 CMOS 光电传感器. 该传感器采用上华 0.6 μm 标准 CMOS 工艺制造, 实现了象限传感器与后端信号处理电路的单片集成. 该传感器由 16×16 单元有源光电管阵列, 相关二次采样电路和时序控制电路组成. 每个有源光电管的大小为 $60 \mu\text{m} \times 60 \mu\text{m}$, 其感光面积百分比(Fill Factor)为 64.5%. 通过变频二次扫描的工作模式可将传感器的感光动态范围增大为 84dB. 传感器的感光灵敏度为 $2\text{V}/\text{k}\cdot\text{s}$, 工作速度根据目标照度可在 $2\text{ms}/\text{帧} \sim 64\text{ms}/\text{帧}$ 范围内调整.

关键词: 阵列式象限传感器; 相关二次采样; 互补金属氧化物半导体光电传感器; 动态范围调整; 二次扫描
中图分类号: TN432 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2005) 05-0928-03

Research of a New Integrated Arrayed 4 Quadrants CMOS Photo-Electric Sensor

ZHOU Xin, ZHU Da zhong

(Department of Information Science and Electronics Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract: A new integrated arrayed 4 quadrants CMOS photo electric sensor used for target coordinate obtaining and target tracking is designed and fabricated in a 0.6 μm standard CMOS process. It realizes the single chip integration of the quadrants sensor and subsequent signal processing circuits. It consists of 16×16 active photodiodes(PD) array, correlated double sampling (CDS) circuits and digital control part. The area of each active PD is $60 \mu\text{m} \times 60 \mu\text{m}$ and the fill factor is 64.5%. The dynamic range (DR) of the sensor can be enlarged with reset frequency adjustment double scanning method. As a result, 84dB DR can be obtained. The sensitivity of sensor can be $2\text{V}/\text{k}\cdot\text{s}$ and the sensor operation speed can be $2\text{ms}/\text{frame} \sim 64\text{ms}/\text{frame}$ according to illuminance intensity.

Key words: arrayed quadrant sensor; CDS; CMOS photoelectric sensor; dynamic range adjustment, double scanning

1 引言

基于硅材料的象限光电传感器在目标对准和跟踪系统中有广泛的用途. 传统的象限传感器一般有四个或八个象限单元, 每一个象限单元为一个分立的光电二极管. 传感器工作时, 通过对各个象限感光单元中产生的光电信号进行比较, 就可得到目标光源的位置信息, 从而控制相应的机械传动部分使传感器对准目标. 传统的象限传感器与当前广泛用于数字图像获取的有源像素传感器 (APS) 相比较, 象限传感器的象限感光单元面积较大, 数量较少, 从而可以保证传感器高速工作; 但是, 感光单元数量较少也限制了传感器获知目标的坐标位置, 形状特征等信息. 此外, 传统的象限传感器的制造不能与标准的 CMOS 工艺相兼容, 这也限制了其应用范围. 为此, 本文提出了一种新型的集成阵列四象限 CMOS 光电传感器. 该传感器采用了上华 0.6 μm 标准 CMOS 工艺制造, 实现了象限传感器与后端信号处理电路的兼容集成, 并可以获取目标的坐标方位等信息.

2 电路结构与有源光电二极管结构

传感器的功能结构如图 1 所示. 传感器由 16×16 单元有

源光电管阵列, 采样保持电路, 差分放大电路和数字控制电路四部分组成. 其中采样电路和放大电路共同实现了相关二次采样(Correlated Double Sampling, CDS)^[1]的功能, 可以有效减小传感阵列中产生的固定模式噪声(Fixed Pattern Noise, FPN)的影响.

传感器感光单元的电路结构和版图如图 1(a) 所示. 每一个有源感光单元均包含有一个光电二极管及相应的预处理电路. 图中 I, II, III 和 IV 分别代表了感光阵列的四个象限; 图 1(a) 中 A 为 16×16 单元有源光电管阵列; B 为 16 组并行工作的采样保持电路, 每一组电路对传感阵列中一列感光单元产生的信号进行处理; C 为时序控制信号产生电路; D 为 16 组并行工作的输出放大电路; E, F 分别为有源感光单元的电路结构图和版图; G 为一组采样保持电路的等效电路图, 其中 CR 与 CS 为采样保持电容; H 为有源感光单元中的光电流收集电极, 可以提高光电流的收集效率. 图 1(b) 中, RESET 为复位信号, VDD 为电源, RS 为行选通信号, SHR 和 SHS 分别为开关控制信号. 有源感光单元的预处理电路包含 3 个晶体管, 为广泛使用的 3 管结构^[3,4]. 预处理电路可将光电二极管中产生的光电流信号转化为电平信号供后续电路处理. 传感阵列中产生的光电信号传输到相关二次采样电路去除固定模式

噪声, 然后通过放大电路输出. 整个传感器电路在时序信号的控制下工作, 控制信号由时序控制电路产生.

传感器的感光阵列大小不同与传统的象限传感器和图像传感器. 在传统的象限传感器中, 阵列面积一般大于 10mm^2 , 每一个象限的面积为 $2\text{mm}^2 \sim 20\text{mm}^2$. 该尺寸远大于 CMOS 图像传感器中的像素面积 (在 $0.6\mu\text{m}$ CMOS 工艺中像素面积可以为 $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$, 而在 $0.25\mu\text{m}$ CMOS 工艺中可为 $4\mu\text{m} \times 4\mu\text{m}$). 当感光阵列的面积一定, 感光单元的面积越小, 其数量会越多, 相应获取的目标信息就越多, 但传感信息的读取时间也相应增加. 这就存在获取目标信息量和传感器工作速度之间的折衷. 在本设计中, 有源感光单元的面积为 $60\mu\text{m} \times 60\mu\text{m}$, 感光阵列的面积为 1mm^2 , 该面积可保证目标光点能够聚焦到阵列之内, 同时也有较好的制造成本的效费比. 由于感光单元中光电管的面积较大, 尽管光电管为重掺杂 PN 结, 光电管中产生的部分光生载流子仍将在扩散到电极之前的过程中复合. 为了提高光电流的收集效率, 设计了光电流收集电极, 如

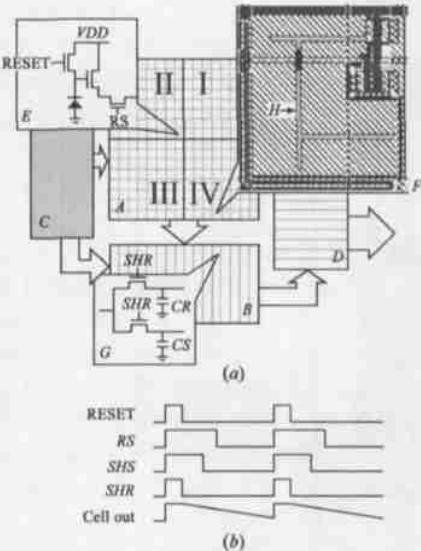


图 1 (a) 传感器及其感光单元结构; (b) 时序控制信号

图 1(a) 所示. 该电极与光电管的 N+ 注入部分相连, 可使光电管中的任何一点到最近处电极的距离在一个电子的扩散长度之内. 光电流收集电极也会使传感单元的感光面积百分比有所降低, 本设计中的感光面积百分比为 64.5% .

3 测试结果与分析

16×16 有源光电管阵列四象限 CMOS 光电传感器采用了无锡上华的 $0.6\mu\text{m}$ 双层金属双层多晶硅 N 阱 CMOS 工艺制造. 光电二极管由 P 型衬底 (阳极) 中注入 N+ 型掺杂 (阴极) 形成的 PN 结构成. 每一个有源感光单元由连接到模拟地的 P+ 注入保护环包围, 以减小衬底串扰 (crosstalk) 的影

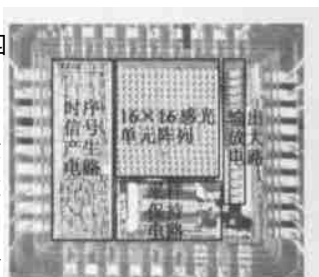


图 2 16×16 有源光电管阵列四象限 CMOS 光电传感器的芯片照片

响. 感光单元的尺寸为 $60\mu\text{m} \times 60\mu\text{m}$, 感光单元的感光面积百分比 (Fill Factor) 为 64.5% , 芯片尺寸为 $2.8\text{mm} \times 2.6\text{mm}$, 如图 2 所示.

3.1 感光动态范围调整

不同照度下, 有源感光单元的输出信号如图 3 所示. 复位信号 RESET 占空比为 50% , 频率为 500Hz , 照度分别为 42lx (曲线 A), 164lx (曲线 B), 1000lx (曲线 C). t_1 和 t_2 分别为电容 CR 与 CS 的采样点, V_a 和 V_c 分别为上下阈值电平, 当放电曲线位于该阈值电平之间时可以保证有较高的传感精度. 黑色曲线 A, B, C 代表了 500Hz 复位信号控制下的输出信号, 灰色曲线代表了充分放电情况下的输出信号, 最终, 输出

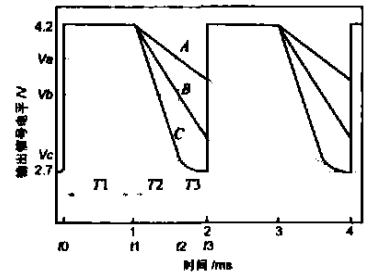


图 3 在不同照度下, 有源感光单元的信号输出

信号曲线放电进入饱和区. 相关二次采样电路的两个采样点应该分别位于复位区 ($t_0 \sim t_1$) 和放电区 ($t_1 \sim t_3$), 相应的采样信号被存储在采样电容 CR 和 CS 上. 放电区为曲线的线性下降区, 该区域中曲线的斜率固定不变, 准确反映了照度的强弱. 当曲线进入到饱和区, 输出信号到达最低电平值, 不再反映照度的变化. 在固定的 RESET 复位信号频率下, 传感器可有效获取一定照度范围中的信号. 当信号照度太强, 感光单元输出的放电曲线迅速降低到达饱和区, 如图 3 中曲线 C 所示; 当信号照度太弱, 在确定时间中放电曲线的下降幅度很小, 以至于难以精确测量.

为了解决这一问题, 传感器采用了变频二次扫描的工作模式. 在该工作模式中, 传感器的复位信号频率随目标照度的变化而变化. 传感器首先以 28kHz 的系统时钟频率对传感阵列进行第一次扫描, 扫描得到的数据通过 AD 转换存入计算机. 根据得到的数据可以确定第二次扫描的频率. 如果目标照

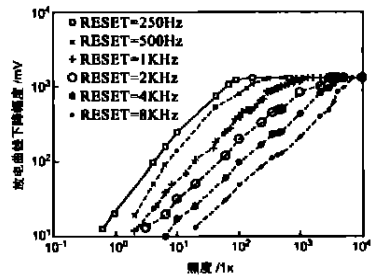


图 4 不同复位信号频率下, 输出信号幅度随照度的变化. 对于确定频率的复位信号, 感光动态范围为 60dB , 当采用变频二次扫描的工作方式, 感光动态范围可以扩大到 84dB

度太强, 采样点处的输出信号低于阈值 V_c , 复位信号频率将相应的提高, 以保证放电曲线的采样点处于放电区; 如果目标照度太弱, 采样点处的输出信号高于阈值 V_a , 复位信号频率将相应的降低. 这样, 传感器的感光动态范围可以有效的扩大, 如图 4 所示. 对于确定频率的复位信号, 感光动态范围为 60dB , 当采用变频二次扫描的工作方式, 感光动态范围可以扩大到 84dB . 线性放电区中, 传感器的感光灵敏度为 $2\text{V}/$

$k \cdot s$, 传感器的工作速度根据目标照度可在 2ms/帧~64ms/帧范围内调整.

3.2 传感器输出

传感器在 5V 电源电压下工作, 传感阵列中的 16 列感光单元并行工作. 当一光点聚焦在传感阵列上, 传感器输出信号经片外 AD 转换和计算机处理后得到三维光强分布图和二维灰度图如图 5 所示. 根据所获取光点的中心坐标, 通过相应的机械传动系统可以实现对目标的对准和跟踪; 目标的形状也可以由二维灰度图中获得.

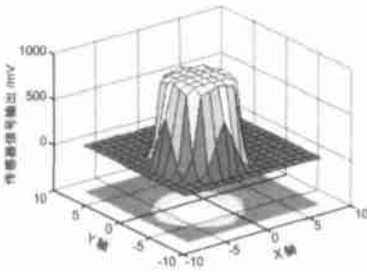


图 5 传感器得到的目标光点的三维光强分布图和二维灰度图. 在二维灰度图中可获得目标的中心坐标, 由图可知目标的中心不在传感器的中心, 需要通过机械传动系统实现对目标的对准和跟踪.

4 结论

实现了一种新型的集成阵列四象限 CMOS 光电传感器. 该传感器采用上华 0.6 μm 标准 CMOS 工艺制造. 与传统的象限传感器相比较, 该传感器具有以下优点: (1) 该传感器将传统的象限传感器与阵列式传感器有效结合; (2) 采用 CMOS 工艺, 实现了传感器与后端信号采样、降噪、放大、控制等处理电路的单片化兼容集成; (3) 通过相关二次采样电路降低了固定模式噪声; (4) 通过变频二次扫描的工作模式扩大了传感器的感光动态范围, 使传感器可以对 0.6k~10,000lx 照度的目标信号进行传感. 传感器的感光灵敏度为 2V/ $k \cdot s$, 工作速度根据目标照度可在 2ms/帧~64ms/帧范围内调整.

参考文献:

- [1] Xu C, et al. Low voltage hybrid bulk/SOI CMOS active pixel imagers sensor[J]. IEEE Electron Device, 2001, 22(5): 248-250.
- [2] Yonemoto K, et al. A CMOS image sensor with a simple fixed pattern noise reduction technology and a hole accumulation diode[J]. IEEE Journal of Solid State Circuits, 2000, 35(12): 2038-2043.
- [3] Mendis S K, et al. CMOS active pixel image sensors for highly integrated imaging system[J]. IEEE Journal of Solid State Circuits, 1997, 32(2): 187-197.
- [4] Nixon R H, et al. 256 \times 256 CMOS active pixel sensor[J]. IEEE Trans. Electron Devices, 2000, 47(1): 55-64.
- [5] Chamberlain S G, et al. A novel wide dynamic range silicon photodetector and linear imaging array[J]. IEEE Journal of Solid State Circuits, 1984, 19(1): 41-48.

作者简介:



周鑫男, 汉族 1978 年出生于四川成都, 2001 年毕业于浙江大学信息科学与工程学院信息与电子工程学系, 获得学士学位, 同年攻读该系微电子与固体电子学专业硕士学位, 主要从事混合信号集成电路设计和集成传感电子学领域的研究工作.



朱大中男, 1945 年出生于上海, 1967 年毕业于南京大学物理系半导体物理专门化, 1981 年在浙江大学无线电系半导体物理与器件专业研究生毕业, 获硕士学位, 现为浙江大学信息科学与工程学院信息与电子工程学系教授, 博士生导师, 主要研究领域包括混合信号集成电路, 传感器集成电路, 微波微机械集成电子学. E-mail:

zhudz@zju.edu.cn.