光电器件

DOI：10.16818/j.issn1001－5868.2021.01.004

一种具有开窗功能的行间转移CCD图像传感器

杨　洪*，李　金，白雪平，任思伟，袁世顺，翁雪涛

（重庆光电技术研究所，重庆 400060）

摘　要： 设计制作了一款具有开窗功能的行间转移CCD，其阵列规模为640×480元，像素尺寸为7.4 μm×7.4 μm，可在4种窗口分辨率，即640×480元、228×480元、640×164元和228×164元下开窗工作，具备单、双通道输出信号功能，当器件窗口分辨率为228×164元、以双输出通道模式工作时，帧频能够达到500 f/s，可以应用于高速目标识别领域。

关键词： 开窗功能；高帧频；行间转移；电荷耦合器件；图像传感器

中图分类号： TN386.5　**文章编号：** 1001－5868(2021)01－0025－05

An Interline CCD Image Sensor with Open Window Ability

YANG Hong, Li Jin, BAI Xueping, REN Siwei, YUAN Shishun, WENG Xuetao

(Chongqing Optoelectronics Research Institute, Chongqing 400060, CHN)

Abstract: A 640×480 pixels interline transfer CCD with open window ability is designed and fabricated with the pixel size of 7.4 μm×7.4 μm. The device has four open window modes, including 640×480 pixels, 228×480 pixels, 640×164 pixels and 228×164 pixels. The device can output signals in single or dual output channels. When the window resolution of dual output images is 228×164 pixels, the frame frequency can reach 500 f/s, which meets the application requirements of high-speed target recognition.

Key words: open window ability; high frame; interline transfer; CCD; imaging sensor

0　引言

以高速CCD为核心部件的高速相机，在科研、运动领域有着广泛应用，是研究高速事件的重要设备。在航空航天领域，美国已经成功应用高速相机实时测量飞行器的像移并进行像移补偿，取得了很好的成像效果；在图像诊断领域，高速摄像亦被用来研究汽车碰撞、物体破碎等运动过程[1]。

目前实现高速摄像的主要方法有：(1)将大容量图像数据存储器集成在CCD内部，在摄像期间不需要把图像数据转移出去而是直接存储，待摄像结束后再陆续转移出去，此方法虽可实现高速高分辨率摄像，但摄像时间有限；(2)增加输出信号的通道数量，在相同的分辨率和转移时钟下，把帧频提高至原来通道的数倍，此方法能够实现高速高分辨率摄像且实时性好，但随着通道数的增加，整个相机系统的结构庞大，且仍需把多路信号实时合成为一幅完整的视频图像，数据处理复杂；(3)在提高转移时钟频率的同时适当降低输出图像的分辨率，即开窗工作模式。工业相机中常用的开窗方法当属ROI(Region of Interest)模式，ROI是在成像应用中，在相机传感器的分辨率范围内定义一个或者多个感兴趣的窗口区域，仅对这些窗口区域内的图像信息进行读出，只获取该局部区域的图像。设定较小的ROI区域可减少相机传送及计算机需要处理的图像信息量，并提高相机的采集帧率[2-5]。这一技术无疑是非常有用的，因为工业相机一般提供4∶3的分辨率窗口，然而在实际检测中，常常只用到纵向分辨率的一部分，如果相机具备ROI功能，则使用者可以去掉不感兴趣的数据部分，从而大大提高传输和处理的效率[6-8]。

本设计基于行间转移CCD架构，参考同工艺平

收稿日期：2020－11－06.

*通信作者：杨　洪　E-mail：yanghongjob@qq.com

台 CCD 产品的分析方法和经验[9]，突破电荷泄放设计与制作关键技术，设计制作了一款 1/3 inch，640×480 元具备开窗功能的行间转移 CCD，像素尺寸为 7.4 μm×7.4 μm，器件可在 4 种窗口分辨率，即 640×480 元、228×480 元、640×164 元和 228×164 元下开窗工作，当器件窗口分辨率为 228×164 元、以双输出通道模式工作时，帧频能够达到 500 f/s，可以应用于高速目标识别领域[10-11]。

1 结构设计

1.1 整体架构设计

行间转移 CCD 芯片整体架构如图 1 所示，器件有效像素数为 640×480 元，像素尺寸为 7.4 μm×7.4 μm，可以在单或双输出通道工作方式下输出信号，每行输出的 CCD 信号包括 12 个哑像素、24 个暗像素和 324 个感光像素。

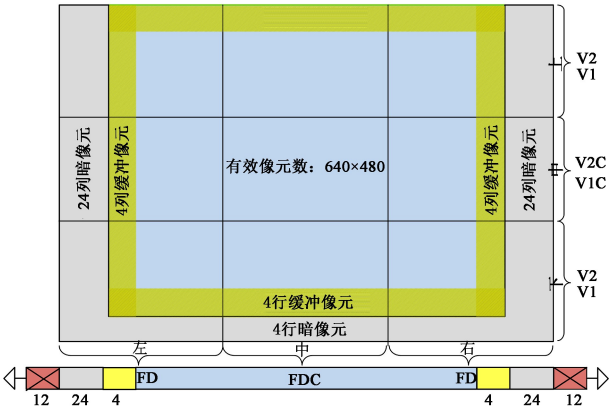


图 1 行间转移 CCD 整体架构示意图

如图 1 所示，器件垂直区域分为上、中、下三个区域，水平区域分为左、中、右三个区域，通过垂直驱动 V2/V1，V2C/V1C 与电荷泄放栅 FD，FDC 组合实现开窗功能。其中 V2C/V1C 控制器件中间区域像素读出及转移，V2/V1 控制器件上、下区域像素读出及转移。电荷泄放栅 FD 控制器件左、右区域像素泄放，电荷泄放栅 FDC 控制器件中间区域像素泄放。

1.2 电荷泄放结构设计

器件电荷泄放结构见图 2，该结构是实现器件“开窗”功能的关键所在，主要由电荷泄放栅 FD/FDC、泄放势垒、泄放漏、垂直 CCD 组成，位于垂直 CCD 与水平 CCD 的交接区域。

图 3 为沿 AA' 剖面方向电荷泄放结构电势分布，当泄放栅 FD/FDC 为低电平时，泄放势垒处于关闭状态，如图 3(a)所示，此时垂直 CCD 中的信号不会越过泄放势垒进入泄放漏，而是进入水平 CCD 读出；当泄放栅 FD/FDC 为高电平时，泄放势垒处于开启状态，如图 3(b)所示，由于此时垂直 CCD 中的信号没有泄放势垒阻挡，信号进入泄放漏，不会转移至水平 CCD 读出，从而实现开窗功能。

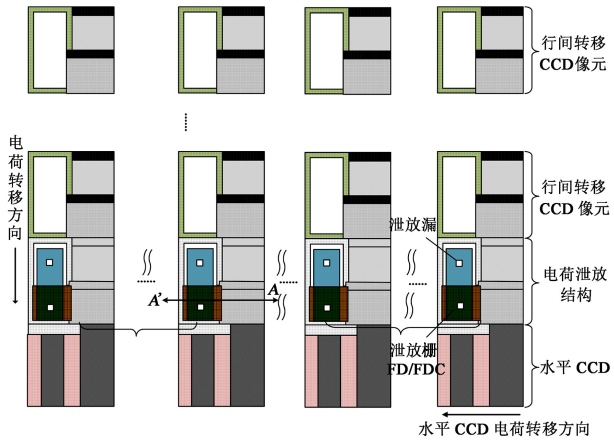
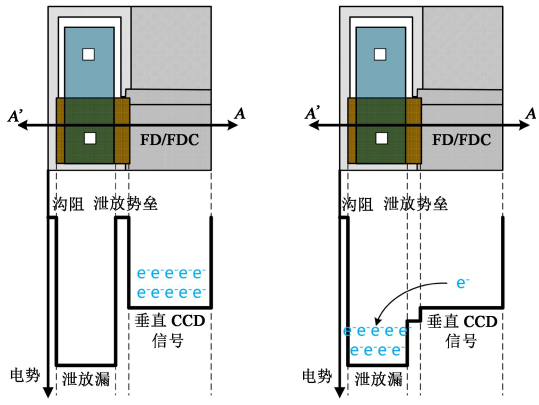


图 2 电荷泄放结构示意图



(a) 关断状态 (b) 开启状态

图 3 电荷泄放结构关断/开启时的电势分布

1.3 水平 CCD 设计

为实现器件单或双输出通道工作方式下输出信号，提高器件帧频，水平 CCD 采用分裂结构设计，即势垒、势阱皆单独驱动，如图 4 所示。

基于水平 CCD 分裂结构设计，通过对图 4 所示 H1SL，H1BL，H1SR，H2BR，H2SL，H2BL，H2SR 和 H1BR 驱动施加相应脉冲可实现器件在单或双输出通道工作方式下输出信号。当器件水平 CCD 驱动 H1SL，H1BL，H1SR，H2BR 皆为 H1 驱动脉冲，H2SL，H2BL，H2SR，H1BR 皆为 H2 驱动脉冲时，器件工作在单输出通道工作方式；当器件水平 CCD 驱动 H1SL，H1BL，H1SR，H1BR 皆为 H1 驱动脉冲，H2SL，H2BL，H2SR，H2BR 皆为 H2 驱动

脉冲时，器件工作在双输出通道工作方式。

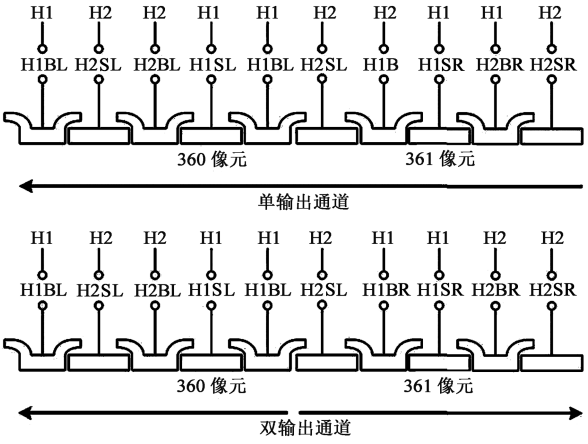


图 4　水平 CCD 分裂架构

1.4　器件开窗工作模式

基于电荷泄放结构设计，器件可以实现 640×480 元、228×480 元、640×164 元和 228×164 元四种窗口分辨率。

1.4.1　640×480 元窗口分辨率

如图 5 所示，当垂直驱动 V2 和 V2C 同时为像素读出高电平，光敏区中的信号读出至垂直 CCD 中；当电荷泄放栅 FD 和 FDC 皆为低电平时，电荷泄放栅处于关断状态，此时垂直 CCD 中的信号不会进入泄放漏。在此种状态下，器件光敏区内所有像素的感生电荷被读出，即 640×480 元像素规模，此时器件支持的分辨率最大，结合水平 CCD 分裂架构设计，器件可以工作在双输出模式。

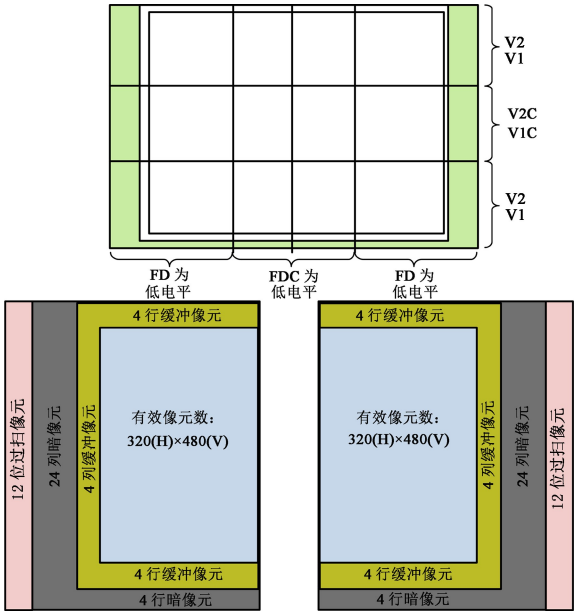


图 5　双输出 640×480 元像素

1.4.2　228×480 元窗口分辨率

如图 6 所示，V2 和 V2C 同时为像素读出高电平，所有像素光电二极管信号读出至垂直 CCD；绿色区域电荷泄放栅 FD 处于开启状态，对应垂直 CCD 中的信号进入泄放漏，不进入水平 CCD 读出；白色区域电荷泄放栅 FDC 处于关闭状态，对应垂直 CCD 中的信号不进入泄放漏。

在上述状态下，器件转移出的电荷为白色区域 228×480 元像素的感生电荷，器件以 228×480 元分辨率实现开窗功能。

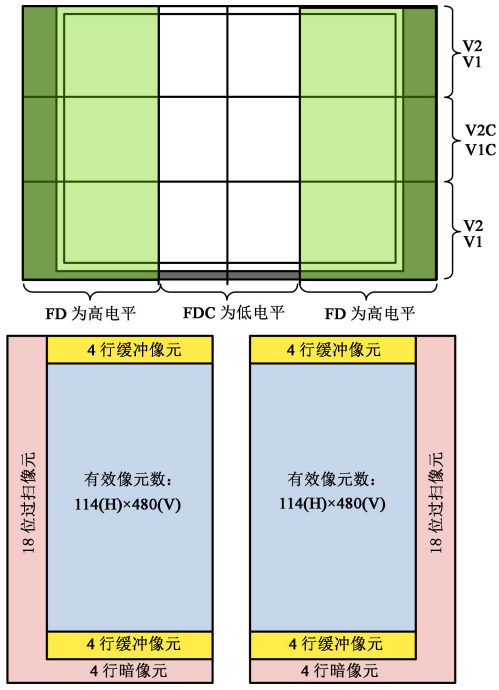


图 6　双输出 228×480 元像素

1.4.3　640×164 元窗口分辨率

如图 7 所示，V2 为像素读出低电平，上、下两个绿色区域的像素光电二极管信号不会被读出至垂直 CCD；V2C 为像素读出高电平，中间白色区域的像素光电二极管信号被读出至垂直 CCD；电荷泄放栅 FD、FDC 皆处于关闭状态，垂直 CCD 中的信号不会进入泄放漏。

在上述状态下，器件转移出的电荷为白色区域 640×164 元像素的感生电荷，器件以 640×164 元分辨率实现开窗功能。

1.4.4　228×164 元窗口分辨率

如图 8 所示，V2 为像素读出低电平，上、下两个绿色区域的像素光电二极管信号不会被读出至垂直 CCD；V2C 为像素读出高电平，中间白色区域的像素光电二极管信号被读出至垂直 CCD；绿色区域电

荷泄放栅 FD 处于开启状态，对应垂直 CCD 中的信号进入泄放漏，不进入水平 CCD 读出；白色区域电荷泄放栅 FDC 处于关闭状态，对应垂直 CCD 中的信号不进入泄放漏。

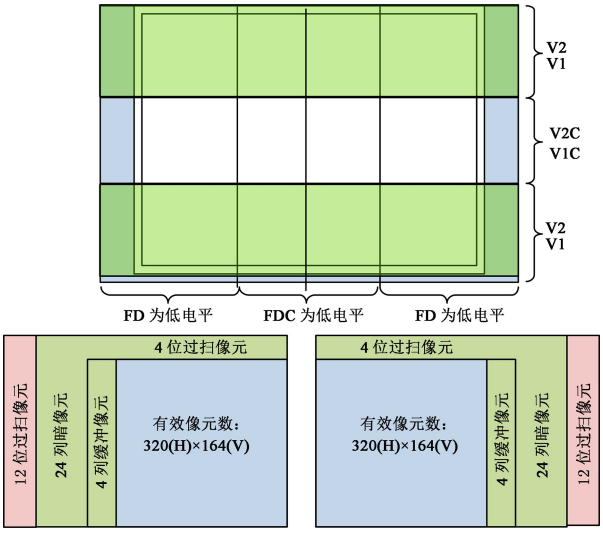


图 7 双输出 640×164 元分辨率

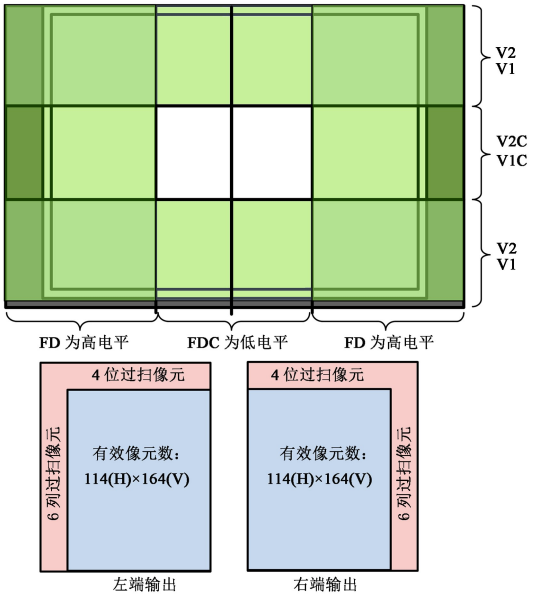


图 8 双输出 228×164 元分辨率

在此种状态下，器件转移出的电荷为白色区域 228×164 元像素的感生电荷，器件以 228×164 元分辨率实现开窗功能。

综上所述，通过垂直驱动 V2/V1，V2C/V1C 与电荷泄放栅 FD，FDC 组合可以实现四种开窗模式。

2 器件制作

器件采用 15.24 cm(6 inch)、最小特征尺寸 0.5 μm 工艺制作，衬底采用电阻率为 4～7 Ω·cm 的 n 型(100)硅。另外，采用了两层多晶硅和两次金属工艺，第一次金属用作电极，第二次金属用于垂直 CCD 挡光。图 9 为陶瓷密封的行间转移 CCD 图像传感器，采用双列直插封装形式，具有开窗功能的行间转移 CCD 图像传感器的有效像素为 640×480 元，像素尺寸为 7.4 μm×7.4 μm，芯片尺寸为 4.74 mm×3.55 mm。

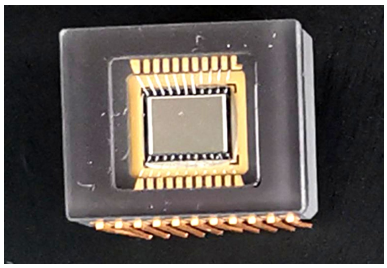


图 9 陶瓷管壳封装的器件

3 开窗功能

为评估器件性能，制作了演示用相机组件，如图 10 所示。

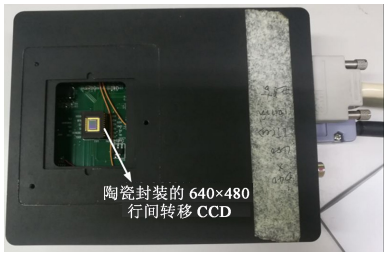


图 10 演示用相机组件

通过相机采集软件处理器件所获取的信息，实时显示图像。通过控制 V2C，V2 以及 FD，FDC 高低电平组合，实现器件四种分辨率的开窗功能。

(1)640×480 元窗口分辨率

如图 11 所示，V2 和 V2C 同时为像素读出高电平，且 FD 和 FDC 都为低电平时，器件像素分辨率为 640×480 元。

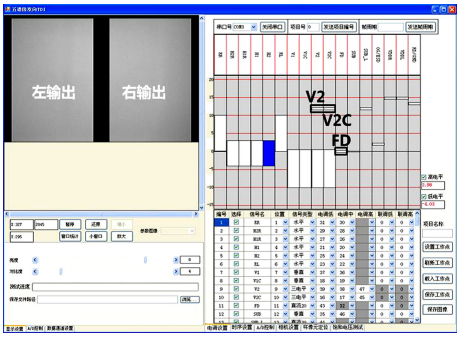


图 11 640×480 元像素双输出读出

(2)228×480 元窗口分辨率

如图 12 所示，V2 和 V2C 同时为像素读出高电平，且 FD 为高电平而 FDC 为低电平时，器件像素分辨率为 228×480 元。

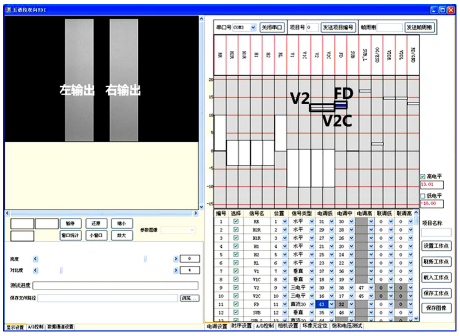


图 12　228×480 元像素双输出读出

(3)640×164 元窗口分辨率

如图 13 所示，V2C 为像素读出高电平，V2 为像素读出关断电平，且 FD 和 FDC 都为低电平，此时器件像素分辨率为 640×164 元。

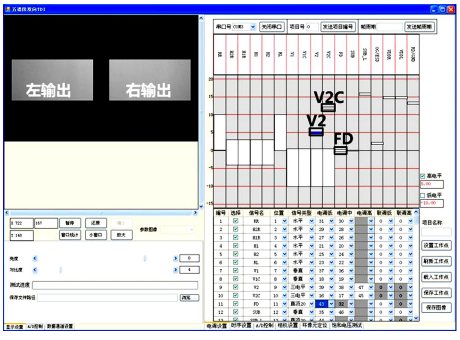


图 13　640×164 元像素双输出读出

(4)228×164 元窗口分辨率

如图 14 所示，V2C 为像素读出高电平，V2 为像素读出关断电平，且 FD 为高电平，此时器件像素分辨率为 228×164 元。

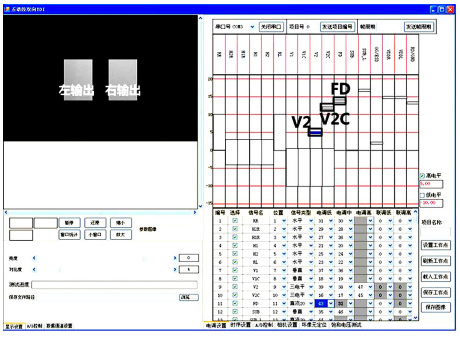
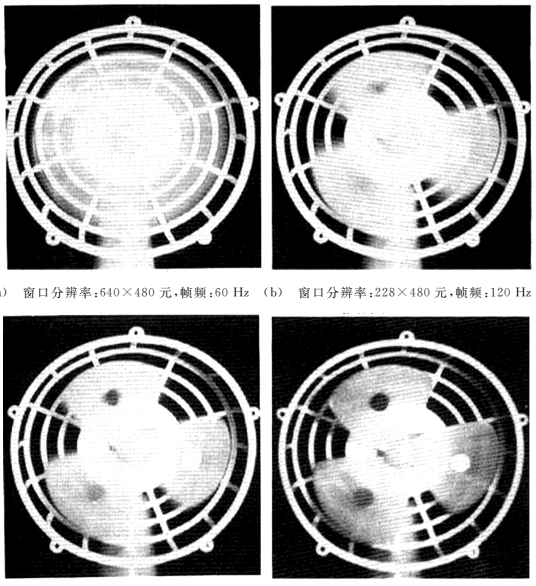


图 14　228×164 元像素双输出读出

如图 15 所示，基于双输出通道工作模式，在不同窗口分辨率下验证器件对于高速目标的识别性能。可以看出，随着窗口分辨率的降低，器件帧频增加，高速转动的风扇扇叶以及扇叶上的小孔逐渐清晰可见。



(a)　窗口分辨率：640×480 元，帧频：60 Hz　(b)　窗口分辨率：228×480 元，帧频：120 Hz

(c)　窗口分辨率：640×164 元，帧频：240 Hz　(b)　窗口分辨率：228×164 元，帧频：500 Hz

图 15　不同分辨率及帧频下高速目标成像图

4　结论

本文研制了具有电荷泄放结构的行间转移 CCD 图像传感器，实现了行间转移 CCD 开窗功能。该器件有效像素为 640×480 元，像素尺寸为 7.4 μm×7.4 μm，器件可在 4 种窗口分辨率，即 640×480 元、228×480 元、640×164 元和 228×164 元下开窗工作。通过采用水平 CCD 分裂设计，器件可以在单或双输出通道工作方式下输出信号，当双输出图像的窗口分辨率为 228×164 元时，帧频可以达到 500 f/s，可用于高速成像领域。

参考文献：

[1]　Ishihara Y, Oda E, Tanigawa H, et al. Interline CCD image sensor with an antiblooming structure[R]. ISSCC Dig. Tech. Papers, 1982: 168-169.

[2]　Loseeetal D L. A 1/3 format image sensor with refractory metal light shield for color video applications[R]. ISSCC Dig. Tech. Papers, 1989: 90-91.

[3]　Teranishi N, et al. No image lag photodiode structure in the interline CCD image sensor[R]. IEDM Tech. Dig., 1982: 324-327.

[4]　Haradaeta! K. A 213-inch 2 Mpixel FIT-CCD HDTV image sensor[R]. ISSCC Dig. Tech. Papers, 1992: 170-17I.

（下转第 65 页）

供了一种新的思路，而不仅仅局限于惯性传感器的集成。通过基于 SOI 的一体化集成 MEMS 工艺，成功制备了搭载有圆盘多环谐振陀螺的 MEMS 三维可折叠系统，整个系统尺寸为 1 cm^3，整机质量仅为 250 mg。

参考文献：

[1] Giansanti D, Maccioni G, Macellari V. The development and test of a device for the reconstruction of 3-D position and orientation by means of a kinematic sensor assembly with rate gyroscopes and accelerometers [J]. IEEE Trans. on Biomedical Engin., 2005, 52(7): 1271-1277.

[2] Yazdi N, Ayazi F, Najafi K. Micromachined inertial sensors [J]. Proc. of IEEE, 1998, 86(8): 1640-1659.

[3] Liu J, Shi Y, Zhang W. Micro inertial measurement unit based integrated velocity strapdown testing system [J]. Sensors & Actuators A: Physical, 2004, 112(1): 44-48.

[4] Ayazi F. Multi-dof inertial MEMS: From gaming to dead reckoning[C]// Proc. of IEEE Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conf., 2011: 2805-2808.

[5] Chae J, Kulah H, Najafi K. A monolithic three-axis micro-G micromachined silicon capacitive accelerometer [J]. J. of Microelectromechanical Systems, 2005, 14(2): 235-242.

[6] 夏　艳. 3D 集成的发展现状与趋势[J]. 中国集成电路, 2011, 20(7): 28-33.
Xia Yan. Present situation and development of 3D integration [J]. China Integrated Circuit, 2011, 20(7): 28-33.

[7] Efimovskaya A, Lin Y W, Shkel A M. Origami-like 3-D folded MEMS approach for miniature inertial measurement unit[J]. J. of Microelectromechanical Systems, 2017, 26(5): 1-10.

[8] Dellea S, Giacci F, Longoni A, et al. Large full scale, linearity and cross-axis rejection in low-power 3-axis gyroscopes based on nanoscale piezoresistors[C]// Proc. of IEEE Inter. Conf. on Micro Electro Mechanical Systems, 2015.

[9] 李男男，邢朝洋. 惯性微系统封装集成技术研究进展[J]. 导航与控制, 2018, 17(6): 31-37.
Li Nannan, Xing Chaoyang. Development of inertial micro-system packaging and integration technology[J]. Navigation and Control, 2018, 17(6): 31-37.

[10] 杜宜璋，常洪龙，苑伟政，等. 多环谐振微机械陀螺的研究现状及发展趋势[J]. 导航与控制, 2019, 18(4): 1-10.
Du Yizhang, Chang Honglong, Yuan Weizheng, et al. Research status and development trend of multiring resonant micromechanical gyroscope[J]. Navigation and Control, 2019, 18(4): 1-10.

作者简介：

李志伟(1997－)，男，山西吕梁人，硕士研究生，主要研究方向为 MEMS 惯性器件集成；

张卫平(1971－)，男，博士，教授，博士生导师，主要从事先进微型机器人与微型无人机、先进微纳惯性技术、微机电系统(MEMS)、精密仪器、电路控制与嵌入式系统及其集成技术的研究。

(上接第 29 页)

[5] Hosack H H, Hynecek J. Clock controlled anti-blooming for virtual phase CCD's: US, EP19820300746[P]. 1985-02-15.

[6] Furukawa A, Matsunaga Y, Suzuki N, et al. An interline transfer CCD for single sensor 2/3″ color camera[R]. IEDM Tech. Dig., 1980: 346-349.

[7] Oda E, Ishihara Y, Teranishi N. Blooming suppression mechanism for an interline CCD image sensor with a vertical overflow drain[R]. IEDM Tech. Dig., 1983: 501-504.

[8] Akiyama I, Kohno A, Teranishi N. Noise characteristics of an interline CCD image sensor[C]// Proc. Conf.: TV SOC. Japan, 1983: 57-58.

[9] 杨　洪，李　立，吕玉冰，等. 一种内线转移可见光 CCD 光电特性模拟分析[J]. 半导体光电, 2014, 35(5): 773-776, 781.
Yang Hong, Li Li, Lv Yubing, et al. Simulation of photoelectric characteristics of interline transfer CCD [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2014, 35(5): 773-776, 781.

[10] Van de Steeg M J H, Peek H L, Bakker J G C, et al. A frame-transfer CCD color imager with vertical antiblooming [J]. IEEE Trans. Electron Devices, 1985, ED-32: 1430-1438.

[11] Albert J P Theuwissen. Solid-State Imaging with CCDs[M]. Kluwer Academic Publishers, 1995.

作者简介：

杨　洪(1982－)，男，2009 年毕业于电子科技大学微电子与固体电子学专业，高级工程师，从事 CCD 器件的设计研究工作。