光电器件

DOI：10.16818/j.issn1001－5868.2022082101

1 024×1 024 元帧转移纵向抗晕 CCD 图像传感器

钟玉杰，杨　洪*，易学东，吴雪飞，谷顺虎，张　娜

（重庆光电技术研究所，重庆 400060）

摘　要： 帧转移电荷耦合器件(FTCCD)主要应用于可见光信号探测，其在强光应用场合容易出现光晕现象。针对该问题，研制了帧转移纵向抗晕 CCD 图像传感器，该器件阵列规模为 1 024×1 024 元，像素尺寸为 12 μm×12 μm。为了实现纵向抗晕功能，采用了 n 型埋沟-鞍形 p 阱-n 型衬底结构，纵向抗晕倍数为 200 倍，器件满阱电子数为大于等于 200 ke$^-$，读出噪声小于等于 80 e$^-$，动态范围大于等于 2 000∶1。

关键词： 纵向抗晕；帧转移；电荷耦合器件；图像传感器

中图分类号： TP212　**文章编号：** 1001－5868(2023)01－0014－04

1M Frame Transfer CCD Image Sensor with Vertical Antiblooming

ZHONG Yujie, YANG Hong, YI Xuedong, WU Xuefei, GU Shunhu, ZHANG Na

(Chongqing Optoelectronics Research Institute, Chongqing 400060, CHN)

Abstract: Frame transfer charge coupled device (FTCCD) is mainly used for visible light detection, which is prone to bloom in strong light applications. To solve this problem, a frame transfer vertical anti-blooming CCD image sensor was developed. The array size of the device was 1 024×1 024 elements, and the pixel size was 12 μm×12 μm. In order to realize the vertical anti-blooming function, an n-type buried channel saddle p-well-n-type substrate structure was adopted. The vertical anti-blooming multiple is 200X, the full capacity is no less than 200 ke$^-$, the readout noise is no more than 80 e$^-$, and the dynamic range is no less than 2 000∶1.

Key words: vertical antiblooming; frame transfer; CCD; image sensor

0　引言

帧转移 CCD 主要应用于可见光探测，在对玻璃、不锈钢等强反射目标成像时容易出现光晕现象。在对地遥感应用中，目标景物光强变化范围大，要求帧转移 CCD 在强光和弱光环境下都可以摄取清晰的图像。所以，帧转移 CCD 除了在弱光条件下要具有高灵敏度，在强光条件下还要具有抗晕能力[1-3]。

本文针对帧转移 CCD 实际工程应用需要，研究了其纵向抗晕结构和特性[4-11]，研制了 1 024×1 024 元帧转移纵向抗晕 CCD 图像传感器。

1　结构设计

研制的芯片整体架构如图 1 所示，器件整体架构为帧转移 CCD，光敏区有效像元数为 1 024×1 024，像元尺寸 12 μm(H)×12 μm(V)，光敏区左、右各 4 列缓冲像元，左、右各 20 列暗像元，光敏区顶部有 6 行暗像元，读出放大器采用三级源跟随放大器。

该器件纵向抗晕结构见图 2。图 2(a)所示为四相转移像元结构，像元之间通过沟阻隔离；图 2(b)所示 n 型埋沟位于鞍形 p 阱之上，鞍形 p 阱位于 n 型衬底之上，n 型埋沟-鞍形 p 阱-n 型衬底构成纵向抗晕结构；图 2(c)所示为纵向抗晕电势分布，入射光产生的电荷存储在 n 型埋沟势阱之中，当超过势阱容量时，过剩的电荷越过鞍形 p 阱势垒，泄放进入

收稿日期：2022－08－21.

*通信作者：杨　洪　E-mail：yanghongjob@qq.com

n 型衬底，实现抗晕目的。

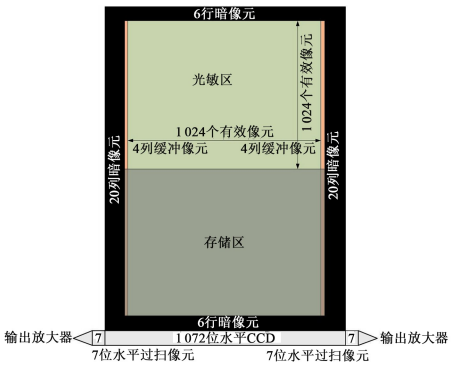
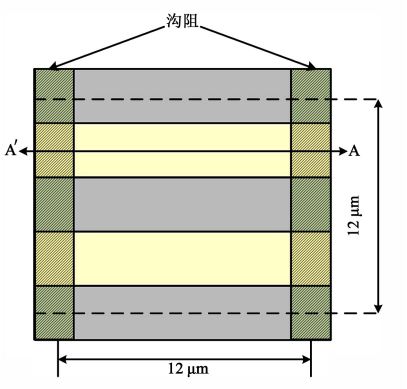
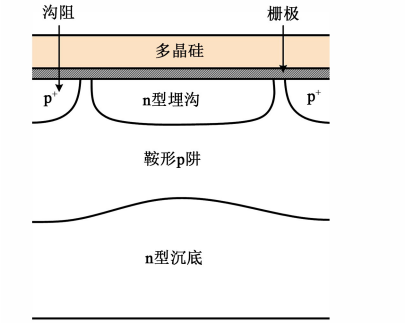


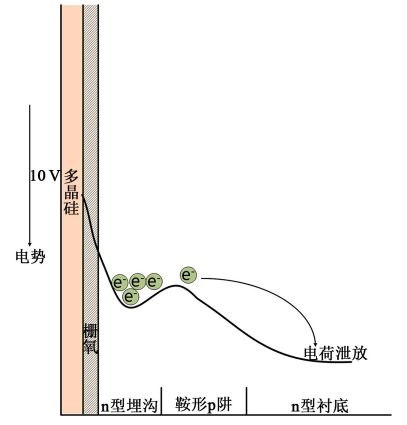
图 1　器件整体架构



(a) 4 相转移像元结构



(b) 沿 *AA*'方向剖面图

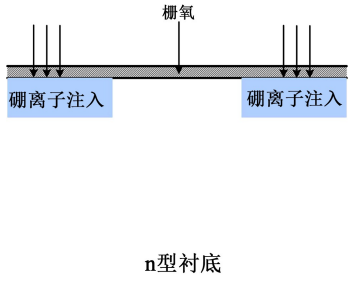


(c) 纵向抗晕机理示意图

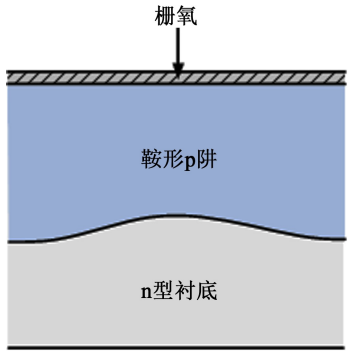
图 2　帧转移纵向抗晕 CCD 像元结构

2　器件制作

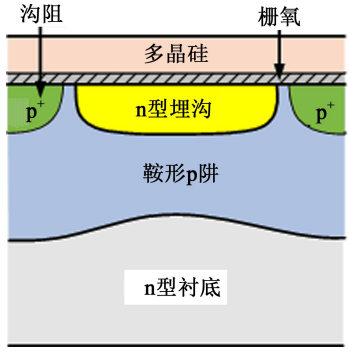
光敏区鞍形 p 阱工艺是制作纵向抗晕 CCD 的关键所在，该器件采用高温推结硼离子横向扩散的方式形成光敏区鞍形 p 阱分布，通过调整推结时间、推结温度，可灵活地控制光敏区马鞍形 p 阱浓度、结深，与其他区域的 p 阱掺杂浓度、结深相比，光敏区鞍形 p 阱掺杂浓度、结深都会更低。在衬底施加抗晕电压时，光敏区鞍形 p 阱会耗尽，使多余的光生载流子通过光敏区抗晕势垒进入衬底，实现抑制光晕的作用。其光敏区鞍形 p 阱工艺流程如图 3 所示，首先在像元局部区域进行如图 3(a)所示硼离子注入，通过高温推结形成如图 3(b)鞍形掺杂分布，再进行如图 3(c)埋沟、沟阻、多晶硅等后续工艺。



(a) 硼离子局部注入



(b) 硼离子高温扩散形成 p 阱



(c) 埋沟、沟阻等后续工艺

图 3　p 阱制作工艺流程

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 4～7 Ω·cm 的 n 型(100)硅。采用两层多晶硅和两次金属工艺,第一次金属用作电极,第二次金属用作存储区挡光层。图 4 为制作了 1 024×1 024 元帧转移纵向抗晕 CCD 的 6 inch 晶圆照片。图 5 为陶瓷封装的帧转移纵向抗晕 CCD 照片,芯片尺寸为 14.96 mm×27.02 mm。

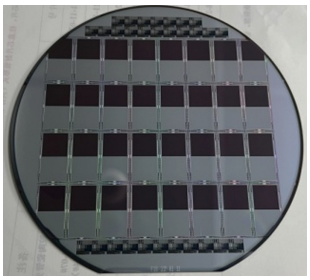


图 4 帧转移纵向抗晕 CCD 晶圆照片

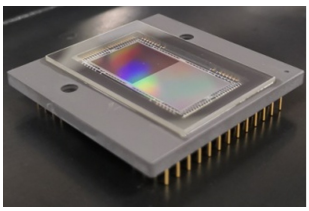


图 5 陶瓷封装的帧转移纵向抗晕 CCD 器件照片

3 抗晕特性

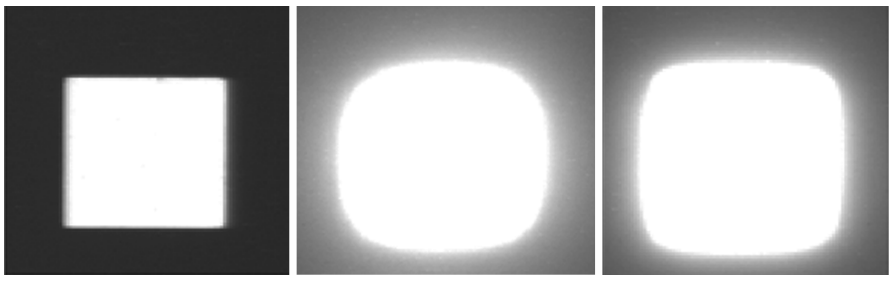
在通常情况下,采用方形光斑法评价帧转移纵向抗晕 CCD 的抗晕特性。光斑尺寸为器件垂直区高度的 9%～11%,用抗晕倍数 X 表征器件的抗晕能力。

$$X=\frac{I_{光晕}}{I_{饱和}} \tag{1}$$

式中,$I_{饱和}$ 为饱和光强,$I_{光晕}$ 为光晕光强。在帧转移纵向抗晕 CCD 抗晕性能测试时,调整入射光强使得照射至器件的光斑处于临界饱和状态,记录此时光强 $I_{饱和}$;随后增加入射光强直至方形光斑尺寸扩展为原始光斑的 2 倍,记录此时光强 $I_{光晕}$,由此可得器件抗晕倍数。

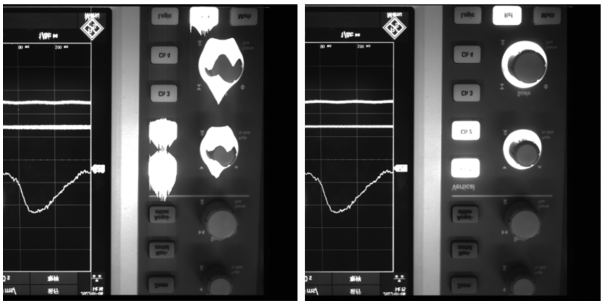
器件纵向抗晕性能测试结果如图 6 所示,其中图 6(a)所示为临界饱和时光斑成像,光斑尺寸为 100 像素×100 像素;图 6(b)为增大光强至 100 倍临界饱和状态时的光斑成像,此时光斑尺寸为 100 像素×119 像素,相比于临界饱和时光斑垂直方向尺寸,此时光斑扩展了 19 个像素;图 6(c)为增大光强至 200 倍临界饱和状态时光斑成像,此时光斑尺寸为 100 像素×138 像素,相比于临界饱和时光斑垂直方向尺寸,此时光斑扩展了 38 个像素,按照光斑扩展 2 倍要求,此时扩展像素小于 100 像素,表明器件抗晕倍数优于 200 倍。

通过调节器件 n 型衬底偏置电压可以实现抗晕功能开启、关闭。图 7(a)所示为 1 024×1 024 元帧转移纵向抗晕 CCD 抗晕功能关闭时的实景成像,由图可见,高亮区域出现明显的光晕现象;图 7(b)所示为器件抗晕功能开启时的实景成像,可见高亮区域光晕现象得到抑制,表明器件抗晕机制起到作用。



(a) 临界饱和状态 (b) 100 倍饱和状态 (c) 200 倍饱和状态

图 6 器件抗晕性能测试



(a) 抗晕功能关闭 (b) 抗晕功能开启

图 7 器件抗晕功能实景成像结果

4 器件性能参数

表 1 列出了研制的 1 024×1 024 元帧转移纵向抗晕 CCD 的主要性能参数。图 8 为 1 024×1 024 元帧转移纵向抗晕 CCD 的典型量子效率(η)曲线。

通过优化多晶硅电极制作工艺，减小多晶硅厚度，进而降低了多晶硅电极对入射光的损耗，使得器件的峰值量子效率达到 70%。

表 1　帧转移纵向抗晕 CCD 主要性能参数

测试参数	数值
有效像元数	1 024×1 024
像元尺寸/μm^2	12×12
抗晕倍数/倍	200
饱和输出幅度/mV	1 307
满阱电子数/ke^-	214
噪声/e^-	76
动态范围	2 806∶1
暗电流/(nA/cm^2)	0.76

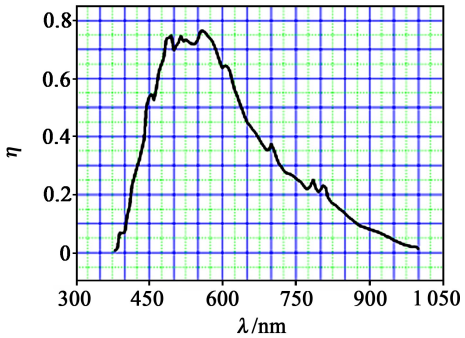


图 8　器件量子效率曲线

5　结论

本文研制了 1 024×1 024 元帧转移纵向抗晕 CCD 图像传感器，解决了其在强光应用下的光晕问题。该器件有效像元数为 1 024×1 024 元，像元尺寸为 12 μm×12 μm，为了实现纵向抗晕功能，采用了 n 型埋沟-鞍形 p 阱-n 型衬底结构，器件抗晕能力为 200 倍，满阱电子数为 214 ke^-，噪声为 76 e^-，动态范围为 2 806∶1。

参考文献：

[1] 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. on Electron Devices, 1985, 32(8): 1430-1438.

[2] Furukawa A, Matsunaga Y, Suzuki N, et al. An interline transfer CCD for single sensor 2/3″ color camera [C]// International Electron Devices Meeting, 1980: 346-349.

[3] Oda E, Ishihara Y, Teranishi N. Blooming suppression mechanism for an interline CCD image sensor with a vertical overflow drain [C]// 1983 International Electron Devices Meeting, 1983: 501-504.

[4] White M H, Lampe D R, Blaha F C, et al. Characterization of surface channel CCD image arrays at low light levels[J]. IEEE J. of Solid-State Circuits, 2003, 9(1): 1-12.

[5] Akiyama I, Kohno A, Teranishi N. Noice characteristics of interline CCD image sensor [J]. Proc. of ITE National Convention, 1983, 19: 57-58.

[6] Losee D L, Cassidy J C, Mehra M, et al. A 1/3 format image sensor with refractory metal light shield for color video applications [C]// IEEE Inter. Solid-State Circuits Conf., 1989: 90-91.

[7] Teranishi N, Kohono A, Ishihara Y, et al. No image lag photodiode structure in the interline CCD image sensor[C]// 1982 Inter. Electron Devices Meeting, 1982: 324-327.

[8] Harada K, Negishi M, Ohgishi T, et al. A 2/3-inch 2M-pixel FIT-CCD HDTV image sensor[C]// Isscc Dig. Tech. Papers, 1992: 170-171.

[9] Hosack H H, Hynecek J. Clock controlled anti-blooming for virtual phase CCD's[P]. EP: EP0059547 A1, 1985.

[10] Theuwissen A. Solid-state Imaging with Charge-coupled Devices[M]. Solid State Science & Technology Library, 1995.

[11] Koike N, Takemoto I, Sato K, et al. An NPN structure 484×384 MOS imager for a single-chip color camera[C]// IEEE Inter. Solid-State Circuits Conference, 1979: 192-193.

作者简介：

钟玉杰(1983—)，男，2009 年毕业于四川大学微电子与固体电子学专业，高级工程师，目前从事 CCD 器件工艺设计研究；

杨　洪(1982—)，男，2009 毕业于电子科技大学微电子与固体电子学专业，硕士，高级工程师，目前从事 CCD 器件的研制。