

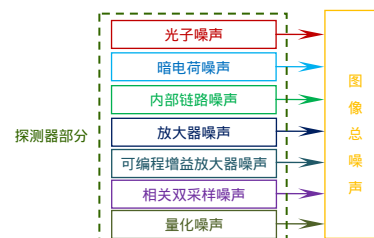


DOI: 10.12086/oe.2019.180504

## 电荷累加型 TDICMOS 探测器测试方法研究

梁楠\*, 张斐然, 蔡帅, 李博, 李涛

北京空间机电研究所, 北京 100094



**摘要:** 随着航天遥感领域对分辨率、高速传输、低功耗方面需求的提高,基于电荷累加的 TDICMOS 探测器应运而生。该探测器无论在工艺上还是探测器结构上均与 TDICCD 和传统数字累加的 CMOS 器件有着本质的不同。因此,许多关于探测器性能参数的测试方法无法适用于电荷累加的 TDICMOS。本文基于电荷累加 TDICMOS 的自身特性,先后提出了关于电荷-DN 转换因子、满阱电荷、电荷转移效率、读出噪声等参数的新测试方法,同时搭建 TDICMOS 测试系统进行实验验证。实验证明了上述测试方法的正确性和工程可实现性,为今后 TDICMOS 工程应用提供了重要依据。

**关键词:** TDICMOS; 电荷-DN 转换因子; 转移效率; 满阱电荷; 读出噪声

**中图分类号:** TN401

**文献标志码:** A

**引用格式:** 梁楠, 张斐然, 蔡帅, 等. 电荷累加型 TDICMOS 探测器测试方法研究[J]. 光电工程, 2019, 46(8): 180504

## Research on the test methods of charge accumulating TDICMOS detector

Liang Nan\*, Zhang Feiran, Cai Shuai, Li Bo, Li Tao

Beijing Institute of Space Mechanics and Electricity, Beijing 100094, China

**Abstract:** With the increasing demand for high resolution, high speed transmission and low power dissipation in space remote sensing, TDICMOS detector based on charge accumulating will become an important part of video detectors. No matter in process or in structure, the detector is essentially different from the traditional TDICCD and CMOS detector with digital accumulating. Therefore, many original methods for testing the performance parameters of the detector cannot be applied to the TDICMOS detector based on charge accumulating. This paper proposes the test methods of charge-DN factor, full well charges, transfer efficiency, readout noise based on TDICMOS characteristics. We also verify these test methods by experiment, prove the correctness of these testing methods and the feasibility of the engineering. The results provide important basis for the application of TDICMOS camera in the future.

**Keywords:** TDICMOS; charge-DN factor; charge transfer efficiency; full well charges; readout noise

**Citation:** Liang N, Zhang F R, Cai S, *et al.* Research on the test methods of charge accumulating TDICMOS detector[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, 46(8): 180504

收稿日期: 2018-09-28; 收到修改稿日期: 2018-12-19

基金项目: 国家重点研发计划地球观测与导航重点专项(2016YFB0500802)

作者简介: 梁楠(1985-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事超高分辨率成像技术的研究。E-mail: ln19@163.com

# 1 引言

TDI(Time delayed and integration)技术一直以来在航天遥感领域的应用较为普遍。现有高分辨率可见光遥感相机主要采用 TDICCD 作为感光元件<sup>[1-2]</sup>。然而随着分辨率的提高和行频的增大,搭载 TDICCD 的视频电子学系统在功耗和电路规模上逐渐显露出弊端。与此同时,随着 CMOS 工艺的提升,TDICMOS 技术发展日渐成熟,基于电荷累加原理的 CMOS 器件已经处于工程试验阶段<sup>[3]</sup>。

由于探测器是视频电路的核心器件,因此对探测器自身的性能测试和测试方法的研究一直以来是视频电路的重要一环。李金<sup>[4]</sup>提出了 TDICCD 电荷-电压转换因子、满阱电荷、模拟信号的读出噪声测试方法。核心思想是通过调节偏置电压来控制模拟信号输出值的大小,从而实现上述参数测试。李亚斌<sup>[5]</sup>提出了电荷转移效率的测试方式,即控制电荷在水平转移寄存器的多个势阱中转移,再通过读取多行转移后的模拟信号反推出电荷转移效率。电荷累加型 TDICMOS 探测器采用低压驱动埋沟工艺,同时将运放、ADC 等集成在芯片内部,探测器输出已不是模拟信号而是经过数字量化的图像灰度值,且取消了电荷的水平转移方式。因此在性能指标和测试方法上与传统 TDICCD 有较大的不同。上面文章中所述的依靠模拟信号的电荷-电压转换因子等测试方法和依靠水平转移寄存器的电荷转移效率测试方法已无法适用 TDICMOS 测试。本文结合电荷累加 TDICMOS 的自身特性,与 TDICCD 原理进行比较,分析得出以下三个测试项需要进行重新设计,包括电荷转移效率、读出噪声、电荷-DN 转换因子。进而针对上述测试项目提出新的测试方法,并采用新方法对 TDICMOS 相机进行实测,所得结果与理论推导相一致。

# 2 TDICMOS 原理

采用电荷转移型 TDICMOS 技术在国际上成为实现 TDI 图像探测器小型化、低功耗的必然发展趋势,有别于传统 CCD 工艺实现 TDI 功能的 TDICCD。电荷转移型 TDICMOS 探测器的感光区采用 TDICCD 架构,如图 1 所示,通过电荷转移实现列级的积分累加,读出区嵌入集成度较高的运放、ADC 等实现数字读出。将 TDICCD 的外围电路集成到芯片内,单片电荷转移型 TDICMOS 芯片相当于采用 TDICCD 的一个甚至几个设备,体积小、重量轻、功耗低、可靠性高<sup>[6]</sup>。

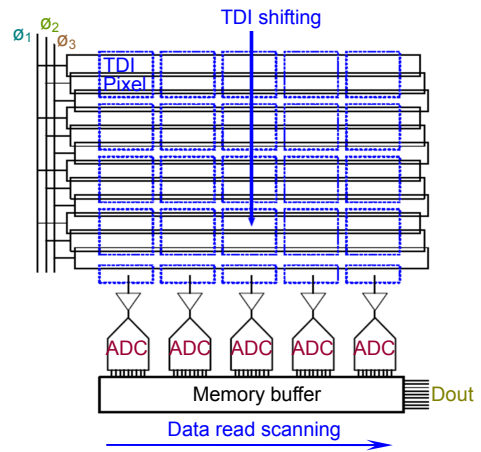


图 1 电荷转移型 TDICMOS 结构  
Fig. 1 Charge transfer TDICMOS sensor structure

将电荷转移型 TDICMOS 与原有 TDICCD 进行对比,主要有输出信号类型和电荷转移方式两方面的不同,如表 1 所示。而这两方面会对电荷转换因子和满阱电荷、读出噪声、电荷转移效率的相关测试方法有较大影响<sup>[7]</sup>。

表 1 两种 TDI 探测器比较

Table 1 Comparison between TDICCD and TDICMOS			
对比类型	TDICCD	TDICMOS	测试方法
输出方式	模拟信号	数字信号	影响读出噪声、满阱电荷、电荷-电压转换因子的测试
电荷读出方式	水平方向读出	积分方向读出	影响电荷转移效率

由表中可知,TDICMOS 探测器与 TDICCD 相比,测试方法有着如下的区别:

1) TDICMOS 采用数字读出的方式,使得原有 TDICCD 的电荷-电压转换因子这一重要参数已无法测量。相应的本文采用电荷-DN 转换因子来度量探测器的电荷转换能力,同时满阱电荷也同样通过 DN 值作为参数计算。因此相应的测试方法有了一定的更改。

2) TDICMOS 加入了列级 ADC 将模拟信号转化为数字信号输出。因此链路中的读出噪声直接引入量化噪声和 CDS 噪声,使得链路中噪声的主要成分既包括了随光强变化的暗噪声,也包括了量化噪声和 CDS 噪声,因此将几种噪声逐个分解开来有着一定难度。

3) TDICMOS 取消水平转移区的电荷转移,故转移效率只能通过垂直区隔离行来实现测试。而隔离行的行数有限,需通过少数隔离行和复杂时序逻辑来改进测量方法。

由于满阱电荷、读出噪声以及转移效率的计算需要根据电荷-电压转换因子进行测量和计算。故本文的测试方法依据电荷-DN 转换因子、满阱电荷、读出噪声、电荷转移效率顺序依次进行分析。

### 3 电荷-DN 转换因子与满阱电荷测试方法

原有 TDICCD 输出信号为模拟信号，因此电荷-电压转换因子是在满阱电荷一定的情况下衡量探测器感光能力的重要指标之一<sup>[8]</sup>。测试方法为拟合信号电压和感光电荷的曲线。而在 TDICMOS 中，探测器加入了 AD 芯片和相应数字接口电路，探测器输出为数字图像灰度值<sup>[9]</sup>。因此电荷-DN 转换因子成为了 TDICMOS 探测器衡量感光能力的重要指标，原有测试方法也随之改变。

#### 3.1 测试方法原理分析

器件像元中累积的电荷服从泊松分布，电子的涨落遵循统计规律。因此在均匀光照条件下，测试器件输出 DN 值的起伏与信号平均值的关系，可以确定信号电压与电荷包中电子数之间的比例系数。同时，通过信号值计算出光子噪声，反推出产生的光电子数，该方法进而也可测出满阱电荷数。

该方法的核心是拟合出基于图像 DN 值和噪声平方的曲线图。噪声平方和 DN 的斜率的关系：

$$K = \frac{DN_S - DN_R}{\sigma_S^2 - \sigma_R^2}, \quad (1)$$

其中： $K$  为 DN 值与噪声平方的斜率； $DN_S$  和  $DN_R$  为两种光强下的图像灰度值，包括了光生电荷部分和暗电荷部分。在同一积分时间和同一温度等工况下，不同光强产生的暗电荷水平基本一致。因此通过差值计算消除暗电荷。 $\sigma_S^2$  和  $\sigma_R^2$  为两种光强下图像均方根噪声的平方。而噪声的平方与电荷数呈线性关系，关系如下： $\sigma^2 = \sigma_e^2 + \sigma_m^2 + \sigma_{link}^2 + \sigma_d^2$ ， $N_e = \sigma_e^2$ 。其中  $\sigma$  为图像总噪声， $\sigma_m$  为读出噪声， $\sigma_{link}$  为系统链路噪声， $\sigma_e$  为光子噪声， $\sigma_d$  为暗电荷噪声， $N_e$  为光电子数量。而在实际成像中，光子噪声为主要噪声，以某 12 bit 成像系统为例，读出噪声和链路噪声水平基本在 2~4 个 DN 值的范围，而在光电转换产生 40 k 电子情况下，光子噪声约为 200 个电子，对应的灰度值为 40 个 DN。在光强较强时，光电子数量远大于暗电荷，光子噪声远大于暗电荷噪声，此时可忽略读出噪声和链路噪声所带来的影响，即  $\sigma^2 \approx \sigma_e^2 = N_e$ ，斜率  $K$  较为稳定。而

在光强较低时，上述可忽略项会对最终结果产生影响，因此斜率  $K$  将会有些许偏离。

#### 3.2 实验验证

实验室测试时，首先选择读出噪声和链路噪声对成像影响较少的条件，将光源调节到饱和信号对应光强的 5%，并每次测量递增 5%；在器件的光敏区中选择没有缺陷的一段像元，按照图 2 实验方法搭建测试系统。将器件的模拟增益和数字增益调为 0 dB 档位。

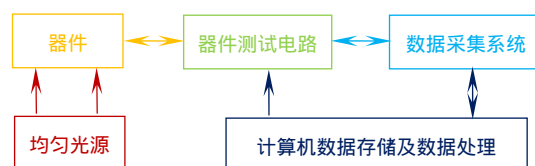


图 2 TDICMOS 测试系统

Fig. 2 Test system of TDICMOS sensor

对每一个曝光图像计算图像均值：

$$\bar{V} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n V_{ij}, \quad (2)$$

其中： $V_{ij}$  为第  $i$  行第  $j$  列的 DN 值， $M$  为图像列数， $N$  为行数。

同时，可由下式求得图像噪声  $\sigma^2$ ：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (V_{ij} - \bar{V})^2}, \quad (3)$$

以噪声平方  $\sigma^2$  为横坐标，图像均值  $\bar{V}$  为纵坐标绘制关系曲线；将所得到的点用最小二乘法拟合噪声平方与信号值的线性关系，得到一条拟合直线，测出该直线的斜率  $1/K$  值，结合式(1)，且默认光强较强时  $\sigma^2 \approx \sigma_e^2 = N_e$ ，可知  $1/K$  为器件在 0 dB 增益下的电荷-DN 转换因子  $S_{DN0}$ 。

进一步，通过饱和信号 DN 值，依据式(4)计算出器件满阱电荷  $N_{full}$ 。

$$DN_{max} = S_{DN} \times N_{full}, \quad (4)$$

式中： $N_{full}$  为满阱电荷  $e^-$ ； $S_{DN}$  为电荷-DN 转换因子  $DN/e^-$ ； $DN_{max}$  为饱和输出最大 DN 值。

实验室实际测试曲线如图 3 所示。由图中可知，在光强较低时，由于受到读出噪声和链路噪声以及暗噪声的影响，曲线斜率略有变化，而在图像 500 DN 值以上时，斜率  $K$  值较为稳定，该方式所测得电荷-DN 值为 10.1 e/DN，在光强达到图像饱和时，此时再增加光强图像 DN 值基本保持不变，由此处 DN 值可计算出满阱电荷为 40.12 ke。该现象与上述理论分析的现象较为一致。

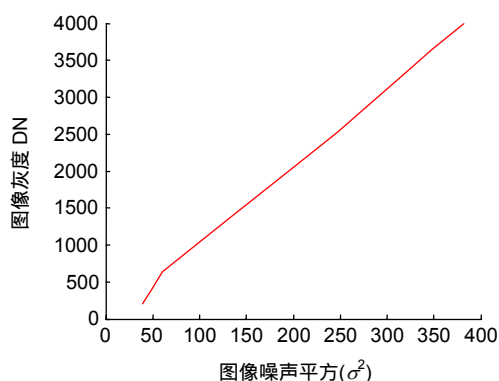


图3 不同亮度下噪声平方与图像DN值关系曲线  
Fig. 3 Curve about charge and DN in different light

### 4 读出噪声测试方法

对于视频图像而言，噪声主要分为两类，固定噪声和随着光强或时间变化的噪声。由于TDICMOS探测器采用数字方式读出，因此从光电子到数字信号之间依次包括了链路噪声、相关双采样噪声、量化噪声，上述的总和称之为固定噪声，而光子噪声、暗电荷产生的噪声为非固定噪声。固定噪声，也称探测器的底噪，即读出噪声，属于不随时间或光强影响的固定噪声。而本节对探测器噪声的测试重点围绕如何将读出噪声从非固定噪声中提取出来。

#### 4.1 测试方法原理分析

原有TDICCD探测器输出信号的噪声包括暗电荷噪声、光子噪声、内部电路噪声，在暗场下的噪声仅包括暗电荷噪声和放大器噪声<sup>[10]</sup>。对图像影响较大的量化噪声和链路噪声均体现在探测器的外部搭载电路上，放大器噪声和相关双采样噪声同样也属于搭载电路噪声。外部噪声可在空载下对特定电路进行针对性测试。光子噪声和暗电荷噪声随着积分时间和光照强度变化，因此TDICCD的读出噪声仅包括探测器内部电路噪声，数值一般很小<sup>[11-12]</sup>。TDICCD噪声模型如图4所示。

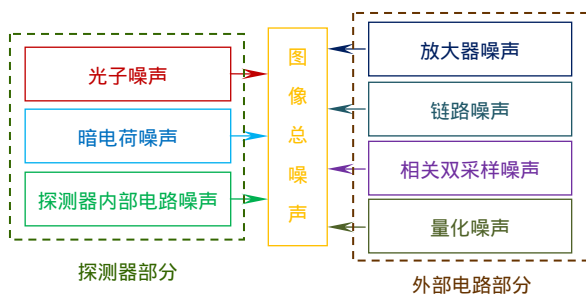


图4 TDICCD成像噪声分析  
Fig. 4 Noise analysis with TDICCD

基于电荷转移的TDICMOS探测器加入了运放、可编程增益放大器、ADC电路，同时引入了相关双采样电路、接口电路等，因此对于TDICMOS自身读出噪声一定程度决定了整个图像的噪声水平，是重要的噪声测试项。下面详细分析TDICMOS探测器噪声的组成和测试方法。

TDICMOS探测器输出的噪声包括了暗电荷噪声、光子噪声、内部链路噪声、相关双采样噪声、可编程增益放大器噪声、量化噪声等，噪声模型如图5所示。

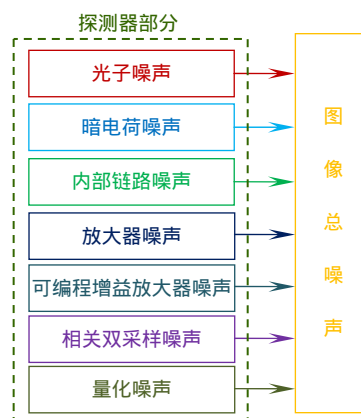


图5 TDICMOS成像噪声分析  
Fig. 5 Noise analysis with TDICMOS

随着积分时间变化，探测器的暗电荷噪声水平随之改变，光强的变化确定了光子噪声的水平，该两种噪声不属于探测器自身的读出噪声。而上图中可编程增益放大器、量化噪声、内部放大器噪声、内部链路噪声属于读出噪声，该噪声量级较TDICCD远远增加，且均不随成像条件的改变而变化。相关双采样的采样噪声为两次采样噪声的叠加，也不随积分时间变化。在对探测器读出噪声水平预估中，有必要将光子噪声和暗电荷噪声排除。因此本节方法的核心思想是通过增加积分时间实现对光子累积数量和暗电荷累积的控制，进而求出与光子入射和暗电荷无关的读出噪声值。

#### 4.2 实验验证

实验室测试时，首先将光源屏蔽，在暗场进行信号采集。同时加入温控设备使温度保持在该器件最佳工作点。积分时间从小到大的顺序每次递增5%。探测器的模拟增益和数字增益均调整为0dB。

将所存图像依据式(2)求出图像平均值，再根据式(3)求出图像噪声。将所得到的点用最小二乘法拟合积分时间与图像噪声平方的线性关系，得到一条拟合直线，该直线在图像灰度值对应轴上的截距即为探测器

读出噪声。测试曲线如图 6 所示。

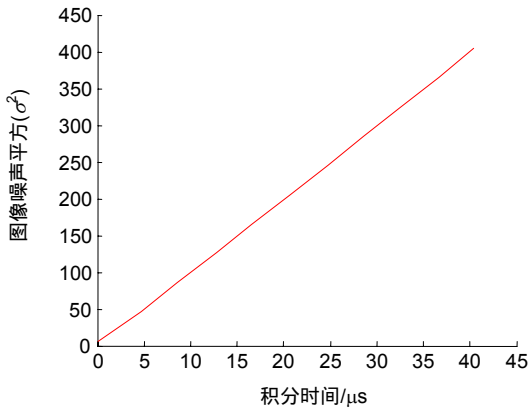


图 6 不同积分时间下噪声与图像 DN 值关系曲线  
Fig. 6 Curve about noise and DN in different integral time

图中，横坐标为积分时间，单位为 $\mu\text{s}$ ，纵坐标为图像噪声平方( $\sigma^2$ )。由图中可知，该拟合直线在图像噪声轴的截距为正值。说明在积分时间无限小的情况下，即暗场无光电子转移和暗电荷累加情况下，读出噪声为 ADC 量化噪声、双采样噪声、运放噪声的总和为 5.64，实验室验证曲线状态符合上述理论推导。

## 5 转移效率测试方法

基于电荷转移的 TDI 探测器的电荷转移效率一直以来是衡量探测器指标的重要参数。原有 TDICCD 以电压为观测信号，可以较方便地通过电荷与电压的转换关系来衡量转移效率<sup>[13]</sup>。TDICMOS 输出为数字信号，故只能通过 DN 值与电压对应关系间接测量。同时 TDICMOS 取消水平转移区的电荷转移，故转移效率只能通过垂直区隔离行来实现测试。而隔离行的行数有限，需通过更改时序逻辑来改进测量方法。

### 5.1 测试方法原理分析

通过对 TDI 探测器结构进行分析，可知 TDI 探测器包括了感光区和隔离区。感光区的电荷会随着曝光时间逐渐积攒，电荷转移的多少不能得到有效的测量。因此转移效率的测试理论上需在隔离区完成，即探测器的隔离行。在隔离行区域，电荷累积仅仅在两个方式下完成。本文在转移效率的测试中主要剖析和分离出这两种电荷累积，进而计算出实际转移效率。

第一种为转移电荷与未转移电荷在同一行处的累加，该方式在每一次累加时均会发生，体现在图像上每一行的 DN 值均包括了未转移电荷累加，由于转移电荷在量级上比未转移电荷大很多，因此每一行未转

移电荷可近似相等，数学上可通过差值的方式即可去除，即任意两次图像均值相减均可去除该未转移电荷。

第二种为暗电荷的累积。暗电荷累积是随着时间逐渐增长的线性累加方式，仅与温度和积分时间有关，与势阱电荷的多少无关。因此在每一个积分时间下，产生的暗电荷累积是相同的，也可通过任意两次图像均值相减近似去除。

转移效率测试具体原理为，通过时序控制将探测器隔离行的电荷反向推多行，从而达到将第一行电荷衰减的目的。电荷包经过每一次转移后，最后一行的电荷均会减小，但同时也会参杂暗电荷，因此在测试中将暗电荷排除。

综上所述，电荷包反向推多行后再将延迟电荷和电荷包正向推出成像，如此可得到经过每一级转移的遗留电荷所成的像，最终可通过公式推出转移效率。

### 5.2 实验验证

实验室测试时，首先调节光源到器件饱和值的 50%。将模拟增益和数字增益调节为 0 dB。

加电使器件正常成像，成像过程中触发特定测试时序，此时器件最后一行像元的电荷大致为满阱电荷的一半。

测试时序先将垂直转移信号反向，最后一行电荷反推 1 行。反推后的最后一行电荷值剩余数：

$$N_1 = N_0 \times (1 - \xi) + N_d \quad (5)$$

其中： $\xi$  为转移效率， $N_0$  为反推前最后一行电荷数，该值由触发时序前的平均 DN 值以及电荷-DN 值转换因子决定， $N_d$  为一个积分时间内的暗电荷累积。以此方式连续反推  $n$  行。反推  $n$  行后通过程序恢复原有垂直转移时序。而恢复正常时序后的第一行图像 DN 值为转移  $n$  次的剩余电荷  $N_n = N_0 \times (1 - \xi)^n + N_d(1 - \xi)^{n-1} + \dots + N_d$ 。由于受到暗电平  $N_d$  的影响，在条件允许的情况下，选取的  $n$  尽量大，使得计算精确度更高。

转移效率测试过程的时序如图 7 所示。图中垂直转移相位数量由探测器决定。采用 4 相垂直转移实现像元列向电荷从正向移动到反向移动再到正向移动读出，其中  $n$  最大为隔离行数量，得到一行逆推 4 行的 DN 值。

最后，通过实测的成像 DN 值，根据上述转换关系，求出  $\xi$ 。实验验证时，将  $n$  依次取 4、3、2、1，任意两组可求得  $\xi$ ，多组计算后取平均值得到最终转移效率。

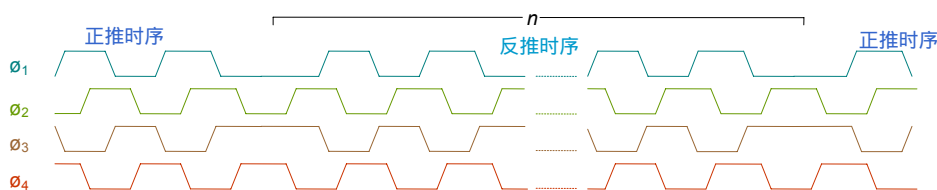


图 7 转移效率测试时序

Fig. 7 Sequence of transfer efficiency test

由上表可知，逆推  $n$  行后电荷值平均 DN 在 7.2。由于转移效率数量级在 0.999 以上，根据上述理论，此时的 DN 值近似为转移  $n$  行后剩余的电荷和一个积分时间内的暗电平之和。根据上述公式通过  $n$  取不同值建立多个方程组，可计算出转移效率均值  $\bar{\xi}=0.9998$ ，该值与探测器理论值较为接近。故上述推导和实验验证为有效。

## 6 结 论

本文阐述了 TDICMOS 与 TDICCD 在测试方式上的不同之处，通过理论分析和推导给出了 TDICMOS 在电荷-DN 转换因子、满阱电荷、读出噪声和转移效率方面新的测试方法。同时，搭建工程试验环境进一步对上述测试方法进行实现，实验结果论证了 TDICMOS 探测器新的测试方法的正确性和工程可实现性。新的测试方法为新型 TDICMOS 探测器参数指标的测试和验证提供了理论支撑，为后续 TDICMOS 工程应用及成像评价提供了重要依据。

## 参考文献

[1] Wang D J, Shen H H, Song Y L, et al. Modeling and experimental investigation on the PRNU noise of TDI CCD[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, 41(2): 232–235.  
王德江, 沈宏海, 宋玉龙, 等. TDI CCD 光子响应非均匀性噪声分析与测量[J]. *光子学报*, 2012, 41(2): 232–235.

[2] Chen L F, Zhang X S, Lin J M, et al. Signal-to-noise ratio evaluation of a CCD camera[J]. *Optics & Laser Technology*, 2009, 41(11): 574–579.

[3] De Moor P, Robbelein J, Haspeslagh L, et al. Enhanced time delay integration imaging using embedded CCD in CMOS technology[C]//*Proceedings of 2014 IEEE International Electron Devices Meeting*, San Francisco, CA, USA, 2014: 4.6.1–4.6.4.

[4] Li J. The design and implementation of test circuit about multi-spectral time delay integration charge coupled device[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of

China, 2015: 49–51.  
李金. 多光谱 TDICCD 测试电路设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2015: 49–51.

[5] Li Y B. Infrared focal plane detection technology based on TDI-CCD[J]. *Infrared*, 2006, 27(9): 29–33.  
李亚斌. 基于 TDI-CCD 的红外焦平面探测技术[J]. *红外*, 2006, 27(9): 29–33.

[6] Ercan A, Haspeslagh L, De Munck K, et al. Prototype TDI sensors in embedded CCD in CMOS technology[C]//*Proceedings of the International Image Sensor Workshop*, Location, 2013.

[7] Xu C. Design and research on active pixels of TDI CMOS image sensor[D]. Tianjin: Tianjin University, 2013: 7–18.  
徐超. 面向 TDI 型 CMOS 图像传感器的有源像素设计与研究[D]. 天津: 天津大学, 2013: 7–18.

[8] Xu X N. Research and design of the high accuracy analog accumulator for TDI image sensors[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012: 73.  
徐新楠. 高精度 TDI CMOS 图像传感器模拟域累加器研究与设计[D]. 天津: 天津大学, 2012: 73.

[9] Wang D J, Dong B, Li W M, et al. Influence of TDI CCD charge transfer on imaging quality in remote sensing system[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2011, 19(10): 2500–2506.  
王德江, 董斌, 李文明, 等. TDI CCD 电荷转移对遥感相机成像质量的影响[J]. *光学精密工程*, 2011, 19(10): 2500–2506.

[10] Irie K, McKinnon A E, Unsworth K, et al. A technique for evaluation of CCD video-camera noise[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2008, 18(2): 280–284.

[11] Liu Z X, Wan Z, Li X S, et al. Influence factors on SNR of TDICCD space camera[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2015, 23(7): 1829–1837.  
刘则洵, 万志, 李宪圣, 等. 时间延迟积分 CCD 空间相机信噪比的影响因素[J]. *光学精密工程*, 2015, 23(7): 1829–1837.

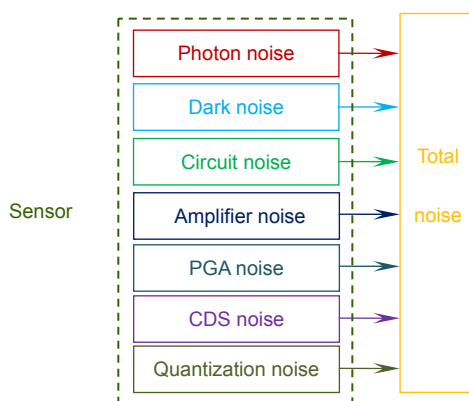
[12] Wang D J, Kuang H P. Experimental study of the effects on signal noise ratio and dynamic range caused by analog gain for CCD[J]. *Acta Physica Sinica*, 2011, 60(7): 637–642.  
王德江, 匡海鹏. 模拟增益对电荷耦合器件信噪比与动态范围影响的实验研究[J]. *物理学报*, 2011, 60(7): 637–642.

[13] Ding K. Photo-generated charge transfer efficiency of CMOS image sensor simulation and research[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2015: 8–12.  
丁坤. CMOS 图像传感器光生电荷转移效率模拟研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2015: 8–12.

# Research on the test methods of charge accumulating TDICMOS detector

Liang Nan\*, Zhang Feiran, Cai Shuai, Li Bo, Li Tao

Beijing Institute of Space Mechanics and Electricity, Beijing 100094, China



Noise analysis with TDICMOS

**Overview:** With the increasing demand for high resolution, high-speed transmission and miniaturization in the field of space remote sensing, the original TDICCD detector has been unable to meet the demand on circuit volume and power consumption. At the same time, with the improvement of CMOS technology, TDICMOS detectors based on charge accumulation came into being in recent years. The detector succeeds in inheriting the charge transfer principle of TDICCD detector in charge transfer mode. Therefore, the TDICMOS detector with low power consumption, high integration and charge accumulation can solve these problems.

As detector is the core component of video circuit, the performance parameters of TDICMOS detector itself have always been an important part of video circuit. Even by reducing the quality of remote sensing satellite image, it can directly affect image interpretation. Therefore, this paper focuses on the test methods of TDICMOS detector parameters. Because AD circuit, sequential circuit and interface circuit are integrated in the detector, the detector is essentially different from the traditional TDICCD and CMOS detector with digital accumulating, no matter in process or in structure. Therefore, many original methods for testing the performance parameters of the detector cannot be applied to the TDICMOS detector based on charge accumulating.

Firstly, this paper compares the TDICMOS architecture with TDICCD. Then, this paper concludes that the test methods of charge-DN factor and full-well charges, charge transfer efficiency and readout noise need to be redesigned. After that, the key parameter of charge-DN factor is effectively extracted by fitting curve about the graph based on image DN value and noise square, and then the full-well charges can be obtained. At the same time, this paper analyzes the noise model of TDICMOS. By the method of controlling the integration time and exposure, the linear relationship curve between the integration time and image noise is drawn, and the readout noise can be obtained which is independent of photon incidence and dark charge. Subsequently, a reverse driving sequence is proposed to realize the reverse movement of charges in the isolation line, so that the charge transfer efficiency can be obtained effectively. This paper also builds a TDICMOS test system for testing the three different detector parameters. The experimental results are also given in this paper and prove the correctness of the new test methods and achievable in engineering. The methods described in this paper provide an important basis for the engineering application of TDICMOS test in the future.

**Citation:** Liang N, Zhang F R, Cai S, *et al.* Research on the test methods of charge accumulating TDICMOS detector[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, **46**(8): 180504

Supported by the National Key Research and Development Program of China (2016YFB0500802)

\* E-mail: ln19@163.com