

文章编号:1001-5078(2007)07-0598-03

红外焦平面读出电路技术及发展趋势

刘莉萍

(总装备部科技信息研究中心九室,北京 100073)

摘要:从红外焦平面技术的发展背景出发,论述了读出电路在红外焦平面信号传输中的作用并介绍其基本框图,讨论了 CCD 读出电路和 CMOS 读出电路各自的特点,并分析了国内外红外焦平面读出电路的现状,最后提出了红外焦平面阵列读出电路今后的研究方向。

关键词:红外焦平面;读出电路;发展现状

中图分类号:TN215 **文献标识码:**A

Status and Trend of the Readout Circuit Technology for IRFPA

LIU Li-ping

(China Defense Science and Technology Information, Beijing 100073, China)

Abstract: Infrared Focal Plane Array (IRFPA) is a key component of the modern infrared imaging system, which consists of readout circuit. The background of IRFPA technology is presented at the beginning of this paper. Then the function of the readout circuit in the signal transmission and the block diagram are described. The characteristics of the CCD readout circuit and CMOS readout circuits are also discussed in this paper. After the discussion of the domestic and overseas status of the readout circuit, the development trend of readout circuit for IRFPA is presented.

Key words: IRFPA; readout circuit; development status

1 引言

红外焦平面阵列(IRFPA)是红外成像技术中获取红外图像信号的核心光电器件,是一种高性能的红外固体图像传感器。红外成像技术在军事、空间技术、医学以及国民经济相关领域正得到日益广泛的应用^[1-2]。

红外焦平面阵列主要由红外探测器阵列和读出电路(ROIC)阵列组成。其工作性能既与探测器性能如量子效率、光谱响应、噪声谱、均匀性等有关,还与信号的输出性能有关,如电路输入级的电荷存储、均匀性、线性度、噪声谱、注入效率,输出电路中的电荷转移效率、电荷处理能力、串扰等。对于许多成熟的红外焦平面探测器技术来说,现在限制其性能的不是探测器本身,而是读出电路部分。

2 红外焦平面读出电路

ROIC 是 IRFPA 的关键技术之一, ROIC 的性能直接影响 IRFPA 的质量。IRFPA 对其 ROIC 要求比

较苛刻:电荷存储容量要大、噪声低、动态范围大、功耗低、对红外探测器偏压控制良好,而且阵列尺寸和中心距小。随着 IRFPA 规模成倍地增加,像元尺寸显著减小,限制了 ROIC 输入级的复杂程度和积分电容的容量。目前,读出电路已成为 IRFPA 进一步发展的瓶颈,当然也是我国的 IRFPA 快速发展的关键技术之一^[3-5]。国内外不少专家都在致力于研究新技术、新电路以提高 ROIC 的性能。但以前的方案有的电路太复杂,不适于大规模 IRFPA 应用;有的对阈值电压波动太敏感,读出性能差;有的没有良好的背景电流抑制功能,动态范围小,不适于高背景条件(例如:空对地,地对地)条件下的应用。由于 IRFPA 在军事上有着重要用途,西方发达国家对我国禁运,所以,研究和开发我国自己的新结构高性能

作者简介:刘莉萍(1961-),女,博士,多年来一直从事军用光电子器件科研和管理工作。

收稿日期:2007-06-20

CMOS 读出电路非常重要。掌握了此技术,可使我国 IRFPA 研制进程加快,缩短与国际先进水平的差距,从而在军事和国民经济各领域发挥良好的经济效益和社会效益。

图 1 为典型的读出电路结构框图,它由像元电路、水平和垂直移位寄存器、采/保、列放大和公共放大输出级等几部分组成。就其本质而言,IRFPA 是一个带前置信号处理的传感器,读出电路就是前置信号处理电路,其基本功能就是对光生电荷进行积分,放大、采样保持和串/并转换等。

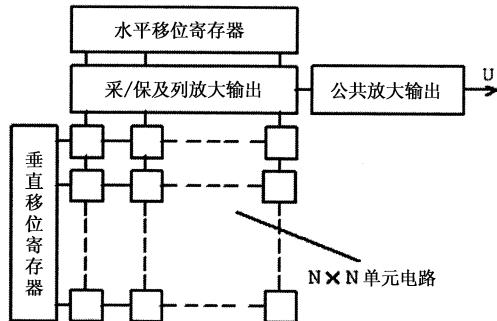


图 1 读出电路基本框图

读出电路有很多不同结构,典型的有:自积分型读出电路、源随器型读出电路、直接注入读出电路、反馈增强直接注入读出电路、电流镜栅调制读出电路、电阻负载栅调制读出电路、电容反馈跨阻抗放大器、电阻反馈跨阻放大器等,读出电路视不同的探测器、不同的应用限制和不同的应用要求,应选用不同的电路结构。

3 CCD 读出电路与 CMOS 读出电路

3.1 CCD 读出电路的特点

CCD(Charged Coupled Device)于 1969 年在贝尔实验室研制成功,CCD 可制作成可见光成像器等,但在 IRFPA 中用作信号读出电路。CCD 读出电路的主要特点是:

(1)低噪声(Low Noise):CCD 具有很低的读出噪声,信噪比(SNR)比较高;

(2)制造工艺特殊,生产成本较高;

(3)抗辐射性能差,很多辐射较强的情况下不能使用,这限制了 CCD 的应用范围。

3.2 CMOS 读出电路的特点

与 CCD 读出电路相比,CMOS 读出电路主要有以下特点:

(1)可以系统集成,成本低。CMOS 读出电路的最大优势是它具有高度系统集成的条件。理论上,所有图像传感器所需的功能,例如垂直和水平移位寄存器,时序控制,CDS,ADC,彩色处理和数据压缩电路,标准 TV 和计算机 I/O 接口等,都可集成在一

颗芯片上,甚至于包括后端芯片、快闪存储器等也可集成为单芯片。而且 CMOS 是标准工艺制造,可利用现有的半导体设备,不需额外的投资设备,所以 CMOS 读出电路的成本比 CCD 要低得多。

(2)抗辐射能力强,适用于辐射较强的环境。

(3)功耗低。CMOS 读出电路只需单一电压供电,功耗很小,仅相当于 CCD 功耗的 1/8 以下,有利于延长便携式、机载或星载电子设备的使用时间。

(4)读出方式灵活。CCD 采用串行连续扫描的工作方式,必须一次性读出整行或整列的像素值,CMOS 读出电路可以通过编码方式对选定的像素进行读出和信号放大。

4 红外焦平面读出电路的发展现状与趋势

4.1 国内外发展现状

红外成像技术在军事、空间技术、医学以及国民经济相关领域正得到日益广泛的应用。IRFPA 是红外成像技术中获取红外图像信号的核心光电器件。InSb IRFPA 技术多年来一直深受重视,美、英、日等国竞相发展此技术。近年来,其规模已从 640×480 扩展到 1024×1024 像素,所有这些 IRFPA 均是带硅读出电路的混合式阵列。国外不少公司一直从事读出电路的研究与设计,如美国的 Indigo Systems 公司的 ROIC 系列、EG&G 公司的 MB 系列等。Indigo Systems 公司的线阵系列产品有 $128 \times 1, 256 \times 1$ 和 512×1 等品种,单元面积为 $100\mu\text{m}^2, 50\mu\text{m}^2$ 和 $25\mu\text{m}^2$ 不等,主要特征指标为:单元频率为 $3.85\text{MHz}(77\text{K})$,芯片功耗小于 $110\text{mW}(512 \times 1)$;面阵系列产品有 $128 \times 128, 320 \times 256, 640 \times 512$ 等,单元面积有 $20\mu\text{m}^2, 25\mu\text{m}^2, 30\mu\text{m}^2, 38\mu\text{m}^2$ 等不同规格。主要特征指标为:单元频率在 10MHz ,芯片功耗在一个读出端口时小于 $25\text{mW}(128 \times 128)$ 和 $90\text{mW}(640 \times 512)$,电路提供一路、两路和四路等输出选择。EG&G 公司有 $64 \times 1, 128 \times 1$ 和 256×1 的线阵系列产品,其电路特点是采用了双路输出和双时钟采样,有效地提高了频率和降低功耗。从国外的产品系列的介绍中看出,他们的产品有非常详细的低温和常温的数据,相信他们有一套比较完整的低温电路的模型库。

国内有很多的单位曾经或正在进行红外焦平面读出电路的相关研究和设计,但到目前为止,仅限于为国内自研红外焦平面探测器阵列配套,受其发展水平的限制,只研发了一些线列产品和不大于 320×256 的面阵产品。另外,国内工艺线尚无完整的低温电路模型库,这也是造成目前国内读出电路发展缓慢的主要原因。国内的读出电路技术与国外相

比,仍有不小的差距。而红外图像传感器成像系统一直是军事装备中导弹制导的关键部分,它属于敏感军事用途产品,价格昂贵,而且无法从国外进口此类产品,但此类产品又恰恰是红外探测器中的关键部分,所以我们必须自主研制生产。目前,相关技术人员越来越意识到读出电路研发的重要性,正在加紧研发的步伐,争取早日赶上国外先进技术。

4.2 未来发展趋势

未来,红外焦平面成像的性能将随着新型探测器和信号处理新技术的出现而增强。而且,焦平面的军用和商用的双重使用的概念将导致成本驱动和面向实用的方向发展。未来读出电路的发展主要表现在以下几个方面:

(1)高度集成

将偏置电路和驱动信号源电路集成到读出电路阵列中,进一步提高抗电磁干扰的能力。也有人提出通过光纤接口把视频信号从真空杜瓦中引出的方案。根据我国的集成电路加工工艺水平,目前将信号源部分集成到芯片相对容易一些。读出电路对偏置电压的准确性有较高的要求,这需要稳定的加工工艺,否则管芯的成品率将极低,其性能也难以保证。

(2)片上 A/D 转换

片上 A/D 转换是最近应用在 IRFPA 上的一种新型技术,IRFPA 芯片的数字输出信号能避免制冷系统产生的噪声;而且,系统设计能被简化并使光纤和芯片数减少。然而,增加的功耗和面积在一些高性能的电路中是不可接受的。一些新的片上 A/D 转换结构已被提出,如采用半导体平行结构。

(3)功能丰富

在大型红外焦平面阵列(如 1024×1024)中任意开窗口,以便仔细观察感兴趣的局部信息,也是人们想实现的功能。这种焦平面阵列可以在保持宽视场的情况下,高帧速率输出窄视场图像信息,以提高系统的灵巧性。实现此功能并不难,只需将顺序扫描的移位寄存器改为随机地址发生器即可,正如对计算机内存寻址的随机地址发生器一样。增加功耗选择、增益选择,读出顺序可选等功能,根据不同的场合进行合适的功能选择,以达到最佳的成像效果。

(4)多色工作

随着红外焦平面阵列制作技术的迅速进展,由于许多实际应用的需要,极大地推动了双色或多色红外焦平面阵列技术的发展。如美国加州理工学院喷气式推进实验室空间微电子中心、雷声先进红外中心和空军研究实验室最近研制出的 $8 \sim 9 \mu\text{m}$ 和 $14 \sim 15 \mu\text{m}$ 的双色 640×486 像素 GaAs/AlGaAs 量子阱

红外焦平面阵列及其摄像机,雷声、美国陆军研究 NASA Goddard 航天飞行中心和洛克威尔科学中心共同研制的 $11.2 \mu\text{m}$ 和 $16.2 \mu\text{m}$ 截止波长的 256×256 像素 GaAs/GaAlAs 量子阱红外焦平面阵列,这些机构都是在加紧发展这种双色和多色焦平面阵列,都是在原来单色焦平面阵列取得极大进展的基础上迅速地研制出了这种双色阵列。但这种技术目前的工作温度尚不到 77K ,同时探测器像元要求两种工作电压,长波敏感区需极高的偏压($>8\text{V}$)实现长波红外探测,虽然电压可调,但不能同时提供两个波段的数据。在以后的发展中,多色工作的焦平面读出电路仍然有很广阔的发展前景。

(5)光连接

来自读出芯片的传输线电容和噪声耦合效应等严重地降低了系统的性能,但这些不良效应能通过光纤连接技术得到改善。一个焦平面上的模拟光调制器被设计为通过光纤传输信号到杜瓦瓶之外的激光二极管。在这种配置下,所有传统不良效应能够避免。光信号在传送到光连接之前能数字化,这样就能以功耗为代价进一步改善电路的性能。

(6)智能焦平面阵列

用在前端信号处理的片上 FPA 信号处理技术能很大程度上改善读出性能。一些智能功能诸如坏像素替换、像素均衡化和神经 FPA 概念已被引入 IRFPA 系统。坏像素替换和像素均衡化技术能改善产品良率和 S/N;神经 FPA 概念主要用于探测和提取移动片上图像。最近,用多发射极 BJT 构成的新型传感结构已提出为实现 CMOS 硅视网膜系统。这种新的基于硅视网膜结构能用简单而便携的探测器阵列执行一些诸如边缘探测、模式识别和移动探测等智能功能。智能化的发展可以满足 IR 图像在系统性能、生产、可获得性和特殊需求等应用的需要。

参考文献:

- [1] 孙志君. 红外焦平面阵列技术的发展现状[J]. 半导体光电, 2000, 21(增刊): 29 - 32.
- [2] 王利平, 孙韶媛, 王庆宝, 等. 红外焦平面探测器的读出电路[J]. 光学技术, 2000, 2: 123 - 125.
- [3] Yuan Xianghui, Lu Guolin, Huang Youshu. CMOS readout integrated circuit for IRFPA[J]. Semiconductor Optoelectronics, 1999, 20(2): 123 - 126. (in Chinese)
- [4] E R Fossum, B Pain. Infrared readout electronics for space science sensors: state of the art and future direction [C]// Proc. SPIE, 1993, 2020: 262 - 285.
- [5] C Hsieh, C Wu, T Sun. A new cryogenic CMOS readout structure for infrared focal plane array[J]. IEEE J. Solid-State Circuits, 1997, 32: 1192 - 1199.