

文章编号: 1001 - 9014 (2010) 02 - 0091 - 03

一种线阵红外焦平面的图像处理方法

李言谨, 危峻, 胥学荣

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要: 根据线阵碲镉汞焦平面中少数载流子的横向收集物理特性, 提出了一种改善红外焦平面图像质量的处理方法, 并应用于某试验卫星的遥感图像上. 这些遥感图像是采用上海技术物理研究所研制的 256 元线列焦平面组件获得的. 结果表明, 经处理后图像的分辨率和对比度均有显著提高.

关键词: 图像处理; 红外焦平面; 碲镉汞

中图分类号: 0472 **文献标识码:** A

MAGE PROCESSING METHOD OF LINEAR INFRARED FOCAL PLANE ARRAY

LI Yan-Jin, WEI Jun, XU Xue-Rong

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: According to the lateral collection characteristics of minority carriers in linear HgCdTe infrared focal plane array (RFPA), an image processing method for improving the quality of images was proposed. This method was applied to the remote sensing images, which were obtained from a satellite loaded with 256-element RFPA s developed by Shanghai Institute of Technical Physics. The results show that both the resolution and contrast of the images are improved obviously with the proposed method.

Key words: image processing; infrared focal plane array (RFPA); HgCdTe

引言

线阵红外焦平面器件在空间遥感领域正得到广泛应用^[1-3], 已经成为卫星有效载荷升级换代的关键敏感器件, 显示出越来越重要的作用. 国外焦平面器件研发主要机构都在为一些空间对地观察系统研制线阵红外焦平面器件, 长线阵的红外焦平面器件已经是焦平面技术的重要发展方向之一. 如法国 Sofradir 公司的 1500 元线阵碲镉汞中长波焦平面器件, 采用交错排列的光敏元结构; 美国 Lockheed Martin 为大气红外探测器研制了十个波段的碲镉汞 260 ~ 400 元线阵焦平面器件; 美国 Raytheon 公司为地球观察卫星研制了多波段碲镉汞 1280 元焦平面器件. 在国内, 上海技术物理研究所为遥感卫星研制了中短波的碲镉汞 256 元线阵焦平面器件^[4], 在轨运行近三年, 获得了大量清晰的地面遥感图像.

对于以半导体 p-n 结为光敏元的红外探测器,

过剩载流子具有扩散效应^[5,6], p-n 结存在着横向收集效应, 横向收集的范围与过剩载流子的扩散长度相当. 对于碲镉汞来说, 扩散长度约为十几至数十微米 (依不同的组分和温度而不同), 实际上增加了光敏元的有效响应面积, 在成像系统中会引起相邻像元信号的串扰, 从而影响图像的清晰程度. 如果横向收集效应是稳定的, 相邻像元响应存在着固定的关系, 可以通过数学办法进行图像处理来改善图像质量. 本文提出了一种线阵焦平面器件图像处理方法, 并对我国遥感卫星获得的图像进行了处理, 在提高图像的清晰度和对比度方面, 取得了明显的效果.

1 横向收集效应

过剩载流子的扩散运动是半导体的固有特性, 如图 1 所示, 正对 p-n 结的入射红外辐射在体内产生过剩载流子电子空穴对, 电子空穴对扩散到结区, 电子空穴对被结区的强电场分开, 形成光电流. 在

收稿日期: 2009 - 03 - 18, 修回日期: 2009 - 10 - 09

基金项目: 创新基金资助 (CXJJ-239)

作者简介: 李言谨 (1960-), 男, 江苏东台人, 研究员, 主要从事航天应用红外探测组件研究, yanjinli@mail.sip.ac.cn

Received date: 2009 - 03 - 18, revised date: 2009 - 10 - 09

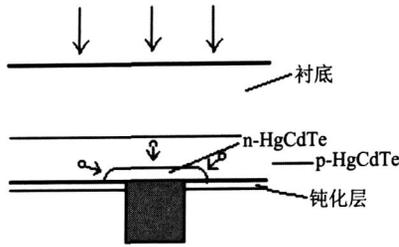


图1 p-n 结横向收集示意图
Fig.1 Lateral collection sketch map of p-n diode

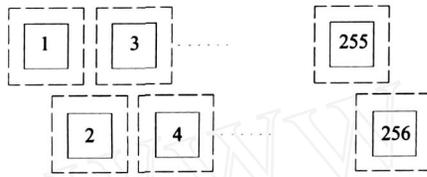


图2 交错排列的焦平面线列阵
Fig.2 Cross arranged linear focal plane array

p-n结横向距离结区约 1 个扩散长度以内的电子空穴对同样也能够到达结区,对光电流也有贡献,这样 p-n 结的有效响应区域扩大了,也就是有效光敏元面积增加,增加的范围在 1 个扩散长度以内.据有关文献报道^[5,6],碲镉汞过剩载流子的扩散长度约十几至数十微米,和光敏元尺度相当,对图像的影响不可忽略.

对于交错排列的 256 线列焦平面列阵,如图 2 所示,光敏元中心距为 46μm,设计的 p-n 结区域为实线所示,对于偶像元或奇像元,之间均有一个像元的间隔,相邻结之间并不交叠,由于存在横向收集效应,光敏元的有效响应区域就扩大了,如虚线所示.相邻像元之间有部分交叠,实验中我们注意到,当用一束宽度小于 10μm 的狭缝光束垂直入射到偶像元或奇像元之间时,两边的像元有很明显的响应.光敏元中心距越小,交叠越严重,对成像系统来说,造成 MTF 下降,就会影响成像的清晰度.

2 图像处理过程

由于横向收集效应的存在,对于采用图 2 所示的线列焦平面器件得到的图像像素将包含其相邻像素的信息,见图 3

设像素 (i, j) 原来应有的灰度值为 f(i, j), 经过探测器后,实际得到的灰度值 g(i, j) 为 f(i, j) 和周围 8 个相邻像素的部分之和,即

$$g(i, j) = f(i, j) + a[f(i, j-1) + f(i, j+1) + f(i-1, j) + f(i+1, j)]$$

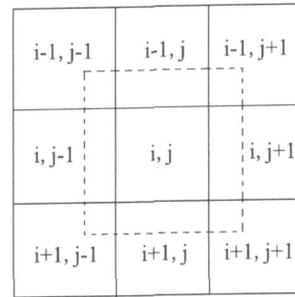
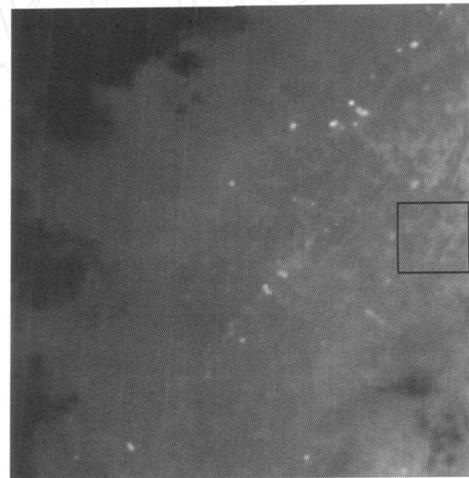
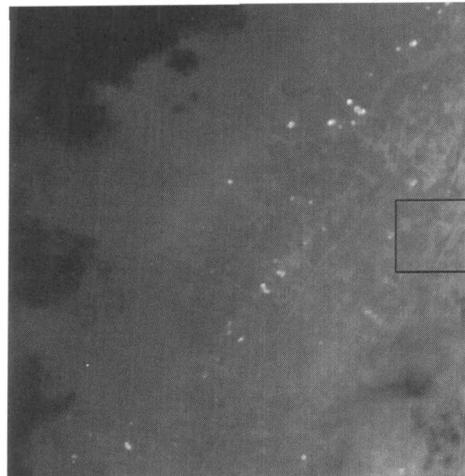


图3 相邻像素间的关系
Fig.3 Relationship of neighbor pixels



(a)



(b)

图4 图像比较 (a) 处理前 (b) 处理后
Fig.4 Image comparison (a) before processing (b) after processing

$$+ a^2 [f(i-1, j-1) + f(i-1, j+1) + f(i+1, j-1) + f(i+1, j+1)]$$

$$i = 1, 2, \dots, 256$$

$$j = 1, 2, \dots, 256$$

式中第一个方括号 [] 内为正相邻像素,第二个方括

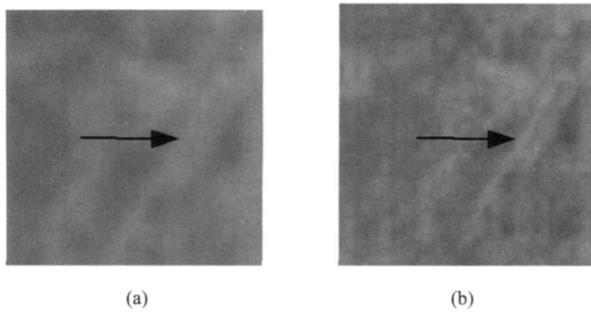


图5 图4中局部区域的比较 (a)处理前 (b)处理后
Fig 5 Image comparison of local area in Fig 4 (a) before processing (b) after processing

号 $[i, j]$ 内为对角相邻像素. 上式假设横向收集效应是对称的, 且与收集面积成正比关系, 比例系数为 a , 则 a 为正相邻像素收集信号的比例值, a^2 为对角相邻像素收集信号的比例值. 上式实际是由像素个方程组成的非齐次线性代数方程组, 如果图像像素为 256×256 , 则是65536个方程组成的线性方程组. 由于每个像素只和相邻像素有关, 所以方程组的系数矩阵是稀疏的, 可以通过稀疏矩阵的数值计算办法求解. 从上式可以求出 $f(i, j)$, 即可得到该像素的原始灰度值.

采用该方法对中波256线列焦平面的推扫图像进行了处理, 为了便于计算, 截取了 256×256 像素. 图4给出了其中一幅图像处理前后的图像对比, 可以看到处理后图像更加清晰, 对比度也有所增强.

将图4方框所在的局部区域截取出来作进一步的比较, 见图5. 注意到箭头所指的区域, 在处理前, 两道斜线看得很清楚, 而在处理前几乎分辨不出. 图6给出了该区域一条横线上的灰度等级分布, 处理后有明显的2个峰, 而在处理前则不明显. 另外还可以看出, 处理后灰度等级也有所拉大, 表明对比度增强.

3 结论

根据光敏元横向收集效应, 得到了线列光敏元相邻像素间的关系, 提出了一种图像处理方法, 明显地提高了图像的清晰度和对比度, 为提高图像的分辨率提供了一种解决方案, 并应用于试验卫星图像

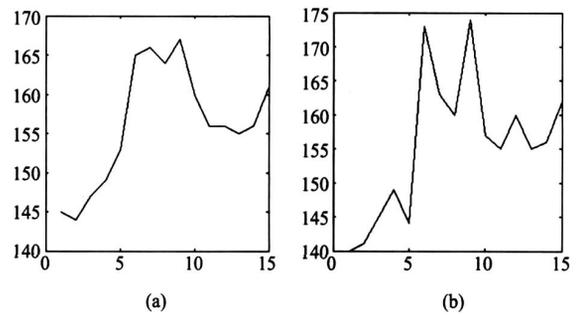


图6 图5中箭头区域的灰度等级分布 (a)处理前 (b)处理后
Fig 6 Gray value distribution across the area indicated by the arrows in Fig 5 (a) before processing (b) after processing

的处理, 取得了明显的效果. 该方法的意义还在于, 如果把光敏元列阵图形设计成图2虚线所示较大的尺寸, 通过这种办法可以得到实线所示较小光敏元的图像分辨率, 在光敏元尺度被工艺等因素限制时, 就可以采用这种方法突破限制, 进一步提高图像的分辨率.

REFERENCES

- [1] Chamonal J P, Mottin E, Audebert P, *et al* 1500-element linear MW IR and LW IR HgCdTe arrays for high resolution imaging[J]. *SPIE*, 1997, **3221**: 384—394.
- [2] Rutter J H, Jungkman D, Stobie J A, *et al* A multispectral hybrid HgCdTe FPA-Dewar assembly for remote sensing in the atmospheric infrared sounder (AIRS) instrument[J]. *SPIE*, 1996, **2817**: 200—213.
- [3] Dahlin M J, O'Rourke E Advanced focal plane array systems for next-generation scanning remote sensing instruments[J]. *SPIE*, 2003, **4820**: 406—417.
- [4] LI Yan-Jin, HE Li, YANG Jian-Rong, *et al* Study on thermal mismatch stress of HgCdTe infrared focal plane array [J]. *J. Infrared Millim. Wave* (李言谨, 何力, 杨建荣, 等. 碲镉汞红外焦平面器件热失配应力研究. *红外与毫米波学报*), 2008, **27** (6): 409—412.
- [5] Redfern D A, Thomas J A, Musca, *et al* Diffusion length measurements in p-HgCdTe using laser beam induced current[J]. *Journal of Electronic Materials*, June 2001, **30** (6): 696—703.
- [6] McLevige W V, Williams GM, DeWames R E, *et al* Variable-area diode data analysis of surface and bulk effects in MW IR HgCdTe/CdTe/sapphire photodetectors [J]. *Semicond Sci Technol* 1993, **8** (6S): 946—952.