

用电子俘获材料实现实时图像微分*

阮 昊 陈述春 戴凤妹 干福熹

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 根据数学形态学的基本思想, 采用离焦的卷积光学系统, 利用电子俘获材料的饱和特性和图像减法功能实现图像微分。这一种方案具有清晰度高、实时性、全并行性的优点, 取阈和减法运算都用一片电子俘获薄膜来实现。

关键词 电子俘获材料, 实时图像微分, 数学形态学。

1 引 言

光学图像微分是一种二维光学运算, 通过这种运算可以使图像的边缘和细节增强, 从而达到突出信息的目的, 所以在光学信息处理中常常作为一种预处理得到广泛的应用。在光电混合系统中, 微分预处理可以进行数据压缩, 减少计算机处理的数据量。早在 1974 年, Lee 就在相干光学系统中通过复合光栅在频谱平面上进行空间滤波实现了微分^[1]。在这类方法中, 由于使用的是相干光源照明, 图像都不可避免地受到相干噪声的干扰。1985 年, 羊国光等人利用单色非相干光照明, 用具有微分脉冲响应的全息滤波器进行空间滤波实现了一维微分运算^[2]。但这些系统是非实时的, 不能满足当今实时光学信息处理的要求。数学形态学是被用来实现光学图像微分的另一方案。O'Neil 等人用离焦的光电系统, Botha 等人用符号替代的方法, 都先后实现过包括图像微分在内的数学形态学运算^[3, 4]。但是在这些方案中, 仍然需要借助电子学方法来实现取阈和减法运算。

电子俘获材料是新近发展的一类光子学材料。当用可见光或紫外光激发后, 它能存储能量, 而后用近红外光激励时, 又能将存储的能量释放出来, 发射出可见光^[5, 6]。这种材料具有能量需求低、可擦除重写、响应速度快、分辨率高、以及高信噪比等优点, 已在光存储, 光学信息处理中进行了很多应用研究^[5~10]。本文利用电子俘获材料的饱和特性和图像减法功能, 根据数学形态学的基本思想, 采用离焦的卷积光学系统实现图像微分。

2 电子俘获材料

实验所用的电子俘获材料为 CaS(Eu, Sm)。用合成的 CaS(Eu, Sm) 粉末材料涂成厚度约为~ 200 μm 的多聚物膜进行实验。关于电子俘获机制, 一般看法是^[11]: 在 CaS 这类宽带隙

* 国家自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1996 年 7 月 9 日

II a-VIb 族半导体基质中, 掺杂的 Eu^{2+} 离子形成发光中心, Sm^{3+} 为电子俘获中心; Eu^{2+} 吸收与其固有能级匹配的光子后, 一个外层电子被激发, 并通过中间过程被 Sm^{3+} 俘获; 由于俘获电子的陷阱很深, 不能在普通温度下通过热效应释出, 于是被俘获的电子就能长时间保持在陷阱中; 但当用与陷阱深度相当的近红外光激励时, 电子又能从陷阱中释放出来, 并与光学中心俘获的空穴复合, 同时发射出特定的荧光。

$\text{CaS}(\text{Eu}, \text{Sm})$ 能吸收和存储蓝绿光, 之后在近红外光作用下, 发射红色可见光。图 1 给出 $\text{CaS}(\text{Eu}, \text{Sm})$ 在红外读出光强一定的情况下, 激励发光(输出光)强度与写入光能量的关系, 可以看到, 电子俘获材料对写入光很敏感。实际上, 最低可感应的写入水平可到 $1 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 左右; 饱和能量也很低, 在薄膜厚度为 $\sim 200 \mu\text{m}$ 的情况下, 为 $10 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ 以下。电子俘获薄膜(简称 ET 膜)在饱和写入能量水平以下、最低写入水平以上的区域, 输出光强度与写入能量成线性关系; 在写入能量超过饱和能量时, 在均匀红外读出光作用下, 输出光强是相等的, 都达到最大输出强度 I_{max} 。这就相当于一个特殊的取阈操作。由于饱和只是能量的函数, 与光强大小只有间接关系, 所以, 若延长写入光照射时间, 写入能量超过饱和能量的区域将增多, 在红外光照射下, 这些区域的输出光强都为最大值 I_{max} ; 这就等效于“阈值光强”是可调的。Yang 等人曾利用电子俘获材料的饱和特性, 进行自动取阈操作实现胜者全取神经网络模型^[12]。若把电子俘获材料镀成结晶薄膜, 可以做得很薄, 这样所需的饱和能量会降低, 从而加快系统取阈操作速度。随着红外光照时间的延长, 俘获电子数会减少, 并且, 衰减速度随着红外光强度的增大而加快; 当陷阱全部倒空时, 就不再发光了。因此, 可以利用较强的红外光释放俘获的电子, 进行快速擦除。图 2 是稳定红外光照射下, 红外激励发光强度随光照时间的关系曲线。Jutamula 和作者的工作都表明, 利用电子俘获材这种特性可以实现非相干光图像减法^[8, 9]。

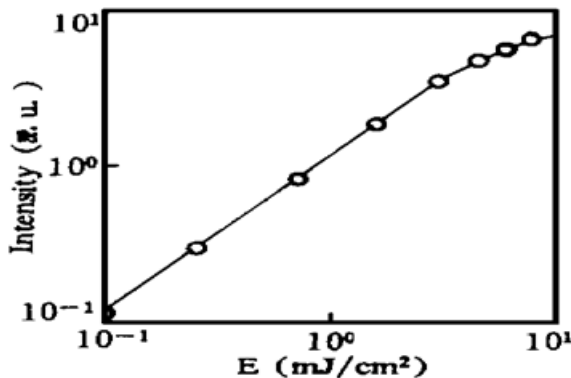


Fig. 1 The intensity of stimulated luminescence plotted as a function of energy of writing light in 485 nm

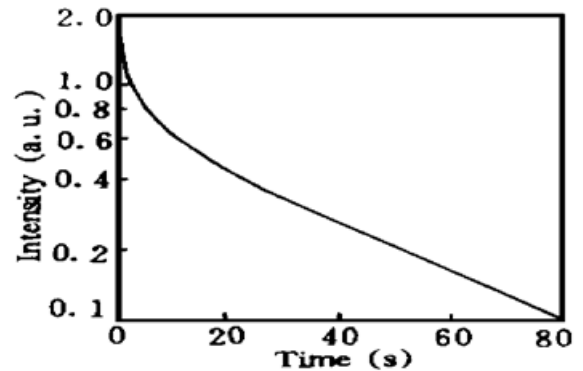


Fig. 2 The intensity of stimulated luminescence plotted as a function of infrared light illuminating time

3 用电子俘获材料实现实时图像微分

在二值形态学中, 图像是坐标点的集合。设图像的值以“1”表示, 背景以“0”表示。图像的膨胀运算可表示为:

$$X \oplus B = \{a | B_a \cap X \neq \emptyset\}$$

它表示目标图像 X 膨胀后的结果是这样一些点(以 a 表示)的集合: 结构元素 B 移到以点 a 为中心的区域后(以 B_a 表示), B_a 与 X 的交集不为空集。膨胀的直观图像是将 B 沿 X 的所有边沿绕行一周, 所经过的区域加上原图像 X , 即为 $X \oplus B$ 。若把膨胀后的图像“减去”膨胀前的图像, 得到的结果就是图像的微分。“减”法运算包括这几种情况:

- 1) $0 \ominus 0$, 即背景减去背景, 结果为 0;
- 2) $1 \ominus 0$, 即像点减去背景, 结果为 1;
- 3) $1 \ominus 1$, 即像点减去像点, 结果为 0。

由于膨胀后的图像总是可以覆盖膨胀前的图像, 故不会出现 $0 \ominus 1$ 的情况。O'Neil 和 Rhodes 用来实现图像膨胀的离焦卷积光学系统如图 3 所示^[3]。在这个系统中, 结构元素 B 就是小孔光阑的投影。系统的输出结果是目标图像 X 和结构元素 B 的卷积。卷积的结果是一个边缘模糊的图像, 它的截面图如图 4 所示。对卷积后图像的光强进行取阈运算, 当阈值设置较低时, 即可实现图像的膨胀。

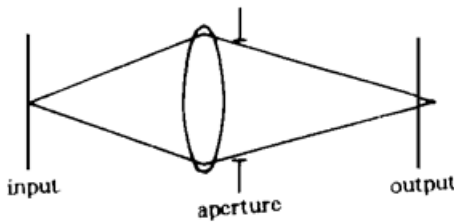


Fig. 3 Ray-optics-based system for blurring. Structuring element is projection of aperture

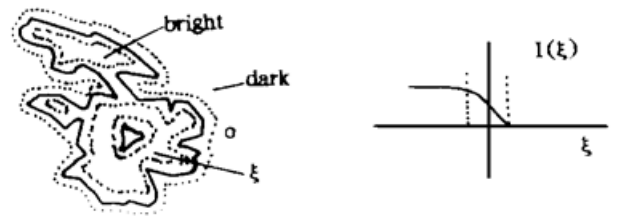


Fig. 4 Blurring operation and cross-sectional intensity distribution

可以根据上节所描述的电子俘获材料的饱和特性来实现取阈操作。把已事先用强的红外光进行陷阱排空的电子俘获薄膜置于图 3 所示的离焦卷积系统输出屏的位置上, 用蓝绿光源照明目标图像。电子俘获薄膜就能把目标图像 X 和结构元素 B 卷积的结果以俘获电子密度分布的形式记录下来。延长曝光时间(即降低阈值光强), 使卷积图像中对应图 4 所示的低阈值区域的写入能量也能使电子俘获膜饱和。这样, 在弱的均匀红外光照明下, 电子俘获膜上所有写入能量超过饱和能量的区域就输出同样强度 (I_{\max}) 红色可见光, 把图像膨胀运算的结果显示出来。当然, 对应卷积图像最边沿上写入能量低于饱和能量的区域也有较弱的红色可见光输出。由于阈值设置很低, 这部分区域很小, 可忽略不计。若再用红外光照明目标图像, 通过另外一个聚焦的光学系统把目标图像成像在这一电子俘获膜相应的位置上, 照射一定时间后, 就能在图像膨胀的结果上, 把对应图像膨胀前的区域擦去(即把这一区域的俘获电子排空), 只剩下结构元素 B 沿目标图像 X 所有边沿走一周所经过的区域。若再用弱的均匀红外光照射整个薄膜, 图像微分的结果就能以发光的形式显示出来。

根据上述设想, 设计用电子俘获膜实现图像微分的实验装置如图 5 所示。输入屏的照明光源有蓝绿色和近红外两种不同频率的光, 分别用快门 1、2 来控制曝光的先后和长短。输入屏(后贴毛玻璃)被照明后, 分别通过透镜 1(即光路 1)和透镜 2(即光路 2)成像在电子俘获膜上。由于在两个光路上分别加有只透蓝绿光和只透红外光的滤光片, 这样, 光路 1 为蓝绿色写入光光路, 光路 2 为红外擦除光光路。通过调整透镜 1、小孔光阑、分束器 2、3 以及电子俘获膜的位置, 光路 1 成为一个类似如图 3 的离焦光学系统, 进行图像的膨胀运算。调整分束器 1 和反射镜的角度以及透镜 2 和反射镜的位置, 使目标图像通过光路 2 聚焦成像在电子俘获膜上, 进行图像减法运算。通过不同光路所成的两个像的大小和位置都应该参照按图 4 的形式严格控制。用快门 3 控制均匀红外光 2 的输入, 它用来显示图像微分的最后结果; 也可以用这束光对电子俘获膜进行全面擦除, 以便对不同输入目标图像进行微分运算。显然, 整

个光学系统可以在计算机控制下进行实时图像微分。电子俘获材料在镀出结晶膜后能具有很高的清晰度;同时,由于不存在相干光学系统中的干涉现象,故对图像的处理可达到很高的分辨率。取阈和减法操作是由电子俘获膜完成的,不需要用电子设施进行结果处理,故整个图像处理过程是全并行的。

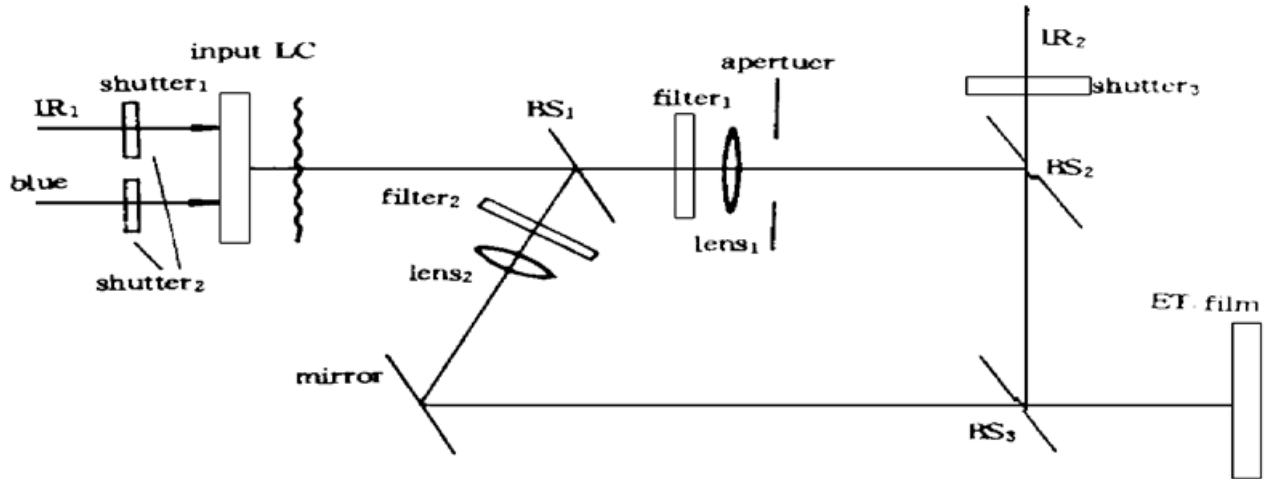


Fig. 5 Schematic diagram of real-time image differential system using ET materials

用上述方案,进行了用电子俘获材料实现图像微分的演示实验。照明光源用普通白炽红外灯加上只透红外光和只透蓝绿光的两种不同滤光片得到。用一次成相相机拍摄实验结果(所用记录底片只感应可见光)。输入图像是用掩模制作的“土”字,如图 6(a)所示。图 6(b)是图像膨胀后,均匀红外光照射 ET 膜得到的输出图像。图 6(c)是实验最后用均匀红外光照射电子俘获膜显示的图像,它就是图像微分的结果。由于所用的电子俘获薄膜是用粉末材料涂片而成的,厚度还过高,清晰度还不够好;可以通过镀结晶薄膜材料来进一步降低厚度,提高清晰度。实验表明,不必用复杂的电子设备,而只用一片电子俘获薄膜,就能够进行正确的图像微分。



Fig. 6 Results of the experiments ($\times 1.5$), (a) input image; (b) the dilational result; (c) the differential result

结 论 本文根据数学形态学的基本思想,利用电子俘获材料的饱和特性和图像减法功能,采用离焦的卷积光学系统实现图像微分。由于电子俘获材料固有的优异特性,这种微分系统具有清晰度高、非相干性、实时性、全并行性的优点,取阈和减法运算不需要电子学方法来实现。实验表明,电子俘获材料是一种很有前途的光子学材料,在光学信息处理等方面有很大的应用前景。

参 考 文 献

- [1] S. H. Lee, Mathematical operation by optical. *Opt. Eng.*, 1974, **13**(3) : 196~ 207
- [2] 羊国光, 左 健, 吴 若, 用非相干光进行图像微分. *光学学报*, 1985, **5**(1) : 38~ 42
- [3] K. S. O'Neil, W. T. Rhodes, Morphological transformation by hybrid optical-electronic methods. *Proc. SPIE*, 1986, **638** : 41~ 44
- [4] E. Botha, J. Richards, D. P. Casasent, Optical laboratory morphological inspection. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(24) : 5342~ 5350
- [5] J. Lindmayer, A new erasable optical memory. *Solid State Technol.*, 1988, **31**(8) : 135~ 138
- [6] S. Chen, C. Qi, F. Dai *et al.*, Optical storage properties of SrS :Eu, Sm in PMMA film. *Proc. SPIE*, 1992, **2053** : 114~ 116
- [7] A. D. McAulay, J. Wang, C. Ma, Optical heteroassociative memory using spatial light rebroadcasters. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(14) : 2067~ 2073
- [8] S. Jutamulia, G. M. Storti, J. Lindmayer *et al.*, Use of electron trapping materials in optical signal processing. IV: Parallel incoherent image subtraction. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(5) : 743~ 745
- [9] 陈述春, 戴凤妹, 输出绿光的上转换材料及紫外、可见图像存储和图像减法. *光子学报*, 1996, **25**(4) : 295~ 300
- [10] Z. Wen, A. Bake, N. H. Farhat, Optoelectronic neural dendritic tree processing with electron-trapping materials. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(6) : 614~ 616
- [11] 陈述春, 戴凤妹, 电子俘获材料的光学性质及光存储机制研究. *光学学报*, 1995, **15**(6) : 750~ 752
- [12] X. Yang, W. Seiderman, R. A. Athale *et al.*, Optical implementation of winner-take-all neural network using electron trapping materials. *Opt. Commun.*, 1992, **93**(1, 2) : 33~ 38

Real-Time Image Differentiation Using Electron-Trapping Materials

Ruan Hao Chen Shuchun Dai Fengmei Gan Fuxi

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 9 July 1996)

Abstract Based on the concept of mathematical morphology, the real-time image differentiation taking use of the saturate property and image subtraction ability of electron-trapping materials is performed by using a defocused convolver. This method shows many attractive advantages such as high resolution, real-time parallelism and incoherence. The thresholding and subtraction are performed by a single ET device.

Key words electron-trapping, real-time image differentiation, mathematical morphology.