

基于长余辉材料的激光书写和显示

梅屹峰 唐远河 梅小宁 刘汉臣 刘骞 余洋 李宁远 高恒

Writing and displaying by the laser on a long lag phosphor material

Mei Yi-Feng Tang Yuan-He Mei Xiao-Ning Liu Han-Chen Liu Qian Yu Yang Li Nin-Yuan  
Gao Heng

引用信息 Citation: [Acta Physica Sinica](#), 65, 170701 (2016) DOI: 10.7498/aps.65.170701

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.170701>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2016/V65/I17>

---

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

三机械薄膜腔光力系统相互作用的研究

[Optomechanical interaction with triple membranes](#)

物理学报.2016, 65(12): 124202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.124202>

基于探针光调制的皮秒分辨 X-ray 探测方法与实验

[Picosecond resolving detection method and experiment for ultrafast X-ray by modulation of an optical probe](#)

物理学报.2015, 64(20): 200701 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.200701>

垂直向列型彩色滤光膜硅覆液晶微显示器的三维光学建模

[Three-dimensional optical modeling of vertical alignment mode color filter liquid-crystal-on-silicon microdisplays](#)

物理学报.2015, 64(14): 140701 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.140701>

全光固体条纹相机的理论及其静态实验研究

[Theoretical and static experiment research on all optical solid state streak camera](#)

物理学报.2014, 63(6): 060702 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.060702>

彩色滤光膜硅覆液晶微显示器的三维光学建模

[Three-dimensional optical modeling of color filter liquid-crystal-on-silicon microdisplays](#)

物理学报.2012, 61(4): 040701 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.61.040701>

# 基于长余辉材料的激光书写和显示\*

梅屹峰<sup>1)</sup> 唐远河<sup>1)†</sup> 梅小宁<sup>2)</sup> 刘汉臣<sup>4)</sup> 刘骞<sup>1)</sup> 余洋<sup>1)</sup>  
 李宁远<sup>3)</sup> 高恒<sup>1)</sup>

1)(西安理工大学理学院, 西安 710048)

2)(西安理工大学高等技术学院, 西安 710082)

3)(西安理工大学水电学院, 西安 710048)

4)(西安工程大学理学院, 西安 710048)

(2016年5月13日收到; 2016年6月16日收到修改稿)

本文给出了长余辉材料一个新的用途, 研制了一台以长余辉材料为屏幕的激光书写显示装置, 可以人为控制激光笔在余辉材料上随意书写文字、画图并显示. 该装置利用单片机和步进电机控制两组轴镜在不同方向的转动, 从自己建立的开源矢量图库中调用相关图片, 使激光光束在长余辉材料上进行二维矢量的扫描, 完成文字书写和绘图显示. 用 VASP (Vienna *abinitio* simulation package) 软件计算出长余辉材料  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  的能级结构, 测试了  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  和  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  的余辉强度衰减曲线, 便于调整样机电机的书写速度, 测试了  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  的反射谱和拉曼谱, 其拉曼峰值在 625, 769 和 1049 nm 及远红外. 通过理论和实验研究, 掌握了与相应长余辉材料匹配的激发最佳激光波段. 制作样机后得到英文、中文、图像的实时书写和显示结果. 本装置犹如一只无形的“笔”在纸上挥舞, 流畅书写绘画, 书写过程配上音乐颇具观赏性, 该装置可应用于商业广告显示、动态标语书写、教学投影辅助设备、舞台效果、新型艺术表现形式等领域.

**关键词:** 长余辉材料, 书写, 绘图, 激光束

**PACS:** 07.07.Hj, 42.50.Wk, 42.62.-b

**DOI:** 10.7498/aps.65.170701

## 1 引言

长余辉发光材料是激发光停止后仍能较长时间发光的材料. 长余辉发光材料吸收激发光并存储光能, 待激发光停止后, 再将存储的能量以光能形式慢慢释放出来, 这种吸收激发光(储能)-发光(余辉)-再激发-再发光的过程, 原则上可无限次重复, 因此长余辉材料也叫蓄光型发光材料. 长余辉材料主要有硫化物、硫氧化物、碱土铝酸盐、碱土硅酸盐、镓酸盐和钛酸盐等几大系列<sup>[1]</sup>, 其中碱土铝酸盐  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  系列具有发光性好、发光效率高、余辉时间长、化学稳定、无放射性危害等特性<sup>[2]</sup>. 20世纪60年代在研究  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  发光现象时

观察到长余辉发光特性<sup>[3,4]</sup>, 掺 Dy 的  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}$  余辉衰减时间长达 2000 min<sup>[5]</sup>, 从紫外到可见光的连续波长激发  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}$  粉体可发射余辉, 激发峰值以波长 365 和 400 nm 为主<sup>[6]</sup>. ZnS 长余辉材料在紫外 365 nm 波长和白炽灯激励下, 发光持续时间相差 2—17 倍, 这说明白炽灯中的红外光会引起 ZnS:Cu 产生猝灭<sup>[7]</sup>. 以  $\text{MAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  和  $\text{RE}^{3+}$  (M:Ca, Sr, Ba) 为代表的稀土离子掺杂碱土铝酸盐也是很好的长余辉发光材料. 目前长余辉材料多用于道路边自发光标识、停电后的应急通道指示, 在纸张、陶瓷、工艺品、佛珠表面涂上长余辉材料具有“夜明珠”的显示效果<sup>[8]</sup>.

本文提供了长余辉材料一种新的用途, 将

\* 国家自然科学基金(批准号: 11304245)、陕西自然科学基金(批准号: 2016JM1011)和西安理工大学特色项目(批准号: 2015TS012)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: [ltp1801@163.com](mailto:ltp1801@163.com)

长余辉材料用于书写和显示领域. 虽然长余辉 ZnS 材料最早也用于阴极射线管的屏幕显示 [9], 用  $\text{Ca}_2\text{SnO}_4:\text{Er}^{3+}$  和  $\text{BaAl}_2\text{O}_4:\text{Dy}^{3+}$  余辉材料作为国际照明委员会色品坐标 [10,11], 也有将长余辉  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  材料用于暗场显示 [12] 的相关研究, 近年来利用纳米技术合成多种长余辉材料, 分别获得其发光峰和热释光光谱特征等 [11,13], 但未见直接将长余辉材料用于书写和绘图领域. 我们将长余辉材料制成屏幕, 从而可用激光笔在其上书写和绘图, 我们研究该“激光书写仪 [14]”的初衷, 是鉴于目前的多媒体屏幕大多采用投影仪进行光学投影显示, 屏幕边缘的文字和图像会导致教室两边的观众看不清楚; 目前城市大型广场的夜晚宽银幕屏幕显示会带来较严重的光污染. 如果将长余辉材料制成屏幕替换目前的多媒体屏幕, 用激光笔在长余辉屏幕上不但可以直接书写、绘画和艺术创作显示, 而且低耗环保, 还能解决上述显示的局限.

## 2 激光书写仪

### 2.1 结构及原理

图 1 是我们设计的激光书写仪的原理图, 本装置利用长余辉材料为显示屏幕, 利用继电器控制激光束的开关, 单片机驱动振镜的光斑及光路, 利用数控机床的软件控制思想, 使显示表面变成  $XOY$  坐标平面, 每一个位点用激光的开关量加以控制, 使用单片机控制器驱动光学扫描装置, 实现  $X-Y$  平面控制激光束的偏转, 最终完成字符或图画的书写和显示功能. 图 1 的硬件连接电路如图 2 所示, 利用 CNC (computer numerical control) 控制方法完成图 1 的作图过程, 使用 Windows XP 系统的计算机上位机把矢量图生成的代码通过 USB 线逐条传送给 Arduino 下位机, 下位机的输出口将方向信号与脉冲信号步进输入到电机驱动模块, 驱动模块再通过外部供电控制两相四线的步进电机, 继电器控制激光通断, 配合步进电机驱动的反射镜共同完成文字书写和图像绘制.

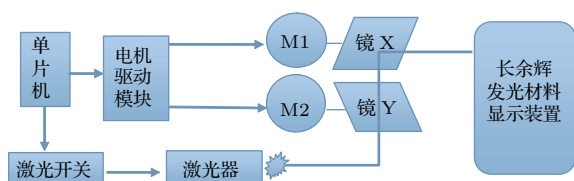


图 1 激光书写仪的原理图

Fig. 1. Principle of the laser writing device.

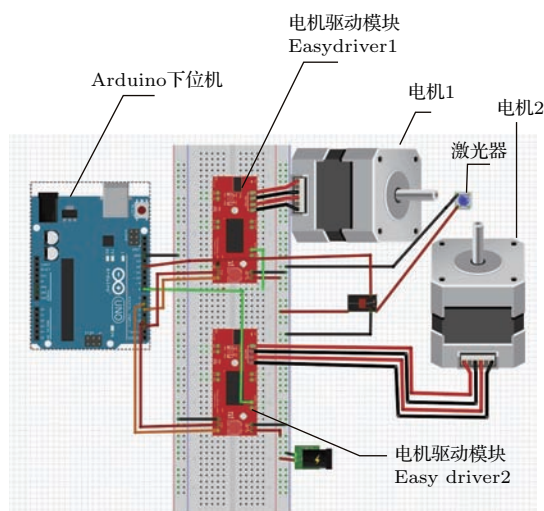


图 2 整个装置的电路仿真图

Fig. 2. Circuit simulation of the whole device.

### 2.2 长余辉材料的选取

要实现图 1 所示的书写显示功能, 合理选择长余辉发光材料作为屏幕, 需考虑余辉材料的初始亮度、余辉时间和激发光源的强度等 3 个指标, 长余辉材料的初始亮度和余辉时间取决于激发光源的波长和强度, 一般把  $0.32 \text{ mcd/m}^2$  作为人眼识别亮度的最小值 [15]. 为了快速更换长余辉材料幕上的显示图像, 还需考虑光致猝灭效应实现书写后的“擦除”效果. 我们通过光致猝灭效应实现显示的擦除, 所选长余辉材料应具稍微弱的稳定性, 这种不稳定性更易产出光猝灭现象. 通过研究, 我们选择  $\text{ZnS}:\text{Cu}$ ,  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  或  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  作为图 1 所示装置的屏幕材料.

$\text{ZnS}:\text{Cu}$  受红外光照射下能产生猝灭, 易于激光书写的擦除; 加入  $\text{Cu}$  能提高  $\text{ZnS}:\text{Cu}$  材料的余辉时间,  $\text{ZnS}:\text{Cu}$  发出的是人眼易辨识的黄绿色余辉. 前人对  $\text{ZnS}:\text{Cu}$  [16] 和  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  材料研究得较为深入. 例如,  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  的长余辉发光与电子陷阱密切相关, 对纳米  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  的研究, 在温度 295—523 K 范围的热释光峰值陷阱能级呈现一定带宽 [17],  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  的陷阱电子允许的能级跃迁是  $\text{Eu}^{2+}$  的  $4f^65d^1 \rightarrow 4f^7$  [12], 这些研究成果对本装置都有借鉴作用. 本文利用 VASP (Vienna *abinitio* simulation package) 软件计算出长余辉材料  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  的能级结构如图 3 所示, 可见  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  的带隙宽度达 3—4 eV, 该材料的发光谱线相对较强的有 3 个峰, 即 792, 739 和 693 nm.

不论是借用前人研究 SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> 的计算结果, 还是对 Mn(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 的模拟计算, 都是为了给图 1 所示系统选择激光来“点燃”长余辉材料的初始亮度和选择激光束的波长提供理论依据.

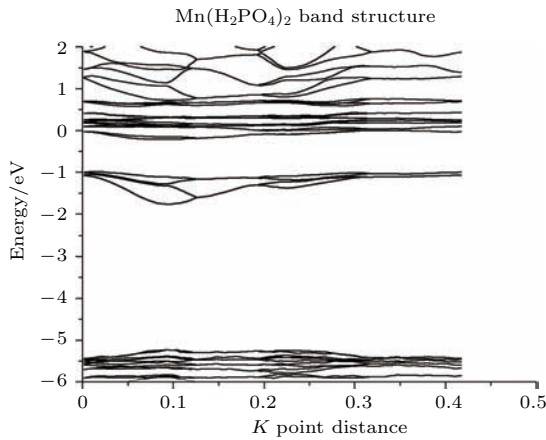


图 3 Mn(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 能级结构图

Fig. 3. Energy band structure of Mn (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.

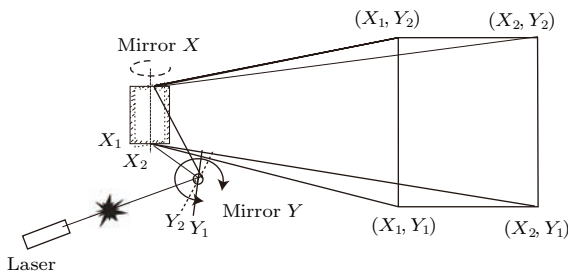


图 4 XOY 轴镜转动光路

Fig. 4. Laser beam path of XOY scanning mirrors.

### 2.3 几何光路

要在长余辉材料屏幕上完成书写和画图, 需对激光进行准确定位和扫描, 我们选择图 4 所示的几何光学结构来进行矢量书写, 在余辉材料面上建立 XOY 坐标系, 假设长余辉材料屏幕的 4 个角的坐标分别定位于 (X<sub>1</sub>, Y<sub>1</sub>), (X<sub>2</sub>, Y<sub>1</sub>), (X<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub>) 和 (X<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>). 激光束先入射到 Y 轴的转动镜片上, 再反射到 X 轴镜片上, 在 X 轴镜片中轴上下边界形成 Y<sub>1</sub>—Y<sub>2</sub> 的线元. X 轴的转动范围是 X<sub>1</sub>—X<sub>2</sub>, 则投射在长余辉材料表面的书写显示范围就是屏幕 4 个角坐标所界定的长方形表面. 把激光通过两镜的转动面合成的光束运动投向屏幕平面, 镜轴旋转控制 X, Y 方向上的激光光斑在平面上写出文字及绘制图像的位移轨迹, 从而完成激光和振镜的工作原理. 将激光振镜用于“激光书写仪”, 对光标定位的定量分析如下.

图 4 中, 激光通过镜面 Y, X 的旋转, 投影到长余辉材料制成的屏幕上, 由镜面位置上任意两点确定直线方程:

$$y = k_i(x - x_1) + y_1 = k_ix + b_i, \quad (1)$$

其中  $k_i$  为第  $i$  次转镜的斜率  $k_i = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ , 截距  $b_i = y_1 - k_ix_1$ ,  $(x_1, y_1)$  和  $(x_2, y_2)$  的边界是屏幕上的 4 个角坐标, 回转中心离镜面的直线距离  $d$  的直线方程为

$$y = k_ix + b_i + \frac{d}{\cos[\arctan k_i]}. \quad (2)$$

假设回转中心点坐标为  $(O_x, O_y)$ , 则偏差大小  $\delta_i$  为

$$\delta_i = O_y - k_i \cdot O_x - b_i - \frac{d}{\cos[\arctan k_i]}. \quad (3)$$

根据 (3) 式, 把激光的光标定位后, 就可以根据需要书写并显示出来了.

### 2.4 软件设计

为完成图 1 系统的写字和绘画功能, 我们用 PWM(pulse width modulation) 控制步进电机, 实现电机转轴的加速和减速运动, 合成弧形、圆形和螺旋的运动轨迹. 它可运行在 Vanilla Arduino (Duemillanove /Uno) 条件下, 配备 Atmega 328 型芯片控制器, 由 C 语言编写并优化, 利用 AVR 单片机芯片的每一个灵巧特性实现图 1 所示系统的精确时序和异步控制, 并保持超过 30 kHz 的稳定、无偏差控制脉冲, 接受标准 G 代码且通过数个 CAM(computer aided manufacturing) 工具的输出测试. 利用 G 代码控制器 GRBL controller(专门运行 G 代码的专业上位机软件), 将 CNC 的控制电机运转指令以 G 代码形式输给下位机; 利用针对 Arduino/AVR328 芯片的嵌入式 G 码编译和运动控制器, 基于并口运动控制, 用于 CNC 技术. 采用和 Arduino 单片机兼容的 GRBL controller, 软件设计是通过 CorelDRAW 画出需要书写显示的图形内容, 导入到 Inkscape 中做矢量节点处理与优化, 自动生成“.nc”格式的 G 代码文件. 用装载 Arduino Builder 的单片机做下位机, 连接上位机运行 GRBL controller, 便可以识别.nc 格式的 G 代码文件. 我们通过 GRBL controller 上的操作界面可以选择调速, 画幅大小并实现激光书写显示仪的自动绘图. 为了能够快速生成现有图片素材的 G 代码, 在 Inkscape 导入位图格式的图片素材, 通过二

值化处理提取位图的矢量轮廓, 进一步优化节点导出G代码.nc格式, 节约了绘制内容所消耗的时间.

## 2.5 建立矢量图库

利用激光束在长余辉材料上写字、画图并擦除, 我们建立了一个矢量图库, 由于直接编译G代码出图的工作量大, 我们采用CorelDraw绘图工具提前绘制了大量的矢量图, 再将矢量图提取到Inkscape软件中, 优化节点并导出“.nc”格式, 自动生成G代码, 简化了编译难度. 我们建立的多个图案与汉英文字的矢量图库, 用于不同的书写、画图和显示环境, 这是一个开源图库系统, 用户可以根据自身需要随意增添. 鉴于数字化图像有矢量图像和位图图像两类, 矢量图像常以BMP (bitmap), JPEG(joint photographic experts group) 等位图形式存放, 位图格式图像是一个矩阵点阵, 每个点就是一个像素. 位图放大到一定程度会出现锯齿状失真, 而矢量图可无限放大不失真, 所以本系统的激光书写用矢量图来完成. 对于复杂图像, 由于曲线数量较多, 手绘工作量巨大, 而位图一般又包括大量曲线, 景物生动, 本系统也相应建立了位图转换成矢量图的工作. 位图向矢量图转换过程中, 由于原始图像中存在杂点和混入噪音, 就对图像进行了平滑处理, 以消除噪音污染; 然后选用适当阈值将图像二值化为单色图, 保留并增强图像的轮廓信息; 再对该二值图像进行去噪、图像分割、细化、边缘检测等预处理, 形成易于矢量化处理的二值图像; 接下来对该图像进行矢量化处理, 包括边缘提取、连码跟踪和图元识别; 最后得到在CAD(computer aided design)环境下可直接使用或需进一步优化处理的矢量文件格式(DXF格式).

## 3 实验

### 3.1 长余辉材料的亮度衰减测试

本实验的目的是要探究长余辉材料受激发后的自发发光及衰减规律, 进而测算激光书写的步速(激光能量在材料表面的积累时间)和输出激光能量大小的控制, 为显示一张亮度均衡的图文信息做准备, 为此我们测试了 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 和 $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 长余辉材料的亮度和衰减时间. 用超弱发光测量仪UWLA(Ultra-Weak Luminescence Analyzer)测试粉状 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ 余

辉的绝对衰减时间曲线如图5所示, 可见磷光光斑在停止激发源照射的5 min内绝对电子计数从43479骤降到9570, 并在后来的长时间内缓慢下降, 余辉的发光强度变化呈现为衰减率从极大骤降到很小的趋势. 我们还用HANDYSCOPE HS3多功能数据采集器测试了涂层薄膜 $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 材料的相对余辉衰减曲线, 如图6所示, 可见初始光强衰减很快, 超过400 s后光强衰减变得很缓慢, 100 min后其发光肉眼不可见. 实验结果说明上述长余辉材料的发光特性适合低速扫描形成图像.

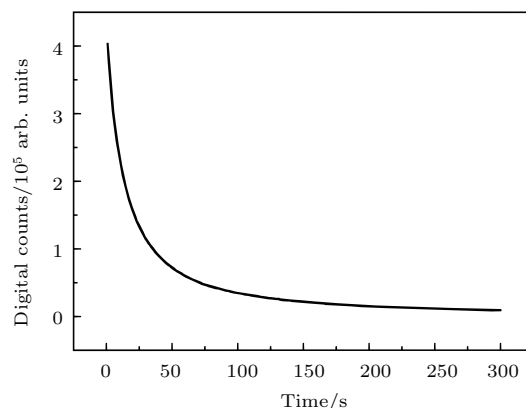


图5  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  的余辉强度衰减曲线  
Fig. 5. Intensity decay curve of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$  afterglow.

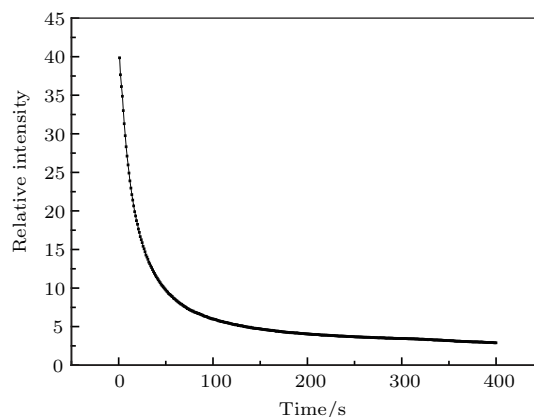


图6  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  的余辉强度衰减曲线  
Fig. 6. Intensity decay curve of  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  afterglow.

### 3.2 长余辉材料 $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 光谱测试

将 $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 材料涂在载体上其表面呈黄色. 我们用Omni- $\lambda$ 系列光栅光谱仪测试 $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 在300—1000 nm波段的反射峰, 结果如图7所示, 可见该材料的反射率并不很高, 大多数波段的反射率在10%, 最高不超过13%. 用拉曼光谱仪测试 $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 的拉曼位移峰在625,

769, 1049 nm 及远红外, 如图 8 所示. 这些实验测试结果为我们选取图 1 所示的激光“笔”的波长奠定了理论基础.

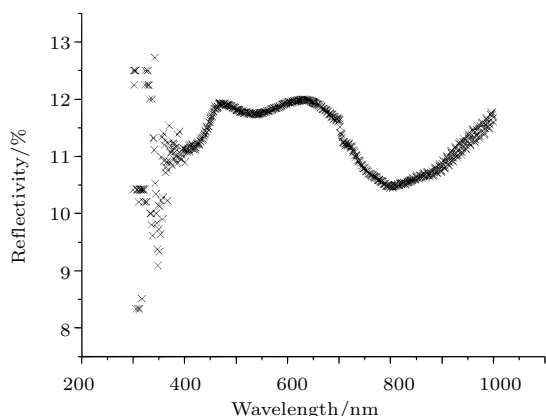


图 7  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  的全波段反射比率  
Fig. 7. Reflection ratio of  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ .

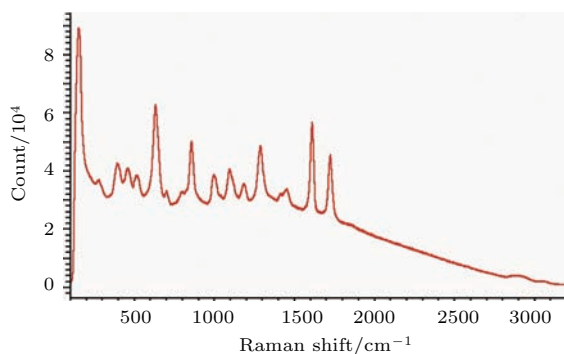


图 8  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  的拉曼谱线  
Fig. 8. Raman spectrum of  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ .

### 3.3 激光书写器的效果

我们制作的基于长余辉材料的激光书写器样机如图 9 所示, 利用样机先后得到图 10 所示的书写效果, 可以书写和显示英文、汉字和图像. 所选长余辉材料的发光波长符合人眼舒适要求, 本装置犹如一只无形的笔在屏幕上挥舞, 显示效果自然流畅, 书写和绘画过程伴随背景音乐颇具观赏性.



图 9 (网刊彩色) 用长余辉材料显示的激光书写样机  
(a) 样机外壳; (b) 内部结构  
Fig. 9. (color online) Prototype of laser writing based on the LLP material display: (a) Outer of the prototype; (b) inter of the prototype.

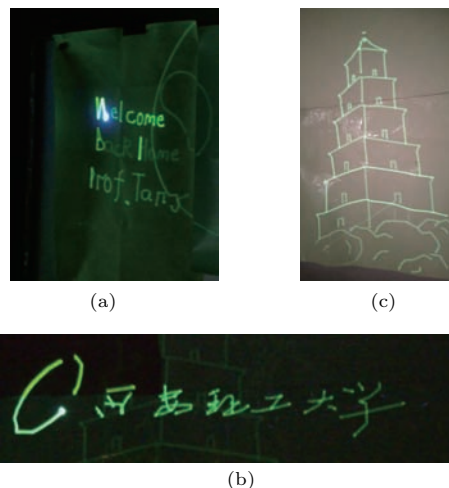


图 10 (网刊彩色) 激光书写器的书写效果 (a) 书写英文; (b) 书写汉字; (c) 绘画  
Fig. 10. (color online) Results and display by our prototype: (a) Writing English; (b) writing Chinese; (c) drawing picture.

## 4 结 论

长余辉材料受光激发可长时间发射磷光余辉, 通过研究发现  $\text{ZnS}:\text{Cu}$ ,  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  和  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  等长余辉材料可用于书写和显示功能. 研究了将长余辉材料作为屏幕的激光书写显示装置的结构、电路、光路、图库后, 制作了一台以长余辉材料为屏幕的激光书写显示装置, 人为控制激光“笔”光束可在余辉材料上书写文字、画图 and 显示. 该装置利用单片机和步进电机控制两组轴镜在不同方向的转动, 从开源矢量图库中调用相关图片, 使激光在长余辉材料上进行二维矢量的扫描, 实现书写文字和绘图功能.

用 VASP 软件计算了长余辉材料  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  的能级结构, 测试了  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  和  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  的余辉强度衰减曲线, 测试了  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  的反射谱和拉曼谱, 其拉曼峰值在 625, 769, 1049 nm 及远红外, 通过这几方面的研究, 获得了激光笔的最佳激光波段与长余辉材料的匹配结果.

本装置犹如一只无形的激光“笔”在屏幕上流畅书写和绘画, 所选长余辉材料的发光波长符合人眼舒适要求, 书写过程配上音乐颇具观赏性, 可应用于夜间商业广告显示、标语动态书写、多媒体教学投影、舞台效果、新型艺术表现以及影院、隧道、地铁等场所的动态警示等.

感谢中科院过程所吕宵博士提供  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  样品.

## 参考文献

- [1] Wang P J, Xu X H, Qiu J B, Zhou D C, Liu X E, Cheng S 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 077804 (in Chinese) [王鹏久, 徐旭辉, 邱建备, 周大成, 刘雪娥, 程帅 2014 物理学报 **63** 077804]
- [2] Hao H Z, Yang Y, Cui C E, Huang P, Yang K 2012 *J. Chin. Ceramic Society* **40** 1340 (in Chinese) [郝虎在, 杨赞, 崔彩娥, 黄平, 杨珂 2012 硅酸盐学报 **40** 1340]
- [3] Pililla F C, Luvine A K, Tomkus M R 1968 *J. Electrochem. Soc.* **115** 642
- [4] Abbruscato V 1971 *J. Electrochem. Soc.* **118** 930
- [5] Chang C K, Mao D L 2004 *Thin Solid Films* **460** 48
- [6] Xiao L Y, Xiao Q, Liu Y L 2011 *J. Rare Earths* **29** 39
- [7] Xin M, Hu L Z 2013 *Chin. Phys. B* **22** 087804
- [8] Lü X, Sun M, Zhang J Y, Zhu H L, Wang T M 2010 *Ceram. Int.* **36** 1201
- [9] Kazan B 1985 *Displays* **6** 85
- [10] Zhang D Y, Shi M M, Sun Y W, Guo Y Y, Chang C K 2016 *J. Alloy. Comp.* **667** 235
- [11] Zhai B G, Ma Q L, Xiong R, Li X H, Huang Y M 2016 *Mater. Res. Bull.* **75** 1
- [12] Swati G, Chawla S, Mishra S, Rajesh B, Vijayan N, Sivaiah B, Dhar A 2015 *Appl. Surf. Sci.* **333** 178
- [13] Xie W, Wang Y H, Quan J, Zou C W, Liang F, Shao L X 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 016101 (in Chinese) [谢伟, 王银海, 全军, 邹长伟, 梁枫, 邵乐喜 2014 物理学报 **63** 016101]
- [14] Mei Y F 2016 *Chinese Patent No.* 201620232237.7 [2016.3.24] (in Chinese) [梅屹峰 2016 中国专利 201620232237.7 [2016.3.24]]
- [15] Zhang R J, Ning G L 2003 *Optoelectronic Technology* **23** 30 (in Chinese) [张瑞俭, 宁桂玲 2003 光电子技术 **23** 30]
- [16] Wang L W, Xu Z, Teng F, Zhang F J, Meng L J, Xu X R 2005 *Spectrosc. Spect. Anal.* **25** 1537 (in Chinese) [王丽伟, 徐征, 滕枫, 张福俊, 孟立建, 徐叙燦 2005 光谱学与光谱分析 **25** 1537]
- [17] Zhang Z, Xu X H, Qiu J B, Zhang X, Yu X 2014 *Spectrosc. Spect. Anal.* **34** 1486 (in Chinese) [张哲, 徐旭辉, 邱建备, 张新, 余雪 2014 光谱学与光谱分析 **34** 1486]

# Writing and displaying by the laser on a long lag phosphor material\*

Mei Yi-Feng<sup>1)</sup> Tang Yuan-He<sup>1)†</sup> Mei Xiao-Ning<sup>2)</sup> Liu Han-Chen<sup>4)</sup> Liu Qian<sup>1)</sup>  
Yu Yang<sup>1)</sup> Li Nin-Yuan<sup>3)</sup> Gao Heng<sup>1)</sup>

1) (School of science, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

2) (School of higher vocational and technical education, Xi'an University of Technology, Xi'an 710082, China)

3) (School of water resources and hydroelectric engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

4) (School of Science, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

( Received 13 May 2016; revised manuscript received 16 June 2016 )

## Abstract

We make a machine that can perform as an invisible hand able to write and draw smoothly accompanied with the incidental music. And this machine can be used in the commercial advertising display, artmobile poster writing, the accessory equipment of the multimediu classrooms, stage effect, new art pattern especially in dark. We present a new display application of the long lag phosphor (LLP) material in this paper. A prototype is fabricated which can be written, drawn and displayed by controlling a laser beam on the screen which is made from the LLP material.

For selecting the match laser beam wavelength for different LLP material screens, the energy band structure of the LLP material  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  of 3–4 eV band gap is calculated by VASP (Vienna *abinitio* simulation package) software and its Raman shift peaks of  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  are tested at 625 nm, 769 nm, 1049 nm and in far infrared wavelength range. The intensity of powdery LLP  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$ , which is tested by the instrument of UWLA (ultra-weak luminescence analyzer), can decay from 43479 to 9570 electronic counts in 5 min, and then descend slowly. The intensity decay of coated film LLP  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , which is tested by the instrument of HANDYSCOPE HS3, can decay quickly at the beginning and then slowly after 400 s. These intensity decay results can explain that LLP materials of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$  and  $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  are suitable for displaying the image by our prototype.

A prototype is successfully made by our group for writing English and Chinese words and drawing picture. Arduino Board is used to control two step motors, and  $X$  mirror and  $Y$  mirror are rotated to reflect the laser beam. An excitation dot is formed on the surface of LLP display screen. By drawing vectorgraph with Coreldraw and convert it into ".nc" file, the computer runs G-code in CNC (computer numerical control) automatically. Arduino controlled mirror rotation drives the laser beam. The trace of the laser dot is left on the screen and becomes article or graphs in afterglow. The whole device can be energy saving, eyes comfortable, low cost and easy to pick up.

**Keywords:** long lag phosphor material, writing, drawing, laser beam

**PACS:** 07.07.Hj, 42.50.Wk, 42.62.-b

**DOI:** 10.7498/aps.65.170701

\* Projects supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11304245), the Natural Science Foundation of Shaanxi Province, China (Grant No. 2016JM1011), and the Characteristic Research of XAUT (Grant No. 2015TS012).

† Corresponding author. E-mail: [ltp1801@163.com](mailto:ltp1801@163.com)