

共焦光学传感头用于红外上转换油墨的微弱光检测

周望 陈林森 叶燕

(苏州大学信息光学工程研究所, 江苏苏州 215006)

摘要 提出了采用共焦光学传感头检测红外上转换油墨(IR ink)的上转换弱光信号的方法, 采用了专门设计的光学元件和检测放大电路, 实现了红外油墨上转换发光的微弱光检测, 对不同混合比例红外上转换油墨进行了检测, 分析了实验结果. 其结构简单、取样准确, 可实现探测器的袖珍化.

关键词 红外上转换; 微弱光检测; 光学传感器

中图分类号 TP212 **文献标识码** A

0 引言

红外上转换材料(infrared up-conversion material)自1966年Auzel^[1]提出后, 就引起人们的重视. 上转换材料发光的光子能量比所吸收的光子的能量高, 发射的高能量光子是通过吸收多个低能量激发光子而产生的, 由于稀土元素的4f能级有丰富的跃迁能级, 因此国内外常用的高效上转换发光材料均为稀土化合物或稀土掺杂材料. 目前, 已有能产生单一波段光(红、绿、蓝)的上转换材料, 所合成的体系有硫化物掺杂稀土元素体系和氟化物掺杂稀土元素体系^[2,3]. 我们在此基础上, 合成了几种高效率的上转换材料, 有很好的分散性, 研究了上转换材料的光学光谱响应特性和聚焦发光效率特性^[4].

由于红外上转换材料在红外光激励时能够将激发光转换成可见光, 产生视觉效应, 引起了防伪科技工作者的兴趣^[5,6]. 它与目前广泛使用的紫外激发发光标识材料相比, 红外上转换材料合成成分复杂、技术要求高. 将红外上转换材料与透明油墨混合, 可以成为红外上转换油墨(IR ink)印刷到纸张或其它基材上, 具有无色、无味、在普通光条件下不能观察到的特性, 在钞票、名牌产品和证件上使用, 可以成为一种有效的防伪手段.

由于高效率上转换材料使用价格比较高, 因此, 在进行油墨混合时, 要求尽量降低上转换材料含量, 这样, 上转换油墨转换的可见光的强度将会很弱, 对于红外上转换材料的检测器的探测灵敏度提出更高的要求. 所以, 红外上转换油墨标识的检测问题是一个微弱光检测问题. 将红外上转换油墨(IR ink)作为防伪材料使用时, 必须配以相应的检测手段.

作为常用的微弱光探测器-光电倍增管(photomultiplier tube)可以对微弱光进行检测, 但

是, PMT的尺寸大, 成本高, 需要高压电路, 不方便携带. 另一方面, 共焦光学显微系统是双光子显微术、光生物学、材料检测等许多领域中的重要检测装置^[7-10].

本文设计了一种共焦光学传感头并用于对含有红外上转换材料的油墨的检测, 给出了探测器的光电结构, 分析了放大电路的特点, 实现了上转换发光的微弱光检测, 有效地提高了探测灵敏度, 对不同混合比的上转换油墨进行检测表明, 该检测方法非常可靠, 检测简便, 大大降低了红外上转换材料的用量. 分析了不同因素对检测结果的影响.

1 共焦光学传感头的设计

上转换材料在红外激光激发下一般会在可见光区产生一种或者两种以上波段的可见光. 改变激励光的焦点偏离材料表面的距离, 样品的发射强度也随着改变, 当激光器聚焦于材料表面时, 材料发射出的可见光最强. 激励光越强, 激发出的可见光也越强. 图1是一种典型的多波段发光的上转换材料的发射光谱, 绿光的谱带在515~565 nm; 红光的谱带在640~680 nm. 实验表明, 激励光强的微小变化, 会引起发射出的可见光光强的较大变化, 信号强度随激光能量的变化约成平方关系. 因此, 为了得到最大的发射光强, 应将激光器聚焦于材料的表面

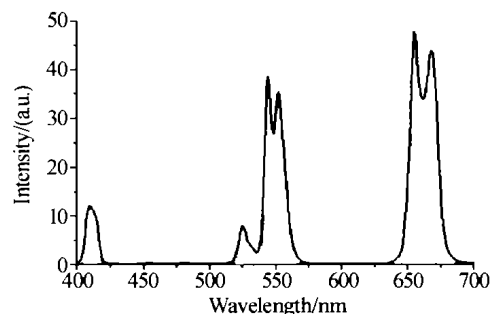


图1 红外上转换材料的上转换发射光谱
Fig. 1 Up-conversion Emission spectrum of the up-conversion ink

(使得此时单位面积上的光强为最大).

图 1 是扫描了上转换油墨激发后的可见光波段,事实上在近红外波段有一个非常强的激发光,一般高于可见光强度的几十倍甚至 1000 倍以上,具体的倍数取决于红外上转换材料的转换效率和使用含量. 因此,在检测原理上,为了提高检测效率,尽量多的收集被激发出的可见光,同时,应该滤掉激发光. 针对图 1 的红外上转换材料的特性,我们设计了共焦光学传感头作为红外上转换油墨的激发与检测的主要结构.

在图 2 中,红外激光二极管(LD)发出红外光束(980nm),经过分束反射器 B. S₁ 反射,由透镜 1 将红外光激光聚焦到红外上转换油墨(IR ink)样品上,透镜 1 对红外光(980 nm)焦距约为 7 mm,经过红外光激发,部分红外光被转换成可见光,并从样品上反射出来,光线经过透 Lens₁ 集光,这时,可见光透过分束反射器 B. S₁ 和带阻滤光器 F,其中,绿光透过 B. S₂ 入射到光电探测元件 D₁ 上,红光经过 BS₂ 选择反射,入射到光敏元件 D₂ 上进行探测,光敏探测器进行光电转换后,输出电流经前置放大电路 A₁、A₂、A/D 转换和信号甄别电路,最后,驱动显示器发出探测信号. 这里,用于激发的红外光与上转换荧光光是共焦的,系统的结构简洁、可靠.

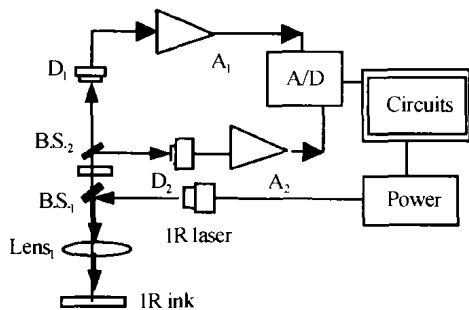


图 2 共焦光学检测器的示意图

Fig. 2 Diagram of detector with confocal optical configuration

图3给出了采用共焦光学的传感头的结构照片. 要实现上述共焦系统,在器件上必须有较高的特性要求. 为此,我们设计了波长 980 nm,45°入射时的膜系,镀膜膜系对 980 nm 是全反射,其光学特性见图 4,同时,该膜系对可见光是全透射.

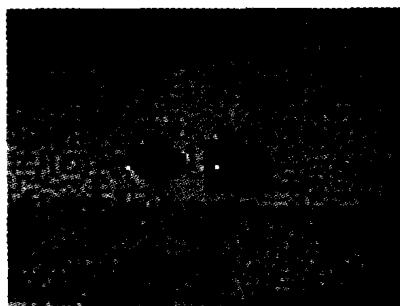


图 3 共焦光学传感头实物照片

Fig. 3 Photo of confocal optical sensor

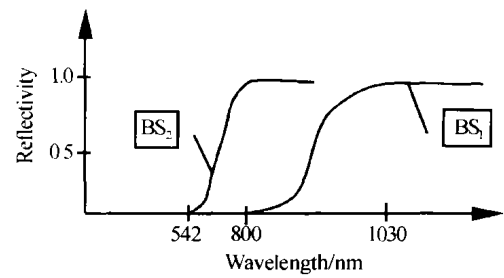


图 4 分束反射器的光学特性

Fig. 4 Optical characteristics of B. S mirror

经过测量,制成的分束反射器对 980 nm 的红外光反射率为 99%,对 510 ~ 660 nm 的可见光的透过率为 90%,达到设计要求.

在图 2 中,分束反射镜 B. S₁ 的作用不仅将从 IR LD 发出的激光束反射到样品上,同时,还可将从样品上返回的红外光(980 nm)反射到 LD 上,阻断了红外光达到光电探测器上. 由于从样品上反射回的红外光的强度是上转换荧光的几十倍甚至 1000 倍以上,为了进一步阻断红外光进入光电探测器,在 B. S₁ 之后增加一个对 980 nm(膜系设计为在 0°角入射的多层膜)的光学带阻滤光器 F,将透过分束反射镜 B. S₁ 的剩余的 980 nm 的光进一步滤去,带阻滤光器 F 能将 99.9% 的红外光过滤掉. 这样,在光电探测器 D₁、D₂ 上的红外光将远远低于可见光的光强. 这种光学结构的设计对于探测器的选择是非常有利的,这样,我们可以选择灵敏度更高、价格更便宜的探测元件. B. S₂ (45°入射,全反射红光 653 nm、全透过绿光 542 nm)的作用是将可见光中的红光分离出来,入射到光电探测器 D₂ 上,这样,经过电路处理与比较,可以分析可见光中的红光与绿光的光强比例. 这一功能对于特殊成分的上转换材料的检测视非常有效. 如果仅仅需要探测可见光(绿光)的光强,图 2 中的红光探测部分可以省略.

2 检测元件与专用放大电路的特点

虽然经过专门设计共焦光学传感头对光电探测元件的光谱响应的选择有一定的宽容性,但是,如果采用的探测元件对激发红外光具有良好的截止响应的特点,同时对于可见光有很高的光敏响应的话,那么,整个检测器的灵敏度与可靠性会进一步提高. 在图 2 中,光电探测器选用的是 2EU12 GaAsP 半导体光敏器件,该探测器在红外区 720 nm 以上完全截止,这样,可以有效地避免了红外激励光的干扰. 同时,在可见光区获得很高的探测灵敏度,参见图 5. 由于采用了 2EU 系列的光电二极管,更适用于可见光范围,对红外完全截止,具有暗电流小、线性好、可靠性高的优点.

信号的前置放大器是选用了高性能运算放大器

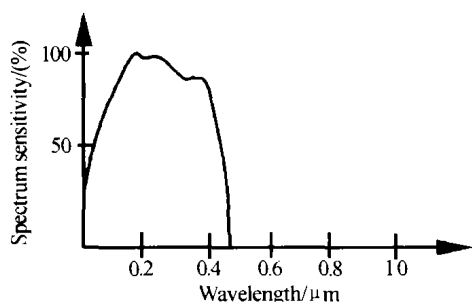


图5 光敏探测器的响应特性

Fig. 5 Spectrum sensitivity of the opto-electro device

TLV2262, 双路、低噪声、低功耗, 将光电二极管的N端与运放的同相输入端相连, 运放的反馈电阻取值在10M到30M欧姆, 经直流放大器的预放直流电压已足以作为后级比较器或数模转换的输入信号。

经比较或转换的信息可利用微处理器的通讯功能将光电的信息传送到PC甚至网络。

实际研制的红外上转换材料检测器包括壳体、电源、980 nm 激光二极管、红外光分束反射器、透镜、光敏元件、放大及控制电路和显示器件, 在所述壳体的下方开有一小孔, 红外光经红外光分束器反射后, 由透镜聚焦后射出小孔, 小孔紧贴样品, 这样, 使得环境光线基本不能进入小孔, 从而, 光敏元件上探测的光能主要取决于红外上转换材料被激发出的可见光。

上述检测器的外形尺寸为70 mm × 45 mm × 24 mm, 结构紧凑, 便于携带, 所有光学器件、电子器件均实现了微型化。图6为检测器的外形照片。



图6 检测器的外形照片

Fig. 6 Photo of detector for IR ink

3 检测结果与讨论

红外激光二极管的输出功率为30 mW, 将红外上转换材料以不同的比例与透明油墨混合, 然后, 印刷到纸张上, 用上述检测器进行检测。红外上转换材料与油墨的混合比例从3%逐渐下降, 降到0.3%时, 检测器均能稳定检测。当混合比过分低(0.3%)时, 上转换材料的分散性的特点将显示出来, 材料的发光颗粒将会变得不是连续, 这时上转换材料的发光密度降低, 使得可见光发光强度变小同时不均匀, 虽然仍然能够进行检测, 检测的响应也是不连续的, 这将影响探测可靠性。因此, 一般地建议

红外上转换材料与油墨的混合比 > 0.5%。

将制备的不同发光特性(单波段绿色、双波段金色)的红外上转换材料与油墨混合, 当混合比小于0.5%时, 检测器仍能稳定可靠的检测。

将红外上转换油墨印刷在不同底色的纸张上, 在通常条件下, 不同颜色的纸张将有不同的可见光反射率。但是, 由于上转换材料的颗粒在激发后的自发光特性, 不同颜色纸张上的混合比 > 0.5% 的红外上转换材料仍能被很好的检测。这说明, 上转换油墨可以直接印刷到不同图案的包装上, 对于检测没有影响。

大家知道, 普通条形码的应用广泛, 经过适当的电路改进(增加整形电路与解码电路), 检测器可以作为一种红外上转换材料检测的传感器, 应用到隐形条形码的检测中。其优点如下: 隐密型条形码的印迹无色, 可以直接在图案上印刷, 不影响原外观, 隐密型条形码仍可沿用普通条形码的一些基本概念, 如条形码的元素、条、空、条高、条宽、起止符以及条形码逻辑值以及编码规则和标准。采用了计算机数据库和借助现代的网络技术, 可将隐密型条形码识别结果进行远程数据库数据比对。因此, 这将是一种高技术含量的防伪手段, 不易仿冒。

从检测结果可知, 在上转换材料用量一定的情况下, 上转换材料对激发光的强度非常敏感, 为了得到最大可见光强, 应保证红外激发光的焦点位于上转换材料的表面上, 同时, 透镜的焦比应尽可能大一些, 增加对可见光的收集本领, 分束反射器对可见光的透过率尽可能高, 这样, 充分保证达到光敏器件上的光的强度。这时, 保证了测量的可靠性。在制备上转换材料时, 应获得更小的颗粒度, 增加材料的分散性。

综上所述, 由于采用了共焦光学检测系统和高性能的放大电路, 红外上转换油墨检测器具有很高的检测灵敏度和可靠的检测率, 大大降低了上转换材料的混合含量。有利于红外油墨的推广应用。应该指出共焦光学传感头不仅能应用到含有红外上转换材料的印刷标记、图文的快速检测, 同时, 也可用于其他场合下的微弱光的定性检测中。用该检测器对目前商品上红外上转换材料的检测时, 检测器表现出非常好的检测稳定性和可靠性。

参考文献

- 1 Auzel F E. Material and device using double-pumped phosphors with energy transfer. *Proc IEEE*, 1973, **61**(16): 758
- 2 Oliverira A S, Araujo M T, Gouveia-Neto A S, et al. Frequency up-conversion in $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ doped chalcogenide

- glass. *Appl Phys Lett*, 1998, **72**(7): 753 ~ 755
- 3 秦冠仕, 秦伟平, 陈宝玖等. 氟氧化物玻璃陶瓷中高低阈值的红色上转换发光现象. *光谱学与光谱分析*, 2002, **22**(5): 705 ~ 708
Qin G S, Qin W P, Chen B J, et al. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2002, **22**(5): 705 ~ 708
 - 4 韦晓茹, 陈林森. 多波段红外上转换材料及其检测器研制. *激光杂志*, 2003, **24**(2): 26 ~ 28
Wei X R, Chen L S. *J of Laser*, 2003, **24**(2): 26 ~ 28
 - 5 曹玉琳. 红外上转换材料在防伪技术中的应用. *激光与红外*, 2001, **31**(3): 190 ~ 191
Cao Y L. *Laser and Infrared*, 2001, **31**(3): 190 ~ 191
 - 6 陈林森, 周望, 沈雁. 红外上转换材料的检测方法及其装置. 中国专利 02138137. 2, 2002
Chen L S, Zou W, Shen Y. Testing method and set-up of IR up-conversion materials. Chinese Patent 02138137. 2, 2002
 - 7 Denk W, Strickler J H, Webb W W. Two-photon laser scanning fluorescence microscopy. *Science*, 1990, **48**(4951): 73 ~ 76
 - 8 He G S, Gvishi R, Prasad P N, et al. Two-photon absorption based optical limiting and stabilization in organic molecule-doped solid materials. *Opt Comm*, 1995, **117**(1-2): 133 ~ 136
 - 9 Ehrlich J E, Wu X L, Lee I Y S, et al. Two-photon absorption and broadband optical limiting with bisdonor stilbenes. *Opt Lett*, 1997, **22**(24): 1843 ~ 1845
 - 10 Strickler J H, Webb W. Three-dimensional optical data storage in refractive media by two-photon point excitation. *Opt Lett*, 1991, **16**(22): 1780 ~ 1782

Confocal Optical Sensor for Detecting Weak Light of IR Up-conversion Ink

Zhou Wang, Chen Linsen, Ye Yan

Institute of Information Optical Engineering, Suzhou University, Suzhou 215006

Received date: 2003-06-30

Abstract A method of detecting the weak light of up-conversion ink with confocal optical sensor system is proposed in this paper. The properties of the device, such as the sensitivity to the emission light from the up-conversion ink and the characteristics of the special design component, are analysed. The results of detecting the IR ink marks of different mixing ratios have been given. This method of detecting has a simple structure with sampling well and truly. It can realize pocket edition to the detector.

Keywords Infrared Up-conversion; Weak light detection; Optical sensor



Zhou Wang was born in 1958 in Jiangsu Province. Graduated from computer science and technology of Eastsouth University in 1982. Now he is a senior engineer in the Institute of Information Optical Engineering of Suzhou University. He is the specialist on the photo-electricity instrument, optical information processing. At present, he is interested in the fields of weak light detection, up-conversion IR material and hidden-barcode system.