

# 基于反斯托克斯效应的红外激光纸币防伪实验

朱蓉 李为峰 杨晓 曾汝鹏 刘兵 张凤扬 贾红辉

(国防科学技术大学理学院, 湖南长沙 410072)

**摘要** 通过实验探讨了一种基于反斯托克斯效应的红外激光纸币防伪新技术。在分析激光反斯托克斯荧光基本原理基础上,搭建了波长可调红外激光器测试纸币反斯托克斯荧光实验系统,完成分析最佳受激波长实验;基于980 nm红外激光辐射防伪窗口,利用数码相机对真假币完成成像对比实验。实验结果表明,激光辐照下,真币在640~670 nm、530~560 nm波段分别有受激辐射峰值,而假币没有;10、20、50、100元不同币值的纸币受激发的波长都相近;利用数码相机拍红外激光辐照的图像时,加上特定波段的滤光片可以很好地实现真假币的防伪识别。实验结果验证了基于反斯托克斯效应的红外激光纸币防伪技术是可行的,同时为验钞防伪系统提供了借鉴。

**关键词** 激光光学;纸币防伪;反斯托克斯效应;受激发波长

**中图分类号** O436 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP49.111401

## Experiment of Anti-Counterfeiting Banknote Based on Anti-Stokes Effect of Infrared Laser

Zhu Rong Li Weifeng Yang Xiao Zeng Rupeng Liu Bing

Zhang Fengyang Jia Honghui

(School of Science, National University of Defence Technology, Changsha, Hunan 410072, China)

**Abstract** A new method to identify the counterfeit note based on anti-Stokes effect of infrared laser by experiment is mainly discussed. Under the fundamental of analyzing the basic principles of anti-Stokes effect of infrared laser, an experimental system with tunable infrared laser to measure the anti-Stokes effect of bank notes is set up and the experiment of optimum stimulated emitted light-wavelength analysis is finished; the 980 nm infrared laser is used to irradiate the anti-counterfeit windows of the real note and the counterfeit one, and the comparative study of their stimulated emitted light images using CCD is completed. The results of this experiment show that: Under the irradiating of laser, the real note can emerge stimulated emitted light with two wave crests around 640~670 nm and 530~560 nm, respectively, while there is nothing coming up on the counterfeit note; The wavelength of stimulated emitted lights for 10, 20, 50 and 100 yuan RMB are nearly the same; It is effective in identification of the counterfeit note to add an optical filter when the phenomenon is recorded by photographing using CCD. The results of the experiment prove that the technology on identify of counterfeit note based on anti-Stokes effect of infrared laser is feasible, meanwhile, it provides lessons for anti-counterfeit system of note.

**Key words** laser optics; anti-counterfeiting banknote; anti-Stokes effect; stimulated emitted light

**OCIS codes** 140.3070; 240.2510; 040.3060; 300.6340

## 1 引言

钞票防伪技术对维护正常的经济秩序和货币的稳定具有十分重要的意义。随着金融自动化的发展,现金防伪识别的手段在不断革新,国内已有多种辨伪的方法<sup>[1]</sup>,如磁性检伪、紫外荧光光谱法检伪、光反射法检伪、红外透射法检伪、厚度检测法检伪和宽度检测法检伪,同时用检测紫外荧光、光投射、光反射以及磁性分布法检伪,利用神经网络进行高速识别纸币特征的研究等。国外专家学者也在不断地研究和探索:利用神经

收稿日期:2012-05-20;收到修改稿日期:2012-07-01;网络出版日期:2012-09-10

基金项目:国防科学技术大学校级资助课题。

作者简介:朱蓉(1991—),女,本科生,主要从事激光光学方面的研究。E-mail:294889072@qq.com

网络系统去分析、识别纸币的特征信号<sup>[2]</sup>；利用遗传算法分析、识别纸币的特征信号；利用在纸币上安装超小型芯片方法分析、识别纸币的特征。国内外学者在红外激光纸币防伪方面，也做了一些初步研究。贾红辉等<sup>[3]</sup>研究了基于红外-可见光上转换材料的激光防伪识别器，给出了激发波长的一个可行波段，证明了利用红外激光进行纸币防伪的可行性；同时也有一些专利，如欧阳伟<sup>[4]</sup>申请的一种验钞机专利，贾喆<sup>[5]</sup>申请的点验钞收款机专利，它们均能实现红外线验钞。但是目前国内外还没有出现或公开对其进行更深层次的定量分析，未给出最佳激发波长和受激发波长峰值的准确位置。

本文通过实验研究基于反斯托克斯效应的红外激光荧光方法，利用钞票的荧光光谱效应进行真假币的荧光光谱法识别，得到了真假币的受激发射光谱图，并找到了最佳激发波长，同时准确测出了真币受激发波长峰值的位置，为防伪设备的生产提出了指导性建议，对纸币防伪技术的发展提供了借鉴。

## 2 反斯托克斯效应与上转换材料

### 2.1 反斯托克斯效应

当高能量短波长光线射入某些物质时，物质中的电子吸收能量，从基态跃迁至高能级；由于电子处在高能级不稳定，就会从高能级跃迁至低能级，从而释放出能量发出荧光，此为荧光效应<sup>[6]</sup>。产生荧光必须具备以下条件：1) 该物质分子必须具有与所照射的光线相同的频率，这与分子的结构密切相关；2) 吸收了与本身特征频率相同的能量之后的物质分子必须具有高的荧光效率。因此荧光必须在外界光线照射下才能产生，它们不像普通光线那样产生热效应，所以又称之为冷光。冷光的一个特性是其颜色与入射光波长无关，只与发光的物质本身的能级结构有关。

当频率为  $\nu_0$  的单色光入射到透明的气体，液体，或固体材料上时，会产生光散射现象。若在散射光中除了存在入射光频率  $\nu_0$  外，还观察到频率为  $\nu_0 \pm \Delta\nu$  的新成分。这种频率发生改变的光散射现象，被称为拉曼效应。光谱中，在激发光的每条光谱线两旁出现一些强度很弱的伴线，其中频率低于入射光频率的那些伴线称为斯托克斯伴线或红伴线；中央的是瑞利散射线，也可叫做激发线，它的频率与入射光的频率相等；频率高于入射频率的伴线称之为反斯托克斯伴线，或叫紫伴线。其中反斯托克斯线的强度远弱于斯托克斯线，但其作用很大。这种用长波长(较低能量)光子激发而得到短波长(较高能量)光子的荧光现象称为反斯托克斯荧光效应。

### 2.2 红外-可见光上转换材料

上转换<sup>[7]</sup>是将长波长光转换为短波长光发射的过程。上转换材料是一种红外光激发下能发出可见光的发光材料，即将红外光转换成可见光的材料。其特点是所吸收的光子能量低于发射的光子能量，这种现象违背斯托克斯定律，因此又被称为反斯托克斯定律发光材料。2005年版百元纸币正面“中国人民银行”的“人民”下方处大小为 15 mm×12 mm 的矩形区域中就添加有此类物质，因此在用红外线进行照射时能够反射黄绿色的荧光。

## 3 受激发波长的测定实验

### 3.1 实验系统

图 1 为测试受激发波长的实验图，主要由红外半导体激光器、反射镜、人民币和光谱仪组成。其中红外半导体激光器的峰值波长为 978 nm、带宽为 3 nm；反射镜用来调整发射位置以便更好地照射到人民币上；光谱仪器采用海洋光学的光纤光栅光谱仪，主要用来测量受激辐射光谱强度和峰宽的变化。

### 3.2 实验结果与分析

#### 1) 受激峰值波长

使用中心波长约为 978 nm 的红外半导体激光器照

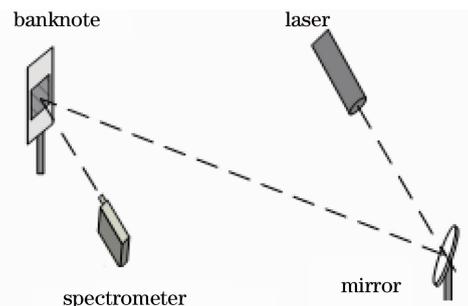


图 1 纸币激光鉴别测量实验图

Fig. 1 Schematic diagram of identifying and measuring the paper money by laser

射真、假纸币的防伪窗口,并用光纤光栅光谱仪测量,真钞的实验结果如图2所示。

从实验结果可以看出,1)假币上没有出现受激辐射峰;2)真币上辐射的受激波长分别在640~670 nm、530~560 nm波段有峰值,其中640~670 nm的辐射峰值较高。

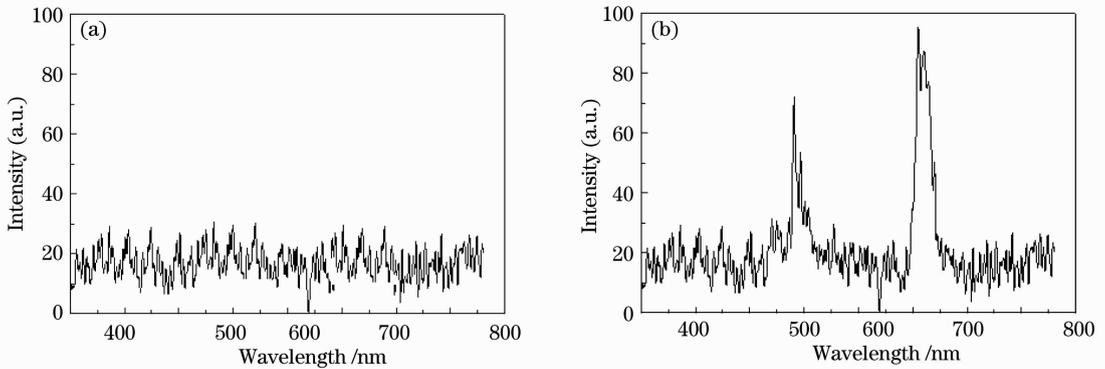


图2 978 nm 激光辐射下受激发射光谱。(a)假币上的光谱;(b)真币上的光谱

Fig. 2 Stimulated emission spectrum pumped by 978 nm laser. (a) Spectrum for counterfeit money; (b) spectrum for real money

## 2) 不同币值受激发实验

分别对10、20、50、100元真币,开展了激光辐照光谱实验,其实验结果如图3所示,图3(a)为不同币值的受激辐射波长值,图3(b)为分别对不同币值的纸币各测试了5张得到的受激波长640~670 nm的面积与受激波长530~560 nm波段的比值图,即:

$$R = \frac{S_1}{S_2},$$

式中  $S_1, S_2$  分别表示对受激光谱中640~670 nm及530~560 nm波段进行积分求的面积。

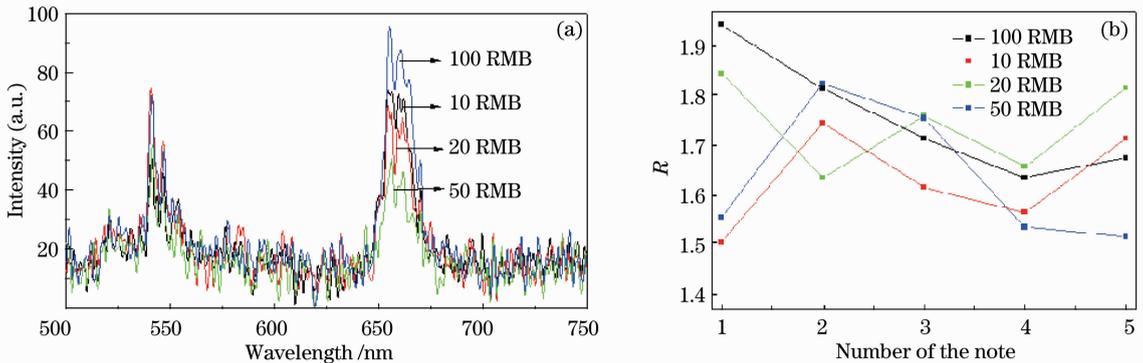


图3 (a) 978 nm 激光辐照下不同币值纸币受激发射光谱及(b)不同币值归一化结果

Fig. 3 (a) Stimulated emission spectrum pumped by 978 nm laser in different currency values and (b) normalized result of different currency value

从实验结果中可以看出,1)在978 nm激光辐照下,10、20、50、100元真币均有较好的受激辐射波长,且位置差别不大;2)在误差允许的前提下,不同次数、不同币值的受激辐射波长640~670 nm的面积与530~560 nm波段的比值相差不大。

## 4 CCD 拍照成像实验

考虑到验钞机一般不采用人眼识别,而采用机读信号,因此,在黑暗环境下用普通的可见光照相机完成了用红外激发光源对真假币拍照成像实验。实验结果如图4所示。实验结果发现,由于CCD探测器对978 nm的近红外反射激光有响应,被反射的红外激光信号强度远大于受激发光的信号,真、假币红外光照射

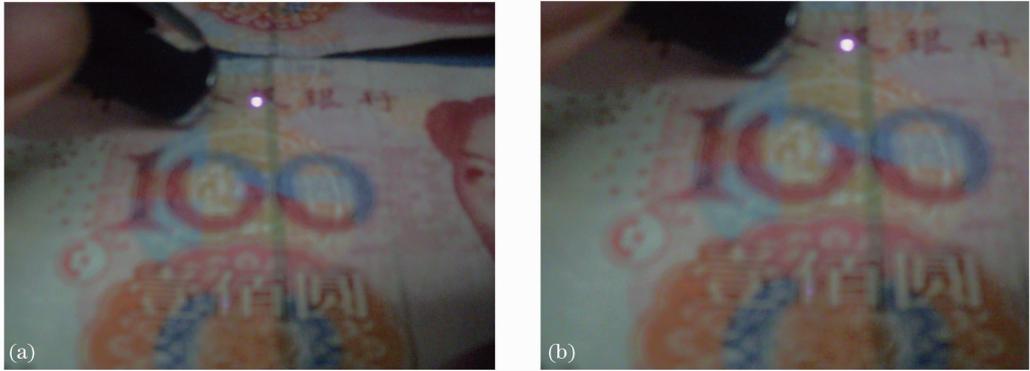


图 4 (a)币真和(b)假币红外光激发实验图

Fig. 4 Experimental picture of the (a) real and (b) counterfeit money stimulated by infrared laser

的部位都出现了亮点,严重地影响了基于反斯托克斯效应的红外激光纸币防伪的应用。

在 CCD 前面加装一低通滤光片(800 nm 以上透射率小于 1%,640~670 nm 平均透射率 85%,530~560 nm 波段平均透射 82%)后,拍照图像如图 5 所示。从图中可以看出,真币的防伪窗口上有亮点,假币没有受激光辐射出来。



图 5 加滤光片后的(a)真币和(b)假币效果

Fig. 5 Effects at (a) real and (b) counterfeit money after adding optical filter

## 5 结 论

在分析激光反斯托克斯荧光基本原理基础上,搭建了波长可调红外激光器测试纸币反斯托克斯荧光实验系统,完成分析最佳受激波长和利用数码相机对真假币成像对比实验。实验结果表明:1)激光辐照下,真币在 640~670 nm、530~560 nm 分别波段有受激辐射峰值,而假币上没有;2) 10、20、50 和 100 元不同的币值受激发的波长都相近;3)利用数码相机拍红外激光辐照的图像时,加上特定波段的滤光片可以很好地实现真假币的防伪识别。其实验结果验证了基于反斯托克斯效应的红外激光纸币防伪技术是可行的,同时为验钞防伪系统提供借鉴。

## 参 考 文 献

- 1 Tang Chunhui. Techniques of discriminating machine for RMB[J]. *Instrumentation Technology*, 2005, (4): 80~81  
唐春晖. 人民币伪钞鉴别仪的鉴伪技术[J]. *仪表技术*, 2005, (4): 80~81
- 2 F. Takeda, S. Omatu. High speed paper currency recognition by neural networks [J]. *IEEE Trans. Neural Network*, 1995, 6(1): 73~77
- 3 Jia Honghui, Zhang Xue' ao, Zhang Hailiang *et al.*. A laser anti-counterfeiting recognition based on infrared-visible up-conversion material[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, 36(s2): 393~395  
贾红辉, 张学骛, 张海良 等. 基于红外-可见光上转换材料的激光防伪识别器[J]. *中国激光*, 2009, 36(s2): 393~395

- 4 欧阳伟. 一种验钞机[P]. 中国专利:02218424, 2002-12-18
- 5 贾 哨. 点验钞收款机[P]. 中国专利:200820168799, 2009-08-26
- 6 Chen Shugen, Jiang Heping, Zhou Gaobei. Study of the banknote recognition based on the fluorescence spectral analysis [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2001, **30**(4): 174~177  
陈树根, 江和平, 周高杯. 基于荧光光谱分析的钞票识别研究[J]. *红外与激光工程*, 2001, **30**(4): 174~177
- 7 Wang Xinfu. Detecting sensor of infrared up-conversion materials emitted light[J]. *Laser and Infrared*, 2003, (4): 36~42  
王信甫. 红外上转换材料发光检测传感器[J]. *激光与红外*, 2003, (4): 36~42