

电子俘获型红外上转换屏

范文慧 侯 洵^{a)} 王永昌

刘 英^{a)} 过晓晖^{a)} 杜 力^{a)}

(西安交通大学理学院现代物理研究所, 西安 710049)

^{a)} (中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

摘要 利用溶液悬浮分层提取技术获得粒度较为一致的电子俘获材料 (ETM) 粉末, 考虑 ETM 屏空间分辨率、红外 \rightarrow 可见发光亮度、ETM 化学稳定性和膜层均匀性等因素, 采用不同方法制作了 ETM 屏, 较好地解决了 ETM 膜层均匀性及器件封装后的化学稳定性等问题, 并通过测试比较, 提出了一种兼顾空间分辨率和红外上转换发光亮度的微镶嵌屏制作技术方案.

关键词 电子俘获材料, 红外上转换, 微镶嵌

1 引 言

近年来, 随着激光和光存储技术的飞速发展, 电子俘获材料 (ETM-Electron Trapping Material) 作为一种使用方便、很有前途的新型光子学材料, 在红外探测、红外上转换成像、光存储、光学信息处理、辐射剂量测定等方面具有广阔的应用前景, 愈来愈引起人们的广泛重视^[1-5]. 研究表明^[6,7], 这类由带隙宽为 $4\sim 5\text{eV}$ 的碱土金属硫化物 (AES) 和掺入其中的两种稀土离子组成的新型光学功能材料 AES: D₁, D₂具有两个显著特性: (1) 室温下可实现红外 \rightarrow 可见转换, (2) 能将光信息以陷阱电子形式长期存储. 作为一种红外上转换途径, 电子俘获材料具有线性动态范围大、量子转换效率高、红外响应时间短、响应范围宽($0.8\sim 1.6\mu\text{m}$)、使用方便(室温下工作, 不需制冷)、热稳定性好、造价低等优点. 利用 ETM 制作的红外上转换屏作为一种极为方便的波长转换器件, 可用于快速红外过程研究, 并有望使可见光探测器 (例如: 光电倍增管、CCD 以及条纹相机、像增强器等) 应用到红外波段.

作者在对 ETM 快速红外上转换特性^[8]和红外最小可激发阈值^[9]研究的基础上, 为了研制一种基于 ETM 红外上转换屏的新型组合式红外阴极, 利用溶液悬浮分层提取技术获得了粒度较为一致的 ETM 粉末, 考虑到空间分辨率、红外 \rightarrow 可见发光亮度、ETM 化学稳定性以及膜层均匀性等因素, 采用不同方法制作了几种 ETM 屏, 不仅较好地解决了 ETM 屏制作过程中膜层均匀性及器件封装后的化学稳定性等问题, 而且通过测试比较, 提出了一种兼顾 ETM 屏空间分辨率和红外上转换发光亮度的微镶嵌屏制作技术方案.

2 实验方法与结果

以碱土金属硫化物为基质材料的 ETM 有一个显著特点就是易水解, 在空气中久置

1998年3月23日收到

会因吸湿和与 CO_2 反应引起材料质变，从而造成发光效率显著下降，甚至不发光。利用 ETM 制作红外上转换屏，既要考虑 ETM 的化学稳定性，还应考虑 ETM 屏的空间分辨率、红外 \rightarrow 可见转换效率和膜层均匀性等因素，这就需要在 ETM 粉末粒度、膜厚以及制作方法上进行研究。

2. 1 粒度与膜厚

ETM 屏的空间分辨率、转换效率与电子俘获材料粉末粒度及膜厚直接有关。粒度愈小，膜层愈薄，则光在膜层中的散射愈小，ETM 屏的空间分辨率就愈高。但对发光材料而言，粒度过小，则可能因基质材料晶格被严重破坏而导致发光亮并锐减；膜层太薄，又会因入射光不能被充分吸收而引起 ETM 屏红外上转换效率下降。为保证有足够的上转换发光效率和发光亮度，要求 ETM 粒度大、膜层厚，但这与提高空间分辨率相矛盾。因而制屏前不仅要要对 ETM 粉末粒度进行仔细分选，而且在制屏时还应根据屏的制作方法和使用方式，确定最佳的膜层厚度。

作者采用溶液悬浮分层提取技术获得了粒度较为一致的 ETM 粉末，利用它制作 ETM 屏不仅较好地兼顾了空间分辨率与转换效率的要求，而且提高了膜层的均匀性。具体做法是将选用的 ETM 粉经过充分研磨过筛后，加入一定量的无水乙醇 (AR 级) 配成悬浮液，在室温下 ($\sim 20^\circ\text{C}$) 分别静置3、0.5和 1小时，得到了1[#]、2[#]、3[#]三种粒度不同的 ETM 粉末，经扫描电镜拍照分析可知：1[#] 粒径 $< 16\mu\text{m}$ ，2[#] 粒径 $< 8\mu\text{m}$ ，3[#] 粒径 $< 5\mu\text{m}$ ，如图1所示。



图1 不同粒度 ETM 粉扫描电镜照片

Fig. 1 SEM micrographs of selected ETM in different size.

为了同时满足对发光亮度和空间分辨率的要求，参考应用于变象管或象增强器中荧光粉的粒度大小，我们选用 ETM 粉末的线性尺寸通常在 $2\sim 5\mu\text{m}$ 。

关于膜厚的研究 (图2) 表明，采用常规荧光屏的制作方法，ETM 膜厚大于 $80\sim 100\mu\text{m}$ 时，其空间分辨率 $< 10\text{lp/mm}$ ，这与我们期望的 20lp/mm 相距甚远；而当膜厚 $\sim 1\mu\text{m}$ 时，空间分辨率虽远远超过我们的期望值，但转换效率不高。此外，我们认为如果要同时兼顾空间分辨率和转换效率要求，除了寻找最佳粒度和膜厚外，还应在屏的制作方法上进行研究。

2. 2 ETM 屏制作

考虑到 ETM 屏空间分辨率、转换效率、ETM 化学稳定性和膜层均匀性等主要因

素，我们采用不同方法制作了 ETM 屏 (图3)，并进行了测试比较 (表1)。

3 讨 论

作者从制作方法的难易程度、膜层均匀性、红外→可见发光亮度、空间分辨率等方面对采用不同方案制作的 ETM 屏进行了比较，见表2。由表2可知，MCP 屏较好地兼顾了空间分辨率和膜厚的要求，在此基础上，作者提出了一种兼顾空间分辨和红外上转换发光亮度的基于光纤面板的微镶嵌屏制作方案。

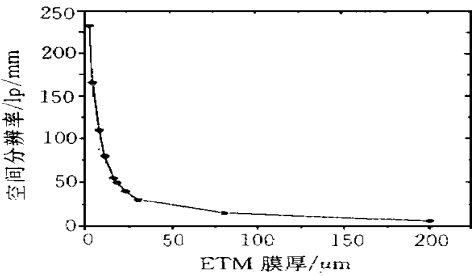


图2 ETM 屏膜厚与空间分辨率关系
Fig. 2 Space resolution as a function of the thickness of ETM film.

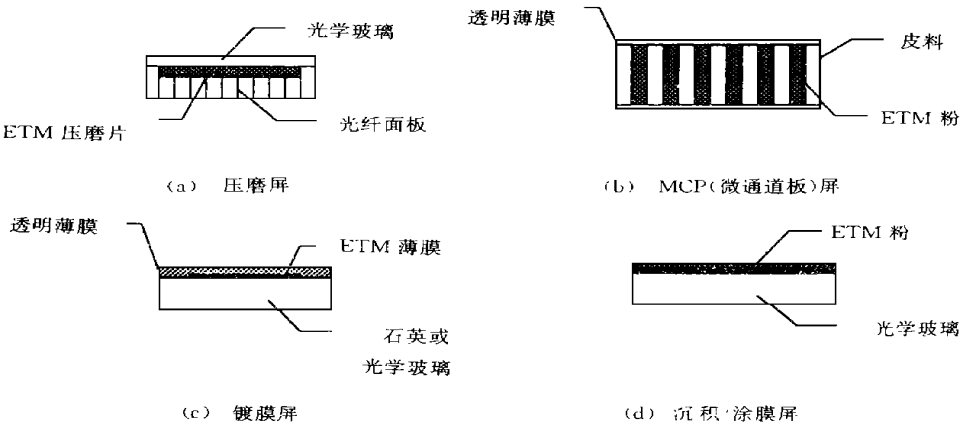


图3 几种制作 ETM 转换屏的方法
Fig. 3 Several methods of making ETM-based screen.

表1 不同方案制作的 ETM 屏

Table 1 ETM-based screens made in different methods.

制作方法	压磨屏	MCP 屏	镀膜屏	涂膜屏	沉积屏
空间分辨率 (lp/mm)	11~12	30	50	20	5~6
膜 厚	110~120 μm, 最小80 μm	~500 μm	1~4 μm	20~30 μm	200~300 μm

所谓微镶嵌屏就是用化腐蚀或等离子体刻蚀等方法将光纤面板的芯料除去一个薄层，形成众多凹陷的微孔，然后用离心法或超声振荡法在微孔内充填分选过粒度的 ETM 粉，最后用光学玻璃或光纤面板封接，将 ETM 粉密封在各个微孔内，使之免受潮湿空气的影响，如图4所示。

表2 几种 ETM 屏的特点

Table 2 The features of several kinds of ETM-based screens.

制作方法	压磨屏	MCP 屏	镀膜屏	涂膜屏	沉积屏
特点	工艺复杂，成本较高，膜厚很难<80 μm，故分辨率不够高；封装严密，膜屏均匀性好。	ET 粉填塞不易，均匀性有待提高；空间分辨率高，发光亮度高	膜层均匀性好，但无法做厚（易龟裂），发光亮度不够高；空间分辨率高	制作容易，膜层均匀性差，膜厚不易控制，发光亮度、空间分辨率受粉层厚度影响较大	制作容易，膜层均匀性好，膜厚不易控制，发光亮度、空间分辨率受粉层厚度影响较大

利用微镶嵌屏技术制作的 ETM 屏可有效减小光弥散，从而提高图象分辨率，其空间分辨率主要取决于光纤面板的单根光纤直径、排列方法和光纤中心距。对六角形紧密排列的光纤面板，其有效传光面积可达 90.7%，极限分辨率^[10]为：

$$N = \frac{1}{3d}$$

其中 d 为单根光纤直径(单位：mm)。这样，当单根光纤径直为 $8\mu\text{m}$ 时，其空间分辨率约为 72lp/mm ，远大于我们期望的 20lp/mm 。

采用镶嵌技术，ETM 膜厚（即微孔深度）的变化不影响空间分辨率，故可根据使用要求确定 ETM 膜厚以充分吸收激励能量，提高转换效率。由于光纤面板优良的传光性能，这种方法制作的 ETM 屏还因减少了光图象在传递过程中的弥散而有利于提高组合红外光电阴极的探测灵敏度和时间分辨率。

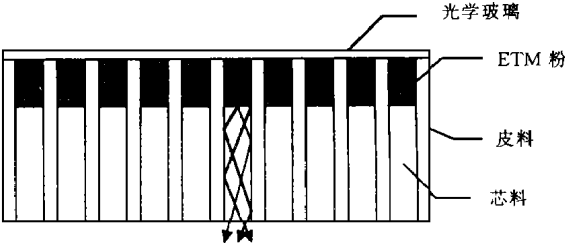


图4 基于光纤面板的微镶嵌技术
Fig. 4 The technique of microporous filling based on FOP.

参 考 文 献

[1] Lindmayer J. Solid State Technology, 1988, **31** (8) : 135.
[2] Jutamulia S, Storti G M, Seiderman W *et al*. Appl. Opt., 1993, **32** (5) : 743.
[3] Wen Z, Farhat N H, Zhao Z J. Appl. Opt., 1993, **32** (35) : 7251.
[4] Shuchun Chen , Fengmei Dai. Chinese J. Lasers, 1993, **B2** (1) : 67.
[5] 范文慧, 王永昌, 刘 英等. 光学学报, 1998, **18** (5) : 591.
[6] 范文慧, 王永昌, 龚 平等. 光子学报, 1997, **26** (9) : 803.
[7] 范文慧, 王永昌, 杜 力等. 光学学报, 1998, **18** (6) : 813.
[8] 范文慧, 王永昌, 侯 洵等. 电子俘获材料的皮秒红外脉冲激励发光, 中国激光, 1999, (待发表).
[9] 范文慧, 王永昌, 侯 洵等. 电子俘获材料的红外最小可激发阈值, 中国激光, 1999, (待发表).
[10] 朱耀武, 王春誉. 物理, 1995, **24** (4) : 223.

INFRARED UPCONVERSION SCREEN BASED ON ELECTRON TRAPPING MATERIAL

Fan Wenhui Hou Xun^{a)} Wang Yongchang

Liu Ying^{a)} Guo Xiaohui^{a)} Du li^{a)}

(*Institute of Modern Physics, School of Science, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049*)

^{a)} (*Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics,*

Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068)

Abstract

The powder of electron trapping material (ETM) with the same size was obtained by means of the technique on extracting suspended substance in different layers from the solution of alcohol. According to the major factors on ETM-based screen such as space resolution, infrared upconversion luminance, chemical stability and uniformity, a few kinds of ETM-based screens were made in different methods. The technique of microporous filling was put forward by comparing above several kinds of screens.

Key words electron trapping material, infrared upconversion, microporous filling