

# 重铬酸铵明胶微透镜阵列的研究

庄思聪 朱瑞兴

(上海师范大学物理系, 上海 200234)

**摘 要** 根据重铬酸铵明胶在受光照后发生交联的原理, 采用重铬酸铵明胶作材料制作了微透镜阵列。讨论了制作微透镜阵列的最佳技术条件。提出了已制成的微透镜阵列的一些技术参数。

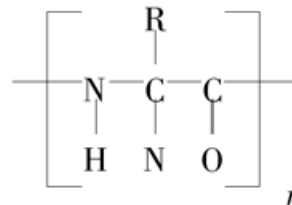
**关键词** 微透镜, 微透镜阵列, 重铬酸铵明胶。

## 1 引 言

近年来, 国外不少文献报道了在一些光学装置中运用微透镜阵列, 例如用微透镜阵列进行三维立体电视或图象的显示<sup>[1, 2]</sup>; 用微透镜阵列进行光信息处理, 构成光学形状识别系统<sup>[3, 4]</sup>; 当前有一些低照度摄像机也采用微透镜阵列, 用于光线的聚集。微透镜阵列通常有二种类型: 一种是折射率有梯度的平面型微透镜<sup>[3, 4]</sup>, 另一种则是折射率均匀的球冠型的微透镜<sup>[1, 2]</sup>。目前球冠型透镜阵列大多采用光致抗蚀剂作为制作材料<sup>[5]</sup>。常用的光致抗蚀剂一般为棕色, 因而它在彩色显示中的应用受到了限制。寻求一种能用于彩色显示的微透镜阵列的材料及其制作工艺具有较大的意义。本文将讨论以重铬酸铵明胶为材料制作微透镜阵列的方法; 此方法具有工艺简单, 取材方便, 无需昂贵的专用设备等优点, 很有实用价值。

## 2 明胶的光学特性

明胶是从动物的皮、骨和筋腱中的蛋白质组织——胶原大分子分解产生的混合物。作为蛋白质, 明胶是多种氨基酸的混合物。它们的化学结构通式可表示为:

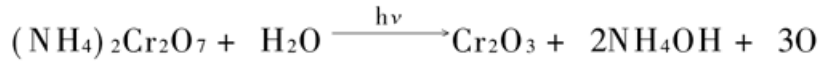


式中  $n$  代表 500 到 1000 个氨基酸单位,  $R$  代表含有活性基团的氨基酸侧链, 正是这些活性基团使明胶可溶于水。明胶分子在温度高于  $40^{\circ}\text{C}$  的水溶液中以单链形式存在。当温度保持在  $30^{\circ}\text{C}$  以下时, 即使浓度仅为 1% 的明胶溶液也会胶凝, 呈现出橡胶状的机械性质。这种凝胶相是由明胶分子的三维网络组成的。

在温度较低的时候, 凝胶薄层能干燥成薄膜, 薄膜相当牢固, 不易破碎。薄膜可以通过

烘烤、紫外辐照或用化学方法硬化。经过这样处理, 它的某些链被破坏, 并且排列成更加稳定的三维网络。由于硬化作用, 明胶的硬度增加、溶解度降低、熔点升高。

如果在明胶中掺入重铬酸盐, 经光照就会变得不溶解于水。例如掺入重铬酸铵  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  的明胶, 其铬离子  $\text{Cr}^{6+}$  从水溶液中扩散到明胶层中, 但不能直接与明胶作用。经光照, 六价铬离子吸收光量子后成为激发态, 在明胶中发生还原反应, 六价铬离子被还原成三价铬离子。



三价铬离子与明胶中含有未共享电子对的氮原子和氧原子形成配位共价键, 使明胶大分子间发生交联, 形成网状结构, 成为不溶性的络合物。

因为所有的化学反应都在明胶层内进行, 所以这种硬化过程较将单一的明胶用紫外线辐照和烘烤等外部引入的硬化过程更为有效。

这样, 重铬酸盐明胶经过光照的部分与不经过光照的部分, 它们的水溶性明显不同: 经光照的部分不溶于水, 而未经光照的部分溶于水。因此重铬酸盐明胶可用作“光致抗蚀剂”, 用来制作图象的浮雕像。

### 3 实 验

微透镜阵列的制作过程如图 1 中(a)~(d)所示, 包括制版、曝光、腐蚀和烘烤等过程, 现将各过程分别详述如下:

#### 3.1 重铬酸铵明胶溶液的配制

重铬酸铵明胶溶液是在明胶溶液中加入重铬酸铵配制而成。先分别配制成一定浓度的明胶溶液和重铬酸铵溶液, 然后按一定比例将两种溶液混合在一起, 配成重铬酸铵明胶溶液。本实验采用冻力强度为 250 g 的照相明胶为制作材料。

#### 3.2 干板的制作

在光学玻璃平板上的中央滴入一滴配制好的重铬酸铵溶液。盖上玻璃基片, 使两者之间保持一定的间隙。由于玻璃基片与光学玻璃平板之间的间隙较小, 溶液向四周扩散而充满其间隙。然后经冷冻使之胶凝。将玻璃基片连带胶凝膜从玻璃平板上剥离下来, 让它自然干燥一昼夜, 厚度均匀的明胶薄膜干板就制成了。

明胶层的厚度可以很方便地通过调节玻璃基片与光学玻璃平板之间的间隙或溶液的浓度来改变。这种方法比采用从明胶溶液中提拉基片的方法厚度均匀得多, 比在基片上刮涂明胶溶液的方法也简便得多, 而且不需要任何专用设备。

#### 3.3 曝 光

曝光的光源为高压汞灯。制备好的干板上覆盖掩模板, 掩模板的图案可以根据要求自行设计。本实验使用的掩模板上部分图案如图 2 所示。

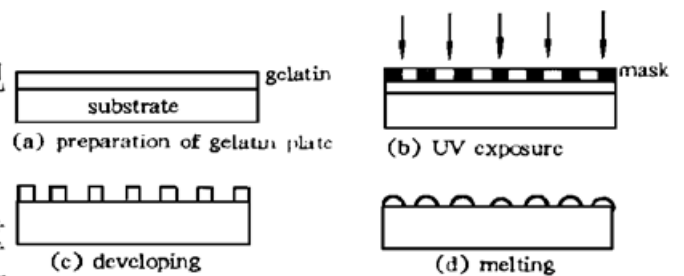


Fig. 1 The procedure for making microlens array

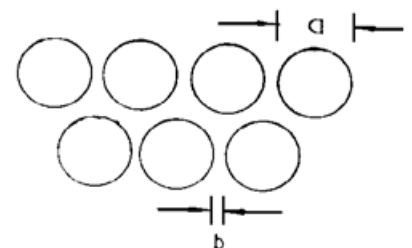


Fig. 2 The lens aperture  $D$  and the interval  $d$  of the microlens array

### 3.4 腐 蚀

将经过曝光的干板浸入一定温度的去离子水中,其中未经曝光的明胶经过一定的时间就完全溶解于水,但经过曝光的明胶即使在温度较高的水中也很少溶解。由于明胶的这种性质,可将不需要的明胶清洗掉,从而在基板上留下一个个明胶圆柱体。

### 3.5 烘 烤

将载有明胶圆柱体的基片送入烤箱中,在一定温度下,明胶开始熔化。依靠本身的表面张力,圆柱体收缩成球冠状。再取出在空气中慢慢冷却,最终形成微透镜阵列。

## 4 结果和讨论

### 4.1 微透镜阵列材料的光学特性

根据样品在平面光栅单色仪上实测的结果,重铬酸铵明胶经漂白之后形成的明胶薄膜在可见光范围内的透射率有着较平坦的光谱特性,如图3所示,有利于在彩色显示中应用。同时从图上也可以看出明胶薄膜对于可见光的透射率较大,明胶薄膜的透射率可大于80%。

### 4.2 微透镜阵列的制作工艺

实验中的每一步,即溶液的配制、干板的制作、曝光、腐蚀及烘烤对微透镜阵列的制作质量都有很大的影响。

1) 重铬酸铵明胶溶液的浓度:重铬酸盐可以是铵、钾或钠盐。经试验,发现重铬酸铵明胶无论在感光度还是在水溶性方面都较其它两种优越,所以本实验采用重铬酸铵明胶。经多次试验,较为理想的重铬酸铵明胶溶液中明胶的浓度为15%,重铬酸铵的浓度为0.5%。

2) 曝光量的选择 使用装有功率为250 W 高压汞灯的光刻机作曝光,曝光时间为60 s。这曝光量足以使重铬酸铵明胶曝光部分发生交联而固化。过多的曝光时间容易使掩模板下不应曝光的重铬酸铵明胶受到杂散光的照射,变得不易溶解于水。

3) 腐蚀水温的控制 在腐蚀过程中,经曝光的明胶浸入水后,会吸收水分而引起一定程度的膨胀。过分的膨胀会使透镜的形状变坏。膨胀的多少与曝光量的大小,重铬酸铵在明胶中的浓度以及腐蚀时去离子水的水温等因素有关。可以通过控制水温将膨胀控制在一定程度的范围内。较为理想的水温为40℃左右。

4) 烘烤时的注意点 在烘烤过程中有两个注意点:一是烘烤之前,应确保明胶表面的干燥,即在相邻圆柱体之间不应有残留的水分,否则在烘烤过程中相邻的明胶圆柱体会溶解于残留的水分中而重新连结起来。二是烘烤温度的上升速率的选择,过快的温度上升速率使明胶过快地干燥,容易在明胶内部形成小气泡而影响透明度。在实验中,烤箱温度从30℃上升到45℃经过了30分钟,即每分钟升高0.5℃较为适宜。

### 4.3 微透镜阵列的特征

1) 微透镜孔径大小  $D$ :微透镜阵列中微透镜的排列情况如图2所示。每个透镜的孔径大小为123  $\mu\text{m}$ 。两个相邻透镜相隔的距离为10  $\mu\text{m}$ 。

2) 透镜的焦距  $f$ :透镜焦距的定义为透镜的顶点至焦点的距离<sup>[6]</sup>,如图4所示。经测量,焦距  $f = 180 \mu\text{m}$ 。

由此可以推得每个微透镜的数值孔径(N.A.)的大小为:

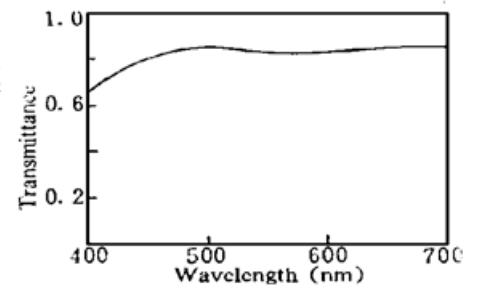


Fig. 3 The transmittance spectrum of the gelatin film

$$N.A. = 0.5 \times \frac{D}{f} = 0.5 \times \frac{123}{180} = 0.33$$

3) 聚焦点的光强分布及光斑宽度: 焦点光强分布是通过线阵电荷耦合器件(CCD)将光强分布转换成电信号由示波器显示。实验装置如图 5 所示。通过示波器显示的聚焦点光强分布情况如图 6 所示, 每二个峰之间的距离对应  $123 \mu\text{m}$ , 按此比例可推得光斑的半宽度为  $12.3 \mu\text{m}$ 。

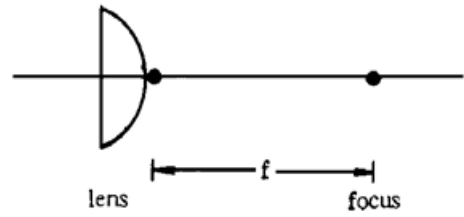


Fig. 4 The definition of focal length

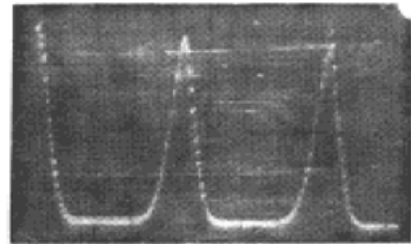
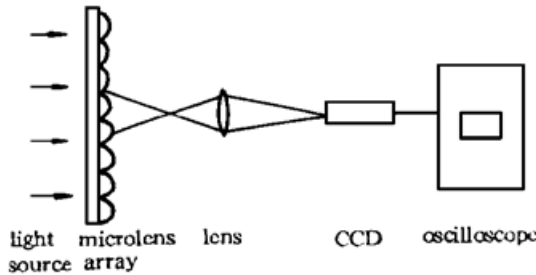


Fig. 5 The apparatus for determining light intensity distribution at the focus

Fig. 6 The light intensity distribution at the focus

#### 4.4 微透镜阵列的成像情况

图 7 和图 8 分别是一个字母 "F" 和光栅通过微透镜阵列而成的像。这两个像很像昆虫透过复眼所看到物体的情形。由图可见成像清晰。

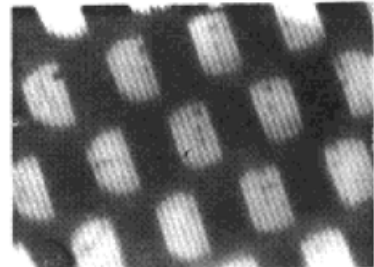
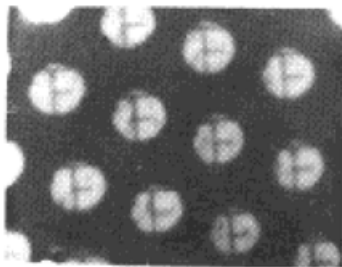


Fig. 7 Micrographs of a letter "F" imaged through the microlenses

Fig. 8 Micrographs of a grating imaged through the microlenses

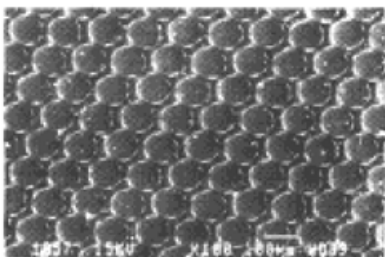


Fig. 9 Scanning electron micrograph of a part of the microlens array

图 9 为微透镜阵列的扫描电子显微镜图像, 从图中可以看出各透镜的形状均匀一致。

制成的样品在通常的环境中已历经二年时间, 再测试, 性能未见改变。放在干燥的烘箱内进行破坏试验, 当温度大与  $50^{\circ}\text{C}$ , 部分微透镜形状会有所改变, 但冷却后可恢复原状。

用以上方法制作微透镜阵列的过程中, 相邻明胶圆柱体之间容易残留多余的明胶, 引起圆柱体间的粘连, 从而使得圆柱体在烘烤时因受张力不匀而不能形成球冠状, 所以在制作时要特别注意。

**结 论** 本文利用重铬酸铵明胶受光照后发生交联的原理成功地制成了微透镜阵列。阐明了微透镜阵列的制作工艺、最佳条件以及所制成的微透镜阵列的一些参数。可以看到: 用重铬

酸铵明胶完全可以制成微透镜阵列。本研究开发的制作工艺是切实可行的,不需要昂贵的专用设备,工艺简单,成本低廉。同时用重铬酸铵制成的微透镜阵列为透明无色,成像清晰。可以用于彩色显示中。所以,本研究结果有一定的推广价值。

### 参 考 文 献

- [1] Neil Davies, Three-dimensional imaging systems: A new development. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(21) : 4520~ 4528
- [2] Susumu Ichinose, Full-color stereoscopic video pickup and display technique without special glasses. *SID 89 Digest*, 1989 : 188~ 191
- [3] Masahiro Agu, Multimatched filtering using a microlens array for an optical-neutral pattern recognition system. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(28) : 4087~ 4091
- [4] Atsushi Akiba, Kenichi Iga, Image multiplexer using a planar microlens array. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(28) : 4092~ 4097
- [5] Zoran D. Popovic, Technique for monolithic fabrication of microlens arrays. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(7) : 1281~ 1283
- [6] M. Oikawa, H. Nemoto, Hamanaka *et al.*, High numerical aperture planar microlens with swelled structure. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(28) : 4077~ 4080

## A Novel Microlens Array Made of Ammonium Dichromate Gelatin

Zhuang Sicong      Zhu Ruixing

(*Department of Physics, Shanghai Normal University, Shanghai 200234*)

(Received 1 May 1996; revised 30 December 1996)

**Abstract** Using the reaction of the crosslinking of ammonium dichromate gelatin after irradiation, a novel microlens array was fabricated. The optimum technology of making gelatin microlens array was discussed. The specification data of the array were presented.

**Key words** microlens, microlens array, ammonium dichromate gelatin.