

## 白光再现多色体积全息图的研制\*

张文碧 钟丽云 官爱玲 杨齐民

(云南工业大学激光研究所, 昆明, 650051)

**摘要:** 指出用体积全息制作工艺图片的拍摄方法和用三乙醇胺水溶液预处理干版, 在曝光和相应的化学处理后, 乳胶的厚度被改变, 因而也改变了体积光栅的波长, 使再现全息像的颜色发生变化。还报道了三乙醇胺水溶液的浓度与再现全息像颜色的实验关系, 在同一干版上制作不同或多种颜色全息图案的方法; 如何补偿由于干版不同颜色部分的乳胶收缩不同而造成的再现图像衍射效率的不同。

**关键词:** 体积全息图 化学预处理 体积光栅波长 多色全息图

### Study on multicolor volume hologram of white-light reconstruction

Zhang Wenbi, Zhong Liyun, Gong Ailing, Yang Qimin

(Institute of Laser, Yunnan Polytechnic University, Kunming, 650051)

**Abstract:** This paper presents the prospect, preparing method of the reflecting volume holographic pictures. Before the plate was explored, it was soaked in TEA solution. After explored and chemically processing, the emulsion thickness was changed, so the wavelength of the volume grating and the color of the reconstructed image were changed, too. This paper indicates the relationship of the TEA concentration to color of the reconstructed image, the making method of multicolor hologram in a plate, and points out how to compensate the differences of the diffraction efficiency and color difference.

**Key words:** reflecting volume hologram chemical pretreatment wavelength of volume grating multicolor hologram

### 引 言

反射体积全息作为显示全息已得到较为广泛的应用。国外应用银盐干版作记录材料, 制作的体积全息工艺图片, 版面尺寸大, 景深长, 立体感极强, 还带彩色, 特别是拍摄的某些动物标本, 栩栩如生, 市场情况看好。另外, 可进一步用来拍摄大型广告, 宣传展览品(如文物和贵重珠宝等)。

通常使用  $0.6328\mu\text{m}$  的 He-Ne 激光器拍摄体积全息图, 用常规化学处理方法, 对银盐干版进行处理。用白光再现时, 图像常常变为黄绿色。经过分析不难发现, 这是由于乳胶的厚度被改变了, 因而改变了体积光栅的波长所致。这就不难使人想到, 能否通过不同的化学处理方法, 即用不同的膨胀和收缩量来控制乳胶的厚度, 改变体积光栅的波长, 那么, 再现像将有不同的颜色。

我们用国产银盐干版做记录材料, 通过化学预处理方法获得多种颜色的反射体积全息图, 并用此法制成多色的全息工艺图片<sup>[1]</sup>。由于制作工艺较为简单, 成本低廉, 故便于推向市场。

\* 云南省教委基金资助。

# 1 体积反射全息图片的拍摄

通常一张好的全息工艺图片, 应选择一个造型较好的三维雕塑作为中心, 并适当配于二维图案或少许文字衬托。采用二步法拍摄, 可使再现图像突出在干版前面, 并可获得较大景深。拍摄时应尽量采用原参考光(用平行光)作再现光来再现母全息图, 以减少波像差所造成的图像畸变<sup>[2]</sup>。版面上的少量文字标记可用一步法直接拍摄, 制作标记的模板, 应采用低噪声, 高分辨率和高对比度的银盐干版<sup>[3]</sup>, 且母全息图版面尺寸应尽可能大些, 离拍摄对象也不要太远, 以确保反射全息图有较大的观察视角<sup>[4]</sup>。

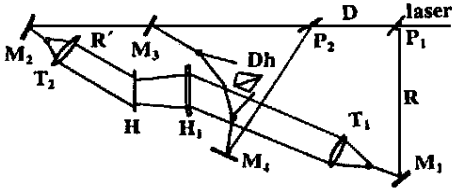


Fig. 1 Recording geometry of reflecting hobgram

拍摄的光路图如图 1 所示。母版全息图 \$H\_1\$ 的拍摄光路: 激光束通过分束镜 \$P\_1\$ 被分为参考光 \$R\$ 和物光 \$O\$, 物光再经分束镜 \$P\_2\$ 分为两束, 经 \$M\_3\$ 和 \$M\_4\$ 反射扩束后, 照射到三维物体上, 经散射后到达 \$H\_1\$。参考光 \$R\$ 经 \$M\_1\$ 反射扩束后, 再经准直镜 \$T\_1\$ 变为平行光, 照射到 \$H\_1\$ 上。

反射体积全息图 \$H\$ 的拍摄光路: 把曝光后经化学处理好的母全息图 \$H\$ 严格复位, 然后, 使它绕光具座的轴旋转 \$180^\circ\$, 就可使原参考光变为逆光路再现时的再现光。\$H\_1\$ 的再现共轭实像到达记录干版 \$H\$ 作为物光。再把反射镜 \$M\_3\$ 换到 \$M\_2\$。原 \$O\$ 光现改作参考 \$R'\$ 光, 经 \$M\_2\$ 反射扩束后, 再经准直镜 \$T\_2\$ 后变为平行光, 照射到记录干版 \$H\$ 上作为参考光。

由于全息图的拍摄要分多次完成, 在每次拍摄时最好把不需要曝光的部分遮住, 让干版的每一部分只受到单次曝光, 特别是对国产干版。

要获得高的衍射效率, 拍摄时各种光学参数的选择固然是重要的, 但笔者从经验和理论分析认为, 对提高反射体积全息的衍射效率, 最有贡献的是体积相位光栅的调制折射率。而化学处理对提高调制折射率的作用, 远比拍摄参数的选择重要得多, 故应在此多下功夫, 方能取得较好的效果<sup>[5]</sup>。

# 2 再现图像颜色与体积光栅波长的关系

当我们用白光再现拍摄好的体积反射全息图时, 只有满足布喇格条件的波长和入射角, 其再现像的衍射效率最大, 如果波长和入射角有所偏离, 则衍射效率将随之下降至 0<sup>[6]</sup>, 对波长偏离更是特别灵敏, 故虽然是用白光再现, 但也只有单一颜色的再现图像出现。再现像的波长 \$\lambda\_i\$ (颜色) 与体积光栅波长 \$\Lambda\$ 和布喇格角 \$B\$ 的关系为:

$$\lambda_i = 2\Lambda \sin B \quad (1)$$

由于化学处理, 干燥后, 常使干版的乳胶厚度发生改变, 故使得 \$\Lambda\$ 和 \$B\$ 都会发生改变。所以, 再现像的光波长 \$\lambda\_i\$ (颜色) 和入射角度都与原记录使用的不同。

图 2 就是在常见的布喇格角 \$B = 78.9^\circ\$ 下, 再现光的波长 \$\lambda\_i\$ (\$\mu\text{m}\$) 与体积光栅波长 \$\Lambda\$ (\$\mu\text{m}\$) 的关系, 图中纵坐标为 \$\lambda\_i\$, 横坐标为 \$\Lambda\$, 它们都以微米为单位, 再现图像的颜色也标注在其上。

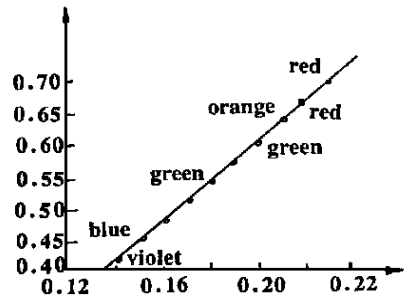


Fig. 2 The relation of reconstruction wavelength and grating wavelength

### 3 从体积反射全息图获得不同颜色再现像的方法

为了控制乳胶的收缩和膨胀,可以采取在曝光前对干版进行预处理,我们选择三乙醇胺(TEA)的水溶液作膨胀剂,在曝光前对银盐干版预浸泡,使乳胶在潮湿状态下膨胀,并快速干燥收缩后,进行曝光、显影和漂白。干燥后乳胶厚度的最终改变,使得体积光栅波长变得与原记录时的不同。由于用不同浓度的TEA水溶液浸泡过的干版,曝光后对显影液的响应性能不同,因此,乳胶的膨胀和收缩量可以得到控制,这也就控制了体积光栅波长的改变量(可得到不同颜色的再现像)和干涉条纹面的倾斜角度的改变量(这使得不同颜色再现像的衍射效率不能在同一再现光下都一致)。

由于预处理过程是非常复杂的过程,它作用于乳胶层后乳胶的膨胀和收缩量与TEA水溶液的浓度、温度、浸泡时间及烘干速度等密切相关,这些因素的改变,都会反映在体积光栅的波长上,使再现光的颜色发生变化。我们通过大量实验,总结出表1

Table 1 The relation of TEA concentration and reconstruction color

TEA concentration (%)	reconstruction color
0	red
5	yellow
8	green
13	blue
15	violet

的实验结果。实验中我们使用的拍摄波长为He-Ne激光器的0.6328 $\mu$ m线,采用国产银盐干版作记录材料。化学处理的条件是控制室温在20 $^{\circ}$ C,在三乙醇胺(TEA)的水溶液中预浸泡5min,然后烘干时间3min。稳定后再曝光,用GP62显影,不定影,而用GP432漂白。在所有实验条件不变的情况下,使用不同浓度的TEA水溶液,对干版进行预处理,可以得到由红到紫所有不同单种颜色的再现全息图像。上述实验表明,在一定条件下,体积光栅波长的改变量是和(TEA)水溶液的浓度成正比的。

### 4 从体积反射全息图获得多种颜色再现像的方法

如果我们想在同一块干版上实现几种颜色的再现像,则需要使同一块干版的不同图像位置处具有不同的体积光栅波长,它们对应着不同颜色的再现像。在实验上,我们采取先用某一浓度的TEA溶液浸泡干版一定时间后,进行曝光拍摄,然后,再用不同浓度的TEA溶液浸泡

Table 2 The relation of TEA concentration and reconstruction color in many times treatment

tims of treatment	TEA concentration (%)	reconstruction color
2	13	green
2	15	violet
3	0	red
3	11	green
3	15	violet
4	0	red
4	5	orange
4	8	green
4	15	violet

干版,再曝光,这样就可以在同一干版上得到不同颜色的全息图像了。浸泡过的干版,尤其是多次浸泡过的干版,其乳胶变得非常脆弱,一定不要对着乳胶面哈气,不要让灰尘落在上面,更不要擦伤乳胶面。否则,损伤乳胶层后,会影响拍摄效果,严重的可导致拍摄失败。

在化学处理时应注意到多次处理和单次处理是不同的,故应严格控制好每次TEA的浓度和浸泡时

间,才能有好的结果。表2是我们得到的实验结果。

参照表1和表2,我们可以事先设计好一个制作多色全息图的工艺,在实验中依据结果对

参数略作修正就可得到满意的结果。在实验中还发现预处理干版的次数是有限的,特别是国产干版。控制不当将会使干版损坏,或是使全息图片的质量下降到无法使用的地步。

我们用上海产的银盐干版研制出衍射效率较高,不同单色颜色和同一干版上有多种颜色的全息图。目前,由于国产干版的乳胶厚度小于进口干版的,干版的其它质量也还存在着不同的差距,故用国产干版拍摄的体积反射全息图的质量,还不如国外的效果好。但由于进口干版价格昂贵,所以,开发高质量的国产干版包括软胶片及其自动冲洗设备,以适应当前市场的需要,已是非常迫切的了。

## 5 干涉条纹面倾斜角的改变对衍射效率的影响

前面已谈到,由于化学预处理使干版的乳胶厚度发生改变,造成再现光的  $\lambda_1$  波长和入射角度都与原记录光的不同。反射体积全息对角度的改变不如对波长那么敏感,即当角度偏离最大衍射效率的角度时,衍射效率并不很快降至 0,而是较缓慢地降至 0。这在单色的情况下,再现时不会造成多大影响。只要把干版略为转动一下,找到再现像衍射效率最大的位置就行了。

但在多色的情况下,由于图像不同颜色部分的乳胶厚度改变量不同。故其对应的再现光入射角改变也不一样,那么,再现光在同一个入射角下再现,图像不同颜色部分的衍射效率将不同。当转动干版时,图像不同颜色部分将轮流产生衍射效率最大,这对显示全息是很不利的。为了克服这种现象,在每拍摄一种颜色图像之前,应把干版转过一个小角度,用来补偿乳胶厚度改变量的不同所造成的再现光入射角改变不同,尽可能使得在同一个入射角下再现时,图像不同颜色部分的衍射效率基本相同。

### 参 考 文 献

- 1 于美文. 光全息学及其应用. 北京: 北京理工大学出版社, 1996: 96~ 98
- 2 钟丽云, 杨齐民, 吕晓旭 *et al.* 光电子·激光, 1999; 10(4): 358
- 3 张文碧, 杨齐民, 钟丽云 *et al.* 激光杂志, 1996; 17(2): 62
- 4 张文碧, 杨齐民, 钟丽云 *et al.* 激光技术, 1994; 18(5): 264~ 26
- 5 钟丽云, 杨齐民, 张文碧 *et al.* 激光技术, 2000; 24(2): 125~ 128
- 6 王永昭. 光学全息. 北京: 机械工业出版社, 1981: 158

\*

\*

\*

作者简介: 张文碧, 女, 1938 年出生。研究员。长期从事激光技术, YAG 晶体生长, 激光全息和光电检测方面的科研工作。

收稿日期: 1999-03-01 收到修改稿日期: 1999-05-27

## 蓝光二极管激光器

为了发展波长为 450nm 的纯蓝光激光二极管, 应用于全色激光显示, 日本一公司的研究人员采用 InGa<sub>N</sub> 材料单量子阱结构制作出波长为 450nm 的纯蓝光激光二极管, 预计寿命可达 200h。尽管用这一方法制作出的二极管寿命较短, 但因波长提高到了 450nm。这是一个显著的进展, 因为通常 InGa<sub>N</sub> 材料量子阱结构制作的激光二极管其波长在 390nm~ 420nm。通过改进 InGa<sub>N</sub> 阱层晶体质量, 将有可能提高二极管的寿命, 并将波长延伸到绿光。

(王 甦 供稿)