

文章编号:1002-2082(2006)06-0531-04

梯度折射率透镜在口腔内窥镜中的设计与应用

张 宇, 秦明新, 罗二平, 李志宏

(陕西省食品药品监督管理局器械处, 西安 710061)

摘要: 作为口腔内窥镜的摄像镜头, 利用梯度折射率透镜质量轻、体积小、结构简单、分辨率高、成像景深大的优点, 研制出一套适合医患交流及进行口腔检查与治疗的医疗装置。采用修正折射率剖面的梯度折射率透镜, 降低系统渐晕, 减小畸变, 获取口腔内部图像, 经CCD光电转换装置转换成电信号, 再将电信号经过数字信号处理以后, 将该数字信息存储于计算机内部或在显示器上显示出来。口腔内窥镜是集梯度折射率透镜、光学原理、光学材料与加工、微电子、数字成像技术等为一体的新型医疗设备。特别是采用经修正的梯度折射率透镜制造的口腔内窥镜成像清晰, 在图像畸变、景深等方面优于现有产品, 而且便于对患者的各种信息进行管理、查询、输出等。

关键词: 口腔内窥镜; 梯度折射率透镜; 数字成像技术

中图分类号:R197.39

文献标志码:A

Design and application of GRIN lens in intraoral camera system

ZHANG Yu, QIN Ming-xin, LUO Er-ping, LI Zhi-hong

(Shaanxi Food and Drug Administrator, Xi'an 710061, China)

Abstract: As a camera lens for intraoral camera system, GRIN (gradient refractive index lens) lens has many merits such as light weight, simple structure, small volume and big focal depth. A heat treatment method is put forward to improve the quality of GRIN lens. The boundary conditions are modified to control the refractive index profile in heat diffusion. GRIN lens can be used to achieve the image for oral cavity and the images are transformed to electrical signals by CCD, then electrical signals are converted into digital signals, stored in computer and displayed on monitor.

Key words: intraoral camera system; gradient refractive index lens; digital imaging technology

引言

口腔内窥镜是近年来国际上最新开发的口腔诊疗设备, 它是集光学、光学材料与加工、微电子、数字成像系统等技术为一体的新型医疗设备。系统由梯度折射率透镜 (gradient refractive index lens)、CCD 光电转换装置、图像控制单元、电子病历等模块组成。

它由高解析度的微型摄像头对患处进行摄像, 经光电转换、数字电路处理后, 清晰地将患处图像

显示在屏幕上。病人可以通过屏幕了解自己患病部位的情况, 对自己的口腔疾病在治疗前、治疗中、治疗后的全过程进行了解, 密切了医患关系。同时, 该机还可以通过多媒体作网上远程会诊、图像资料存贮, 在处理医患关系、医疗纠纷、教学科研等方面都具有较广阔的应用前景。

口腔内窥镜(intraoral camera system)前端安装有 LED 照明光源, 医生可以将摄像头放入患者口腔内, 摄取患者的口腔情况, 将组织显示在

显示器上。由于需要观察口腔内部的情况，要求景深大，在30 mm内都能清楚地成像，而单片球面透镜和非球面透镜都不能实现这种功能。采用新型二次无源离子交换单片梯度折射率成像透镜，既满足了景深的要求，同时又减小了渐晕，改善了畸变。

1 口腔内窥镜微小光学成像系统的 设计与实现

口腔内窥镜微小光学成像系统是构成数字化口腔内窥镜的一个极其重要的组成部分,它将外界场景通过光学成像的原理收集到光电耦合器件上,实现基本的与物体细节相对应的光电转换。目前,一般光学系统的设计主要建立在均匀折射率透镜基础之上,通过不同材料、半径、间隔消除光学系统的各种像差,提高光学系统的成像质量以及对物体原貌的复现能力。因此,需要多片透镜组合,使光学系统有足够的自由度在所要求图像质量的前提下达到清晰成像的目的。作为微型成像系统,在设计上需要考虑尽可能地减小光学成像系统的体积,以便适应口腔内部结构,而如果上述光学系统光学透镜的片数太少,则无法清晰成像;反之,如果片数太多,则会明显增大微型成像系统的外形尺寸,与实际使用场合要求相违背。梯度折射率透镜应用于此微型成像系统解决了均匀折射率透镜成像系统的一些不足,提高了总体技术要求,改善了同类产品的品质和性能。

1.1 梯度折射率透镜的近轴光学特性和成像特性

1.1.1 梯度折射率透镜的近轴光学特性

梯度折射率透镜在图1形式下可以等效为正透镜,利用等效的高斯成像参数,可以得到梯度折射率透镜成像公式。

等效焦距：

$$f' = \frac{1}{n_0 a \sin(az)} \quad (1)$$

后截距：

$$Lf' = \frac{\cos(az)}{n_0 a \sin(az)} \quad (2)$$

像方主面和物方主面

$$L'_H = -L_H = -\frac{1-\cos(az)}{n_0 a \sin(az)} \quad (3)$$

1.1.2 梯度折射率透镜的成像过程

根据梯度折射率透镜等效的近轴光学特性可以进行光路分析和光路计算。此时,高斯成像公式为

$$\frac{1}{L' - L'_H} - \frac{1}{L - L_H} = \frac{1}{f'} \quad (4)$$

式中: L 为物体到梯度折射率透镜前端面的距离;
 L' 为像平面到梯度折射率透镜后端面的距离。

梯度折射率透镜的成像过程如图 1 所示。

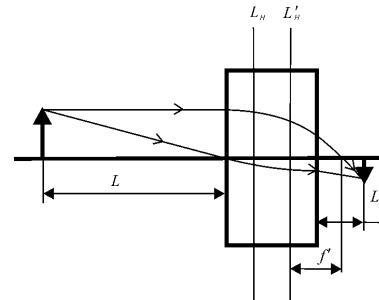


图 1 梯度折射率透镜成像示意图

Fig. 1 Imaging of GRIN lens

1.2 口腔内窥镜梯度折射率透镜成像的光路设计

梯度折射率透镜内部介质的折射率在径向呈梯度变化,此外可以弯曲梯度折射率透镜的前后2个端面为球面。这种变化为光路设计提供了更多的自由度,可通过设计获得良好品质的微型摄像光学系统。

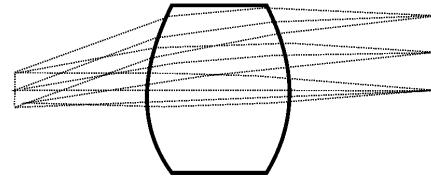


图2 微型摄像头成像光路图

Fig. 2 Imaging beam path of mini video probe

图2为此成像系统的光路图。系统的 F 数为6，物方视场为 40° ，经过优化设计后的设计结果如图3和图4所示。

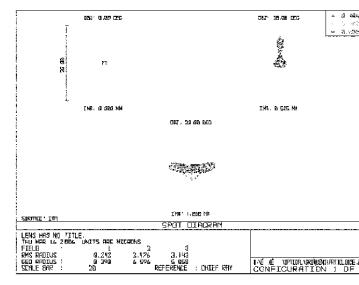


图 2 占列图

Fig. 3 Spot diagram

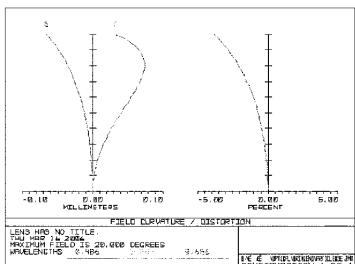


图4 场曲、像散和畸变

Fig. 4 Field curvature, astigmatism and distortion

通过上述光路设计,我们成功地将梯度折射率透镜应用于我们的口腔内窥镜系统中。

视场 /°	MTF(T)/60PL	MTF(S)/60PL
0	0.73	0.73
3	0.71	0.73
10	0.63	0.73
17	0.51	0.63
20	0.71	0.51

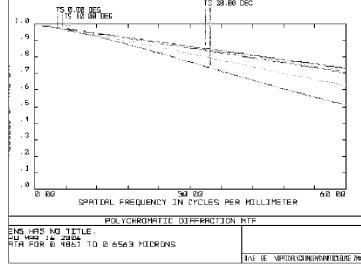


图5 调制传递函数及数值表

Fig. 5 Polychromatic MTF and numerical values

由于玻璃折射率 n 的变化与离子浓度 C 的变化成线性关系,假设比例系数为1,那么,方程(8)也就是经过热处理后梯度折射率透镜的折射率分布表达式。

经过一次离子交换后梯度折射率透镜的折射率分布并不理想,而在位于理想折射率分布曲线的上方,越靠近边缘偏离越大,主要原因是交换一段时间后透镜棒边缘部分的 Tl^+ 离子已全部被 K^+ 离子取代,即使交换继续其边缘部分的折射率也不会继续下降;而且,如果交换到中心后仍继续交换,会使中心的折射率下降,反而会使 Δn 减小。

经过热处理后,梯度折射率透镜的折射率分布

1.3 图像渐晕的考虑

采用普通方法制造的梯度折射率透镜,由于数值孔径在中心最大,边沿为零,采用单片透镜带来的图像中心亮,边缘暗,特别是对牙齿成像时,像面会出现严重的亮斑,影响口腔内窥镜的质量。本文采用飞秒光电科技(西安)有限公司利用二步离子交换工艺制作的微型摄影物镜配合光阑解决了中心亮斑,使像面照度基本均匀。

1.4 图像畸变的考虑

为了降低透镜的畸变,采用二次无源离子交换方法优化梯度折射率分布。当梯度折射率玻璃丝放入退火炉里达到退火温度后,玻璃丝中 Tl^+ 和 K^+ 由于单键的作用力非常小,在浓度梯度作用力下很容易发生迁移,进行热扩散,这样经过热处理后玻璃中 Tl^+ 和 K^+ 离子会重新分布,改变透镜的折射率分布。所以说,热处理的过程是一个离子交换的过程,而且必然满足扩散方程:

$$\frac{\partial C(r,t)}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right) \quad (5)$$

式中: D 为热处理过程扩散常数; C 为扩散离子浓度。在热处理过程中玻璃中的离子并不会到玻璃棒的外面去。假设在边界上的离子浓度为零,即:

$$C=0, \quad r=a, \quad t \geq 0 \quad (6)$$

$$C=f(\rho), \quad 0 < r < a, \quad t=0 \quad (7)$$

这里 $f(\rho)$ 是一次离子交换后离子的浓度分布。在这样的初始条件下再求解扩散方程(5),得出经过二次无源离子交换后的浓度分布:

$$C_h(r, t_2) = 2 \left[\int_0^1 \rho f(\rho) d\rho + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{J_0(\alpha_m r/a)}{J_1^2(\alpha_m r_0)} \exp(Dt_2 \alpha_m^2/a^2) \int_0^1 \rho f(\rho) J_0(\alpha_m \rho) d\rho \right] \quad (8)$$

得到了明显的改善,与理想折射率分布已非常接近。主要是 Tl^+ 和 K^+ 在退火过程中发生扩散,优化了折射率分布表达式中的四阶项系数和六阶项系数,使折射率分布更接近理想分布。这样形成的梯度折射率透镜的畸变小于一次离子交换的梯度折射率透镜,特别适合作为微小成像透镜。

2 结论

本文用梯度折射率透镜设计了口腔内窥镜的微型物镜,并采用光阑解决了中心亮斑问题,采用二次无源离子交换方法,改善了透镜的畸变。成功设计了用于口腔内窥镜的梯度折射率成像物镜,完

全达到了使用要求,并制成了口腔内窥镜。经临床验证,该系统克服了以往不能使患者直接了解口腔疾病的缺点,使患者可以通过屏幕了解自己的病情和医生的治疗过程,以便更好地配合医生进行治疗。通过使用口腔内窥镜可以明显提高社会效益和经济效益。

参考文献:

- [1] 刘德森. 微小光学微小光子器件[J]. 光子学报, 1997, 26(Z1):21-23.
LIU De-sen. Microoptics microphoton apparatus[J]. Acta Photonica Sinica, 1997, 26 (Z1): 21-23. (in Chinese)
- [2] 刘德森. 纤维光学[M]. 北京:科学出版社,1987.
LIU De-sen. Fibre Optics [M]. Beijing: Science

Press, 1987. (in Chinese)

- [3] 大越孝敬. 光学纤维基础[M]. 北京:人民邮电出版社,1980.
Shingaki. Foundation of Fiber Optics [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 1980. (in Chinese)
- [4] 刘德森,高应俊. 变折射率介质的物理基础[M]. 北京:国防工业出版社,1991.
LIU De-sen, GAO Ying-jun. Physical Fundamentals of GRIN Media [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1991. (in Chinese)
- [5] 杨安,汪翠莲,曹庆林,等. 混合熔盐离子交换的研究[J]. 光子学报, 1994, 23(4):355-359.
YANG An, WANG Cui-lian, CAO Qing-lin, et al. Research of mix-melt ion-exchange [J]. Acta Photonica Sinica, 1994, 23(4):355-359. (in Chinese)

EADS 公司未来无人作战飞机验证机实现首飞

EADS 公司军用航空系统部已完成“梭鱼”(Barracuda)未来无人作战飞机(UAV)验证机的首飞。在 20 分钟的飞行中,喷气发动机驱动的无人机完全自主地按照某一预先编程的航路飞行,San Javier 空军基地的地面上仅出于飞行安全考虑对飞行进行了监控。此次飞行标志着第一试验阶段成功结束。该机参加柏林国际航宇展览会后,将展开下一步的研制与试验。该机是在德国奥格斯堡、曼兴和西班牙 Getafe 的 EADS 工厂制造的,研制资金主要来自 EADS 公司的自筹资金和参与供应商的捐助。

负责该验证机设计和研制的EADS 军用航空系统部领导罗尔夫·沃茨首次披露了该机的细节。他称,该机长 8 米,翼展超过 7 米,最大起飞重量 3 吨,由 1 台普·惠加拿大公司生产的 14 千牛推力的涡轮喷气发动机提供动力。机身全部以碳纤维复合材料(CFC)、在 EADS 奥格斯堡工厂的一项新专利技术基础上制造而成。该机除起落架之外其他系统均采用电机作动器,因此基本是一个电驱动系统。该机采用了三裕度飞控和导航系统,其航电系统采用了开放式模块化结构,允许多种传感器综合到飞机上。

有了该验证机,EADS 军用系统部将获得无人系统在“网络中心”使用的实际经验。该无人机还将开展在受控空域飞行的取证工作,并进行自主从监视某一预定区域转换到执行侦察任务的“智能无人机”的前期研制工作。

(佚名 供稿)