

美国罗彻斯特大学光学研究所 和海军实验室的光学工作

薛鸣球

(一)

罗彻斯特大学光学研究所成立于1929年，是美国成立最早的光学研究机构。当时由于在美国纽约州罗彻斯特地区有好几家光学工厂，如鲍许隆公司，伊斯曼柯达克公司等等需要光学人材而建立的。光学研究所现在仍然既担负光学研究工作，又担负教育任务和培养研究生。建立初期主要考虑的是光学工程方面的问题，是应用光学的研究，最早开设的课题是透镜设计，透镜检验，干涉计量以及其他有关的研究。美国的光学设计专家几乎都在这里工作过或是从这里培养出来的。他们称所内有三代这方面的人材：第一代是金斯莱克教授，他是英国著名光学设计专家康拉第的学生和亲属，在康拉第死后，他整理完成了有名的康拉第著的“应用光学和光学设计”一书的第二卷。第二代是霍普金斯教授，他曾担任光学研究所的第二任所长，他对透镜的自动设计有过较大的贡献。第三代是年轻的莫尔付教授。他在美国开辟了梯度折射率光学这一研究领域。是国际上梯度折射率光学的先驱者。光学研究所的现任所长是乔治教授，他的研究工作主要是散斑，计算机混合图象处理，精密计量，x光衍射干涉和全息。全所约有28名教授和付教授，2名讲师，其余是研究生、助手和少量行政工作人员。

研究所的主要研究工作有：信息处理、激光全息、透镜的设计制造和检测、梯度折射率光学、薄膜和非线性光学、色度学和几何光学等等。开设的课程有光学干涉膜、色度、光学实验（包括：用泊克尔调制、调制激光、光学波导的光通讯实验、气体激光的模式实验，光学调制传递函数和光密度测定实验、夫累涅尔和弗朗霍夫衍射实验、平面衍射光栅性质实验用黑体标定接收器的实验、全息图制作实验、晶体双折射实验、光电接收器电子读出部分运算放大器运用实验、单原子光谱实验等等），数学物理方法、光学量子力学、几何光学和仪器光学、光学工艺和检验、光学设计实验、辐射和接收器，研究生光学实验（目的是提高实验技巧。这实验分成两部分：第一部分是所有学生全部做，共有三个实验，每个实验延续两周。第一个实验是电子学，包括电源、模拟电路、数字电路、A/D转换、滤波和显示等等。第二个实验是计算技术，包括微处理机、光学装备的接口、数学方法如最小二乘法，最优化技术，数据分析等的应用。第三个实验是光学，包括光学瞄准技术、分光计和单色计、干涉仪等。第二部分共有六个实验，可以由学生从其中任意挑选四个实验，六个实验是光学纤维通讯、图象数据处理、非线性光学系统、激光系统、用干涉术和调制传递函数对透镜进行质量评价、光泵技术）、照相敏感术和成像结构、潜象理论、物理光学、全息术、激光系统、电光学系统、透镜设计、光学系统分析方法（这里主要指的是评价光学系统的各种技术）、干涉术、光学系统设计方法、量子电子学、近代物理光学、统计光学、梯度折射率光学。

我们在罗彻斯特大学光学研究所主要参观了乔治（Nicholas George）的实验和莫尔（Duncan T. Moore）的实验室下面介绍一下参观的情况。

在乔治实验室里用光学方法来检查医疗用注射器针尖的质量，合乎要求的针尖与不合乎要求的针尖，其富里哀谱是不一样的，由此来检查出不合格的次品。每秒钟可以检查20个。

实验室中还用分光方法研究待测样品的色度，其装置如图1所示。图中 a 为白光光源，经聚光镜 b 后成为平行光束，照射到待测样品 c 上。由 c 反射和散射出来的光经透镜组 L_1 ， L_2 后成为平行光束，再经光栅 G 分光，由透镜组 M 会聚后为一组二极管 e 所接收。由二极管出来的信号经计算机处理运算得出待测样品的光谱光度量，进而可计算出三颜色的刺激值 x ， y ， z 。

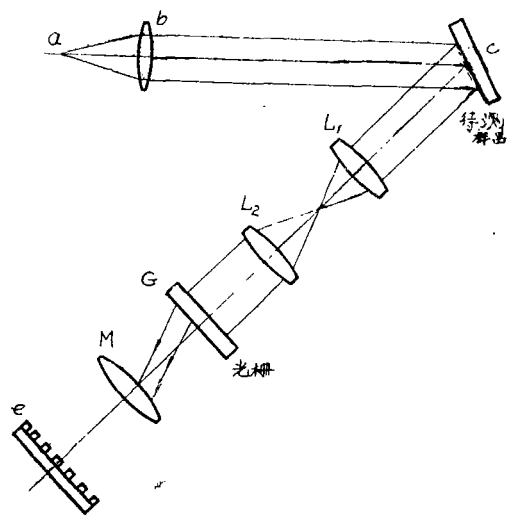


图 1

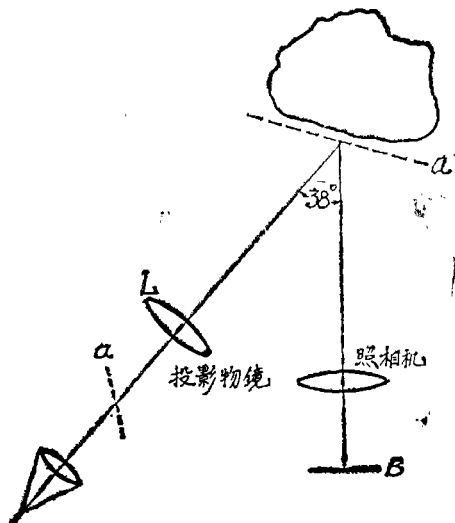


图 2

乔治实验室中还有一个所谓莫尔形貌术的实验装置，用光栅法形成莫尔条纹来看人体表面的等高线图，装置的示意如图2所示，图中 a 实际光栅，经投影物镜 L 后成一放大的光栅象在人体附近，在与投影系统光轴成 38° 的方向上按排照相系统，这照相系统照下了含有人体轮廓信息的条纹图于 B 处。所得的条纹图片可用图3的装置来分析。图中 a 处置条纹照片， b 处为压电晶体，用此改变程差，当光源 L 发出的光分两路照射在条纹照片 a 以后，便可在接收器上得到人体外形的轮廓信息。

莫尔的实验室主要是搞梯度折射率光学，这是一门新兴的学科，最近接连开了两次国际会议讨论梯度折射率光学的设计、制造和检测方面的问题。梯度折射率光学也是目前该研究所研究生主要课题之一。

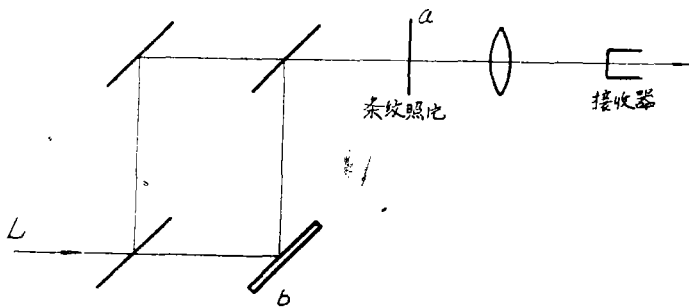


图 3

高质量的光学系统，一般需要复杂的光学结构，这样费用便很高。在美国一个透镜的费用中粗磨和抛光的加工费占60%，镜头装配费用占30%，材料费仅占10%。用非球面可以简化光学结构，减少镜片数目，但是非球面的加工抛光一般需要用手工来完成，这样便使费用也大大增加了。第三个方法便是用

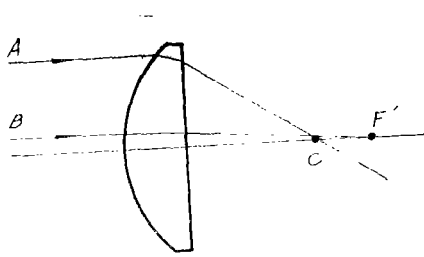
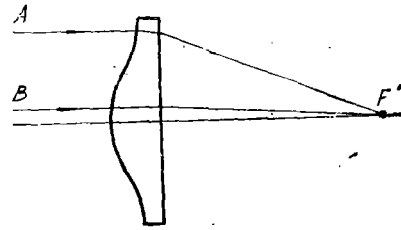


图4(1)



4(2)

梯度折射率的光学材料作透镜，用这种材料时有可能使用简单的光学结构用球面的面形而获得良好的成象质量。当然此时的材料制造费是要增加的。

我们用图4的三个图来说明普通的单透镜、带有非球面的单透镜和梯度折射率的单透镜三者成象的情况。图4(1)表示均匀折射率的球面单透镜成象情况，由于球差的存在，当近轴平行光线B成象在近轴焦点 F' 的时候，远轴平行光线A成象在C而不与 F' 重合，图4

(2)便是单透镜均匀折射率而带有非球面的成象情况，此时远轴平行光线A也就成象在 F' ，适当的选择面形可使得各带的平行光线经透镜折射后均通过焦点 F' 而获得完善的象。图4(3)中所示的单透镜是球面的，但是它的折射率沿x轴方面从前表面到后表面是逐渐的连续的减小的，其变化情况象图中所表示的那样。近轴光线B成象在 F' 点，远轴光线A

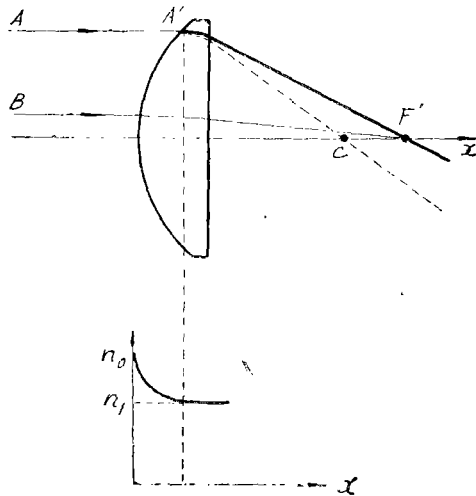


图4(3)

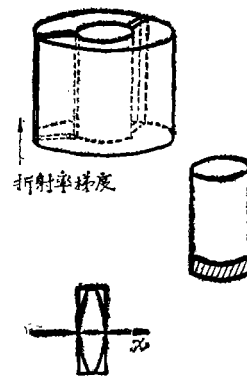


图5

当透镜是均匀折射率时，便象图4(1)中一样不能成象在 F' ，而是成象在C，如图4(3)中虚线所示，现在的透镜是由梯度折射率的材料做成的，远轴光线交透镜于 A' 点， A' 点处的折射率比透镜顶点处的折射率低，因而 A' 处的会聚能力差，故 AA' 经透镜折射后仍能通过 F' 点。合适的选择梯度折射率可使各带的远轴平行光线会聚后均交于近轴光线的焦点 F' 而获得完善的象。

制造这种梯度折射率材料方法之一是将一个圆柱形的光学玻璃作为基底放在一个装有氯化银的坩埚里，加热坩埚，使氯化银熔化。由于玻璃具有较高的熔点和较低的比重，而可保持光学玻璃为固体且在盐熔里浮动。温度加到 $500^{\circ}\text{C} \sim 550^{\circ}\text{C}$ ，并保持几天的时间。在此期间溶液里的银离子和玻璃里的钠离子发生交换，玻璃的折射率便受到离子交换的影响，银离

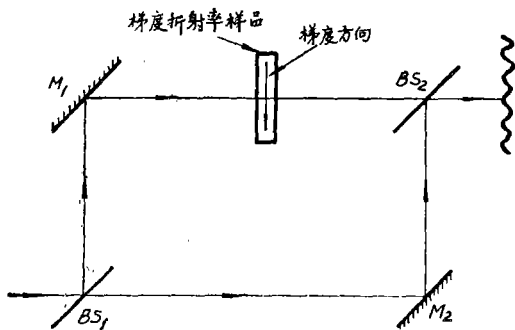


图 6

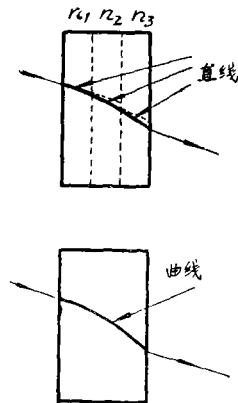


图 7

子在表面集中得多,愈往里面便愈少。银离子多的部分其折射率比基底玻璃的折射率要高。梯度折射率的分布情况则与温度、时间以及玻璃的处理情况和本来的特性有关。

将经过离子交换后的圆柱形玻璃取出后可以再取出一个圆柱心,如图5所示,这圆柱心从底部开始进行了离子扩散,将圆柱一片片切下,便可以作为透镜的材料了。取圆柱心后,外面留下的圆环,可以切成平行平板来检验梯度折射率的情况。

测量梯度折射率的方法之一是干涉术。常用的干涉仪是马赫-陈德干涉仪,测量装置的示意图如图6所示,单色的激光照射第一个分光片BS₁后分成两束光,反射光经过梯度折射率玻璃样品,这一通路的总光程是样品折射率 $n(x)$ 和样品厚度的乘积以及空气折射率和空气中距离乘积之和。另外一个光路是参考光束,其光程是空气折射率和距离的乘积。这两路光束在第二分光片BS₂处合成。由于两路的光程差OPD而产生干涉条纹,两路光程差OPD为

$$OPD = [n(x) - 1]t$$

其中 $n(x)$ 是样品的折射率, t 是其厚度,所成的干涉图形可以用照相底板记录下来,假如样品的厚度是常数,干涉图便可给出折射率梯度的轮廓图。条纹间的距离能够测量,数据可以输入计算机而求出折射率梯度的轮廓,对于大的样品,这样测量处理是很费时的和不实际的,需用自动数据处理的方法来完成。这里还有一个玻璃的色散问题需讨论,为了得出样品折射率的色变化,样品需测定几种波长的折射率,在0.4579微米及0.6764微米分别用氩激光器和氦激光器作光源。测量结果发现折射率的变化 Δn 在银离子多的地方比其他部分大。

在设计梯度折射率的透镜时,先将单透镜弯曲到球差最小值的状态,梯度折射率

$$n(x) = n_{00} + n_{01}x + \dots$$

作用在透镜上可以使球差校正到零,这对彗差也有一点校正作用。

图7中表示了光线在梯度折射率材料中的行进情况。图7(1)表示三块均匀折射率的平板贴合在一起, $n_1 > n_2 > n_3$,光线便是以折线方式行进的。当这些薄板无限薄的时候,便成了梯度折射率材料,光线也就以曲线方式行进了,这就是图7(2)的情况。

透镜的球差校正好以后,还有色差存在,这一方面是由于基质玻璃的色散,一方面则由于梯度折射率的不同,这两者的贡献是异号的,因之当对一种波长校正好球差以后,其余波长的象差较之折射率一致透镜的其余波长的象差要好。

这种透镜制作中还需注意一些问题。如图 8 所示的那样，在制作透镜时表面有一曲率半径，需磨去一些材料，磨去部分的轴上厚度是 d ，这个 d 是需要很好控制的，因为它影响折射率的变化，其次是光轴必须垂直于透镜的等折射率面，否则会影响对称性而破坏象质。

梯度光学材料还有径向的梯度和以中心点为对称中心的球形状的梯度两种。

我们在该所看到一具用两个单片梯度光学玻璃组成的望远镜，长度 300 毫米，口径 10 毫米左右，成象比较清晰。

(二)

美国海军实验室 (NRL) 成立于 1923 年，地点在华盛顿，有三千余工作人员。实验室设四个研究管理局，下属 15 个研究室和分队，光学工作是该实验室的一部分工作，现在做的主要光学研究工作有集成光学、高能激光、化学激光、大气光学、数据处理等等。对金属蒸汽的赖曼散射，从紫外转换到可见光以及自由电子激光等均做出过好的结果。自由电子激光实验，在波长 400 微米，线宽 2% 得到峰值功率为 1 兆瓦的结果，理论研究还指出从光波到毫米波的整个波长范围内效率可大于 10%。在光学研究中有许多重要的设备，如：电子束装置以及相应的光谱和其他诊断装置、短脉冲激发装置、光学武器实验室设备，红外光学辐射实验设备、光学纤维制造和光学玻璃组成以及特性测定设备、光学数字信息处理混合装置，集成光学制造和测试设备，研究分子系统的粘弹性，结构和输送特性的光学设备。

光学研究室中共分五个研究组：光学探针组，主要的研究课题是激光和物质的作用、分子光学、光物理过程、非线性光学、远紫外和软 x 线，干涉计量等等。应用光学组，主要的研究课题是光学成象和信息处理、军事目标的特性、光学工艺、远紫外元件、大气光学等等。激光物理组，主要的研究课题是分子激光物理、化学激光物理、激光感应反应、激光材料诊断等等。电光工艺组，主要的研究课题是光学和红外测量、探测信号处理、光学寻的、固体激光、光学成象、半导体系统中的光学问题等等。光学技术组，主要的研究课题是微微秒光脉冲、材料中的非线性效应、光波导、辐射感应、光学材料的光学性质、表面性质、固态电子装置的光学控制装置等等。

该实验室的保密性较强，外人参观需事先联系，到室后还需办理有关手续。

参 考 文 献

- [1] D.T. Moore, D.P. Ryan;
Gradient index Optical lenses, The Physics Teacher, The Institute of Optics, The University of Rochester, 1977.
- [2] Fact Book, Naval Research Laboratory, 1980.

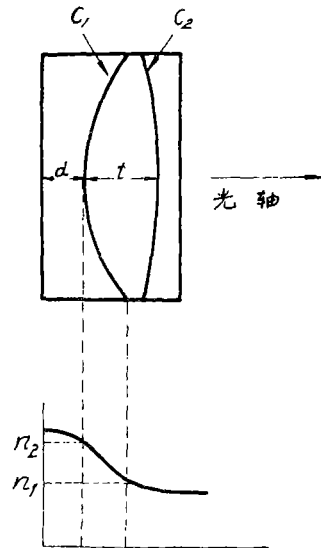


图 8