

# 大屏幕激光投影与激光电视\*

王延伟 毕勇<sup>†</sup> 王斌 郑光 房涛 亓岩 颜博霞 成华

(中国科学院光电研究院 北京 100190)

**摘要** 作为下一代的全色显示技术,激光投影显示技术与传统的显示技术相比,有很多明显优势,这是由激光本身的固有特点所决定的,比如高饱和度、低功耗以及潜在的寿命长等.文章介绍了激光显示技术的历史背景以及国内外的研究现状,介绍并分析了激光光源、基于数字光学引擎(DLP)及反射式硅基液晶光学引擎(LCOS)的激光显示系统和颜色管理技术.文章还对激光投影显示的优势进行了归纳,并对激光显示的产业化前景和整体市场进行了分析和预测.

**关键词** 激光显示,激光电视,大屏幕投影,色域,颜色管理,产业化

## Large screen laser projection display and laser television

WANG Yan-Wei BI Yong<sup>†</sup> WANG Bin ZHENG Guang FANG Tao  
QI Yan YAN Bo-Xia CHENG Hua

(Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract** Laser projection, the next generation of full-color display technology, has many advantages over traditional display technologies due to the laser's large color gamut, low power consumption and potentially long lifetime. Its historical development and present state-of-the-art at home and abroad are reviewed. Two systems, one based on a diode laser pump and another on liquid-crystal-on-silicon, are described. Laser and color management are discussed, and the advantages of laser projection display summarized. To conclude, the industrialization and overall market prospects of laser display technology are evaluated.

**Keywords** laser display, laser television, large screen projection, color gamut, color management, industrialization

## 1 引言

激光全色显示是显示技术的跨越式发展,是显示领域的重大发展方向,同时也是国际显示领域的研发热点之一.激光刚问世,人们就发现,如果以红、绿、蓝激光为三基色来制造显示器件,必然可以获得前所未有的色域覆盖率,使大色域显示成为可能.激光显示能实现传统显示所能达到的所有先进技术指标,如大屏幕、高分辨率、数字化等,更重要的是,从色度学角度来看,激光显示的色域覆盖率可以达到人眼所能识别色彩空间的90%以上,是传统显示色域覆盖率的两倍以上,彻底突破前三代显示技术色域空间的不足,实现人类有史以来最完美色彩还原,使人们通过显示终端看到最真实、最绚丽的世界.

本文参考了文献[1—3],并结合作者本人的研究工作对该领域的研究历史、现状和进展进行了评述.

## 2 激光显示的历史背景和发展现状

人类对外部世界获取信息的80%来自视觉,因此显示器是现代人们获取信息的重要途径,显示技术是信息领域的重要发展方向.随着人们对信息的获取有更多更高的要求,对显示器的性能就有了更多的期待,显示技术及器件的研究也就越来越重要.

\* 国家高技术研究发展计划(批准号:2006AA030103)和电子信息产业发展基金(批准号:工信部运[2008]97号)资助项目  
2009-07-03 收到初稿,2009-12-26 收到修改稿

<sup>†</sup> 通讯联系人, Email: biyong@aoe.ac.cn

## 2.1 激光显示的历史背景

自 19 世纪末兴起的黑白显示到 1928 年彩色电视问世以及 1935 年实现胶片拍摄的彩色电影,显示技术经历了从黑白向彩色显示技术的时代跨越.现阶段正处于数字显示发展时期,基于现代数字技术的数字电视和数码影院,正在解决视频图像的分辨率和清晰度问题,包括信号的获取、处理、存储、传输和再现,现有的数字显示终端,像素数已可以由 NTSC 标准数据中的  $720 \times 480$  提高到  $3840 \times 2160$ ,分辨率增大 20 倍以上.但是现有的显示器的色彩重现能力很低,其显色范围仅能覆盖人眼所能观察到的色彩空间的 33%,而其他 67% 的色彩空间是数字显示技术和现在已有的显示技术都无法重现的.因此能够同时实现高清晰、大色域的显示技术势必成为今后显示技术研究和发展的方向.激光显示技术的一个重要思路是从色度学考虑,以红、绿、蓝三基色(RGB)激光为光源的显示技术,可以最真实地再现客观世界丰富、艳丽的色彩,提供更具震撼的表现力.因此激光显示被称为“人类视觉史上的革命”.在当前众多形式不同的显示技术中,激光显示技术代表着显示技术未来发展的趋势和主流方向,是未来显示领域竞争的焦点.

## 2.2 激光显示的发展现状

激光显示的发展从上世纪 60 年代激光器出现开始就进入了概念阶段,由于受激光器发展水平的限制,激光显示进展缓慢.早期曾以氦-氖激光器输出的 632.8nm 或氦离子激光器输出的 647.1nm 为红光光源,以氩离子激光器输出的 514.5nm 和 488nm 为绿光、蓝光光源作为三基色开展相关的显示技术的研究.气体激光器由于体积庞大,电光转换效率低,使得早期以气体激光器作为三基色光源的激光显示系统研究仅停留在实验室工作模式,无法接近实用化;到了上世纪 90 年代,全固态激光器发展推动激光显示技术进入研发阶段;而在本世纪 2010 年以前,随着专业级的高端显示产品的研究进一步推动激光显示进入产业示范阶段,开始孕育成熟的技术产业链,为今后规模化生产做准备.

### 2.2.1 激光显示的国际发展现状

日本在液晶等显示领域经过将近 50 年的研发积累,已经取得领先的核心技术和市场地位,如今又将下一代显示技术的发展方向锁定到激光显示技术.2005 年,在日本爱知世博会上,索尼公司研制成功单元  $6\text{m}^2$  的投影显示系统,并在拼接技术基础上集成出一套  $500\text{m}^2$  的激光影院.2006 年 2 月,三菱

电气公司将美国 Novalux 公司研制的大功率红绿蓝三基色激光器应用于数字光学引擎(DLP)背投电视,宣布研制成功激光背投电视,能够表现大色域颜色,支持大色域 xvYCC 标准,色域覆盖率为 135% NTSC,对比度为 4000:1,其图像质量可超过电影画质.三基色激光可以去掉传统投影中的色轮分色环节,没有色轮的单片数字微镜(DMD)芯片也可以有上佳的色彩表现,成本和系统复杂程度大大下降.因此,这台激光背投的色彩还原能力得到了国际电工委员会(IEC)的认可.三菱电气公司建设生产线,并于 2008 年推出了激光数字光学引擎背投电视产品.2007 年,在美国拉斯维加斯国际消费电子展览会上,日本索尼公司和美国 Novalux 公司各自推出了基于投影式激光显示技术的多台激光显示试验样机,其中包括 55 英寸激光背投电视和小型、袖珍式前投影机以及激光数码影院等.

另外,Microvision,Iljin,Symbol 等公司致力于研发应用于手机的激光投影技术.他们分别开发了小型化的红绿蓝三基色激光器和小型化的光学引擎系统,并设计出一个完整的嵌入式微型投影系统模块.

### 2.2.2 激光显示的国内发展现状

中国在发展激光显示产业已经具备良好产业化基础,生产环境全球领先.我国激光显示技术在国家高技术研究发展计划、中国科学院知识创新工程的持续支持下,取得了重大成果.中国工程院院士许祖彦研究员于 2002 年在国内率先实现红绿蓝三基色激光瓦级输出,并合成白光用于激光显示首次实验;2005 年,成功研发出 60 英寸、84 英寸和 140 英寸等一系列激光显示原理样机,并通过中国科学院与信息产业部联合科技成果鉴定,鉴定的结论是:“总体技术国际先进,色域覆盖率等关键技术国际领先”;2006 年,中国科学院光电研究院开展激光显示工程机的研制,成功迈出工程化的一步,同年专注于激光显示产业化的“北京中视中科”公司成立,实现“技术、产业、经济”相结合,并加强标准化研究工作;2008 年,突破光源小型化、电源数字化和消散斑等关键技术,激光显示产品成功用于激光数码影院,成功服务奥运会,成为科技亮点;2009 年,成立“激光显示产业基地”,向规模产业化迈出重要的一步.

经过前期的技术积累,我国在激光全色显示技术领域拥有完整的自主知识产权链,特别是在全固态三基色激光、匀场、消相干、激光显示等关键器件和整机技术方面均有自己的专利保护,具备在该领

域实现产业化重大突破的良好基础. 截止到 2008 年底, 有关激光显示方面的国际专利目前世界上共有 1000 余项, 其中中国持有 100 余项.

### 3 大屏幕激光投影与激光电视的物理原理和技术

#### 3.1 激光光源与光学引擎

目前, 激光器依然是激光显示系统中最为昂贵的部件, 研制低成本、小体积、瓦级输出的红、绿、蓝三基色激光器是激光显示系统实用化道路上的重要课题. 激光显示主要应用激光产业中可见光波长范围内的激光产品, 确切地讲是以红、绿、蓝三基色激光作为显示光源. 红绿蓝三基色激光器波长的选取还没有统一的标准, 目前国内通常选用的三基色激光波长分别为: 456nm、532nm 和 635nm.

我国红、绿、蓝三基色激光器的研究处于国际领先水平, 非线性频率变换光学晶体国际领先, 已研制成功中低功率和高功率全固态红绿蓝三基色激光器. 红激光可通过半导体技术获得; 在中低功率的腔内倍频绿蓝固体激光器的设计中, 平凹腔可以近似为动态热稳腔, 且结构简单、紧凑、效率高, 激光晶体中的热效应相对较小, 可以满足激光显示光源使用要求. 一种实用的绿激光产生装置如图 1 所示.

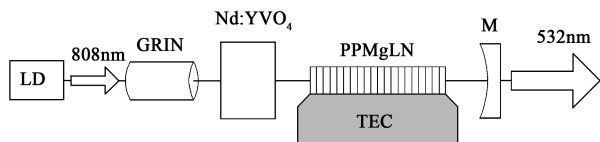


图 1 平凹腔绿激光原理图

半导体激光器(LD)作为泵浦源, 最大输出功率为 3W, LD 在室温工作时, 泵浦光的波长是 808nm, 正好在 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体的吸收带宽内; 泵浦光经柱透镜整形后, 通过透镜(GRIN)入射到工作物质 Nd:YVO<sub>4</sub> 的左端面, PPMgLN 为倍频晶体. 谐振腔由工作物质 Nd:YVO<sub>4</sub> 的左端面和凹输出镜 M 构成; 采用半导体制冷器(TEC)对 LD 和激光晶体进行控温; Nd:YVO<sub>4</sub> 的右端面镀上倍频光 532nm 的高反膜, 这样使得腔内往返两个方向产生的倍频绿光能够从一个方向输出, 同时避免倍频绿光在 Nd:YVO<sub>4</sub> 内的吸收损耗.

除了采用 3 台独立的激光器分别产生三基色激光外, 也可以采用同一基频光经过非线性变换同时

输出红绿蓝三色激光. 由于采用一个半导体激光泵浦源, 因而该激光器体积较小, 结构紧凑.

激光显示技术主要分为扫描式和投影式两条主要的技术路线. 在激光显示技术的早期研发过程中, 受阴极射线管(CRT)电视电子束扫描轰击荧光粉成像机理的影响, 激光显示技术更多地遵循扫描显示的技术路线. 以三基色激光束代替 3 个电子枪, 类似利用视频信号控制电子束的强弱, 三基色激光束在行同步与场同步信号控制下扫描屏幕的同时, 其强弱也同样受到视频信号中色度信号的调制, 从而在屏幕上再现图像. 由于刷新频率难以进一步提高, 画面有闪烁感, 难以实现高分辨率视频图像的播放, 其技术成熟度远不如投影显示系统. 在激光投影显示系统中, 光学引擎发挥着视频图像编解码、图像调制以及图像生成与再现的作用, 它的选择直接决定了显示系统的整体架构和主要技术特征. 国际上高端投影光学引擎主要采用数字光学引擎和反射式硅基液晶光学引擎(LCOS)两种. 我国在 LCOS 光学引擎方面具有良好的技术基础, 技术产业链已形成, LCOS 光学引擎从晶圆、封装、镀膜、光学元器件、高清驱动板到整机集成的所有关键环节均具备完善能力.

#### 3.2 大屏幕激光投影与激光电视工作原理

红绿蓝固体激光器作为大屏幕投影系统光源的应用空间很大, 尤其在高端投影和背投电视领域, 其画面质量的优异将会远大于成本考虑. 激光光源取代超高压汞灯, 其发光原理不相同, 因为激光不发出白光, 而是分别发出红、绿、蓝三种单色光, 经强度调制的三色激光照射在激光电视屏幕上同一点, 创造出的深浅色调范围远比传统显示多. 激光不仅比现有投影技术中使用的超高压汞灯更省电, 而且不含水银, 更符合环保要求, 同时在激光光源的体型上可以做得更灵活, 以适应不同体积要求.

独立照明激光 LCOS 投影电视是将照明红绿蓝三基色激光光源通过光场匀化和消相干处理, 并分别通过光纤将红绿蓝三基色激光均匀地入射到相应的光学图像调制器件 LCOS 上, 经 LCOS 调制过的红绿蓝三基色激光再由合光系统经投影镜头投射到电视屏幕上. 与使用超高压汞灯照明系统相比, 激光投影电视光学系统充分利用红绿蓝三基色激光光源的特点, 采用了独立照明的方案, 减少了白光的分色环节, 进而提高了光能利用效率. 激光电视目前尚未进入商用量产阶段, 图 2 是 2009 年国内研制并展出的 65 英寸激光电视产品样机照片.



图2 65英寸激光投影电视

为了充分提高激光光能利用率和降低综合成本,大屏幕激光投影系统选用三片数字光学引擎投影系统.大屏幕激光数字光学引擎投影机系统原理如图3所示,它是一个数字微镜调制的激光投影显示系统.红绿蓝三基色激光经过集束光纤进行并束和消相干处理,再经耦合透镜组整形,后又经 TIR 棱镜和 Philips 棱镜分别入射到相对应的红、绿、蓝数字微镜上,三片红绿蓝数字微镜上各自加有图像调制信号,经调制后的三色激光,由 Philips 棱镜和 TIR 棱镜合色后经投影物镜投射到屏幕上,得到激光显示图像.由于三片数字微镜有高达  $2048 \times 1080$  的分辨率和高效的光能利用率,因此采用上述方案的大屏幕激光数字光学引擎投影机系统只需百瓦激光就可得到上万流明的光输出,并适用于数字影院应用.由我国自主研发并遵循 DCI 国际数字电影规范的世界首台激光数字电影放映机于 2008 年在我国影院投入使用(图 4).

### 3.3 大屏幕激光投影与激光电视颜色管理系统

在广播电视系统、网络传输、多媒体系统和平面印刷等领域广泛采用 sRGB 标准颜色空间.1996 年 10 月发布的 IEC 61966-2-1 标准定义了 sRGB,它采用与 ITU-B R 709 标准定义的三基色相同的色品坐标,因此在色品图上与 PAL 标准相重合.彩色图像在符合 sRGB 标准的、经校准后的显示系统上传递时,应具有相同的颜色效果.然而 sRGB 仅表示了色品图上不到三分之二的颜色范围,无法表示人眼所能见到的其余更多的颜色.激光显示技术已成为国际研究热点的原因之一就是可实现大色域显示.

虽然激光显示系统的色域覆盖率比其他所有的彩色显示器都高,色域覆盖率高只是颜色再现能力强的必要条件,而非充分条件.同一幅数字图像在不同类型的显示器上(如阴极射线管和液晶显示器)显示时,会观察到二者的图像色彩存在差异.这是由于不同显示设备具有不同的色域和颜色特性,当彩色

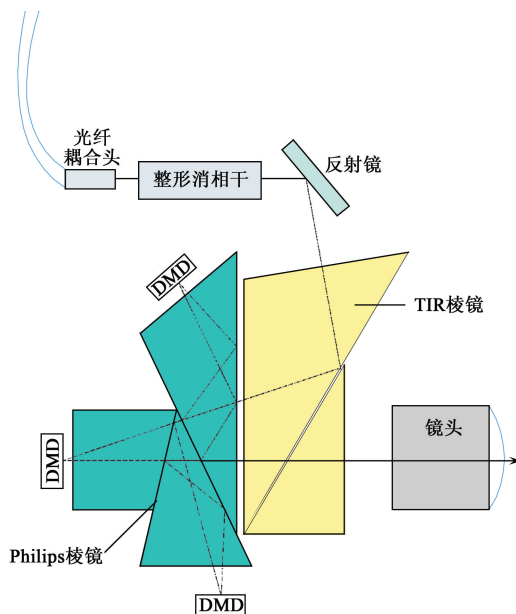


图3 大屏幕激光数字光学引擎投影显示系统原理图(图中 DMD 为数字微镜)



图4 激光数字影院

图像在不同显示设备之间传递时,显示出的图像效果便有所不同;而且显示设备间的色域和颜色特性差异越大,显示出的图像的颜色差异也越大.由于激光显示高饱和度的特性,我们在采用激光显示技术的显示器上观看彩色图像时,也能得到与在其他类型的显示器上观看时产生的不同颜色视觉感受.若不对颜色信号加以校正,则在激光显示系统上显示的图像色彩将过于饱和甚至偏色.激光显示特有的颜色管理系统能使激光显示设备的颜色再现能力如同其他色域覆盖率那样高于传统显示设备,在与现有显示标准兼容的条件下,最大限度地提高激光显示系统的颜色再现能力,从而使激光显示系统色域覆盖率最高这一优势得到充分发挥.

颜色管理系统的核心是色域映射,它是通过在与设备无关的颜色空间里进行运算来实现的.为了尽量减小图像颜色的失真,在对激光显示进行色域映射过程中,应保持色调不变,在明度和彩度系统中

进行色域扩展.大色域显示技术在最近几年才开始在市场上出现,它涉及到很多人类视觉心理学,加之人群对喜好色和记忆色都有不同的偏爱,因而色域扩展算法常常需要结合大量视觉心理实验才能给出满意的结果.另外,色域映射算法是一个相当复杂的非线性计算过程,要采用合适的硬件算法结构在硬件上实现,从而达到实时颜色校正的效果.三维查找表和插值技术可使用人们常用的色域映射硬件算法,具有较高的精度和较快的处理速度.激光显示系统与传统显示设备色域空间如图5所示,图中网格所包络的空间为激光显示系统色域,封闭体表面为传统显示器的色域.

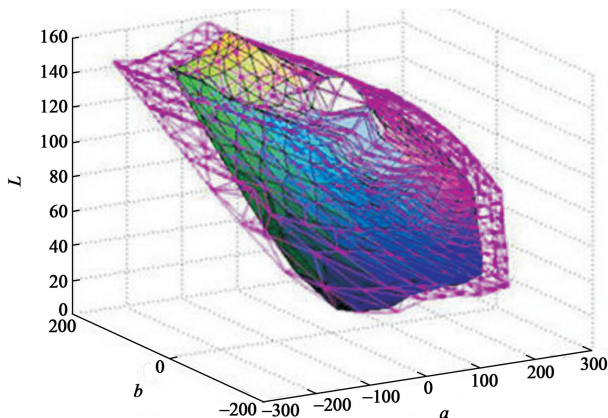


图5 CIE(国际发光明委员会) Lab 色度空间激光显示与传统显示色域(图中坐标  $L, a, b$  构成了 Lab 色度空间)

## 4 大屏幕激光投影与激光电视的优势

激光显示可实现保真度最高的全色显示,是适应市场要求的新一代显示技术,是二维平面显示发展的“终结”方向.与传统显示技术相比,激光大屏幕投影与激光电视具有以下优势:

### 4.1 色纯度高、色域大

现有的彩色显示设备如阴极射线管和等离子体的发光原理为电子束激发或气体放电的紫外线激发的荧光粉发光,光谱分布为带状光谱,色饱和度和光谱中心波长均难以实现大色域空间显示,其色域只覆盖了人眼所能识别的颜色的一小部分,因而不能再现饱和度很高的颜色.激光光源发射光谱为线谱,红绿蓝三色激光就是光谱色,色纯度接近100%.色彩分辨率高,色饱和度高,能显示非常鲜艳而清晰的颜色.使用红绿蓝三色激光作为基色光的激光显示技术,按三色合成原理,它在色度图上形成的颜色三角形区域可达90%的色域覆盖率.因此,激光显示更能反映自然界的真实色彩,拥有其他显

示方式无与伦比的颜色再现潜力.

### 4.2 光源寿命长

传统的显示技术主要采用各种荧光粉和灯泡作为光源,而目前投影显示及液晶显示的光源主要为超高压汞灯、金属卤化物灯、氙灯、卤素灯和冷阴极荧光灯等.这些发光光源的光谱均受到发光物质及其状态的限制,呈现出连续或带状光谱的特征,且其寿命有限;而采用激光光源,其寿命可达5万小时以上,可真正解决光源寿命问题.

### 4.3 节能环保

激光显示技术是一种环保节能的绿色显示技术.从生产制造的方面来讲,大屏幕激光投影和激光电视的生产,与占据当前平板显示主体的液晶加工生产相比,激光器的加工生产及激光电视的制造基本上没有工业污水等污染废料的产生,能源消耗也极低.

传统投影光源寿命短,能耗高,频繁更换灯泡造成巨大浪费并对环境造成污染,使得投影技术的应用领域受到很大的限制;而激光光源的耗电量也比目前投影机传统光源低.

## 5 大屏幕激光投影与激光电视技术产业化应用前景

### 5.1 大屏幕激光投影与激光电视市场前景广阔

由于激光光源的投影机在色彩、亮度和长寿命方面的优势,技术发展很快,激光显示技术的核心关键技术都已经实现了国产化和技术突破,实现了高质量图像的效果演示.同时,国际上正在开展大规模生产阶段所需的实用化技术攻关,在产品生命周期中处于导入期阶段.

激光显示技术是下一代显示技术,其应用领域极其广泛.激光显示产品将以新一代显示技术开拓多方面市场,形成规模产业,预计激光数码影院应用市场以及大屏幕指挥应用市场、高端消费类市场的年新增产值会呈现几何级数增长态势,将会创造巨大的市场和经济效益.

激光数码影院是大屏幕激光投影可以率先获得应用的领域.国际数字电影国际标准将出台,全球数字化影院市场需求将达数十亿美元,产业前景十分广阔.目前,中国数字电影产业正处于一个试验阶段,较大的市场容量和尚未普及的市场现状正是激光数字电影的广阔市场.随着激光数字电影核心光源的技术突破,中国

的数字影院影厅完全具备进行激光数字影院升级改造的可能性。除此之外,激光显示技术还将引发公共信息大屏幕、天文观测、水幕成像表演等民用市场应用发生巨大变革,市场极为广阔。

## 5.2 大屏幕激光投影与激光电视产业经济效益可观

激光显示产业是典型的技术密集型产业,可带动相关关键技术领域的跨越式发展,形成新的高新技术产业群,并可能产生辐射放大效应,取得更显著的经济效益。激光显示产品的国际市场需求量和全新设计概念的激光显示产品进入市场所带来的市场高速增长可带来数目可观的税收和大量就业机会,可以看出未来激光显示市场的开拓空间很大。

一种新技术、新产品在导入期之前还有一段历时较长的、投资不断增长而没有销售的研发期。在研究方面,我国不少科研单位在光电子材料和器件的许多领域处于国际领先地位,激光显示可实现从器件的实验室研究到应用开发和产业化的完整研发能力,高效率

地将学术上的研究成果通过工程化研究开发而实现产业化。我国从事上游、中游材料及器件的供应链,可以和下游终端产品制造的彩电企业组建成完整的激光显示(电视)的技术链和产业链。对于中国显示市场来说,在激光显示上面已经历了研发阶段,正在进入产品导入期。由于激光显示核心技术掌握在相应国内企业手中,因此中国与显示相关的企业,在技术上不再受制于人,并能获得较高的利润。

## 参考文献

- [1] 许祖彦. 激光与红外, 2006, 36(增刊): 737 [Xu Z Y. Laser & Infrared, 2006, 36(Z1): 737 (in Chinese)]
- [2] Sugiura H. 65-inch, Super Slim, Laser TV with Newly Developed Laser Light Sources. SID 08 DIGEST: 854—857
- [3] 张岳, 郝丽, 柳华等. 光电精密工程, 2006, 14(3): 402 [Zhang Y, Hao L, Liu H *et al.* Optics and Precision Engineering, 2006, 14(3): 402 (in Chinese)]



# 北京欧普特科技有限公司

光学元件库—欧普特科技

欢迎访问:

[www.goldway.com.cn](http://www.goldway.com.cn)

北京欧普特科技有限公司严格参照国际通常规格及技术指标,备有完整系列的精密光学零部件(备有产品样本供参考)供国内各大专院校,科研机构,试验室随时选用,我公司同时可为您的应用提供技术咨询。我公司可以提供美国及欧洲产的优质红外光学材料,如硒化锌,硫化锌,多光谱硫化锌等。



- 光学透镜:平凸、双凸、平凹、双凹、消色差胶合透镜等。
- 光学棱镜:各种规格直角棱镜,及其他常用棱镜。
- 光学反射镜:各种尺寸规格的镀铝,镀银,镀金,及介质反射镜。直径 5mm—200mm。
- 光学窗口:各种尺寸规格,材料的光学平面窗口,平晶。直径 5mm—200mm。
- 紫外石英光纤:进口紫外石英光纤,SMA 接口光纤探头,紫外石英聚焦探头。
- 国产滤光片:规格为直径 5mm—200mm。(紫外,可见,红外)及窄带干涉滤光片。
- 进口光学滤光片:长波通滤光片/短波通滤光片;波长:400—1000nm;窄带干涉滤光片



地址:北京市海淀区知春路 49 号希格玛大厦 B 座# 306 室 电话:010—88096218/88096217 传真:010—88096216

网址:[www.goldway.com.cn](http://www.goldway.com.cn) E-mail:[kevinchen@goldway.com.cn](mailto:kevinchen@goldway.com.cn),[shinan@goldway.com.cn](mailto:shinan@goldway.com.cn),[zengan@goldway.com.cn](mailto:zengan@goldway.com.cn)

联系人:陈镛先生,施楠小姐,曾安小姐,郑海龙先生