

**编者按** 显示技术已经历了黑白显示、彩色显示、数字显示三代,现在要实现的是第四代显示技术——大色域显示.大色域显示色域覆盖率将比现有显示的色域覆盖率提高 2.4 倍,可达 80% 以上,被国际产业界视为“人类视觉史上的革命”,是数字显示实现高清晰度之后,进一步实现高色彩显示的途径.

激光显示技术(LDT)是指以红、绿、蓝三基色激光作为光源的显示技术,是大色域显示的代表.激光显示具有色彩分辨率高、色饱和度高、色域范围广、节能、环保、寿命长、对上兼容等诸多优点,现已完成它的研究阶段,开始了产业化发展进程.其市场应用也很广阔,在大屏幕/超大屏幕,电视/家庭影院,游戏机/计算机显示器,微投影的投影手机/便携式显示等广大市场均具强大的生命力,有千亿元/年的市场潜力.

本期发表的“激光显示与产业应用”专题共三篇文章,分别介绍了以激光显示为代表的大色域显示技术产生的历史背景、物理原理、技术优势、颜色管理系统和产业化的现状及前景等.

# 大色域显示——新一代显示技术<sup>\*</sup>

许祖彦<sup>†</sup>

(中国科学院理化技术研究所 中国科学院功能晶体与激光技术重点实验室 北京 100190)

**摘要** 从上世纪 30 年代诞生的黑白显示,到 50 年代的彩色显示,再到上世纪末普及的数字显示,显示技术已经历了三代,现在要实现的是显示技术第四代——大色域显示.以激光做光源的“激光显示”是新一代显示技术——大色域显示的代表,大色域显示色域覆盖率将比现有显示的色域覆盖率提高 2.4 倍,可达 80% 以上.中国科学院 2002 年 9 月在国内首次实现了激光投影显示,通过实验证实了大色域显示技术的优势及产业前景,完成了激光显示技术的研究阶段,开始了产业化发展进程.再下一代的显示技术将是空间高保真再现问题——三维显示.

**关键词** 大色域,三基色,投影显示,综述

## Large colour gamut display——the new generation of display technique

XU Zu-Yan<sup>†</sup>

(*Technical Institute of Physics and Chemistry, Key Laboratory of Functional Crystals and Laser Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China*)

**Abstract** The emergence of black and white displays in the 1930's, color displays in the fifties, and popular digital displays at the end of the last century correspond to three generations of display technology. Now, the fourth generation, i. e., large color gamut displays, is coming. The “laser display” with lasers as the light source, is the representative of large color gamut displays for the next generation of displays. Its gamut range, more than 2.4 times that of conventional displays, can be as great as 80%. A laser projection display was demonstrated in the Chinese Academy of Sciences for the first time in September 2002, which confirmed the advantages of large color gamut display technology and its commercial potential. Following this, the process of industrial manufacture has begun, and the next generation to come will be the high-fidelity reconstruction of three-dimensional displays.

**Keywords** large colour gamut, three primary colors, projected display, overview

### 1 历史背景

人类感知自然,包括相互交流,80%信息来自视

<sup>\*</sup> 国家高技术研究发展计划(批准号:2002AA311120, 2006AA030103)、中国科学院知识创新工程(批准号:KGCX2-SWJG-02-03)和国家自然科学基金(批准号:5099030)资助项目  
2009-08-04 收到

<sup>†</sup> Email: zyxu@mail.ipc.ac.cn

觉. 在现代信息社会中, 视频图像的传递是信息流的主体, 而显示器是信息链的终端人机界面, 研究和生产显示器的技术就是显示技术. 显示技术长期发展的宗旨始终是“高保真”, 即所显示的图像具有高还原性; 对视频图像来说, 首先是在人眼正常感知范围内尽量少丢失信息. 以电视为例, 上世纪 30 年代诞生的黑白电视, 解决了有无视频图像的问题, 是第一代显示技术; 50 年代初开播的彩色电视是第二代显示技术, 解决了图像无颜色问题; 经过半个世纪的发展, 数字电视开始普及, 通过电视信号的数字化, 解决了视频图像、传输、存储和再现的清晰度问题, 于是出现了“高清”电视, 也就是说数字电视解决了图像的清晰度问题, 这是第三代显示技术; 现在要解决的是图像颜色的保真度问题, 实现显示技术的第四代——大色域显示; 将来还要解决图像的立体感问题, 实现显示技术的第五代——三维显示. 可能要花费一个世纪多的时间, 人类才能基本走完这五代(图 1)过程, 实现客观物体的时、空、色全部信息的完美、精确记录和再现, 真正实现“高保真”显示——显示技术的最高目标.

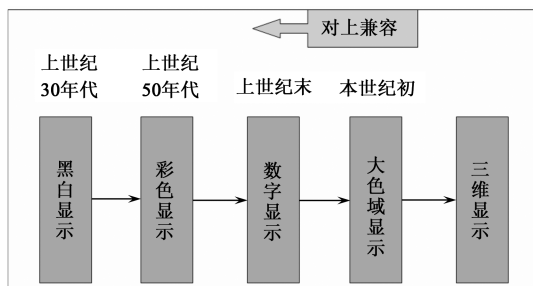


图 1 显示技术的发展历程

## 2 大色域显示的物理原理与技术

如果我们说数字显示是视频图像空间分辨(含灰度)以及降低噪声技术的突破性提高, 使人看到了“高清”图像的话, 大色域显示就是要实现视频图像颜色的大范围(大色域)和高分辨(高色彩数)技术的突破, 使人能看到色彩丰富而鲜艳的“高色”图像.

色域是指光的颜色(波长)范围. 色度学研究用色度图(图 2)来描述人眼所能看见的颜色范围. 色度图是国际照明委员会(CIE)于 1931 年发布的<sup>[1]</sup>. 从 400nm 到 700nm 是可见光波段, 即人眼可见的光谱色, 将光谱色点在  $xy$  坐标系中连起来(称光谱轨迹), 构成的色度图像马蹄形, 光谱轨迹上对应的光均为单色光, 从物理上说就是光谱最纯, 从视觉上

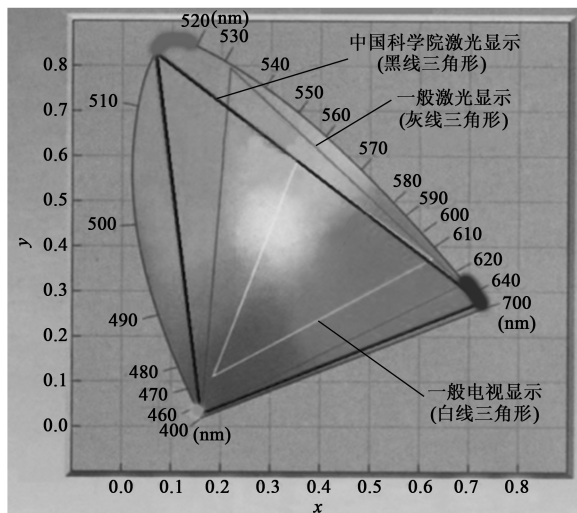


图 2 色度图(其中  $x, y$  是色度坐标)

说就是色饱和度最高, 色彩最鲜艳. 光谱轨迹和它所包围的马蹄形区域(包括轨迹两端 400nm 和 700nm 之间的连线)包含了人眼所能看到的一切颜色. 从光谱轨迹过渡到色度图中心, 光的光谱纯度越来越低, 到中心就成了白光, 自然界的所有颜色均包含在色度图内, 对应在相应点上. 色度图内的所有颜色在物理上均是能实现的, 都可以用多个光谱色合成, 两个光谱点连线上的一切颜色, 仅需取两个光谱点的不同强度比即可实现. 如果取三个光谱点构成三角形(称色度三角形), 则三角形内一切颜色就可由这三点的相互强度比决定, 这就是彩色显示技术中常用的三基色合成原理. 当然按上述颜色合成原理, 不是光谱轨迹上的光谱点, 任意三种不同的颜色也可构成色度三角形, 合成三角形范围内的所有颜色. 按此原理, 一种显示技术的色度三角形面积大, 它所能合成的颜色就多, 我们就说它具有大色域显示能力. 通常用色域覆盖率(色度三角形面积与色度图马蹄形的面积之比)来定量地表示色域大小. 例如, 图 2 中的白线三角形就是以荧光粉发光为基础的显象管电视机的色度三角形. 它仅占了色度图的一小部分, 它的色域覆盖率约为 30%, 即是说有差不多 70% 自然界的色彩它是显示不出来的(尤其是色度图中三个角对应的鲜红、翠绿和碧蓝三种鲜艳色彩). 目前主要的市售显示器, 如显象管显示(CRT)、液晶显示(LCD)、等离子显示(PDP)和灯泡投影显示(DLP)等, 它们的红、绿、蓝三基色颜色纯度都不高, 距色度图光谱轨迹都较远, 所构成的色度三角形面积都很小, 色域覆盖率不大于 33%(图 3), 对图像颜色的还原性达不到实际的一半. 因此, 在数字显示技术实现“高清”图像之后, 提高显示器色域覆盖率, 实现大色

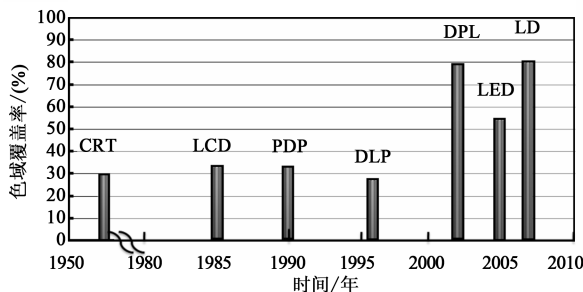


图3 各类显示的色域覆盖率

域显示,就成了新一代显示技术的发展方向。

从色度学颜色合成原理出发,由色度图不难看出,如采用红、绿、蓝三基色技术,欲使显示器的色度三角形面积最大,原则上最好设计成色度图的内接最大三角形,即三顶点均在光谱轨迹上,且红光近700nm,绿光在515—520nm之间,蓝光近400nm。这样的光源实际上只有激光,激光可供选择的谱线很多,可以组成大色域覆盖率的色度三角形,如图2所示。全固态激光(DPL)和半导体激光(LD)均可实现~80%色域覆盖率色度三角形,所以我们说以激光做光源的“激光显示”是大色域显示的代表,是新一代显示技术,也经常说第四代显示技术是激光显示。另外,激光方向性好,很易实现高清晰度的数字显示;激光功率高,效率高,易完成大屏幕显示;激光可实现小体积和低功耗,也易实现微型显示,所以其市场前景已被公认。但是激光作为显示光源,也有它的难点,如激光相干性好,在显示过程中极易产生相干条纹(时间相干性造成),破坏图像清晰度;也极易产生耀眼的散斑颗粒(空间相干性导致),严重降低图像画质。为降低激光相干的固有特性造成的显示噪声,人们想了很多办法(专利),目前尚解决得不太好。另外激光方向性好,有可能对人眼造成伤害。目前激光显示多采用投影式,将激光束在机箱内散开,调制出图像后再投影到屏幕上,使出射光密度降低到人眼安全值之下,不提倡采用扫描式,因出射光为细光束,功率密度较高(屏幕越大,功率密度越高)。投影式激光显示原理如图4所示,图中除消相干是激光显示特有的技术环节外,其他均和已有投影显示相似。红、绿、蓝三基色激光束经扩束、匀场、整形、消相干后均匀照明光调制器(光阀),视频图像信号通过光调制器分别将三色激光调制成三色图像后,被合成器(X棱镜)合成彩色图像,由投影镜头成像到屏幕上。屏幕也分为前投式和背投式,高画质、宽视场、灵活、小巧的前投式可能是激光显示的主流发展方向。

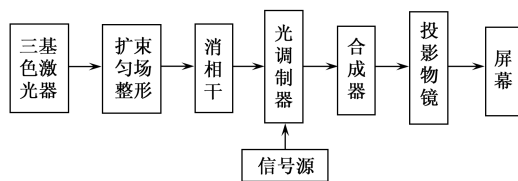


图4 投影式激光显示流程

### 3 大色域显示的优势

大色域显示技术的最大优势就是可实现人类至今尚不能再现的约60%的自然色彩,治好当今视频图像的“半色盲”状态。自1960年梅曼(T. H. Maiman)发明世界上第一台红宝石激光器以来,人们就提出了激光显示概念,从理论上阐明了通过激光光源实现大色域显示的原理。但实践是检验真理的标准,近半个世纪以来,显示技术和激光技术工作者在不断努力,力图实验证实以下三个问题:其一,激光显示是实现大色域显示的;其二,大色域显示图像人眼看起来是美好的;其三,大色域显示是现实的,可实现产业化。

国内最早研究激光显示的是中国科学院物理研究所和南京电子管厂。上世纪70年代初,中国科学院物理研究所研制了一台62英寸(1英寸=2.54cm)扫描式激光彩色显示装置,成功地演示了样板戏,采用了氩离子/氦离子气体激光器红绿蓝三谱线(488nm,515nm,647nm)、转镜扫描、电光调制等技术。但由于当年的条件限制,显示的图像未呈现明显优势,加之离子激光体积大(数立方米),耗电大(数十千瓦),寿命短(约一年),不可能实用化。上世纪90年代中,大功率半导体激光器、全固态激光器以及高亮度发光二极管(LED)三种高效率、小体积、长寿命、大色域固态光源的长足进展,迎来了大色域显示的春天<sup>[2,3]</sup>。

在国家高技术研究发展计划、国家自然科学基金和中国科学院知识创新工程支持下,中国科学院物理研究所、理化技术研究所、光电技术研究所、长春光学精密机械与物理研究所和光电研究院经过近十年共同努力,于2002年9月在国内首次实现了激光投影显示,演示了DVD全色动态视频图像<sup>[4]</sup>;又通过三年的努力,研制出了各种大屏幕激光显示演示样机,通过物理测试,达到了数字显示要求,且色域覆盖率超过73%,计算值达79%以上<sup>[5]</sup>,对应三基色波长分别为669nm,515nm和440nm,是当前最大的色度三角形(见图2),实现了大色域显示和

高清晰显示(见图5),验证了第一个问题.几年来这些样机经过各种类型的展示,其视觉效果获得了国内外大量各类人群的一致称赞,均认为比现有的彩色显示更美好,特别是对色彩的丰富和鲜艳留下了深刻印象,认可了激光显示的高观赏性,验证了第二个问题.通过样机的研制过程和近年来北京中视中科光电技术有限公司基于这些样机开展的激光显示产业化技术开发,已逐步证实了激光显示完全可以实现数字显示的功能(具有对上兼容性),相比之下,还具有节能(约1/3)、环保(无污染)、长寿命(20年)、全固态、小体积等全面优势,具备了向产业化发展的条件,即回答了第三个问题.同期,日本 sony、德国 CDT、瑞士 ETH、美国 Q-peak 和 LPC 等都演示了激光大色域显示样机,色域覆盖率(计算值)从 54.8% 提高到 67.0%.至此,中国科学院和国内外同行一起,通过实践证实了大色域显示技术的优势和成为新一代显示技术的前景.

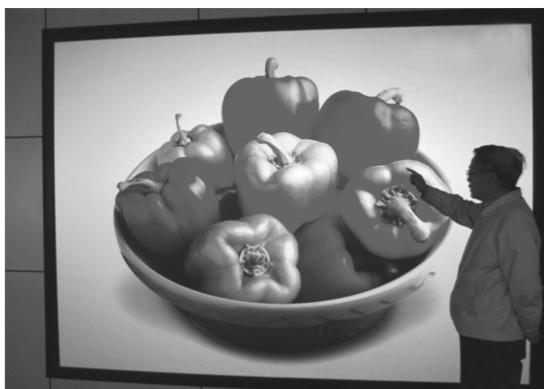


图5 140英寸的大屏幕激光显示

#### 4 大色域显示的产业化前景

显示器是信息链(信息的获取、处理、传输、存储和显示)的终端人机界面,是信息产业的支柱之一,是我国这样13亿人口的大国不得不为的战略性基础产业. CRT 已是“夕阳”产业,以 LCD, PDP 等为代表的平板显示是当前市场的主流,它占据了大屏幕显示、家庭影院、电视/游戏机、计算机/笔记本电脑和手机屏幕显示器等市场,随着数字显示技术的成熟,平板显示达到了它的完美境界——高清显示.随着窄光谱光源技术(特别是 DPL, LD 和 LED 技术)和光学调制器(反射式液晶调制器 CLOS, 微机械调制器 DMD 等)技术的发展,以激光投影显示为代表的大色域显示技术已完成了它的研究阶段,开始了产业化发展进程.鉴于大色域投影显示除对上兼容基本要求外,具有大色域革命性新功能和投影

屏幕可大可小并要求不严(用粉墙、白纸等均可),且无边界(多幅投影图像可“无缝”拼接)等特点,其市场前景比平板显示扩大了许多,可以覆盖大屏幕/超大屏幕、电视/家庭影院、计算机/游戏机显示、微型投影/手机投影及个性化头盔显示等广大市场,特别是在超大屏幕投影显示和微型投影/手机投影显示两方面,属开拓性新市场.投影显示(前投式)屏幕大小原则上无限制,上届世博会 sony 公司已演示过 500m<sup>2</sup> 的超大屏幕激光显示.投影显示,投影仪和屏幕是分离的,而激光和 LED 具有高功率、高亮度和低功耗特点,投影仪可以很小,当前已小到手机尺寸,笔记本电脑的机芯可造成比火柴盒还小,加上投影键盘技术,因此放在口袋里的个人电脑、游戏机和手机投影电视是近年可以期待的了.

中国科学院院长路甬祥院士在研讨激光显示时认为,高新技术的发展是经过技术需求和市场需求两个阶段的.在科研阶段,科技人员按照技术的科学规律进行研究,到了产业化阶段,就得按照市场规律发展了.激光显示演示完成后,应当以逐步产业化方式推向市场.以中国科学院激光大屏幕显示样机研制成功为契机,中国的大色域显示技术就从技术需求转入了市场需求.

当前大色域显示产业化目标是在攻克长寿命的同时降低成本,不断提高性价比,逐步成为显示市场的高端产品,以此迎接大色域显示时代的到来.以电视为例,关于寿命国际上有个统计,一般人一天平均看电视 4.5 个小时,20 年使用期,相当于 3.3 万小时,在产业化中,实现这么长的寿命,成品率等方面尚有不小差距.在成本方面,相对于科研样机,产品应降低量级,此要求难度颇大,有不少技术尚待突破,特别是关键材料、器件的量产问题.

作为新一代显示技术,大色域显示产业还需要一个发展与成熟的过程,要打造“两链一网”.两链之一是产业链,其大体结构如图 4 所示.产业链中,大色域三基色光源是核心,可以是 LED, DPL 和 LD. LED 技术较成熟,可以多种方式进入市场,如 LCD 平板显示的 LED 背照光源和 LED 投影显示的光机模组等.当前 DPL 结构较复杂,LD 价格尚太高,正在发展中,目前可采用一种光源或两种光源混合组成三基色,但从长远看,高效、芯片结构、易规模量产的三基色 LD 可能是激光显示最有效的光源.光信号调制器目前可采用 LCOS 和 DMD,但从长远看, DMD 可能在效率高、无偏振要求等方面占优势.两链之二是信号链,由于大色域显示色域在现有视频图像基础上提高一倍以上,其信号链应包括大色域图像的获

取(摄像)—处理(编码)—存储(压缩)—传输(含广播、上网)—显示(解码).当然此信号链在大色域显示产业化过程中和显示器技术一同形成,其表现为行业和国家标准的建立.一网是指两链的相关材料、元器件供应网,以保证完整的产业体系的形成.

大色域显示走向市场后,人们将看到“高清晰度”、“高色彩”的视频图像,其二维图像的高保真显示基本实现,再下一代的显示技术,将是空间高保真再现问题——三维显示.

## 参考文献

- [1] 荆其诚等.色度学.北京:科学出版社,1979.303[Jing Q C et al. Colourometry. Beijing: Science Press, 1979. 303 (in Chinese)]
- [2] 许祖彦.中国工程科学,1999,1(2):72[Xu Z Y. Engineering Sciences, 1999, 1(2): 72 (in Chinese)]
- [3] Eric Lerner. Laser Focus World, 1 May 2002,
- [4] 姚爱云等.物理,2004,33(2):133[Yao A Y et al. Wuli (Physics), 2004, 33(2): 133 (in Chinese)]
- [5] 许祖彦.激光与红外,2006,36:738[Xu Z Y. Laser & Infrared, 2006, 36: 738 (in Chinese)]

## • 物理新闻和动态 •

### 直接测量通向稳定岛的元素质量

欧洲的研究人员对比铈重的元素锗(No)的质量进行了首次直接测量,从而在基础核物理方面实现了关键性的突破.他们所使用的新技术可以帮助实验人员更好地研究超重元素,甚至可能为达到“稳定岛”提供一个跳板.

元素 No 的核中具有 102 个质子.研究人员用 Ca 的同位素轰击 Pb 靶,通过熔合反应,每秒中约产生一种 No 的同位素<sup>252</sup>No, <sup>253</sup>No 或 <sup>254</sup>No.

研究人员所面临的主要困难是必须找到一种方法使新产生的高速 No 离子慢化,以便进行质量测量.他们使 No 离子通过氦气,迫使这些高速 No 离子在与氦原子的一系列碰撞中失去大量能量,达到减速的目的.

在测量质量的时候,将 No 的同位素放在 Panning 阱中,在 Penning 阱的磁场作用下,带电的 No 同位素做三种简谐振动,其中包括一种轴向振动和两种圆周运动.由这两种圆周运动的频率之和可以确定 No 同位素的质量.

通过将测量结果与最新的理论预言相比较,研究人员宣称他们的结果精确到百万分之 0.05,并且证实了以前非直接测量的结果.在这项研究工作之前,标定比铈重的元素质量的唯一方法是研究元素的衰变产物,然后通过一系列计算倒推到母体同位素.

理论家们预言,在质子数等于 120 和中子数等于 184 附近存在一个“稳定岛”.由于核的壳效应,使得在这种幻数附近的核结合得很紧,其寿命可达数分钟、数天,甚至数年.

研究人员说,他们距离稳定岛还很远,但是弄清楚通向“稳定岛”的途径上的放射性元素的性质是很重要的.有关论文发表在 Nature(2009, 463: 740—741)上.

(树华 编译自 Physics Word News, 11 February 2010)

### 在磁场感应条件下生成自组织胶体膜

生命系统的复杂形式及其功能是以分子的自组织为基础的.当今的材料科学家正在积极地开发种种技术和方法,以便操控和量化微粒之间的相互作用,进而获得自组织产物的特定构形.研究的目标还包括:产物在响应外部机械扰动以及热力学条件变化时的行为应该是稳定的.最近,来自卢布尔雅那大学(斯洛文尼亚)的 Osterman 等在 Phys. Rev. Lett. 上撰文,报道了他们利用交变磁场进行控制,成功合成自组织胶体膜的工作.研究者令微米尺寸的胶体微粒处于动态调制的磁场中.他们观察到:所生成的自组织胶体膜具有许多生物学特征,特别是在机械扰动后的结构自愈合功能.

Osterman 等的实验是利用三轴磁场量化自组织微粒间的相互作用.3 对赫尔姆霍茨线圈按照垂直( $z$ 轴)和水平( $x$ 轴和  $y$ 轴)方向安放.垂直线圈通以稳恒电流,产生磁场的静态分量;另外两对线圈通以具有位相差的交变电流,产生一个在水平面内旋转的磁场.最终的合成磁场在一个圆锥面上绕  $z$ 轴旋转进动,场矢量与  $z$ 轴的夹角  $\theta_m$  依赖于垂直分量与水平旋转分量间的相对幅值.样品胶体微粒位于磁场中央,在一级近似下,超顺磁微粒的感应磁矩的取向跟随外场.

研究者测量了胶体微粒间的相互作用对夹角  $\theta_m$  的依赖关系.他们发现在所谓的魔角条件下( $\theta_m = 54.7^\circ$ ),被静态磁场分量感应的微粒间“偶极相互作用”与被水平面内旋转磁场感应的“负偶极相互作用”,两者正好相互抵消.结果使微粒间的相互作用成为长程的和各向同性的,并且其数学表达式十分类似于原子间的范德瓦尔斯相互作用.Osterman 等通过时间序列的快速摄影,记录了悬浮胶体(密度为每  $\mu\text{m}^3$  包含 0.15 个微粒)膜在磁场感应条件下自组织生长的过程.有专家认为,Osterman 等的工作为自组织物理学的发展以及功能材料合成技术的开发,提供了强有力的工具.

(戴闻 编译自 Nature, 2009, 463: 302 和 Phys. Rev. Lett., 2009, 103: 228301)