

# 空间光调制器物理和大屏幕投影电视产业\*

宋菲君

(中国大恒集团公司 北京 100080)

**摘要** 简单介绍了空间光调制器的原理和结构,讨论了用于信息显示的空间光调制器的效应,包括液晶的扭曲效应和数字微反射镜的“跷跷板”效应,介绍了液晶大屏幕投影电视和数字化投影系统及其产业化发展方向。

**关键词** 空间光调制器,信息显示,液晶显示器,扭曲效应,数字微反射镜器件,大屏幕投影

## PHYSICS OF SPATIAL LIGHT MODULATORS AND THE PROJECTOR INDUSTRY

SONG Fei Jun

(China Daheng Corporation, Beijing 100080)

**Abstract** The principle and structure of spatial light modulators are briefly introduced. The twisting effect of liquid crystal devices (LCDs) and the “see-saw” effect of digital mirror devices (DMDs) are discussed. The future of LCD and DMD projection systems and the projector industry is briefly reviewed.

**Key words** spatial light modulator, information display, LCD, twisted effect, DMD, projector

### 1 引言

我们已逐渐进入“信息时代”,信息显示则是信息科学的重要分支。

阴极射线管(CRT)是常规信息显示的主导技术,目前在信息显示产业中仍占主要地位。CRT在显示屏尺寸加大时出现了重量、体积、加速电压过大、辐射剂量超标等问题,严重制约了CRT在大屏幕显示领域中的应用。根据目前技术水平,CRT的尺寸上限为40”(1m)。

目前,“平面显示”作为一门新技术和一个新的产业,正迅速崛起,形成了一系列新的研究领域和新产品,打破了CRT的一统天下<sup>[1]</sup>。显示技术从CRT发展到平面显示,其趋势是从厚、重→轻、薄,从高电压、高能耗→低电压、低能耗。特别是平板显示,有可能实现大屏幕显示,具有CRT所不具备的独特优势,因而又称大屏幕显示。目前发展的趋势是采用空间调制器的光信息显示系统。大屏幕光信息显示系统由以下主要部件构成,见图1。

图1表示由信息源提供的图像信息通过空间光调制器调制了由强光源发射的光束,该光束就荷

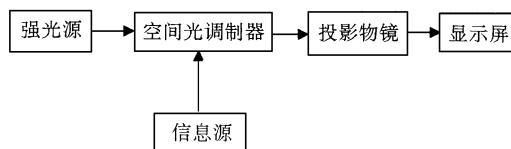


图1 大屏幕光信息显示系统

载了图像信息,通过物镜投影到显示屏上。在该系统中,空间光调制器是关键部件。

### 2 空间光调制器的物理效应

光学信息处理系统处理光波荷载的信息,这些信息用光波的某一参数的空间分布来表征,例如强度、相位、偏振。

在信息处理中,信号源(信源)和信号处理系统往往是两个独立的系统。信源产生的信号,必须是通过某种形式的接口器件,才能耦合到处理系统进行处理。例如当信息由非相干光所荷载时,由于光波是独立传播的,信息无法直接耦合到相干光处理系统中去。通常需要一个器件,它首先接收非相干光图像,通过器件中的特殊的效应,把光学图像所表征的

\* 1999-10-08收到

光强分布转换成其他物理量的二维分布(例如折射率、电压、电荷密度分布等),再通过器件的另一效应来调制处理系统中相干光的某一参数(相位、强度、偏振等),从而完成信息从信源向处理系统的转移,以及信息由非相干光荷载向相干光荷载的变换.实现非相干光-相干光转换的器件就是空间光调制器(SLM).另一类常用的信号是电信号,有些信号本来就是电信号,例如各种电路产生的电信号、雷达信号、太阳辐射的射电信号等.另有大量信号,通过传感器后转化为电信号,例如空中目标或待识别的指纹,经光学系统成像后,常常用 CCD 探测变成电信号.日常生活中大量的图形、图像、语言、声音等,也往往通过计算机多媒体转换成视频信号,电信号必须通过特殊设计的接口器件把电压电流的时间变化转化为光参量的空间变化.该接口器件也是空间光调制器.

一般来说,空间光调制器指的是这样的器件,在信源信号的控制下,它能对光波的某个参量进行调制,例如通过吸收调制振幅,通过折射率调制相位,通过偏振面的旋转调制偏振态等等,从而将信源信号所荷载的信息写进光波之中.

空间光调制器是一个二维器件,也可以看成一个透过率受到写入信号控制的滤光片,表征为

$$T(x, y) = T[x(t), y(t)], \quad (1)$$

$T[x(t), y(t)]$  表示在时刻  $t$  时空间光调制器在  $(x, y)$  处的复数透过率.写入信号把信息传递到 SLM 上相应位置,以改变 SLM 的透过率分布的过程,称为“寻址”(addressing).信源信号既可能是光学信号,又可能是电学信号,因此分为光寻址和电寻址的空间光调制器两大类.

常用的电寻址的方式是通过 SLM 上两组正交的栅状电极,用逐行扫描的方法,把信号加到对应的单元上去.电寻址又称为矩阵寻址,记为 EA-SLM.一对相邻的行电极和一对相邻的列电极之间的区域构成 SLM 的最小单元,又称像素(pixel),它给出 SLM 的分辨率极限.

电寻址空间光调制器是用得最多的空间光调制器,它将光学信息处理与近代电子技术特别是计算机-多媒体技术结合起来,构成光-电混合处理系统,应用非常广泛.

由于空间光调制器是光信息显示的关键器件,因此近年来国际国内开发出多种空间光调制器用于光信息显示,常用的电寻址空间光调制器有薄膜晶体管液晶显示器(TFT-LCD)、等离子体显示器

(PDP)、数字微反射镜器件(DMD)等.

### 3 液晶的扭曲效应及薄膜晶体管驱动液晶显示器(TFT-LCD)

液晶是某些有机高分子物质在一定的条件下呈现的一种特殊的物质状态,其结构介于液体-固体之间,称为中间态或中间相.它们的分子排列介于完全规则的晶体和各向同性的液体之间:每个液晶分子的中心在液晶空间中的分布是随机的,但分子的取向具有有序性,亦即长棒状分子的长轴方向或盘状、碗状分子的法线方向在一定的温度范围内倾向于彼此平行,该方向称为液晶分子的指向矢量方向.

因此,液晶具有双重性质,在一定程度上,既具有液体的流动性,又具有晶体所特有的各向异性.分子结构的各向异性,必然导致电、磁、光、力学的各向异性.此外,由于液晶分子之间的相互作用力远低于固体分子之间的相互作用力,所以液晶的各向异性在外场下会发生显著变化,这种变化远比各向异性晶体强烈.例如 KDP 晶体的半波电压  $9.3\text{ kV}$ ,而表征液晶电光效应的特征参量——开关电压约为  $5\text{ V}$ ,比晶体半波电压小 3 个数量级,这正是液晶的流动性和各向异性双重特性的综合效果.这一特性,使我们可以把液晶作为调制介质,构成低能耗、低电压的空间光调制器——光寻址的液晶光阀(LCLV)和电寻址的薄膜晶体管驱动液晶显示器(TFT-LCD).尽管 TFT-LCD 是近年开发的,但作为非相干空间光调制器,它却率先投入大批量生产,并已完全商品化.以 TFT-LCD 作为空间光调制器的计算机控制投影仪和液晶大屏幕投影电视(LCD-projection TV,简称为 LCD-PTV),已大批量生产,完全实用化,成为光学信息处理实用化的极个别的例子之一.

如果把向列相液晶放在一个经特殊处理的盒中,可以构成具有特殊的扭曲效应的液晶盒——TN 液晶盒,其结构见图 2.液晶注入一对导电玻璃之间,这两片导电玻璃的表面经过特殊处理,例如定向摩擦或倾斜蒸镀  $\text{SiO}_2$  导电薄膜,使它的表面具有定向的结构,而且上下导电玻璃的定向结构方向正交.向列相液晶分子为长棒状,在上面的导电玻璃表面定向结构的作用下,接近该表面的液晶分子的指向矢趋向于表面结构的方向排列.而在液晶盒中,分子的排列逐渐旋转,直至下表面,正好旋转了  $90^\circ$ ,使下表面层分子的指向矢趋向于下导电玻璃的定向结构的方向.

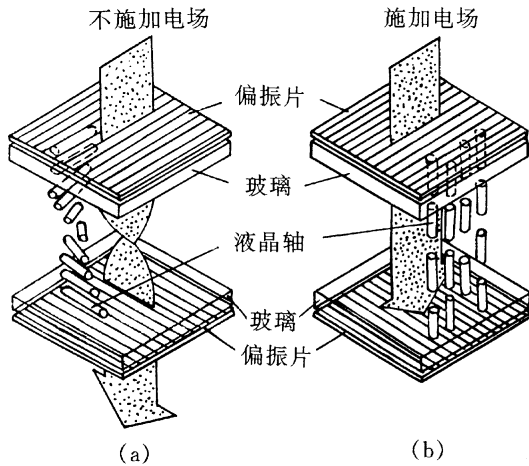


图2 TN液晶盒的结构和工作原理示意图  
(a)未加电压；(b)加电压

如果我们把整个液晶层沿着与表面正交的  $z$  轴分成均匀的  $N$  个薄层,则每一薄层中液晶分子的长轴取向大致相同,每个这样的薄层可以看成是一个单轴晶片,分子长轴(即指向矢)的择优方向决定了光轴的方向.在整个液晶层中,随着  $z$  的变化,分子长轴发生旋转,光轴也就随之旋转,形成扭曲型各向异性介质.在线性扭曲向列型液晶中,光轴的方位  $\phi$  是  $z$  的线性函数:

$$\phi = az. \quad (2)$$

TV盒中总的旋转角

$$\phi_d = ad, \quad (3)$$

且有  $\phi_d = 90^\circ$ .

关系式

$$\alpha \ll 2\pi(n_e - n_o)/\lambda \quad (4)$$

称为弱扭曲条件,其中  $n_e$  和  $n_o$  分别是液晶的非常光和寻常光的折射率.这一条件通常都是满足的.容易证明<sup>[2]</sup>,在弱扭曲的情况下,当入射线偏振光的振动方向与扭曲介质表面的局部光轴一致时,振动方向将锁定在光轴的方向上,随着光轴旋转,出射光波仍是线偏振光,振动方向与扭曲介质出射表面的光轴一致.这就是偏振光在扭曲介质中传播时的扭曲效应,这一效应常常被称为旋光效应.尽管两种效应都表现为偏振平面的旋转,但微观机制却根本不同.

TV盒外层有一对偏振片 P、A, P 的光轴方向沿  $x$  轴(上表面液晶取向矢方向),从液晶层射出的光波振动方向则沿  $y$  轴.如果检偏器 A 与  $x$  轴平行,则 TN 器件的透过率为零;若检偏器光轴沿  $y$  方向,则 TN 器件的透过率为最大,这两种状态分别称为 TN 液晶盒的关态(暗态)和开态(亮态).

扭曲效应本来就是近似的,通常  $\phi_d$  并不严格等于  $90^\circ$ ,光波在液晶中传播时,液晶中的不均匀还会引起散射.由于上述种种原因,出射光波一般是长椭圆偏振光或部分偏振光,这些因素引起 TN 盒在暗态下的漏光,造成对比度下降.

当我们在 TN 盒上通过透明电极加上纵向电压时,情况将复杂得多.液晶的长形分子作为电偶极子,将趋向于电场方向重新排列.边界附近的分子由于边界的定向作用,受电场的影响较小;中间层的分子受电场的影响最大.这样一来,就在一定程度上抵消了扭曲效应,使器件产生一定的透过率.电压越高,趋向于电场方向排列的分子越多,扭曲效应就越弱,透过率就越高.一般 TN 盒在 5V 的外加电压下就达到最大的透过率——开态(亮态).这样一来,外加的电信号就转换成 TN 盒的透过率变化,这正是电寻址液晶空间光调制器的基本原理.

电寻址的空间光调制器多采用矩阵寻址的方案.通常在一块玻璃板上,形成互相绝缘的行电极和列电极,在它们的交点上用大规模集成电路技术制作薄膜晶体管 TFT. TFT 的栅极、源极和漏极分别连接行电极、列电极和显示像素.在另一块玻璃板的表面,所有像素共用一个电极,两块玻璃板之间充以扭曲型或超扭曲型液晶.图 3 为 TFT-LCD 的等效电路.当某一像素的行、列电极同时加上电信号时, TFT 型场效应管接通,该像素透光.顺序选通各行电极,并同步地选通列电极,就可以控制各像素的明暗,电压的大小可控制灰阶.液晶空间光调制器不仅具有驱动电压低( $< 5V$ )、功耗小(每平方厘米微瓦级)的特点,而且由于场效应管隔离,有效地消除了相邻像素之间的干扰.特别是 TFT-LCD 是用大规模集成电路技术制造的,因此成品率高,成本越来越低,使它的应用越来越广泛,而广泛的应用反过来又成为 TFT-LCD 技术进步的原动力.

TFT-LCD 的主要缺点,首先在于其透过率较

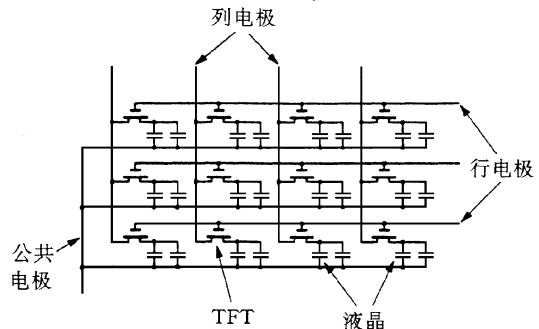


图3 TFT-LCD 的等效电路

低.一对偏振片的透过率仅约 0.3,而像素的开口率(透光部分的面积与像素总面积之比)又较低(不到 0.4),为了使 LCD 构成的产品(例如 LCD 投影电视机)的结构更紧凑,LCD 的尺寸有逐步减小的趋势.LCD 的尺寸减小有助于降低成本,但由于电极和 TFT 器件的尺寸并不能成比例地减小,使小尺寸 LCD 的开口率更低.耗散在器件上的光能量使器件温度升高,而温升又会引起液晶性能变差甚至永久性失效,因此使用大功率光源的 LCD 产品都带风冷机构.尽管如此,LCD 仍然是目前使用最为广泛的空间光调制器,而且 LCD 本身的性能也在一代一代地改善.在下一节中我们将介绍使用 LCD 作为空间光调制器的大屏幕投影电视.

#### 4 液晶显示器在非相干光信息处理中的应用——大屏幕投影电视

液晶大屏幕投影电视(LCD-projection TV,简称 LCD-PTV)的光学系统如图 4 所示.由高亮度、高色温的金属卤化钨灯 S 经非球面镜反射后形成平行光,经滤光镜 UV-IR 滤去对 LCD 有害的紫外及红外光,它们分别通过 3 个 TFT-LCD,在这 3 个空间光调制器上分别加上 R,G,B 三路视频图像信号,然后经分光镜  $F_3, F_4$  合成.3 个聚光镜  $C_1-C_3$  及高分辨率、大视场投影物镜 L 把合成后的图像投射到屏幕上,该屏幕也可以是普通的白色墙壁.

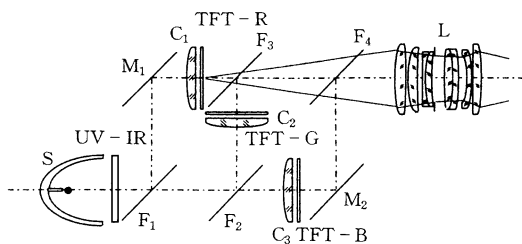


图 4 液晶大屏幕投影电视光学系统图

S:金属卤化钨灯;  $M_1-M_2$ :宽波段全反镜;  $F_1$ :透蓝绿光反红光滤色片;  $F_2$ :透蓝光反绿光滤色片;  $F_3$ :透红光反绿色滤色片;  $F_4$ :透红绿光反蓝光滤色片; L:投影物镜;  $C_1-C_3$ :聚光镜; UV-IR:透可见光反红外、紫外光滤色片

LCD-PTV 的体积、重量比常规的电视机小得多,而屏幕却可以大到 250cm(100in,对角线)以上,图像清晰度可与常规电视相比,而且不存在大屏幕电视机的辐射危害.目前,除亮度、色饱和度比普通的电视机略为逊色以外,其他性能都已赶上了普通的电视机,而屏幕尺寸则已远远超出普通的电视机.

在 LCD-PTV 中,核心器件是 3 个 TFT-

LCD,它的作用,是用小功率电信号调制大功率光束.用于 LCD-PTV 的 TFT-LCD 的规格,有 3.6" (指对角线),3",1.3" 及 0.9" 等,1.3" 和 0.9" 则是发展的趋势,使 LCD-PTV 的结构更为紧凑,重量更轻.目前,VGA(640×480 像素)、SVGA(800×600 像素)和 XGA(1024×768 像素)模式的 LCD 器件已成批投产.美国 Xerox 公司于 1993 年演示了高达 2048×3072 像素的 LCD-PTV,可显示 8.5"×11"幅面的图像,其分辨率已可和激光打印机媲美<sup>[3,4]</sup>.

在 TFT-LCD 中只有一个偏振分量起作用.为了充分利用宝贵的光能量,还设计了各种偏振旋转器,使另一偏振分量旋转 90°,进入系统参与工作.与此同时,高功率(例如 275 W 或更高)的金属化卤钨灯也已用在 LCD-PTV 中,使亮度更大.TFT-LCD 的反差也越来越高,高反差必然形成高的色饱和度和而行、列数的增加,则使 LCD-PTV 逐渐发展成为大屏幕的高清晰度电视(HDTV).它与多媒体技术相结合,将成为家庭影院的主要设备,并广泛应用于军事指挥机关、企业、商业、科研和教育部门、娱乐场所作为大屏幕显示、广告、计算机教学、演示和计算机辅助设计(CAD).

#### 5 数字微反射镜器件(DMD)和数字化投影

近年来,一种利用微细加工和大规模集成电路技术,构思极为巧妙的电寻址空间光调制器——数字微反射镜器件(digital micromirror device)问世.这种器件原来称作变形反射镜器件(deformable mirror device),两种名称的英文缩写恰好都是 DMD,它是由美国德克萨斯仪器公司(TI)的一名科学家 L.J. Hornbeck 在 1987 年发明的,DMD 作为光学信息处理系统接口器件的报道并不多,但是近年来,它应用于数字投影显示(digital projection display)及高清晰度电视(HDTV)中显示出来的优越性能,却引起了科技界和工业界的广泛兴趣.

##### 5.1 DMD 的结构和工作原理

DMD 的结构如图 5 所示.器件的基底是硅,用大规模集成电路的技术,在硅片上制出 RAM,每一个存储器有两条寻址电极(address electrodes)和两个搭接电极(landing electrodes).两个支撑柱上,通过扭臂梁-铰链(torsion hinge)安装一个微形反射镜,形成一个“跷跷板”的结构.

器件工作时,在反射镜上加负偏压,一个寻址电

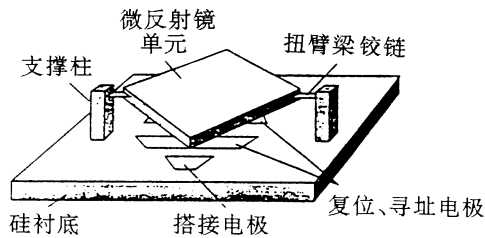


图5 DMD的结构示意图<sup>[5]</sup>

极上加 +5V(数字“1”),另一寻址电极接地(数字“0”),这样一来,就形成一个差动电压,它产生一个力矩,使反光镜绕扭臂梁旋转,直到触及搭接电极为止.在扭转力矩的作用下,反射镜将一直锁定于这一位置,不管它下面的存储器的数据是否变化,直到复位信号出现为止,对应旋转角  $\theta_L = 10^\circ$ .每一单元都有3个稳态:  $+10^\circ$ 、 $-10^\circ$ 和  $0^\circ$ ,  $\theta = 0^\circ$  对应于没有寻址信号(两个寻址电极都是0)的情况. DMD是通过半导体微细加工技术精密制作的,因此反射镜列阵的3个稳态一致性相当好,对应于 DMD的3个平面:与基平面成  $\pm\theta_L$  角的倾斜平面及平行于基面的平面.

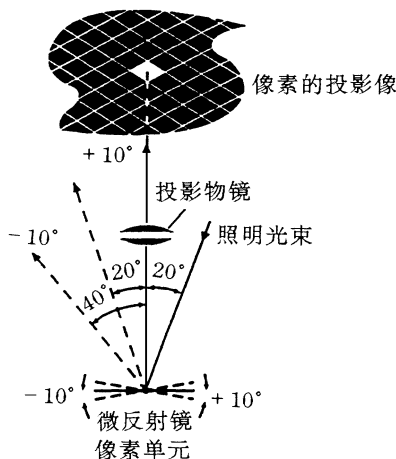


图6 DMD作为数字投影仪空间光调制的工作原理图<sup>[5]</sup>

作为非相干光调制器, DMD用于投影仪时的工作原理见图6.光源发出的光束与光学系统光轴的夹角为  $2\theta_L$ , 倾斜照射 DMD, 当某一像素的反射镜  $\theta = 0$  或  $\theta = -\theta_L$  时, 反射光通不过投影物镜. 当该像素被寻址时,  $\theta = \theta_L$ , 它反射的光束正好沿光轴方向通过投影物镜成像到屏上, 称此状态为“开(ON)”;  $\theta = -\theta_L$  则对应于 DMD 的状态“关(OFF)”. DMD一般由视频信号驱动. 在每一帧的时间内, 某一像素处于两种状态的占空比, 决定了该像素的灰阶, 亦即灰阶是由入射光的二元脉冲宽度调制实现, 人的眼睛再把这一“数字”图像翻译成“模拟”图像. 一般灰阶数为  $2^8 = 256$ .

## 5.2 DMD 数字式投影仪

作为空间光调制器, DMD可应用于相干光信息处理, 然而它更重要的用途是作为非相干光的空间光调制器. 例如用在打印机上, 特别是用于投影系统, 产生了与传统的投影仪完全不同的数字式投影仪.

图7是用 DMD 作为空间光调制器的 280cm (110in) 大屏幕数字式投影仪的系统图, 它事实上也是一台大屏幕投影电视机. 由光源发出的白光宽光束经过第一个聚光镜照射 R, G, B 三原色滤色镜的调色盘, 它在视频信号的控制下严格同步旋转, 在每一帧的时间  $\Delta t$  内旋转一圈, 在色盘范围内再分别用像素 ON/OFF 的占空比调节 R, G, B 的强度比, 从而在一帧的时间  $\Delta t$  内合成所要求的颜色. 由于每种颜色的灰阶都是 8bit 即 256 种, 总共可产生  $256^3$  约 1600 万种不同的颜色, 色彩是相当丰富的. 经调色盘调制的光束照亮 DMD 器件, 从器件上反射的光束经变焦物镜投射到屏幕上, 屏幕上投影像各点的灰度及颜色是由对应的微型反射镜处于开态 (ON) 的时间决定的, 而开态的时间长短则可以用脉冲宽度加以调制. 通常通过 8bit 的系统为每种颜色提供 256 级灰度, 每种颜色对应的总时间占一帧的  $1/3$ . 因此色彩的总数为  $256^3$ . 由于视觉暂留效应, 人眼所看到的是三原色合成的彩色图像. 这一工作方式称为“顺序颜色模式”(sequential color mode).

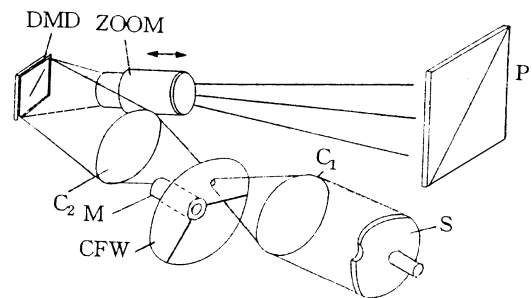


图7 DMD数字式投影仪<sup>[5]</sup>

$C_1, C_2$ : 聚光镜; M: 电机; CFW: 三原色滤光镜盘;  
P: 110" 屏幕; S: 光源

更先进的系统是所谓三板式 DMD 投影机, 参见图8. 由短弧、高强度、高温光源(金属化卤钨灯或氙灯)发出的白光经反射镜、聚光镜及折转反射镜后, 通过一个颇为复杂的分光棱镜系统分成 R, G, B 三色光, 分别以  $20^\circ$  角(即  $2\theta_L$  角)照射 3 个 DMD, 3 个 DMD 用三色电信号分别驱动, 3 个 DMD 器件中处于 ON 态的像素的反射光再通过该棱镜系统重新合成, 通过一个变焦物镜投影到屏幕上. 由于 3 - DMD 投影系统中各单色光分别用各自的 DMD 调

制,因而其信号是连续的,亮度更高(理论上是单 DMD 系统的 3 倍),而灰阶更丰富,可达  $2^{11}$  (11 bit),因此可以合成更多种类的颜色.3 - DMD 系统适用于超大屏幕或需要更明亮的投影像的情形,但 3 个 DMD 的空间位置必须仔细调整,使它们的图像精确重合.

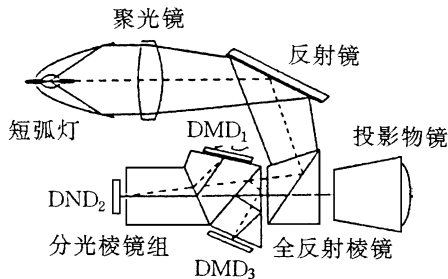


图 8 3 - DMD 式投影系统<sup>[6]</sup>

### 5.3 DMD 数字投影技术的特点

DMD 空间光调制器的原理,也许是我们所介绍的各种空间光调制器中最简单的.效应越简单,一般来说附属设备及系统结构就越紧凑,其结果是高效率及高度的稳定性.此外,DMD 可以用成熟的大规模集成电路技术制造,这就为它的商品化创造了条件.巧妙的构思加上集成电路的制造工艺,使 DMD 在分辨率、亮度、反差、灰阶、色保真度及响应时间等主要指标上都达到了目前显示技术的创记录的水平.

DMD 数字投影技术具有以下特点:

#### (1) 高分辨率

这是由 DMD 的像素尺寸及制造工艺决定的. DMD 可以有  $640 \times 480$  (VGA),  $800 \times 600$  (SVGA),  $1024 \times 768$  (XGA) 及  $1280 \times 1024$  (SXGA) 等多种解析度规格,特别是适用于 16:9 宽屏幕电视的 DMD,器件尺寸  $37 \times 22$  mm,像素尺寸为  $17 \times 17 \mu\text{m}$ ,一个 DMD 上的像素数为  $2048 \times 1152$ ,远远超过 LCD 的像素数,达到 N 制电视制式器件的 5 倍以上,完全符合高清晰度电视 (high definition TV, HDTV) 的要求.

#### (2) 高亮度

DMD 不存在 LCD 器件所必需的偏振片组,它完全靠反射镜阵列的反射.反射镜面积约为像素面积的 70%,两个像素的间隔为  $1 \mu\text{m}$ ,再扣除光在扭臂梁、支撑柱及反射镜边缘的散射、衍射,有效反射率达到 61%,远远高于 LCD 的光学效率.

#### (3) 对比度、灰阶及色保真度

在 DMD 的关态 (OFF) 下,从反射镜上反射的光束与光轴的夹角为  $4\theta_L$ ,约  $40^\circ$ ,被仪器四壁专门设计的吸收介质吸收,只有少量散射光进入投影物

镜,因此对比度达到 50:1 是没有问题的,目前改良的技术已达到 100:1 以上.

作为一个数字化器件,它的灰阶及色保真度由开态 (ON) 的占空比决定,而占空比由脉冲调制来控制,一般能做到 8bit (256 级) 甚至 10bit (1024 级).上面已谈过,三原色各 8bit 的混合结果产生  $256^3$  即 1600 万种不同的颜色,无论是灰阶还是色保真度都达到 HDTV 的要求.

LCD (或 LCLV) 是一个模拟式空间光调制器,而 DMD 则是数字式空间光调制器.数字化是今后信息技术发展的大势所趋,也是电视技术发展的必然趋势.因此,在大屏幕投影技术的竞争中,DMD 作为数字式空间光调制器件,无疑占了有利的地位.

#### (4) 可靠性

由于 DMD 的调制功能是通过微型反射镜的扭转实现的,因此人们自然会担心在反复的转动下扭臂梁铰接链的可靠性. TI 公司专门做了模拟 DMD 长期使用的试验,历经  $765 \times 10^4$  个周期未发生任何问题,这相当于投影电视或投影仪正常使用 76000h,看来可靠性是不成问题的.

#### (5) 响应时间

由于扭臂梁非常薄 (约  $0.05 - 0.1 \mu\text{m}$ ),微型反射镜的重量很轻,转动惯量极小,因此响应时间非常快,从完全的开态到完全的关态约  $10 \mu\text{s}$ ,因此单板式 DMD 投影仪可以在常规 TV 的  $1/3$  帧的时间内读完全部 RGB 三色信号.

第一台 DMD 投影系统已于 1996 年投放市场,专业级或消费级的 DMD 投影电视也已经进入商品化阶段,与 LCD 投影电视形成竞争.

在本世纪末和即将来临的 21 世纪初,高清晰度电视 (HDTV) 将逐步取代常规的电视,由此,空间光调制器必须具有 200 万以上的像素,高达 30 MHz 以上的数据率 (data rate). HDTV 和大屏幕显示常常是同时要求的.此外,数字化也是 HDTV 的发展趋势. DMD 几乎满足 HDTV 的所有指标,可以预言, DMD 是未来 HDTV 首选的空间光调制器件,因而有人把 DMD 称为“数字化投影技术的革命”.

有关 DMD 的详细介绍,请参看 Younse<sup>[5]</sup>, Florence<sup>[6]</sup> 和 Hornberck<sup>[7]</sup> 的论文.

## 6 结论

设计、开发空间光调制器的初衷,是为光学信息

(下转第 44 页)