

# 激光技术中的新材料—液晶

王志健

(河北省张家口第三中学)

1888年,发现了某些有机物质在固相与液相间存在“液晶相”,它在一个较宽的特定温度范围内,呈流动性并具有表面张力,分子的排列却象固态晶体,有一定的取向。液晶早就被发现了,可是实际应用只是近几年的事情,特别是在激光技术中应用液晶,更是一个新课题。液晶器件透光性好,灵敏度高,耗电省,制作容易,加上它的独特性质,可被应用于激光技术的各个方面。本文准备从不同的角度列举液晶在激光技术中的可能应用,其中有些是探索性的。

## 一、液晶材料

液晶分为三种类型:近晶型、向列型和胆甾型(图1)。

近晶型液晶的分子成层状排列,每一层中的分子竖直平行。

向列型液晶分子也是竖直平行的,排列成空间晶阵,分层不明显,分子有规则的交错穿插。

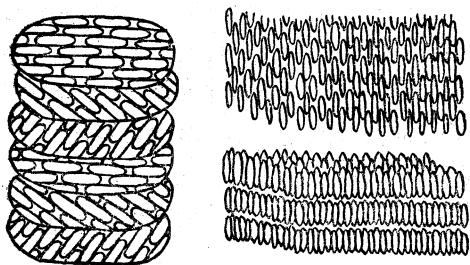


图1 液晶的三种不同类型

左-胆甾型;右上-向列型;右下-近晶型

胆甾型液晶分子排列成分层的螺旋,相邻两层成 $15^\circ$ 角的层错。当层间扭转 $360^\circ$ 时,两端面层间距 $p$ 就是螺距。

近晶型液晶在电场作用下,层间与分子间都有规则地转向,当电场撤除后,分子排列仍保持此种状态,而不恢复原状,这种性质称为“贮存效应”或“记忆效应”。

向列型液晶的分子有两个苯环,最外端是取代基团。加上电场后,就驱使原来透明的液晶产生畴,形成光的散射中心,使液晶显得混浊而不透明,这是液晶具有晶体的各向异性的结果。

向列型液晶的另外一个重要效应是双折射(图2)。入射光与长条液晶分子的长轴方向成一个角度时,光就以具有不同速度的两个波传播。在向列液晶中寻常光与非寻常光折射率不同,平均相差 $0.2$ 微米以上。在液晶被迅速压缩、加上电场和输入超声信号时,双折射效果也急速变化,非常灵敏和显著。

向列型液晶具有“宾主效应”,把强双色性染料与向列液晶混合,混合液呈一种颜色,当加

上电场时,液晶分子改变取向,并带动染料分子,于是,液晶呈另一种颜色。

由于液态的存在形式,向列液晶的几种效应可变动范围很大。

胆甾型液晶的分子排列成层状螺旋,重要的参数螺距  $p$  随外界条件改变而改变。对应于变化中的每一个螺距  $p$  的值,胆甾型液晶所反射的光波长有一特定值,这样,当外界条件变化时,液晶的颜色就改变。要改变螺距  $p$ ,可以使用温度、蒸气、机械压力和有机溶剂,这就是胆甾型液晶的温度效应、蒸气效应、机械效应和污染效应。

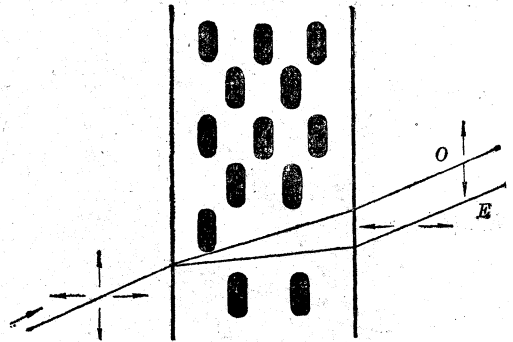


图2 向列型液晶的双折射效应

## 二、应用

向列型液晶的动态散射效应的一个重要应用,是作为激光显示的投射屏。在透明平整的玻璃上镀上二氧化锡后,把两片这样的玻璃迭起来(二氧化锡层向内),四周涂胶,构成中空的薄盒子,盒的厚度约10微米左右,在盒内灌满具有动态散射效应的液晶,就构成一个显象增益可调变的激光投射屏幕。二氧化锡是导电的,作为电极把它接入电源。在无电压时,盒子——玻璃和二氧化锡——连同液晶都是透明的,加上电场后,由于离子型的空间电荷(来自液晶本身或杂质)移向电极而生成的微小电流使液晶层产生湍流(图3)——称之为畴,形成若干散射中心,使液晶膜变得乳浊,就象毛玻璃一样。这种液晶薄膜激光投射屏幕是消除令人头痛的激光斑点效应的好办法。由于激光的相干性,当显示激光投射到一般屏幕上时,从漫射体表面反射的相干光进行干涉,干涉所产生的明暗条纹到达观察者的眼睛,引起了闪烁的斑点,这种斑点使得大型激光图象不能在实际中应用。如果用具有动态散射效应的液晶屏代替普通的毛玻璃屏就可以有效地消除这种闪烁,使图象分辨率大为提高。因为这时动态散射使投射在液晶上的激光波前乘以随时间变化的无规相位函数,因此,如果入射光是空间相干

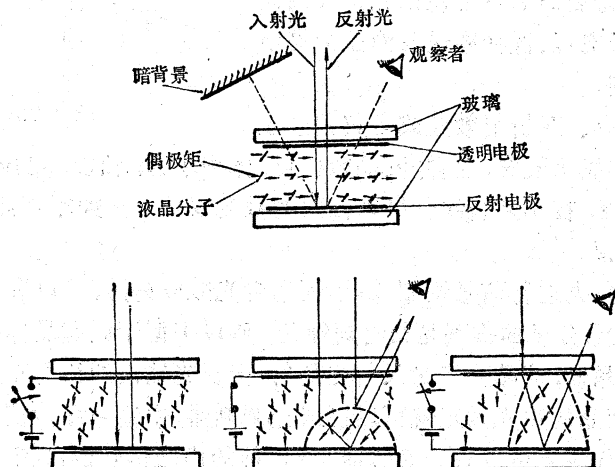


图3 向列型液晶的动态散射效应

的，那么反射出的光就是非相干的。所以干涉现象也就随之消失。这种液晶激光投射屏有一个很大的优点：当调变施加于液晶盒电极上的驱动电压时，也就调变了液晶层的动态散射程度，这就调变了液晶投射屏的显象增益(图4)。

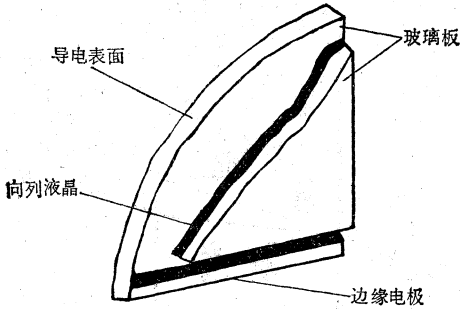


图4 液晶激光投射屏

利用液晶投射屏消除激光斑点，使全息显微术克服了重要的障碍。因为在全息显微镜中，激光的斑点效应影响到它的进一步普遍使用，虽然提出某些克服方案，如振动光栅、旋转屏、可动光劈和悬胶液等，把空间相干光变成非相干光，逐次消除干扰效应，但技术上存在不少困难，结构也太复杂。

这种液晶投射屏也可以用作透光率可调的光衰减器。

应用向列型液晶的双折射效应可做成灵敏的电光开关。液晶膜具有双折射性质，由于它是可流动体，参数受外界条件的变化就很灵敏。用机械方法把镀在透明玻璃上的导电二氧化锡层表面擦出密致平行的小沟，然后再做成液晶盒，向列液晶分子是具有两个苯环的长条形，这时候与电极接触的分子的两个苯环便“嵌”到小沟里，整个分子沿着沟的方向排列，并通过邻近分子影响到整个液晶层，使之具有一定的排列次序。对这样的液晶盒加上电压就发生双折射现象。在透明液晶盒的两面加上起偏振片和检偏振片，就制成响应速度相当高的电光开关。

这种液晶电光开关在几伏的电压下就可以工作，而其他的电光晶体则要高得多的电压值：KDP(磷酸二氢钾)——7.5千伏；LiTaO<sub>3</sub>(钽酸锂)——2.8千伏；GaAs(砷化镓)——91千伏；Ba<sub>3</sub>NaNb<sub>5</sub>O<sub>15</sub>(铌酸钡钠)——1.57千伏。由此可以看出液晶电光开关的特点和优点。由于低电压和低损耗，液晶电光开关(图5)用在光波导和集成光路中是很适合的。

这种效应在激光技术中的一个重要应用是制成调制器，对激光进行相位调制，用于通讯和雷达。它的功耗是微瓦级，这样的微瓦调制器可用来从危险的地区往外发送信息，例如油库之类。激光束从远处射来，穿过液晶盒，盒后面的反射镜把光束反射回到接收系统，信号以低电压、低功率送入液晶盒的电极，对激光束进行调制。

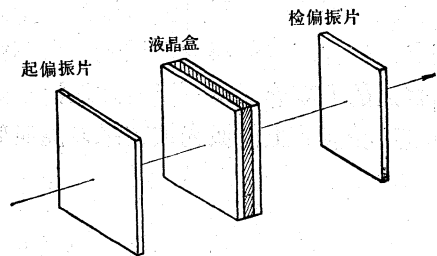


图5 液晶电光开关

应用动态散射效应、双折射效应或者宾主效应和旋光效应，可以制作显示装置，这种“液晶数码屏”体积小、不怕震、电压低、“无功耗”——耗电量为微瓦/[厘米]<sup>2</sup>级，在小型、轻巧、机动性强的激光仪器——如军用测距仪——中，它将取代其他一切数字显示管。

应用向列液晶对激光进行信号调制，除了利用电光效应外，还可以利用声光效应。液晶盒很薄，透明度很高，液晶分子的排列是很有规律的，所以类似于固态晶体的布里渊效应也很显著。当超声波输入液晶盒，液晶分子对入射光衍射，衍射光输出的衍射角度随超声波的频率的变化而变化时，利用液晶的声光效应就可以制成光调制器，由输入超声信号控制光信号。

利用这样的声光效应还可以做光偏转器，与以前的声光偏转器比较，它有突出的优点：光吸收小，以小的超声功率得到大的偏转效率，对于高频的超声波衰减小。这是由于液晶具有可

流动性,超声波对它的内部结构影响比对固相晶体要剧烈。

应用胆甾型液晶的光色效应,可以制成激光束探测器。胆甾型液晶分子排列的螺距  $p$  对温度很敏感,而且螺距  $p$  变化后其颜色也就改变。随着温度的升高,颜色由红→橙→黄→绿→青→蓝→紫经历整个色谱。把激光束照射到胆甾型液晶薄膜上,观察颜色分布,就可以清楚知道激光束的强度分布,对于不可见的红外激光,原来简单的办法是把它射到砖头、石棉板一类材料上,观看其发光的不同而测知激光的强度分布,但是这种方法的分辨本领很不好,而且只能粗测高功率密度的激光束。胆甾型液晶膜则能很精细地测量甚至是低功率密度的激光。对于一种胆甾型液晶,它的温色效应如下表:

温度 (°C)	波长 (Å)
29.5	6100(红)
29.8	5600(黄)
30.5	5250(绿)
32.0	4750(蓝)

除了应用这样的光色效应测量激光束的强度分布外,还用来观察激光束的相干图样和直接观察激光的模式。液晶探测器的一项重要应用是与激光源相配合进行瞬变现象的研究。

用激光束直接在液晶屏上书写,做成新的显示器件,可以显示数字、文字和图画。液晶盒也是用玻璃制成的,玻璃片的内表面涂有氧化铟-二氧化锡作为电极。激光束的光能转变为热能,这些热作用于液晶,使液晶温度升高,伴随着相变出现了磁滞效应,改变了化合物的外貌,激光束所照射的点便从透明变为霜白。在氧化铟-锡电极上擦出了沟,或者附着一层含硅耦合剂,使液晶分子具有一定取向。盒内充满的是 90% 的向列型液晶 N-对甲基苯叉-对正丁基苯胺和 10% 的胆甾醇壬酸脂的混合物。显示出来的字迹或图形可以用光学系统投射到大屏上。这时液晶膜上透明部分呈白色,不透明的图案或线条呈黑色。这与阴极射线管很相似,只是用激光代替了电子束扫描,以液晶屏代替了萤光屏。但液晶显示器上用激光束“写”上去的图象不象萤光屏上的图象那样立刻消失,而可以保存,因而在应用时就不必象普通示波管那样不断地扫描进行补充,故可以避免闪烁问题。要擦去图象也很方便,只要在氧化铟-锡电极上加上千赫的振荡即可立刻擦去,如果不加擦除电压,图象可保留几十天。

用两层胆甾型液晶和一层红色磷光体制成的投影屏幕有希望简化激光彩色显示机构,使之达到实用。胆甾型液晶膜对激光波长及偏振态有选择散射特性,这取决于所选用的液晶分子螺距  $p$ 。使第一层液晶膜能散射 4880 埃的左旋圆偏振光而透过其他波长和偏振态的光;使第二层液晶膜散射 5145 埃的左旋圆偏振光而透过其他波长和偏振态的光;使第三层磷光体受 4880 埃的右旋圆偏振光激活而发红光。这样一来,只要分别调制氩离子激光器的 4880 埃 + 5145 埃线的强度和偏振态就能够实现激光彩色显示。

应用液晶温色效应可以进行信息记录(图 6),携带有信息的激光射到液晶屏上,便在液晶上“刻”上了图案,这样的热光效应很适合于全息照相。用液晶作底片的全息照相术是即照即

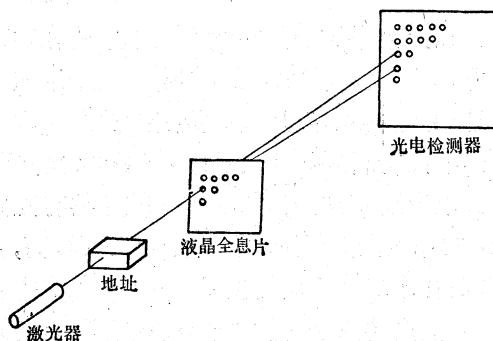


图 6 用液晶的温色效应进行信息记录

得,不用经暗房处理。这种“实时全息术”对生产和科学研究都提供了很大的方便,特别是使用红外激光的全息照相和使用微波的全息照相,目前还难于找到理想的记录介质,而液晶记录的灵敏度和分辨率都很高,对此二种全息照片记录很适用。

声学全息照相正受到极大的重视,但是怎样记录全息照片却是个伤脑筋的问题,利用液晶对机械压力的灵敏反应可以制作声全息照片。把液晶屏置于接收声全息波前的位置上,在它上面便形成声波干涉条纹,也就是由于振动的迭加使液晶的不同位置受到不同的压力,压力使液晶分子排列发生变动,相对位置变化,于是就显出不同的颜色,把声学全息片记录下来。

向列-胆甾型液晶的光色效应的一项重要应用是作为计算机的贮存器。激光束在液晶膜上直接书写数据并记录下来,数据取出极为方便,使用声频电压很容易把数据擦掉。因为经聚焦的激光束是非常狭窄的,所以,液晶贮存器的贮存密度很大。

另一种激光-液晶贮存系统是全息贮存,它同样有密度高、擦拭易的特点。

液晶给光学计算机提供了实时输入,有希望制成“光信号放大器”。这种液晶盒的构造与前面叙述的相似,但在透明电极之间除了液晶外还夹入一片光电半导体——例如硫化镉薄膜。用光束在液晶盒上书写信息时,硫化镉被光激励出电子,而留下了空穴,使激活层电压升高,于是引起了液晶的动态散射。构成的图象用相干光读出,并进行信息处理和光学计算。由于在液晶盒上原来加有低于散射阈值的电压,所以微弱的光信号便可以将盒激活,选择对硫化镉光电半导体灵敏的波长,如5100埃的绿光,读出光束可取另外的波长。在适当条件下,光信号的增强可达一万倍。

这种装置的一个重要优点就是可以把信息从非相干光转移到相干光。可以期望,上述装置能在光学计算机中起耦合、传递和放大作用。

向列型液晶材料的分子排列对于辐射很敏感,在激光束照射下,分子吸收光量子,能级跃迁,电极化强度变化,由此产生了非线性光学效应。液晶N-对甲基苄叉-对正丁基苯胺具有很强的自聚焦效应,它所显示出的非线性指数是目前各种非线性材料中最高的。

液晶材料,特别是胆甾烯基壬酸脂,具有高效能的倍频效应,当激光穿透液晶时,产生二次谐波和三次谐波,其特点是,倍频效应与液晶的温度相有密切关系。

向列液晶分子中的受激喇曼散射效应很显著,而且有一个特点,对于不同方向入射的激光,喇曼散射的波长和强度不相同。这种非线性效应,使得向列液晶与激光器配合,能对不同方向的辐射作取向测量和统计。

胆甾型液晶也显示出非线性效应,致使光波在其中的传播形成中止带。

\* \* \* \*

以上列举了液晶在激光技术中的各种可能的应用,这个项目的开展只有几年,正处在研究阶段,还未达到大规模的实用,这与液晶也正处于研究阶段的状态有关,因为液晶材料本身仍未达到大规模的实用和成为定型的产品。

液晶材料要在激光技术中达到实用,还要从理论和工艺上解决液晶材料的问题,例如要求寻找响应速度高的液晶及突变效应具有宽阔的相温度。另外,对附属材料和工艺也提出了要求:制作液晶盒的透明材料平整度要极高,导热和导电性能要好,在制作时要避免高温和应力(目前在涂二氧化锡时需400~500°C),偏振元件要小巧而透明度高等等。再则,液晶合成工艺、液晶盒的灌制等都存在不少问题,需要研究解决。