

空 间 光 调 制 器

摘要: 评述了相干光学数据处理所用的近实时的,可重复使用的空间光调制器。PROM 液晶,和电子束寻址的 DKDP 及油膜等光阀看来是最有希望用于相干光学数据处理的器件。

I. 引 言

光学数据处理比较数字的或其它模拟方法的优点,起因于光学系统对二维输入平面内所有各点作并行运算的固有能力和处理的速度近似于光速,仅受系统的输入转换器和输出探测器的限制。为实现光学计算机的这些潜在特性,某种能以与系统的潜在效率相应的速率将数据输入系统的方法是极重要的。能进行此类运算的转换器称为空间光调制器(SLM)。它们必须能空间地调制一束带有待处理输入数据的准直相干光束,并能重复使用,此外还应能在原处记录和实时运算。

存在着多种潜在的 SLM 材料和器件。那一种也不是万能的,它们全处在不同的发展阶段,打算用于不同的应用,经常需要不同的光学排列以构成一个系统。空间光调制器有许多起源于显示方面或大容量数字的而非灰度等级数据的存贮,它们并没有广泛地使用相干光,而原来是打算用于文件存贮的。在本评述中将只考虑能在原处记录并使用相干光的几种潜在的,实时可重复使用的 SLM。对 SLM 的要求在很大程度上依赖于特殊的应用。在第 II 节简要叙述了光学数据处理,重点放在用实时 SLM 时的各种光学排列上,然后在第 III 节讨论了 SLM 性能因素。这两节是进一步讨论 SLM (IV 节—X 节)所必须的。

II. 光学数据处理

各种述评文章,书,特刊,以及会议录

都叙述了光学数据处理的许多应用。因为在许多教科书以及在本特刊中别处给出了基本的运算,在这里仅简略地讨论两种使用 SLM'S 进行实时处理的特别感兴趣的光学数据处理系统(图 1 和图 2)。

图 1 中的 P_0 是输入平面,其透过率比例于输入数据 $f_1(x_0, y_0)$,而光学付里叶变换 $F_1(w_x, w_y)$ 借助于透镜 L_1 而形成于 P_1 面。按习惯用法,小写字母(f_1 和 f_2)用来表示空间函数,而大写字母函数(F_1 和 F_2)表示它们所对应的付里叶变换。若 P_1 的透过率比例于 $F_2(w_x, w_y)$ 或 $F_2^*(w_x, w_y)$ (这里 F_2^* 是第二个函数 f_2 的变换的共轭),则平面 P_2 将分别包含两个输入函数的卷积 $f_1 * f_2$ 或相关 $f_1 \otimes f_2$ 。

在图 1 所示的频率面相关器中,一个函

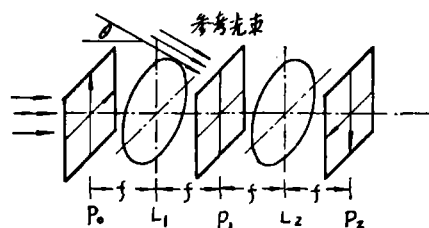


图 1 相干光学相关器频率平面的示意图

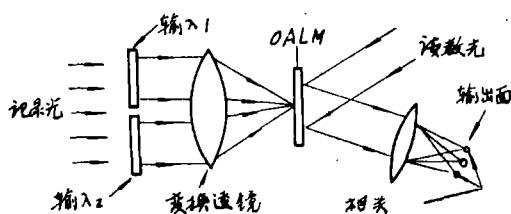


图 2 二元线性光学相关器的示意图

数的变换的复共轭必须在 P_1 上记录, 这可由全息技术来完成。若将 f_2 置于 P_0 , 且其变换 F_2 和一平面参考光束 (以角度 θ 示于图 1) 的干涉在 P_1 上记录, 则 P_1 的透过率含有比例于 F_2 和 F_2^* 的各项及其它项。角度 θ 确定在 P_1 上记录数据所要求的空间频率分辨率 ($\sin\theta/\lambda$)。如果 $\theta = 15^\circ$, $\lambda = 632.8\text{nm}$, P_1 中的记录介质必须有 409 对线/mm 的分辨率。角度 θ 也确定了 P_2 上相关和卷积的位置 (分别在 $y_2 = \pm f \sin\theta$ 处, 这里 f 是透镜 L_1 和 L_2 的焦距)。要在 P_2 中将要要求的各项与其它项分离开来, 常常需要较大的 θ 值, 反过来也要求在 P_1 上有一个高分辨率记录介质。

这些相关和卷积运算能用于图样识别 (在这种情况下 F_2^* 是匹配空间滤波函数) 或图象增强和复原。在后两种情况, 在 P_1 上使用纯振幅或纯位相滤波器 (或二者都有), 而 P_2 上包含输入数据的滤过波的类型。图 1 所示基本系统的其它型式是可能的。输入数据的重要细节也能从 P_1 面的分析中得到。在其它应用方面, 输入平面 P_0 的内容可以是一个全息图而输出将是一个图象。此类应用的例子, 各种可能运算的更详细的叙述, 以及这些基本运算的变种, 已在参考文献和本特刊中别处加以讨论了。

使用各种空间光调制器的另一种光学相关器示于图 2。两个要相关的空间函数 $f_1(x_0, y_0)$ 和 $f_2(x_0, y_0)$, 并排地置于 P_0 面, 其中心间距为 $2a$ 。这两个函数的变换之和的平方值由透镜 L_1 形成, 并记录在 P_1 面的合适介质上。然后用一平面波照明 P_1 , 并且 P_1 的透过率的变换由 L_2 形成于 P_2 面。 P_2 面内再次包含 f_1 和 f_2 的相关 (在离 P_2 的中心为 $2a$ 处) 加其它项。如同图 1 中使用角度为 θ 的参考光束一样, P_0 中输入函数之间的间距确定了其相关与 P_2 中其它项的间距和非重迭。为从这些光学系统中得到最佳性能, 输入就必须能实时记录在 P_0 上, 并能擦除和重复使用 P_1 中的介质。

表 I 评价空间光调制器 (SLM) 的性能因素

寻址类型	擦除机理
调制类型	存贮能力
衍射效率	响应和循环时间
分辨率和对比度	寿命
灵敏度	非破坏性读出
线性	容易制造
灰度等级	复杂性
光学质量	其他特殊性能

III. 性能参数

A 寻址方法

用来比较 SLM 的几种性能因素列入表 1 中。一个很重要的区别是寻址的方法。数据要能记录在某个 SLM 上, 就必须用相干或非相干光把输入数据的透明片成象在 SLM 上。在某些情况下, 数据本身 (如从周围景物来的反射光) 将成象在 SLM 上。在这种情况下, 数据是非相干记录的, 然后用相干光读取或处理, 这种 SLM 叫做非相干—相干或光学—光学转换器。凡要求把输入数据的透明片成象在 SLM 上的情况, 应用是有限的。它们由于时间延迟和处理的问题而受到许多损失, 如果在输入面 P_0 或空间滤波面 P_1 上使用胶片, 就会出现这些问题。正是为了克服这些问题, 空间光调制器才能得到发展。

为综合—空间滤波器 (在图 1 的 P_1 面记录 F_2^*), 仍使用光学寻址 SLM, 但要在 SLM 上记录全息图, 就需要更高分辨率的介质。根据光学排列和记录介质, 可记录振幅或相位调制的, 平面或立体的全息图。立体相位全息图介质得到特别的关注, 因为多重的全息空间滤波器能记录在具有较高衍射效率 η 的一块介质里。 (η 为衍射到第一级的输入光的百分数。)

最后一种光学灵敏 SLM 是通过一偏折和调制的聚焦激光束逐点寻址的。SLM's 也能通过置于 SLM 中的电极或通过扫描和

调制电子束进行电子束寻址。

B 分辨率和对比度

SLM 能够调制入射读出激光束的振幅或相位。如果使用相位调制, η 是通常规定的。对于一个振幅调制 *SLM* 而言, 可以从 *SLM's* 的调制传递函数(*MTF*) [规化的对比度(调制度)对空间频率的曲线图] 来确定 η , 这里 $\eta \approx (\text{调制度})^2 / 16$ 。对于所有的 *SLM's*, 对比度随记录在 *SLM* 的空间频率增加而减小, 因此, 若要引用峰值对比度(在低空间频率)和在可见极限处的分辨率(0.05的低调制度), 必须认识到这些数据不可能同时得到。当对 *SLM* 可获得一条 *MTF* 曲线时, 这就是可同时得到的对比度和分辨率的最好叙述。在可获得的情况下, 本文将给出在 50% 的调制度处的 *SLM* 分辨率。

SLM 介质的厚度影响到器件的分辨率, 薄的介质通常呈现高的分辨率。用较厚的 *SLM* 介质, 是全息记录技术通常所要求的, 并可得到较高的分辨率。通过介质空间形变来调制光的形变 *SLM's*, 其分辨力是明显不同的, 它们的空间频率响应是一个其中心频率反比于介质厚度的带通。对于全息空间滤波器记录, 空间频率响应的这个峰值确定了目标与参考光束的最佳夹角 θ (看图 1)。要在这些形变 *SLM* 上得到灰度等级和低空间频率响应, 输入数据必须重迭在光栅上, 光栅的空间频率应与介质响应的峰值相符合。在这两种情况下, 介质的厚度必须预先精确地测量, 因为空间频率带通的宽度不是很大的。

尽管可用的材料为数很多, 仍能对 *SLM* 的分辨率作出若干一般的评注。有电极的 *SLM* 看来是限制在 128×128 点分辨率, 适用于一个光学存储器中的组页器, 或适合其他低分辨率的应用, 因而不包含在本讨论内。光学—光学转换器用的 *SLM* 比电子束寻址的 *SLM* 显示出高得多的分辨力, 而全息记录器件具有更高的分辨力。由激光或电子束逐点寻址的 *SLM's* 大致有相同的分辨

力。从执行的意义上看, 电子束偏折一般比聚焦激光束偏折要容易些, 然而在小斑点上所要求的能量, 通常用聚焦激光束易于达到。要一般地了解激光偏折器, 可参看^[19]。只有少数几种材料是电子束寻址的, 因此限制了在该类应用方面新的电子枪的发展。这方面的概括要求相当广博的知识和专长, 已超出本文的范围。

C 灵敏度, 线性, 和灰度等级

对光学寻址 *SLM* 而言, 灵敏度是一种重要的比较参数。它通常以 mJ/cm^2 单位给出, 表示为把输出强度改变 $\frac{1}{e}$ 所需要的曝光量的倒数, 但是应该更适当地与分辨率结合起来并表示为每个分辨单元的灵敏度。

SLM's 响应的线性和记录灰度等级数据的能力(不是用网格板(halftone)技术)一般在光学处理应用中比在显示中更为重要。用于相干光学处理的许多 *SLM* 起沉于数字化数据和非灰度等级记录所用的大容量存贮介质。其他许多 *SLM* 是为显示而研制的, 它们缺乏相干光学数据处理所要求的大动态范围。

D 光学质量

显示器件和相干光学处理所用的 *SLM's* 之间的一个主要差别是, 要求高的修饰质量和非常平的光学平面以缩小散射和其他类似的影响, 后者将破坏光学处理中所用的, 同心激光束位相面的平滑性。因此从一个显示或存贮器件转变为一个相干 *SLM*, 不总是象初次出现那样简单。

E 擦除, 存贮, 和循环时间

在显示器件(这里, 被记录数据通常是投影到一个显示屏上)和相干的 *SLM's* (用于图 1 或图 2 中的 P_0 面或 P_1 面)之间出现的另一个重要差别是, 需要适当的存贮和擦除。通常在入射到 P_1 面的变换生效以前, 输入数据必须完全记录完。在新的数据能够写入和处理之前, P_0 面的输入分布也必须予以擦除。残余的输入图象和画幅延迟在数据处理中是有关的重要问题。当 *SLM's* 的擦

除机理是由于衰减时,图2中的光学系统通常是有效的。

对输入 SLM 而言,所要求的循环时间(写,读和擦除)通常由输入数据的来沅和所要求的处理来确定。最小输入信号的持续时间一般是由 SLM 的灵敏度所决定的,然而 SLM 的响应时间,是当一次读数周期开始时算起。

在许多应用中,各种的操作是对 P_0 面的一组输入数据完成的。这在图象的增强和复原,以及处理程序最后确定以前初步研究一组数据时尤为如此。在这些情况下, SLM 必须呈现某种存贮和非破坏性读出。在逐点寻址 SLM 的情况,存贮时间必须总是比写入循环更长些。

对于在图1的 P_1 中使用光学寻址 $SLM's$ 而言,长期存贮和非破坏性读出是重要的性质,而快的循环时间则次之。在大多数情况下,空间滤波器或匹配滤波器不要求象输入那样迅速地改变。当然也存在诸如变化探测应用那样的例外,而在这种情况下图2的光学系统可能更有效。

F 其他考虑

SLM 的寿命是指器件性能明显损坏以前可能使用的总循环数。所要求的实际寿命完全取决于应用。对机载导弹导航系统而言,10或20个循环的寿命可能就足够了,而大多数应用却要求在更多的循环内具有可靠的性能。在最后综合一个 SLM 时制造容易和结果的再现也是主要的因素。然而仅在评价相干 SLM 的孤立情况下不足以讨论这些因素,因为大多数器件还没有达到实际的生产线水平。

以精密而复杂的制造步骤得到的多层结构必定比简单结构有较小的希望。但是简单的 SLM 结构经常需要复杂的维持系统,其中包括很高的电压,热显影,以及两个波长的光等等。表1列出的最后一项,特殊性能,是指诸如光学相减和 level slicing 那样一些能在器件上直接完成的运算。在某些

应用中,如变化探测和图象分析,它们是相当重要的。

G 一般叙述

由于不同的作用和不同的发展阶段,所有的 SLM 不能也不应该并列地加以比较。特殊应用的要求必须在所有情况下予以考虑。由于某些类型的 SLM 已由几个学校广泛地研究了,它们的资料是比较丰富的,因此它们的局限性和存在的问题已了解得比较透彻。这一事实应在下面的讨论予以注意,因为某些器件只是由于它们还处在发展的初级阶段,现在看来似乎才是优越的。

在下面几节中将讨论 $SLM's$ 六个主要类型。重点放在资料较多的 $SLM's$ 和已在相干光中利用的 $SLM's$ 上。此外,对每种 SLM 只提供主要的参考文献。特殊器件的一些附加的参考文献可从参考目录中查到。虽然关于这些 $SLM's$ 已有若干篇一般的述评文章,但大多数关注的,仅仅是一种类型的 SLM ,如数字化数据存贮的光学寻址器件,全息记录介质,或者电子束寻址的 SLM 。

IV. 液 晶

液晶(LC)已有许多研究,至少从研究和发表的文章来看是这样。已有超过3000篇LC参考资料,而且自 Heilmair 的经典文章发表以来已叙述了至少15种不同的电光效应。大多数LC器件使用动态散射模式,在此模式中数据是以材料中所产生的小的散射中心而被记录的。正是这个效应的变化性质破坏了入射激光束的相干性,已经提出使用它来代替毛玻璃。在相干的 SLM 里电光效应是最重要的。电流效应引起电荷的传输,在LC中产生流体动力学的不稳定性,且比使用电场效应的LC器件缓慢,一般有较低的寿命。本讨论关注的将是LC场效应 SLM 材料,并且将突出它在相干光中的使用,以及分辨率的改善,对比度,和寿命方面的一些新进展。

两类主要的 LC 被用作 $SLM's$ 。向列相 (nematic phase) LC 结构是由 LC 分子的一维有序排列, 且分子定向与其长轴平行所表征的。在胆甾相 (cholesteric phase) LC 结构中, 分子在每个平面内有向列排列, 且其分子排列方向从一个平面到下一个平面逐渐改变而在垂直于此二平面的方向上划出一螺旋线。 LC 的场效应引起这些分子的倾斜或转动。当这种有序排列改变时产生了这些 $LC's$ 的大的各向异性 (折射率 n 或介电常数 ϵ 的正交分量之差)。

SLM LC 盒最简单的结构是由 LC 光导体 (PC) 多层结构的顶层和底层的透明电极所组成。在电极之间施加一电场。表面取向效应导致了 LC 分子的长轴正交或垂直于电极的表面而排列。这些力与分子以某角度 (负各向异性) 或平行于电场 (正各向异性) 的倾向相匹敌。

在扭曲向列效应 (twisted nematic effect) (或可调谐的光活效应) 中, 每个电极上都形成平行的微观沟槽。一个电极上的沟槽与另一电极上的沟槽正交或成某一角度, 如 45° 。若使用正的各向异性的向列相 LC , 沟槽强迫 LC 分子如此排列: 它们的长轴平行于沟槽的方向。 LC 各层的分子划出一个螺旋形或扭曲型的轨迹。这个有序排列由于电场的存在受到干扰, 导致分子平行于电场而排列。这样, 电场导致了螺旋线的节距的改变并将其加宽。在一个 SLM 中, 入射光分布将改变 PC 的电阻, 因而产生一沿 LC 两端空间变化的电场分布。如果读出激光光线是在微观沟槽方向线性偏振的, 则光线通过介质时, 它将回转螺旋线的扭角。当所加电场增加时, SLM 的回转功率能降低到大约 0° 。借助于一个适当取向的输出偏振器, 则入射读出光遂被空间地调制, 且比例于电场分布, 因而也比例于输出光图样。

LC 中电压控制的双折射效应最接近于一般的电光效应。在每个电极上仍形成微观沟槽, 电极处理为一超薄表面并使用负的

各向异性的向列相 LC 。所有的 LC 分子将向一个方向倾斜, 它由沟槽的方向所确定。然而, 施加的空间电场将导致分子朝电场方向倾斜某一角度。 LC 层是双折射的, 且输入光的位相能空间地改变。

此简单电极式 $LC-PC$ 多层结构和其它更实用的一些结构之间的主要差别是在 PC 和 LC 层之间嵌入一反射介电层。简单光电元件中所选择的 PC 只不过对写入光起作用 (产生光电载流子) 但不对读出光起作用 (不产生光电载流子)。这通常要求不同的写入和读出波长 (用一阻光层或反射层可获得更佳的性能)。这样, SLM 以一个波长从一面写入, 而以不同的波长从另一面反射读出。

这一基本的反射型 SLM 结构用在这里将要讨论的许多其它 $SLM's$ 中。它使 LC 中直流流量缩到最小, 并大大降低了 LC 的电化学退化。这些改进和使用交流场而不是直流场增加了 LC SLM 的寿命, 超过 10000 小时。

存贮可以由一个胆甾一向列混合体, 但仅使用散射模式效应而获得, 后者导致较低的对比度。用一种热-光记录方式在脂状 LC 或向列-胆甾混合体上也可获得存贮, 但它的分辨力较低, 为 50 对线/mm, 对比度数低 10:1。擦除是用红外激光以热的方式完成的, 而半色调技术用来获得灰度等级。目前存贮和灰度等级记录不能同时在任何 LC SLM 里得到。宾主效应 (Guest-host) LC SLM 在某些情况里也可以用。在上述结构中, 多色性染料与向列主体相混合。外加电场下主体 LC 分子的取向影响染料分子的取向, 因而也影响 SLM 的吸收光谱。吸收光谱即是染料的光谱, 通过外加的空间电场, 它能用电子学方法接通和断开。但不存贮也是可能的。仅为可实行的测试工作, 如投影显示, 还制造了两个电子束寻址的 LC SLM 。靶面破坏和阴极污染被明显地克服了, 但分辨力仍是低的, 寿命和制造的难易不清楚, 而且它们在相干光中的适用性尚未获得证实。

示于图3的最新的 LC 结构使用厚度为 $2\text{-}\mu\text{m}$ 的向列相 LC, 其分子在 LC 厚度范围内有 45° 转角。这一扭角在非写入范围内使反射读出光的偏振回转 90° , 而没有读出光透射通过偏振器。分辨单元的关闭状态因而是由扭曲向列效应所确定, 而其接通状态由双折射效应确定, 因此命名为混合场效应。要记录的数据是从右边用非相干的 X. 氙弧灯写入的, 而反射读出从左边用 632.8nm He-Ne 激光进行。

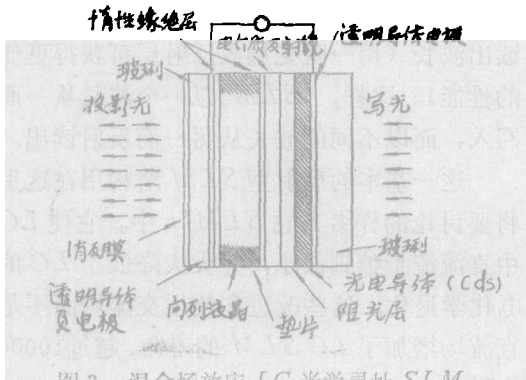


图3 混合场效应 LC 光学寻址 SLM 结构的示意图

对于这种 LC 装置, 目前最大对比是 100:1, 极限分辨率是 100 电视线/mm (即 50 对线/mm), 电极之间只需要 6-V 的均方根电压, 频率 10 KHz, 在全对比处的灵敏度是 $5\mu\text{J}/\text{cm}^2$, 即使在 60 电视线/mm 处, 对比度也有 3:1 (50%)。SLM 的面积是 $1'' \times 1''$, 由于阻光电极的作用能同时写入和读出, 因而寿命也是长的。它的上升时间是 10ms 而它的衰减时间是 15ms。因为它不能实现长期存贮, 所以用在图 2 的 P_1 中最好。这种器件能用来完成几种有用的图象处理运算。若改变电极间的所加电场电压或频率, 则可完成图象的对比颠倒或 level slicing (看 VII 节)。一个典型再现图象示于图 4。超过 16 个灰度色调 (0.15 ND 梯级) 的图象能记录在这个器件里。其他几种 LC 结构也是可能的, 但是混合场效应器件对于相干光学处理似乎是最有用的。器件的光学质量和修饰质量是一个现时研究的课题。

V. 可变形 SLM

已使用许多不同材料来作可变形 SLM。在所有情况下, 这些 SLM 材料自然地经受一个表面变形图样, 它正比于记录在其上的二维数据 $f(x, y)$ 。这些变形对读出激光束的影响可叙述如下。若考虑一输入激光束 (振幅和相位是均匀的) 入射到具有常数透射率 T_0 的 SLM 上, 则输出波可近似表示为:

$$A(x, y) = A_0(x, y) T_0 \exp[j\theta(x, y)] \quad (1)$$

其中 $A_0(x, y)$ 描写孔径, 并且记录在 SLM 上的图样, 使输入波的位相发生一个空间变化 $\theta(x, y)$ 。对于一维正弦变形, $d(x) = d_0 + d_1 \sin f_x x$, 位相变化 $\theta(x)$ 可叙述为

$$\theta(x) = (2\pi/\lambda)(n-1)d(x) \quad (2)$$

其中常数位相项已被忽略, 而 n 是 SLM 材料的折射率。输出波在一维情况下能重新写为:

$$A(x) = A_0(x) T_0 \sum_{m=-\infty}^{\infty} j^m J_m[k(n-1)d_1] \exp(jm w_x x) \quad (3)$$

这对应于 m 个平面波 $\exp(jm w_x x)$ 其振幅比例于贝塞尔函数 J_m 。

若最大变形小于 0.2λ 左右, 则可得到合适的线性响应。由于这个原因, 有代表性的是得到 10% 的 η 值, 而不是薄相位调制 SLM 的理论极大值 34%。任一可变形 SLM 的一般特点如早已指出的那样是它的带通空间频率响应。许多这类 SLM 的另一个重要方面是变形的振幅对所记录的空间频率有 $1/w_x^2$ 的依赖关系。这样, 在精度是重要的情况下, 就需要补偿的电子学或全息滤波器能保持信号的真实性和信号的质量。这些变形 SLM 的寿命和光学质量的不变性也是主要关心的问题。

电子学和光学寻址的可变形 SLM's 都已制造出了。在本节中将要讨论可变形热塑

注: 图 4 省略

料的 (*TP*)，介电质油膜的，合成橡胶和薄膜的 *SLM*。可变形的 *PLZT* 器件和其他一些将在单独的章节中论述。其他一些可变形的 *SLM's*，如可变形镜式光阀，各式变形的存贮管，和电子束射向金属薄膜的器件，其操作类似于这里讨论的其他器件，但是没有广泛用在相干光中。

A 热塑料(*TP*)

TP 是一种低溶解温度的塑料。聚苯乙烯，氯化聚苯酰基， α 甲基苯乙烯，stablyte ester-10，和 foral-105，是使用最多的几种 *TP*。当用作 *SLM's* 时，在基体上的透明导电电极镀以一层厚度为 $0.4-1.5\mu\text{m}$ 的薄 *TP* (较厚的 *TP* 层在某些应用里使用)。调制信号作为空间电荷分布施加在非镀膜的 *TP* 表面上。在 *TP* 和透明电极之间夹有一 *PC* 层的那种光学灵敏的 *TP* 器件应用得最多。

如在大多数 *SLM's* 中那样，在空间光分布加上以前，必须在结构的两端产生一均匀电位。在 *TP* 中，这可由电晕放电来完成。典型的 *TP* 记录和擦除周期的步骤如下：

1. *TP* 表面的均匀充电(25ms , 300V)；
2. 曝光空间数据和连续充电 (100ms , $5-100\mu\text{J}/\text{cm}^2$)；
3. 加热 *TP* 到它的显形温度(4.5w , 150ms)；
4. 冷却到周围的温度；
5. 反向充电(25ms)；
6. 通过加热 *TP* 到它的软化温度来擦除。(4.5w , 450ms)。

仅经曝光之后，*TP* 上的电荷分布仍是均匀的。曝光在 *PC* 中产生电荷载流子，后者迁移到 *TP-PC* 界面上。在曝光期间继续充电使在 *TP* 两端产生一电场的变化，然而在加热到其显影温度以前 *TP* 并不变形。一旦 *TP* 冷却到室温，变形就被冻结并可进行非破坏读出。擦除也要加热到较高的软化温度($50-100^\circ\text{C}$)随后再冷却到周围温度。

TP 器件的一些主要缺点是它们的寿命低，循环时间长 (由于所需的冷却循环)，在反复变形循环以后它们光学质量的问题，所需的复杂维持系统，不完全的清除，以及结果的重复性。过度加热和 *TP* 电晕充电期间的损坏，用一孔径格栅的平行平板充电可大为克服。由于这样一些改进，在氩气里操作以及很好地控制和监视所列循环，*TP* 的寿命在某些单元中已扩展到1000周。

尽管有这些困难，*TP* 还是有高的分辨率 (在中心频率为2000对线/ mm)，好的灵敏度 ($1-5\mu\text{J}/\text{cm}^2$)，和非破坏性读出。因此它在某些低寿命应用中还是有用的，并在相干光学处理中被广泛用于图1的 P_0 和 P_1 两平面。图5 为存贮于 *TP* 上的航空图象的再现。这个图象，在不同高度拍得的类似的图象以及这些图象的一小部分的匹配空间滤波器已在 *TP* 上制作出来，并利用一与图1 相类似的系统，成功地与输入进行相关。

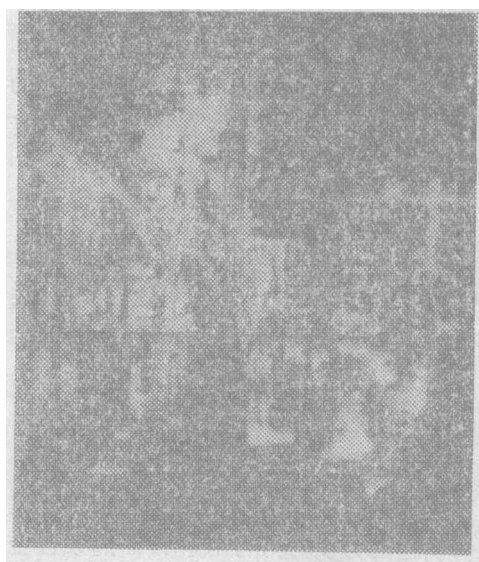


图5 在光-热塑料上的图象的重现，接着作相干光的相关运算

TP 也是电子束寻址的。需要一个相似的加热周期和长达2秒的擦除周期。但是已经证实，其分辨率在 $2.5 \times 2.5\text{cm}$ 面积上超过1800线，有8级灰度色调，并可重现全息图。还有其它一些型式的器件，如用-14吋

回转 TP 圆盘靶面的器件, 然而器件的寿命仍然是一个重要问题。

B 电子束射向介电质油

商品生产的电子束油膜光阀是爱多风 (Eidophor) 的一种改进型式, 而且是一个显著的技术成就。在这种器件里, 扫描电子束 (由输入数据所调制的) 在一个缓慢转动的电介质薄油膜靶面上存贮一空间电荷分布, 并用一个油箱来更新液体。阴极污染 (电子束寻址 SLM 的一个重要因素) 已被克服并得到超过 1000 小时的寿命。分辨率在 500×500 以上, 运算速度为 30 画幅/秒, 动态范围很大 ($40-50dB$)。如同在其它可变形的 $SLM's$ 中一样, 电子束在油膜上沉积的电荷所产生的静电力与表面张力和粘滞力相平衡。在这种情况下, 液体的机械性质确定变形, 而它的电学性质确定衰减时间。除衰减以外擦除机理的缺乏以及与此相联的存贮的不足是它的主要局限性。因而在许多应用中需要电子学予矫与更新。为保持油膜的平坦也需要一均匀束流栅格和精巧的载波调制电路。此器件的光学质量是一个现正研究的主要问题。已经证实该器件在折迭谱高带宽应用中许多用途。

C Ruticon

除顶面的可塑金属电极以外伽玛 Ruticon 的结构与光- TP 十分相似。其运算也相似于上述可变形的 $SLM's$ 。最初加于电极的大约分电压是跨越 PC 两端的。当一空间光分布通过下面的透明导电电极成像时, 在 PC 里产生电荷对, 并迁移到 PC 与合成橡胶的界面上, 在这里它们被俘获。由这些电荷引起的力使合成橡胶和顶面的柔性金属电极变形。

还有其它型式的器件 (α 和 β Ruticons) 它们和伽玛 Ruticon 不同之处在于: 需施加初始电荷 (电晕放电, 气体放电等)。具有可塑的不透明顶面电极并从顶面反射读出的伽玛 Ruticon 的结构是相干光学处理中最佳的一种。擦除比在 TP 中要快些 (10ms) 只要简单

地取掉电极之间的直流电场。厚度为 $4.5\mu m$ 的薄合成橡胶产生一带通空间频率响应, 其中心位于 100 线/mm 处 (在某些单元中已达到 500 线/mm)。用一 $PVKPC$ 和 20-40V 电压, 灵敏度是 $30\mu J/cm^2$, 但是器件不具备永久存贮的性能 (衰减时间为 5 分钟), 有关制造难易, 结果的重复性和许多循环以后光学质量等的细节尚不知道。它的寿命明显地如同所有的可变形器件一样受到限制, 四年以前引用的数据为 10000 周。然而, 它在寿命, 容易擦除, 和循环时间方面仍优于许多其它的可变形 SLM 。这一器件的研制正在继续之中, 但不是为了相干光学计算的应用。

D 薄膜 SLM

虽然电极式 $SLM's$ 不包括在这个述评中, 但电极式薄膜光调制器值得一提, 因为超过 500 单元/时的器件已经制造出来。它的结构是由在一个玻璃基体上的铬窄条电极所组成。一薄的电介质被淀积于顶面并在电介质上制成中心距为 $50\mu m$, 穿孔为 $5-40\mu m$ 的规则阵列。然后, 一厚度为 $0.1\mu m$ 的镀金火棉胶薄膜反射镜横过穿孔而被拉伸, 并接地。电极之间需要 20-40V 适当的信号, 它的响应快 (1ns), 其平面度极好 ($\lambda/10$), 且寿命也长 (10^{12} 循环)。但是存贮小于 1 秒, 且器件必须是行寻址的。它已在相干光中用于雷达信号处理, 和光学逻辑器件。一个光敏薄膜 SLM 也已用 $p-n$ 结二极管 (每个薄膜单元一个二极管) 的阵列制造出来, 还制造了 100×100 单元的电子束寻址结构, 它通过在一改进势垒栅极存贮管中的靶面位置上安装薄膜阵列而做成。有关这些薄膜器件的实际工作已明显地订正。

E CCD—薄膜 SLM

一种新的仅在最初发展状态就受到重视的电子束寻址 SLM , 将电荷耦合器件 (CCD) 与一薄膜或合成橡胶结合在一起。送给 CCD 的电子信号 (25-50V) 扭曲薄膜并使反射激光产生调制。已演示了一种 8×8 阵列

的样品,但是在制造 64×64 单元器件时出现了困难。目前也在研制一种 CCD 寻址的 LC 显示器。

F 概括

油膜光阀显然是最有希望的可变形 SLM。其光学质量与其它器件相比目前还是低劣的,但这方面正在积极追赶。

VI. 光双色性 SLM

一种完全不同的 SLM 器件可用一碱金属卤化物基质材料制造出来,在此材料中有意引进了彩色中心的缺陷。这些彩色中心产生在光谱不同区域里的吸收带。借助于彩色中心的电光色性质,用适当波长的光照明(写入波带)将导致电子从一种中心转移到另一种中去,且改变材料在第二波带(读出波段)的吸收。这个性质已经考虑用在许多介质中的立体数据存贮。特殊基质晶体中的某些彩色中心显示出光双色性,由此,记录数据和读出取决于光的偏振。本讨论将集中在这些光电双色性材料上,因为它们有希望作成疲劳小(中心的损失)而寿命长的 SLM,并且看来更适用于相干光学计算。

KCl 和 NaF 中不同中心的光双色特性受到最大的注意。这种研究通常集中于这些材料在大容量数字存贮中的应用,虽然最近已报告了用于空间滤波和其它相干光学处理运算的情况。在 KCl 中,数据在 $531nm$ 附近被记录,而在 $820nm$ 附近出现一不可见的读出频带(显示中的一个问题)。KCl 的缺点是晶体必需在 $200K$ 以下用来进行非破坏性读出。在许多此类物质中,类似的温度控制或循环是必要的,然而,NaF 是一种彩色中心在室温就是稳定的物质,因而受到极大的注意。对 NaF 而言,写入频带的峰值在紫外 $330nm$ 附近。而在 $504nm$ 的读出是非破坏性的。

已讨论的这两种光双色性物质和大多数其它的光学寻址 SLM 材料,需要分别的写

入和读出波长以进行非破坏性读出(或在器件结构中使用阻光层)。使用两种波长,增加了光学和电子学系统的复杂性,且在光学处理和空间滤波中引入一些其它问题。这些问题可通过一个新的抑制写入方式对低温的 KCl 和室温的 NaF 予以克服。在 NaF 中受注意的主要采色中心是 F 中心(在负离子空位捕获的一个电子)和 M 中心(两个最靠近的相邻 F 中心)。 M 中心的重新定向机理对于单一波长记录和读出程序来说是基本的。如果最初在 0-态(在一个确定方向主偶极矩)的一个 M 中心以光的写入频带(λ_w)重新定向到 1-态(主偶极矩正交于在 0 态中的方向),则中心首先电离

$$M_0 \longrightarrow M_0^+ + e^- \quad (4)$$

这个电离中心于是重新定向

$$M_0^+ \longrightarrow M_1^+ \quad (5)$$

并只有如此才能出现一重新定向的 M 中心

$$M_1^+ + e^- \longrightarrow M_1 \quad (6)$$

三个迁移方程中的注脚 0 和 1 指的是中心的态。如果写入和读出光同时出现于记录期间,那么迁移

$$F + e^- \longrightarrow F' \quad (7)$$

产生 F' 中心且破坏了(4)式迁移所需的电子捕获。实际上,在记录期间读出光的同时出现通过防止 M 中心电离而抑制了写入光的效果。

为利用这种记录方式,晶体以宽带的非相干写入频带光所充溢,而待记录数据被放

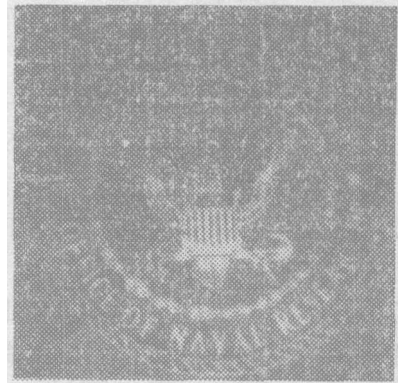


图 6 利用 M 中心的光双色性以 $514-nm$ 的同一波长记录和读出一个图象的再现

在相干读出波带光束中。以后在同一个读出波长处的读出（没有写入频带光）如同寻常一样是非破坏性的。在图6中的重现图象示出 $2\text{-}\mu\text{m}$ 的分辨率，它是在室温下以同一个Ar激光波长 514.5nm 在NaF样品上记录和读出的。

人们对光双色性物质用作图 $1P_1$ 面的空间滤波产生了兴趣，因为调制现象发生在原子水平上，并因为这些材料不象胶片那样出现颗粒噪音。分辨率受相关联的光学元件的衍射限制，已测出超过 70dB 的动态范围。在用适当参杂剂的NaF中M中心的寿命预测超过 10^7 周期。光双色性SLM材料的另一优点是其简单的制造过程，它不需要PC层或精密的多层层状结构。这些材料的灵敏度是低的($150\text{mJ}/\text{cm}^2$)，但是已有把此数减少一个数量级的方法，每分辨单元的灵敏度和其它SLM材料的灵敏度差不多。最近已报告了一种组合的抑制消光写入方式并将NaF用作匹配空间滤波器。

VII. 普克尔 SLM

ZnS（硫化锌） $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ （BSO 硅酸铋）KDP（磷酸二氢钾），和 DKDP（磷酸二氘钾）表现有线性纵向电光效应或普克尔效应。用所有这四种晶体都已制造出来了SLM's。ZnS和BSO和光电导体一样都是光电效应的，但BSO比ZnS有较高的衍射效率（ 1.6% 比 $10^{-2}\%$ ）和较低的半波电压（ 4KV 比 13KV ）。DKDP比KDP有较低的半波电压（ 3.7KV 比 8.7KV ）和较高的居里温度（ -55°C 比 -150°C ）。因而本讨论将强调用BSO和DKDP得到的结果，因为它们是最有希望的物质，且比其它SLM更广泛使用于相干光学处理，雷达信号处理和图样识别。

当一个电场 E 沿这些晶体的固有轴定向时，对于沿晶体中一个平面的两正交轴偏振的光波其折射率 n_1 和 n_2 与 E 成线性关系，并乘一常数 a

$$n_{1,2} = n_0 \pm aE \quad (8)$$

如果输入光与此轴成 45° 线性偏振的，那么输入波通过晶体时将变成椭圆偏振。透过一个与输入光 I_0 的偏振成 90° 定向的偏振器的输出光强 I 是

$$I = I_0 \sin^2[(\pi/2)(V/V_{1/2})] \quad (9)$$

这里 V 是加在晶体两端的电压。在 $V = V_{1/2}$ 处（晶体的半波电压）输出波沿 n_1 和 n_2 轴两分量之间的位相延滞是 $\pi/2$ 并得到全调制。

当一个空间电压分布 $V(x, y)$ 跨越晶体的时候，输出波的振幅或位相将被空间调制。空间电压分布可由扫描电子束或调制激光束产生。在后一种情况下，DKDP需要一PC层。

A 电子束寻址 DKDP

图7示出电子束寻址的DKDP SLM的一个示意图。

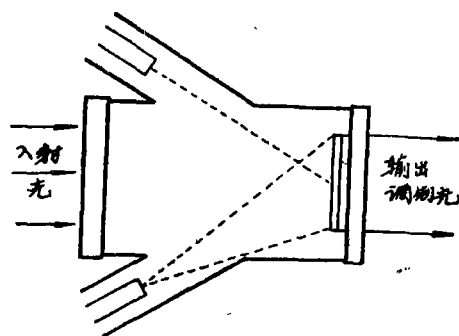
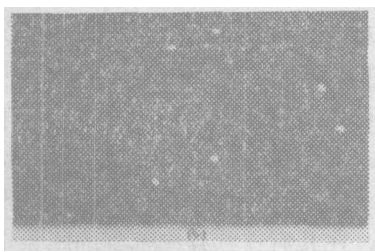


图7 电子束寻址DKDP SLM的示意图。1.光学窗 2.写入电子枪 3.靶晶 4.透明导电电极 5.擦除电子枪

对于高分辨率和存储，靶面介质由珀耳帖盒冷却到 -50°C ，且由于 $V_{1/2}$ 随温度而下降，只需 250V 即可获得全调制。实验已经证实这种SLM以30画面/秒运算，分辨率为 1000×1000 点（在50%的调制处）和100:1峰值对比度。DKDP靶面晶体是 $5 \times 5 \times 0.025\text{cm}$ ，在不变的读出条件下可用存贮是1小时以上。擦除是用所示的第二个电子枪由二次发射在 1ms 时间内完成的。在这种SLM上已得到比 $\lambda/10$ 更好的光学平面度，并且几个这种器件已使用了三年以上。相干信号和图象

相关的许多例子已在此 *SLM* 上完成。就是把它用在图 1 的 P_0 面而在图 1 的 P_1 面上用一种光敏介质 (例如 NaF)，以记录全息空间滤波器 (在相关或图象识别应用中)。作为使用这种 *SLM* 进行相干光学处理的一个例子，示于图 8(a) 的一节文章的输入被写入在 P_0 面的 *SLM* 上，并在 P_1 中安置一字码 “*RADAR*” 的空间滤波器。图 8(b) 给出了显示在阈值相机里 (thresholded camera) 的 P_2 面上的输出图样。在图 8(b) 里每个光的峰值在空间上对应于输入面中字母 “*RADAR*” 的位置。



(b)

图 8 在图 1 的光学系统中用图 7 *SLM* 的实时相关在输入中多次出现相同函数 (*RADAR*)。 (a) 输入; (b), (a) 与字母 “*RADAR*” 的全息空间滤波器的相关。

B 光 DKDP

图 9 简略地给出光 *DKDP* 的结构。它在 -50°C 操做并使用一厚度为 $170\mu\text{m}$ 的 $2.5 \times 2.5\text{cm}$ *DKDP* 晶体。初始加于电极的 80V 电压，其大半跨越 *PC* 层。调制了的写入光 (紫外或兰色的) 产生电荷载流子它漂移到 *PC*-晶体接合面，并且在 *DKDP* 两端

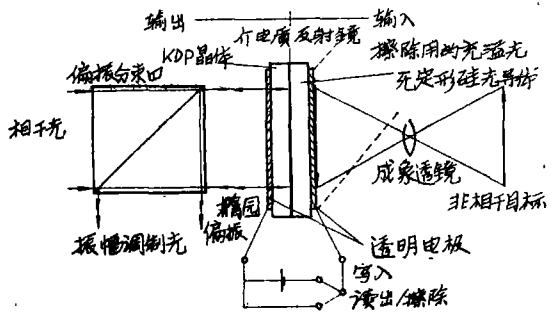


图 9 *DKDP SLM* 的示意图结构

产生一空间变化的电场。由于介电质反射镜将 *PC* 和读出光分隔开，故读出是反射式的，波长为 632.8nm 处。为擦除一个存贮图象，将加于电极的 80V 反接，而 *PC* 被紫外和兰光照明。 $30\mu\text{s}$ 的写入时间和 3ms 的擦除时间都是可能的， 极限分辨率是 75对线/mm ，灵敏度是 $10\mu\text{J}^2/\text{cm}^2$ ， 并且峰值对比超过 $100:1$ 。

许多特殊的图象处理运算已在 *DKDP* 和 *BSO* 上得到证明。通过双曝光，能把两个图象记录在光-*DKDP* 上 (图 10(a))。然后，若将晶体电极间加电压 -80V (而不是 $+80\text{V}$) 对其中一个图象曝光，则 *SLM* 的透过率比例于二记录图样之间的差。在图 10(b) 的重现图象说明在 *SLM* 上成功的实时减掉了图 10(a) 的双曝光图象中的一个。通过改变所加的电压，可完成两个图象不同程度的相减或一个图象的 level slicing。

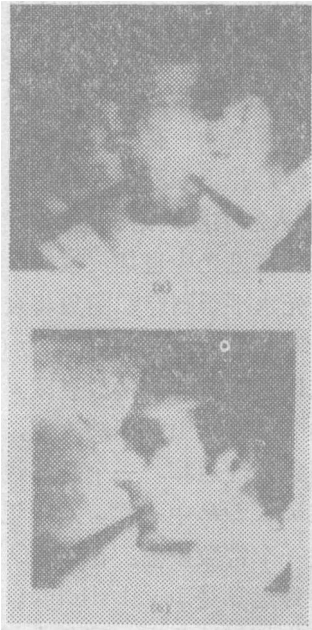


图 10 在图 9 的 *SLM* 上实时光学相减的例子。 (a) 原输入的重现， (b), (a) 中图象的一部分光学相减以后的重现

C $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$

图 11 表示 *BSO SLM* 的结构。它不同于光 *DKDP* 的结构，因为 *BSO* 是光电导

注：图 8a 省略

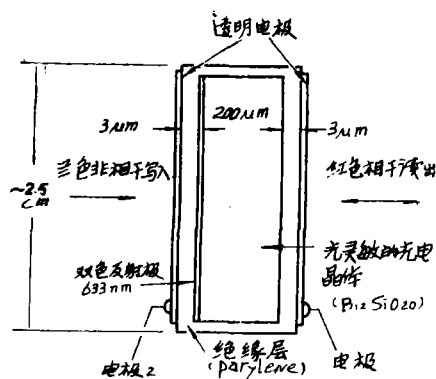


图11 $\text{Bi}_{12}\text{BiO}_{20}$ SLM结构的示意图

体。不需要 PC 层的，但为使加在电极间的电压分配于 BSO 两端，使用两个厚度为 $3\mu\text{m}$ 的薄绝缘 *parylene* 层。可有几种操作方式。就所示的反射结构而言，外加电压是 BSO 的 $V_{1/2} = 4\text{KV}$ 的一半，或 2KV 。反射结构有抵消材料的光活性的趋势，但是所需电压仍然比光 $DKDP$ 所要求的 80V 电平大得多。写入以 $400\text{—}500\text{nm}$ 的波长进行而读出波长在 632.8nm 处。材料的灵敏度很高（在 441nm 处为 $0.1\mu\text{J}/\text{cm}^2$ ），但取决于所用光的强度。要擦除一存贮的图样，将外加电压降低到零，并用强烈紫外或兰光照明晶体。其它的写入和擦除的结合也是可能的。因为材料即使在可见光中也是灵敏的，故只需要低的读出光水平否则存贮图象将衰减，例如，用 632.8nm 的读出光灵敏度为 $0.4\mu\text{J}/\text{cm}^2$ ，图象以 2 分的时间常数衰减。

如所加电压在读出期间被改变，可作几种特殊的图象处理运算。一个是基线相减，这里如同在 $DKDP$ 中一样，对一记录图象加上或减去一个常数振幅。在 BSO 上另一种可能的特殊运算是 *level slicing*。如果所加电压在读出期间被改变、图象上超过某一振幅（对应于所加的电压）的所有各点能够变暗并在图象上得到等强度轮廓线。如果外加的 2KV 在读出期间被反接或短路，就得到一个负的或正的记录图样的重现。这些运算在增强低对比或曝光不足的图象时是有用的。类似的 *level slicing* 运算也已在混合

场效应液晶和光 $DKDP$ 上得到证明，这是 SLM 's 的另一个优点。当把付立叶变换记录在这些 SLM 's 上时，这些相减和 *level slicing* 运算可用来抑制零级项，也就是抑制数据中的背景噪音。这后一种运算已在电子束寻址 $DKDP$ 上得到证实。

这些基线相减技术也已用来改进 BSO 的 MTF 。这一点和器件 MTF 对曝光量等级的依赖，在列出一组能同时得到的 BSO SLM 技术指标时造成一些困难。在曝光量为 $5\mu\text{J}/\text{cm}^2$ 时，极限分辨率是 150 对线/ mm ，而在 $600\mu\text{J}^2/\text{cm}^2$ 时是 500 对线/ mm 。在 50% 的调制度处，对于各种曝光量的 BSO 分辨率是 50 对线/ mm ，而最大对比超过 5000:1。若利用基线相减，则 BSO 在 50% 调制度的分辨率可提高到 150 对线/ mm ，但极限分辨率仍为 500 对线/ mm 。在使用基线相减以提高分辨率时必须谨慎，因为若强度不发生畸变的话，在具有连续频率范围的图象上，只有一个空间频率可能是最佳的。在 BSO 上（它是一个立方晶体）可比在 $DKDP$ （这是单轴的）上得到更高的对比率，而且对比度也较少依赖于准直度。

电子束寻址 $DKDP$ ，光 $DKDP$ ，和 BSO 的光学质量都是很好的。平面度从 $\lambda/5$ 到 $\lambda/10$ 的 SLM 结构已能制造。所有这些 SLM 's 的寿命数据没有充分的资料，虽然密封的电子束寻址 $DKDP$ 和光 $DKDP$ SLM 已运转三年以上，而且 BSO 以 30H_2 已运转 10^7 周，而无明显的损坏。因为这些光 SLM 有较低的分辨率（与胶片、 TP 、 NaF 等相比较），它们一般是不用在图 1 光学系统中的 P_1 上的，而使用图 2 的光学系统。然而，用 BSO 已在此二装置上获得了相关，并进行了比较。对 BSO 的互易性失效和动态 MTF 尚需进一步的分析。

VII. 铁电—光导 SLM

还制成了由电极间的铁电 (FE) 或陶瓷

和 PC 组成的多层结构, 并用作 SLM 的材料, 在其上已记录了薄相位全息图。它们的运算类似于普克尔效应的光 SLM 。写入光在 PC 中产生载流子, 它增大 PC 的导电性并转换加在 FE 或陶瓷两端电极之间的电压。若将电场去掉, 那么读出是非破坏性的。擦除过程与写入时所用的相同。钛酸铋已用在这个 $FE-PC$ 结构上来进行全息记录, 只要把数据作为零电场的磁畴图样存贮即可。100:1 的对比率, 45 对线/mm 的分辨率和低的 η 值, $\eta = 0.01\%$ 已报导了。灵敏度比普克尔光 SLM 的差些 ($0.1mJ/cm^2$) 并要求 300—400V 高压 (与光 $DKDP$ 的 80V 相比)。钛酸铋 SLM 器件难以制造, 但是仍包括了, 因为若能制造薄膜器件, 则它们还是非常吸引力的。另一种 $FE-PC$ SLM 器件, 陶瓷材料, 这里将特别予以注意。

PLZT 空间光调制器材料

$PLZT$ 是铅、镧、锆酸盐, 钛酸盐的热压混合物。已利用了多种电光效应。对这些材料主要强调的是, 用作组页器和显示器。Ferpig 器件利用机械胁形来建立材料中磁畴的优先定向, 并产生存贮的纵向电光效应。数据作为空间变化的双折射存贮在 $PLZT$ 中, 其大小由 $PLZT$ 两端的电压所控制。写入时电极之间需要 220V。用 $PVKPC$, 材料的灵敏度是 $10mJ/cm^2$, 典型的分辨率是 50 对线/mm 并且对比率在厚度为 $50\mu m$ 的平板上是 15dB。已报道, 灰度等级记录可通过 π 分接通磁畴来进行, 并有 10^9 周的寿命。然而, 这些偏胁变的 SLM 材料常受损伤和非均匀性之害。

Ceramic[93] $PLZT$ SLM 比 Ferpig 器件易于制造, 不需要偏应变, 偏振器或解偏器, 并能用白光读出 (一个对显示有用, 但对相干光学处理无用的特性)。Ceramic SLM 使用纵向电光散射效应, 因而在相干光应用中将带来问题。对比随板厚增加而增加 (用 $0.3mm$ 厚度的器件时为 100:1)。然而,

分辨率随 $PLZT$ 的厚度增加而降低 (对 $0.25mm$ 厚度的器件为 40 对线/mm)。要预先给磁畴加极性, 在 SLM 被强光照射时, 加 450V 的直流 ($15KV/cm$) 电场, 于是使磁畴排列起来。为存贮图象, 将所加电压的极性反转并将输入数据成象或扫描在 SLM 上, 使磁畴 π 分接通而达到较低的剩余极化状态 (灰度级由磁畴接通的程度所确定), 低对比是使用所有散射型器件的一个主要问题。

Fericon $PLZT$ SLM 的结构和操作类似于 Ruticon。它能够存贮, 但只报道过低于 7-dB 的对比率。灵敏度, 分辨率和所需的外加电压与所有 $PLZT$ SLM 差不多。制造 Fericon 时要特别小心, 结构中出现不同的曲率似乎是它们为什么没有受到更多注重的理由。

重复性和均匀性问题看来是使用 $PLZT$ SLM 的主要困难。低的分辨率 (50 对线/mm) 和低对比似乎也限制了它们用作相干的 SLM 。除作为大容量光学存贮器的二进制电极式组页器以外, 它们没有广泛在相干光学处理中使用。

IX. 铁电—光折射的 SLM 材料

铌酸锂 (LNb) 和铈酸锶钡 (SBN) 是这一类型中重要的 SLM 's。它们与上述 FE 器件的差别在于, 作为吸收输入写入光的结果在一块材料内产生光载流子, 而完成存贮的。这些载流子扩散或漂移到较低的人射光强区域, 在这里它们被捕获并产生了空间调制材料折射率的电场。写入这些材料的数据必须定影, 否则它将在重复读出几个周期 (对于 LNb 是 10—20 个周期) 以后被擦除, 擦除通常是由热激励或光学激励产生的。由于它们的灵敏度低以及所需的定影过程, 这些材料主要适用于多重立体全息图的大容量存贮。它们没有被用作全息空间滤波器的材料 (例如, 用在图 1 的 P_1 上) 但它们能用于

此。

A 铌 酸锂(LNB)

记录在非掺杂的 *LNB* 里的数据可把材料在 100°C 加热30分钟来定影, 冷却后, 再对新的输入曝光。铁掺杂的 *LNB* 可通过加热到 150°C 的材料对输入曝光 (用20秒到2分钟), 接着冷却材料而予以定影, 在下次曝光之前要将它重新加热。*LNB* 的灵敏度最近由于使用铁掺杂已从 $100\text{J}/\text{cm}^2$ 改进到 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$ 。在 *LNB* 中多重体积全息存贮已获证明, 如果在单个 *LNB* 晶体里存贮10个体积全息图, $\eta = 30\%$, 而在同一 *LNB* 晶体里存贮100个全息图, η 仍在1%以上。在非掺杂的 *LNB* 里, η 依赖于所用的记录能量, 对于 $1.25\text{J}/\text{cm}^2$ 曝光, $\eta = 10\%$, 对 $150\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的白光曝光 η 降到1%。如果去掉场, 通过使用等于记录期间使用的能量能擦除存贮图象。

B 铌酸锶钡(SBN)

SBN 的基本操作与 *LNB* 是同样的, 但是它的灵敏度是 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$, 由于场的引入而能进一步降低(当存在 $3\text{KV}/\text{cm}^2$ 的场时为 $3\text{mJ}/\text{cm}^2$)。这也改进了材料的效率。材料对读出退化的抗变依赖于写入期间所使用的曝光量, 例如, 如果数据是在 $100\text{J}/\text{cm}^2$ 的情况下记录的, 则存贮的数据能在几分钟内读出而无退化, 反之若图象用低的曝光量记录, 则读出时几秒内即出现衰减。*SBN* 和 *LNB* 二者的分辨率都是很高的 (在1000对线/mm以上), 但是 *SBN* 要好些, 因为它能用电学方式定影, 而 *LNB* 需要加热。

由于这些 *SLM'S* 的记录和循环时间不是实时的, 它们在相干光学处理中的使用被限制于准永久的全息空间滤波器 (用在图1中的 P_1 上), 这里空间滤波器不需要很经常的修正, 但必须在许多周期内呈现非破坏性读出。这样, 它们主要用在大容量体积数据存贮中, (为获得此类应用的材料更完整的评价, 读者可参考[2], [21]和[108])。

X. 其它的 SLM 材料

至少有其它四种主要的 *SLM* 材料值得叙述。

A 声光 SLM

声光调制器本来是一维光调制器, 因为制造2-维器件的并行单元是困难的, 在本述评中没有广泛地讨论它们。作为偏折器, 以及在雷达, 语言, 和其后一维信号处理应用那样特殊的情形, 它们是十分有用的。近来也把它们用于一种巧妙的多路传输方案中, 作为组页器。与其它的 *SLM* 材料相比, 高带宽是它们的主要优点。

B 磁光 SLM 材料

许多磁光材料 (Mo) 已考虑用于大容量数字化数据存贮, 一些文章已对它们作了适当地评述。使用的是 Mo 材料的薄层。写入通常利用热磁效应或其变种, 依据该效应, 在有磁场的情况下, 材料的局下区域被聚焦激光束加热到材料的居里点。在这些局下加热区的磁化强度被反转。分别用克尔或法拉弟 Mo 效应反射或透射读出这些磁化状态。MnBi, *GdIG*, 和 *EuO* 是最注意研究的一些材料。已获得高的分辨率 (500对线/mm), 毫微秒的响应时间, 和中等的灵敏度 ($1\text{mJ}/\text{cm}^2$), 但低的信噪比 (典型的8:1) 和低的 η 值 = 0.1%。某些这种材料的另一缺点是需要低温 (*EuO*) 或在一个补偿温度 (*GdIG*) 下操作。若用作相干空间光调制器材料, 它们并没有便利的灰度等级记录能力, 并要求精确的激光脉冲和峰值功率控制, 因为全息记录必须可重复, 并需要千瓦峰值功率的, 准确为毫微秒的激光脉冲来避免散射所造成的材料热调制深度的减少。由于这些理由, 它们作为相干 *SLM* 材料并没有得到进一步的重视, 虽然它们已用于全息记录, 而且是一个能维持下去的大容量数字存贮介质。

C 非晶半导体 SLM 材料

对一些数据存贮应用曾考虑过用非晶材

料。它们是一些用扫描激光逐点寻址的薄膜(500 Å)材料。来自激光的热,使它从非晶体转变为晶线状态。硫属化物是一种典型的非晶形介质。它的灵敏度极好(50—100 $\mu J/cm^2$)但产生非对称光点(例如1 $\times$ 15 μm),而且光学对比度低(2:1),除非使用机械的干减薄或化学侵蚀方法。Mo 介质对功率水平和脉冲持续时间也是要求高的。

D 磁泡 SLM 材料

磁泡器件也已建议用于光学处理。这些泡是薄铁磁物质中的单个磁畴(1—20 μm)。它们在磁场内是可动的并且它们的磁化强度可由偏压场予以控制。在显示型式里,读出是通过法拉弟 Mo 效应而实现。它正处于发展初期,低的对比和效率较低,8-KHz 的缓慢速度,和灰度级问题尚须克服。

Ⅺ. 概括和结论

存在着大量不同的 SLM 材料。还有其它一些电极式的和研制较少的器件,这里所

讨论的那些 SLM's 代表了到1976年为止所获得的一些工程和材料的成就。这些不同的 SLM's 处于完全不同的发展阶段,并且使用场合也很不相同。在所有情况下,所需要的应用将确定最合适的 SLM 和所需的技术指标。

由于上述理由,不宜对所有的 SLM's 进行直接比较,在表Ⅱ和表Ⅲ里概括了一些主要 SLM 材料的目前的技术指标。只包括了那些已在相干光学处理中使用的而且还在研究的 SLM 材料。光学寻址光调制器(OALM's)(表Ⅱ)和电子学(电子束)寻址光调制器(EALM's)(表Ⅲ)分别分类。

至于那些最有希望的 SLM 材料,读者应自己来下结论。然而,在那些正积极地研究用于相干光处理的 SLM's 中,PROM 和混合 LC 似乎是最有希望的 OALM's,而电子束寻址的油膜器件和 DKDP 器件是最有希望的 EALM's。

表Ⅰ 用于相干光学处理的一些主要光学寻址空间光调制器(OALM)的现有技术指标

材 料	调制效应	有效面积 (cm)	极限分辨率 (对线/mm)	峰盾对比度	灵 敏 度 ($\mu J/cm^2$)	需要电压 (伏特)	参 考 注	释
Bi ₁₂ SiO ₂₀ (PROM)	普克尔	2.5 $\times$ 2.5	150—500	5000:1	0.5—600	2000	{73}、{74}	需要低读出光
DKDP (KD ₂ PO ₄)	普克尔	2.8 $\times$ 2.8	75	100:1	2-10	80	{78}	在-50℃操作
液晶	混合场	2.5 $\times$ 2.5	50	100:1	5	6	{28}	15ms 记录
PLZT	磁畴转换	3.2 $\times$ 3.2	50	10-100:1	10 ⁴	250-450	{90}-{94}	均匀性问题
热塑料	表面变形	2.5 $\times$ 2.5 -10 $\times$ 10	2000 (带 通 $\pm$ 250)	100:1	5-100	300	{48}-{50}	低寿命若干秒的循环时间
Elastomer (Rution)	表面变形	2.5 $\times$ 2.5	100—500 (带通 $\pm$ 70)	100:1	30	20—40	{57}、{58}	5 分钟存贮
KCl, NaF	光双色性	1 $\times$ 1	2000以上 (衍射极限)	3000:1	5—10 $\times$ 10 ⁴ 不要		{25}、{111}	KCl 在 {65}-{67} 200K 操做 {69}-{71}

表Ⅱ 用于相干光学处理的一些主要电子束寻址空间光调制器(EALM)的现有技术条件

靶面材料	有效靶面面积(cm)	分	×	率	对 比	参 考	注	释
介电质油膜	2.5 $\times$ 2.5	500 $\times$ 500到	1000 $\times$ 1000	40dB		{53}、{112}	30ms 存贮	现有低的光学质量
DKDP(KD ₂ PO ₄)	5 $\times$ 5		1000 $\times$ 1000	100:1		{75}、{79}-{82}		在-50℃操作
热塑料	2.5 $\times$ 2.5(到10 $\times$ 20)		1800 $\times$ 1800	8灰度级		{51}、{52}、{113}	2—s 擦除	低寿命

(刘淑华 译, 严国荣 校)