

“多色”激光器的优点

提要：如果应用激光束来记录和读出信息，而激光束的颜色又能借助于新的特殊装置，以很快的速度变换，那末光学存储器的容量还可以提高好几倍。

利用激光束的“多色性”虽然现在尚未实现，但是他在诸如用新方法编码、多路传输、用单色或混合光信号来储存及重演信息等方面的前景很引人注目。计算机能对储存在很小的彩色底片上的几千万，甚至几十亿个信息进行光学存取。用电子线路来控制激光束的颜色、强度及空间位置，即在银幕上可以投映出相当清晰、相当动人的画面。目前，正在研究如何将激光器用于光学通信系统及信息整理装置。

在利用多色激光的方案中的一个薄弱环节，是没有合适的波长选择器(颜色选择器)，此种装置能在任何给定的瞬间在多色激光束中分出一种所需的颜色或所指定的波长，然后将系统以很快的速度换向到另一个选中的波长上。

这种装置已经设计出来并进行了试验(见图1)。选择器的换向时间为几微秒，但是这一时间如近年来发展的其他波长选择装置一样，对于目前电子线路所要求的开关时间来说是跟不上需要的。

这种新型的装置就是控制电压和波长从属的Q调制器。一般情况，它放在激光共振腔中，因而净增益不足以产生激光作用。但是在这种情况下，Q调制器是和能在几个不连续的波长上工作的激光器一起使用的。

不用椭圆偏振的光波，是因为它导致比增益还大的反射损耗。为了获得最小的损耗，必须使所需的激光光波成线性偏振。因此它们对以后的应用来说，将辐射出很高的强度。施加在电光晶体——Q调制器的一部分——上的电场大小决定着偏振光的线性关系。

以前发展的两种装置，也是制造多色光学选择存储系统所必不可少的，颜色选择器是这两个装置中的一个补充部分。其中之一是以 10^5 至 10^6 信息单位/厘米²的密度在底片上记录多色信息的工具；另一能在数字计算机的配合下将激光束偏转至存储介质的任一给定部位上，致使激光束不但能记录信息，而且还能读出信息。偏向器能保证读出速度为 10^7 信息单位/秒。为了制作一种能获得可见输出数

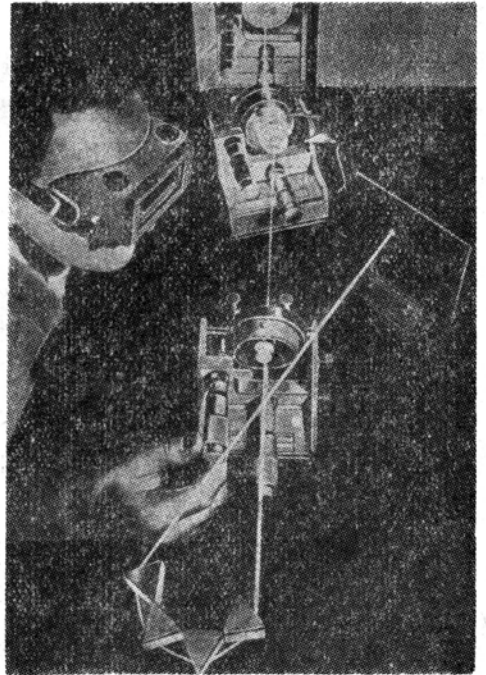


图1 电离氩激光器的波长选择器能引起绿色辐射振荡。一般情况下，激光器辐射出来的光束是混合颜色的；用多次曝光的方法，可以在屏幕上拍摄下五种颜色。

据的系统，只有应用颜色选择器和偏向器的组合。

多色激光器

激光束的高亮度、相干性以及高度的准直度，使激光成了一种独一无二的光源，在其他关系中，它类似于一种电子振荡器。要使激光器运转，需要一种介质，于其中发生放大，并对输入的放大信号部分给以反馈。放大作用必须超过反馈回路中的损耗，否则就不产生振荡。

激光器常常获得或发射几种不同的波长，即给出不同颜色的辐射。在实验中使用的、具有 Q 调制器颜色选择器的氩离子气体激光器，同时会辐射出 2 种强光谱线和 6 种较弱的光谱线。这两种强光谱线呈可见的蓝色和深绿色，它们的波长分别为 4,880 埃和 5,145 埃。图 1 中示出了辐射绿颜色的激光器。较弱的光谱线的波长分别为 4,579、4,658、4,765、4,965 及 5,017 埃。在屏上显示的是四种可能发射的颜色、具 5,145 埃的绿色谱线。

到目前为止，还没有一种连续激光器，其强大功率的光束分布在所有的可见光谱区内。将来也许会设计出那类激光器，将好几种气体混和在一个放电管内，并实现每种气体中跃迁的振荡。但已实现的激光器都能在几个波长上振荡。

如果说氩-氖激光器的反馈反射镜在整个可见光谱区具有很高的反射率，那末振荡只能在 6,328 埃(鲜红色)处发生，而不会在其他任何可见光的波长上发生振荡。但是，安置在激光共振腔中的棱镜(见图 3 所示)能消除占优势的谱线 6,328 埃，并引起其他波长处的振荡^[1]。棱镜能使投射到其上的辐射产生色散，因此，整个激光系统似乎是建筑在单一波长上的。

旋转棱镜或反馈反射镜，不只在 6,328 埃处引起振荡，而且也在 5,940、6,046、6,118、6,293、6,351、6,401 及 7,305 埃处引起振荡。

如借助于压电变换器来旋转棱镜或反射镜，那末，由一个波长到另一个波长的开关可在 1 毫秒时间内发生。要想得到更高的速度是不可能的，这是由于受旋转的光学零件的质量的限制。

还可以采用其他的方法实现波长的选择，如：具有选择反射的反馈反射镜^[2]、放置一组干涉板于光学共振腔中^[3]、放置充满甲烷的盒子于氩-氖激光器的光学共振腔中^[4]，或者将末端反射镜之一制备成特殊的三棱镜形状，借此获得对所有波长都是准直且相互平行的输出^[5]。

在不大的波长区域内的连续光谱，可利用电场或磁场的影响，或气压的改变，或激光工

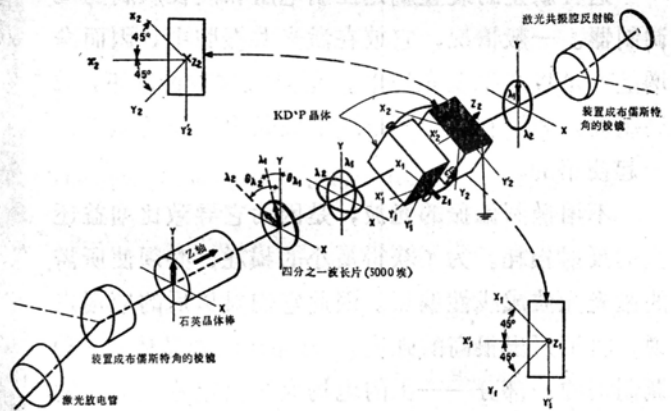


图 2 当光通过 Q 开关的光学组合时，波长为 λ_1 的光成线性偏振；波长为 λ_2 的光成椭圆偏振，并导致反射损耗。

作物质的温度的改变而获得^[6-9]。很高的流体静压力能不断地移动硒化铅脉冲激光器的波长^[10]。但用高压的方法并不是一种理想的动力方法，而很高的场或力也难以实现快速变换。

Q 调 制 器

在许多应用中都要不连续的波长，在这些波长上激光工作物质具有放大作用，这些波长也可以由光学共振腔参数的改变来选择。因此，根本的努力应该放在 Q 调制选择器上，它可借助于电子线路来开关。

当所选择的装置放置于光学共振腔内之后，由一个波长到另一个波长的开关速度，只受光学共振腔和工作物质改变共振波型所需的速度的限制。

连续气体激光器跃迁的增益从百分之几到百分之八十。Q 调制器中固定的光学损耗值——散射、反射、吸收的损耗——应该比系统中的最小增益小。光学元件的组合(见图 2)除对一种谱线外，对所有的谱线都会导致损耗比增益大的局面^[11]。

在 Q 调制器中加入石英晶体棒，四分之一波片，电光晶体 KD*P (重氢磷酸钾) 以及装置成布儒斯特角的熔石英窗(棱镜)。这些光学组合件颇此的尺寸紧密

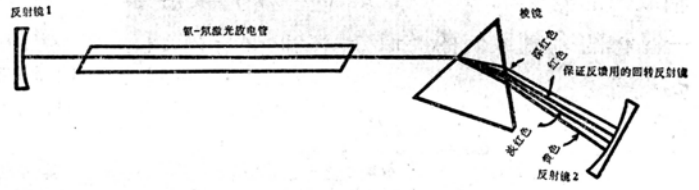


图 3 将激光共振腔系统建筑在激光辐射的一个波长上。后棱镜能引起光的色散。

地配合，光学组合件的表面涂以折射率与之相配合的硅酮油脂薄层。将窗装置成布儒斯特角，是为了要减小平面偏振光的反射损耗。图 4 表示熔石英表面的反射情况。当光线是线性偏振，并且平行于入射面(由入射光线和表面法线所形成的平面)时，实际上以布儒斯特角 θ_B 入射的光无反射。垂直于入射面的偏振光的反射为 13% (见图 5)。

在光束通过布儒斯特角窗后，它就沿石英棒的 Z 轴传播。平面偏振光的偏振面随着光束穿过石英而旋转。棒的单位长度的旋转量取决于波长。图 2 表示两个任意波长 λ_1 和 λ_2 在穿过整个石英棒后的偏振面状态。这些偏振面与 y 轴分别构成角 θ_1 和 θ_2 。

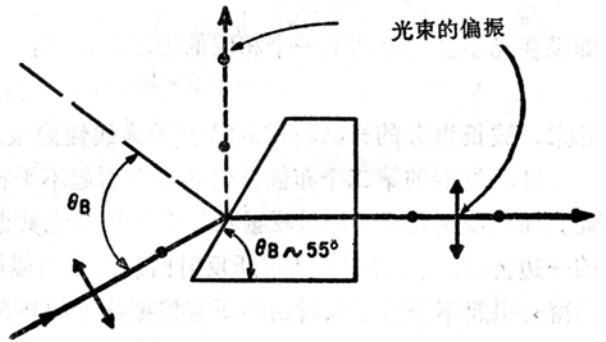


图 4 由介质(如玻璃)表面反射的光的强度取决于入射角及光束的偏振程度。黑点表示垂直于图表面的偏振矢量。

然后光束投射到四分之一波长的结晶石英薄片上，薄片的光轴与 y 轴平行。这个薄片将使沿 x 和 y 轴偏振的分量间产生 90° 的位相移动。由薄片出射的光是椭圆偏振的，相应于下列公式：

$$\frac{x^2}{A^2 \sin^2 \theta_\lambda} + \frac{y^2}{A^2 \cos^2 \theta_\lambda} = 1.$$

椭圆偏振光投射到二个电光晶体 KD*P 上。这些晶体中的普克耳横效应(参阅文献 12)

能引起光的两个偏振分量的位相移动。一般情况下，经常采用的是纵向电光效应，而不采用横效应，但为了使损耗成为极小值，我们采用了横效应。在这样两个晶体中，电场的取向是沿它们的 Z 轴方向 (Z 轴互成 90° 角，与四分之一波片的光轴成 45° 角)。这样的配置能消除电光晶体双折射的温度关系。光束沿每一晶体的 x 轴穿过。

用电压来调谐

在电场 E_2 迭加时，沿其中一电光晶体 Z 轴取向的分量 $A\sin\omega t$ (这里， $\omega=2\pi f$) 及沿另一晶体的 Z 轴取向的类似分量之间的相位移 ϕ_λ 等于：

$$\phi_\lambda = \frac{\pi d E_2}{V_{\lambda/2}}$$

其中， d ——每一晶体中的光程， $V_{\lambda/2}$ ——半波电压的幅度(在电光纵效应中都有这一定义)。

在光穿过电光晶体以后，它沿正交轴 Z 的分量等于：

$$Z_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} A \sin(\omega t + \theta_\lambda),$$

$$Z_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} A \sin(\omega t - \theta_\lambda + \phi_\lambda).$$

如果在光学晶体上加上一个相应的电场，就得：

$$\phi_\lambda = 2\theta_\lambda,$$

那末，波长为 λ 的光又将重新沿 y 轴成线性偏振。所有其他波长的光仍然是椭圆偏振的。

Q 调制器的第二个布儒斯特角窗会引起不平行于入射面的所有的偏振光分量的反射损耗。椭圆偏振光分量经过反射后，会偏离激光共振腔。光由 Q 调制器出射并在反馈反射镜的一边传播。然后光束又重新反射回装置成布儒斯特角的 Q 调制器的窗上，这一布儒斯特角窗会引起不平行于入射面的所有偏振分量的补充损耗。如果所得的损耗相当大，那末我们在输出端上就能得到一种选定波长的光。

图 6 表示氩激光器共振腔中的 Q 调制器的照片。在电光晶体上加上一适当的电压后，就能得到四种不同颜色的光(波长分别为 5,145、4,756、4,579 和 4,965 埃)。由激光放电管(图中的右上角)中出射的光束经过颜色选择器(图中的中间部分)并由反射镜反射(右面)。穿过激光器反射镜之一的光束强度取决于附加上去的电压(见图 7)。所测得的开关速度(从 5,145 埃到 4,965 埃)为 8 微秒。电压调节系统的改善会缩短这一开关时间。据文献 13 中报

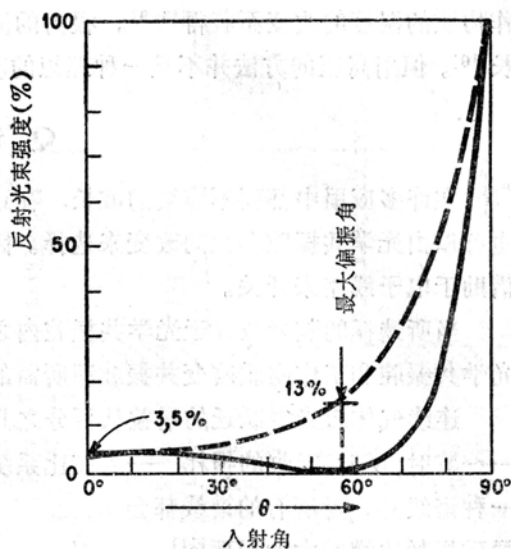


图 5 反射光束的强度取决于光束的入射角及它的偏振程度。虚曲线表示垂直于入射表面的偏振光束的特性。

导,氮-氛激光器中 Q 调制的开关时间,从低于阈值到等于阈值,为 20 到 100 微秒。

光学选择存储器

光学存储器最简单的构造原理是将照相底片划分成小块面积。每一小块面积对光说来,或者是不透明的,或者是透明的,与计算技术用语中二进位计算制中的 1 或者 0 相对应。经过偏向器后,光束可投射到任一选定的记录载体的小面积上,借助此种光束就可进行读数。装在底片后的光敏装置就会给出电信号,指出有光或无光相应于 1 或 0。

如果将不同颜色的光束投射到每一小面积上,那末每一小面积的存储容量就会以颜色数量等量地增长。能够“记牢”几种颜色的光学存储器可采用李普曼过程及用全色照相乳剂覆盖的金属反射镜来构成^[14]。

相干长度(波的位相严格相同的波列的长度)比乳剂层的厚度大两倍多的光沿法线方向穿过乳剂,由反射镜反射,再经过乳剂返回。这时在乳剂中产生驻波,这些驻波的结点在反射镜的金属表面上(见图 8)。银离子在驻波的波腹处形成。

如果光束不是相干的,或者相干长度很小,那末会产生很弱的、分散的波腹,形成的离子也很少,或者根本没有离子形成。

显影以后,在底片上形成了再现银离子的周期性结构。由于介质折射率的周期性变化,在反射光中产生干涉,很明显,只有在初次曝光时产生银层的波长处才会有这种干涉。因此,反射光的波长能精确地再现原始光束的波长。

其次,如果使用几种不谐和的波来曝光乳剂的同一区域,那末,每一非谐和波都会产生自己特有的银层,如图 8 左部所示(在颗粒很小的条件下)。由乳剂反射的宽带信号将包含所有的原始波长。如果有 n 个不同波长的光源,适当地沿底片的灵敏带分布,那末它们就能在载体单位面积上记录 n 个信息(一种颜色上一个信息单位)。因而记录信息的密度可达 $10^5 \sim$

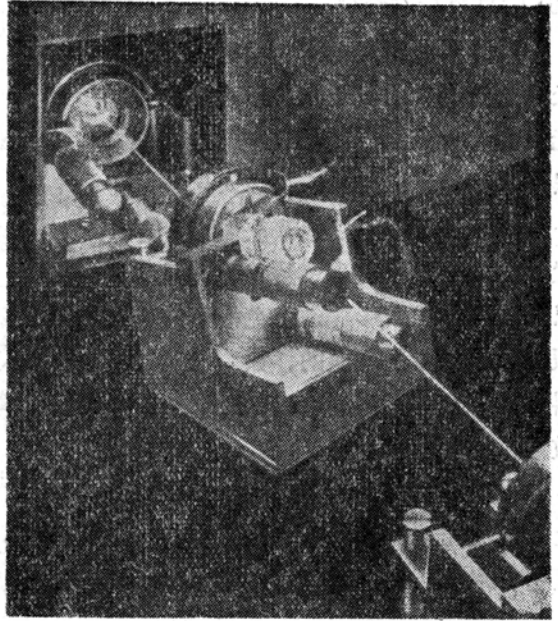


图 6 一个激光器能获得四种颜色的光束。

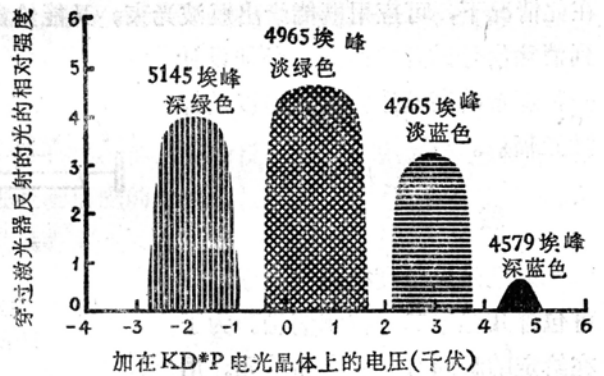


图 7 激光辐射的强度与加在 Q 调制器 KD*P 上的电压的依赖关系。

10⁶ 信息单位/厘米²。

激光器或激光器组（它们的辐射波长适合于底片的灵敏部分），由于它们的光束具有很高的亮度和相干性，因此可以用来高速记录信息。

李普曼过程可以用来获得存储装置，这种装置只用来读数，也就是说用以进行黑白显微影片的多色模拟装置。假如存储介质是可逆的，如彩色照相材料，那末光学存储器可以制成记录、读数两用的。

由偏向器偏转，射到载体适当部分上的短波光束，可以激励物质，并引起颜色、密度或者折射率的局部变化，从而可记录信息。

长波光束，如红外辐射束，被投射到介质的同一部分时，由于颜色光化学逆反应而把已记录下的信息消除，这一消除的机理可能与物质上的红外加热或别种什么相似的作用有联系。在此情况下，可应用既能给出短波光束，又能给出红外光束的气体激光器。要想加速从记录到消除信号的开关时间，必须设计一种理想的高速选择器，用以选择激光辐射。

载体部分的选择

记录信息密度很高的光学载体可包含几亿个二进位制信息。为了在给定的瞬间“记住”存储单元，用于记录的光束必须要很快并且很精确地投射到选定的载体部分上。

因为制造成了一种能借助数字计算机来偏转激光束的装置^[15,16]，因此这种方法的实现也有了可能。在 10 微秒时间内，偏向器能在面积为 3~5[厘米]² 的底片中，从 65,000 个不同的存储单元中找出其中的任何一个。这一偏转器已由美帝国际商业机械公司设计出来了^[17]。

在记录信息时，选择器能将不

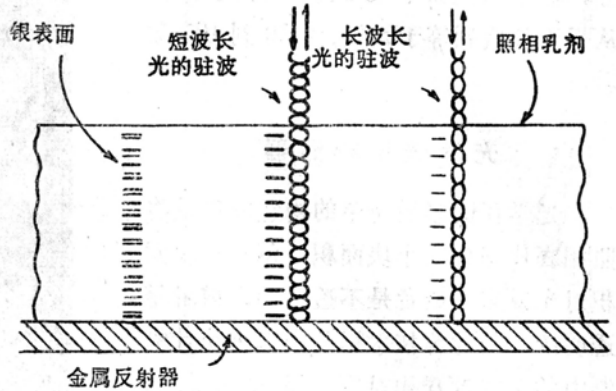


图 8 李普曼过程能在底片的同一部分将对应于不同颜色的信息存储在相间的各层中。激光辐射的亮度和相干性能保证得到鲜明的波腹和层结构。

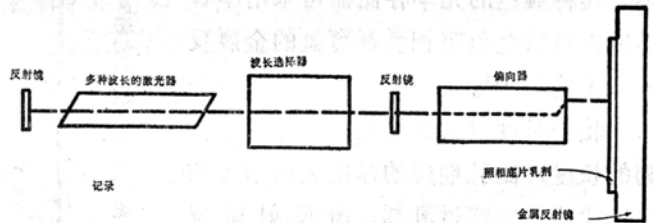


图 9 在选择所要求的颜色信号以及在底片的适当位置上记录信号时，选择器和偏向器是必不可少的。

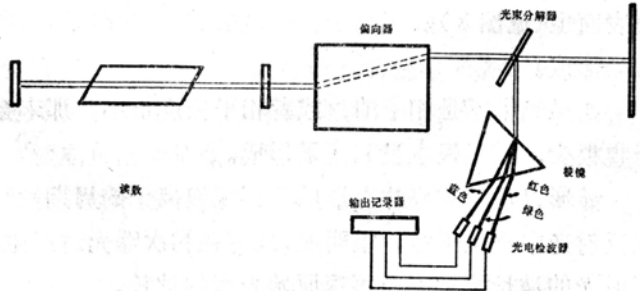


图 10 用不同颜色的光束（在记录时所用的那些颜色）来照明存储器的每一个单元，用这种方法就能读出以李普曼过程为基础的存储器中的数据。这时要采用多色激光束及偏向器。棱镜将反射光束分解成各种颜色。检波器上有或者没有信号，说明用这种颜色在给定的底片部分上是否记录上 0 或 1 的信号。

同波长的波分离出来(见图9);为了读出信息,可采用多色光束,这一光束在穿过棱镜时散成各种颜色(见图10)。

多色显示法

激光束的特点是具有极高的亮度,因此也就保证能在普通照明的房间里用目视方式读出数据。应用不同的颜色还可以增加其他种量纲,因而也提高了信息的容量及显示的多样性。

图11示出了多色信息显示系统的元件。符号选择器将激光束引向刻度盘的某一符号上。位置装置部分将这一符号投影到银幕的一确定部位上。反映符号的颜色与相应的激光辐射波长相同。激光频率选择器可用很快的开关速度将辐射从一种颜色变换到另外一种颜色。

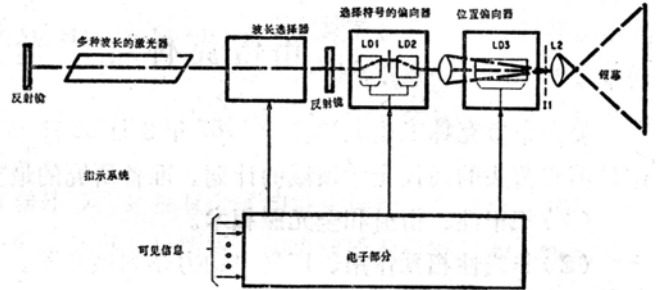


图11 可见信号的颜色和位置由波长选择器和位置装置部分来得出。

纯一颜色的、波长为6,328、5,145及4,880埃的光束与氦-氖激光器或电离氩激光器的红色、绿色及蓝色辐射相应。将这三种颜色按不同的比例混合后,可以得到包括白色在内的全部可见光谱的颜色。在理想的情况下,一个激光器的基本颜色光束都应混杂到颜色选择器内,并且它们的强度应由电光调制器来调节。这三种适当强度的彩色信号应按次序地投射到载体的同一个部位,眼睛就能观察到相应于有给定混合比例的着色部位。

参 考 文 献

- [1] A. L. Bloom, "Observation of New Visible Gas Laser Transitions by Removal of Dominance," *Applied Physics Letters*, Vol. 2, 1963, p. 101.
- [2] F. J. McClung, S. E. Schwarz and F. J. Meyers, " R_2 Line Optical Maser Action in Ruby," *Journal of Applied Physics*, Vol. 33, 1963, p. 3139.
- [3] C. J. Hubbard, W. W. Fisher, "Ruby Laser Action at the R_2 Wavelength," *Applied Optics*, Vol. 3, 1964, p. 1,499.
- [4] C. B. Moore, "Gas-Laser Frequency Selection by Molecular Absorption," *Applied Optics*, Vol. 4, p. 252, 1965.
- [5] R. M. Zoot, "A Laser End Reflector With Spectral Tuning Capability," *Applied Optics*, Vol. 5, 1966, p. 349.
- [6] W. Kaiser, S. Sugano, D. L. Wood, "Splitting of the Emission Lines of Ruby by an External Electric Field," *Physical Review Letters*, Vol. 6, 1961, p. 605.
- [7] Z. J. Kiss, "Zeeman Tuning of the $\text{CaF}_2: \text{Tm}^{2+}$ Optical Maser," *Applied Physics Letters*, Vol. 2, 1963, p. 61.

(下转第26页)

会议报导

布鲁克林现代光学会议

美帝布鲁克林工业大学将于1967年3月22日至24日召开现代光学会议。会议建议制定目前有苗头的现代光学领域的计划。准备研究的最突出的方面有：

- (1) 相干性、衍射和全光照相术。
- (2) 非线性相互作用、广义电动力学和激光器。
- (3) 通讯、信息处理、空间滤波、调制和探测。

会议涉及的范围包括新装置以及与上述领域的进展有关的理论或实验技术。

译自 *Laser Lett.*, 1966, 3, № 10, 6

(上接第25页)

- [8] M. J. Stevenson, J. D. Axe, J. R. Lankard, "Line Widths and Pressure Shifts in Mode Structure of Stimulated Emission from GaAs Junctions," *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 7, 1963, p. 155.
- [9] I. D. Abella, H. Z. Cummins, "Thermal Tuning of Ruby Optical Maser," *Journal of Applied Physics*, Vol. 32, 1961, p. 1,177.
- [10] J. M. Beeson, J. F. Butler, A. R. Calawa, W. Paul, R. H. Rediker, "Pressure Tuned PbSe Diode Laser," *Applied Physics Letters*, Vol. 7, 1965, p. 206.
- [11] M. A. Habegger, T. J. Harris, E. Max, "Dynamic Laser Wavelength Selection," *IBM Journal of Research and Development*, (to be Published in July).
- [12] B. H. Billings, "A Tunable Narrow-band Optical Filter," *Journal of the Optical Society of America*, Vol. 39, 1949, p. 797.
- [13] N. Braslau, W. A. Hardy, "Growth and Decay of Stimulated Emission in a Gas Laser," *American Physical Society Bulletin*, Vol. 9, 1964, p. 500.
- [14] H. Fleisher, P. Pengelly, J. Reynolds, R. Schools, G. Sincerbox, "An Optically Accessed Memory Using the Lippmann Process for Information Storage," *Optical and Electro-Optical Information Processing*, Chapter I, MIT Press, Boston, 1965.
- [15] W. Kulcke, T. J. Harris, K. Kosanke, E. Max, "A Fast, Digital-Indexed Light Deflector," *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 8, 1964, p. 64.
- [16] W. J. Tabor, "The Use of Wollaston Prisms for a High-Capacity Digital Light Deflector," *Bell System Technical Journal*, Vol. 43, 1964, p. 1,153.
- [17] W. Kulcke, K. Kosanke, E. Max, H. Fleisher, T. J. Harris, "High Resolution Digital Light Deflector," *Applied Physics Letters*, Vol. 8, May 15, 1966.

译自 Habegger M. A., Harris T. J.; *Electronics*, 1966, 39, No. 14, 84—91.