

激光束的相位列陣扫描

A. Korpel

本文描述一种新的、有效的激光束角扫描方法。其特点是利用激光的时间相干性，以构成多光束相位列阵。该法的基本结构是孔径为 D 、振幅反射率为 R_1 和 R_2 的两面平行反射鏡，其间的距离为 L (图 1)。直径为 d 的激光束，通过左部反射鏡涂层上的孔，以角 β 进入这面反射鏡。经多次反射之后，便构成一个平行光束的系统，其中每一光束的直径为 d (略去衍射)，相互间隔为 $S=2L\sin\beta$ 。为避免共振入射情况，已留心不让光束发生重迭 ($S>d$)。合成光束 (远场) 的方向取决于相邻的近场光束之间的相对相位，并能通过变化光程长 L 而使之改变。变化量 ΔL 将使孔径 D 中的每一光束的相位挨次改变一量 $4\pi\Delta L/\lambda$ 。这就使合成波前的方向改变 $2\Delta L/S$ 。相邻光束之间的最大有用相位差是 $\pm\pi$ ，它相应于 $\Delta L=\pm\frac{1}{4}\lambda$ ，并导致一个最大的总扫描角 λ/S ，如图 1 中的虚线所示。

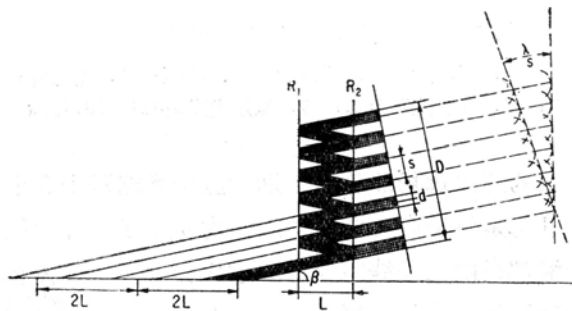


图 1 角扫描器工作简图

远场中的扩展由总口径确定，其值为 λ/D 。因此，可分辨扫描角的数目等于 D/S ，即相位列阵中光束的数目。

相位列阵中，有用光束数目的上限取决于系统为孔径所限制还是为损失所限制。若系前者 (即 D 有限而 $R_1=R_2\rightarrow 1$)，则条件是，相位列阵中最末 (顶部) 一道光束的衍射扩散不应大于孔径本身，即 $N \cdot 2L \cdot \lambda/d < D$ 。如果最初的两光束刚好相互接触，即 $S=d$ ，则条件为 $N < (D^2/2L\lambda)^{1/2}$ 。反之，若系统为损失所限 (即 $D=\infty$ 而 $R_1R_2 < 1$)，则性能可用有效孔径 $D_{\text{有效}}$ 来描述。能够表明， $D_{\text{有效}}$ 等于反射鏡中使光束的衰减量略低于 π 奈贝的那一部分的长度。 $D_{\text{有效}}$ 和 $N_{\text{最大}}$ 可用反射率 R_1R_2 表示为 $D_{\text{有效}} = \pi d / (1 - R_1R_2)$ 和 $N_{\text{最大}} = \pi / (1 - R_1R_2)$ 。以目前的工艺水平而论，能达到的反射率 R_1R_2 为 99.7%，因此，这种系统要想取得 10^3 的可分辨扫描角似乎是可能的。

本文的简单叙述略去了远场中存在多瓣的情况。在垂直于反射鏡的直线上安置一组相互间隔为 $2L$ 的虚 (光束) 光源，则很容易精确地分析这种装置。这在图 1 中由细实线表出。这一分析表明，强 (即强度可与主光束相比较的) 旁瓣的数目约为 $2S/d$ ，相互之间的间隔为

λ/S 。但除代表光强度的损失外，它们与该装置的基本性能无关。

实验装置如图 2 所示。两面反射镜之一装在片状压电换能器上，使能改变反射镜之间的距离。棱镜起一面反射镜上的小孔作用，将激光束引入系统。望远镜在照相底片上构成远场

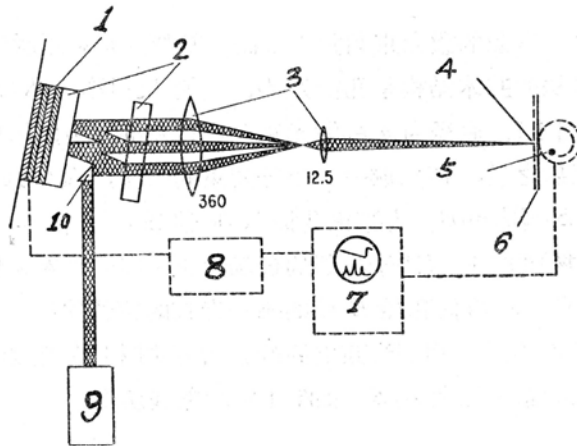


图 2 实验装置。透镜的焦距以毫米计。

1. 振荡器； 2. 反射镜； 3. 望远镜； 4. 孔径； 5. 光电管； 6. 底片；
7. 示波器； 8. 锯齿波发生器； 9. 氦氖光激光器； 10. 棱镜

图样。图 3 表示连在一起的三张远场照片，分别对应于换能器上 3 个不同的直流电压。第一次和第二次曝光后，相机都是沿垂直方向移动的。构成远场图样的线的纵横比与近场(线)光源的相反。注意每一个瓣都是由三条线组成的。这代表所用光激光器中的三种轴向波型，它们因频率互异而得到不同的偏转。

为了测量可分辨角的数目，曾用带有狭缝的光电管代替照相底片。然后在振荡器上加上锯齿电压，使远场图样能扫描过狭缝。这在图 2 中由虚线示出。测量光电管电脉冲的宽度，便能确定可分辨点的数目。比较近场光束的数目(当用反射镜系统和激光束之间的相对角来确定)后表明，近场光束高达 60 条时，结果仍与理论符合得很好。但由于实际的困难，我们并没有测量更大数目的打算。单纯由于损失($R_1R_2=0.975$) 以及单纯由于孔径 ($D=2$ 厘米, $L=2$ 厘米, $\lambda=0.6328$ 微米) 给我们的系统带来的理论限制都是 125 个可分辨角。虽然在我们的实验中是改变长度 L , 但很明显, 也可用改变折射率(例如利用电-光或压光效应) 或频率的方法来代替。最后指出, 似乎有可能用第二个反射镜系统使第一个反射镜系统发出的单条线产生近场线源的相位阵。这就可能进行二维扫描。

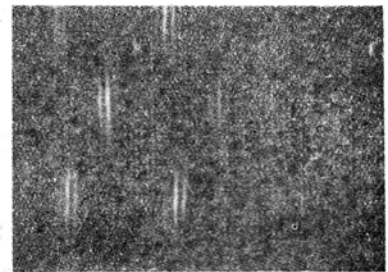


图 3 相应于三种不同偏转角
(0, $0.47\lambda/S$, $1.11\lambda/S$) 的远
场花样的曝光

原载 *Proc. IEEE*, 1965, 53, No.10, 1666~1667 (颜绍知译, 范滇元校)