

光电译文

第 2 集

北京光电技术研究所

光电译文集 第二集

(有关染料激光器的线宽压窄元件、
泵浦源等专集)

1. 光胶组合式法布里-珀罗标准具
2. 激光器用的光栅选择
3. 应用法布里-珀罗分光计测量比线宽更小的谱线位移
4. 可调谐染料激光器中的波长漂移
5. 氮激光器的实验与理论研究
6. 高分辨率光谱学中单频相调连续波染料激光技术
7. 窄带染料激光器及其应用
8. 有机染料激光器的偏振问题
9. 有机染料溶剂激光辐射损耗
10. 辐射方向很好的激光器
11. 波长可调的超辐射行波染料激光器
12. 25 μm 扩束镜
13. 光学名词解释

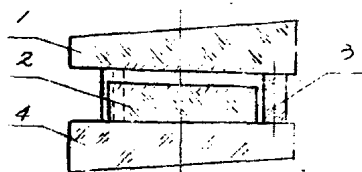
光胶组合式法布里-珀罗标准具

C. C. АНУФРИК 等

在最近期间量子电子学和激光光谱学的发展引起了研制高质量的法布里-珀罗标准具的必要性(1-4)。光胶组合式标准具具有最好的实用性能。标准具反射口之间距离的稳定性是它的基本优点,和以往各种型式标准具相比,这种标准具对温度和机械振动的敏感性较小,除此之外结构本身就可以保证标准具获得任何干涉间隙,而无需复杂的校正。

文献中为大家所熟悉的组合式法布里-珀罗标准具的结构,它的干涉间隙取决于平面式的隔圈(2)或带有三个凸台的隔圈。(3)。而高精度的整体隔圈加工的复杂性是这种结构的基本缺点。

本文报导的是组合式法布里-珀罗标准具的新变革。标准具的结构如图1所示。所有的零件均由熔融石英制成,平板2和4的直径60mm,厚度15mm,楔角约 1° 错开 180° 放置。之所以使用楔型平板是为了消除标准具外表上的杂散光。直径为40-50mm衬垫2同平板4是光胶的。隔离柱3放在此衬垫周围相互之间按 120° 分布並同楔型板进行光胶,从而保证了标准具工作面之间的平行度,而标准具的间隙则取决于隔柱和衬垫间的高度差。平板和隔圈均无刻

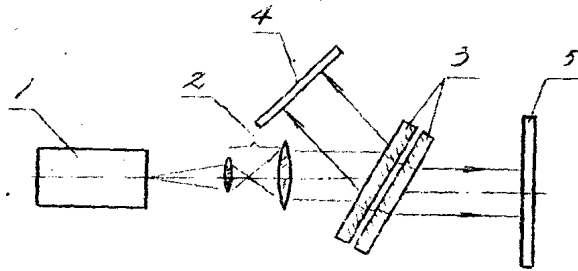


光胶组合式标准具
结构图

图 1

高了 $\lambda/100$ 的精确度所有的另件采用光胶法配合装配之后就
不再要求校正和修磨了。在标准具的工作表面上用真空法在底
层上镀 ZnS/MgF_2 反射介质膜。这种膜能保证在 $400-500$
和 $510-700\text{nm}$ 光谱区里反射率达 ~ 0.8 。

抛光上的质量用多光束干涉法测定(5-7) 组装后标准
具的检验系统按图2进行。来自氦氖或氩离子激光器1的单色光通
过扩束望远镜筒2, 扩展到与被测标准具的孔径一致。而标准
具3放置又和光束成一定角度。测舅由反射光或透射光投在屏



法布里-珀罗标准具的质量检查图

图

2

4和5上的干涉场的照度, 借此可以高精度地判别标准具的质
量。只有在表面加工精度达到 $\lambda/100$ 情况下的高质量的标准
具, 它才能在这里获得照度的均匀变化。

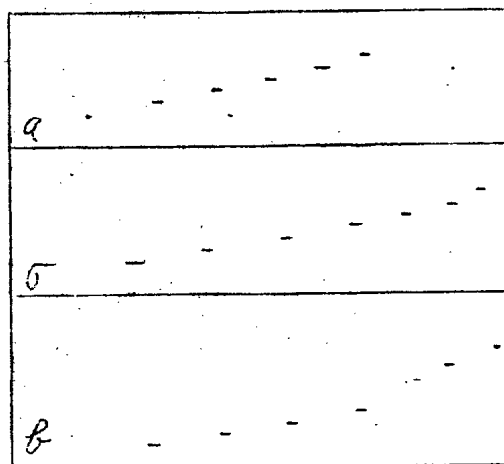
众所周知, 在能量损失很小的条件下, 压缩发射光谱并获
得窄带发射光 ($10^{-3}-10^{-6}\text{nm}$) 是对激光进行调频的复杂问
题之一。普通的法布里-珀罗标准具。由于它本身的不稳定性和
调谐的复杂性, 使它在这方面的广泛应用受到限制。而
上述的光胶组合式标准具就可避免这些缺点。

所以在闪光灯泵浦的有机染料激光器中, 采用这种标准具
作选择元件类似于参考文献(8)中所述就可以得到在全部可

見光谱区域 (400-700 nm) 的有效发射。在实验中所研究了间隙为 3-5 μ 和 100-150 μ 的标准具。

研究证实, 在激光器谐振腔中加入间隙为 3-5 μ 的标准具, 就能在很大程度上压缩发射光谱的带宽, 而在这种情况下, 发射能量的损失不超过 30-40%。

图3所示是用法布里-珀罗标准具实现蓝光(a)、黄光(b)和红光(c)光谱区的发射光谱的重新分布的实例。(染料: 7-酮羧基、4-乙酸氨基、 β 甲基香豆素、若丹明G、若丹明3C)。由此看出, 在调正实验中发射光谱线宽并不改变, 它等于 0.5-0.8 nm。



在谐振腔中夹用一个干涉仪时的发射光谱

图

3

如果所加入的标准具的自由光谱范围 $\Delta\lambda$ 大于无发射光谱主谱线的宽度即:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2d} > \Delta\lambda_{\text{主谱线}}$$

式中:

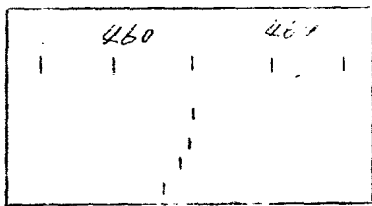
h —— 标准具的间隙号;

λ —— 波长。

就能更有效地压缩带宽并可得到一条窄带谱线。

因此, 为了进一步压缩发射光谱和满足这个条件, 曾研究采用了两个组合式法布里—珀罗标准具的谐振腔, 所使用的若二个标准具的间隙号是 $100-150$ 。

图 2 所示是在采用了两个标准具的色散谐振腔中, 实现发射光谱再调整的实例。将谐振腔的其它元件固定不动, 通过



用两个组合式标准具时
发射光谱的再分布

图 2

转动若二个标准具 ($h = 100$ 或 150) 就能实现发射光谱窄带谱线的均匀地调整。对于不同的入射光谱区, 和不同的泵浦发射光谱带宽都可达到 $10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$ 厘米⁻¹。在保持最佳条件下使用此色散谐振腔曾经光谱密度达到 ~ 200 焦耳/厘米²。

这样, 使用组合式法布里—珀罗标准具就可以实现光谱的有效压缩线宽和重新分布。组合式标准具的结构的进一步完善将能提高其光谱特性和工作稳定性。

参 考 文 献

1. Ю. П. Контиевский О М П № 5. 18
1965.
2. М. М. Лойко, А. Н. Фудинев П Т Э № 3.
20/1973.
3. B. Bates. K. Coe way. C. D. Keifh. H. W.
Yafes. APPI OPT, № 1.
4. А. С. Наиденов. Измерительная техни-
ка № 5. 35 1975.
5. М. Ф. Раманова Интерференция света
и её применение М - ОНТИ 1967.
6. И. В. Скоков Многолучевые интерфе-
рометры. М. изд «Машиностроение»
1969.
7. И. И. Дуחותел ОМ П № 9. 63. 1971.
8. С. С. Ануфрик. В. А. Мостовников. В.
Ф. Воронин. Т. Р. Гиневич В. С. Б.
«Квантовая электроника и лазерная
спектроскопия» Минск. «научная
техника» 1974. стр. 5

译自 Журнал прикладной спе-
ктроскопии. (实用光谱学)
1976年/第三期 P 557-559

激光器用的光栅选择

在染料激光器或分子激光器的放大介质中，振荡时能产生一个宽带或几条光谱的辐射。为了使激光振荡限制在一个窄的谱线宽度或单一的辐射，就必须使用一个波长选择器，例如选用的衍射光栅。

△光栅比起历来的棱镜有如下的主要优点：

1. 有较好的波长选择性。
2. 振荡波长的选择与光栅的转动具有线性关系。

△对光栅的简单选择方法：

1. 对染料激光器：

为了用于偏振光要选择高效率的光栅。

光栅要具备高效率和高色散的特征。

(对于每毫米上刻划线数多的光栅用于高强度的激光器)。

2. 对分子激光器：

要求用高效率和高热稳定性的光栅。

主要结构

一个平面光栅可以按两种方案在激光腔内配置。

图1是由一个全反射镜 R 和一个作为输出用的平的或凹的半反半透镜 M 组成。

图2是由一个输出反射镜 R 和一个平的或凹面的全反射镜 M 组成。

后一种情况射出的激光束为光栅的0级序，而且借助于激光器的调正可以改变输出的方向，上述的两种情况，对应于不同的 Q 因数，(若二种情况下 Q 因数大)。

图 1

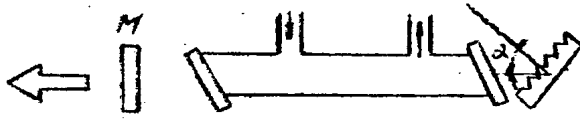
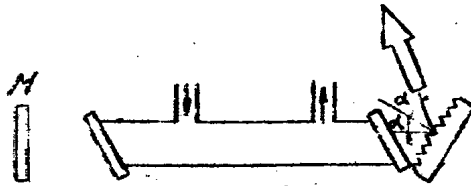


图 2



光栅效率

光栅的效率取决于栅槽的断面。各条曲线对应于不同的光栅和特制栅槽断面的光栅，以反映应用的 α 因数近似值。

光栅的效率由于电场对于光栅栅槽垂直和平行的两个偏振而不同。这个因素很重要，它取决于激光盘窗口的取向（当使用布儒斯特角入射时）。

光栅能压任何波长和在任何级序下闪烁，但是，只有用于第一级序时光栅的效率最高。对于精细制造的全息光栅应该选用中阶梯形的。只有在光栅射出的级序“1”（应用的）和级序“0”（不能避免）上存在有用的波长。如果光栅常数“ a ”符合下列不等式， $0.5\lambda \leq a \leq 1.5\lambda$ ，在利特罗系统的若一级序中的“ α ”角符合 $19.5^\circ < \alpha < 70^\circ$ ，可以借助于效率曲线来选择合于应用的光栅，这些曲线是在光栅上测量出来的。由于光栅的复制，可能有一些小的变化。栅槽的断面按在谐振腔中增着的函数来选择。在图2的情况下，要选择合适的光栅，使它的效率能足够的维持振荡现象。“0”级序的损耗（激光输出）是最大的。在图1的情况下光栅有最高的效

率, 光栅在“1”级序时 ($0.5\lambda < a < 1.5\lambda$), 高色散的最大值是在偏振的方向上, 一般选择电场的偏振要垂直于洪槽。如果希望消除偏振现象就要采用大的洪槽间距。

波长选择

一般的光栅方程是 $\sin \alpha + \sin \beta = \frac{\lambda}{a}$, 对于每一个给定的波长“ λ ”, 光栅的洪槽间距为“ a ”, 固有入射角为“ α ”时, 对应有一个衍射角“ β ”, 只有在 $\beta = \alpha$ 角时沿着激光轴衍射的波长 λ 符合于方程 $2 \sin \alpha = \frac{\lambda}{a}$ (图1、图2)。

对于每一个入射角“ α ”都有一个 Q 因数最大的沿着激光轴线衍射的波长“ λ ”, 改变入射角“ α ”就能造出一个具有最大 Q 值的波长。光栅的转动轴应该与洪槽的方向平行。

色散、自由光谱区和选择性

用光栅来减小激光器输出的光谱线宽度, 使压在利特罗波长附近的窄带宽范围内, 光栅反射器的选择性就是能把激光输出的光谱线宽减到最小的能力, 最高的选择性是能尽大的去增加角色散, 为了实现这个目的可以采用细纹光栅或中阶梯形光栅 (低的沟槽密度用于高次的级序), 大多数情况下, 细纹光栅用在第一和第二级序比用中阶梯形的光栅更为合适, 因为它的效率比较高, 而且用起来也较简单。另外, 中阶梯形的光栅自由光谱区受到很大限制, 而且有可能多线输出。在光谱区大于 $100 \text{ \AA}$ 时可以对级序进行调节以便达到较高的效率。实际上使用中阶梯光栅的主要理由是细纹光栅作起来比较困难。由于 2000 线/毫米 全息光栅的出现, 使中阶梯形的光栅只限于特殊情况下采用。

色散公式与谱线宽度光栅特性和谐振腔的几何尺寸有关。诚然,这个公式是高度近似的,因为选择性与它谐振腔中使用的反射镜的曲率半径、光栅光瞳的角直径、谐振腔的 Q 因数以及激光介质的非线性增益特性有关。

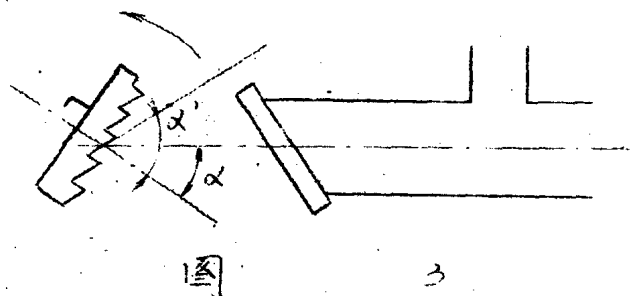
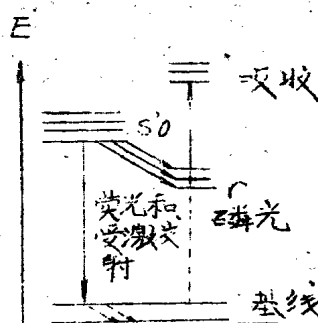


图 3

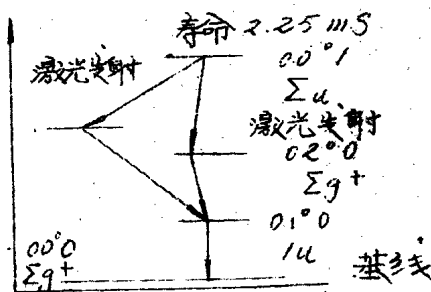
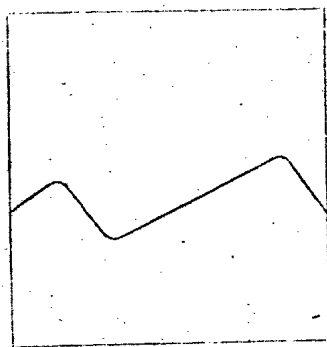
光栅形式	连续激光功率	脉冲激光功率	最高使用温度
在派力克斯玻璃上复制光栅铝镀膜	50 W/cm^2	2 MW/cm^2 在20~30ns	100°C
在派力克斯玻璃上复制光栅金镀膜	50 W/cm^2	"	"
不锈钢的瓦光栅上, 铝镀膜	1000 W/cm^2	60 MW/cm^2 在20~30ns	600°C
不锈钢的瓦光栅上, 金镀膜	1200 W/cm^2	70 MW/cm^2	1000°C

染料激光器光栅



对 2400 线/毫米 闪烁角为 20° 的光栅用电子显微镜
拍照片和能级图。

分子激光器光栅



CO₂ 激光器能级图

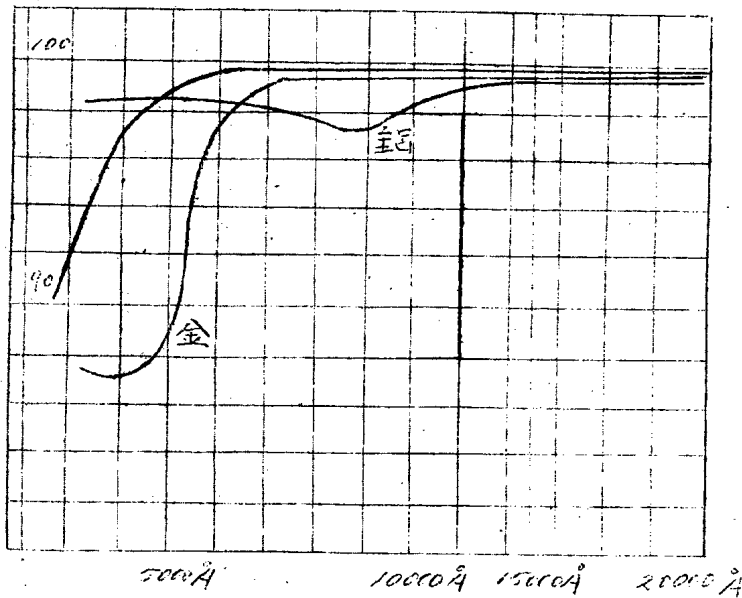
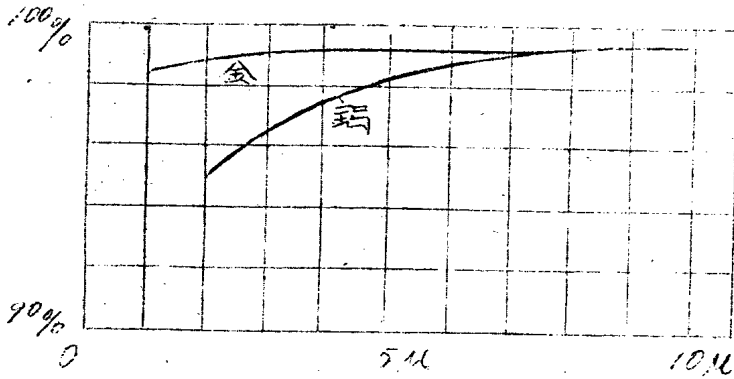
光栅在 10.6 μ 波长闪烁时的电子显微镜照片。

反射层

如图曲线所示，标准镀铝膜的光栅在全光谱区具有 90%
以上的反射率，金镀膜的工作大约在 7000 $\text{\AA}$ 以上，反射率即

能超过 95%，波长能到 $4500 \text{ \AA}$ 。

金和铝的反射率，铝在波长 2.4μ 时开始反射，金则在波长大于 1.4μ 时，效率较高，但波长大于 2.4μ 时，铝反射能赶上它的效率。

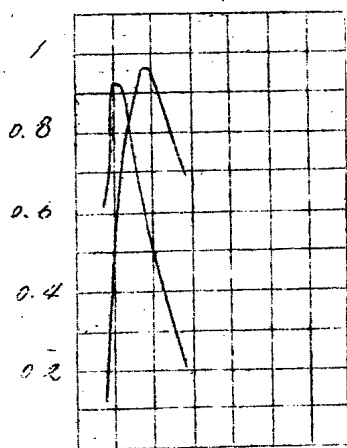


光栅的特性

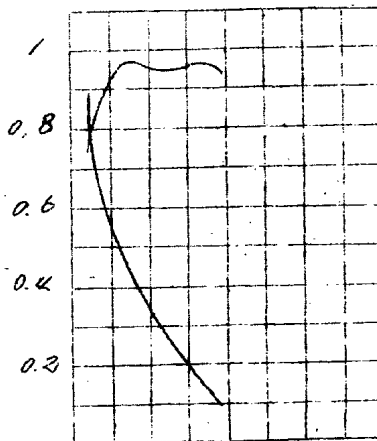
光栅的标准复制方法,是在派力克斯玻璃上用铝镀膜。这种光栅能用于 100°C 以下的温度,对连续激光的功率密度 50 W/cm^2 , 对 $20\sim 30\text{ ns}$ 脉冲中的激光功率密度到 2 MW/cm^2 。对用于更高的功率密度的光栅,应该在不锈钢等材料上刻划才行。历来,分子激光器用的光栅的刻划是采用复制光栅或是光栅就在金属上或不锈钢的铝层上刻划。也能用其它衬底的光栅,例如: Kanigen 板,铜,硅,水冷衬

分子激光器光栅的效率曲线

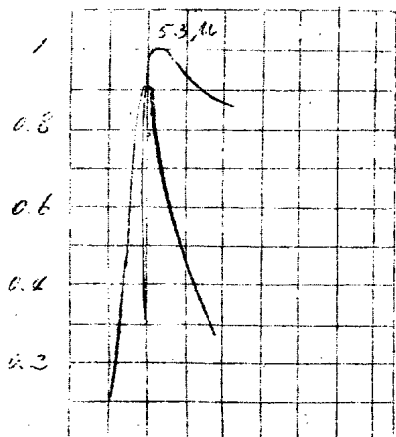
这些效率曲线与刻划的断面有关,下面给出了四种光栅的例子,断面 a, b, c, d。



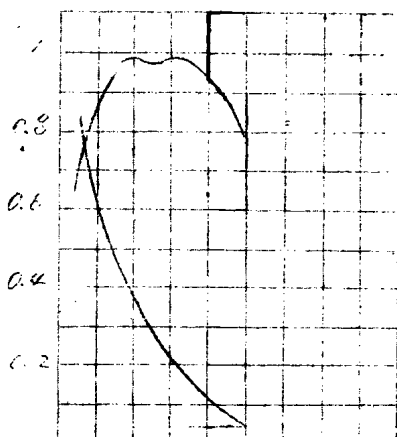
30° 40° 50° 60° 70° α
4.1 5.3 6.5 7.1 λ in μ
(122.1/mm)



30° 40° 50° 60° 70° α
3.3 4.2 5.5 7.1 λ in μ (200.3/mm)

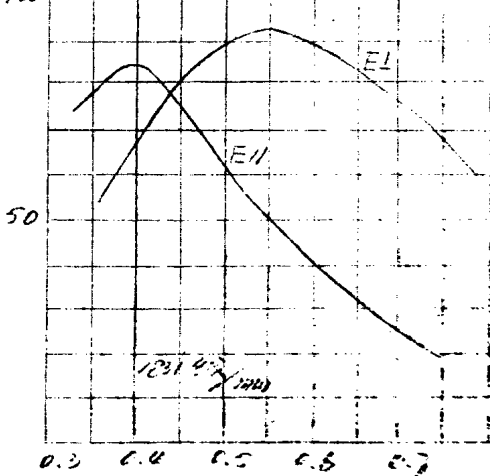
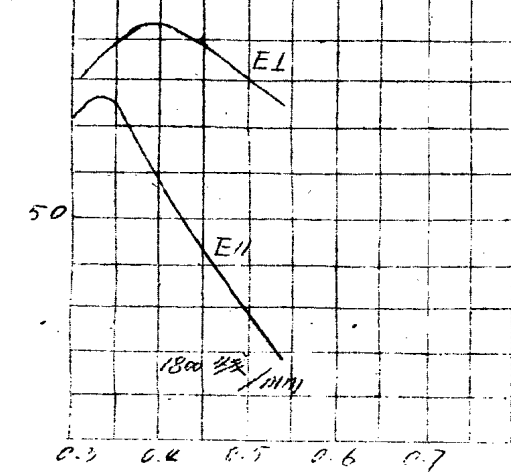
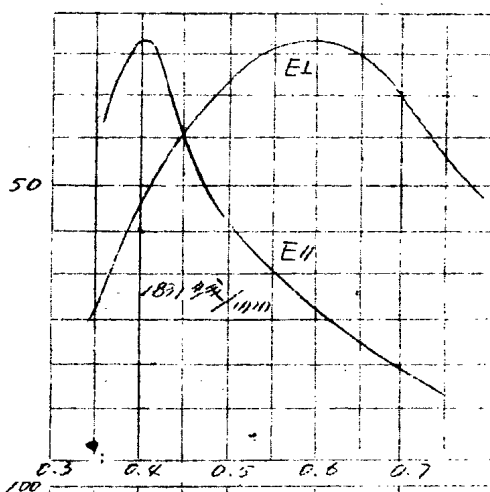
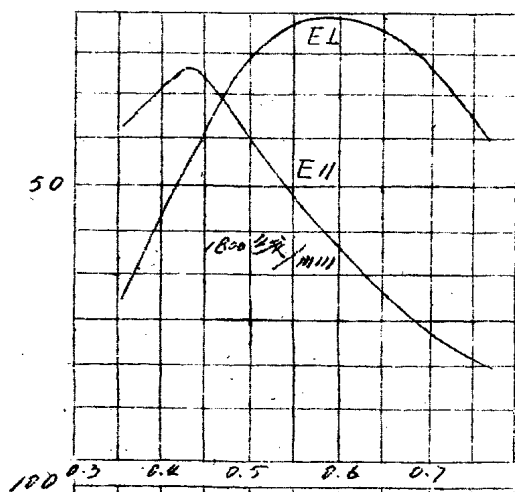


30° 40° 50° θ
 4.5 6 8.4 λ μ m (152.6 /mm)

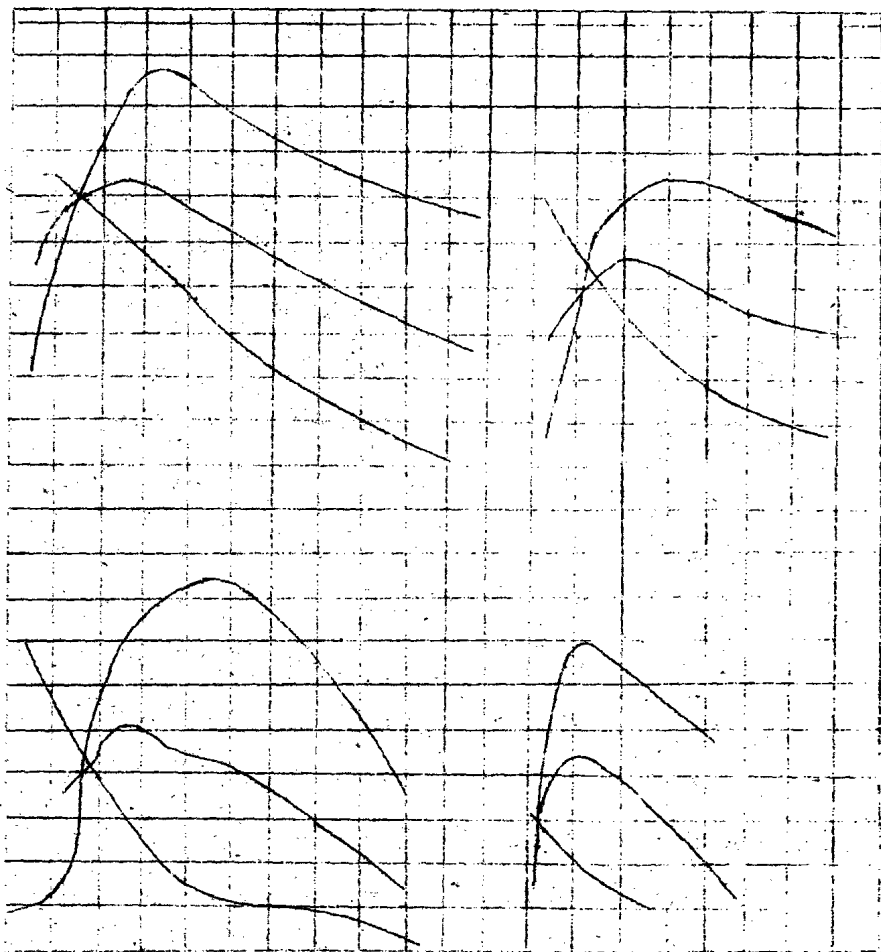


30° 40° 50° θ
 8.2 10.5 12.5 14.2 λ μ m (122.1 /mm)
 1.6 8.4 10.4 λ μ m (152.6 /mm)
 2.2 2.8 3.3 3.8 λ μ m (1450.8 /mm)

染料激光刻划光栅的效率曲线



染料激光全息光栅的效率曲线



这些效率曲线是在瓦光栅上测量后绘制的，由于复制可能
有10%的误差。

译自 *Laser grating Handbook*, Tobin

Yvon Division Instrument S.S.A.

应用法布里-珀罗分光计测量比线宽更小的

谱线位移

试验性能

使用法布里-珀罗谱线比较仪测量等离子体喷流速度，试验装置见图4。从一个小喷气件和发出的光用两个透镜聚集在同一光轴上，这个光轴与流动方向成 45° 角。光通道1和2分别地接受兰色的或红色的漂移辐射。因此，重要的是保证这两个通道精确地收集从同一等离子体的光。由于等离子体具有光学厚度，这将会引起记录任一附加的斯塔克位移。纤维束连接切光盘周期地（频率667 Hz）向两个通道之间的FPS开关供光。标准具的数据是：板间距为 $20\text{ }\mu\text{m}$ ；板平直度为 $\lambda/100$ ，反射率87%；直径 50 mm 。干涉滤光片（半宽度 $=15\text{ }\text{\AA}$ ）峰值传输在 $4158\text{ }\text{\AA}$ 被用作为一台予单色仪。用RCA 4459 型号的光电倍增管测量辐射量。用一个与切波器同步的PAR 122 型号锁定放大器检测交流信号。为了使两个通道里的光量相等在一个通道里使用一台衰减器。因为喷流的横向位移很小时测量期间内强度不能平衡。因此自动平衡调整的应用是通过将予光电倍增管、锁定放大器、积分器和带屏蔽固定指针动圈式电流计。这种屏蔽衰减辐射量在一个通道里根据电压使用电流计。这个电压校准用下面方法：分束器容许一部分光透射干涉滤光片到这个光电倍增管。任一平衡误差是用锁定放大器输出电流到积分器检测，从而变化屏蔽的位置直到平衡为止。

必须单独调整如物体是确实稳定这种自动调整就不必要了。

另一种方法消除平衡作用误差必须是装置类似如Babcock所