

全息位相光栅在使用探测器列阵的 激光外差探测系统中的应用

南京达 王晓鸥 于海鹏 焦 杰
(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150006)

提 要

本文给出了探测器列阵和全息位相光栅在 CO₂ 激光外差探测系统中应用的可行性实验研究结果和分析, 为实现实用化提供了重要的依据。

关键词: 激光外差探测, 探测器列阵, 全息位相光栅。

一、引 言

目前, 国内、外激光外差探测系统中较普遍使用单元探测器, 在其上实现信号光和本振光的混频。但是, 对于远距离目标的高速成像探测、识别和跟踪; 对于运动目标的横向速度的激光外差探测等技术领域中, 使用单元探测器就远远满足不了要求。因此, 必需采用探测器列阵。

在使用探测器列阵时, 要求在每个探测器上本振光和信号光的良好匹配, 以提高每个单元探测器以及探测器列阵整体的混频效率, 这样不仅使探测系统的信噪比和图象分辨率等得到提高, 而且可以防止由于匹配不良在探测器上产生过多的热量。然而, 较好的匹配目前往往通过全息位相光栅来实现^[1]。

上述解决本振、信号光良好匹配的方法虽然目前在国外普遍使用, 但是, 某些技术还有待于完善。在我国, 关于这方面的研究还未见报道。本文就全息位相光栅在使用探测器列阵的 CO₂ 激光外差探测系统中应用的可行性进行了初步的研究, 取得了好的效果。

二、简单分析

在激光外差探测过程中, 为了实现扫描器的低速率扫描情况下的高速探测, 往往采用探测器列阵。扫描器的扫描速率 v 和探测器列阵的单元探测器数目 N 之间有如下关系^[2]

$$v = k/N, \quad (1)$$

式中 k 为与扫描视场、目标距地面的高度和扫描器对于目标的仰角等有关的比例系数。然而, 只将单元探测器换成探测器列阵, 本振光和信号光的混频仍如同使用单元探测器时那样, 就不能保证探测器列阵中每个单元探测器上具有很高的混频效率, 进而影响列阵整体上的混频效率。混频效率可表示为

$$\eta_{混} = \frac{\left| \int \eta \mathbf{E}_L \mathbf{E}_s^* dA \right|^2}{\int \eta \mathbf{E}_L \eta \mathbf{E}_L^* dA \int \mathbf{E}_s \mathbf{E}_s^* dA} \tag{2}$$

式中 η 为探测器的量子效率, \mathbf{E}_L 和 \mathbf{E}_s 分别表示本振光和信号光场矢量, \mathbf{E}_L^* 和 \mathbf{E}_s^* 则分别表示 \mathbf{E}_L 和 \mathbf{E}_s 的共轭复数, A 为探测器光敏面面积。

由(2)式很清楚地看到本振光和信号光匹配情况对混频效率的影响。众所周知, \mathbf{E}_L 和 \mathbf{E}_s 是光场振幅矢量和位相的余弦的函数(也可以表示为指数形式)。因此, 本振和信号光场之间的振幅和位相的良好匹配就成为提高混频效率的关键问题。若设物波 $O(x, y)$, 平面参考波 $R(x, y)$ 分别为

$$O(x, y) = O_0 \exp[i\varphi_0(x, y)], \quad R(x, y) = R_0 \exp[i\varphi_R(x, y)], \tag{3}$$

根据全息光栅的有关理论, 再现光波中 +1 级原始物波为

$$O_1(x, y) = T_0 \exp\left[i\xi\left(O_0^2 + R_0^2 + \frac{\pi}{2}\right)\xi R_0^2 O_0 \exp[i\varphi_0(x, y)]\right], \tag{4}$$

式中 T_0 为全息图复透射函数的振幅, ξ 为系数。如(4)式所表明的 +1 级再现波正是本研究中通过全息光栅所要得到的衍射波。

在本实验研究中, 通过图 1 所示的装置光路图记录全息光栅。在记录全息位相光栅时, 用三孔掩膜发出的光作物光, 通过空间滤波器的光为参考光。当用一束均匀的本振光照射记录得到的全息位相光栅时(见图 2), 产生一系列衍射本振光波*, 其中 +1 级衍射本振光波, 经过分束器时和信号光波相遇。此后, 光波经过探测器的聚焦透镜形成 N 束(本实验研究中 $N=3$) 平面波, 这些光波在各自相对应的探测器上以与信号光波相同的位相进行混频, 实现了位相匹配。

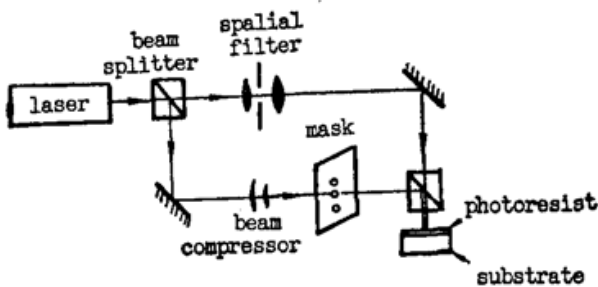


Fig. 1 Recording configuration of holographic beam shaping device

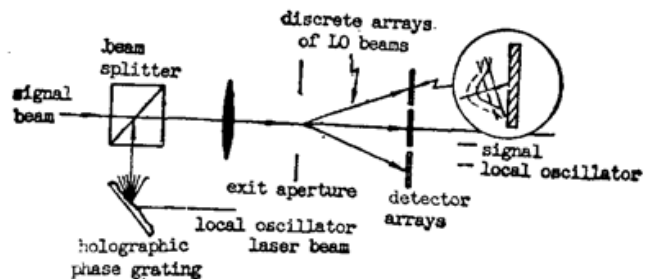


Fig. 2 Combination of return signal beam from target and local oscillator beam showing production of discrete array of LO beams using holographic device

另外, 图 2 中的光束出口孔径等于全息图大小时, 被限制的衍射的本振光波振幅分布与信号光波振幅分布匹配。因此, 通过出口孔径(其作用相当于低通滤波器)限制了空间频带宽度, 致使本振光(被限制的)波与信号光波实现了振幅匹配。

三、实验结果及讨论

按图 3 所示的实验装置, 将全息位相光栅应用到激光外差探测系统中, 根据第二部分说

* 本文研制和使用的是反射式全息位相光栅。

明的那样,本振光和信号光以良好的振幅和位相匹配,在探测器列阵中的每个单元探测器表面上进行混频。图4是获得的频谱照片。

实验时,为了消除探测器列阵中各个单元探测器之间本身性能的不一致性对探测结果的影响,突出说明使用全息位相光栅后,在每个单元探测器上信号、本振光波的匹配情况,用一个单元探测器进行一维移动,在相当于每个单元探测器的位置上各接收一次混频后的输出电信号。由于本研究中使用了三孔掩膜,相当于使用了三元探测器列阵,所以共接收三次。观察接收到的信号频谱并拍摄出图4所示的(a)(b)和(c)三张照片。照片中,中间高值谱线是零频谱线,两侧较低峰值的是正、负差频谱线。从三张照片中均可看到,不仅正、负差频频率几乎分别相等,且谱线峰值也很接近,只是各次接收时的噪声信号不尽相同。如果不用全息位相光栅,直接用一束均匀的本振光束,则不可能(或难于)在每个单元探测器上得到振幅和位相的良好匹配。

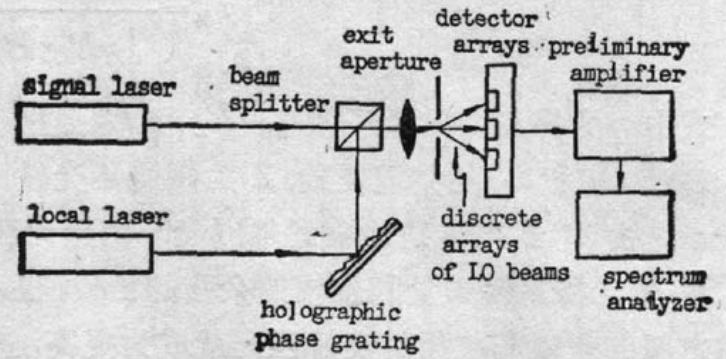


Fig. 3 Experimental system of laser heterodyne detection

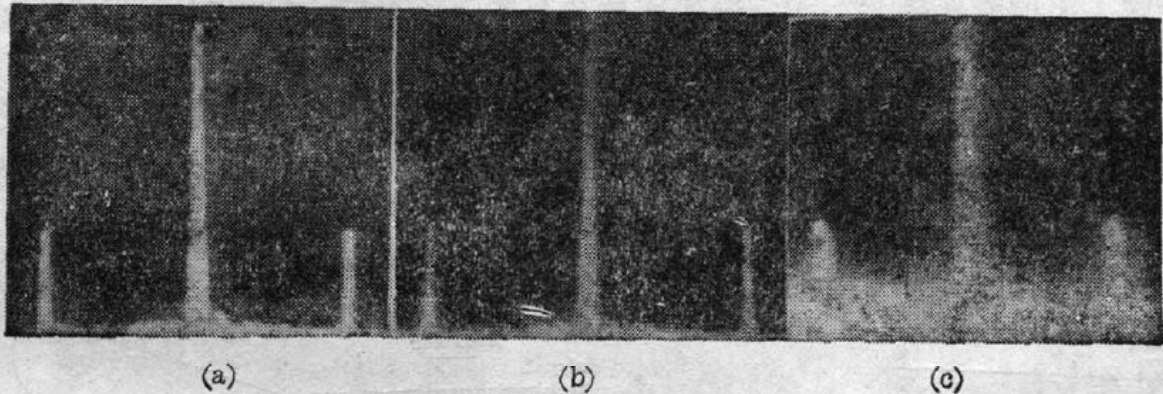


Fig. 4 Photographs of frequency spectrum

四、结 论

- (1) 激光外差探测系统中使用探测器列阵,可以实现低速扫描高速探测。
- (2) 全息位相光栅可使一束均匀本振光进行衍射,获得所需要的 +1 级衍射光束,并以良好的振幅、位相匹配与信号光混频。
- (3) 使用全息位相光栅能保证本振和信号光的良好匹配,减少了探测器上产生的不良匹配所产生的热量,它不仅减小了探测器的热噪声,而且也防止了探测器的高热损坏。

参 考 文 献

- [1] W. B. Veldkamp; *Proc. SPIE*, 1980, Vol. 225, 136.
- [2] R. J. Becherer, W. B. Veldkamp; *Proc. SPIE*, 1981, Vol. 300, 186.
- [3] W. B. Veldkamp, E. J. Van Allen; *Appl. Opt.*, 1983, 22, No. 10 (Oct), 1497.

Application of holographic phase grating in the laser heterodyne detection system of detector array

NAN JINGDA, WANG XIAOOU, YU HAIPENG AND JIAO JIE

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006)

(Received 24 October 1990; revised 26 February 1991)

Abstract

This paper presents detector array and holographic phase grating experimental results and analyses for feasible application in CO₂ laser heterodyne detection systems. It provides an important basis for their practicability.

Key words: laser heterodyne detection, detector array, holographic phase grating.

宽频带倍频激光装置通过院级科技成果鉴定

由中国科学院委托中国科学院上海分院主持的“宽频带倍频激光装置”科技成果鉴定会于1991年6月10日在上海嘉定举行。鉴定委员会由国家自然科学基金会、复旦大学、浙江大学、中国科大、上海科大、南京航空学院、中国工程物理研究院、上海激光所、上海测试技术研究所的12位专家组成，中国科学院技术学部主任、学部委员王大珩教授任鉴定委员会主任委员。鉴定委员会认为：中国科学院上海光学精密机械研究所在国际上最早提出开展大型宽频带倍频玻璃激光装置的研制课题，经过近十年的艰辛研究，解决了有关宽频带倍频玻璃激光装置中一系列理论上和技术上的关键问题，采取了一些独创的技术措施，其中主要方面有：

(1) 从理论上提出适用于调Q激光器的宽频带三波非线性耦合方程，从而在实验上采用抑制非线性效应措施，获得倍频激光方向性(0.16 m rad)；

(2) 采用高增益、高能密度和Q开关的选频作用，获得具有低相干性、中心波长稳定的宽频带的激光光源；

(3) 利用空间滤波器的像传递等多项技术，获得均匀的激光场分布，在 $\phi 45$ 高功率激光装置上获得基频激光束的填充因子为0.8，倍频激光束的填充因子为0.7；

(4) 采用光路防震技术，防爆裂灯座冷却净化新方法等措施，实现振荡输出能量起伏2.5%，光束指向稳定性为20" 获得总长40 m的激光系统光路长期稳定性，免除经常性的全光路调整工作，做到只要开充电机即可出激光的状态，成功地消除氙灯自闪现象，大幅度降低氙灯爆灯率，长期保持冷却循环水的品质，经科技成果检索表明，该装置的主要技术指标，达到国际上同类装置的先进水平。

鉴定委员会认为：宽频带倍频激光装置的研制成功，为今后开展宽频带激光和宽频带倍频激光的强光传输特性研究，宽频带短波长激光与材料相互作用的研究，以及进一步发展宽频带高次倍频的研究创造了条件，为建造更大规模的激光核聚变装置做了一项有意义的前期研究工作。同时强调非该成果中所涉及到的激光技术内容，对提高固体激光器的性能具有普遍意义，值得予以推广应用。

(茅建华供稿)