

文章编号: 0529-6579 (1999) 02-0042-04

光束的非交迭效应对极化干涉仪的影响^{*}

罗锡璋, 丘茹曼, 郑兴世

(中山大学无线电电子学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 从高斯光束基本理论出发, 分析了双光束的非交迭效应对 Mach-Zehnder 极化干涉仪性能的影响, 提出了改善极化干涉仪性能的途径, 并在实验中得到了验证. 用自制的有衬底的线栅极化器组装成的 Mach-Zehnder 极化干涉仪, 在波长为 $337\ \mu\text{m}$ ($890\ \text{GHz}$) 的条件下, 测得调制比优于 19 dB, 插入损耗小于 1 dB.

关键词: Mach-Zehnder 极化干涉仪; 非交迭效应

中图分类号: O 433.54 **文献标识码:** A

Mach-Zehnder 极化干涉仪是毫米波、亚毫米波波段内的一个多功能准光系统, 在外差接收中, 可用作双工器, 也可单独使用, 用于测量毫米波、亚毫米波波长、相移、及极化特性, 也可用于测量低耗材料的介质特性. 由于它的用途较广, 因而一直受到人们的重视. 1983 年, Simonis 等^[1]用金属线绕栅组成的极化干涉仪, 在 245 GHz 的频率下, 获得调制比为 20 dB 的性能指标. 我们用自己制作的有衬底的线栅极化器, 组装了 Mach-Zehnder 极化干涉仪, 在波长为 $337\ \mu\text{m}$ ($890\ \text{GHz}$) 的条件下, 获得了调制比优于 19 dB, 插入损耗小于 1 dB 的性能指标. 在极化干涉仪的调试过程中发现, 除了 Lambert 等^[2]曾提及的极化干涉仪角反射器不严格为直角, 倾斜效应, 横向截舍 (lateral shear), 旋转截舍 (rotary shear), 两光束光强不相等及有限大小接收面积等因素对干涉仪的性能有影响外, 还发现当测试的激光束发散角较大时, 光束的非交迭效应对极化干涉仪的性能有较大的影响, 本文从高斯光束的基本理论出发, 引入部分耦合概念, 分析非交迭效应带来的影响, 并提出改善性能的途径, 我们的结果得到了实验的验证.

1 理论分析

一束沿 Z 方向传输的基模高斯光束, 其解析表达式为^[3]

$$io \quad \Psi = \frac{C}{W(z)} \exp\left[\frac{-r^2}{W^2(z)}\right] \exp\left\{-i\left[k\left(z + \frac{r^2}{2R}\right) - \tan^{-1} \frac{z}{f}\right]\right\} \quad sp \quad (1)$$

式中, C 为归一化常数, $f = \frac{\pi W_0^2}{\lambda}$ 为共焦参数, $R(z)$ 为等相位面的曲率半径, $W(z)$ 为光斑半

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (69771028)

收稿日期: 1998-05-26 作者简介: 罗锡璋, 男, 1945 年生, 教授.

径, $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$.

一个准光系统实现其光学特性的本质在于分束后, 经过波束之间的位移路程差来产生光程差和相移. 当各波束重新合成后共轴传输时, 高斯光束的发散性将不可避免地导致非交迭损耗(见图 1).

令 Ψ_0 表示光腰半径为 W_0 而未经延迟的光束 A, Ψ_Δ 表示延迟距离为 Δ 的另一光束 B. 在无限大的接收面积上, 它们的振幅耦合系数 $C_{AB}(\infty)$ 为

$$C_{AB}(\infty) = \langle \Psi_0 | \Psi_\Delta \rangle = \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \Psi_0 \Psi_\Delta^* r dr d\varphi = \frac{1}{1 + i \lambda \Delta / 2\pi W_0^2} \tag{2}$$

对 Mach-Zehnder 极化干涉仪来说, 除了需要考虑上述非交迭耦合外, 还应考虑输入电场和输出合成电场的正交耦合, 即 E_{in} 和 E_{out} 2 个电场之间的耦合.

令归一化电场

$$\vec{E}_{in} = \frac{1}{\sqrt{2}}(E_H + E_V) \Psi_0, \quad \vec{E}_{out} = \frac{1}{\sqrt{2}}[E_H \Psi_0 + E_V \exp(2\pi i \Delta / \lambda) \Psi_\Delta] \tag{3}$$

正交耦合系数为

$$K = |\langle \vec{E}_{in} | \vec{E}_{out} \rangle| = \frac{1}{4} |1 + \exp(2\pi i \Delta / \lambda) \langle \Psi_0 | \Psi_\Delta \rangle|^2 = \frac{1}{4} \left| 1 + \exp(2\pi i \Delta / \lambda) \frac{1}{1 + i \lambda \Delta / 2\pi W_0^2} \right|^2 = \frac{(1 + \cos \beta)^2 + (\alpha + \sin \beta)^2}{4(1 + \alpha^2)} \tag{4}$$

式中, $\alpha = \lambda \Delta / 2\pi W_0^2$, $\beta = 2\pi \Delta / \lambda$. α 反映非交迭耦合带来的耗损, 称非交迭耦合系数. β 反映随 Δ 变化而引起的合成光束的调制.

在 α 变化不大($\Delta \ll 1$), 改变 β , 可求得 K 的极值

$$K_{\max/\min} = \frac{1}{4} \left[1 \pm \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha^2}} \right] \tag{5}$$

授.

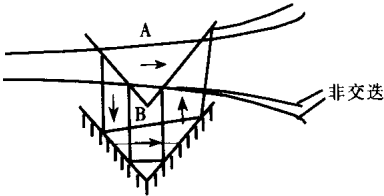


图 1 非交迭损耗示意图
Fig 1 The loss of the non-coincident coupling of laser beams

2 实验装置和测试结果

测量 Mach-Zehnder 极化干涉仪性能的装置见图 3. 测试光源是 HCN 激光器的 $337\ \mu\text{m}$ 辐射, 其输出为基模, 频率稳定度优于 2×10^{-7} , $W_0=1.8\ \text{mm}$, 光束发散角 $\theta=3.4^\circ$. Mach-Zehnder 极化干涉仪的线栅极化器是自己制作的, 用 $12.5\ \mu\text{m}$ 厚的 Mylar 薄膜作衬底, 由真空镀铝光刻工艺制作, 光栅常数 $g=20.4\ \mu\text{m}$, 线宽 $a=10.2\ \mu\text{m}$, 对 $337\ \mu\text{m}$ 辐射, 线栅极化器的极化率 $\rho=0.996$, 透射率为数 91.3% , 损耗约 $0.3\ \text{dB}$.

在不引入介质透镜的情况下, 实验测得极化干涉仪的调制比 $I=14.7\ \text{dB}$; 经测量干涉仪的光程差 $\Delta\approx 100\ \text{mm}$, 理论上, 由(6)式可算得 $I=15.0\ \text{dB}$, 理论与实验结果相符. 然而性能指标并不十分理想.

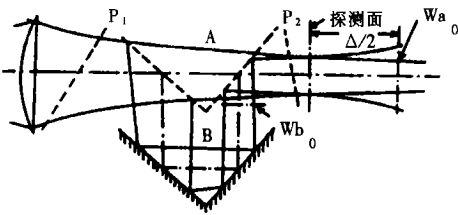


图 2 介质透镜改善非交迭耦合示意图

Fig. 2 The improvement of non-coincident coupling by dielectric lens

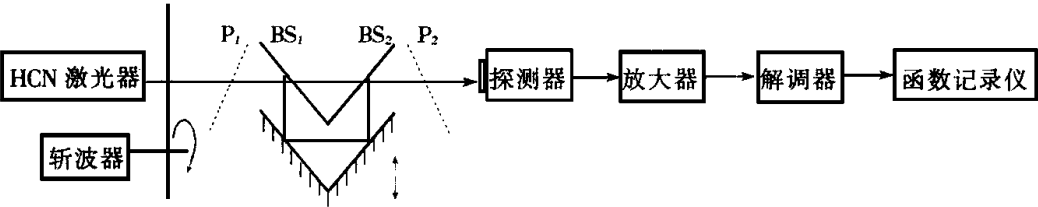


图 3 测量 Mach-Zehnder 极化干涉仪性能的装置

Fig. 3 The experiment setup for assessing the performance of Mach-Zehnder polarizing interferometer

为了改善非交迭效应的不良影响, 设计了焦距 $f=400\ \text{mm}$ 的聚四氟乙烯透镜, 放置在 HCN 激光器与极化干涉仪之间的适当位置上. 实验结果表明, 聚四氟乙烯透镜的引入, 检测到的信号强度增强了 3 倍, 极化干涉仪的性能得到较大的改善, 调制比达到 $19.4\ \text{dB}$, 达到了预期的效果.

本 Mach-Zehnder 极化干涉仪已实际用于测量熔融石英、TPX 塑料、聚脂薄膜、聚四氟乙烯等低耗材料在亚毫米波段的折射率和损耗, 达到了较好的效果.

参考文献:

[1] SIMONIS G J, FELOCK D K. Near-millimeter wave polarizing duplexer/ isolator [J]. Int J IR &MMW, 1983, 4 (2): 157~162.

[2] LAMBERT D K, RICHARDS P L. Martin-puplett interferometer: an analysis [J]. Appl Opt, 1978, 17 (10): 1595~1602.

[3] 周炳琨, 高以智, 陈家骅, 等. 激光原理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1980. 348~352.

[4] QIU B S, QIU R M. Automatic measurement for dielectric properties of solid materials at 890 GHz [J]. Int J IR & MMW, 1992, 13 (6): 923~931.

The Effect of Non-Coincided Coupling of Laser Beams on the Performance of Polarizing Interferometer

LUO Xi-zhang^{}, QIU Ru-man, ZHENG Xing-shi*

Abstract: Based on the propagation theory of Gaussian beam, the effect of non-coincided coupling of laser beams on the performance of Mach-Zehnder polarizing interferometer was analysed. Some ways for improving the performance of the interferometer were suggested, and were verified by our experiment. For the self-made Mach-Zehnder polarizing interferometer assembled with silicon wafered aluminium grids, the measured modulation index was higher than 19 dB, and the insertion loss was less than 1 dB.

Keywords: Mach-Zehnder polarizing interferometer; non-coincided coupling

^{*} Department of Radio and Electronics, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China