

·研究简报·

亚毫米波线栅极化器*

陈丹立 丘秉生 罗锡璋

(无线电电子学系)

摘 要

从实验上研究了有介质衬底的线栅极化器,测量了线栅几何参数不同及介质衬底厚度不同的极化率和损耗,表明有衬底的线栅极化器可应用在 $\lambda \geq 50\mu\text{m}$ 很宽的波段范围内。

关键词 线栅极化器, Mach-Zehnder干涉仪

线栅极化器是组成准光部件及测试系统的关键元件,可用作起偏器及检偏器,组合成极化干涉仪,双工器、带通滤波器及可变衰减器等。线栅极化器的制作,过去多采用钨丝或铝丝在金属框架上绕制而成^[1]。这种极化器虽有损耗低的优点,但因受钨丝直径及绕制工艺的限制,工作于短波长时存在一定困难。本文采用聚脂薄膜作基片,用真空镀铝及光刻工艺制作了一批具有不同结构参数的线栅极化器,其中最小的金属线宽 $4\mu\text{m}$ 。这些线栅极化器可应用于波长 $50-1000\mu\text{m}$ 范围内。此外,为了验证其实用性,我们组装成Mach-Zehnder干涉仪,在 890GHz 进行了性能测试,其结果和1983年Simonis等人^[2]用钨丝制作的同样系统在 245GHz 的测试结果性能接近。实验表明,介质衬底的线栅极化器具有实用价值,可用它组装各种准光部件及准光测试系统。

1 线栅极化器的设计依据

线栅极化器由一组平行金属线栅构成,金属带宽为 2δ ,周期为 a ,金属层厚度为 t 。当入射电磁波的电场方向平行线栅时,电磁波被全反射,当电场方向垂直线栅时,电磁波透过线栅传输,因此称线栅极化器。其特性主要由极化率 P 及损耗 A 确定。极化率 P 定义为

$$P = (T_1 - T_2) / (T_1 + T_2) \quad (1)$$

其中 T_1 和 T_2 分别表示电场方向垂直和平行线栅时的透射率。极化器的损耗是金属带的欧姆损耗及介质损耗之和,一般由实验测定。

无衬底的扁平线栅的反射及透射特性,本文采用Lee^[3]的近似公式进行计算:

$$T_1 = [1 / (1 + Y_c)]^2 \quad R_1 \approx 1 - T_1 \quad (2)$$

$$T_2 = [1 / (1 + Y_i)]^2 \quad R_2 \approx 1 - T_2 \quad (3)$$

其中 R_1 及 R_2 为相应的功率反射系数, Y_i 及 Y_c 是线栅参数及工作波长 λ 的函数,当金属层

本文1988年6月6日收到

* 国家自然科学基金资助项目

厚度 $t \rightarrow 0$ 时,可近似表示为

$$Y_i = Y_c^{-1} \simeq (-j)(\beta - \beta^{-1}) \left[\frac{a}{c} + \frac{1}{2} \left(\frac{a}{\lambda} \right)^2 \right] \sqrt{\ln \left[\operatorname{csc} \left(\frac{\pi}{2} \frac{\delta}{a} \right) \right]} \quad (4)$$

其中 $\beta = (1 - 0.41\delta/a)(\lambda/a)$ (5)

$c = a - 2\delta$, 是金属线条间空隙宽度。

对于有介质衬底(折射率为 n)的线栅,其透射率 T' 与无衬底的透射率 T 的关系可表示为

$$T' = nT / [R + \frac{1}{4}(n+1)^2 T] \quad (6)$$

根据(1)~(6)式,可求出线栅极化器的特性作为结构参数设计依据,而极化器尺寸的大小,可根据高斯光束的传播规律及光斑半径确定。

2 线栅极化器的制作及性能测试

2.1 线栅极化器的制作

在适用于亚毫米波段的各种低耗介质材料中,聚脂薄膜(Mylar)是一种理想的衬底材料。它表面平滑,具有热缩特性和化学惰性,损耗小又有足够的机械强度;对可见光透明,便于准直安装,商用的聚脂薄膜,最小厚度为 $2.5\mu\text{m}$ 。我们在内径为 $\phi 52\text{mm}$ 的圆环形金属框架上用环氧树脂粘固聚脂薄膜,真空镀铝,镀层厚约 $1\mu\text{m}$,再用光刻腐蚀工艺制成有效面积为 $36 \times 36\text{mm}^2$ 的线栅极化器,并分别在 $2.5\mu\text{m}$ 、 $6.5\mu\text{m}$ 及 $12.5\mu\text{m}$ 厚的衬底上制作了一批结构参数不同的极化器。

2.2 极化率及损耗的测量

我们分别用点频及扫频的方法对线栅极化器的特性进行了测量。点频测量是用HCN激光器作光源,在 $\lambda = 337\mu\text{m}$ 下测量了极化率及损耗,测量的精确度高。扫频测量是用亚毫米波付里叶变换谱仪在波数为 $50\text{--}300\text{cm}^{-1}$ 范围内进行的,测量精度较低,但可确定它的适用波段范围。

点频测量装置如图1所示。

P_1 是起偏器,其极化率优于99%,待测的极化器 P_x 安装在可旋转的光具架上,让激光束垂直通过 P_1 及 P_x ,分别测量线栅平行电场方向时的功率 P_{\parallel} 及垂直电场方向时的功率 P_{\perp} 和移去极化器 P_x 时的功率 P_0 ,便可求出 T_{\parallel} 及 T_{\perp} ,由公式(1)确定极化率。测试用的探测器是热释电探测器,检测的信号经放大后用毫伏表指示,读数正比于探测功率。

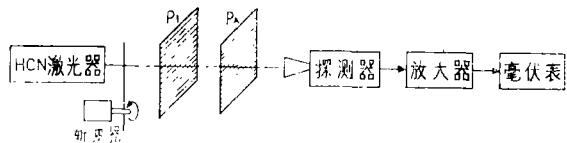


图1 线栅极化器极化特性测量装置

Fig. 1 Block diagram for testing the polarizability of the grid polarizer

极化器损耗 A 的测量,是根据能量守恒定律 $T + R + A = 1$ 进行的,只要精确测定透射率 T 及反射率 R ,便可求出损耗 A 。测试结果列于表1,为便于比较,表中还列出理论计算结果。

极化器损耗 A 的测量,是根据能量守恒定律 $T + R + A = 1$ 进行的,只要精确测定透射率 T 及反射率 R ,便可求出损耗 A 。测试结果列于表1,为便于比较,表中还列出理论计算结果。

我们还用亚毫米波付里叶变换谱仪(FTS-01)对线栅极化器进行扫频测量,方法同前。该仪器的分辨率优于 1cm^{-1} ,测量误差为5%。对同一样品的透射干涉图,经多次测量后取平均,再进行付里叶变换获得谱图(这些操作均由谱仪自动完成)。图2是

表1 不同几何参数极化器特性的测试结果

Tab.1 The experimental and theoretical results for the polarizabilities and the loss of the grid polarizers

编号	介质厚度 (μm)	金属带宽 $2\delta(\mu\text{m})$	线栅周期 $a(\mu\text{m})$	极化率 P		损耗 A
				测量值	计算值	
1	12.5	10.2	20.4	0.998	0.996	0.013
2	12.5	4.0	8.5	0.998	0.999	0.006
3	2.5	10.2	30.9	0.946	0.976	0.036
4	6.5	10.2	30.9	0.959	0.976	0.030
5	12.5	10.2	30.9	0.949	0.976	0.024

波数为 $50\sim 300\text{cm}^{-1}$ 范围内的测量结果。图示曲线表明,在很宽的波长范围($\lambda\geq 50\mu\text{m}$)内线栅极化器均能保持良好的极化特性。

2.3 Mach-Zehnder 极化干涉仪性能测试

为了检验线栅极化器的实用性,我们用多片相同的极化器(线栅参数为 $a=20.4\mu\text{m}$, $2\delta=10.2\mu\text{m}$, 介质膜厚 $12.5\mu\text{m}$)组装成 Mach-Zehnder 极化干涉仪^[4],并用 HCN 激光器($f_0=890\text{GHz}$)作光源进行测试,测试时在光源与干涉仪之间加一焦距为 200mm 的介质透镜,以改善光束的光腰半径,测得极化干涉仪的调制比为 19.4dB ,插入衰减少于 1dB 。和1983年 Simonis 等人用钨丝绕制的有效面积为 $70\times 70\text{mm}^2$ 极化器组装的同样干涉仪,在 245GHz 下测得的结果(调制比为 20dB 、插入损耗 0.5dB)相比^[2],性能差别甚微。

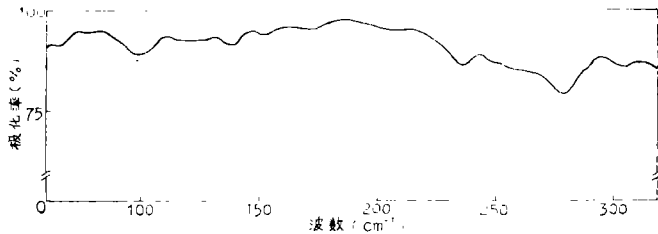


图2 用FTS-01型谱仪测量的极化特性

Fig.2 The polarizability of a grid polarizer in SMMW region obtained by Fourier transform spectrometer^r

3 结果讨论

(1) 用点频及扫频方法的测试结果表明,用介质衬底的线栅极化器,可应用于 $\lambda\geq 50\mu\text{m}$ 很宽的波段范围。可用于准光部件及测试系统。

(2) 对不同结构参数的极化器性能的测量,实验值和理论计算值比较,误差在 1% 以内,表明本文引用的公式可作为设计依据。

(3) 从线栅极化器损耗的测量结果,可看出结构参数相同、介质厚度不同时的损耗(样品编号为#3、#4及#5)基本相同,这说明介质损耗和金属的欧姆损耗相比,欧姆损耗是主要的。欧姆损耗和金属镀层厚度有关,因此适当增加镀层厚度,有可能进一步减少极化器的损耗。

参 考 文 献

- [1] Mok C L et al., *Infrared Phys.*, 19(1979), 437
[2] Simonis G J et al., *Int.J.Infrared and MM Waves*, 4 (1983), 157
[3] Chen C C, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, MTT-21(1973), 475
[4] 罗锡璋、林貽堃, 军事通讯技术, 1(1984), 1

Grid Polarizers for Submillimeter Waves

Chen Danli* Qiu Bingsheng Luo Xizhang

Abstract

Grid polarizers for submillimeter waves (SMMW) consisting of aluminium lines vacuum deposited on mylar sheet substrates have been developed by photolithography. The polarizabilities and losses of the grid polarizers with different geometrical parameters and different thickness of the mylar substrates have been measured. The experimental results show that this kind of grid polarizers can be well applied to a very wide SMMW region with $\lambda \geq 50\mu\text{m}$.

Keywords grid polarizer, Mach-Zehnder interferometer

* Department of Radio and Electronics