

10.6 μm 收发合置天线的一种光隔离器

孙东松 刘兆岩 南京达 乔立杰 皮名嘉
(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150006)

提 要

本文讨论了光隔离在收发合置相干激光雷达中的作用。分析了波片和内反射方式的 $1/4\lambda$ 位相推迟器的特点, 并研制了用于光隔离的多晶锗 $1/4\lambda$ 菲涅耳菱体。该菱体较好地用于 CO_2 激光外差接收系统中, 其能量转换效率达到93%以上。

关键词: 光隔离, 位相推迟器, 相干激光雷达。

一、引 言

相干红外激光雷达是近二十年兴起的一种高灵敏度激光雷达, 由于它与红外热象仪可共用光学系统、扫描系统, 且兼容性好, 因而受到特别重视。相干激光雷达经常采用收发合置方式^[1], 偏振光隔离器是其重要的单元器件之一。

本文对于光隔离器所采用的 $1/4\lambda$ 波片和菲涅耳菱体的性质, 从理论上进行了分析, 并研制了多晶锗 $1/4\lambda$ 菲涅耳菱体, 并已用于 CO_2 激光外差探测系统中。

二、四分之一波片和菲涅耳菱体

图1是简化的 CO_2 相干激光雷达收发结构, 其中布儒斯特分束片和 $1/4\lambda$ 菲涅耳菱体相位推迟器(波片)即构成偏振光隔离器, 其作用是提高发射光功率, 同时隔离返回光束不回到激光振荡器中。然而, 波片色散问题非常严重, 它只能在确定波长下使用。例如, 通常红外波段采用的CdS单晶 $1/4\lambda$ 波片, 对于 $10.591\mu\text{m}$ 波长, 在实际应用中通常做成 $5/4\lambda$ 波片^[2], 对应厚度为 1.018mm , 根据CdS折射率随波长的变化值^[3], 从理论给出CdS $5/4\lambda$ 波片在 $10.591\mu\text{m}$ 附近的色散分布如图2所示, 可以看到波片的色散严重, 在某些波长处已经使波片从 $1/4\lambda$ 位相推迟变成了 $1/2\lambda$ 的位相推迟。

实现位相推迟的另一种方法是内全反射。光束从光密介质射入光疏介质时, 在入射角大于临界角时不仅发生全反射, 且入射光的二个分量场的位相将发生变化, 根据电磁场理

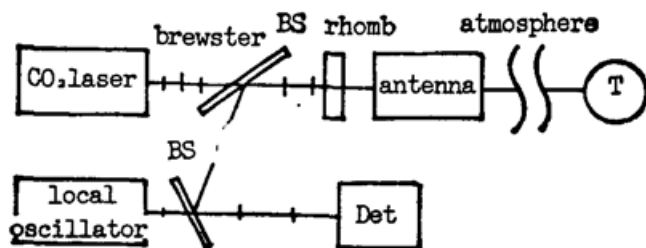


Fig. 1 Basic diagram of CO_2 laser heterodyne receiving

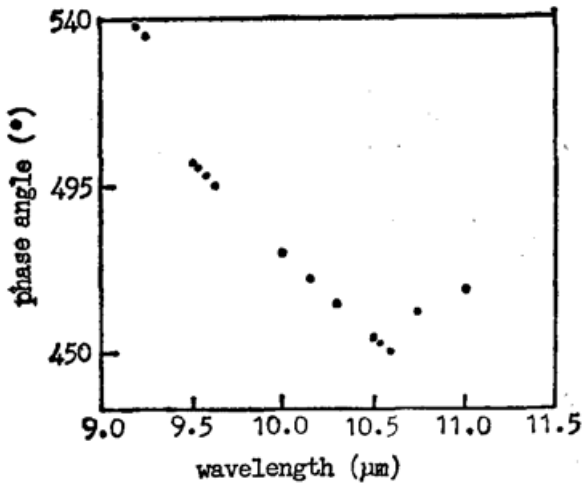


Fig. 2 The distribution of $5/4\lambda$ CdS waveplate near $10.591\mu\text{m}$

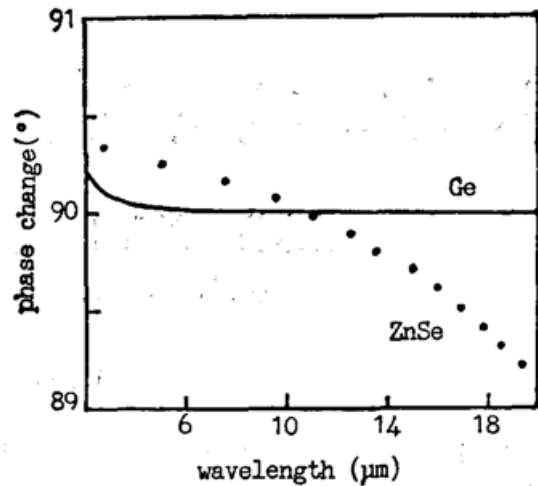


Fig. 3 The chromatic curve of $1/4\lambda$ Fresnel rhomb

论^[4], 其间的位相差为

$$\delta = 2 \tan^{-1} \frac{\cos \theta_i \sqrt{\sin^2 \theta_i - (1/n^2)}}{\sin^2 \theta_i} \tag{1}$$

式中 θ_i 为入射角, n 为介质的折射率。与波片的色散情况不同, 这种推迟器可用于较宽的波长范围。图 3 是根据(1)式和文献[3]所给出的红外材料 Ge 和 ZnSe 的折射率随波长变化理论计算得到称之为菲涅耳菱体的 $1/4\lambda$ 位相推迟器的色散曲线, 其中 Ge 材料位相推迟器在 $2\sim 20\mu\text{m}$ 波长范围内的位相变化仅为 0.25° , 而当波长 $\lambda > 5\mu\text{m}$ 时, 几乎没有变化。所以这种菲涅耳菱体位相推迟器在红外波段具有较好的消色差性质。 CO_2 激光雷达系统中, 采用这种消色差相位推迟器, 可使系统工作在 CO_2 激光器可能出现的所有支线上, 从而减小 CO_2 激光谱线变化对激光雷达系统工作性能的影响。

三、锗四分之一菲涅耳菱体

锗和硒化锌是红外波段经常使用的材料, 图 4 是根据(1)式计算给出的锗和硒化锌一次内全反射产生的位相差变化曲线。为了产生 $\pi/2$ 的位相差, 锗需要一次内全反射, 而硒化锌则需要二次内全反射。从图中可以看出, 对于产生确定的位相差存在两个入射角, 实际中总是选择大入射角, 因为小入射角附近的位相差斜率较大, 对菱体制作和使用要求比较苛刻。对于一次内全反射产生位相差 δ 的菱体内入射角为

$$\theta_i = \sin^{-1} \left(\frac{n^2 + 1 \pm \{(n^2 + 1)^2 - 4n^2 [1 + \tan^2(\delta/2)]\}^{1/2}}{2n [1 + \tan^2(\delta/2)]} \right)^{1/2} \tag{2}$$

于是锗 $1/4\lambda$ 菱体对应的内入射角 $\theta_i = 42.93^\circ$, 硒化锌对应的内入射角 $\theta_i = 65^\circ$ 。一般地, 在制作菱体时选择内入射角接近 45° 为宜, 这时光束在晶体内走过的长度最短, 损耗也最小。故本文选择锗晶体制作了一次内反射产生 $\pi/2$ 位相差的推迟器, 图 5 是它的结构, 正三棱体的两个底角即为内入射角 θ_i , 光束垂直菱体表面入射, 其偏振方位角与内入射面夹角为 45° , 出射光将变成圆偏振光且垂直于出射表面。

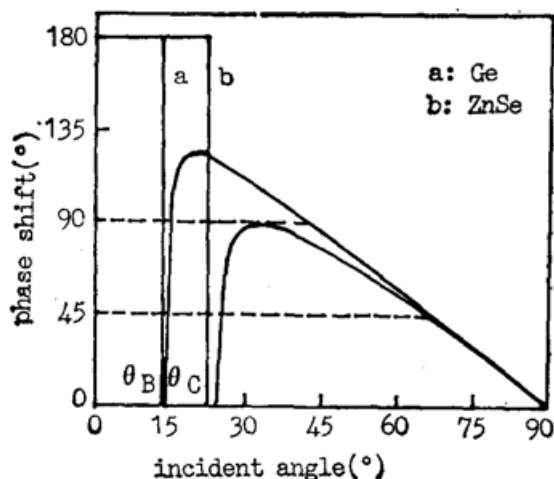


Fig. 4 The phase shift with each internal reflection.

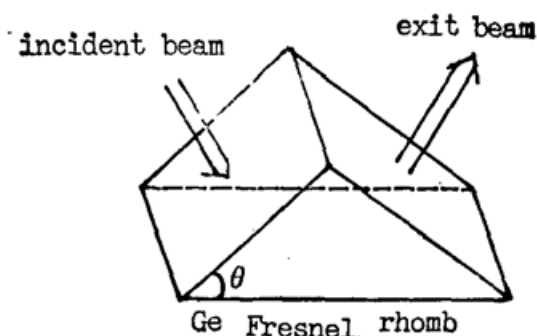


Fig. 5 $1/4\lambda$ Ge Fresnel rhomb

四、实 验

采用多片布儒斯特片检偏方法, 对所研制的锗菱体的偏振性能进行了测量, 结果表明: 当线偏振光入射时, 从出射光的长短轴方向及长短轴光强比值可以确定位相差延迟了 $\pi/2$; 当把二个 $1/4\lambda$ 锗菱体叠放在一起时, 光的偏振方向转过了 90° 。另外, 菱体的入射和出射表面未镀膜时, 能量转换效率仅为 40%, 而在镀增透膜时能量转换率提高到 93% 以上。

实验中还对图 1 系统中采用的光隔离器进行了测量, 其中布儒斯特片采用单锗分束片, 推迟器为镀增透膜锗 $1/4\lambda$ 菱体, 反射目标选择了金反射镜和铝板, 结果表明, 返回光束的偏振方向转过 90° , 而且对两种目标的结果不变; 总的光隔离器的转换效率约为 70%, 与未使用光隔离器的最大转换效率 25% 相比, 有了明显的提高; 隔离器对平行入射面光分量的隔离度达 20 db, 而对垂直分量的隔离取决于所采用的布儒斯特片个数的多少, 片数越多隔离度越大。

结语: 由锗 $1/4\lambda$ 菲涅耳菱体和 Ge 布儒斯特分束片组成的偏振光束隔离器, 已经较好地用于 CO_2 激光外差探测系统。

参 考 文 献

- [1] W. R. M. Pomeroy, J. M. Vaughan *et al.*; *J. Phys. (E)*, *Scient. Instrum.*, 1980, **13**, No. 5 (May), 982.
- [2] 李景镇主编;《光学手册》, (陕西科学技术出版社, 西安, 1986) 1309。
- [3] R. Anderson; *Appl. Opt.*, 1988, **27**, No. 13 (Jul), 2746.
- [4] M. 波思, E. 沃耳夫;《光学原理》, (科学出版社, 北京 1981)。

A type of $10.6\mu\text{m}$ light isolator in common transmitter/ receiver antenna

SUN LONGSONG, LIU ZHAOYAN, NAN JINGDA, QIAO LIJIE AND PI MINGJIA
(*The Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006*)

(Received 4 March 1991; revised 3 June 1991)

Abstract

Light isolators in common transmitter/receiver antenna coherent laser radars is discussed in this paper. The characteristics of quarter waveplate and Fresnel rhomb are analysed, and the quarter retarders of Ge crystal are designed and produced. The rhomb has been used in the CO_2 laser heterodyne detection system, and the transfer efficiency is more than 93%.

Key words: light isolation, coherent laser radar, phase retarder.