

Nomarski 偏振光干涉仪与短脉冲相干光源*

於海武 孟绍贤

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 通过详细计算给出用超短光脉冲作相干光源的偏振光干涉仪中 Wollaston 棱镜的设计参数, 并仔细分析了棱镜在光路中处于不同位置时对干涉仪性能的影响。

关键词 Nomarski 干涉仪, Wollaston 棱镜, 短脉冲光源

1 引言

我们知道, 激光的时间和空间相干性都很好, 但这仅仅是对连续激光和长脉冲激光而言的。比如迈克尔逊干涉仪中常常使用的 He-Ne 光源, 具有很好的相干性, 因此它的两干涉臂就容易调节以满足基本等光程而形成清晰的干涉图。但是在超短脉冲激光出现以后人们已不满足于这种稳态情况下干涉仪的应用, 而希望获得瞬态过程的干涉图, 特别是在激光等离子体研究^[1], 以及生命科学的一些研究中, 为了抓住瞬态现象, 不得不使用超短光脉冲(皮秒以及亚纳秒光脉冲)来“冻结”瞬态过程。对于亚纳秒的光脉冲, 其相干长度 l_c 约为几十微米^[2,3], 若采用迈克尔逊干涉仪, 则等光程性很难调节, 但是根据光的双折射现象研制的偏振光干涉仪能很好地解决这一问题, 典型的有 Nomarski 干涉仪。但是文献中很少给出该干涉仪中 Wollaston 棱镜设计参数及工作参数等, 而这些参数对超短脉冲相干光源有时是重要的。

2 Nomarski 偏振光干涉仪和短脉冲相干光源

Nomarski 偏振光干涉仪由两块完全一样的 Wollaston 棱镜、两块偏振片以及两块同样的透镜组成, 光路排布及分光后的两束光传播情况见图1^[4]。

首先我们可以证明出射光束 E_1F_1 和 E_2F_2 平行于入射光束 AB , 如果各光学元件的排布是完全对称的话, 则 E_1F_1 和 E_2F_2 重合。图 1 是为了说明问题方便而故意将出射光束 E_1F_1 和 E_2F_2 画得分开一些, 根据几何光学原理得知

$$\theta_{13} = \sin^{-1} \left[\frac{n_o}{n_e} \cos \left[\alpha - \sin^{-1} \left[\frac{n_e}{n_o} \cos \left[\alpha + \sin^{-1} \left[\frac{n_o}{n_e} \sin \theta \right] \right] \right] \right] \right] \quad (1)$$

$$\theta_{14} = \sin^{-1} \left[\frac{n_e}{n_o} \cos \left[\alpha - \sin^{-1} \left[\frac{n_o}{n_e} \cos \left[\alpha + \sin^{-1} \left[\frac{n_e}{n_o} \sin \theta \right] \right] \right] \right] \right] \quad (2)$$

式中 n_o , n_e 分别是 o 光和 e 光的折射率, 其余符号含义见图 1。通过数值计算得知, $\theta_{13} = \theta_{14} = \theta$,

* 863高技术基金资助项目。

即出射光束和入射光束是平行的。下面我们分几种情况来计算两束光由于 Wollaston 棱镜的设计参数及放置位置的不同而引入的自身光程差。

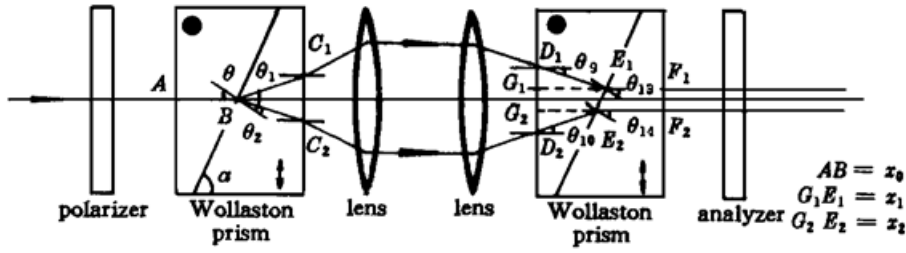


Fig. 1 Nomarski polarized light interferometer

2.1 光路完全对称排布时 Wollaston 棱镜角度 α 和厚度 l 对光程差的影响

设入射光束垂直于第一块 Wollaston 棱镜的表面, 并且从棱镜1的中心处入射, 即 $x_0 = l/2$ 。由图 1 可知, 当光路完全对称排布时, 两出射光束重合, 则 $x_1 = x_2 = x_0$, 棱镜 1 和 2 引起的光程差分别是

$$\delta_1 = (n_o \cdot AB + n_e \cdot BC_1) - (n_e \cdot AB + n_o \cdot BC_2) \tag{3}$$

$$\delta_2 = [n_o \cdot D_1E_1 + n_e(l - D_1E_1 \cos \theta_9)] - [n_e \cdot D_2E_2 + n_o(l - D_2E_2 \cos \theta_{10})] \tag{4}$$

式中 $x_1 = D_1E_1 \cos \theta_9$, $x_2 = D_2E_2 \cos \theta_{10}$, 则总光程差为

$$\Delta = \delta_1 + \delta_2 = n_o [x_0 - (l - x_0) / \cos(\theta - \theta_2) + x_1 / \cos \theta_9 - l + x_2] + n_e [(l - x_0) / \cos(\theta_1 - \theta) - x_0 + l - x_1 - x_2 / \cos \theta_{10}] \tag{5}$$

式中 $\theta = \pi/2 - \alpha$, 取棱镜的厚度 $l = 8 \text{ mm}$, $x_0 = 4 \text{ mm}$, 对冰洲石, $n_o = 1.65836$, $n_e = 1.48641$, 显然棱镜角度 α 决定了两束光分开的距离, 对于实际情况, 我们取 α 在 $75 \sim 90^\circ$ 范围内变化, 则通过计算两束光的光程差如图 2 所示, 可以看出当光路排布严格对称时, 棱镜角度 α 引起的光程不超过 $0.1 \mu\text{m}$, 远小于脉冲光源的相干长度, 因此根据实验对光束分开距离的需要, 我们可以较任意地选择棱镜角度而不会影响 Nomarski 偏光干涉仪的性能。

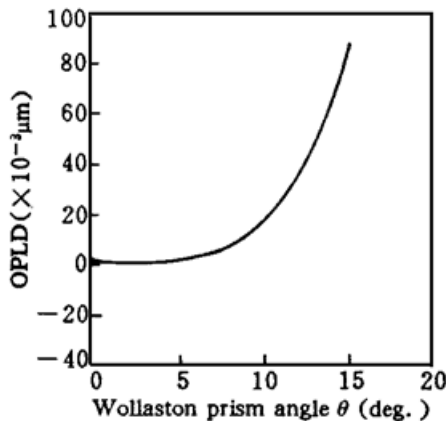


Fig. 2 The optical path difference (OPLD) versus Wollaston prism angle when the two prisms and lenses are located symmetrically. $l = 8 \text{ mm}$

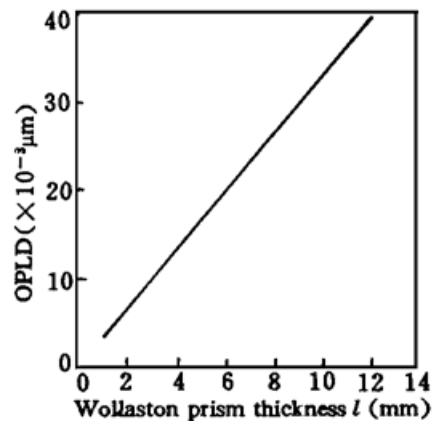


Fig. 3 The optical path difference versus the thickness of the Wollaston prisms, when $\alpha = 79^\circ$

进一步考虑棱镜的厚度对光程差的影响。(1) 先考察两块棱镜厚度完全一样的情形, 取 α

= 79°(这是根据我们的具体实验情况所取的参数,并且棱镜的厚度设计为 $l = 8 \text{ mm}$,当透镜焦距为 50 mm 时,两束光分开的距离约为 3.5 mm),当棱镜厚度变化时,光程差的变化情况如图3所示,由图同样可以看出,只要两块棱镜厚度一致,则棱镜厚度同步变化并不会带来可和脉冲光源相干长度相比拟的光程差,因此根据冰洲石材料的大小以及对光束分开间距的要求可以选取合适的棱镜厚度;(2)当两块棱镜厚度有微小差异时,引起的光程差如图4所示,可以看出,当每一小块棱镜厚度加工精度为 $50 \mu\text{m}$ 时,Wollaston 棱镜自身带来的光程差可达到 $35 \mu\text{m}$ 左右,这对应于亚纳秒脉冲光源的相干长度。对两块棱镜角度差异作同样的讨论可以得到类似的结果。因此,若用超短脉冲作探测光源,则两块棱镜的加工参数应保持全同性。从工艺角度看,应先加工两大块(光轴相互垂直的)棱镜,然后一切为二,则能较好地满足以上要求,事实上我们正是这样加工的。

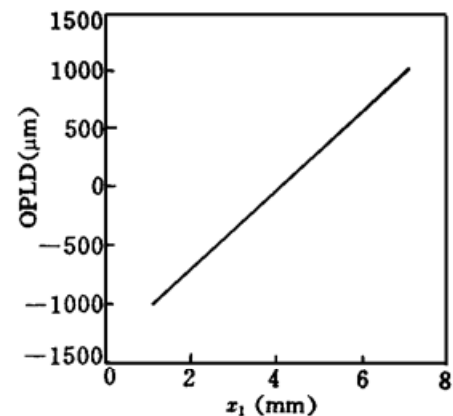
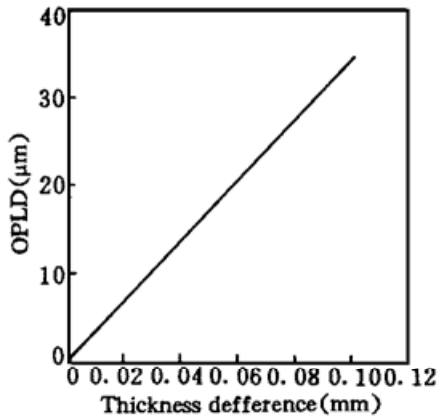


Fig. 4 The optical path difference versus the thickness difference of the two prisms, $\alpha = 79^\circ$ and $l = 8 \text{ mm}$

Fig. 5 The optical path difference versus the location of the second prism when deviated from the optical axis. $\alpha = 79^\circ$, and $l = 8 \text{ mm}$

2.2 角度 α 和厚度 l 一定时 Wollaston 棱镜的离轴性对光程差的影响

取 $\alpha \approx 79^\circ$, $l \approx 8 \text{ mm}$, 为了讨论问题方便,假设棱镜1位于光路中心且使棱镜2与透镜2之间的距离和棱镜1与透镜1之间的距离相等,则两出射光束重迭, $x_1 = x_2$ 。图5表明了棱镜2偏离光轴时带来的光程差 ($x_1 = 4.0 \text{ mm}$ 对应于同轴条件),由图5可以看出,当棱镜偏离光轴 1 mm 左右时,两光束的光程差已达到 0.35 mm ,远远大于短脉冲光源(亚纳秒)的相干长度,对于更短的光脉冲,应进一步限制 Wollaston 棱镜偏离光轴的程度,这样才能获得较满意的干涉条纹。

3 实验结果与讨论

为了验证上述结果,我们在“六路”激光系统(Nd·Glass)上对 Wollaston 棱镜的离轴性作了考察,该激光器输出的脉宽标定值为 200 ps ,激光脉冲能量 $\sim 1 \text{ J}$,激光波长为 $1.053 \mu\text{m}$,从主光路分出一束经 KDP 倍频后入射到如图1所示的原理性干涉仪,其中第二块 Wollaston 棱镜横向可调。事先用 He-Ne 光将图1光路调到严格等光程。实验结果如图6所示,由于主激光和 He-Ne 激光不能完全同路,所以钕玻璃激光的倍频光出现一些干涉条纹;使第二块 Wollaston 棱镜在垂直于光路方向轻微移动,发现干涉条纹清晰度变差,继续移动棱镜,我们发现当移动量约为 0.4 mm 时,干涉条纹已基本不可分辨,如图6(c)所示。与图5相比较可知,该超短脉冲光源($\tau \approx 200 \text{ ps}$)的相干长度不超过 $100 \mu\text{m}$ 。

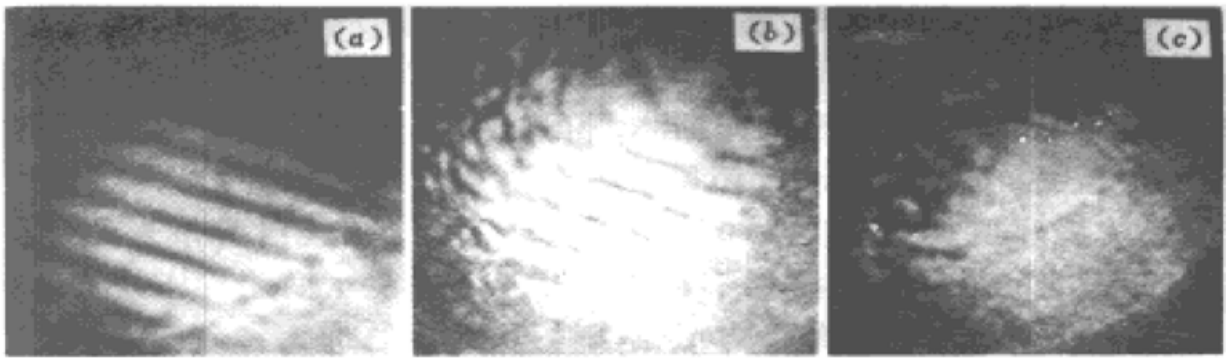


Fig. 6 Interferograms of the ultrashort coherent pulse when the second Wollaston prism is deviated from the optical axis in different values

以上我们考虑的是光束垂直入射在第一块 Wollaston 棱镜的几何中心处, 这只是为了讨论问题的方便所做的假设, 不过在通常实验过程中光路排布也正是这样, 当光束以小角度入射时可以一样地分析, 只是这时情况要复杂一些, 可以参考文献[5]。事实上, 在实验过程中我们是容易将光束调节到垂直入射的。另外, 光束不一定要从第一块棱镜几何中心处入射, 在实验过程中, 只要将各光学元件对称排布, 并且使两块 Wollaston 棱镜同光轴(这可以通过两台 He-Ne 光源从相反方向入射调节来实现), 这时光源偏轴入射到第一块棱镜时带来的光程差会由第二块棱镜得到补偿。鉴于以上这些考虑可知, 偏振光干涉仪非常适合于用相干性较差的超短光脉冲作光源, 以便研究超短超快现象。

致谢 感谢和朱健强博士富有启发性的讨论。

参 考 文 献

- 1 R. Benatter, C. Popovics, R. Sigel. Polarized light interferometer for laser fusion studies. *Rev. Sci. Instrum.*, 1979, **50**(12) ·1583~ 1585
- 2 Walter C. McCrone, Lucy B. McCrone, John Guster Delly. *Polarized Light Microscopy*. Ann Arbor Science Publishers Inc., 1979. 49~ 61
- 3 B. Ward, D. C. Emmony. The energies and pressures of acoustic transients associated with optical cavitation in water. *J. Mod. Opt.*, 1990, **37**(4) ·803~ 811
- 4 B. Ward, D. C. Emmony. Energy dissipation during laser breakdown in solids. *SPIE: Laser Induced Damage in Optical Materials*, 1991, **1624** ·457~ 466
- 5 蒋明华 编. 晶体物理. 济南: 山东科学技术出版社, 1980. 258~ 277

A Nomarski Polarized Light Interferometer and an Ultrashort Coherent Pulse Generator

Yu Haiwu Meng Shaoxian

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract The detailed calculation makes possible the design and the proper selection of working parameters of the Wollaston prisms of a Nomarski light polarized interferometer when an ultrashort light pulse as a coherent source is used. The properties of the interferometer are also presented when the prisms are in different places in the light way.

Key words Nomarski interferometer, Wollaston prism, ultrashort light pulse