

# 利用 $\text{LiNbO}_3 \cdot \text{Fe}$ 晶体光放大作用检测 透明介质的畸变\*

孙 骞 李玉栋 刘思敏 张光寅 许京军

(南开大学光子学中心 天津 300071)

**提要** 当透明介质中有畸变时, 介质均匀部分与畸变部分的透射光经过透镜变换后, 在透镜后存在交叠。将  $\text{LiNbO}_3 \cdot \text{Fe}$  晶体置于两光交叠处, 利用  $\text{LiNbO}_3 \cdot \text{Fe}$  晶体光放大作用, 可以将透射图案的对比度大大提高, 从而实现畸变的检测。此方法十分简便, 灵敏度较高。

**关键词** 畸变, 光放大, 掺铁铌酸锂晶体

由于折射率不均匀等因素, 透明介质中可能存在着各种畸变。如果利用这些存在着畸变的透明介质制作光学器件, 如透镜、波片等, 这些畸变将直接影响到器件的性能, 使光学系统的可靠性下降。检测透明介质中是否存在畸变对提高光学器件的质量有着重要意义。目前的各种检测方法, 如 IT 法<sup>[1]</sup>, TW 法<sup>[2]</sup>等, 大多设备复杂, 价格昂贵。我们发展了一种利用  $\text{LiNbO}_3 \cdot \text{Fe}$  晶体光放大作用检测透明介质中畸变的方法。这种方法十分简便, 灵敏度较高。

实验装置图如图 1 所示。实验中, 将一块载波片放置在一个傅里叶透镜前面。透镜的焦距为 13.5 cm, 透镜与载波片的距离为 27.0 cm。我们用一束经过准直的均匀的异常偏振氦氖激光 ( $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ ) 照射载波片。由于载波片可以分为两个部分, 有畸变的部分和无畸变的部分, 相应地, 透射光也可分为两个部分。一部分透射光是入射光经过介质中的无畸变部分而直接透射形成的。这部分透射光仍保持平行, 我们称之为平行光。另一部分透射光是入射光经过介质中的畸变而形成的。这部分透射光由于受到畸变的散射, 不再是平行光。它们可以等效为位于透镜前有限远处的点光源发出的光, 称之为散射光。经过傅里叶透镜的变换后这两部分光的传播方式是不同的。平行光会聚在透镜的后焦面上, 散射光则聚焦于透镜后焦点外的某个位置上(由畸变的尺寸、折射率分布决定)。在远场, 平行光形成一个均匀的亮背景, 而散射光的传播方向偏离于平行光的传播方向。两光在

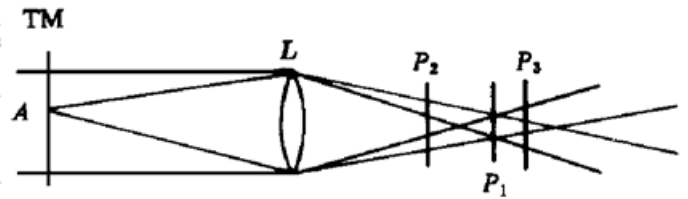


图 1 实验装置图

TM: 透明介质; L: 透镜; A: 缺陷。图中, 粗线代表平行光, 细线代表缺陷引起的散射光

Fig. 1 Experimental setup

TM: transparent medium; L: lens; A: the distortion. The wide lines denote the parallel light. The narrow lines denote the scattered light from the distortion

\* 国家自然科学基金资助项目(19734004)。

远场相叠加,形成一定的图案。理论上,通过观察远场处透射光的图案,可以判断透射介质中是否存在畸变。实用中,这种方法存在一定的缺陷。对于较大的畸变,散射光较强,畸变形成的图案与均匀亮背景的反差较大,容易观察,这种方法是可行的。但对于小畸变,由于散射光很弱,图案与亮背景的对比很小,很难将之从平行光形成的均匀亮背景中区分出来。如果能够将散射光放大并使平行光即均匀亮背景减弱,这样,畸变形成的图案与背景的对比增大,我们就可以较容易地观察是否有散射光存在,从而检测透明介质中是否存在畸变。

如果用通常的放大方法(如两波耦合等)对透射光进行放大,平行光与散射光同时被放大,不符合我们的要求。需要发展一种新的光放大方法,以实现透明介质中畸变的检测。

由图 1 可以知道,在透镜后,散射光与平行光存在一定程度的重叠。我们将一块  $\text{LiNbO}_3 \cdot \text{Fe}$  晶体放置在透镜后,如  $P_2$  处。两种光是相干的,它们在重叠部分相耦合。在  $\text{LiNbO}_3 \cdot \text{Fe}$  晶体中,两波耦合的结果是弱光束从强光束获得能量而被放大,而强光束由于能量转移到弱光束而光强下降<sup>[3]</sup>。大部分透射光属于平行光,其光强较大,耦合后,一部分平行光的能量转移到散射光上,这样,平行光的强度下降。在远场,平行光形成的均匀背景变暗。另一方面,散射光从平行光获得能量,其光强变大。由于平行光与散射光皆为异常偏振,两种光在  $\text{LiNbO}_3 \cdot \text{Fe}$  晶体中的耦合较强,散射光获得的增益较大。达到稳态后图形与均匀背景的对比大大提高,在远场可以很容易地看到散射光形成的图案。实验中观察了载波片的情况。图 2 (a) 所示为未放置晶体的透射光,透射光是均匀的,说明载波片是均匀的,不存在畸变。图 2 (b) 所示为放置晶体后的透射光。实验中使用的  $\text{LiNbO}_3 \cdot \text{Fe}$  晶体的掺杂浓度为 0.1wt-%,晶体厚度为 1.0 mm,氦氛激光的入射功率为 5.0 mW。可以看出,事实上载波片并不均匀,载波片存在着条纹状的畸变,这些畸变可能是玻璃冷却时应力不均匀造成的。

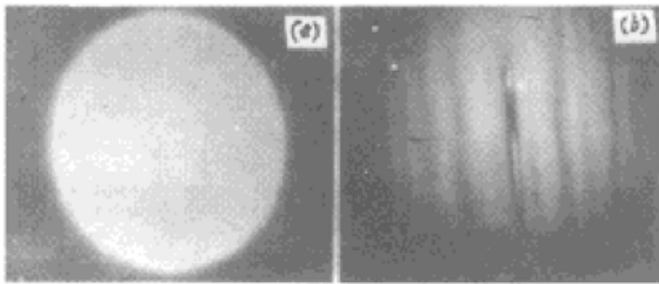


图 2 (a) 未经过和(b) 经过放大后的透射图像  
Fig. 2 The transmitted pattern (a) before, and (b) after amplification

晶体的放置位置对光放大作用有较大的影响。比较图 1 中  $P_1$ ,  $P_2$  和  $P_3$  三个位置可以知道,在  $P_3$  位置,散射光完全被平行光覆盖,但有一部分平行光未与散射光交叠,这样,只是部分的平行光与散射光相耦合并对散射光进行放大,因此散射光的放大并非最大。在  $P_2$  位置,平行光完全被散射光覆盖,虽然全部的平行光都对散射光进行放大,但由于一部分散射光并未与平行光相交,得不到放大,因此,散射光的放大也并非最佳。而在  $P_1$  位置上,散射光与平行光完全重合在一起。将晶体放置在这个位置,散射光的增益最高。图 3 所示为图 2 (b) 中心细的亮条纹的放大率与晶体在透镜后距离的关系。可以看出,放大率依赖于晶体的位置。将晶体放置在适当位置,可以获得最佳的放大,使我们更容易判断是否存在畸变。

我们发展的这种方法十分简便,灵敏度较高。目

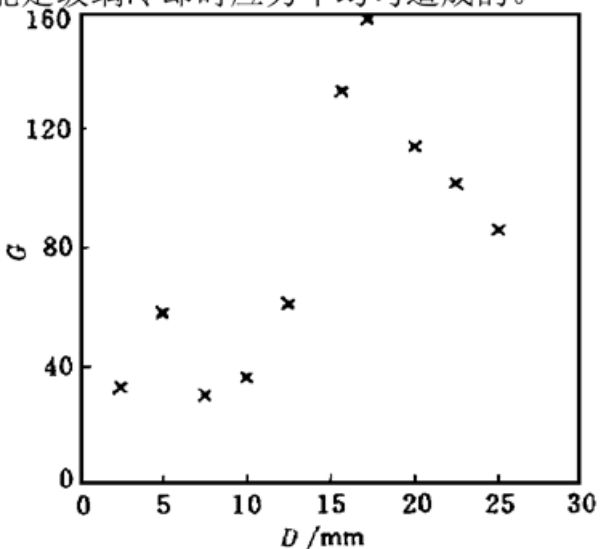


图 3 放大率 ( $G$ ) 和晶体与透镜间距离( $D$ ) 之间的关系

Fig. 3 The dependence of gain ( $G$ ) on the distance of the crystal from the focus ( $D$ )

前,利用这种方法已可以检验透明介质中尺度大于  $80 \mu\text{m}$  的畸变。利用  $\text{LiNbO}_3 \cdot \text{Fe}$  晶体中的光放大作用,可以从均匀背景中检测弱信号。这一原理也可以应用于其它的光学测量方法中。

### 参 考 文 献

- 1 J. P. Fillard, P. C. Montgomery, P. Gall *et al.*. High resolution and sensitivity infrared tomography. *J. Cryst. Growth*, 1990, **103** : 109
- 2 A. Bivas, W. L. Smith, R. R. Kola *et al.*. Thermal wave imaging of misfit dislocations and correlation with minority carrier lifetime. *J. Cryst. Growth*, 1990, **103** : 200~ 206
- 3 Liu Simin, Guo Ru, Ling Zhenfang, editor: Zhang Guangyin. Photorefractive Nonlinear Optics. Beijing : BiaoZhun Press, 1992. 150 (in Chinese)

## Detection of Distortions in Transparent Media Using Light Amplification in $\text{LiNbO}_3 \cdot \text{Fe}$ Crystal

Sun Qian Li Yudong Liu Simin Zhang Guangyin Xu Jingjun  
(Photonics Center, Nankai University, Tianjin 300071)

**Abstract** When there are distortions in transparent media, a light through uniform parts and distortions of the media will overlap each other after the transformation of a lens. By the amplification of  $\text{LiNbO}_3 \cdot \text{Fe}$  crystal placed at the place where the two kinds of lights coincide, the contrast of the transmitted pattern will increase greatly and then we can detect the distortions in the transparent media. This method is quite simple and has high sensitivity.

**Key words** distortion, light amplification,  $\text{LiNbO}_3 \cdot \text{Fe}$  crystal