

文章编号:1002-2082(2011)06-1286-05

利用 TeO_2 减少多模光纤出射场散斑干扰的研究

石友彬¹, 陈春雷¹, 刘加存²

(1. 广东海洋大学 理学院物理与光电科学系, 广东 湛江 524088;

2. 广东海洋大学 信息学院自动化系, 广东 湛江 524088)

摘 要:为了减少多模光纤出射光场的散斑干扰,提出了把声光布拉格衍射效应所形成的不同衍射级耦合到多模光纤中,由于衍射级具有不同的偏振态,消弱了光场相干条件,进而在出射光场中消弱了散斑场的对比度,并通过对改变声场频率后得到的散斑场对比度的分析,证实了利用各向异性晶体 TeO_2 能够控制散斑场对比度,改善出射场的高斯分布,得出了可以利用布拉格衍射效应减少散斑场干扰的可能性。

关键词:声光效应;散斑;对比度;布拉格衍射;声光晶体

中图分类号: TN29;TN253

文献标志码: A

doi:10.5768/JAO201132.0608005

Speckle interference reduction with anisotropic crystal TeO_2 in multimode fiber emission fields

SHI You-bin¹, CHEN Chun-lei¹, LIU Jia-cun²

(1. Department of Physics and Photoelectrical Science, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China; 2. Department of Automation, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: In order to reduce the speckle interference in the multimode fiber emission fields, we investigated whether the coupling of different diffraction grades derived from Bragg acoustooptic diffractive effect to multimode fiber could reduce the speckle field contrast. Through the analysis on the speckle field contrast subsequent to the changing of the sound field frequency, we demonstrated that the anisotropic crystal TeO_2 could regulate the contrast of speckle field and improve Gaussian distribution. It is probable that Bragg diffractive effect could reduce the speckle field interference.

Key words: acoustooptic effect; speckle; contrast; Bragg diffraction; acoustooptic crystal

引言

当相干辐射经过非均匀光学物质时,会形成具有一定范围的非均匀光场分布,这种非均匀光场分布就是散斑场^[1-2]。通常情况下,散斑场会破坏传输光信息。散斑场是由于介质表面反射光的干涉或透明介质的折射率分布起伏导致观察平面上随机干涉光斑^[3],因此减少传输光场的散斑干扰,可以使用人为破坏光场空间相干性的办法。例如利用散射介质和振动导光物质,也可以采用

施加了周期电场的声光晶体,达到改善传输光场特性的目的。研究表明^[4-6],利用声光相互作用,可以有效解决散斑对信息传输的干扰。声波进入介质后,可以改变介质折射率的时间和空间分布,对入射光束起着时间或空间调制的作用。

在拉曼纳斯衍射范畴内,利用声光效应减少散斑干扰的理论研究和实际应用都解决得很好,但在布拉格衍射^[7]范畴内,由于声波频率较大,导致实验误差较大,很难得到实际应用,大部分研究

收稿日期:2011-02-18; 修回日期:2011-05-01

基金项目:广东海洋大学引进人才启动基金(E05102/051202)

作者简介:石友彬(1967—),男,辽宁沈阳人,硕士,讲师,主要从事激光测量技术研究工作。E-mail: shiyoubin@hotmail.com

还停留在理论上。

如果适当减少声波强度,并保证布拉格衍射不产生饱和调制,有可能达到减少散斑干扰的目的,基于此,我们进行了以下实验。光波经过布拉格晶体后形成两级衍射光,在各向异性介质里,光波场随着声波场的参数发生变化,特别是光波场的场强会被放大,而散斑对比度却会减少,这是利用布拉格衍射效应改善散斑效应的基础。

1 实验装置

图 1 是实验装置示意图。光源采用氦氖激光器,激光波长为 $\lambda=632.8\text{ nm}$ 。由于 TeO₂ 晶体所具有的特性^[8-9],实验选用 TeO₂ 作为声光调制器,光学面是 {001} 面。由 LiNbO₃ 压电变频器作为超声激励源,激励频率为 91 MHz(压电调制器的中心频率),在 [110] 方向传播的剪切波速度为 $6.2\times 10^4\text{ cm/s}$,声光作用长度 $L=5\text{ mm}$ 。实验采用长度为 2 m 的多模光纤,耦合透镜焦距为 30 mm,声光晶体衍射效率 90%。在声场中适当角度安置布拉格声光调制器,+1 级衍射光入射到平面镜 1 并被反射,再次穿过声光晶体并被耦合透镜耦合到

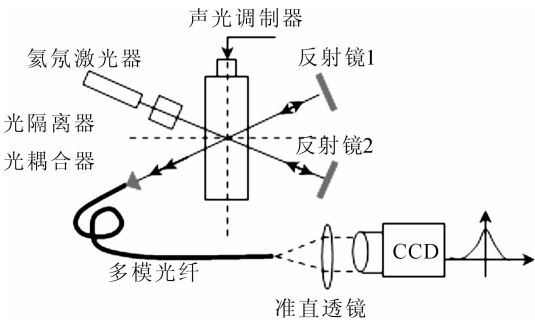


图 1 利用布拉格衍射消除散斑干扰实验图

Fig. 1 Acousto-optic experiment diagram of speckle interference reduction by using Bragg diffraction

多模光纤中。0 级衍射光入射到平面镜 2 并被反射,反射光再次经过晶体时发生布拉格衍射,并与第一部分光束同时被耦合进入光纤内。在光纤出口放置观察屏,观察随声光效应而改变的散斑场。

由理论分析可知^[10],经过 TeO₂ 晶体的衍射光束具有不同的偏振态,分别是左旋和右旋偏振光,把这两路衍射光耦合到光纤中,显然,由于光束具有不同的频率和偏振态,破坏了光束的相干性,因此在光纤的出射光场中,可以很好地消除散斑结构。

2 理论基础

为了从理论上描述衍射光束横截面光场变化特点,可以把衍射波场看成平面波场,在一级近似下,波场具有下面的表达式^[11]:

$$\frac{dE_n}{d\xi} = -i \frac{\alpha}{2} \exp\left[-\frac{i}{2} Q \xi \left[\frac{\varphi_{\text{inc}}}{\varphi_B} + (2n-1)\right]\right] E_{n-1} - i \frac{\alpha}{2} \exp\left[\frac{i}{2} Q \xi \left[\frac{\varphi_{\text{inc}}}{\varphi_B} + (2n+1)\right]\right] E_{n+1}$$

式中: E_n 是第 n 级平面波场的复振幅,衍射方向为 $\varphi_n = \varphi_{\text{inc}} + 2n\varphi_B$,其中 φ_{inc} 是入射光与声波场波前方向形成的夹角, $\varphi_B = \lambda/2\omega$,是布拉格衍射角, λ 和 ω 分别是光波波长和声波波长; α 是峰值相位延迟,表达式为 $\alpha = CkSL/2$, C 是介质的有效弹光系数, k 是介质里光波常量, S 是声波场振幅, L 是声光作用长度; $Q = 2\pi L\lambda/\omega^2$, 是 Klein-Cook 参数; $\xi = L/z$, 是声光晶体的声光作用长度。选择入射角度 $\varphi_{\text{inc}} = -(1+\delta)\varphi_B$, δ 是相对于布拉格入射角的偏差。由前式可以得到以下公式^[11]:

$$\begin{aligned} \frac{dE_0}{d\xi} &= -i \frac{\alpha}{2} \exp\left[-i \frac{Q\xi\delta}{2}\right] E_1 \quad \frac{dE_1}{d\xi} = \\ &-i \frac{\alpha}{2} \exp\left[i \frac{Q\xi\delta}{2}\right] E_0 \end{aligned} \tag{1}$$

根据(1) 式计算第一衍射级,得到:

$$E_1(\xi) = -E_{\text{inc}} \exp(i \frac{Q\xi\delta}{4}) i \frac{\alpha}{2} \left\{ \sin\left[\left(\frac{\delta Q}{4}\right)^2 + \left(\frac{\delta}{2}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \xi \left[\left(\frac{\delta Q}{4}\right)^2 + \left(\frac{\delta}{2}\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}} \right\} \tag{2}$$

由(2) 式可以建立入射到布拉格晶体平面波的传输函数:

$$H_1(\delta) = \frac{E_1(\xi=1)}{E_{\text{inc}}} \tag{3}$$

第一衍射级光场分布具有以下形式:

$$E_1(r) = \int_{-\infty}^{+\infty} E_{\text{inc}}(\delta) H_1(\delta) \exp(i2\pi \xi r) d\xi \tag{4}$$

式中 $\xi \equiv \delta/2\omega$ 。由(4) 式可以确定基于入射光波场的散射光波场波前分布。

如果入射光束具有高斯型,则此高斯光束的

光场角分布可以写为下面的形式:

$$E_{\text{inc}}(\delta) = E_{\text{inc}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\pi \sigma}{\omega} \right)^2 \delta^2 \right] \tag{5}$$

式中 σ 是高斯光束半宽度。

由(4) 式和(2) 式可以得到:

$$E_1(r) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left\{ \left(-i \frac{\alpha}{2} \right) \exp \left(i \frac{\omega \xi Q}{2} \right) \times \text{sinc} \left[\left(\frac{\omega \xi Q}{2} \right)^2 + \left(\frac{\alpha}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \times E_{\text{inc}} \exp(-2\pi^2 \xi^2 \sigma^2) \exp(i2\pi \xi r) d\xi \tag{6}$$

式中 r 和 ξ 是傅里叶变换因子。

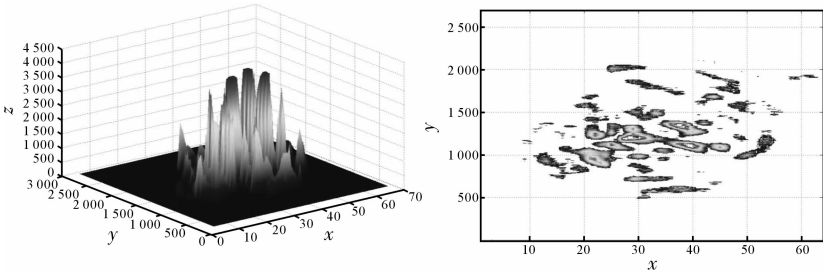
(6)式的计算结果表明,衍射光束的波前具有非常复杂的波形结构,这种波形结构既受制于声波场强度和频率,也受制于入射光波的频率、强度和入射角等。

如果是各向异性衍射,则(6)式的 $E_1(r)$ 表达式会更加复杂,此时耦合到光纤的两路衍射光束存在非常大的差别,会导致光场的高斯分布失去对称性,光束入射角偏差和声束频率特性偏差同

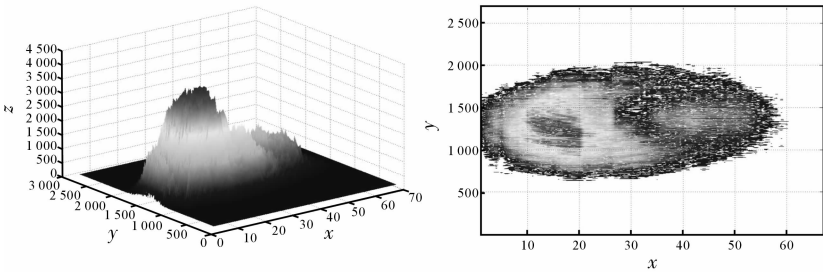
样会造成衍射光场的场分布发生畸变。这种同一光波场经过功能晶体后的衍射光场特性差异,为消除因干涉形成的散斑场结构提供了可能性。

3 实验结果及分析

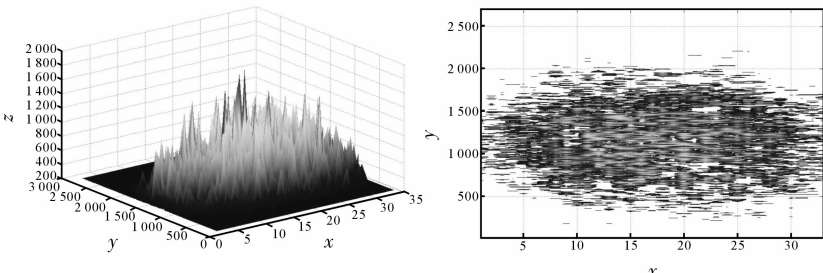
图 2 是在距离光纤出射端面 8 cm 处的观察屏上形成的散斑图谱,采用无单位坐标系,三维图纵轴代表相对光强,二维图的水平和竖直坐标是某横截面的空间相对尺度。



(a) 无声场一级衍射光



(b) 声场90.8 MHz



(c) 声场91.0 MHz

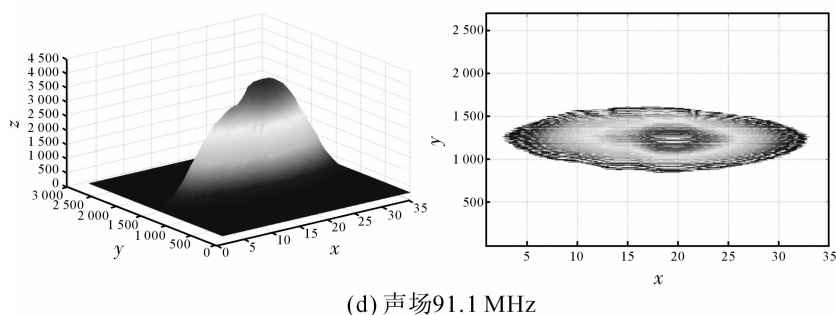


图 2 不同条件下实验结果二维和三维图

Fig. 2 2D and 3D graphs of experimental results in different conditions

图 2(a)是仅由一路+1 级衍射光束形成的,即关闭反射镜 2,经反射镜 1 反射的光束被耦合到光纤中,(b),(c)和(d)分图是在两个反射镜都打开的情况下得到的光场散斑谱,对应的声光晶体超声频率分别为 90.8 MHz,91 MHz 和 91.1 MHz,实验中的声强变化不影响散斑图谱的对比度,而仅改变它的清晰度。

由图 2(a),(b),(c)和(d)比较可以得出以下结论:不同实验条件下的散斑横向空间尺度及图谱中心部分的散斑场对比度,(a)比(b),(c),(d)都大;图 2(c)散斑谱的对比度最小,说明在压电调制器的中心频率 91 MHz 作用下,散斑场对比度被最大程度减轻。

产生上述实验结果的原因是:对比度最小的图 2(c)是耦合到光纤中的一对光束强度相同或严格相近,且两路光束严格重合,波前相同。而图 2(b)和(d)的散斑场是在压电调制器的中心频率附近形成的,因为衍射角度改变,耦合到光纤中的两路光束没有满足严格匹配等条件,最终导致对比度较大的实验结果。散斑场的外围部分主要是由于光纤的高阶模作用而形成,在此实验条件下,对比度改变不是很明显。

4 结论

实验表明,在一定的技术条件下,完全可以利用布拉格衍射效应减小多模光纤出射场的对比度,以达到改善传输光场特性的目的。实验提供了一种改善光信息传输特性技术手段,改变光纤长度或声光晶体及相对位置,以寻求进一步改善传输光信息特性,是一个可以继续研究探讨的课题。

参考文献:

- [1] 石友彬. 动态散斑与多普勒效应相互联系的分析[J]. 光学技术, 2007, 33(5): 787-790.
SHI You-bin. Contrast analysis of dynamic speckles and Doppler effect[J]. Optical Technique, 2007, 33(5): 787-790. (in Chinese with an English abstract)
- [2] DAINITY J C. Laser speckle and related phenomena [M]. Berlin and New York: Springer-Verlag, 1975: 20-25.
- [3] 石友彬, 陈春雷. 散斑空间尺度与动态散斑分析[J]. 河北理工大学学报: 自然科学版, 2007, 29(4): 136-139.
SHI You-bin, CHEN Chun-lei. Formation and structural analysis of speckles[J]. Journal of Hebei Polytechnic University: Natural Science Edition, 2007, 29(4): 136-139. (in Chinese with an English abstract)
- [4] BERTAUX N, FRAUEL Y, JAVIDI B. Speckle elimination with a maximum likelihood estimation and an isoline regularization[J]. Physics of Automatic Target Recognition, 2007, 3(9): 227-243.
- [5] WANG Ling-li, TSCHUDI T, BOEDDINGHAUS M, et al. Speckle reduction in laser projections with ultrasonic waves[J]. Optical Engineering, 2000, 39(6): 1659-1664.
- [6] GOODMAN J W, TRISNADI J I. Speckle reduction by a moving diffuser in laser projection displays[C]. Sunnyvale, California: OSA Annual Meeting, 2000.
- [7] LI Ya-ling, LI Wen-bo, LI Mi-shan, et al. The grating diffraction and Bragg equation[J]. College Physics, 2005, 24(9): 30-32.
- [8] 俞宽新, 史先军, 赵宝森, 等. 利用相切条件研究 TeO_2 晶体反常声光衍射几何关系[J]. 北京工业大学学报, 2002, 28(2): 211-215.
YU Kuan-xin, SHI Xian-jun, ZHAO Bao-sen, et al.

- Study of anisotropic acousto-optic diffraction geometry in TeO₂ crystal by tangent condition[J]. Journal of Beijing Polytechnic University, 2002, 28(2): 211-215. (in Chinese with an English abstract)
- [9] 季小红, 桑文斌, 刘冬华, 等. 声光晶体 TeO₂ 的生长及缺陷研究[J]. 人工晶体学报, 2001, 30(1): 89-98.
- JI Xiao-hong, SANG Wen-bin, LIU Dong-hua, et al. Study on Czochralski growth of TeO₂ single crystal and defects[J]. Journal of Synthetic Crystals, 2001, 30(1): 89-98. (in Chinese with an English abstract)
- [10] 刘维, 崔建民, 田亚光, 等. 二氧化碲可调谐滤波器的光和声入射角分析[J]. 北京理工大学学报, 2004, 24(12): 1096-1099.
- LIU Wei, CUI Jian-min, TIAN Ya-guang, et al. Analysis of the optical and acoustic beam's incident angles for TeO₂ tunable filters[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2004, 24(12): 1096-1099. (in Chinese with an English abstract)
- [11] 朱京平, 李阳, 唐锐歆, 等. 多重散射理论声光耦合波方程的龙格-库塔法数值分析[J]. 光子学报, 2005, 34(2): 284-287.
- ZHU Jing-ping, LI Yang, TANG Rui-xin, et al. Numerical analysis of coupled wave equation derived from multiple scattering theory using Runge-Kutta Method[J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(2): 284-287. (in Chinese with an English abstract)
-
- (上接第 1274 页)
- [7] 佟首峰, 姜会林, 张立中. 高速率空间激光通信系统及其应用[J]. 红外与激光工程, 2010, 39(S): 649-654.
- TONG Shou-feng, JIANG Hui-lin, ZHANG Li-zhong. High data-rate space laser communication system and its application [J]. Infrared and Laser Engineering, 2010, 39(S): 649-654. (in Chinese with an English abstract)
- [8] 胡贞, 姜会林, 佟首峰, 宋正勋. 空间激光通信终端 ATP 技术与系统研究[J]. 兵工学报, 2011, 06(S): 752-758.
- HU Zhen, JIANG Hui-lin, TONG Shou-feng, SONG Zheng-xun. Research on ATP system technology of laser communication terminal in space [J]. Acta Armamentarii, 2011, 06(S): 752-758. (in Chinese with an English abstract)
- [9] 刘瑞雄, 张涛. 自由空间激光通信中的 APT 技术分析[J]. 现代电子技术, 2010, 07(S): 102-103.
- LIU Rui-xiong, ZHANG Tao. Analysis of APT technology used in free-space laser communication [J]. Modern Electronics Technique, 2010, 07(S): 102-103. (in Chinese with an English abstract)
- [10] 郝选文, 马建峰, 任方, 等. 空间信息网络环境下一种基于双层卫星网络的认证路由协议[J]. 计算机科学, 2011, 02(S): 79-81.
- HAO Xuan-wen, MA Jian-feng, REN Fang, et al. A kind of authentication routing protocol based on double satellite network in space information network[J]. Computer Science, 2011, 02(S): 79-81. (in Chinese with an English abstract)