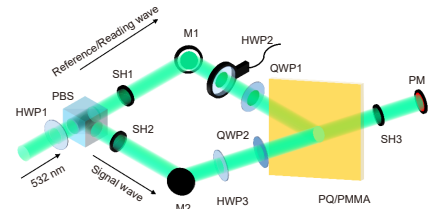


DOI: 10.12086/oe.2022.210454

同偏振记录偏光全息的零再现

林阿愿¹, 王瑾瑜¹, 陈宇昕²,
齐沛良¹, 黄志云², 谭小地^{1*}¹福建师范大学光电与信息工程学院, 信息光子学研究中心,
福建 福州 350117;²福建师范大学医学光电科学与技术教育部重点实验室, 福建省光子技术
重点实验室, 福建省光电传感应用工程技术研究中心, 福建 福州 350117

摘要: 偏光全息中的零再现是指在读取光满足布拉格条件下, 再现光的功率却为零的现象。在通常的强度全息中, 则没有零再现现象。本文根据张量偏光全息理论预测出实现零再现的条件, 并推导了同偏振记录偏光全息的再现光场实现零再现的条件。在实验中, 先用两束椭圆偏振光并且干涉角度为 136° 来记录偏光全息; 然后按照理论计算结果, 改变参考光的偏振态成为一束特定偏振态, 用这一束特定的偏振光进行读取, 实现了零再现, 验证了理论预测的正确性。

关键词: 偏光全息; 椭圆偏振; 张量理论; 零再现; 相同偏振态**中图分类号:** O436**文献标志码:** A

林阿愿, 王瑾瑜, 陈宇昕, 等. 同偏振记录偏光全息的零再现 [J]. 光电工程, 2022, 49(5): 210454

Lin A Y, Wang J Y, Chen Y X, et al. Null reconstruction of polarization holography recorded by the same polarized waves[J]. *Opto-Electron Eng*, 2022, 49(5): 210454

Null reconstruction of polarization holography recorded by the same polarized waves

Lin Ayuan¹, Wang Jinyu¹, Chen Yuxin², Qi Peiliang¹, Huang Zhiyun², Tan Xiaodi^{1*}¹Information Photonics Research Center, College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350117, China;²Key Laboratory of Opto-Electronic Science and Technology for Medicine of Ministry of Education, Fujian Provincial Key Laboratory of Photonics Technology, Fujian Provincial Engineering Technology Research Center of Photoelectric Sensing Application, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350117, China

Abstract: When the Bragg condition is satisfied, although the hologram is illuminated by the reading wave, the power of the reconstructed wave may be zero. The above phenomenon is called null reconstruction in polarization holography. In the reconstructing stage of the conventional holography, as long as the reading wave that satisfies the Bragg condition illuminates the hologram, the reconstructed wave is generated, and the null reconstruction is not possible. In this paper, the light field of the reconstructed waves recorded by the same elliptically polarized waves in polarization holography is deduced, which is based on the tensor polarization holography theory. The conditions for achieving null reconstruction are given. In the recording stage of the experiment, elliptically polarized

收稿日期: 2022-01-22; 收到修改稿日期: 2022-02-26

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2018YFA0701800); 福建省科技重大专项资助项目 (2020HZ01012)

*通信作者: 谭小地, xtan@fjnu.edu.cn.

版权所有©2022 中国科学院光电技术研究所

waves were used, and the recording angle was 136° . In the reconstructing stage, the polarization state of the reading wave is set in advance, and the specific polarized wave was used for reconstruction. The experimental results are in good agreement with the theoretical derivation.

Keywords: polarization holography; elliptically polarized; tensor theory; null reconstruction; same polarization state

1 引言

光学全息术是利用感光材料记录物体光波和参考光波的干涉图样, 在一定的条件下, 利用光的衍射现象, 通过参考光波照射干涉图样重建出原物体光波^[1]。如今, 全息技术不仅可以用于数字图像显示^[2], 也可以用于干涉计量^[3]、光存储^[4-5]和光学元器件制造^[6]等领域。要说明的是, 现在广泛应用的全息是所谓的强度全息, 使用的是对偏振不敏感的材料, 只记录了光场的振幅和相位信息。

1974年, Kakichashvili 在对偏振敏感的各向异性材料中记录了光场的偏振信息^[7]。1984年, Nikolova 和 Todorov 提出用琼斯矩阵来表达再现光场的偏振态, 在傍轴近似下(记录角度小于 10°), 很好地描述了偏光全息的再现现象^[8]。2011年, Kuroda 提出了一种新的基于张量方法的偏光全息理论^[9]。该理论不仅能够描述任意记录角度下全息图的再现结果, 并且在小角度下得到的结果与琼斯理论的一致。因此, 张量偏光全息理论相比于之前的理论更为全面。如今, 基于张量偏光全息理论的理论探究和实际应用取得了许多成果^[10-14]。

众所周知, 光场中包含了振幅、相位和偏振信息。相比于强度全息, 偏光全息由于所使用的材料能对偏振产生响应, 因此不仅可以记录光场的振幅和相位信息, 还可以记录偏振信息。从这个角度看, 偏光全息

才是真正意义的“全息”。在强度全息的记录阶段中, 一对偏振态正交的信号光和参考光是看不到干涉图样的。只有当二者的偏振态中能正交分解出相同的偏振分量, 才会有干涉图样的产生。故可认为在强度全息的记录阶段中, 信号光和参考光的偏振态是一致的; 读取阶段中, 在满足布拉格条件的情况下, 即使用功率很低的读取光照射全息图时, 也会产生再现光, 并且再现光的偏振态总是与读取光保持一致。本文基于张量偏光全息理论, 推导了相同椭圆偏振态记录的偏光全息的再现光场。结果表明, 在特定条件下, 即使布拉格条件满足, 使用相同椭圆偏振态记录的偏光全息也会出现读取光功率不为零而再现光功率为零的现象, 即所谓的零再现^[15-16]。根据理论分析, 设计了相应的零再现验证实验, 结果与理论吻合得很好。

2 理论推导

偏光全息的记录阶段和再现阶段如图 1 所示。

G_+ 和 G_- 分别表示信号光和参考光, G_r 表示再现光, F 是读取光。 θ_+ 代表着信号光或参考光在材料中与 z 轴的夹角。在记录阶段中, 信号光与参考光照射到材料表面, 二者的耦合光场与材料相互作用, 这样信号光就被记录在材料中。在读取阶段, 用一束满足布拉格条件的读取光照射材料上被曝光过的位置, 便能产生一束再现光。信号光与再现光的传播方向是相同的。根据张量偏光全息理论, 可以将再现光的偏振

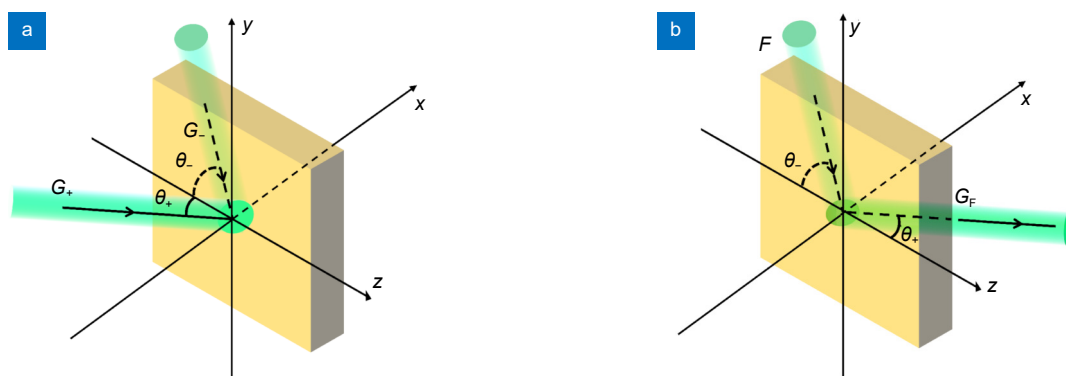


图 1 非对称入射的偏光全息示意图。(a) 记录阶段; (b) 再现阶段

Fig. 1 (a) Recording stage and (b) reconstructing stage of polarization holography with asymmetric incidence

态写为^[9]

$$\begin{aligned} \mathbf{G}_F &\propto \mathbf{X} - (\mathbf{X} \cdot \mathbf{k}_+) \mathbf{k}_+ \\ &= \mathbf{X}_+ + [\mathbf{X}_- - (\mathbf{X}_- \cdot \mathbf{k}_+) \mathbf{k}_+], \end{aligned} \quad (1)$$

其中:

$$\mathbf{X} = \mathbf{X}_+ + \mathbf{X}_-, \quad (2)$$

$$\mathbf{X}_+ = \beta (\mathbf{G}_+^* \cdot \mathbf{F}) \mathbf{G}_+, \quad (3)$$

$$\mathbf{X}_- = \alpha (\mathbf{G}_+ \cdot \mathbf{G}_-^*) \mathbf{F} + \beta (\mathbf{G}_+ \cdot \mathbf{F}) \mathbf{G}_-^*, \quad (4)$$

α 和 β 分别是材料介电张量的标量部分和张量部分的系数, \mathbf{k}_+ 是信号光的光矢量, 上标*表示共轭, 下标+和-分别对应着信号光和参考光。记录过程中的信号光和参考光偏振态是相同的, 因此将信号光、参考光和读取光设为

$$\mathbf{G}_\pm \propto f \mathbf{p}_\pm + j e^{i\delta} \mathbf{s}, \quad (5)$$

$$\mathbf{F} \propto b \mathbf{p}_- + q e^{i\gamma} \mathbf{s}, \quad (6)$$

\mathbf{s} 是 s 偏振光的单位向量, \mathbf{p}_\pm 是 p 偏振光的单位向量。其中系数 f 、 j 代表着信号光和参考光中的 p 分量和 s 分量的振幅; b 和 q 代表着读取光中的 p 分量和 s 分量的振幅。 δ 和 γ 表示 s 分量和 p 分量之间的相位差。为了简化书写, 下面设:

$$A = f^2 \cos \theta + j^2,$$

$$B = bf \cos \theta + jq e^{i(\delta+\gamma)},$$

$$C = bf + jq e^{i(\gamma-\delta)},$$

$$D = (f^4 \cos^4 \theta + 4j^4 \cos^2 \theta + 2f^4 \cos^2 \theta + f^4 + (e^{2\delta} + e^{-2\delta}) 4f^2 j^2 \cos^2 \theta)^{\frac{1}{2}}.$$

将式(2)~式(6)代入式(1), 经过化简可得:

$$\begin{aligned} \mathbf{G}_F &\propto \{\alpha \cdot A \cdot b \cos \theta + \beta \cdot B \cdot f \cos \theta + \beta \cdot C \cdot f\} \mathbf{p}_+ \\ &+ \{\alpha \cdot A \cdot q e^{i\gamma} + \beta \cdot C \cdot j e^{i\delta} + \beta \cdot B \cdot j e^{-i\delta}\} \mathbf{s}, \end{aligned} \quad (7)$$

其中: $\theta = \theta_+ + \theta_-$, 表示记录角度。为了实现零再现, \mathbf{p}_+ 和 \mathbf{s} 的系数需要同时等于零, 此时可得:

$$\begin{aligned} \frac{b}{q} &= \frac{1}{2fj \cos \theta (\cos \theta e^{-i\delta} + e^{i\delta})} \\ &\times [f^2 e^{i\gamma} (\cos^2 \theta + 1) - 2j^2 e^{i\gamma} \cos \theta + e^{i\gamma} D], \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{b}{q} &= \frac{1}{2fj \cos \theta (\cos \theta e^{-i\delta} + e^{i\delta})} \\ &\times [f^2 e^{i\gamma} (\cos^2 \theta + 1) - 2j^2 e^{i\gamma} \cos \theta - e^{i\gamma} D]. \end{aligned} \quad (9)$$

式(8)和式(9)表明, 对于给定的信号光、参考光以及记录角度, 有两束不同的读取光可以满足实现零再现的条件。将任意一个 b/q 值代入式(7)之后, 便能得到此 b/q 值所对应的 α/β 。因此, 不同的读取光所需的 α/β 值不同。

3 实验结果与讨论分析

实验中以掺杂菲醌的聚甲基丙烯酸甲酯(PQ/PMMA)^[17]为记录材料。这是一种光致聚合物材料, 在波长 532 nm 处的折射率约为 1.51^[18]。先前的研究表明, 本实验室自制的材料初始 α/β 约为 8^[19]。为了获得具有一般性的结果, 在实验中采用椭圆偏振光。基于上述的理论推导, 获得了一组能够实现零再现的实验参数, 如表 1 所示。

在表 1 中, 信号光、参考光和读取光都是标准椭圆偏振光。标准椭圆偏振光表示其长轴与水平方向平行或者垂直, 这意味着 p 分量和 s 分量之间的相位差大小为 $\pi/2$ 。除此之外, 为了满足计算结果对记录角度的要求, 图 1 中记录角度被画成钝角。之所以采取非对称入射的方式来记录全息图, 是因为材料表面较为光滑, 读取光也会被材料表面所反射, 造成再现光与被反射的读取光混合到一起。因此在记录阶段中, 信号光入射角 θ_+ 与参考光入射角 θ_- 不能相等。虽然 θ_+ 与 θ_- 相差只有 2° , 但是材料到功率计之间还有 60 cm 左右的距离, 足以将再现光和被材料表面反射的读取光分离开来。实验光路示意图如图 2 所示。

实验中的光源是波长为 532 nm 的绿色激光。扩束整形后的激光依次通过 HWP1 和 PBS, 得到功率各为 52 mW 的 s 线偏振光和 p 线偏振光, 以得到最佳的记录效果。利用半波片和四分之一波片能够获得任意的椭圆偏振光。HWP3 和 QWP2 所在的光路作为信号光路; HWP2 和 QWP1 所在的光路作为参考光路或读取光路。这两路光将光致聚合物材料 PQ/PMMA 夹在中间, 分别从材料不同的表面入射。读取光照亮材料中的全息图, PM 用来观察和记录再现光的功率变化。SH 用于记录阶段和读取阶段之间的切换。为了产生表 1 中所需的偏振态, 各个波片快轴所在的方位角设置参数如表 2。

实验过程如图 3 所示。

实验采取边记录边读取的方式, 因为如果一直处于记录阶段, 就无法在实验过程中观察记录材料对偏振干涉光场的响应效果和全息光栅的质量。记录阶段持续 5 s, 在此期间打开 SH1、SH2, 关闭 SH3; 读取阶段持续 0.5 s, 在这期间需要打开 SH1、SH3, 关闭 SH2。如此短的读取过程对全息光栅的影响可以忽略^[20-21]。由表 1 和表 2 可知, HWP2 快轴角度在记录阶段和参考阶段是不一样的, 故将 HWP2 放置在电

表 1 实验参数

Table 1 Experimental parameters

α/β	θ_s	θ_r	Signal wave	Reference wave	Reading wave
8	67°	69°	1.12 <i>p</i> _{-is}	1.12 <i>p</i> _{-is}	1.47 <i>p</i> _{+is}

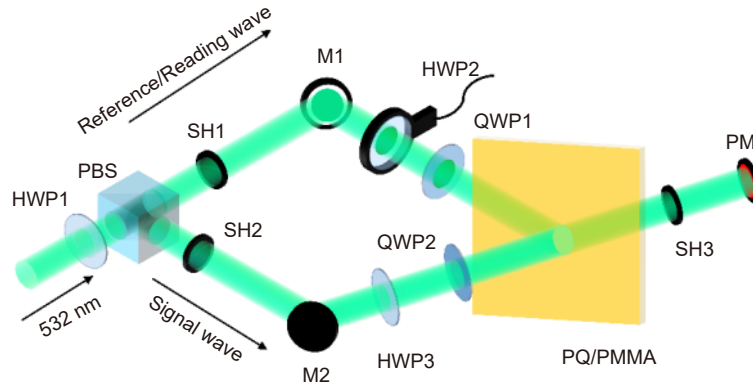


图 2 实验光路示意图。

M: 反射镜; HWP: 半波片; QWP: 四分之一波片; PBS: 偏振分束棱镜;

SH: 电子快门; PM: 功率计; PQ/PMMA: 记录材料

Fig. 2 Schematic diagram of experiment about null reconstruction.

M: mirror; HWP: half wave plate; QWP: quarter wave plate; PBS: polarization beam splitter;

SH: shutter; PM: power meter; PQ/PMMA: recording material.

表 2 波片快轴与水平方向的夹角

Table 2 Angle between fast axis and horizontal direction of wave plate

Signal wave	HWP3	QWP2
	65.9°	90°
Reference wave	HWP2	QWP1
	20.9°	90°
Reading wave	HWP2	QWP1
	-17.2°	90°

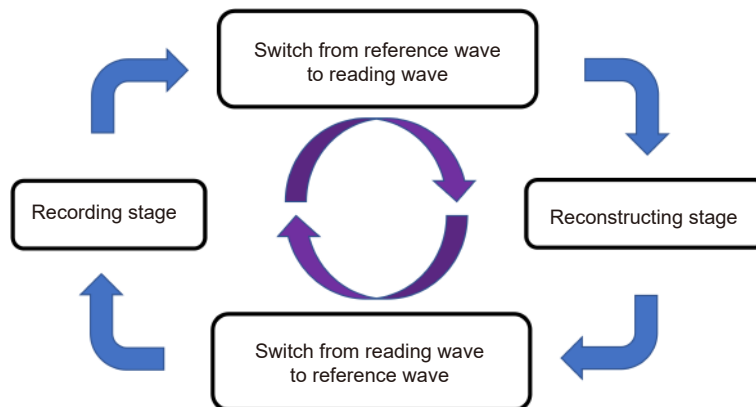


图 3 实验流程图

Fig. 3 Experimental flow chart

动位移旋转台上并由 LabView 程序控制, 以实现对其快轴所处角度的精确控制。实验结果如图 4 所示。

如图 4 所示, 随着曝光时间的增加, 虽然再现光的功率一直在上升, 但是功率一直处于较小值且不为零。实验中环境杂散光的功率在 45 nW 左右浮动。理论上说, 当用满足零再现条件的偏振态进行读取时, 再现光的功率应为零, 当然这在实际情况下是不可能的。但是根据表 1 中的结果, 当用其它偏振态的光读取时, 都不能得到零再现, 也就意味着再现光功率将会增大。因此, 为了进一步确认是否已实现了零再现, 在上述实验结束后, 又进行了一次读取过程。在此过程中, 让 HWP2 的快轴旋转一圈, QWP1 的快轴保持在 90° 不变。此时任意的标准椭圆偏振光将照射在材料上而产生再现光。观察此过程中的功率变化情况, 实验结果如图 5 所示。

图 5 的结果表明, 再现光功率随 HWP2 快轴方

位角的改变呈现周期性的变化, 最大功率为 $130 \mu\text{W}$ 左右。与图 4 的实验结果相比, 用其它偏振态进行读取时, 再现光功率上升幅度十分明显。由前面的理论推导可知, 零再现与读取光的偏振态有关, 而且读取光的偏振态与理论值 $1.47p_{-is}$ 越接近, 其再现光的功率将越低。根据半波片的工作原理, 理论上当 HWP2 快轴方位角为 -17.2° 、 72.8° 、 162.8° 和 252.8° 时, 此时 HWP2 和 QWP1 组合产生的椭圆偏振光的偏振态都是 $1.47p_{+is}$ 。图 5 中再现光功率处于极低值时所对应的快轴方位角分别是 -17.2° 、 73.6° 、 161.7° 和 251° 。综上所述, 虽然用偏振态为 $1.47p_{+is}$ 的光进行读取时再现光功率不为零且一直上升, 但是此时的功率相比于用其他偏振态读取时的功率是非常微弱的, 而且实验中功率极低值所对应的快轴方位角与理论值是非常接近的, 因此可以认为实现了零再现。

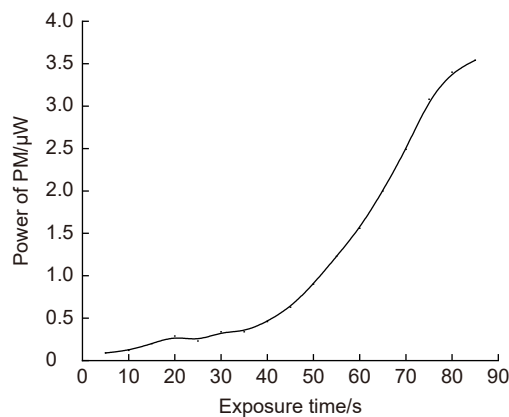


图 4 再现光的功率随曝光时间的增加而变化

Fig. 4 Power of reconstructed wave varying with exposure time

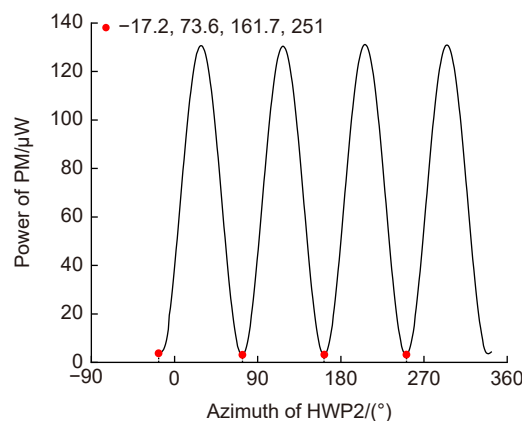


图 5 再现光的功率随 HWP2 方位角改变的变化情况

Fig. 5 Power of reconstructed wave varying with azimuth of HWP2

4 结 论

研究了大角度记录下用相同偏振光记录偏光全息的零再现现象。记录阶段的信号光和参考光是一对偏振态相同的椭圆偏振光, 两者在材料内部的夹角约为 136° 。在读取阶段中, 用理论计算所得的偏振态照射全息图时, 再现光的功率非常微弱; 用其他偏振态进行读取时, 再现光的功率与前者相比最大可上升将近 37 倍。本文验证了张量偏光全息理论的预测, 给出了实现同偏振态记录偏光全息的零再现的条件。

参考文献

- [1] Zhang C L, Zhang D F, Bian Z P. Dynamic full-color digital holographic 3D display on single DMD[J]. *Opto-Electron Adv*, 2021, 4(3): 200049.
- [2] Jiang Z X, Gui J B, Wang G Q, et al. Overview of holographic-compression technology for three-dimensional display[J]. *Laser Optoelectron Prog*, 2019, 56(24): 240001.
姜智翔, 桂进斌, 王国庆, 等. 用于三维显示的全息压缩技术概述[J]. *激光与光电子学进展*, 2019, 56(24): 240001.
- [3] Hui Q N, Duan C L, Feng B, et al. Study of low-noise phase-shifting digital holographic microscopy using a long working distance objective[J]. *Opto-Electron Eng*, 2019, 46(12): 190140.
惠倩楠, 段存丽, 冯斌, 等. 采用长工作距离物镜的低噪声相移数字全息显微研究[J]. *光电工程*, 2019, 46(12): 190140.
- [4] Lin X, Hao J Y, Zheng M J, et al. Optical holographic data storage—The time for new development[J]. *Opto-Electron Eng*, 2019, 46(3): 180642.
林泉, 郝建颖, 郑明杰, 等. 光全息数据存储——新发展时机已至[J]. *光电工程*, 2019, 46(3): 180642.
- [5] Lin X, Liu J P, Hao J Y, et al. Collinear holographic data storage technologies[J]. *Opto-Electron Adv*, 2020, 3(3): 190004.
- [6] Lu F Y, Zheng J H, Wang K N, et al. Electrically controlled holographic varied line-spacing grating based on polymer dispersed liquid crystal[J]. *Opto-Electron Eng*, 2017, 44(3): 351–355.
陆飞跃, 郑继红, 王康妮, 等. 聚合物分散液晶电控全息变间距光栅[J]. *光电工程*, 2017, 44(3): 351–355.
- [7] Kakichashvili S D. Method for phase polarization recording of holograms[J]. *Sov J Quantum Electron*, 1974, 4(6): 795–798.
- [8] Nikolova L, Todorov T. Diffraction efficiency and selectivity of polarization holographic recording[J]. *Opt Acta Int J Opt*, 1984, 31(5): 579–588.
- [9] Kuroda K, Matsuhashi Y, Fujimura R, et al. Theory of polarization holography[J]. *Opt Rev*, 2011, 18(5): 374–382.
- [10] Wang J Y, Tan X D, Qi P L, et al. Linear polarization holography [J]. *Opto-Electron Sci*, 2022, 1(2): 210009.
- [11] Wei R, Zang J L, Liu Y, et al. Review on polarization holography for high density storage[J]. *Opto-Electron Eng*, 2019, 46(3): 180598.
魏然, 臧金亮, 刘颖, 等. 应用于高密度存储的偏光全息技术研究进展[J]. *光电工程*, 2019, 46(3): 180598.
- [12] Xu X M, Zhang Y Y, Song H Y, et al. Generation of circular polarization with an arbitrarily polarized reading wave[J]. *Opt Express*, 2021, 29(2): 2613–2623.
- [13] Huang L, Zhang Y Y, Zhang Q, et al. Generation of a vector light field based on polarization holography[J]. *Opt Letters*, 2021, 46(18): 4542–4545.
- [14] Zheng S J, Liu H J, Lin A Y, et al. Scalar vortex beam produced through faithful reconstruction of polarization holography[J]. *Opt Express*, 2021, 29(26): 43193–43202.
- [15] Huang Z Y, He Y W, Dai T G, et al. Null reconstruction in orthogonal elliptical polarization holography read by non-orthogonal reference wave[J]. *Opt Lasers Eng*, 2020, 131: 106144.
- [16] Shao L, Zang J L, Fan F L, et al. Investigation of the null reconstruction effect of an orthogonal elliptical polarization hologram at a large recording angle[J]. *Appl Opt*, 2019, 58(36): 9983–9989.
- [17] Lin S H, Lin J H, Chen P L, et al. Doped poly (methyl methacrylate) photopolymers for holographic data storage[J]. *J Nonlinear Opt Phys Mater*, 2006, 15(2): 239–252.
- [18] Liu Y, Li Z Z, Zang J L, et al. The optical polarization properties of phenanthrenequinone-doped Poly (methyl methacrylate) photopolymer materials for volume holographic storage[J]. *Opt Rev*, 2015, 22(5): 837–840.
- [19] Wang J Y, Qi P L, Lin A Y, et al. Exposure response coefficient of polarization-sensitive media using tensor theory of polarization holography[J]. *Opt Lett*, 2021, 46(19): 4789–4792.
- [20] Todorov T, Nikolova L, Tomova N. Polarization holography. 1: a new high-efficiency organic material with reversible photoinduced birefringence[J]. *Appl Opt*, 1984, 23(23): 4309–4312.
- [21] Todorov T, Nikolova L, Tomova N. Polarization holography. 2: polarization holographic gratings in photoanisotropic materials with and without intrinsic birefringence[J]. *Appl Opt*, 1984, 23(24): 4588–4591.

作者简介



林阿愿, 男, 2019年毕业于闽江学院, 获理学学士学位; 2019年至今, 就读于福建师范大学光电与信息工程学院。目前硕士研究生三年级在读, 研究方向为偏光全息。

E-mail: 1073912809@qq.com



王瑾瑜, 男, 2019年毕业于福建师范大学, 获工学学士学位; 2021年毕业于福建师范大学, 获工学硕士学位, 研究方向为偏光全息。

E-mail: jinyuwang_fjnu@163.com



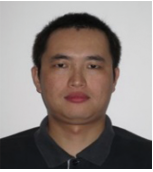
陈宇昕, 男, 2019年毕业于福建师范大学, 获理学学士学位; 2021年毕业于福建师范大学, 获工学硕士学位, 研究方向为偏光全息存储材料。

E-mail: cyx_fjnu@163.com



齐沛良, 男, 2018年毕业于福建师范大学, 获工学学士学位; 2020年毕业于福建师范大学, 获工学硕士学位; 2021年至今, 就读于福建师范大学光电与信息工程学院。目前博士研究生一年级在读, 研究方向为偏光全息。

E-mail: 847866318@qq.com



黄志云, 男, 2000年毕业于南京大学化学系, 获学士学位; 2005年毕业于中国科学院福建物质结构研究所, 获博士学位; 2006年于巴黎理工(Ecole Polytechnique)从事博士后研究。2007年至今, 工作于福建师范大学。研究方向为固体光电子器件和偏光全息。

E-mail: zhiyunhuang@fjnu.edu.cn

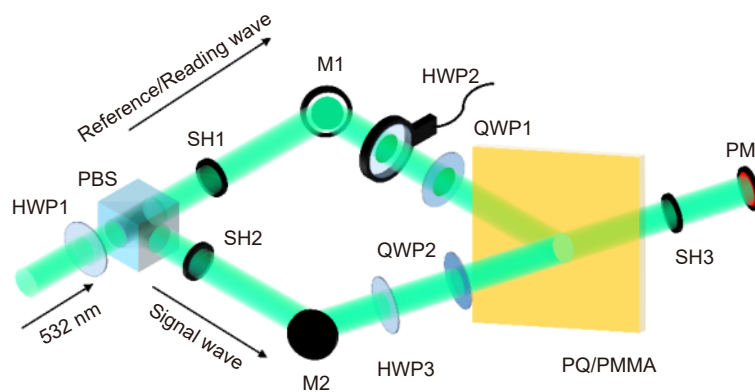


【通信作者】谭小地, 男, 教授, 1984年山东大学理学学士, 1990年北京理工大学工学硕士, 2001年东京大学工学博士。曾任西安工业大学助教和讲师、日本信息系统设计技术担当、OPTWARE高级工程师、SONY公司高级技术分析师和杰出工程师。2012年获国家级引进人才计划回国, 在北京理工大学任教授, 合同期满后, 于2018年到福建师范大学任教授至今。现任国际光学工程学会会士(Fellow), 中国光学学会和中国光学工程学会理事, 美国光学学会高级会员。发表学术论文200多篇、国际会议邀请报告50余次、合作著书1本、已公开专利20多项。曾获国家科技进步三等奖1项。主持国家重点研发计划项目, 主持过国家自然科学基金, 863等项目。研究方向为信息光子学, 在光学信息处理、光信息存储、光学信息显示和光学测量等领域有着长期的理论研究和产品开发经验。

E-mail: xtan@fjnu.edu.cn

Null reconstruction of polarization holography recorded by the same polarized waves

Lin Ayuan¹, Wang Jinyu¹, Chen Yuxin², Qi Peiliang¹, Huang Zhiyun², Tan Xiaodi^{1*}



Schematic diagram of experiment about null reconstruction

Overview: Nowadays, holography has been an important technology in interferometry, information storage and element manufacturing, etc. Holography may be divided into two types. One is the conventional holography, and the other is the polarization holography. The difference between these two types of holography is that the latter records not only the amplitude and phase but also the polarization state because the polarization holography uses polarization-sensitive materials. The recording material is not polarization-sensitive, only the same polarization component contained in both of them is good for the hologram when the signal and reference waves have different polarization states in the recording stage of conventional holography. It is believed that in conventional holography, once the Bragg condition is satisfied, the reconstructed wave can be generated regardless of the amplitude, phase, and polarization state of the reading wave. However, directed by the newly developed tensor polarization holography theory that was proposed in 2011, the reconstructed wave of the polarization holography recorded by the same polarization states may diminish as long as specific conditions are satisfied. The phenomenon is called null reconstruction.

In this work, the light field of the reconstructed wave in polarization holography is derived, where the signal and reference waves of recording stage have the same polarization state. By the obtained expression of the light field, the recording angle, i. e. the angle between the signal, and reference waves, should be obtuse to observe the null reconstruction. Thus, taking the property of the recording material into account, the polarization states of the signal, reference, reading waves, and recording angle are calculated. To get the universal result, the polarization states of all these waves are assumed to be elliptically polarized. Then the experiment is carried out to verify the theoretical result.

In the experiment, the null reconstruction being achieved, the power of the reconstructed wave is lower than several micro watts, while that of ambient light is 45 nW. It seems the reconstructed wave does not diminish. Since the polarization state of the reading wave may affect the power of the reconstructed wave, the polarization state of reading wave will be changed to observe the variation of power of the reconstructed wave. The result shows that the power of the reconstructed wave gets the minimum when and only when the polarization state of the reading wave satisfies the null reconstruction. It confirms that the null reconstruction is obtained and the experimental result agrees well with the theoretical one.

This work implies that the polarization holography can be applied in the fields such as polarization manipulation and information hiding.

Lin A Y, Wang J Y, Chen Y X, et al. Null reconstruction of polarization holography recorded by the same polarized waves[J]. *Opto-Electron Eng*, 2022, 49(5): 210454; DOI: 10.12086/oe.2022.210454

Foundation item: National Key Research and Development Program of China (2018YFA0701800), and Project of Fujian Province Major Science and Technology (2020HZ01012).

¹Information Photonics Research Center, College of Photonic and Electronic Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350117, China; ²Key Laboratory of Opto-Electronic Science and Technology for Medicine of Ministry of Education, Fujian Provincial Key Laboratory of Photonics Technology, Fujian Provincial Engineering Technology Research Center of Photoelectric Sensing Application, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350117, China

* E-mail: xtan@fjnu.edu.cn