

光纤通信波段强度差压缩态光场的实验制备

霍美如¹, 秦际良¹, 孙颖榕¹, 成家霖¹, 闫智辉^{1,2}, 贾晓军^{1,2†}

(1. 山西大学 光电研究所, 山西 太原 030006; 2. 山西大学 极端光学协同创新中心, 山西 太原 030006)

摘要: 强度差压缩态光场是指两束光场的强度差起伏低于对应量子噪声极限的非经典光场, 由于其两束子模具有较强的强度关联而被用于量子成像、量子随机数产生技术中, 此外, 又由于其光场强度远高于压缩态光场、纠缠态光场等非经典光场而被广泛用于量子高灵敏测量中。本文利用运转于阈值以上的非简并光学参量振荡器制备了 1.3 μm 强度差压缩态光场, 它作为一种双色关联光场可以为制备多色纠缠态光场以及开展量子计算奠定基础。

关键词: PPKTP; type-II 准相位匹配; 强度差压缩态光场

中图分类号: O436

文献标识码: A

文章编号: 1007-6654(2018)02-0134-07

0 引言

强度差压缩态光场是一种信号光和闲置光光束的强度差起伏低于对应量子噪声极限 (Quantum Noise Limit, QNL) 的非经典光场, 由于它具有比单模压缩态光场更强的光强度、实验制备简单和测量方便而在高灵敏测量^[1-3]方面具有广泛的用途。此外, 由于强度差压缩态光场信号光和闲置光之间的量子强度关联, 可以被有效地用于量子成像^[4]、量子随机数产生^[5-6]中。量子成像^[4]比经典成像具有更高的信噪比, 成像质量更好因而在航空航天等军事领域具有重要应用。随机数可以运用在密集编码、统计分析和数值模拟等领域中。随机数分为真随机数和假随机数两种, 真随机数是基于无法预测的量子物理过程产生的, 是安全、可信赖的, 完全随机的, 而假随机数是利用一些既成的算法产生的。借助强度差关

联光束强度噪声随机性可以同时产生两组量子随机数, 其随机性可以通过所有美国 NIST 关于随机性的检测^[6]。强度差压缩态光场关联光束强度通常在 ~ 10 mW 量级, 其亮度远高于压缩态光场和纠缠态光场 (通常只有几十微瓦), 因此被广泛用于亚散粒噪声极限调制吸收测量^[1]、微弱信号的恢复^[2]以及微弱吸收的测量^[3]中。1999 年, 山西大学光电研究所利用强度差压缩态光场进行量子非破坏测量^[7], 得到的结果满足所有量子非破坏测量判据。强度差压缩态光场关联光束的光学频率是近简并的, 这使得该关联光束天然地成为一种双色量子光源^[8-11], 一方面它可以直接用于多色量子信息网络的构建, 另一方面它可以用来制备多色量子光源, 用于连接不同的量子系统, 从而间接用于构建量子信息网络^[12-14]。

随着量子光学技术的不断发展, 远距离的量子

② 收稿日期: 2018-01-05; 接受日期: 2018-03-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (2016YFA0301402); 国家自然科学基金 (11474190; 61775127; 11654002); 青年三晋学者和山西省“1331 工程”重点学科建设计划经费资助的课题

作者简介: 霍美如 (1987-), 女, 山西汾阳人, 博士研究生, 主要从事量子光学、量子信息以及量子通信方面的研究, E-mail: shanxidaxuehmr@163.com

† 通信作者: 贾晓军, E-mail: jiaxj@sxu.edu.cn

子测量和量子成像将成为新的研究目标,因此关于通信波段强度差压缩态光场的实验制备具有重要意义。1.31 μm 是光纤低损耗传输窗口之一,众所周知非经典光场如压缩态光场和纠缠态光场,对光学损耗特别敏感,三束波长分别为 1.06 μm、1.31 μm 和 1.55 μm 的具有低于对应 QNL 5 dB 的压缩态光场,经过 5 km 光纤后,由于光学损耗在一定程度上破坏了非经典光场的量子特性,三个波段最初 5 dB 的压缩态光场对应变为 1 dB、2.6 dB 和 3.4 dB 的压缩态光场。这是因为三个波段的光场在光纤中传输过程中经历的光学损耗不同,1.06 μm、1.31 μm、1.55 μm 波段的光场在光纤中传输的光学损耗分别约为 1 dB/km、0.35 dB/km、0.2 dB/km^[15,16]。这里未考虑由光纤引入的其他额外噪声。1.31 μm、1.55 μm 波段的光场在光纤中传输的光学损耗远低于 1.06 μm 波段光场的传输损耗。虽然 1.31 μm 波段的光场光纤传输损耗与 1.55 μm 波段的光场相比较,但是 1.31 μm 光场的相散效应远低于 1.55 μm

光场。相散效应会在光纤中引入相位噪声,对于光纤通信十分不利,因此,1.3 μm 波段的非经典光场在光纤量子通信方面有其独特的优越性^[17-18]。

本文利用带有 II 类周期极化磷酸氧钛钾 (Periodically Poled KTiOPO₄, PPKTP) 晶体的运转于阈值以上的非简并光学参量振荡器 (Non-degenerate Optical Parametric Oscillator, NOPO) 制备了 1.3 μm 波段强度差压缩态光场,并对其分析频率 3 MHz 处的时域信号和频域信号进行测量,得到低于对应 QNL 8.2 ± 0.2 dB 的测量结果。

1 光学参量转化过程

由周期极化晶体 PPKTP 构成光学参量放大器的结构及其相位匹配关系如图 1 所示,其中, a_j ($j=0, 1, 2$) 和 k_j 分别表示泵浦光、信号光和闲置光的光模式和波矢,上标 y 和 z 分别对应 PPKTP 晶体的 y 和 z 轴。 K_g^{\parallel} 是 II 类准相位匹配过程的周期极化矢。

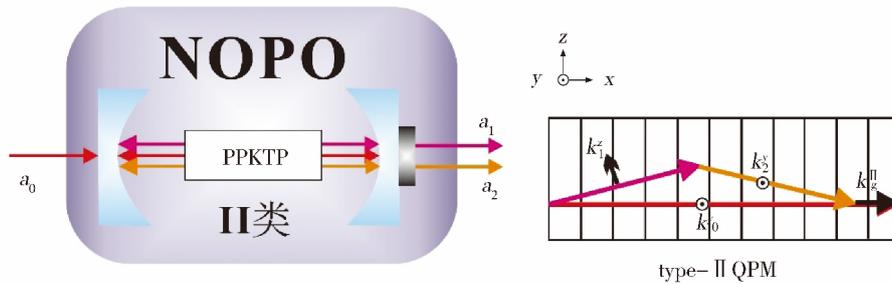


Fig. 1 Optical parametric conversion and quasi-phase-matching of pump, signal, and idler in PPKTP crystal

图 1 光学参量转化过程以及 PPKTP 晶体中泵浦光、信号光和闲置光的准相位匹配

当 NOPO 运转于阈值以上,即注入泵浦光的功率高于 NOPO 运转阈值时,泵浦光 a_0 下转换产生孪生光束信号光 a_1 和闲置光 a_2 ,该过程中三束光满足的准相位匹配关系可以表示为^[19]:

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \omega_1 + \omega_2, \\ k_0^y &= k_1^y + k_2^y + K_g^{\parallel} \end{aligned} \quad (1)$$

其中第一个表达式为能量守恒关系式,第二个表达式为动量守恒关系式,描述了 NOPO 内的泵浦光下转换产生的信号光与闲置光的参量转化过程:一束水平偏振(对应 PPKTP 晶体 y 轴方向)

的泵浦光下转换为一束竖直偏振(对应 PPKTP 晶体 z 轴方向)的信号光和一束水平偏振的闲置光,下转换的两束光频率近简并,具有强度关联。

光场强度分量 $\hat{I} = \hat{X}^2$, 双模压缩态光场两模强度差分量噪声可以表示为^[20]:

$$\langle \Delta^2 \hat{I}_- \rangle = \langle \Delta^2 (\hat{I}_a - \hat{I}_b) \rangle = \langle \Delta^2 \hat{N}_a \rangle + \langle \Delta^2 \hat{N}_b \rangle - 2 \langle \hat{a}^+ \hat{a} \hat{b}^+ \hat{b} \rangle + 2 \langle \hat{a}^+ \hat{a} \rangle \langle \hat{b}^+ \hat{b} \rangle \quad (2)$$

假设两模强度相同: $|\hat{a}_a|^2 = |\hat{a}_b|^2 = |\hat{a}|^2$, 其强度差分量起伏可以表示为: $\langle \Delta^2 \hat{I}_- \rangle \approx 2 |\hat{a}|^2 e^{-2r}$ 。

2 实验制备过程

强度差压缩态光场可以通过两种方法实验获得,一种是基于光和原子相互作用,通过四波混频过程获得,另一种是基于光学参量过程,利用运转于阈值以上的 NOPO 来获得。强度差压缩态光场于 1987 年由 Fabre C 等人首次实验制备得到,他们利用运转于阈值以上的双模光学参量振荡器(Optocal Parametric Oscillator, OPO)得到低于对应 QNL 30%的宽带强度差压缩态光场^[21]。利用在原子系综中四波混频的方法,人们已经成功获得了⁸⁵Rb 和⁸⁷Rb 原子 D1 和 D2 吸收线的强度差压缩态光场^[22]。利用四波混频的方法获得的强度差压缩态光场,其波长能够与原子跃迁吸收和释放的光子频率相匹配,能更好地用于光和原子相互作用。而利用光学参量过程的

方法实验制备强度差压缩态光场,装置简单,容易操作,实验条件容易控制,因而也被广泛使用。早在 1998 年,郜江瑞教授等人就利用光学参量过程的方法实验制备得到 1 039 nm 和 1 090 nm 波长的孪生光束,压缩度高达 9.2 dB^[23]。

图 2 为光纤波段强度差压缩态光场的实验产生及探测系统。光源是 Nd:YVO4/LBO 激光器,输出 671 nm 和 1 342 nm 两个波长,输出功率对应 1 342 nm 红外光为 850 mW,671 nm 红光为 2.8 W^[24]。激光器的单频运转由一个两镜 Fabry-Perot (F-P)腔监视。激光器输出的两束光用一个双色分束器分开,分开的两束光分别经过两个模式清洁器,对光束的空间模式以及额外噪声进行一定程度的过滤,最后将模式清洁器腔长锁定可以分别输出功率稳定的红光和红外光相

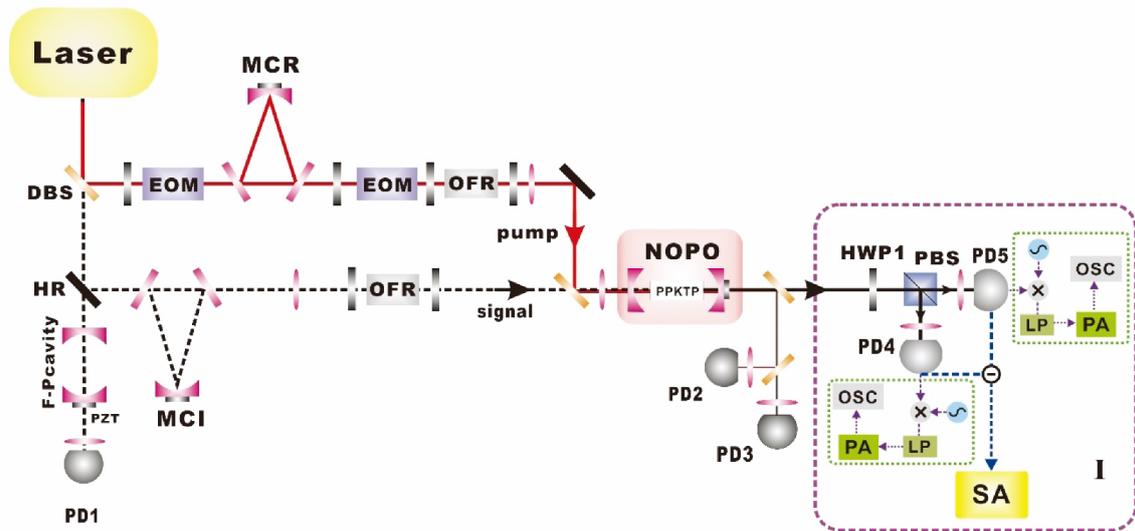


Fig. 2 Experimental generation and detection system of intensity difference squeezed state of light
 Laser: Nd:YVO4/LBO; DBS: dichroic beam splitter; HR: mirror with reflectivity higher than 99.95%;
 EOM: electro-optical modulator; MCR (MCI): mode-cleaner for red beam (infrared beam);
 OFR: optical Faraday rotator; HWP: half-wave plate; PBS: polarization beam splitter;
 BS: 50:50 beam splitter; NOPO: optical parametric oscillator; PD: photoelectric detector;
 PZT: piezoelectric ceramic; SA: spectrum analyzer; LP: low-pass filter;
 PA: low-noise preamplifier; OSC: oscilloscope

图 2 强度差压缩态光场的制备以及探测系统

激光器: Nd:YVO4/LBO; DBS: 双色分束器; HR: 高反镜, 反射率大于 99.95%; EOM: 电光调制器;
 MCR (MCI): 红光模式清洁器 (红外模式清洁器); OFR: 光学法拉第旋转器; HWP: 半波片;
 PBS: 偏振分束棱镜; BS: 50:50 分束器; NOPO: 光学参量振荡器; PD: 光电探测器; PZT: 压电陶瓷;
 SA: 频谱分析仪; LP: 低通滤波器; PA: 低噪声前置放大器; OSC: 示波器

干光束,并且此时光束具有良好的空间模式。红光、红外光模式清洁器精细度分别为 400、300。强度差压缩态光场的产生装置是一个集成在 50 mm×140 mm×80 mm 殷钢材料上的两镜驻波腔,输入输出耦合镜为直径 10 mm 曲率半径 50 mm 的凹面镜。镜子凹面向着腔中心,输入镜镀有对 1 342 nm 红外光反射率 $R>99.8\%$ 以及对 671 nm 红光透射率 $T=20\%$ 的光学薄膜,输出镜镀有对 1 342 nm 红外光透射率 $T=13\%$ 以及对 671 nm 红光反射率 $R>99.9\%$ 的光学薄膜。在该镀膜参数下,精细调节 PPKTP 晶体温度和放置方向、角度或者结合在光学腔中加入补偿元件的方法^[25-29],NOPO 可以实现三共振,即泵浦光、信号光、闲置光同时共振。NOPO 中心放有几何尺寸为 1 mm×2 mm×12 mm 的 PPKTP 晶体,1,2,12 分别对应晶体在 z 、 y 、 x 轴方向。晶体放在紫铜炉中并在下面连接帕尔贴元件以便对其温度进行准确控制。NOPO 输入输出镜间距调节为 104 mm,此时可以获得 NOPO 最低阈值,约为 103 mW,PPKTP 晶体中心处腰斑约为 46 μm 。强度差压缩态光场实验制备过程中,先完成红外光光束与 NOPO 的模式匹配以及测量光路校准,然后将红光光路与红外光路调节重合,并利用合适的透镜完成红光模式匹配,经过精细地调节 NOPO,我们发现 NOPO 最低阈值可以在 PPKTP 晶体处于室温时达到,因此取该温度为晶体工作温度制备非经典光场。为了得到稳定输出的强度差压缩态光场,我们利用电光调制器(Electro-optic modulator, EOM)给红光加载调制来产生误差信号,从而利用 Pound-Drever-Hall 技术^[30]将 NOPO 腔长锁定,锁定原理如图 3 所示。光电探测器(PD2, 3)用来监视红光、红外光与 NOPO 的匹配模式,PD2^[31]也用来产生 NOPO 腔长锁定的误差信号。当 120 mW 水平偏振的红光注入 NOPO,一束稳定的 10 mW 的强度差压缩态光场就被制备得到了,我们利用自零拍探测系统对产生光场的强度差噪声功率进行测量,并利用示波器记录了关联光束强度的时域信号,从而完成实验验证。

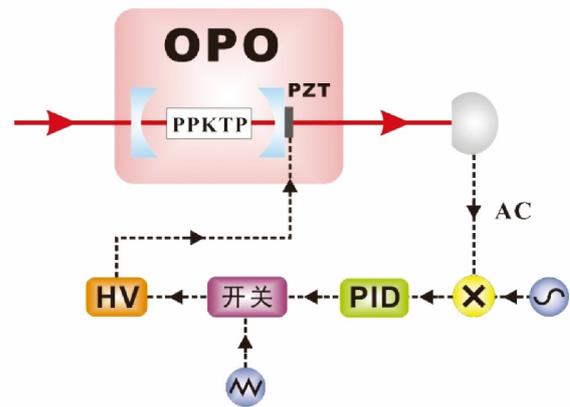


Fig. 3 Picture of optical cavity length locking mechanism
图 3 光学腔长锁定原理图

3 实验结果以及分析

NOPO 输出的孪生光束其强度差噪声功率由安捷伦公司生产的频谱分析仪(EB4411, Agilent)记录,测量信号是 PD4 和 5 输出的交流信号相减以后的信号,如图 2 测量系统 I 中蓝色虚线连接所示,PD4 和 5 是实验室自行研制的光电探测器。由图 4 可以看出,在分析频率 3 MHz 处,我们得到了低于对应 QNL 8.2±0.2 dB 的强度差压缩态光场。RBW 和 VBW 参数分别设置为 30 kHz、100 Hz。具体测量如图 2 中紫色虚线框内测量系统 I 所示,当半波片(HWP1)转为 22.5°(波片轴与偏振轴之间的夹角)时,我们将

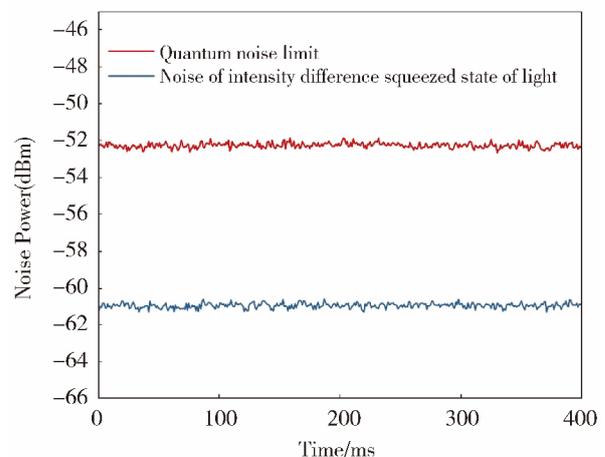


Fig. 4 Noise spectrum of intensity difference squeezed state of light at analysis frequency of 3 MHz
图 4 强度差压缩态光场在分析频率 3 MHz 处的噪声谱

产生的非经典光场导入测量系统中得到对应 QNL, 此时, 半波片和偏振分束棱镜组合相当于一个 50 : 50 分束器; 当 HWP1 转为 0° , 也就是说半波片没有对产生的光场的偏振作任何改变, 因此我们测量得到强度差压缩态光场的噪声功率^[21]。值得注意的是, 该测量方法不需要本地振荡光, 操作简单易行。

强度差压缩态光场在分析频率 3 MHz 处的强度关联的时域信号测量如图 2 测量系统 I 中绿色虚线框所示, PD4 和 5 输出的交流信号分别和频率为 3 MHz 的正弦信号混频并经过低通滤波、前置放大然后输出到示波器, 利用示波器两个通道同时记录得到如图 5 所示的测量结果, 可以明显看出, 两关联光束强度之间存在正关联。

4 结论

本文利用运转于阈值以上非简并光学参量振荡器制备了光纤通信波段强度差压缩态光场, 在分析频率 3 MHz 处对其进行测量, 得到低于对应 QNL 8.2 ± 0.2 dB 的结果。该光场具有较强

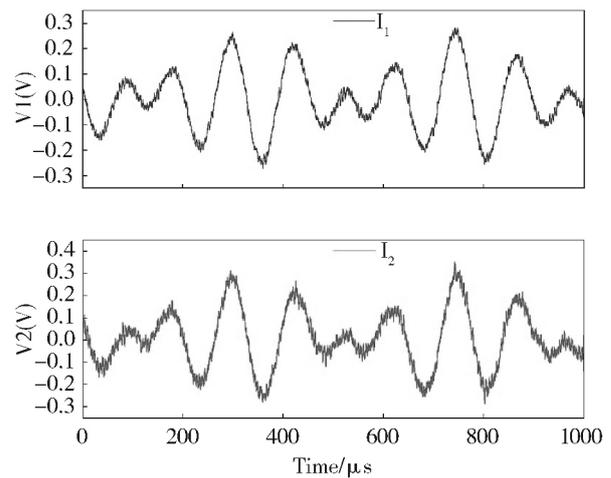


Fig. 5 Intensity correlation of intensity difference squeezed state of light at analysis frequency of 3 MHz

图 5 强度差压缩态光场在分析频率 3 MHz 处的强度关联

的量子关联, 可以用于量子随机数产生、量子成像以及量子高灵敏测量等量子技术中, 并且其子光束频率不简并, 提供了一种双色量子光源, 能够在多色量子光源制备以及量子计算中发挥重要作用。

参考文献:

- [1] Ribeiro P H S, Schwob C, Matre A, *et al.* Sub-shot-noise High-sensitivity Spectroscopy with Optical Parametric Oscillator Twin Beams[J]. *Opt Lett*, 1997, **22**:1893. DOI:10.1364/OL.22.001893.
- [2] Nabors C D, Shelby R M. Two-color Squeezing and Sub-shot-noise Signal Recovery in Doubly Resonant Optical Parametric Oscillators[J]. *Phys Rev A*, 1990, **42**:556. DOI:10.1103/PhysRevA.42.556.
- [3] Kennedy T A B. Quantum Theory of Cross-phase-modulational Instability: Twin-beam Correlation in a $\chi(3)$ Process[J]. *Phys Rev A*, 1991, **44**:2113. DOI:10.1103/PhysRevA.44.2113.
- [4] Brida G, Genovese M, Ruo I, Berchera, Experimental Realization of Sub-shot-noise Quantum Imaging[J]. *Nat Photon*, 2010, **4**:227. DOI:10.1038/NPHOTON.2010.29.
- [5] Lunghi T, Brask J B, Lim C C W, *et al.* Self-testing Quantum Random Number Generator[J]. *Phys Rev Lett*, 2015, **114**:150501. DOI:10.1103/PhysRevLett.114.150501.
- [6] Zhang Q, Deng X W, Tian C X, *et al.* Quantum Random Number Generator Based on Twin Beams[J]. *Opt Lett*, 2017, **42**:895. DOI:10.1364/OL.42.000895.
- [7] Wang H, Zhang Y, Pan Q, *et al.* Experimental Realization of a Quantum Measurement for Intensity Difference Fluctuation Using a Beam Splitter[J]. *Phys Rev Lett*, 1999, **82**:1414. DOI:10.1103/PhysRevLett.82.1414.
- [8] Jing J, Feng S, Bloomer R, *et al.* Experimental Continuous-variable Entanglement from a Phase-difference-locked Optical Parametric Oscillator[J]. *Phys Rev A*, 2006, **74**:041804. DOI:10.1103/PhysRevA.74.041804.
- [9] Villar A S, Cruz L S, Cassemiro K N, *et al.* Generation of Bright Two-Color Continuous Variable Entanglement[J]. *Phys Rev Lett*, 2005, **95**:243603. DOI:10.1103/PhysRevLett.95.243603.

- [10] Su X L, Tan A H, Jia X J, *et al.* Experimental Demonstration of Quantum Entanglement between Frequency-nondegenerate Optical Twin Beams[J]. *Opt Lett*, 2006, **31**:1133. DOI:10.1364/OL.31.001133.
- [11] Li Y, Guo X, Bai Z, *et al.* Generation of Two-color Continuous Variable Quantum Entanglement at 0.8 and 1.5 μm [J]. *Appl Phys Lett*, 2010, **97**:031107. DOI:10.1063/1.3467045.
- [12] Coelho A S, Barbosa F A S, Cassemiro K N, *et al.* Three-Color Entanglement[J]. *Science*, 2009, **326**:823. DOI:10.1126/science.1178683.
- [13] Jia X J, Yan Z H, Duan Z Y, *et al.* Experimental Realization of Three-Color Entanglement at Optical Fiber Communication and Atomic Storage Wavelengths[J]. *Phys Rev Lett*, 2012, **109**:253604. DOI:10.1103/PhysRevLett.109.253604.
- [14] Villar A S, Martinelli M, Fabre C, *et al.* Direct Production of Tripartite Pump-Signal-Idler Entanglement in the Above-Threshold Optical Parametric Oscillator [J]. *Phys Rev Lett*, 2006, **97**:140504. DOI:10.1103/PhysRevLett.97.140504.
- [15] Bachor H A, Ralph T C. A Guide to Experiments in Quantum Optics (Wiley VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004) [M]. p. 258.
- [16] Hou F Y, Yu L, Jia X J, *et al.* Experimental Generation of Optical Non-classical States of Light with 1.34 μm Wavelength[J]. *Eur Phys J D*, 2011, **62**:433. DOI:10.1140/epjd/e2011-20036-1.
- [17] Zheng Y H, Wu Z Q, Huo M R, *et al.* Generation of a Continuous-wave Squeezed Vacuum State at 1.3 μm by Employing a Home-made All-solid-state Laser as Pump Source[J]. *Chin Phys B*, 2013, **22**:094206. DOI:10.1088/1674-1056/22/9/094206.
- [18] 邬志强, 周海军, 王雅君, 等. 利用自制的单频激光器获得近通讯波段正交振幅压缩态光场[J]. *量子光学学报*, 2013, **19**:1-5. DOI:10.3788/ASQO20131901.0001.
- [19] Huo M R, Qin J L, Yan Z H, *et al.* Generation of Two Types of Nonclassical Optical States Using an Optical Parametric Oscillator with a PPKTP Crystal[J]. *Appl Phys Lett*, 2016, **109**:221101. DOI:10.1063/1.4968801.
- [20] 张云. 强度差压缩光的应用及量子信息中非经典光场的产生[D]. 太原: 山西大学, 2000:24.
- [21] Heidmann A, Horowicz R J, Reynaud S, *et al.* Observation of Quantum Noise Reduction on Twin Laser Beams[J]. *Phys Rev Lett*, 1987, **59**:2555. DOI:10.1103/PhysRevLett.59.2555.
- [22] Pooser R C, Marino A M, Boyer V, *et al.* Quantum Correlated Light Beams from Nondegenerate Four-wave Mixing in an Atomic Vapor; the D1 and D2 Lines of 85Rb and 87Rb[J]. *Opt Express*, 2009, **17**:16722. DOI:10.1364/OE.17.016722.
- [23] Gao J R, Cui F Y, Xue C Y, *et al.* Generation and Application of Twin Beams from an Optical Parametric Oscillator Including an a-cut KTP Crystal[J]. *Opt Lett*, 1998, **23**:870. DOI:10.1364/OL.23.000870.
- [24] Zheng Y H, Wang Y J, Xie C D, *et al.* Single-Frequency Nd:YVO4 Laser at 671 nm With High-Output Power of 2.8 W[J]. *IEEE J Quantum Electron*, 2012, **48**:67. DOI:10.1088/1674-1056/22/9/094206.
- [25] Drever R W P, Hall J L, Kowalski F V, *et al.* Fine Tuning of a Triply Resonant OPO for Generating Frequency Degenerate CV Entangled Beams at Low Pump Powers[J]. *Appl Phys B*, 1983, **31**:97. DOI:10.1007/s00340-008-2986-6.
- [26] Longchambon L, Laurat J, Coudreaux T, *et al.* Non-linear and Quantum Optics of a Type II OPO Containing a Birefringent Element[J]. *Eur Phys J D*, 2004, **30**:279-285. DOI:10.1140/epjd/e2004-00090-6.
- [27] Ma Y H, Mu Q X, Yang G H, *et al.* Enhanced Continuous-variable Entanglement by a Self-phase-locked Type-II Optical Parameter Oscillator with Feedback Loops [J]. *J Phys B: At Mol Opt Phys*, 2008, **41**:215502. DOI:10.1088/0953-4075/41/21/215502.
- [28] Keller G, D'Auria V, Treps N, *et al.* Experimental Demonstration of Frequency-degenerate Bright EPR Beams with a Self-phase-locked OPO[J]. *Opt Express*, 2008, **16**:9351. DOI:10.1364/OE.16.009351.
- [29] Laurat J, Coudreaux T, Keller G, *et al.* Effects of Mode Coupling on the Generation of Quadrature Einstein-Podolsky-

- Rosen Entanglement in a Type-II Optical Parametric Oscillator below Threshold[J]. *Phys Rev A*, 2005, **71**:022313. DOI:10.1103/PhysRevA.71.022313.
- [30] Drever R W P, Hall J L, Kowalski F V, *et al.* Laser Phase and Frequency Stabilization Using an Optical Resonator[J]. *Appl Phys B*, 1983, **31**:97. DOI: 10.1007/BF00702605.
- [31] Qin J L, Yan Z H, Huo M R, *et al.* Design of Low-noise Photodetector with a Bandwidth of 130 MHz Based on Transimpedance Amplification Circuit[J]. *Chin Opt Lett*, 2016, **14**:122701. DOI: 10.3788/COL201614.122701.

Generation of Intensity Difference Squeezed State of Light at Optical Fiber Communication Wavelength

HUO Mei-ru¹, QIN Ji-liang¹, SUN Ying-rong¹, CHENG Jia-lin¹,
YAN Zhi-hui^{1,2}, JIA Xiao-jun^{1,2*}

(1. State Key Laboratory of Quantum Optics and Quantum Optics Devices,
Institute of Opto-Electronics, Shanxi University, Taiyuan 030006, China;

2. Collaborative Innovation Center of Extreme Optics, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: Because of the two sub-modes possessing strong quantum correlation, intensity difference squeezed state of light is utilized in quantum imaging and quantum random number generation technique. Moreover, it is widely used in quantum high sensitivity measurement due to its higher intensity than that of other nonclassical optical states like squeezing and entanglement. In this paper, an intensity difference squeezed state of light at wavelength of 1.3 μm has been generated by a non-degenerate optical parametric oscillator. As a kind of two-color correlated optical state, it can be applied in generation of multi-color entanglement and pave the way to quantum computation.

Key words: PPKTP; type-II QPM; intensity difference squeezed state of light