

高亮度频率非简并纠缠态光场的制备与检测

苏晓龙 谭爱红 贾晓军 潘庆 谢常德 彭堃堃

(山西大学光电研究所 量子光学与光量子器件国家重点实验室, 太原 030006)

摘 要 利用运转于阈值以上的非简并光学参量振荡器, 制备了强度高达 22 mW 的频率非简并纠缠态光场。用不等臂马赫-曾德尔干涉仪所测得的正交振幅与正交相位的量子关联度分别为 1.25 dB 和 0.60 dB。该方法提供了制备和检测频率可调谐高亮度纠缠态光场的有效途径。

关键词 孪生光束; 不等臂马赫-曾德尔干涉仪; 量子纠缠

近年来, 连续变量量子信息引起广泛关注, 纠缠态光场在量子离物传态、量子密集编码、量子保密通信等量子信息系统中起着至关重要的作用。迄今为止, 工作于振荡阈值以下的简并或非简并光学参量放大器普遍应用于产生连续波量子纠缠光束。理论研究表明工作于阈值以上的光学参量振荡器所产生的频率非简并孪生光束之间也存在量子纠缠^[1], 它为我们提供了一种产生可调谐高亮度量子纠缠光束的新方法。具有较高强度的纠缠态光场易于操控和检测, 可方便地应用于量子通讯系统。

早在上世纪末, 几个研究组分别产生了高亮度孪生光束, 并用自零拍探测装置测量了强度量子关联, 但均未研究正交相位关联, 因此其量子纠缠特性未得到实验证实^[2]。直到 2005 年, 巴西一个研究组才采用扫描一对环形分析腔的方法测量了不同频率的孪生光束之间的相位关联^[3]。几乎在同时, 我们实验室用工作于阈值以上的光学参量振荡器产生了强度为 22 mW 的频率非简并纠缠态光场, 用不等臂马赫-曾德尔(M-Z)干涉仪^[4]测量了正交振幅与正交相位的关联噪声功率谱, 证实了光场的量子纠缠特性^[5]。

在一定的边带频率下, 不等臂 M-Z 干涉仪可以将相位噪声转化为振幅噪声。当置于干涉仪入射镜之前的 $\lambda/2$ 波片角度为 22.5° 时, 光束能量等分且分别通过干涉仪的长臂和短臂传输, 若边带频率($\Omega=2\pi f$)的相移 $\theta(\theta=\Omega \Delta L/c)$ 为 π , 且通过短臂和长臂的两束光场的相对光学相移为 $\varphi=\pi/2+2k\pi$ (k 为整数)时, M-Z 干涉仪输出光场的和与差光电流分别为散粒噪声基准和输入场正交相位噪声。当 $\lambda/2$ 波片角度为 0° (或 45°) 时, 光束全部通过干涉仪的短臂传输, 则 M-Z 干涉仪输出光场的和与差光电流分别为光场的振幅噪声和相应的散粒噪声基准。我们的测量频率选定在 20 MHz, 因此两臂光程差 $\Delta L=7.5$ m 时, 相移 $\theta=\pi$ 。

高强度纠缠态光场产生系统如图 1 所示。用自制的连续波内腔倍频频激光器输出的波长为 540nm 激光, 抽运由 II 类匹配 KTP 晶体构建的光学参量振荡器, 在阈值以上

产生明亮的下转换信号与闲置光束——孪生光束。由于所产生的孪生光束偏振相互垂直, 可以用偏振分束器(PBS)将之分离。用两个不等臂 M-Z 干涉仪分别测量信号光和闲置光的正交振幅和正交相位分量, 再将各自的测量结果相加或相减, 即可测定相应的关联方差。

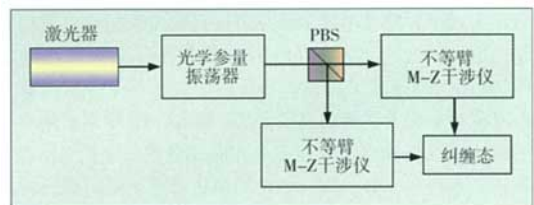


图 1 高强度纠缠态光场产生系统

当光学参量振荡器的抽运功率为 230mW (阈值为 120 mW) 时, 产生了总功率为 22 mW 的高强度孪生光束, 其信号光和闲置光的波长分别为 1080.215 nm 和 1079.130 nm。分析频率为 20 MHz 时, 实验测得正交振幅与正交相位关联度分别为 1.25 dB 和 0.60 dB。扣除电子学噪声基底(低于散粒噪声基准约 3.9 dB)以及不完善探测效率的影响, 实际的关联度分别为 2.58 dB 和 1.05 dB。从而孪生光束的振幅与相位关联噪声之和为 1.332, 小于相应的散粒噪声基准 2, 满足量子纠缠判据。

参考文献

- 1 Fabre C et al.. *J. Phys. France*, 1989, **50**, 1209
- 2 Ribeiro Souto P H et al.. *Opt. Lett.*, 1997, **22** (24):1893~1895; Gao J R et al.. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(11):870~872
- 3 Villar A S et al.. *Phys. Rev. Lett.*, 2005, **95**, 243603
- 4 Glöckl O et al.. *Opt. Lett.*, 2004, **29**(16):1936~1938
- 5 Su X L et al.. *Opt. Lett.*, 2006, **31**(18):1133~1135

基金项目: 国家自然科学基金(60238010, 60378014)

联系作者: 苏晓龙, E-mail: suxl@sxu.edu.cn

高亮度频率非简并纠缠态光场的制备与检测

作者: [苏晓龙](#), [谭爱红](#), [贾晓军](#), [潘庆](#), [谢常德](#), [彭堃堃](#)
作者单位: [山西大学光电研究所, 量子光学与光量子器件国家重点实验室, 太原, 030006](#)
刊名: [激光与光电子学进展](#) 
英文刊名: [LASER & OPTOELECTRONICS PROGRESS](#)
年, 卷(期): 2007, 44 (2)

参考文献(6条)

1. [Fabre C](#) [查看详情](#) 1989
2. [Ribeiro Souto P H](#) [查看详情](#)[外文期刊] 1997(24)
3. [Gao J R](#) [Generation and application of twin beams from an optical parametric oscillator including an alpha-cut KTP crystal](#)[外文期刊] 1998(11)
4. [Villar A S](#) [查看详情](#) 2005
5. [Gl\(o\)ckl O](#) [Sub-shot-noise phase quadrature measurement of intense light beams](#)[外文期刊] 2004(16)
6. [Su X L](#) [查看详情](#)[外文期刊] 2006(18)

引用本文格式: [苏晓龙](#). [谭爱红](#). [贾晓军](#). [潘庆](#). [谢常德](#). [彭堃堃](#) [高亮度频率非简并纠缠态光场的制备与检测](#)[期刊论文]-[激光与光电子学进展](#) 2007(2)