

优于 12 dB 压缩态光场的产生与观察

黎永青 印建平* 王育竹

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

压缩态、振幅压缩态和非经典相关态光场等均为非经典光场。压缩态体现着光场的一种新的量子特性, 对它的研究有着重大的科学意义; 而且因其电场正交相分量之一的量子噪声可低于散粒噪声极限 (shot noise limit 简称 SNL) 在光通信、光计算机、光学精密测量及光谱学、非线性光学中有着十分诱人的应用前景。

继非经典相关态光场产生与观察后, 最近作者采用负反馈半导体激光器和平衡零拍探测器成功地产生并观察到了低于散粒噪声极限以下 12 dB 的压缩态光场。本文所报道的产生压缩态光场的实验方案不同于业已报道的参量产生方案 (如参量转换、四波混频等): 首先实验利用半导体激光器作光源, 经分束器将很少一部分光作为信号光束, 而其主要部分光作为本振光束。没有用到光学腔, 强泵浦光和非线性材料; 其次, 采用了信号光场量子涨落的负反馈技术获得了宽带大压缩量的压缩态光场, 而且光学损耗已不成为限制压缩量提高的主要因素。

实验中所用光源为 Sharp LT-015 MD 型单模半导体激光器, 直流驱动电流为 68 mA, 波长 $\lambda = 0.83 \mu\text{m}$, 微量子效率约为 1.9 mW/mA。信号光场二个正交相分量的量子涨落采用平衡零拍探测器测量, 它由 50%~50% 分束器和两个 Si-PIN 光电二极管 (量子效率大于 85%)、低噪声差分放大器以及射频频谱分析仪等组成。其中低噪声差分放大器输出的噪声除用于频谱分析测量外, 还经反馈回路反馈至半导体激光器的驱动电源, 以控制激光器的光子发射。反馈回路由另一个低噪声隔离放大器、相移器和隔直流电容等组成, 其反馈总增益约在 40~50 dA 可内调。

散粒噪声极限的标定是通过挡住信号光束, 并精确平衡了本振光束的剩余噪声后测量的, 此时反馈增益对平衡探测器观察到的噪声电平没有影响, 相应的散粒噪声极限标定误差优于 $\pm 1\%$ 。此外, 本振光的位相变化是通过压电陶瓷扫描来实现的。

当信号光束引入平衡零拍探测器, 并闭合反馈回路时, 即可产生并观察到光学压缩态。实验结果为: 在 0.1~2.5 MHz 频带内均可观察到信号光场某个正交相分量的量子噪声低于散粒噪声极限约为 0.5~12 dB 的噪声压缩, 其中 $f = 0.2 \text{ MHz}$ 处, 噪声压缩量最大, 为 12.4 dB; 当改变本振光束的位相时, 又可观察到压缩光场另一个相分量的量子涨落被膨胀至散粒噪声极限以上 13 dB。实验表明, 本方案装置简单、压缩量大, 压缩频带宽、投资少、占地小, 便于实现、开发与应用研究。