

增大压缩量的一个新途径*

倪颖生 郭光灿

(中国科学技术大学物理系)

提 要

我们找到了增大压缩量的再压缩途径。本文通过对混合型的瞬态 SHG 过程的研究,得到了比单次的瞬态 SHG 过程增大的基模压缩。

关键词: 压缩态, 二次谐波振荡, 再压缩。

1. 引言

压缩态,它相应光场的某一正交分量的噪声比激光的噪声小。这种极低噪声的获得,以增大另一分量的起伏为代价,并不违背测不准原理。这类新噪声特性的非经典光场,可简括为:

$$\begin{aligned} \text{或反之} \quad & : \langle \Delta \hat{P}^2 \rangle : < 0, : \langle \Delta \hat{Q}^2 \rangle : > 0; \\ & : \langle \Delta \hat{P}^2 \rangle : > 0, : \langle \Delta \hat{Q}^2 \rangle : < 0. \end{aligned}$$

其中“:”表示正规排列。利用压缩光进行光通讯,可具有更大的信息传输能力,可应用于高精度计量等^[1]。

再压缩,是将产生压缩态的双光子系统视为压缩变换系统,由相应的压缩参数表征其压缩特性。在相干压缩时,输入相干态 $|\alpha\rangle$,单模输出压缩态是 $s(r_1)|\alpha\rangle$,其中 $s(r) = e^{\frac{r}{2}(\hat{a}^2 - \hat{a}^{\dagger 2})}$ 是压缩算符;再压缩单模输出态是 $s(r_2)s(r_1)|\alpha\rangle$;一般的是 $s(r_2)R(\theta_0)s(r_1)|\alpha\rangle$,其中 $R(\theta_0) = e^{i\omega t \hat{a}^2} = R(2\omega t)$ 表示两个系统间的自由空间延迟。

令 $\hat{Q} = \hat{a} + \hat{a}^\dagger$, $\hat{P} = i(\hat{a}^\dagger - \hat{a})$ 。这个态的涨落是:

$$\left. \begin{aligned} \langle \Delta \hat{Q}^2 \rangle &= e^{-2r_1} (\text{ch } 2r_1 - \cos \theta_0 \text{sh } 2r_1), \\ \langle \Delta \hat{P}^2 \rangle &= e^{2r_1} (\text{ch } 2r_1 + \cos \theta_0 \text{sh } 2r_1). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

2. 瞬态 SHG 过程的压缩

瞬态 SHG 过程通常被如下哈密顿量描述:

$$\hat{H} = \hbar\omega \hat{a}_1^\dagger \hat{a}_1 + 2\hbar\omega \hat{a}_2^\dagger \hat{a}_2 + \hbar g (\hat{a}_1^{\dagger 2} \hat{a}_2 + \hat{a}_2^\dagger \hat{a}_1^2).$$

这个过程的压缩, L. Mandel 在 1982 年曾详细研究过^[2]。在 2ω 模真空输入, ω 模非空输入时,输出基模涨落是:

$$\langle \Delta \hat{Q}_1^2 \rangle = 1 + \langle \hat{a}_1^2 \rangle + \langle \hat{a}_1^{\dagger 2} \rangle + 2\langle \hat{a}_1^\dagger \hat{a}_1 \rangle - (\langle \hat{a}_1 \rangle + \langle \hat{a}_1^\dagger \rangle)^2$$

收稿日期: 1986年6月6日

* 本文为 1986 年全国高校光学科研和教学报告会录用。

$$\left. \begin{aligned}
 & -g^2 t^2 [4\langle \hat{a}_1^{\dagger 2} \hat{a}_1^2 \rangle + 2\langle \hat{a}_1^{\dagger 3} \hat{a}_1 \rangle + 2\langle \hat{a}_1^{\dagger} \hat{a}_1^3 \rangle + \langle \hat{a}_1^2 \rangle + \langle \hat{a}_1^{\dagger 2} \rangle \\
 & - 2(\langle \hat{a}_1 \rangle + \langle \hat{a}_1^{\dagger} \rangle)(\langle \hat{a}_1^{\dagger 2} \hat{a}_1 \rangle + \langle \hat{a}_1^{\dagger} \hat{a}_1^2 \rangle)], \\
 \langle \Delta \hat{P}_1^2 \rangle & = 1 + 2\langle \hat{a}_1^{\dagger} \hat{a}_1 \rangle - \langle \hat{a}_1^2 \rangle - \langle \hat{a}_1^{\dagger 2} \rangle - (\langle \hat{a}_1^{\dagger} \rangle - \langle \hat{a}_1 \rangle)^2 \\
 & - g^2 t^2 [4\langle \hat{a}_1^{\dagger 2} \hat{a}_1^2 \rangle - 2\langle \hat{a}_1^{\dagger 3} \hat{a}_1 \rangle - 2\langle \hat{a}_1^{\dagger} \hat{a}_1^3 \rangle - \langle \hat{a}_1^2 \rangle - \langle \hat{a}_1^{\dagger 2} \rangle \\
 & - 2(\langle \hat{a}_1^{\dagger} \rangle - \langle \hat{a}_1 \rangle)(\langle \hat{a}_1^{\dagger} \hat{a}_1^2 \rangle - \langle \hat{a}_1^{\dagger 2} \hat{a}_1 \rangle)].
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

基模相干输入是 $|\alpha\rangle$, (2) 式为,

$$\left. \begin{aligned}
 \langle \Delta \hat{Q}_1^2 \rangle & = 1 - 2g_1^2 t_1^2 |\alpha|^2 \cos 2\theta_\alpha, \\
 \langle \Delta \hat{P}_1^2 \rangle & = 1 + 2g_1^2 t_1^2 |\alpha|^2 \cos 2\theta_\alpha.
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

其中 $\alpha = |\alpha| e^{i\theta_\alpha}$, t 是晶体通光时间, 输出基模在 t^2 阶是相干压缩, 压缩因子 $r = g^2 t^2 |\alpha|^2 \cos 2\theta_\alpha$.

3. 混合型瞬态 SHG 过程的再压缩

将由第一次瞬态 SHG 过程产生的 2ω 模滤去, ω 模再经历第二次瞬态 SHG 过程。用 (2) 式求所谓的再压缩基模涨落, 此时基模输入是 $R(\theta_0) s(\gamma_1) |\alpha\rangle$ 。求得:

$$\left. \begin{aligned}
 \langle \Delta \hat{Q}_1^2 \rangle & = 1 - 2g_1^2 t_1^2 |\alpha|^2 \cos 2\theta_\alpha \cos \theta_0 - 2g_2^2 t_2^2 |\alpha'|^2 \cos(2\theta_\alpha + \theta_0), \\
 \langle \Delta \hat{P}_1^2 \rangle & = 1 + 2g_1^2 t_1^2 |\alpha|^2 \cos 2\theta_\alpha \cos \theta_0 + 2g_2^2 t_2^2 |\alpha'|^2 \cos(2\theta_\alpha + \theta_0).
 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

其中 $\alpha' = \alpha \operatorname{ch} r_1 + \alpha^* \operatorname{sh} r_1 = |\alpha'| e^{i\theta_\alpha}$, 输出基模在 t^2 阶仍是相干压缩。

很明显, $\langle \Delta \hat{Q}_1^2 \rangle$ 的第二项反映基模的第一次压缩, 第三项反映基模的第二次压缩。在最初的相干输入一定时, 选择延迟 $t = \frac{n\pi}{\omega}$ (n 为整数), 我们得到了此种情况下的最大压缩。

参 考 文 献

- [1] D. F. Walls; *Nature*, 1983, **306**, No. 10 (Nov), 141.
 [2] L. Mandel; *Opt. Commun.*, 1982, **42**, No. 6 (Aug), 437.

A new approach enhancing squeezing

NI YINGSHENG AND GUO GUANCAN

(Department of Physics, University of Science and Technology of China, Hefei)

(Received 6 June 1986)

Abstract

The re-squeezing approach was found to enhance squeezing. In this letter a hybrid transient second harmonic generation processes is discussed and large squeezing of mode ω is obtained.

Key Words: Squeezed state, Second harmonic generation (SHG), re-squeeze.