

泵浦场对吸收介质中的简并参量放大 过程产生的压缩态的影响

李宇舫* 谭维翰 张卫平
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文利用前文^[1]结果,研究了泵浦场的强度,失谐等对压缩量的影响,并给出数值计算结果。
关键词: 压缩态、泵浦场,简并参量放大,吸收介质。

一、引 言

近年来,光的压缩态已成为量子光学中一个引人注目的研究领域,尤其在利用非线性光学过程产生压缩方面,已有许多理论工作,其中,简并参量过程作为实现压缩态的较好途径一直被广泛地研究, Milburn 和 Walls^[2]在考虑了泵浦场的衰减并对泵浦场作了量子化后计算了信号场的压缩,得出了最大压缩量为 1/8 的结论, Wolinsky 和 Carmichael^[3]对简并参量振荡过程所作的研究则表明,如不考虑泵浦场的衰减,原则上可以得到理想的压缩。在他们的工作中,非线性介质都用二阶非线性极化率 $\chi^{(2)}$ 描述,而没有考虑到泵浦场对 $\chi^{(2)}$ 的影响。实际上,对于吸收介质,由于泵浦场对反转粒子数的倒空作用, $\chi^{(2)}$ 应是泵浦场的函数。本文针对上述问题进行了研究,并利用前文结果,对由此产生的对信号场压缩量的影响进行了计算。

二、泵浦场对压缩量的影响

利用文献[1]所给出的模型,并引入衰减项,略去噪声项,便可得到 a, a^+ 的运动方程:

$$\dot{a} = -Ka + sa^+, \quad \dot{a}^+ = -Ka^+ + s^*a. \quad (1)$$

在文献[1]中,我们还得到简并参量放大过程信号场实部和虚部的涨落:

$$\left. \begin{aligned} \langle \Delta x_1^2 \rangle &= \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \left| \frac{s+2K\bar{n}}{K-s} \right| [1 - \exp(-2|K-s|t)], \\ \langle \Delta x_2^2 \rangle &= \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \left| \frac{s-2K\bar{n}}{K+s} \right| [1 - \exp(-2|K+s|t)]. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

显然, $\langle \Delta x_2^2 \rangle$ 被压缩了, 本文着重研究吸收介质中的 $\langle \Delta x_2^2 \rangle$ 及泵浦场的强度, 失谐对它的影响。

收稿日期: 1987年5月4日; 收到修改稿日期: 1988年3月7日

* 现在郑州大学物理系工作。

简并参量放大过程的相互作用能项可写为

$$u = -\frac{p}{\hbar}(E_p + E_s) + \frac{q}{\hbar} E_p E_s, \quad (3)$$

式中 p 为电偶极矩阵元, q 为描述晶体非中心对称性的一个参数, E_p 、 E_s 分别代表泵浦场与信号场。如令

$$\left. \begin{aligned} E_p &= \frac{1}{2} A_p \exp[i(\omega_p t - k_p z)] + c. c., \\ E_s &= \frac{1}{2} A_s \exp[i(\omega_s t - k_s z)] + c. c. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

则

$$\begin{aligned} U &= -\frac{p}{2\hbar} \{A_p \exp[i(\omega_p t - k_p z)] + A_s \exp[i(\omega_s t - k_s z)] + c. c. \\ &\quad + \frac{q}{4\hbar} [A_p A_s e^{-i[(\omega_p + \omega_s)t - (k_p + k_s)z]} + A_p^* A_s^* e^{i[(\omega_p - \omega_s)t + (k_p - k_s)z]} + c. c.]\}. \end{aligned} \quad (5)$$

用类似于文献[4]的处理方法, 解密度矩阵方程, 可得到反转粒子数密度依赖于初始值 Δ_0 和辐射场 R 的稳态解 Δ 和非线性极化强度 P^{NL} 分别为

$$\left. \begin{aligned} \Delta &= \frac{\Delta_0}{1 + 2T_1 R}, \\ P^{NL} &= g_0 f_0 A_p A_s^* \exp\{i[(\omega_s - 2\omega_p)t - (k_s - 2k_p)z]\} \\ &\quad - \frac{g_0 f_0 q}{2p} |A_p|^2 A_s^* A_p \exp\{-i[(\omega_p + \omega_s)t - (k_p + k_s)z]\} \\ &\quad + g_0^* f_0 |A_p|^2 A_s^* \exp[-i(\omega_s t - k_s z)] \\ &\quad - \frac{g_0 f_0 q}{2p} |A_p|^2 A_p^* A_s \exp\{-i[(\omega_p - \omega_s)t - (k_p - k_s)z]\} + c. c. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中 T_1 、 T_2 分别为原子的纵向、横向弛豫时间。 $\delta = T_2(\omega_0 - \omega_p)$ 为泵浦场的归一化失谐, 且有

$$\left. \begin{aligned} g_0 &= \frac{T_2 p^2}{4\hbar^2(1 + i\delta)}, \quad f_0 = \frac{i p^2 T_1 T_2 \Delta_0}{\hbar(1 + 2T_1 R_0)^2(1 + i\delta)}, \\ R &= R_0 + \delta R = \frac{T_2 p^2}{2\hbar^2} \frac{|A_p|^2}{1 + \delta^2} + [\alpha_0 (A_p^* A_s e^{i(\omega_s - \omega_p)t} - \frac{q}{2p} |A_p|^2 A_s^* e^{-i\omega_s t}) + c. c.] \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

将(6)式代入波动方程, 得到吸收介质中的耦合波方程为

$$\left. \begin{aligned} \frac{dA_s}{dz} &= -\frac{\omega_s^2 p^2 \mu_0 \Delta_0 T_2 (1 + \delta^2) (A_p^2 / I_s)}{4\hbar k_s [1 + \delta^2 + (A_p^2 / I_s)]^2} A_s + \frac{\mu_0 q \Delta_0 \omega_s^2 |A_p|^2 A_p}{8k_s \sqrt{T_1 / T_2} I_s^{3/2} [1 + \delta^2 + (A_p^2 / I_s)]^2} A_s^*, \\ \frac{dA_s^*}{dz} &= -\frac{\omega_s^2 p^2 \mu_0 \Delta_0 T_2 (1 + \delta^2) (A_p^2 / I_s)}{4\hbar k_s [1 + \delta^2 + (A_p^2 / I_s)]^2} A_s^* + \frac{\mu_0 q \Delta_0 \omega_s^2 |A_p|^2 A_p^*}{8k_s \sqrt{T_1 / T_2} I_s^{3/2} [1 + \delta^2 + (A_p^2 / I_s)]^2} A_{s0} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

将(8)式与(1)式比较, 并注意到 $(d/dz) = (1/v)(d/dt)$, 可得

$$\left. \begin{aligned} K &= \frac{k_s v \Delta_0 T_2 p^2 (1 + \delta^2) (I_p / I_s)}{4\hbar \epsilon' [1 + \delta^2 + (I_p / I_s)]^2}, \\ s &= \frac{k_s v \Delta_0 q \sqrt{T_2} (1 + \delta^2) (I_p / I_s)^{3/2}}{8\epsilon' \sqrt{T_1} [1 + \delta^2 + (I_p / I_s)]^2}, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

式中 $I_s = (\hbar^2 / T_1 T_2 p^2)$ 是饱和光强。由此可见, 对于吸收介质, K 、 s 均为泵浦场光强和频

率的函数,为便于计算,将此时的(2)式写成

$$\left. \begin{aligned} \langle \Delta x_1^2 \rangle &= \frac{1}{4} + \frac{1}{4} \frac{|s+2K\bar{n}|t}{|K-s|t} [1 - \exp(-2|K-s|t)], \\ \langle \Delta x_2^2 \rangle &= \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \frac{|s-2K\bar{n}|t}{|K+s|t} [1 - \exp(-2|K+s|t)], \\ Kt &= A_0L \frac{(1+\delta^2)(I_p/I_s)}{[1+\delta^2+(I_p/I_s)]^2}, \quad \epsilon t = B_0L \frac{(1+\delta^2)(I_p/I_s)^{3/2}}{[1+\delta^2+(I_p/I_s)]^2}, \\ A_0L &= \frac{k_s A_0 T_s p^2 L}{4\hbar \epsilon'}, \quad B_0L = \frac{k_s q A_0 L}{8\epsilon'} \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

利用(10)式计算了泵浦场强度、失谐的变化对 $\langle \Delta x_2^2 \rangle$ 的影响,得到如图1所示的结果。由图1看到,随着泵浦场强度增加, $\langle \Delta x_2^2 \rangle$ 的值逐渐减小,即压缩量逐渐增大,而当泵浦场的失谐增大时,压缩便迅速减小。

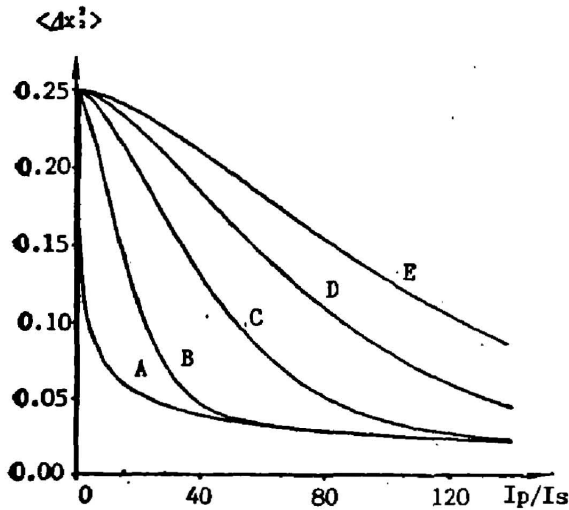


Fig. 1 Influence of detuning on squeezing ($A_0L=1000$, $B_0L=1500$, $\bar{n}=0.3$) Curves A, B, C, D, E corresponding to $\delta=0, 5, 10, 15, 20$. Influence of intensity on $\langle \Delta x_2^2 \rangle$ can be seen in Fig.

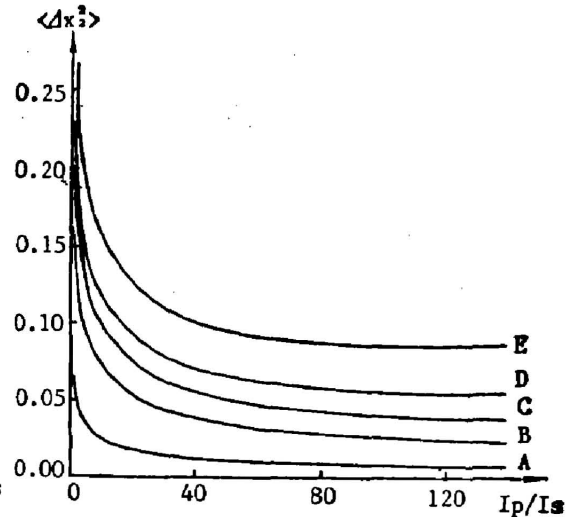


Fig. 2 Various values of A_0L, B_0L give different squeezing ($\delta=0$, $\bar{n}=0.3$) Curves A, B, C, D, E corresponding to $A_0L=20, B_0L=100, 30, 20, 15, 10$

图2给出的是 A_0L, B_0L 的变化对压缩量的影响。 A_0L 和 B_0L 分别描述介质的衰减和非线性,当 $A_0L \ll B_0L$,可得到理想的压缩。

三、结果及讨论

本文对吸收介质中的简并参量放大过程产生的压缩态进行了研究,计算了泵浦光的强度,失谐和介质的衰减及非线性对信号光压缩量的影响,从计算结果看,用于介质共振的高强度泵浦光,高非线性低损耗的介质能得到较好的压缩。

从物理上看,泵浦光和非线性介质的相互作用是导致信号光压缩的原因。因此,加强泵

浦场和介质的相互作用,即增加泵浦强度,减少失谐,增加介质的非线性,减少损耗,有助于得到好的压缩。

参 考 文 献

- [1] Tan Weihan, Li Yufang *et al.*; *Opt. Commun.*, 1987, **64**, No. 2 (Oct), 195.
- [2] G. Milburn, D. F. Walls; *Opt. Commun.*, 1981, **39**, No. 6 (Nov), 401.
- [3] M. Wolinsky, H. J. Carmichael; *Opt. Commun.*, 1985, **55**, No. 2 (Aug), 138.
- [4] 固体激光导论编写组;《固体激光导论》, (上海人民出版社, 1975)。

Influence of pump field on squeezed state generated by degenerative parametric amplifier in absorptive media

LI YUFANG, TAN WEIHAN AND ZHANG WEIPING

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica*)

(Received 4 May 1987; revised 7 March 1988)

Abstract

Making use of the result given in the previous paper, this paper investigates the influence of intensity and detuning of the pump field on squeezing and gives the numerical calculated result.

Key words: squeezed state; pump field; degenerate parametric amplifier; absorptive media.