

# 波导中宽带多束拉曼组束的理论分析研究\*

向世清 楼祺洪 叶震寰 宁东 王之江

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

**提要** 采用宽带受激拉曼散射的量子理论, 提出“点相关原理”, 详细分析了光波导改善宽带多光束拉曼组束效率和光束质量的机制, 从理论上分析了波导参数和光束的初始参数对组束效率和性能的影响, 并利用最新拉曼组束结果给予了点相关原理的正确性讨论。认为“点相关原理”能够更好地解释波导组束的内在机制。

**关键词** 点相关原理, 多光束交叉泵浦, 波导, 宽带拉曼组束

## 1 引言

拉曼组束是在准分子激光器件既主要用于改善光束质量也用于脉冲压缩和增强光束亮度十分有效的技术方法。在组束方案中, 交叉泵浦已从理论和实验上被证明在改善光束质量和降低光学元件破坏可能性上具有更大的优点, 尤其是对大型准分子系统<sup>[1]</sup>。采用波导在弥补交叉泵浦不能获得高的转换效率上也获得好的效果<sup>[2]</sup>。但理论上全面研究波导中宽带多束拉曼组束的工作尚未见到, 文献中仅有简略的定性分析<sup>[1,2]</sup>。因我们正拟进行波导中的多光束组束, 并采用新的正方形波导, 所以理论分析十分必要, 而完成这一工作对普遍的拉曼组束也具有重要意义。

准分子激光/氢气介质拉曼系统泵浦光带宽特征为分离的间断多模式组合, 模式间距大于拉曼介质线宽<sup>[3]</sup>, 是典型的宽带系统。在宽带情形, 组束效率和性能将受方案安排的严重影响。本文从宽带前向受激拉曼散射(SRFS)的量子理论出发, 提出“点相关原理”, 以此详细地研究了光波导改善宽带多光束拉曼组束效率和光束质量的机制, 从理论上分析了波导参数及光束初始参数对组束性能的影响, 然后利用最新的拉曼组束结果给予了正确性讨论, 以指导今后实验工作的展开。

## 2 宽带 SRFS 理论

SRFS 理论至今已获得广泛研究。从对宽带的处理来看, 有相散模型<sup>[4]</sup>、混沌模型<sup>[5]</sup>和多模模型<sup>[6]</sup>, 各自又有半经典理论和量子理论处理, 各有其适用范围。原则上讲, 拉曼放大器可用半经典理论和量子理论处理; 而拉曼发生器则必须用量子理论处理, 因为其起始源自然噪声只能由量子理论才可完整描述。对于准分子激光泵浦的情形, 其宽带特征决定了宜采用多模模型

\* 国家高技术 ICF 领域资助项目。

收稿日期: 1994年11月30日; 收到修改稿日期: 1995年1月20日

来描述。因此,我们这里以多模模型的全量子理论<sup>[6]</sup>为出发点。

在拉曼放大器情形,设  $z$  为斯托克斯光传播方向坐标, $z = 0$  为拉曼腔入口,稳态下与泵浦光第  $n$  模式(幅值  $A_n$ ) 相配对的斯托克斯第  $n$  模式幅值  $E_n(z)$  为

$$E_n(z) = E_n(0) + \xi(z)A_n \quad (1a)$$

$$\xi(z) = (\bar{I}_L)^{-1}(e^{\bar{g}z/2} - 1) \sum_n A_n^* E_n(0) \quad (1b)$$

这里  $\bar{I}_L = \sum_n |A_n|^2$  是泵浦激光强度, $\bar{g} = 2k_1 k_2 \Gamma^{-1} \bar{I}_L$ ,  $k_1$  和  $k_2$  为拉曼介质常数, $\Gamma$  为拉曼线宽。则总的斯托克斯光的时间平均强度为

$$\bar{I}_s(z) = \sum_n |E_n(z)|^2 = \bar{I}_s(0)[1 - \beta(0)] + \bar{I}_s(0)\beta(0)e^{\bar{g}z} \quad (2a)$$

$$\beta(0) = \left| \sum_n A_n^* E_n(0) \right|^2 / \bar{I}_L \bar{I}_s(0) \quad (2b)$$

式中  $\beta$  是衡量泵浦光束与入射斯托克斯波间的初始模式幅度和相位时间相关(以下简称相关)的量。对(2a),若  $\beta(0) = 1$ ,即两波初始完全相关,则  $\bar{I}_s(z)$  同于单色泵浦,宽带效应可被忽略;若  $\beta(0) < 1$ ,两波初始不完全相关,则  $\bar{I}_s(z)$  小于单色泵浦,尤其是  $\bar{g}z \leq 1$  时宽带影响明显,仅在  $\bar{g}z \gg 1$  时才接近单色泵浦结果。所以两波的初始相关性至关重要;也只有在高增益情况下相关性才并不重要。由此拉曼放大器要从达到相关和增加增益两方面考虑。

在拉曼发生器情形其稳态斯托克斯光强  $\bar{I}_s(z, \tau)$  则为

$$\bar{I}_s(z, \tau) = \langle \hat{\xi}(z, \tau) \hat{\xi}^+(z, \tau) \rangle \bar{I}_L(\tau) \quad (3a)$$

$$\begin{aligned} \langle \hat{\xi}(z, \tau) \hat{\xi}^+(z, \tau) \rangle = & (AN)^{-1} |k_2|^2 \left\{ \exp(-2\Gamma\tau) \int_0^z dz' I_0^2 \{ [4k_1 k_2 (z - z') p(\tau)]^{1/2} \} \right. \\ & \left. + 2\Gamma \int_0^\tau d\tau' \int_0^z dz' \exp[-2\Gamma(\tau - \tau')] I_0^2 \{ 4k_1 k_2 (z - z') [p(\tau) - p(\tau')]^{1/2} \} \right\} \quad (3b) \end{aligned}$$

式中  $\langle \rangle$  表示量子期望值, $N$  和  $A$  分别为介质分子密度和作用区横截面, $\tau = t - z/c$ ,  $t$  为时间坐标, $c$  为光速, $I_0$  为缔合贝塞尔函数, $p(\tau) = \int_0^\tau I_L(\tau') d\tau'$  为泵浦光强参量平均值。与(1)和(2)形成对比的是,此时斯托克斯光强仅依赖于泵浦光总体光强平均值而与其带宽无关,与单模泵浦结果一致。这是因此时在两者的相关函数

$$\beta(z, \tau) = \frac{\langle \sum_n A_n^*(\tau) \hat{E}_n^{(-)}(z, \tau) \sum_m A_m(\tau) \hat{E}_m^{(+)}(z, \tau) \rangle}{\bar{I}_L(\tau) \bar{I}_s(z, \tau)} \quad (4)$$

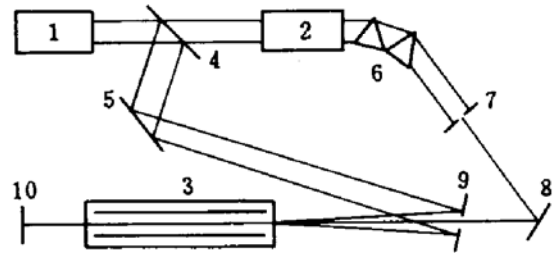
中无入射斯托克斯信号,由此式直接可得  $\beta(z, \tau) = 1$ ,这意味着无论增益高低,产生的斯托克斯光均自动与泵浦光相关<sup>[6]</sup>。这点对准分子激光作泵浦源十分重要,因为这种器件窄带运行非常困难。

当然,限于一定近似及对激光的准确描述,多模模型结论有一定的误差,但其给出的相关性对拉曼作用过程的影响方式已完全由实验证明<sup>[7]</sup>,可以作为理论分析的出发点。考虑到理论参量与实际可观测量的对应,因拉曼发生器输出种子光自动满足与泵浦光的模式和相位的匹配,至放大器时光束相关与否是因经历不同光路导致位相不同,因此下面将放大器中相关概念退化为位相匹配来讨论,这种方式不影响结果的正确性<sup>[7]</sup>。

### 3 点相关原理

波导拉曼组束方案如图 1 所示。图中 1 为一台 XeCl 准分子激光器,其输出光束在四处分束,一部分进入 2 拉曼发生器产生斯托克斯种子光,其光束质量已处理改善并射入拉曼放大器 3;另一部分经折反并初步调节光路以与种子光路进行匹配,在反射镜阵列 9 上形成多束斜泵浦光(一般用分割泵浦光波面方式)至 3 中与种子光相遇;3 中与通常不同的是安放了正方形波导(内镀泵浦光全反膜)。在 10 处获得输出种子光束,实验目的是获得泵浦光和波导参数等对输出的影响规律。这里只考虑拉曼放大器中的波导对整体特性的影响,而不考虑拉曼发生器,且假定两者介质已达到最佳参数,在一定的泵浦光条件下可获得最佳种子光和增益系数。

Fig. 1 Schematic diagram of Raman beam combining with multi-beam pump of XeCl broad-band laser output  
1: XeCl laser; 2: H<sub>2</sub> Raman cell; 3: H<sub>2</sub> Raman cell with light-guide; 4: beam splitter; 5: reflector; 6: prisms; 7: spatial filter; 8: reflector; 9: reflector array; 10: output beam measurements



按前述理论,宽带拉曼放大器通常需满足初始种子光和各泵浦光束的相关性;在波导置入其中时,下面将看到,此条件仍为基本先决条件但可得到放宽。我们假定进入其之前,历经不同光路的种子光和各泵浦光已接近达到了相关性匹配,种子光源及分波面反射阵列(假定该处的泵浦光具有均匀的横向特性)没有造成波面畸变而破坏此匹配。在这些假设下,显然分析将集中于波导内各波相互作用的过程中。

进入波导后在其轴前向,每束泵浦光因反复折射将以  $V_p \cos \theta$  传播,  $\theta$  为交叉倾角;而种子光以  $V_s$  传播。两者不断交叉相遇而作用,每次种子光获得增益。对此过程“光强平均”观点<sup>[2,8]</sup>认为波导使相互作用长度增加,使多束光光强平均,种子光在每一点的增益  $\bar{g} = 2k_1 k_2 \Gamma^{-1} I_L$  正比于该点的多束光平均光强,最终它获得较波导不存在时更高的增益和转换效率;即它仅考虑了光强的单纯平均效应。下面我们从微观分析中提出“点相关原理”。同时证明“光强平均”观点是不全面的。

传播速度的差异使得波导中各光束的时间相关性具有一个新的图象。如果种子光开始与泵浦光束处于一相对位置,则作用过程中前者将逐渐赶超后者,此时不能仅考虑光强效应,应对各光束的位相因子加以考虑。为此,将各光束脉冲分为小段长度微元来分析,考虑对象是这些微元相遇作用的局域点的位相因子。相遇的情况是:种子光上的某一点第一次遇上某泵浦光的某一点,而下次交叉则遇上该泵浦光的新的一点。如图 2,为简单设各光束均为平面波,且泵浦光只可能在波导相对的两平板上反射(这易由光束安排达到)。因一般  $\theta$  角很小,可不考虑光束的方向性而当作标量处理。在这种情况下,以图 2 中示意点为例,设一束泵浦光上的  $a$  和  $b$  点相距大于相干长度互不相关,则可能出现:在  $a$  点相遇的该泵浦光和种子光的各自微元点可能位相不同而互不相关, $b$  点处该泵浦光微元与  $a$  点处的种子光微元位相相同却没能相遇,这样在经过时间  $t$  后  $a$  点的种子光微元会在  $c$  点和该泵浦光  $b$  点的微元相遇,两者位相一致达到相关,这可从以下的简单表达式易被看出

在  $c$  点,  $\varphi_p = \varphi_b - \omega_p(\overline{bf} + \overline{fc})/V_p$ ;  $\varphi_s = \varphi_a - \omega_s \overline{ac}/V_s$ ;  $p$  为泵浦光,  $s$  为种子光;

在时间  $t$  内,  $V_p t = \overline{bf} + \overline{fc}$ ,  $V_s t = \overline{ac}$ , 若要  $\varphi_p = \varphi_s$ , 则  $\varphi_b - \varphi_a = \omega_p(\overline{bf} + \overline{fc})/V_p - \omega_s$

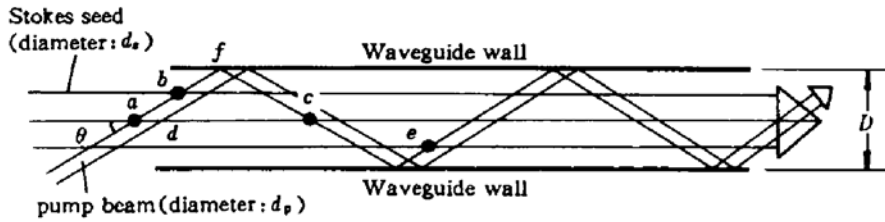


Fig. 2 The pump and Stokes beams interacting in a light waveguide. Here gives one pump beam taking for schematic drawing

$\overline{ac}/V_s$ .

同样在时间  $t$  后种子光各微元会在新的点遇上泵浦光某微元并可能相关;如  $e$  点也会发生类似的过程等等。而随着传播时间的推移,在波导中各点,种子光和各泵浦光的各不同微元存在相当多的机会达到相关,这种相关存在于种子光整个光束所占的立体空间内。这就是说进入波导后,从点域角度来看,种子光和泵浦光点相关的特性会发生变化,原本相关的点变为不相关,而原本不相关的点变为相关。我们将这种微观的点相关变化立体动态物理图象称为“点相关原理”。在此图象下,若存在多束斜泵浦光,且因各光束仍具有一定大小的相干体积(主要由带宽决定,其内各点互相关),点相关在光束相遇立体空间内的发生就具有相当的可能性和均匀性。

由上可见点相关的出现根本上是因泵浦光的“波导速度”,使波导中各光束速度不同,使泵浦光滞后而相当于出现一种相关匹配作用,故产生点相关是自然的。而“点相关原理”的先决条件是前面假设的来自同一激光器的泵浦光和种子光进入波导前应达到基本的但不必严格的相关匹配,否则图 2 中就不能假设  $b$  点处泵浦光微元与  $a$  点处的种子光微元位相相同。而点相关的部分弥补作用也使严格的相关匹配条件<sup>[9]</sup>从光学上得到了缓解。以上结论是假设各光束为平面波推出的,但显然只要有波导,非平面波时仍会发生点相关,只是相关点的分布没有图 2 中示意的那样规律而是有较大的随意均匀性。所以,“点相关原理”是波导自身特性给出的结果,是斜泵浦时普遍存在的独有规律。它将使波导拉曼组束具有新的宏观特征。

#### 4 波导组束特性分析

在存在点相关情况下,在每个局域点,种子光的转换将是该点每一泵浦光光强及相关性的共同函数,多束泵浦光的结果是各泵浦光作用结果(2a)式之和而非它们在该点平均光强的单纯函数,因此相当于每一泵浦光光强项上都各加有一项权重。一般各光束经历不同路径后很难保持相关性相同,所以这些权重项不同,不能提取公因式以实现光强的单纯平均。加上相关因子“权”后,各个局域点在多束泵浦光下可有不同的增益,整体种子光获得的转换是从波导入口到出口的积分结果。总的来看,“光强平均”观点未考虑位相因子,其结果可认为是不相关的结果,而(2a)式积分结果可唯象地认为是不相关结果项加上相关结果项,即

$$I_s(z) = I_{sunc} + I_{scor} \quad (5)$$

其中 unc 为不相关,cor 为相关。因为点相关,相关结果项不可能为零,所以“点相关原理”比“光强平均”观点转换结果更大。另一方面,相关点的位置随机性、多束泵浦光对随机性的增加及宽带的作用等,最终的种子光在光束横向将具有相当平均的增长,而不会复制个别泵浦光的波前

信息,这就解释了波导组束对光束质量的改善。总之,波导使得作用长度增加,在此长度上又产生点相关;而点相关会缓解严格的相关匹配条件,使宽带泵浦的限制<sup>[8]</sup>减弱,既利用斜泵浦的优点,又达到比无波导时和比“光强平均”观点结果高的转换效率和能量,故波导有增强效率和改善光束质量两方面的作用。

据以上分析,不考虑介质固有增益的再提高,在满足点相关的先决条件下,波导中可以靠尽量增强点相关为原则获得更好的组束结果,这就要具体分析如何增强点相关。由图 2 可知泵浦光与种子光每次相遇分别沿种子光和泵浦光方向的互作用长度为

$$L = d_r/\sin\theta; \quad L' = d_s/\sin\theta$$

泵浦光在波导中折反次数及波导速度为  $N = L_0 \tan\theta/D; V = V_r \cos\theta$ ; 种子光从泵浦光取得的总增益长度和赶超泵浦光的时间为

$$LN = d_r L_0 / D \cos\theta; \quad T = L_0 / (V_s - V_r \cos\theta)$$

(1)  $\theta$  改变  $\theta$ , 则  $L$ 、 $N$  和  $V$  均相应变化。 $\theta$  增大, 则  $L$  减小使每次增益长度缩短; 但  $N$  增大、 $V$  减小使得种子光与泵浦光相遇次数增加, 增加发生点相关的可能, 从  $LN$  看,  $\theta$  大为好。但若  $\theta$  太大使速度差  $V_s - V_r \cos\theta$  太大, 则  $T$  太小不利于种子光与泵浦光有足够的时间和脉冲前后部分充分作用,  $\theta$  太大还会增加  $L'$  方向的自发斯托克斯转换, 这引起泵浦光的部分耗尽和种子光光束质量变差; 另外也使前面光束视为标量的假设不成立。所以实际  $\theta$  角的选择最重要, 应是上述各参量的折衷。另外还必须考虑  $\theta$  不能满足泵浦光与种子光的四波混频相位匹配条件等<sup>[9,10]</sup>。

(2) 带宽 存在点相关时不必要要求各光束相干长度很长, 这可使带宽影响大大减弱; 而宽带比窄带产生点相关可能性更大, 故宽带在一定程度上更有优势。但窄带各光束的相干体积大, 每个相关点的尺寸更大, 也是有利因素。若带宽太大, 泵浦光各频率分量的波导色散(波导速度差大) 会对局域点泵浦光强有分散减弱效应, 对局域点增益不利, 仍然会限制高转换效率。因此带宽可大一些, 但实际大小是上述各效应的折衷。

(3) 束径  $d_s$  大, 种子光束质量容易差, 也增大  $L'$ , 易形成该方向转换; 但也增加点相关的机会和增大种子光束流, 也应折衷。 $d_s$  大时, 除  $L$ 、 $LN$  更大外, 从图 2 易看出波导内空间可更充分被泵浦光覆盖, 种子光可更多更均匀地与之交叠, 对组束有利, 多束泵浦光结果更佳。故在波导口径限制和泵浦光在反射阵列被分束不易得到大束径时, 若分成的每束泵浦光有足够光强则  $d_s$  越大对组束越有利, 应在考虑光强的前提下尽量增大。另外应有  $L > L'$ , 故应  $d_r > d_s$ 。

(4) 波导几何参数 由  $N$  和  $LN$  表达式,  $D$  增大则  $N$  和  $LN$  均减小, 故  $D$  小较好; 但  $D$  太小会使各光束束径受限, 尤其限制泵浦光束径; 也使得波导菲涅耳数偏小, 增强种子光的衍射效应。 $D$  对  $\theta$  角的限制, 则因  $\theta$  不会大可不考虑。 $L$  则是越长越好; 但受拉曼池长、泵浦光的耗尽长度及各光束脉宽的限制, 应视实际情况而定。用正方波导则较平行波导更有效, 可使点相关平均参数增加一维。

(5) 入射情况 种子光速度更大且脉宽一般稍小于泵浦光, 所以它不能先于泵浦光入射, 否则不利于相互充分作用; 但也仅只能是稍稍滞后, 否则不能满足点相关的先决条件。另外从图 2 来看, 各泵浦光束均以  $\theta$  角入射但彼此平行错开, 对称于种子光的两边的光束两两相交, 更有利于波导内泵浦的均匀性; 但这可能使局域点的各泵浦光总光强不够强, 使增益也不高。在这两者间应予均衡。泵浦光束间的匹配应成对解决但  $\theta$  角和各对光束的空间平行要以实际光束和光导参数协调安排。

从上面的分析,各参量并不彼此独立,实际应统筹考虑。

## 5 点相关原理的正确性讨论

本文的结论目前尚无直接的实验证实,本文仅间接地对其正确性进行讨论。我们以文献[11]的最新的拉曼组束研究结果作为比较,该结果已从理论和实验上被证实,下面由“点相关原理”与其共同性来推测我们结论的正确性。

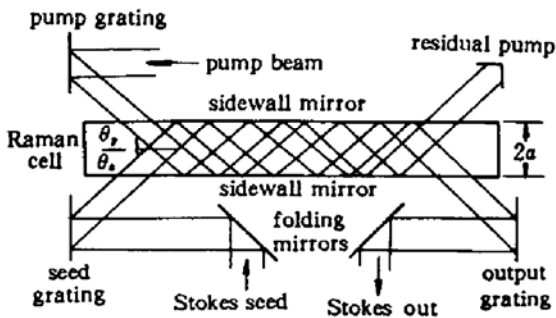


Fig. 3 Configuration for a zigzag broad-band Raman amplifier utilizing large-angle phase matching. Beam angles are exaggerated for clarity. (Taken from Ref. 11)

“点相关原理”的根本点在于,点相关是位相匹配的结果,它使得泵浦光与种子光的相关性提高。理论和实验<sup>[7]</sup>均已给出相关性的提高其结果必然是宽带拉曼转换性能的提高。因此可以说“点相关原理”给出了一种可以实现相关性提高的手段,是一个特例,且此特例恰好可以由较大的宽带泵浦和大的交叉角来更好地实现。在这点上它和文献[11]采用的原理具有一致性。文献[11]采用 Zigzag 法,如图 3<sup>[11]</sup>,使泵浦光和种子光均与波导轴成一定角度入射,调整角度并用外加光栅色散使得光束间满足相位匹配,且由波导反射后相遇的每一点达到相位匹配,这样能给出大角度交叉

( $7.5^\circ$ )、带宽  $\Delta\omega$  高达 2 nm 时仍然获得高转换和好的光束质量的结果,并指出达到相位匹配可极大地放宽对宽带和交叉角的限制。所以文献[11]的方法可认为是提高相关性的另一个特例。由两个特例的共同性我们因而可认为“点相关原理”与文献[11]的组束结果就应有一致或相近的结果。事实正是这样,文献[11]的结论和我们上述大角度交叉宽带光束有利于获得高效率的结论是一致的。我们认为这是必然的,在一定程度上反映了我们结论的正确性。当然,文献[11]的提高相关性的程度可能比我们所指出的波导中点相关效应更高;另外因文献[11]中是人为调节交叉角度及外加光栅来实现色散达到点相关,波导只起增加光束作用长度的作用;而我们则指出波导自身就具有这种色散效应,可达到一定相位匹配,这即给出不同的相位匹配技术方法,是和文献[11]中的区别,这点恰恰是最重要的,由此我们并不需要人为地匹配角度。所以再次说明“点相关原理”是波导自身具备的独特的物理机制。

上面的分析讨论是在理想情况下的。实际上需要考虑如下的情况:

(1) 在拉曼放大器前各光束位相信息会因通过不同的光路的不同光学元件而改变,但若各光束模式不变(一般满足此点),位相微小变化可被波导中点相关弥补,则不改变组束特性,此时相关点位置可能更具随机平均性,不会对光束质量产生不良影响。这实际上也包括了泵浦光本身就不是理想平面波的情况。同时如果泵浦光存在一定程度的发散,相当于存在  $\theta$  略有变化的情况,这同样会增加均匀性,对结果应稍有益处。

(2) 如果波导的反射率和平行度不够理想,前者使泵浦光的耗尽增快从而降低转换效率;后者则影响泵浦光的波导速度的均匀性,导致点相关的情况变化,从微观来看是弊大于利。这里也不考虑其非线性效应不能忽略的问题。

## 参 考 文 献

- 1 J. R. M. Barr, N. J. Everall, C. J. Hooker *et al.*. Picosecond Raman pulse combining and compression in light guides for ultra-high power laser systems. *Proc. of SPIE*, 1988, 874:60~76
- 2 J. P. Partanen, M. J. Shaw. High-power forward Raman amplifiers employing low-pressure gases in light guides. I. Theory and applications. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1986, 3(10):1374~1389
- 3 M. R. Perrone, Y. B. Yao. Stimulated Brillouin scattering dependence on the XeCl laser spectrum. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1994, QE-30(5):1327~1331
- 4 M. G. Raymer, J. Mostowski, J. L. Carlsen. Theory of stimulated Raman scattering with broad-band lasers. *Phys. Rev. A*, 1979, 19(6):2304~2316
- 5 A. T. Georges. Theory of stimulated Raman scattering in a chaotic incoherent pump field. *Opt. Commun.*, 1982, 41(1):61~66
- 6 M. G. Raymer, L. A. Westling. Quantum theory of Stokes generation with a multimode laser. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1985, 2(9):1417~1421
- 7 L. A. Westling, M. G. Raymer. Intensity correlation measurements in stimulated Raman generation with a multimode laser. *Phys. Rev. A*, 1987, 36(10):4835~4844
- 8 J. Goldhar, M. W. Taylor, J. R. Murray. Anefficient double-pass Raman amplifier with pump intensity averaging in a light guide. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1984, QE-20(7):772~785
- 9 M. J. Smith, D. W. Trainor, C. Duzy. Shallow angle beam combining using a broad-band XeF laser. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1990, QE-26(5):942~949
- 10 J. Goldhar, J. R. Murray. Intensity averaging and four-wave mixing in Raman amplifiers. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1982, QE-18(3):399~409
- 11 B. Bobbs, J. A. Goldstone, M. M. Johnson. Phase-matched broad-band Raman amplifiers. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1994, QE-30(8):1896~1906

## Theoretical Analysis on Broad-band Multi-beam Raman Combining with a Waveguide

Xiang Shiqing Lou Qihong Ye Zhenghuan Ning Dong Wang Zhijiang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

**Abstract** Starting from the conclusions of the quantum theory of broadband Stimulated Raman Forward Scattering (SRFS), this paper presents the principle of point correlation, by which the mechanism of improving the performance of broad-band Raman beam-combining with wave-guide is shown, and analyses the influence of the initial optical parameters of pump beams and wave-guide on the efficiency of the beam-combining in usual Raman beam-combining scheme. After the analysis, a theoretical arrangement scheme of beam-combining is presented. Finally a discussion is given about the correctness of our conclusions from the latest Raman beam-combining results. It is believed that this principle can give a better explanation to the process of beam-combining with wave-guide.

**Key words** point-correlation principle, broad-band Raman combining, wave-guide