熱光子によりポンプされたナノ共振器ラマン系の数値解析

Numerical analysis of Raman resonant nanocavity under chaotic excitation

○乾 善貴[1]、浅野 卓[1]、高橋 和[2]、野田 進[1] (1. 京大院工, 2. 阪府大院)
○Yoshitaka Inui[1], Takashi Asano[1], Yasushi Takahashi[2], and Susumu Noda[1] (1.Kyoto Univ., 2.Osaka-Pref. Univ.)
E-mail: inui@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp

序：ラマン効果は光 2 モードとフォノンの相互作用であり、パラメトリック効果によりストークス光の自然放出、誘導放出を実現する。誘導放出による発振(ラマンレーザ)は微小共振器の伝統的な研究分野であり[1-4]、応用上もシリコン基板上の光増幅を実現できるため重要である[3,4]。このような光非線形効果はコヒーレントな励起光を用いて検討されてきたが、ナノ共振器のラマン効果[4](図 1 に模式図)は 10^3 程度の少ないポンプ光子に対して発振を実現し、ポンプ線幅も比較的広いためコヒーレントでない励起光に対する非線形光学現象を確認することに適している。我々はポンプモードを熱光子により励起した場合を数値的に解析し、発振によりコヒーレント光が得られること、およびコヒーレント光励起時との様々な相違点を確認した。**解析**：コヒーレント振幅のランジュバン方程式[5,6]を用いて熱光子励起特性を計算した。励起強さをラマン効果がない場合(G=0)のポンプモードの光子数 N_{in} によって表す。発振に必要なポンプ光子数は $N_{thr}=\gamma_s/G$ であり $N_{thr}=10^3$ の場合を示す。ポンプ線幅は γ_p/γ_s=1,4,0.25 の 3 通りを考え、ストークス側の光子数 N_s、自己相関関数 g_s を計算した。結果を図 2,3 に示す。光子数 N_s は閾値 $N_{in}=N_{thr}$ の手前から増加を始める。g_s は N_{in}/N_{thr}<<1 の自然放出時にコヒーレント励起時の 2 よりも大きく、閾値手前でピークを持ち、N_{in}/N_{thr}>1 の発振後コヒーレント的な値(g_s=1)に近づく。自然放出時の g_s はストークス振幅 α_s の代わりに熱光子数 n_s を用いる手法[7]を用いるとより明快である。この手法は連続的なストークス熱光子数 n_s で密度行列 ρ を展開し(図 4) 、文献[5]同様、分布関数 $P(n_s)$の拡散方程式と対応する n_s の時間発展式から特性を計算する。このとき $P(n_s)$がデルタ関数なら g_s=2 であり、指数関数 $P(n_s)\sim e^{-An_s}$ なら g_s=4 である。N_{thr}>>1 を仮定したランジュバン方程式 $d\alpha_p/dt= - \gamma_p\alpha_p - G(1+n_s)\alpha_p + \xi \sqrt{\gamma_p N_{in}}$、$dn_s/dt = -2\gamma_s n_s+2G(1+n_s)|\alpha_p|^2$、$\langle\xi^*(t)\xi(t')\rangle = 2\delta(t-t')$から、$N_{in}/N_{thr}$=0.01 の自然放出時に図 4 に示す $P(n_s)$が得られた。γ_p/γ_s の値によって $P(n_s)$はデルタ関数と指数関数の間で変化することが確認できる。以上の詳細、N_{thr} 依存性、他の相違点等を当日報告する。

参考文献：[1]J.Snow et al.,Opt.Lett.10,37(1985).[2]S.M.Spillane et al.,Nature415,621(2002).
[3]H.Rong et al.,Nature433,725(2005).[4]Y.Takahashi et al.,Nature498,470(2013).
[5]P.D.Drummond and C.W.Gardiner,J.Phys.A13,2353(1980).[6]乾他応物 16 春 20p-p4-1.
[7]J.F.Corney and P.D.Drummond,PRA68, 063822(2003).

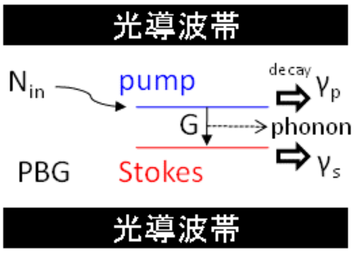


図1. 共振器ラマン系.
Gは光子1個あたりラマン利得.

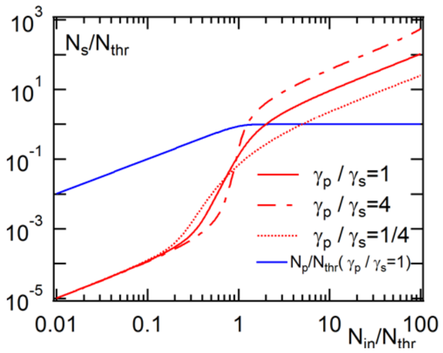


図2. N_sの励起依存性.
青線はポンプ光子数N_p(参考).

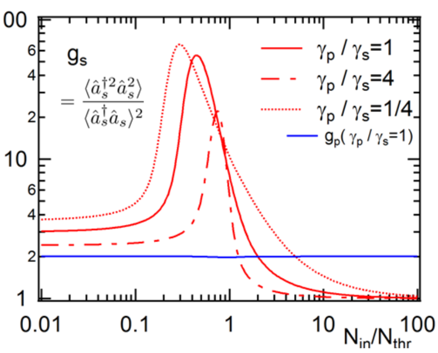
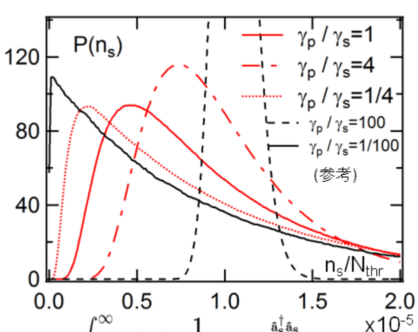


図3. g_sの励起依存性.
青線はポンプ自己相関関数g_p(参考).



$$\hat{\rho} = \int_0^\infty P(n_s)\frac{1}{1+n_s} : e^{-\frac{\hat{a}_s^\dagger \hat{a}_s}{1+n_s}} : dn_s$$

図4. 自然放出時の$P(n_s)$