

微小共振器におけるインコヒーレント励起ラマン散乱の解析的検討

Analytical investigation of Raman scattering in a microcavity under incoherent excitation

乾 善貴¹、野田 進¹(1.京大院工)

Yoshitaka Inui¹, and Susumu Noda¹ (1.Kyoto Univ.)

E-mail: inui@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp

序：初期のラマン散乱は太陽光や水銀ランプなどインコヒーレント光源を励起光として観測されてきた。レーザの発明後、コヒーレント光源を利用して誘導ラマン散乱が観測されるようになったが、インコヒーレント励起下の誘導ラマン散乱は実現されていない。しかしながら近年の高 Q 値微小共振器の性能向上により実現の可能性は高まっている。発振に必要なインコヒーレント光源のスペクトル密度は、共振器の QV に反比例して減少する。このため QV の大きいフォトニックヘテロ共振器[1]はインコヒーレント励起下の誘導ラマン散乱の観測に適する。今回、インコヒーレント励起下の共振モード間ラマン散乱の定常的な特性を解析的に検討し、共振モード線幅とラマン散乱レートの値により閾値近傍の量子統計性の振舞が異なることを確認した。インコヒーレント光による誘導ラマン散乱は太陽光から様々な波長のコヒーレント光源を実現する可能性をもたらすと考えられる。**数値計算**：以前の発表で、線幅と比べてラマン散乱レートが小さい場合のインコヒーレント励起ラマンレーザを数値計算により検討し[2]、文献[3]と同様に閾値手前でラマン散乱光の自己相関関数 $g_s^{(2)}(0)$ は極大をもつ(図 1(a))ことを示した。このとき実験的なフォトニックヘテロ共振器の Q 値($\sim 10^7$)を想定したが、電磁界計算により得られている値($\sim 10^9$)[4]まで Q 値を大きくすると通常のレーザ[5]と同様 $g_s^{(2)}(0)$ は閾値に近づくにつれて単調に減少する(図 1(b))。同様にポンプ光-ラマン散乱光間の相互相関関数 $g_x^{(2)}(0)$ は極大と極小をもつ振舞から、極小のみをもつ振舞へ変化する。 $g_x^{(2)}(0)$ と光子数揺らぎの関係を図 2 に示す。ポンプ光子数の揺らぎによる増加に伴いストークス光子数が増加するとき(図 2(a))、 $g_x^{(2)}(0)$ は 1 より大きい。この相関はラマン散乱による共振モードの結合が線幅による環境系の結合より小さい場合に得られる。一方でラマン散乱レートが線幅より大きい場合、共振器内のラマン散乱による光子変換が優勢であり、ポンプ光子数の揺らぎによる増加に伴いストークス光子数は減少する(図 2(b))。このとき $g_x^{(2)}(0)$ は 1 より小さい。この相関は誘導ラマン散乱が優勢な場合に得られていたが、図 1(b)のように Q 値が大きい(線幅が小さい)とき、自然ラマン散乱についても得られる。**解析**：微小誘導放出の寄与を解析的に検討し、特性の転換点を明らかにすることを試みた。相互相関関数 $g_x^{(2)}(0)$ の補正の絶対値を図 3 に示す。横軸はポンプモード線幅 γ_p とストークスモード線幅 γ_s の比であり、縦軸は自然ラマン散乱レート G と γ_s の比である。青線で示される極小は符号の変化を表す。図 3 の下側の領域では微小誘導放出により $g_x^{(2)}(0)$ は正の補正を受ける(図 1(a))。より Q 値の大きい図 3 の中央の領域では $g_x^{(2)}(0)$ は負の補正を受ける(図 1(b))。更に G/γ_s を大きくすると自然放出による $g_x^{(2)}(0)$ が小さいため閾値近傍の極小が消失し $g_x^{(2)}(0)$ は単調に変化する。 $g_s^{(2)}(0)$ への微小誘導放出の補正、設計したヘテロ共振器の特性、閾値以上の特性を含む詳細を当日示す。**参考文献**：[1]Y.Takahashi et al.Nature498,470(2013).[2] 乾他 16 秋応物 15a-B4-13. [3]H.D.Simaan,JPhysA8,1620(1975).[4]Y.Tanaka et al.J.LightwaveTechnol.26,1532(2008).[5]M.Lax and W.H.Louisell,IEEEJ.QE3,47(1967).

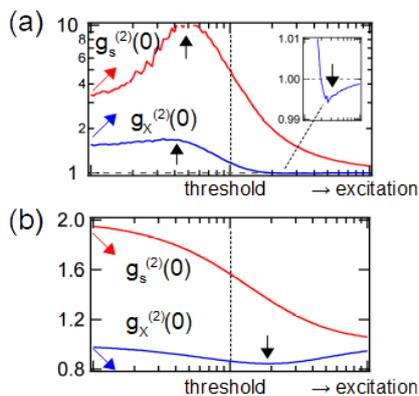


図1. 相関関数の振舞の変化.
(a) 実験 Q 値.(b) 計算 Q 値.

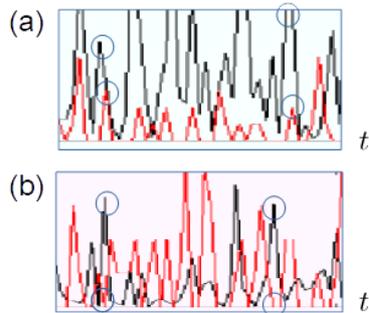


図2. 光子数揺らぎと $g_x^{(2)}(0)$.
黒線はポンプ光子数.
赤線はストークス光子数.
(a) $g_x^{(2)}(0) > 1$. (b) $g_x^{(2)}(0) < 1$.

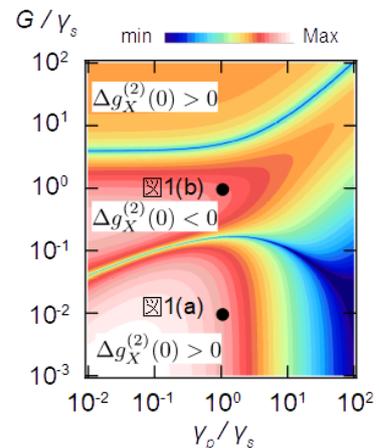


図3. $g_x^{(2)}(0)$ の誘導放出補正.