## 高効率な平面出射型ナノ共振器シリコンラマンレーザの理論検討

Theoretical study of Silicon Raman laser efficiently emitting the light in the planar direction 大阪府大院工<sup>1</sup>,京都大学院工<sup>2</sup><sup>(M1)</sup>齋藤雄樹<sup>1</sup>,浅野卓<sup>2</sup>,野田進<sup>2</sup>,高橋和<sup>1</sup> Osaka Pref. Univ.<sup>1</sup>, Kyoto Univ.<sup>2</sup>, °Y. Saito<sup>1</sup>, T. Asano<sup>2</sup>, S. Noda<sup>2</sup>, Y. Takahashi<sup>1</sup>

E-mail: y-saito-11G@pe.osakafu-u.ac.jp

**概要** 我々は,高*Q*値ナノ共振器を用いた低閾値シリコンラマンレーザを開発してきた[1]-[3]. 本デバイスはシリコン光回路やリモートセンシングへの応用が期待されている[4].その実現には,励起効率を向上すること,ラマンレーザ光を垂直方向ではなく面内方向に取り出すことが重要で ある。ナノ共振器の単一共振モードに対する励起効率向上と面内出射の技術は,励起導波路に反 射ミラーを導入して実証されている[5],[6].一方,ラマンレーザのように2つの共振モード(励起 モードとストークスモード)を用いて波長変換を伴うケースでは理論検討が不足している.今回, モード結合理論を用いて,高効率に平面出射するラマンレーザ構造を検討したので報告する.

計算結果 図1に計算に用いたデバイス構造を示す. 共振 器を励起するための励起導波路, ラマンレーザ光を取り出 すストークス導波路が, 共振器に平行に設置してある. ナ ノ 共振器の励起モードと励起導波路の結合の大きさを  $Q_{in_input}$ , 自由空間との結合を  $Q_{v_p}$  としている. ストーク スモードに対しても同様である ( $Q_{in_output}$ ,  $Q_{v_s}$ ). 各導波路 の片側に反射ミラーを導入し, 往復位相変化を $\theta_{input}$ ,  $\theta_{output}$ とした. ポート 1–4での入力(出力)波の振幅を  $S_{+i}(S_{-i})$ (i=1, 2, 3, 4)としている. 今回,  $\theta_{input}$ ,  $\theta_{output}$  を変化させた結果,  $2n\pi$ のときに出力が最大になることを確認したため, 計算



Fig. 1. Calculation model.

では図 2、図 3 ともに  $\theta_{input}=\theta_{output}=0$ を用いた.図 2 にミラーがある場合と無い場合でポート 4 からの出力を計算した結果を示す.励起導波路のみにミラーを入れた場合に閾値が下がり、ストークス導波路のみにミラーを入れた場合に閾値が上がるという結果が得られた.両導波路にミラーを導入した場合、しきい値はミラーなしと同程度であるが、スロープ効率が向上し、2 倍以上の出力増加が得られた.このことより反射ミラーによる干渉効果が重要と分かる.図 3 は、 $Q_{in_input}$ ,  $Q_{in_output}$ を固定した状態で  $Q_{v_p}$ ,  $Q_{v_s}$ を変化させた際の出力強度を示している. $Q_{v_p}$ ,  $Q_{v_s}$ の増加に伴いポート 4 からの出力が増加する.この結果より、2 つの共振モードの Q 値を向上させることが重要となる.実デバイスの作製では、格子定数を変化させて作る反射ミラーの設計と、2 本の導波路と共振器の距離の最適化が重要と考えられる.詳細は当日報告する.

【謝辞】本研究は科研費の支援を受けた.

【参考文献】[1] Y. Takahashi, *et al.*, Nature **498**, 470 (2013). [2] D. Yamashita, *et al.*, Optica **5**, 1256 (2018). [3] T. Yasuda, et al., OSA Continuum 3, 814 (2020). [4] 保田賢志, 他, 応物 2020 秋 **13p-B401-3**. [5] B.S. Song, *et al.*, Phys. Rev. B **71**, 195101 (2005). [6] H. Takano, *et al.*, Opt. Express, **14**, 3491 (2005).





**Fig. 3.** Dependence of the output intensity on the  $Q_{v_p}$  and  $Q_{v_s}$ .