

変調フォトニック結晶レーザにおける格子点変調と面内結合に関する考察

Discussion about lattice point modulations and in-plane optical coupling in modulated PCSELs

○田中良典, 西後淳貴, 石崎賢司, Menaka De Zoysa, 野田進 (京大院工)

○Y. Tanaka, A. Nishigo, K. Ishizaki, M. D. Zoysa, S. Noda (Kyoto Univ.)

E-mail: ytanaka@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

[序] フォトニック結晶レーザは、2次元フォトニック結晶の大面积バンド端共振効果を用いた面発光型の半導体レーザである。このフォトニック結晶レーザの格子点位置に、正規の格子点位置 $\mathbf{r}$ から距離 d シフトし、角度 $\varphi(\mathbf{r}) (= \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})$ 回転させるように変調を加えた図1に示すような「変調フォトニック結晶」を用いることで、回折ベクトル $\mathbf{k}$ の導入が可能となり、任意の2次元方向へのビーム出射が可能になることを示してきた[1]。さらに、格子点形状を楕円とすることで、2次元結合係数を増大可能であり、安定したバンド端発振が可能となることを示すことに成功している[2,3]。一方、正規の格子点位置からのシフト量 d (変調シフト量) を大きくすると、図1に示すように、格子点の配置が一見、完全なランダム配置のようになるため、M点共振モードに与える影響が懸念される。今回、大きなシフト量をもつ変調フォトニック結晶レーザにおける面内結合の強さに関する考察を行ったので報告する

[解析] まずM点の解析が可能な3次元結合波理論を構築した。空孔充填率 15%、楕円率 0.45 の変調フォトニック結晶における、変調シフト量 d に対する2次元結合係数の計算結果を図2に示す。同図より、変調シフト量 d を $0.15a$ と大きくした場合においても、2次元結合係数の減少量は10%程度と小さく、大きなシフトを行っても、安定な2次元結合が期待出来ることが分かる。

[考察] フォトニック結晶レーザにおける2次元結合は、例えば図3の緑線で示すように、高次のBloch成分を介した2回の $\mathbf{G}$ ベクトル ($\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2$) の作用により生じる。ここで、図4に $\mathbf{G}_1$ および $\mathbf{G}_2$ に対応する誘電率のフーリエ成分の計算結果を青線で示すが、変調シフト量 d の増加により減少しており、元々のフォトニック結晶がもつ高次のBloch成分を介した結合は弱くなると考えられる。一方で、格子位置変調を加えることにより、新たに $\pm \mathbf{k}$ の回折ベクトルが形成されるとともに、 $\pm \mathbf{k} + \mathbf{H}$ ($\mathbf{H} = [\pm 2\pi m/a, \pm 2\pi n/a]$, m, n : 整数) の回折ベクトルも生成される。この結果、例えば図3の赤矢印で示すような、変調により生成された回折ベクトルの2回の作用による結合が新たに生じると考えられる。図3中に示す $\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2$ に対応する誘電率のフーリエ成分の計算結果を図4に赤線で示すが、この成分は変調シフト量 d の増加に従い大きくなっており、変調により生成された回折ベクトルの2回の作用が、元々のフォトニック結晶の作用の低下による結合係数の減少を補償したものと考えられる。詳細は当日報告する。

[謝辞] 本研究の一部は、JST-CREST (JPMJCR17N3) の援助を受けた。

[文献] [1] S. Noda, et al., *IEEE J. Sel. Top. Quantum. Electron.* **23**, 4900107 (2017). [2] 西後, 野田, 他, 2017 秋季応物, 6p-A405-22. [3] 西後, 野田, 他, 2018 春季応物, 19p-C301-12.

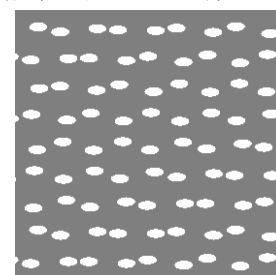


図1 変調フォトニック結晶構造($d:0.15a$ の場合)

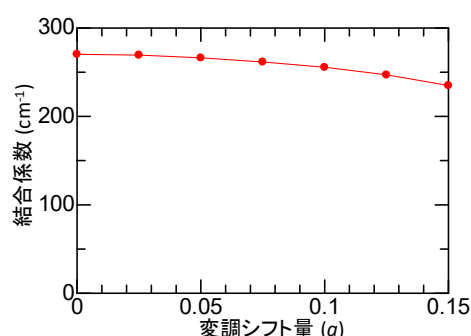


図2 変調シフト量に対する2次元結合係数の計算結果

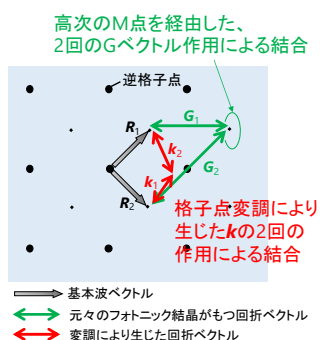


図3 光波の2次元結合の概念図

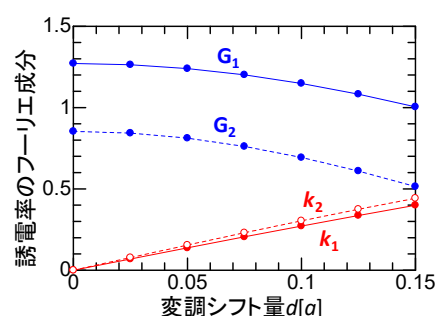


図4 変調シフト量に対する、回折に寄与する誘電率のフーリエ成分の計算結果