

様々な形状のビームが発生可能な複合変調フォトニック結晶 レーザーのワット級動作

Watt-class operation of dually modulated photonic-crystal surface-emitting lasers of generating various beam shapes

(京大院工) ○坂田諒一, 石崎賢司, 井上卓也, 趙海如, 今村陽, De Zoysa Menaka, 野田進
(Kyoto Univ.) ○R. Sakata, K. Ishizaki, T. Inoue, H. Zhao, A. Imamura, M. De Zoysa, S. Noda
E-mail: sakata@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

フォトニック結晶レーザー[1]において、格子点の位置および大きさを同時に変調した複合変調フォトニック結晶レーザー(DM-PCSEL) [2]により、任意方向へ出射が可能となる。また、アレイ化により 2 次元ビーム走査の実現や、単一領域からの様々なビーム出射、二重格子構造の導入による大面積化も可能である[2,3,4,5]。今回、様々な形状のビームが発生可能な DM-PCSEL において、変調法を改善しつつ、裏面反射構造をも導入することで、高効率およびワット級の高出力な動作を実現したので報告する。

DM-PCSEL においては出射すべき遠視野像の逆フーリエ変換に基づき、各格子点へ変調を導入することで、図 1(a)の模式図のように、単一チップから様々な形状のパターンを出射することが可能である[1,4]。本手法においては、以下の式で表される変調位相 $\Psi(\mathbf{r})$ を用いてフォトニック結晶構造(図 1(b)等)を設計する[1]。

$$\Psi(\mathbf{r}) = \arg[\iint A^{-1}(\mathbf{k}) \cdot u(\mathbf{k}) \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}) d\mathbf{k}]$$

すなわち、目標の出射パターンの分布 $u(\mathbf{k})$ に補正係数 $A^{-1}(\mathbf{k})$ をかけたものを逆フーリエ変換して、偏角を取ったものを、変調位相 $\Psi(\mathbf{r})$ とする。今回は、より高い効率が得られるように、フォトニック結晶から計算して得られる遠視野像が目標の分布に一致しつつ、発振領域の全面から放射が得られるように各波数で補正係数 $A^{-1}(\mathbf{k})$ を繰り返し調整した。また、格子点の位置と大きさを変調する際にも修正を加えた。これまでは $\bar{\mathbf{r}}_{m,n} = \mathbf{r}_{m,n}^0 + \Delta\mathbf{d} \cdot \sin[\Psi(\mathbf{r}_{m,n}^0)]$ 、 $\bar{S}_{m,n} = S_{m,n}^0 + \Delta S \cdot \sin[\Psi(\mathbf{r}_{m,n}^0)]$ に従い、変調していたが[2,4]、今回、定数 $B > 1$ を導入することで、 $\bar{\mathbf{r}}_{m,n} = \mathbf{r}_{m,n}^0 + B \cdot \Delta\mathbf{d} \cdot \sin[\Psi(\mathbf{r}_{m,n}^0)]$ と変調量を増大しつつ、変調量が上限振幅 $|\Delta\mathbf{d}|$ を超えた場合に、上限値、つまり $\Delta\mathbf{d}$ または $-\Delta\mathbf{d}$ と設定することで、放射電界強度の増大を狙った(大きさ変調についても同様)。以上において、 $\bar{\mathbf{r}}_{m,n}, \bar{S}_{m,n}$ は (m,n) 番目の空孔の変調後の位置と大きさを、 $\mathbf{r}_{m,n}^0, S_{m,n}^0$ は変調のない状態の位置と大きさを、 $\Delta\mathbf{d}, \Delta S$ は位置変調の振幅と大きさ変調の振幅を表す。

上述の方法で複合変調フォトニック結晶を設計し、さらに裏面反射構造(DBR)を導入して下方への放射をも活用する[3]ことで、高効率化を狙った。「Kyoto Univ.」の文字列を目標の分布として、得られた I-L 特性および遠視野像の測定結果を図 2(a),(b)に示す。比較のために、従来構造も図 2(a),(c)に示すが、今回の検討により、出射パターンを保ちつつ、W 級(>1.2W)の出力が実現可能となった。

【謝辞】 本研究の一部は、JST-CREST、SIP のもとで実施した。【文献】 [1] S. Noda *et al.*, *IEEE JSTQE*, **23**, 4900107 (2017). [2] R. Sakata, S. Noda *et al.*, *Nat. Comm.*, **11**, 3487 (2020). [3] 石崎, 坂田, 野田, 他, 2022a 春応物, 25p-E303-3. [4] 坂田, 野田, 他, 2022 春応物, 25p-E303-1. [5] 今村, 坂田, 野田, 他, 2022 秋応物, 21p-A101-2.

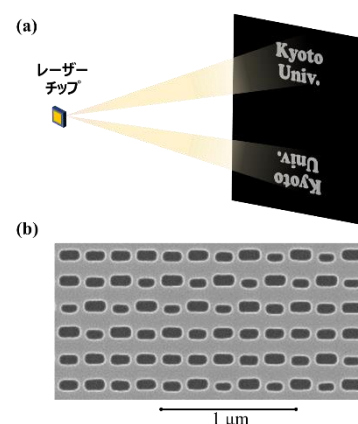


図 1. (a) 様々な形状のビームが出射可能な DM-PCSEL の模式図。(b) 埋め込み再成長前の複合変調フォトニック結晶の上面 SEM 像。

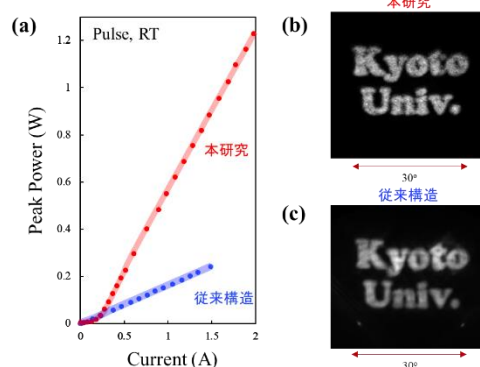


図 2. (a) I-L 特性の測定結果。赤線がフォトニック結晶の設計と DBR の導入によって効率を増大した本研究のデバイス。青線は従来構造。(b),(c) 遠視野像の測定結果。本研究(b)および従来構造(c)いずれにおいても、目標の分布に近いビームパターンが得られている。