

フォトニック結晶レーザ単一素子による ビーム波面・形状制御

京都工芸繊維大学 電気電子工学系
北村恭子

1. はじめに

2018年のノーベル物理学賞において Arthur Ashkin 氏の受賞が報道された。その受賞理由が「光ピンセットの開発と生体システムへの応用」であることから、レーザで微粒子を操作する光マニピュレーションは、より広く一般にも知られるようになるに違いない。光の放射圧を利用するこの技術において、収束した光の集光場を制御することは、自在な物質の操作を可能にする。そこで、光の空間的な形状や偏光・位相分布が制御されたレーザビームの利用が注目されている。その代表例とも言えるのが、光軸に対して対称に偏光が分布するベクトルビームや、位相が分布する光渦ビームである。どちらも、光軸上すなわちビーム断面の中心においては、偏光または位相の特異点となるため、ドーナツ状の強度分布を有するビームである。これらのドーナツビームは、従来、空間位相変調器などの外部光学素子を用いて生成されてきた。外部光学素子を必要とすると、装置構成の小型化の限界や光軸調整（アライメント）の煩雑さを伴う。本稿では、外部光学素子を用いずにドーナツビームを発生する、フォトニック結晶レーザを紹介する。

2. フォトニック結晶レーザ

フォトニック結晶レーザは、半導体レーザ構造中の活性層の極近傍に、光の波長程度の間隔で周期的に設計された空気孔（格子点）からなる「フォトニック結晶」が形成された構造である¹⁻³⁾。図1にその模式図を示す。電流注入により活性層で発生した光の一部が、フォトニック結晶を構成する格子点での回折を繰り返すことで、定在波を形成する。回折効果は、フォトニック結晶面内方向のみならず、面垂直方向にも有するため、形成された定在波は、面垂直方向に、出力として得ることができる。いわば、フォトニック結晶の格子点1つ1つが、レーザ共振器の微小な鏡の役割を果たしている面発光レーザである。このレーザの特長に、大面積で単一モード共振が可能という点が挙げられる。最近では、単一素子でW級の出力が報告されている⁴⁾。高出力動作と同時に単一モードを裏付ける収束性の良さ($M^2 \sim 2$)もその魅力であり、材料加工用途等への展開が期待されている。加えて、フォトニック結晶の格子点形状や格子点配列を制御することによって、自在なビーム形状が得られることも大きな特長である⁵⁾。

図2に、様々な格子点形状・配列のフォトニック結晶に対する出射ビーム形状を示す。真円格子点を用いると(図2(a))、ドーナツ形状のビームが得られ、三角形格子点を用いると(図2(f))、単峰形状

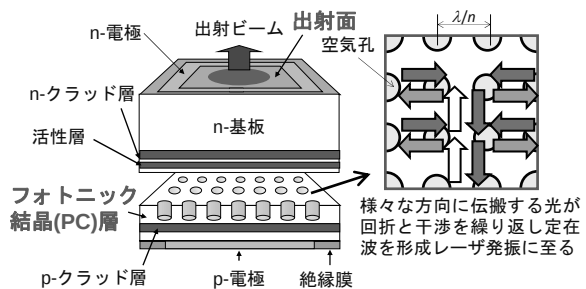


図1 フォトニック結晶レーザの基本構造模式図
フォトニック結晶の面内の回折効果で定在波を形成し、面垂直への回折効果によりビームを面上方に出射する