

ADE-FDTD 法による複数 WGM レーザ発振器の放射指向性解析 Directivity Analysis of Multiple Whispering Gallery Mode Lasers Using ADE-FDTD Method

○三島拓馬¹, 岸本誠也², 大貫進一郎²*Takuma Mishima¹, Seiya Kishimoto², Shinichiro Ohnuki²

Abstract : A laser based on Whispering Gallery Mode (WGM) enables small volume and low-threshold lasing due to a very high Q resonance. However, radiation pattern of the laser becomes a rotationally symmetrical. This isotropic emission seriously limits the application. If the directivity of the WGM laser can be controllable, it can be applied to a wide variety of electronic areas, such as optical beam steering devices and light sources for photonics applications. In this report, the directivity control by multiple whispering gallery mode lasers is examined in terms of distance between lasers and the phase of radiation wave.

レーザに利用される光共振器において、Whispering Gallery Mode (WGM)を用いた共振器は、高いQ値を示し、非常に小さい領域に光を閉じ込めることが可能である。このような特徴から、WGM共振器を用いることで極微小で低閾値のレーザ発振を行うことが可能である^[1]。WGM共振器を用いたレーザは光通信、センシング等、幅広い分野での応用が検討されている。しかし、WGMを利用したレーザ発振器ではWGM特有の電磁界分布に基づき回転対称な放射パターンを示し、不必要な箇所にも光が放射されることで用途が制限されてしまう。本研究では、センサー用のビームステアリングデバイスや光集積回路における光源への利用に向けて、WGMレーザの放射パターンを制御することを目的とする。

本報告では、複数のWGMレーザ発振器を並べて配置し、発振器間の距離や放射光の位相変化による放射パターンの制御について検討を行う。レーザ発振の過程を解析するために、光の吸収、誘導放出等の光と物質の相互作用を考慮した電磁界解析が必要となる。ここでは、電磁界の支配方程式であるMaxwell方程式と共に、媒質中の各エネルギー準位における電子数密度の時間変化を表すレート方程式、媒質中の巨視的な分極を表す電子の運動方程式を連成することで光と物質の相互作用を考慮した電磁界解析を行う。上記の方程式を解く際の数値解析手法として、Maxwell方程式を時間、空間に対して差分近似し離散化して解くFDTD (Finite-Differential Time-Domain) 法を基とし、補助微分方程式としてレート方程式、電子の運動方程式をFDTD法のスキームに則り差分化し解く、ADE (Auxiliary Differential Equation) -FDTD法を使用する^{[2],[3]}。

解析モデルの例を図1に示す。半径360nm、屈折率3の円柱状誘電体共振器内部に利得媒質を一樣に添加したWGMレーザ発振器を想定する。レーザ発振器を真空中に並べて配置し、発振器間の距離、入射する種光の位相差による放射パターンの変化について検討を行う。

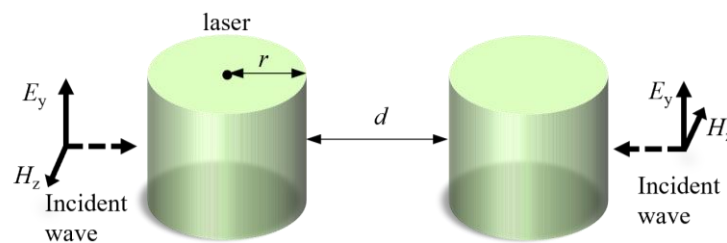


図1 解析モデル

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP21K17753 及び、日本大学理工学部研究助成金の援助を受けて行われた。

参考文献

- [1] V. Sandoghdar, et al. "Very low threshold whispering-gallery-mode microsphere laser." *Physical review A*, vol.54, no.3, pp.R1777-R1780 1996.
- [2] 三島拓馬,岸本誠也,大貫進一郎, "Radiation pattern analysis of cylindrical microcavity laser – control of radiation directivity –", *信学技報*, vol.120, no.201, EST2020-41 ,pp. 81-84, 2020.
- [3] A. S. Nagra and R. A. York, "FDTD analysis of wave propagation in nonlinear absorbing and gain media," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 46, no.3, pp.334-340, March 1998.

1 : 日大理工・院 (前) ・電気 2 : 日大理工・教員 ・電気