ランダムフォトニック結晶を用いた高性能分光器

High-resolution Spectrometer with Random Photonic Crystals

慶大理工 ^O見玉 拓昌, 金 セイ基, Jocelyn Hofs, 田邉 孝純

Keio Univ., °Takumasa Kodama, Shengji Jin, Jocelyn Hofs, and Takasumi Tanabe

E-mail: takasumi@elec.keio.ac.jp

光学素子における製造誤差による影響は, 素子の緻密化が進む昨今の課題となっている. フォトニック結晶導波路の場合,製造誤差の 影響は光局在として現れ,理想の透過特性を 失う要因となる.近年では,誤差の影響を削 減する研究が盛んに行われているが,根本的 な解決には未だ至っていない.

本研究では、逆転の発想で、フォトニック 結晶導波路の製造誤差を利用した分光システ ムを開発しており、構造が非常に小さいまま、 波長分解能を高めることを目指した.

Fig 1(a)は本研究の概念図であり、単純なチャープ導波路を用いている. 60 周期で導波路 幅が細くなっているため、左からの入力する 光は、その波長によって上方に散乱される箇 所が異なる. Fig 1(b)は導波路幅を変え、スペ クトル測定を行ったシミュレーション結果で ある.製造誤差によって不規則な位置に局在 ができ、局在の起こる箇所は波長によって敏 感に変化する. Fig 1(c)、(d)は局在の様子を収 めた画像であり、Fig 1(c)はシミュレーション 画像、Fig 1(d)は実験画像である.得られた画 像を波長と紐づけし、機械学習や焼きなまし (SA: Simulated Annealing)法などのデータ処理 を行うことによって、高分解能な分光を微小 素子(~100 μm)で行った.

初めに単一波長の分析結果を示す.波長帯 域が,1596.6 nm~1604.4 nm にて,0.2 nm ず つ波長を変化させている.Fig 2(a)は学習プロ グラムの概念図である.導波路部分の画像デ ータは一次元化され学習される.学習結果を Fig 2(b)に示した.波長分解能 0.2 nm において, 98%の高い正確性が得られた.同一の構造で 機械学習を用いない場合の構造的な分解能は 1.5 nm であるが[1],製造誤差による局在を学 習させることによって,分解能を向上させる ことが出来た.

次に, SA 法を用いて複数波長を再構成した 結果を Fig. 3(b)に示す.入力が複数波長の場 合,その局在パターンは単一波長の局在パタ ーンの足し合わせで表すことが出来る. Fig. 3(a)のように与えられた光電界を一次元 化し、予め用意された単一波長での局在パタ ーンの様々な組み合わせを試し、最もターゲ ットとの差(Cost)が小さくなるスペクトルを 出力する.Fig 3(b)から複数波長での分析を SA 法で確認できた.

以上の結果から,製造誤差を用いることで 単一波長の分析の分解能が向上し,複数波長 の局在パターンが単一波長の足し合わせで再 現されることから,入力が複数波長における 機械学習でのスペクトル再構築が可能である ことが確認できた.



Fig. 1(a) Operation principle. The WG width is changed from 764, 759, to 754 nm and the lattice constant is fixed at 420 nm, and the hole radius of 150 nm contains 2 nm randomness. (b) The transmittance spectrum for different WG widths close to the mode-gap wavelength. (c) FDTD calculations of the localization patterns. (d) Experimental data for different wavelength inputs.



Fig. 2 (a) Deep learning algorithm we use for data processing. (b) Result of deep learning using experimental data.



Fig. 3. (a) Calculated pattern for random PhC-WG excited with 1597.8 and 1598.4 nm. The inset is the field pattern (target). The black line is a cross-section of the target. The red line is the reconstructed pattern with SA. (b) Spectrum coefficients obtained with SA.

References

[1] A. Liapis, et al, Phys. Rev. Lett. 108, 021105 (2016).