

## 17a-P14-13

## FDTD によるフォトニック結晶共振器の自然放出光結合係数の解析

## Analysis of spontaneous emission coupling factor using FDTD simulation

日本電信電話株式会社 NTT ナノフォトニクスセンタ<sup>1</sup>, NTT 物性研<sup>2</sup>, NTT フォトニクス研<sup>3</sup>○滝口雅人<sup>1,2</sup>, 谷山秀昭<sup>1,2</sup>, 角倉久史<sup>1,2</sup>, タナヒノウオト<sup>2</sup>, 倉持栄一<sup>1,2</sup>, 新家昭彦<sup>1,2</sup>,  
佐藤具就<sup>1,3</sup>, 武田浩司<sup>1,3</sup>, 松尾慎治<sup>1,3</sup>, 納富雅也<sup>1,2</sup>NTT Nanophotonics Center<sup>1</sup>, NTT Basic Research Labs.<sup>2</sup>, NTT Photonics Labs.<sup>3</sup>, NTT Corporation○M. Takiguchi<sup>1,2</sup>, H. Taniyama, H. Sumikura<sup>1,2</sup>, D.M. Birowosuto<sup>1</sup>,E. Kuramochi<sup>1,2</sup>, A. Shinya, T. Sato<sup>1,3</sup>, K. Takeda<sup>1,3</sup>, S. Matsuo<sup>1,3</sup>, M. Notomi<sup>1,2</sup>E-mail: [takiguchi.masato@lab.ntt.co.jp](mailto:takiguchi.masato@lab.ntt.co.jp)

我々は超低消費電力で高速な発光素子を目指し、フォトニック結晶(PhC)と埋め込みヘテロ構造-量子井戸(BH-QW)を使った発光素子の研究を行っている[1][2]。既存の量子井戸型 PhC 発光素子は、基板全体に量子井戸があるため、PhC 空孔による表面再結合やキャリア拡散により発光効率が低下していた。一方で我々の BH-QW PhC 素子は、キャリア閉じ込め効果が高く、表面再結合が少ないため、高効率・高出力化が期待できる。前回の報告では、Lx 型 PhC 共振器に埋め込まれた InGaAsP/InP 量子井戸の発光の高速化について詳細を調べ、発光がパーセル効果や PBG により制御されていることを報告した[2]。そこで今回は、発光の高効率化を目指し、FDTD による自然放出光結合係数( $\beta$ )の解析や作製した素子の LL 測定を行った。

まず BH-QW L3-PhC 共振器の LL 特性を調べた(図 2)。測定的光励起波長は 810 nm、共振波長は量子井戸と共鳴条件の下で測定した(4K)。また同時に誘導放出による発光の高速化も確認している。図 2 の発光寿命の結果を見ると励起強度が  $1 \mu\text{W}$  付近で発振しているが、LL 測定の結果からはその閾値は不明瞭であり、本素子が高  $\beta$  である可能性が示唆される。そこで、 $\beta$  が原理的にどの程度得られるかを調べるために FDTD を用いて  $\beta$  を導出した(図 3)。計算に用いた構造はスラブ厚が 240nm の InP 基板で、空孔径が 100 nm、格子間隔が 435 nm、共振波長が 1547 nm ( $Q=70000$ ) と 1540 nm ( $Q=7500$ ) の L3 共振器を用いた。 $Q=7500$  は LL 測定した素子の発振閾値付近の  $Q$  値と同じ値である。励振光源は共振器中央に配置し、磁場がスラブに対して垂直に励振した。励振はガウス形状(パルス励振)で 1.25 ps 間行い、その後励振を止めた。この励振光源のパルス幅から光源の線幅は 12 nm となっている。ここで我々は、 $\beta = \int P_{\text{cav}} \cdot S dt / \int_{\infty} P \cdot S dt$  と定義した。分母は計算領域から流れ出す全エネルギーの時間積分、分子は共振器から流れ出すエネルギーの時間積分である。 $\beta$  の詳細を調べるために、励振する光源の波長を変えながら  $\beta$  をプロットした(図 3)。この計算結果から分かるように、共鳴からの離調が 10 nm 程度でも  $\beta \sim 1$  程度の値が得られていることが分かった。ただし、計算で求めた  $\beta$  は発光体が空間的に電場最大にある場合の理想的な  $\beta$  であり、実際の  $\beta$  (または Purcell 効果) は共振器内電場の位置に依存する。前回発表では空間的な電場を平均値することで、Purcell 効果は最大値の 0.2 倍程度になると見積もった[2]。この効果を加味すれば、 $\beta$  は 0.7 程度になる。本講演では異なる共振器構造の  $\beta$  の計算結果や実験についての詳細を報告する。[1] S. Matsuo, *et al*, Nat Photonics. **4**, 648 (2010) [2] 滝口他, 第 60 回応物連合講演会 28a-C1-5 (2013)

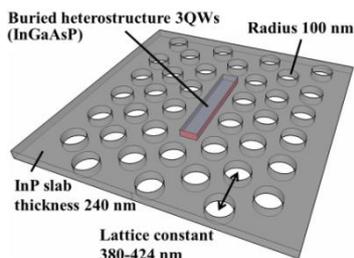


図 1. BH-QW L3 PhC

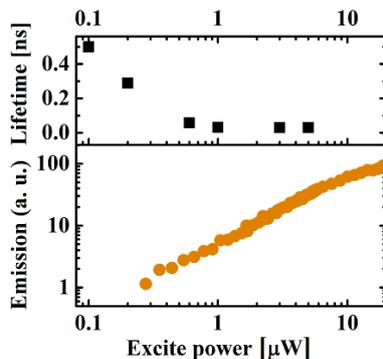
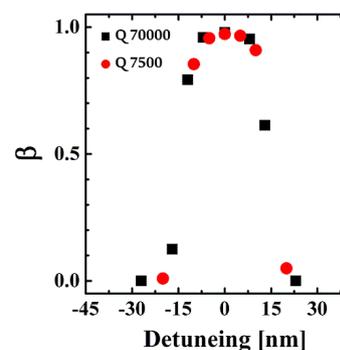


図 2. LL 特性 (4K)

図 3. FDTD による  $\beta$