29p-PA7-8

フォトニック結晶ナノ共振器のモード体積制御に関する理論検討

Theoretical investigation on the control of modal volume of photonic crystal nanocavity

京大院・工　○彦山和久，小島一信，浅野卓，野田進
Kyoto Univ. ○K. Hikoyama, K. Kojima, T. Asano, and S. Noda
E-mail: hikoyama@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp

【はじめに】我々はこれまでフォトニック結晶を利用して，図 1 に模式的に示されるような，量子ドット・フォトニックナノ構造結合系における光学特性の制御について理論検討を行ってきた[1,2]．本構造では，導波路の屈折率制御により伝搬遅延 τ を微調整することで，導波路開放端における光の散逸速度を大きく変化できる．このため，ナノ共振器の実効的な Q 値や共振周波数の変調が可能となり，これを介して，量子ドットの光学特性を制御することができる．実際に我々は，ナノ共振器に埋め込まれた量子ドットの光学特性を，本方式によって外部制御できることを実験的にも示してきた[3]. これに対して本報告では, ナノ共振器のエネルギー散逸速度ではなく，量子ドットとナノ共振器の結合定数を制御できないかという点を検討した結果について議論する．

【モード体積】量子ドットとナノ共振器の結合定数 g は，一般に共振器のモード体積 V に対して $g \propto 1/\sqrt{V}$ という関係にあり，V はナノ共振器と導波路の結合によって変化する可能性がある．そこでまず，図 1 におけるモード体積の変化を調べるため，共振器 A および導波路（共振器 A と全反射鏡で囲まれる領域）に，それぞれどの程度エネルギーが分布するのかを調べた．その結果，両者の比は $1:\Gamma_{\mathrm{in}}\tau_1$ となることが明らかとなり，これは光が共振器 A から導波路に漏れることで，モード体積が $(1+\Gamma_{\mathrm{in}}\tau_1)V_0$ に広がることを表している（ただし，V_0 は導波路がない場合の共振器 A のモード体積）．したがって，その時の結合定数は $g = g_0/\sqrt{1+\Gamma_{\mathrm{in}}\tau_1}$ となり，伝搬遅延 τ の関数であることが分かる（ただし，g_0 は導波路がない場合のナノ共振器と量子ドットの結合定数）．しかし，これまで提案してきた制御手法においては，τ の変化幅は高々0.1%程度であるため，g はほとんど変化しない．

【モード体積の制御】そこで τ をより大きく変化できる，図 2 のような構造を提案する．本構造においては，図 1 の構造に対して新たに制御用ナノ共振器（共振器 B）を設置し，これを介して，2 つの導波路を接続する．この場合，共振器 B は狭帯域フィルタとしてふるまう．このため，伝搬光に対して非共鳴（図 2(a)）および共鳴（同(b)）のそれぞれの場合に対し，光の伝搬遅延 τ，すなわちモード体積を大幅に変化できる．共振器 B の共鳴周波数は，従来方式同様，熱光学効果・窒素堆積および剥離もしくはキャリアプラズマ効果による屈折率変化によって制御できる．図 3 に共振器 B と伝搬光の離調と，モード体積および結合定数の関係を図示する．この時，共振器 A および B の Q 値を共に $Q_{\mathrm{v}} = 10^5$（$\hbar\Gamma_{\mathrm{v}} = 0.006$ meV），共振器と導波路の結合は全て $Q_{\mathrm{in}} = 10^4$（$\hbar\Gamma_{\mathrm{in}} = 0.06$ meV），伝搬遅延 τ_1 および τ_2 はそれぞれ 1 ps, 3 ps とした．共鳴と非共鳴を比べると，V は 1.4 倍程度，g は 0.8 倍程度に変化している．詳細は，当日議論する．

【文献】[1] 彦山 他，春季応物 (2012) 16p-E5-6，[2] 彦山 他，秋季応物 (2012) 13p-B1-4，[3] T. Nakamura, *et al*., PRB84, 245309 (2011).

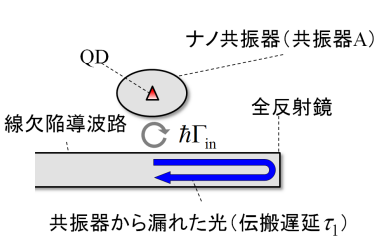

図 1　量子ドット・フォトニックナノ構造結合系の模式図．

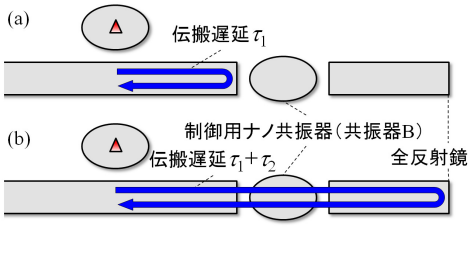

図 2　モード体積制御のための構造．(a) 非共鳴条件，共振器 B は反射鏡として作用する．(b)共鳴条件，伝搬光は共振器 B を透過し，伝搬遅延が大きくなる．

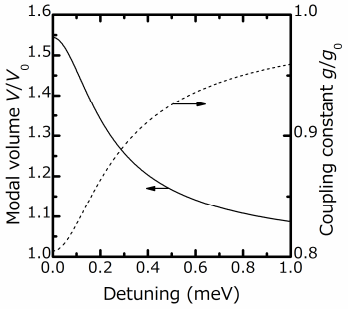

図 3　共振器 B と伝搬光の離調に対するの離調とモード体積および結合定数の変化．

© 2013 年　応用物理学会