量子相関光子対発生に向けた ZnO/ZnMgO 多重量子井戸微小共振器の設計 Design of ZnO/ZnMgO MQW Microcavity for Entangled Photon Pair Generation 阪大院エ [○]矢野 岳人,松井 裕輝,上向井 正裕,片山 竜二 Osaka University, [°]Taketo Yano, Yuki Matsui, Masahiro Uemukai, Ryuji Katayama E-mail: yano.t@qoe.eei.eng.osaka-u.ac.jp

量子情報処理において、量子相関光子対発生は主要な基盤 技術の一つである。量子相関光子対の発生方法としては非線 形光学結晶の2次非線形光学効果を用いた光パラメトリック 下方変換(OPDC)が代表的であるが、本研究ではそれとは 異なる手法であるワイドギャップ半導体中の励起子分子共鳴 ハイパーパラメトリック散乱(BRHPS)を用いる。BRHPS は半導体中に2光子共鳴励起によって生成された励起子分子 がポラリトン下枝(LPB)の二つの励起子ポラリトンに散乱 するコヒーレント過程であることから、それにより発生する こつの散乱光子は偏光状態に量子相関を有することが報告さ れている[1]。BRHPS は励起子ポラリトンや励起子分子の実励 起を伴うため、仮想励起過程である OPDC に比べ中間準位の 励起効率が高く、発生する光子対と励起光のエネルギーが同 程度であるといった OPDC には無い利点を有する。BRHPS による量子相関光子対発生は CuCl バルク結晶で既に実証済 みである[2]が、同材料は潮解性があり実用に適さない。よっ て本研究では実用性を考慮し、CuCl に準ずる励起子束縛エネ ルギーを有し、化学的に安定なワイドギャップ半導体である ZnO を検討する。ZnO の励起子分子束縛エネルギーはバルク において 14.7 meV と室温の熱エネルギー(25meV 程度)よ り小さいため、室温において励起子分子の熱的安定性は低い。 そのため、量子閉じ込め効果による励起子分子束縛エネルギ ーの増強が要請される。また、理論的観点から半導体微小共 振器の共振器電磁力学効果により BRHPS での量子相関光子 対の発生効率が格段に向上することが提案されている[3]。以 上より、量子相関光子対発生に向けた ZnO/ZnMgO 多重量子 井戸を組み込んだ平面微小共振器構造について検討する。

Fig.1 に微小共振器の模式図を示す。SiO2 および ZrO2 薄膜 で構成された分布ブラッグ反射鏡(DBR)を光の波長程度の 間隔で向かい合わせ、内部に ZnO/ZnMgO 量子井戸を組み込 んだ構造である。ZnO には価電子帯の分裂に起因する三つの 励起子(A、B、C)が存在する。これら三種類の励起子と共 振器フォトンモードが強く結合することにより形成される共 振器ポラリトン分散を現象論的ハミルトニアンを用いて計算 した (Fig. 2)。A、B、C 励起子のラビ分裂エネルギーはそれ ぞれの励起子振動子強度の 1/2 乗に比例する。 そのため Fig. 2 に示す共振器ポラリトン分散の計算において、A、B、C励起 子のラビ分裂エネルギーの比率を 1.0:2.7:3.0 に固定した。ラ ビ分裂エネルギー即ちポラリトン下枝の分散は量子井戸と微 小共振器構造の設計により一意に定まり、強結合ほど BRHPS 効率が向上する一方で、励起光入射角度は高角側に大きくシ フトする (Fig. 3 中の〇印)。ここで、Fig. 3 に点線で示すよ うに入射角度が大きくなるにつれて DBR 反射率の低下に伴 い励起子分子励起波長におけるQ値が低下し、共鳴励起効率 はむしろ低下する。つまり励起子のラビ分裂エネルギーは 100 meV 以上まで高めることができるが、過度な強結合は励 起子分子の共鳴励起には適さないことを示している。これら を考慮し、高効率な量子相関光子対発生に最適な微小共振器 の構造について検討を行った結果に関して、当日報告する。 [1] K. Edamatsu et al., Nature 431, 167 (2004).

[2] T. Itoh et al., J. Phys. Soc. Jpn. 45, 1939 (1978).

[3] M. Bamba et al., Phys. Rev. B 84, 045125 (2011).

Entangled Photon Pair



ZnO/ZnMgO MQW Fig. 1. Schematic of ZnO/ZnMgO MQW microcavity structure



Fig. 2. Calculated cavity polariton dispersion. Dashed lines indicate cavity photon mode and A-, B-, Cexciton energy respectively.



Fig. 3. LPB dispersion with different Rabi splitting energies Ω_{rabi} of A-exciton (red curves). Thin horizontal line indicates pump energy for biexciton. Dotted curves indicate Q-factor of microcavity.