

希釈窒化物半導体ナノワイヤ配列のフォトニック結晶応用の検討

Application of dilute nitride semiconductor nanowires for photonic crystals

愛大工¹, 阪大工² ○石川 史太郎^{1,2}, 後藤 洋昭², 森藤 正人²

Ehime Univ.¹, Osaka Univ.², ○Fumitaro Ishikawa^{1,2}, Hiroaki Goto² and Masato Morifuji²

E-mail: ishikawa@ee.ehime-u.ac.jp

一般的に GaAs, InAs などの化合物半導体混晶は, 構成元素の結合力を反映し, 格子定数が大きいほどバンドギャップが小さい. そのため, 従来レーザー光源に用いられた InGaAs 量子井戸, InAs 量子ドットなどの量子構造では, 閉じ込め層は圧縮型の歪を受け, その際の発光は TE 偏光となる. 対照的に, GaAs 中に数%の窒素を添加した希釈窒化物半導体 GaAsN は, 格子定数が縮小し, かつ, バンドギャップが縮小する. その量子構造は特異な伸張歪状態を持ち, 発光は TM 偏光が支配的になる. 従来より, 伸張歪状態による TM 偏光を利用することで, 結晶内電子の高効率な光変換, レーザー応用時の微分利得の向上, 高速動作が可能になることが予測されている. しかし, これまで有望な TM 偏光源の不在から, 積極的に利用されていない. 一方, ナノスケールの誘電率周期構造であるフォトニック結晶は, 従来不可能であった人為的光制御機能を持つ. 特に, 光源を導入した同結晶共振器構造は, 新機能レーザー応用など実用性が示され, 研究・開発が活発に行われている. 上述の一般的な TE 偏光源を用いた場合, フォトニックバンドギャップを得るためには, 空気孔を誘電体中に配列した, 空気孔配列構造が必要となる. 従ってレーザー等の事例は, 従来, 空気孔型に多くは限定的である. 反対に, TM 偏光源をフォトニック結晶へ導入する場合, 誘電体を空气中に配列した構造が必要となる. そこで本研究は, ボトムアップ手法で作製可能な希釈窒化物半導体 GaAsN 系ナノワイヤを適切に配列し, 誘電体ロッド型フォトニック結晶として機能させることを考えた. 本報告では, 理論的に上述のフォトニック結晶機能の発現が可能であるか, また, エッチングによるナノスケールロッド配列の作製と, その光学特性について見当した結果について報告する.

Fig. 1 (a)に, 時間領域差分法で計算した, 誘電体配列型 2 次元フォトニック結晶の TM モードでのフォトニックバンド構造を示す. 想定したロッドの周期は 500 nm, 半径は 140 nm である. 斜線で示した部分にみられるように, フォトニックバンドギャップが存在するバンド構造が得られることがわかる. ここで, 図中にマークしたバンド端位置では, 群速度は 0 となる. この場合複数の方向へ伝搬する光が結合して定在波状態を形成し, 電磁界分布 (図は $|H|^2$) は Fig. 1(b)のようになる. バンドギャップ, バンドエッジ双方を利用可能な Fig. 2 のバンド構造を有効に利用できれば, レーザーを含むフォトニック結晶デバイスを実現できると考えられる. Fig. 2 は, ロッド周期 a と半径 r を $r=0.36a$ とした三角格子型ロッド配列構造のフォトニックバンド計算結果である. この場合 a を変化させると, Fig. 2 のようなフォトニックバンドギャップの変化が得られることになる. 実際に伸張歪型 GaInNAs 活性層を含む Fig. 3 のテスト試料をエッチングにより作製し, その光学特性を調べたところ, フォトニックバンドギャップ中で表面より観測される発光強度の増加が得られた. この結果より, 同様の構造を持つナノワイヤ配列でも, フォトニック結晶効果を期待できると考えられる.

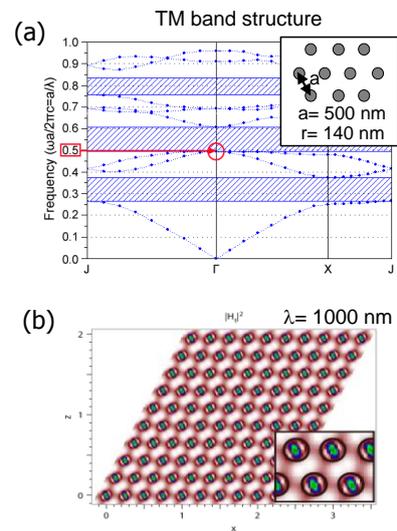


Fig. 1. (a) Calculated 2-D photonic band (b) $|H|^2$ distribution at $\lambda=1000$ nm.

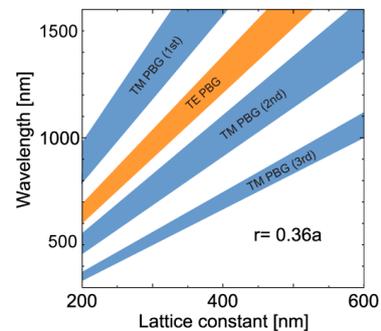


Fig. 2. Variation of photonic band gap as a function of latticed constant.

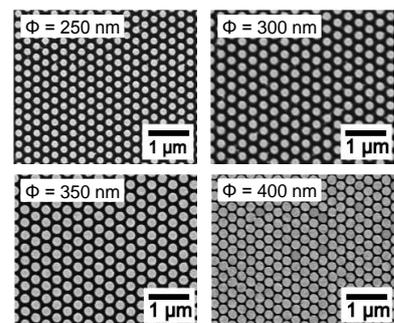


Fig. 3. Fabricated photonic crystal structure.