

窒化物半導体極性制御特異構造の非線形光学素子応用

Nonlinear Optical Application of Polarity-Controlled Nitride Singular Structures

阪大工 °片山 竜二

Osaka Univ., °Ryuji Katayama

E-mail: katayama.ryuji@eei.eng.osaka-u.ac.jp

現在、速度向上の飽和を迎えつつある古典計算機に対し、量子力学的重ね合わせによる超高速化を狙った量子計算機の開発が進んでいる。特に偏光や直交位相振幅といった光の量子状態を用いる系は、緩和時間が長く量子計算の実装方法として有力視される。その際、量子もつれ状態を室温で安定生成できる小型な光源が、キーデバイスとなる。というのも、近年自由空間光学系を用いた原理実証[1, 2]が報告されているが、特に光源部の部品点数が多く巨大となり、高精度の光軸調整が必要であり、また大型なチタンサファイアレーザを用いるため、普及にはハードルが高い。そこで当研究グループでは、将来求められる量子ビット数の増大に伴うスケーラビリティを実現しつつ上記の問題を解決する非古典光の発生原理の候補として、窒化物半導体光導波路型非線形光学素子中の光パラメトリック下方変換（Optical Parametric Down Conversion, OPDC）を検討している。この過程は二次の非線形光学（波長変換）過程であり、一光子から二光子が発生し、両者に量子力学的相関が存在する。これまで、窒化物半導体においては c 軸方向の反転対称性が欠如し、かつ強い光学非線形性を呈する特性に着目し、従来の LiNbO_3 などの強誘電体材料を凌ぐ高効率第二高調波発生を実証しており[3]、この逆過程である OPDC 過程においても同等の高い波長変換効率が見込める。また励起光源として小型の InGaN レーザを用いることができる。

一方で、上記の波長変換過程を実現するには、複屈折やチェレンコフ放射を用いる場合を除くと、通常は周期的分極反転やフォトリソニック結晶などの特異構造を用いて励起光と発生光の伝搬速度を一致（位相整合、 $\Delta k = 0$ ）させ、次式で表される OPDC 強度を最大化する。ここで L は素子長、 d と E_n ($n = p, s, i$) は光導波路中の非線形光学定数と光電界の伝搬垂直方向の分布である。

$$I_{\text{OPDC}} \propto \text{sinc}^2(\Delta k L) \left| \int_{-\infty}^{\infty} d(z) \cdot E_p(z) \cdot E_s(z) \cdot E_i(z) dz \right|^2$$

従来は電界印加による分極のパターニングが可能な強誘電体を用いられてきたが、近年の窒化物半導体研究分野において蓄積されたエピタキシャル成長技術と結晶工学的な知見を組み合わせると、常誘電性材料であるにも関わらず斬新な波長変換素子構造を実現できる。特に Δk をモード分散によりゼロとし、極性反転や線形・非線形媒質のヘテロ構造といった特異構造の導入により上式の重なり積分を最大化する横型擬似位相整合など、素子構造の自由度はかなり高い。本講演では、現在開発を進めているこれらの極性制御技術を利用した新規波長変換素子について概説する。

[1] A. Politi *et al.*, IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron. **15**(6), 1-12 (2009).

[2] G. Masada *et al.*, Nature Photon. **9**, 316-319 (2015).

[3] R. Katayama *et al.*, Ext. Abst. of Int. Workshop on Nitride Semicond. (2012).