フォトニック結晶導波路におけるスローライト誘起ドップラーシフト (II)
---断熱的波長変換による特殊な反射に関する考察

Slow-Light-Induced Doppler Shift in Photonic Crystal Waveguides (II)
--- A Consideration on Anomalous Reflection due to Adiabatic Wavelength Conversion

°近藤 圭祐，馬場 俊彦 （横国大院工）
°Keisuke Kondo, Toshihiko Baba (Yokohama Nat'l Univ.)
E-mail: kondo-keisuke-vs@ynu.jp

前回，我々は格子シフト型フォトニック結晶導波路 (LSPCW) においてスローライトで誘起するミラーによるドップラーシフトの可能性を報告した [1]．フォトニック結晶と衝撃波の組合せで同様の議論が行われているが [2]，本研究はミラーが準光速で移動する点が異なる．すなわち，スローライト増強された非線形屈折率変化によるフォトニックバンドギャップの周波数シフト [3]がミラーを発生させ，スローライトと共に移動する．反射された光は図 1 に示すように波長シフトする．図 1(a)~(c) よりわかるように，シフト量はミラーの速度υ_mに依存し，基本的に屈折率変化量Δnには依存しない．しかしこの基本原理に反して，Δnを小さくすると図 1(d) のように異なるスペクトルの反射光も生じることがわかっていたが，その原因は不明であった．今回，これについて考察したところ，実はミラーの反射とドップラー効果の組合せによるものではなく，断熱的波長変換と波数シフトにより生じた反射光であることがわかったので報告する．

LSPCW を伝搬する信号光がスローライトミラーと衝突するとき，Δn が十分に大きければ信号光は単純に反射される．しかしそうでないときは断熱的波長変換されながらミラー領域に進入する．このときの信号光の周波数ωと波数 k の変化は次式で表される [3]．

$$\Delta\omega = \frac{\omega n_g \xi}{cn}\int_C \frac{\partial}{\partial t}\Delta n(z,t)dz = \frac{\omega\xi}{n}\int_C \frac{\partial}{\partial t}\Delta n(z,t)dt\,,\quad \Delta k = \frac{k_0 n_g \xi}{n}\int_C \frac{\partial}{\partial z}\Delta n(z,t)dz = \frac{k_0 c\xi}{n}\int_C \frac{\partial}{\partial z}\Delta n(z,t)dt$$

ここで n_g は信号光の群屈折率，n は LSPCW の屈折率，ξは屈折率変化に対するフォトニックバンドの周波数シフトの係数，C は信号光の伝搬の軌跡である．これをフォトニックバンド図上に示すと図 2 のようになる．注目すべきは，バンド端付近の成分が $k = \pi/a$ のバンド端を跨いで第一ブリユアンゾーンへシフトする点である．これにより群速度が負になって信号光が逆行し，図 1(d) のようなスペクトルが観測されたと考えられる．これによりスローライト誘起ドップラーシフトの全容が解明された．

なお，本研究は NEDO「光エレ実装プロジェクト」の支援を受けた．

参考文献 1) 近藤ら，2015 春季応物，13p-A10-4. 2) E. J. Reed, et al., Phys. Rev. Lett., **90**, 203904 (2003). 3) K. Kondo, et al., Phys. Rev. Lett., **112**, 223904 (2014).

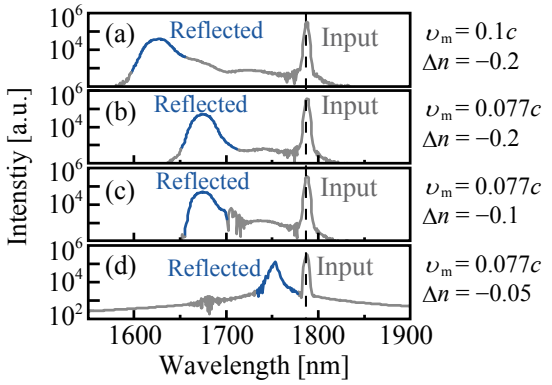

図 1 FDTD シミュレーションで得られた信号光のスペクトル．点線は入力波長を示す．

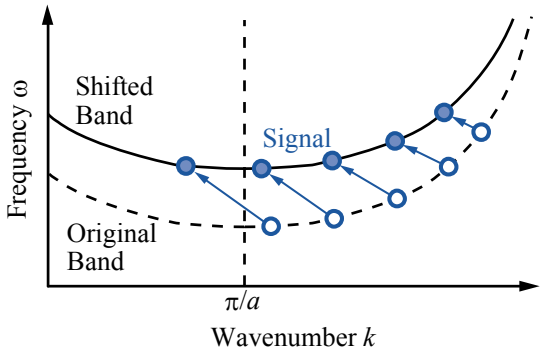

図 2 信号光がスローライトミラー領域に進入するときのミラー通過前後のフォトニックバンドと信号光の動作点の遷移．

© 2015年 応用物理学会