静電櫛歯アクチュエータを用いた ダイヤモンド光デバイスの共鳴波長制御

東北大学　大学院工学研究科 ロボティクス専攻
池田太郎，金森義明

１．はじめに

ダイヤモンドは，炭化ケイ素や窒化ガリウムなど他のワイドバンドギャップ半導体をも凌駕するその優れた材料物性により，次世代のパワー半導体材料として注目されている[1,2]。さらに，ダイヤモンド結晶中の窒素-空孔(NV)センタやケイ素-空孔(SiV)センタに例示される，光で量子状態を読み出すことが可能な「カラーセンタ」と呼ばれる格子欠陥の存在により，量子センサや量子情報処理をはじめとした量子技術への応用が期待されている[3-5]。ダイヤモンドは可視光から赤外光までの幅広い波長帯域で透明であることから，光デバイスに適した材料であるが，一方で 2.4 程度という高い屈折率により，カラーセンタからの発光の大部分が全反射により結晶中に閉じ込められ，有効に利用することができない。カラーセンタからの発光を増強するため，ダイヤモンドを用いたフォトニック結晶スラブ(PhCS)型の共振器が研究されているが[4]，高い品質係数（Q 値）が得られる反面，製作誤差により容易に共鳴波長がシフトすることから，簡便に共鳴波長を調整可能な手法が求められている。

共鳴波長をはじめとした光学特性を可変にする手法として，Micro-/Nanoelectromechanical systems (MEMS/NEMS)を用いた微小光学素子の機械的な駆動が挙げられ，熱光学効果や電気光学効果を用いた手法と比較して小型かつ低消費電力といった利点を有している[6]。特にシリコンフォトニクスの分野において，静電櫛歯アクチュエータを用いて微小光学素子の共振器長を機械的に変化させることで，可変フィルタを実現した例が報告されている[7,8]。静電櫛歯アクチュエータを用いた機械駆動による共鳴波長制御は，材料に依存せず適用可能なメカニズムであることから，材料そのものの難加工性が課題となるが，ダイヤモンド系材料においても MEMS/NEMS との融合による可変光デバイスの実現が期待できる。

本稿では，まず静電櫛歯アクチュエータの動作メカニズムについて概説する。さらに，超微結晶ダイヤモンド(Ultrananocrystalline diamond: UNCD)薄膜上に製作した静電櫛歯アクチュエータ[9]，および光デバイスと集積化した機械駆動型のダイヤモンド可変光デバイス[10]に関する，著者の最近の研究成果について紹介する。

２．UNCD 静電櫛歯アクチュエータ

2-1　静電櫛歯アクチュエータの構造および動作メカニズム

静電櫛歯アクチュエータの構造および動作メカニズムの概略を図 1 に示す。静電櫛歯アクチュエータは，互いに対向した 2 つの櫛歯型の電極（ばねで支持された自立構造に接続された「可動櫛歯」と，固定された「固定櫛歯」）から構成される(図 1(a))。可動櫛歯と固定櫛歯の間に電圧を印加することで静電引力が発生し，可動櫛歯が固定櫛歯側へ引き寄せられることで駆動する(図 1(b))。本稿で紹介する静電櫛歯アクチュエータは，可動櫛歯と固定櫛歯を同一面内に配置することで，可動櫛歯を有する自立構造を面内方向へ駆動する。N_c組の櫛歯に駆動電圧Vを与えた際のアクチュエータの駆動量xは，次式を解くことで求められる[11]。