

マイクロ・ナノマシニングによる光通信用可変フォトニックデバイス
の研究
Tunable photonic devices fabricated by micro-nano machining
for optical communication

羽根 一博 (Kazuhiro Hane)
東北大学・大学院工学研究科・教授



研究の概要: マイクロアクチュエータによる可変機能を組み込んだ光通信用デバイス (光スイッチ、減衰器、フィルタ等) の研究を行う。具体的にはサブミクロンで深い加工のできるマイクロマシニング技術を用いて波長より小さい周期構造 (フォトニック結晶、サブ波長構造) を製作し、マイクロアクチュエータを組み込む。

研究分野 / 科研費の分科・細目 / キーワード

工学 / 電気電子工学・電子デバイス・機器工学 / MEMS、マイクロマシニング、光スイッチ、フォトニック結晶

1. 研究開始当初の背景・動機

近年、インターネットや携帯端末の拡大により小型で機能が集積された光通信用部品の開発が必要となっている。また波長多重方式やネットワークの柔軟性のために、可変機能や制御性に優れた光デバイスが必要とされている。MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) は半導体微細加工により製作した微小機械であるが、MEMS のアクチュエータは小型でありながら広い可変機能を実現できる。

一方、フォトニック結晶などの微細な光デバイスは高い光制御機能を持ち、光通信用デバイスなどの高機能化・集積化に利用できると期待されている。

本研究では、MEMS をさらに微細領域に展開するとともに、フォトニック構造との結合により新しい可変光デバイスを実現したいと考えた。

2. 研究の目的

研究の目的は、マイクロアクチュエータによる可変機能を組み込んだ光通信用デバイス (光スイッチ、減衰器、ブラッググレーティングフィルタ、フォトニック結晶フィルタ等) の研究を行うことである。本研究では、MEMS の可変機構として 3 次元立体フォトニック構造を組み合わせ、新しい光通信用デバイス (光フィルタ、光スイッチ等) を製作する技術を確立する。具体的にはサブミクロンで深い加工のできるマイクロマシニング技術を用いて波長より小さいあるいは同程度の周期構造 (フォトニック結晶、サブ波長構造) を製作する。こ

の構造にマイクロアクチュエータを組み込み、周期を可変にすることで、波長選択性のある新しい光素子 (光フィルタ、反射光制御) を開発する。

3. 研究の方法

フォトニック結晶に MEMS アクチュエータを組み込んだ機械方式によるアクティブなフォトニック結晶導波路光スイッチ、共鳴格子フィルタ、光減衰器等について基本動作の設計・応答の解析を行った。導波モード共鳴格子に類似した回折格子構造において、共鳴条件を可変にできる周期可変格子について考察し、具体的な光学構造を設計した。

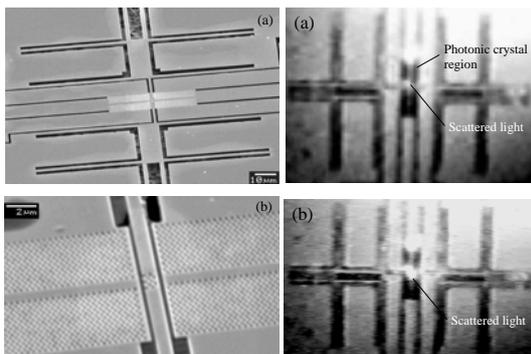
マイクロ構造を用いた光デバイスとして、マイクロミラーによる光減衰器や波長可変レーザー用の共振器用ミラー等の設計・製作を行った。可変機能の実現には、マイクロアクチュエータの設計・製作が欠かせない。くし型および平行平板静電マイクロアクチュエータの設計・製作を行った (評価用プローブステーション、DC 電源)。マイクロミラーを用いた光減衰器では、低電圧駆動を実現するため、補助電極構造、やわらかい支持ばね構造を提案し、試作した。ナノ構造に接続できるマイクロアクチュエータの設計と製作においては、スケールの大きな違いにより、製作プロセスを開発する必要がある。10 μm 厚さのくしアクチュエータと 200nm 厚さのフォトニック構造と接続できるプロセスを開発した。

ナノスケールのフォトニック構造 (フォトニック結晶、導波モード共鳴格子など)

の製作においては電子線描画を利用する。電子線描画装置と原子線エッチング装置の運転により、それらの加工に必要な電子線リソグラフィ加工技術を確立した(デバイス観測用赤外カメラ、偏光顕微鏡)。ナノスケールの光学素子の設計には、厳密解法の電磁界解析を必要とする。ソフトウェアの開発と数値計算を行い、設計と評価法を確立した。

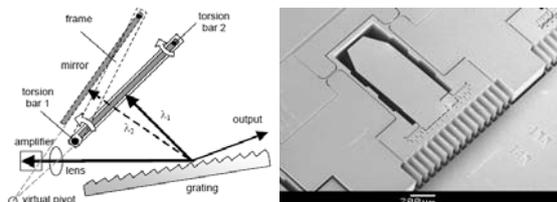
4. 研究の主な成果

フォトニック結晶と MEMS アクチュエータを接続した光スイッチを下図に示す。試作の結果と動作時の赤外線カメラ観察結果を示す。精度よく製作されており、スイッチ動作に伴い、散乱光が変化しており、動作が確認される。透過光量の電圧依存性を測定すると、180V で最も透過光量が下がり遮断状態となる。さらに電圧を上げてアクチュエータの駆動距離を増加させると逆に空隙を通して透過光が増加する。このような特性は理論計算からも説明できた。(論文 1,3)



MEMS アクチュエータを結合したフォトニック結晶導波路光スイッチ (右上:ON, 右下:OFF)

MEMS ミラーを用いたいくつかのデバイスを試作した。下図に示すように外部共振器を用いた光通信用波長可変レーザを実現するため、ウエハ折り曲げとマイクロミラーを組み合わせた平行2軸回転マイクロミラーを製作した。(論文 2)



波長可変レーザ用平行2軸回転ミラー

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

本研究の開始時期頃に MIT、UCB、東北大(本研究)、東京大学などのグループでシリコンのフォトニック結晶に MEMS を組み合わせるいくつかの方式が提案された。しかし、実際に試作に取り掛かると、製作がかなり困難であることが明らかになった。これはフォトニック結晶がサブミクロンの周期構造で、可動構造にする場合に極めて壊れやすいためである。また、フォトニック結晶と MEMS のスケールが大きく異なり、ハイブリッド構造を実現する困難さが明らかになった。しかしフォトニック結晶の分野と MEMS/NEMS の両方の分野から注目された。MEMS のナノ領域への展開も期待されており、その先端研究として注目されている。この中で、一つの方式が東北大で実現できたことはインパクトが高いと考えられる。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

1. **K.Hane**, K.Umemori, Y.Kanamori, "Photonic crystal waveguide switches with movable slabs", IEICE Trans. Electron. E90-C (1), 51-58 (2007).

2. M.Ishimori, M.Sasaki, **K.Hane**, "Micromirror with two parallel rotation axes for external cavity diode laser," IEICE Trans. Electron. E90-C(1) 72-77 (2007).

3. K.Umemori, Y.Kanamori, **K.Hane**, "A photonic crystal waveguide switch with a micro-electro-mechanical actuator," Appl. Phys. Lett. 88, 021102-1-3 (2006).

4. T.Kobayashi, Y.Kanamori and **K.Hane**, "Pitch-variable Subwavelength Gratings Driven by Comb Actuators", IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS and Their Applications, 198-199 (2004).

5. J.-H.Song, Y.Taguchi, M.Sasaki, **K.Hane**, "MEMS device for controlling evanescent field on side-polished optical fiber," Jpn. J. Appl. Phys. 42 (4B) 2335-2338 (2003).

6. M.Ishimori, J.Song, M.Sasaki, **K.Hane**, "Si-Wafer Bending Technique for a Three-Dimensional Microoptical Bench," Jpn. J. Appl. Phys. 42(6B), 4063-4066 (2003).

ホームページ等

<http://www.hane.mech.tohoku.ac.jp>