

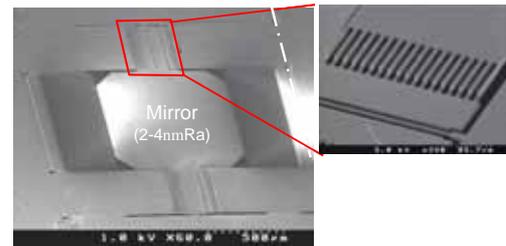
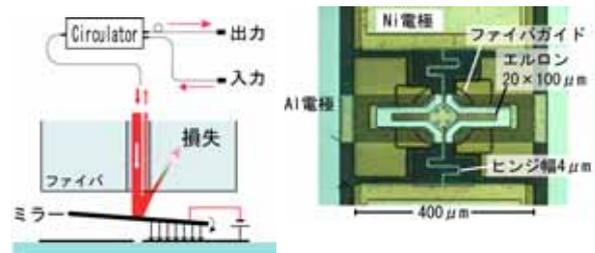
平成 16 年度科学研究費補助金（基盤研究（S））研究状況報告書

ふりがな	はね かずひろ					
研究代表者氏名	羽根 一博		所属研究機関・部局・職	東北大学・大学院工学研究科・教授		
研究課題名	和文	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				
	英文	Tunable photonic devices fabricated by micro-nano machining for optical communication				
研究経費	平成14年度	平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	総合計
16年度以降は内約額 金額単位：千円	18,500	18,300	16,600	15,800	13,300	82,500
研究組織（研究代表者及び研究分担者）						
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担（研究実施計画に対する分担事項）			
羽根 一博	東北大学・大学院工学研究科・教授	電子工学	研究の総括、光学設計			
佐々木 実	東北大学・大学院工学研究科・助教授	応用物理学	微細加工プロセスの開発、デバイスの製作			
金森 義明	東北大学・大学院工学研究科・助手	機械工学	デバイスの製作光学測定・評価			
当初の研究目的（交付申請書に記載した研究目的を簡潔に記入してください。）						
<p>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、）の研究を行うことである。本研究では、MEMS の可変機能と 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。</p>						

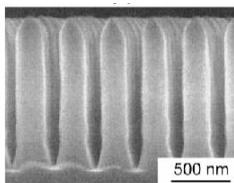
これまでの研究経過（研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。）

1. マイクロミラーを用いた光通信デバイス：

MEMS ミラーを用いたいくつかのデバイスを試作した。右図に結果の例を示す。右図の上の図は光ファイバーとマイクロミラーを組み合わせた光減衰器の構造と試作結果である。ファイバーの近傍に設置したマイクロミラーの傾きにより戻り光を減衰させる方式である。印加電圧に対する減衰を確認した。（論文準備中）右図下は光路切り替え等に用いる垂直くし型電極マイクロミラーの試作結果である。ウエハ折り曲げによる新しくし型アクチュエータを設計し試作した。また、外部共振器を用いた通信波長可変レーザを実現するため、ウエハの折り曲げとマイクロミラーを組み合わせた構造を設計試作した。



2. サブ波長格子による反射制御：



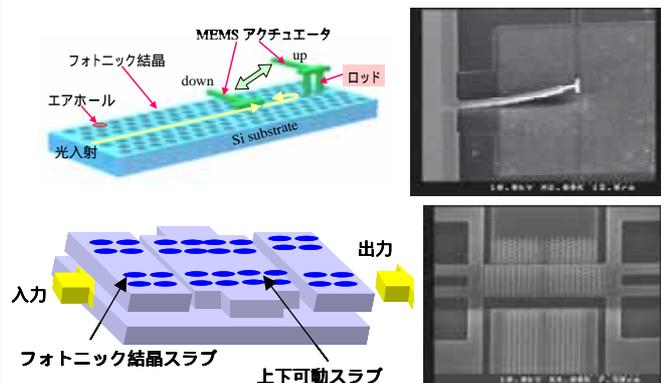
波長より十分小さい周期の構造は、反射防止や偏光制御に有効であると期待される。反射防止は格子により表面部の屈折率を人工的に変えることにより生じる。左図に半導体（GaSb）基板に製作した結果を示す。高いアスペクト比の格子が実現できた。シリコンや GaAs の他ガラス上にも同様の格子を製作し、表面反射を極めて低く（最小 1/100 程度）低減できることを示した。

波長より十分小さい周期の構造は、反射防止や偏光制御に有効であると期待される。反射防止は格子により表面部の屈折率を人工的に変えることにより生じる。左図に半導体（GaSb）基板に製作した結果を示す。高いアスペクト比の格子が実現できた。シリコンや GaAs の他ガラス上にも同様の格子を製作し、表面反射を極めて低く（最小 1/100 程度）低減できることを示した。

3. フォトニック構造を用いた光デバイス：

フォトニック結晶では欠陥を導入することで導波路を実現できるが、導波路中の格子構造を可変にすることで、光波の伝播を制御できると考えられる。MEMS による格子の可変方法を提案し、プロセスを設計した。下図に示す 2 種類の構造（スイッチ構造）を設計した。第 1 の構造ではマイクロカンチレバーにより格子の一部を埋めて格子の欠陥構造を変更する方式である。第 2 の方式では自立したフォトニック結晶スラブ構造を空間的に分割して製作し、静電アクチュエータにより導波路の結合を変更する。

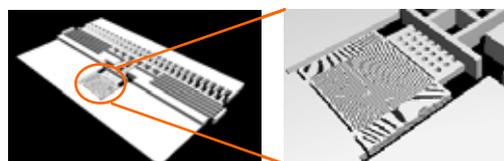
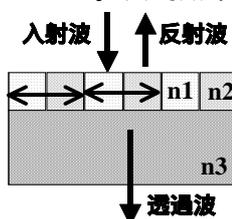
設計においては、FDTD 法による数値解析を行った。第 1 の方式では 3~6 周期の格子を挿入することで光の伝播を阻止できることを明らかにした。第 2 の方式では、可動スラブと固定スラブの間隙の最適値を求めた。



SOI ウエハを用いて二次元フォトニック結晶導波路を製作した。電子線描画によりサブ波長周期の結晶パターンを転写した。高速原子線および高密度プラズマにより結晶の空孔を高いアスペクト比でエッチングした。これらのデバイスの製作に欠かせない犠牲層のドライエッチングを実現するため、フッ化水素の蒸気によるエッチング装置を製作し、エッチング特性を調べた。どちらの構造においても、試作を繰り返し、MEMS アクチュエータによる動作を確認できた。今後光学特性の測定を目指す。（論文計画中）

4. 導波モード共振フィルタ：

同じくサブ波長格子の共鳴効果を利用したフィルタの研究にも着手した。理論解析により、クラッドを持たない自立シリコン格子であっても共鳴による導波モードフィルタ効果が生じることを明らかにした。この構造を利用した波長可変フィルタを実現するため、設計を行った。また MEMS アクチュエータにより周期を可変にする仕組みを導入した。格子の周期を 600nm の状態から 700nm まで変化させることができた。格子層の厚さを 300nm、格子下部から Si 基板までの空気層は 4μm とし、受光面積は約 50 × 50μm² であった。共鳴効果による反射を確認した。（論文準備中）



可変共振フィルタの構造



特記事項 (これまでの研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。)

マイクロアクチュエータを用いる MEMS 方式の光通信部品は、クロストークが少なく、可変機能などの制御性に優れるので、実用化が世界的に期待されている。特にマイクロミラーを駆動する光スイッチ、光減衰器などが有望視されている。本研究で試作したファイバー結合型の光減衰器はレンズを用いる場合に比較して光軸位置合わせが容易で、生産性に優れている。

外部共振器を用いた集積光学系による通信用波長可変レーザを実現するため、ウエハの折り曲げとマイクロミラーを組み合わせた構造を設計試作しているが、立体構造を実現するために導入したウエハ折り曲げ方法は、平面ウエハ構造で光部品の配置を行なった後、折り曲げにより立体的な光学系を構成できるので、立体度の高い光学系 (マイクロベンチ) を実現できる。本方式は光システムに広く利用できるので、光集積化技術を格段に発展させる可能性がある。

一方、サブ波長周期のフォトニック構造 (フォトニック結晶、サブ波長構造など) では、高い波長選択性やフレネル反射の抑制、特殊屈折効果など新しい現象が報告され、新しいフォトニック素子への期待が高い。これらの周期構造は波長により決定されており、その波長に対する共振構造であるので、周期をわずかに変えることで、極めて大きな光出力応答変化が得られ、優れた波長選択性能を実現できる。フォトニック構造を可変にする試みは、まだほとんど緒に就いていない。本研究では MEMS アクチュエータを用いた方式を提案しているが、わずかな形状変化により共振構造が変えられるので、MEMS アクチュエータとの組み合わせは有効である。フォトニック構造を可変にして機能性を格段に高める方法として有望であると考えられる。

フォトニック構造の中でも、導波モード共振フィルタは光の入出力がスラブ部に対して垂直方向であるので、光の入出力構成が極めて容易であり、新しい光フィルタとして有用である。これまでに、可変の導波モード共振フィルタを実現した報告はなく、試作結果の新規性は極めて高い。具体的には SOI ウエハからくし型電極とこれに結合したサブミクロン周期の自立シリコン導波格子を製作したが、周期を約 15% 変えることができ、可変フィルタとして極めて有用であると考えられる。サブミクロン構造と数 10 μm の MEMS 構造を同時に製作できたことは、MEMS 製作技術として価値がある。

研究成果の発表状況 (この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文(発表予定のものを記入することも可能。)の全著者名、論文名、学協会誌名、巻(号)、最初と最後のページ、発表年(西暦)、及び国際会議、学会等における発表状況について記入してください。)

論文

- 1) M.Ishimori, Y.Kanamori, M.Sasaki, K.Hane, "Subwavelength Antireflection Gratings for Light Emitting Diodes and Photodiodes Fabricated by Fast Atom Beam Etching", Jpn. J. Appl. Phys. 41,6B 4346-4349 (2002)
- 2) M.Sasaki, T.Ando, S.Nogawa, K.Hane, "Direct photolithography on optical fiber end", Jpn. J. Appl. Phys.41, 6B 4350-4355 (2002)
- 3) Y.Kanamori, M. Ishimori, K.Hane, "High efficient light-emission diode with antireflection subwavelength gratings", IEEE Photonics Technology Letters 14, 8, 1064-1066 (2002)
- 4) Y.Kanamori, K.Hane, "Broadband Antireflection Subwavelength Gratings for Polymethyl Methacrylate Fabricated with Molding Technique", Opt. Rev. 9, 5, 183-185 (2002)
- 5) M.Sasaki, K.Miura, K.Hane, K.Minami, "Tunable Fiber Bragg grating combined with microactuator", Jpn. J. Appl. Phys. 41, 6B, 4356-4361 (2002)
- 6) M.Sasaki, T.Yamaguchi, J.-H.Song, K.Hane, "Optical Scanner on a Three-Dimensional Microoptical Bench", J. Lightwave Technol. 21, 3, 602-608 (2003)
- 7) 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)
- 8) M.Sasaki, T.Fjii, K.Hane, "Anisotropic Si Etching Condition for Preparing Optically Smooth surfaces", Sensors and Materials 15, 2, 89-92 (2003)
- 9) M.Ishimori, J.-H.Song, M.Sasaki, K.Hane, "Si-Wafer Bending Technique for a Three-Dimensional Microoptical Bench", Jpn. J. Appl. Phys. 42, 6B, 4063-4066 (2003)
- 10) Y.Kanamori, K.Kobayashi, H.Yugami, K.Hane, "Subwavelength Antireflection Gratings for GaSb in Visible and Near-Infrared Wavelength", Jpn.J.Appl.Phys. 42,6B,4020-4023 (2003).
- 11) V.K.Singh, M.Sasaki, J.H.Song, K.Hane, "Heating effect on photoresist is spray coating technique for three-dimensional lithography", Jpn.J.Appl. Phys. 42, 6B, 4027-4030 (2003).

国際会議

- 1) Y.Kanamori, M.Ishimori, K.Hane, "Subwavelength antireflection structure for optical detector fabricated by fast atom beam etching", Proceedings of SPIE 4928, 27-34 (2002).
- 2) M.Ishimori, J.H.Song, M.Sasaki, K.Hane, "Si wafer bending technology for a three dimensional micro optical bench", Microprocesses and Nanotechnology 328-329 (2002)
- 5) K.Hane, M.Sasaki, "Silicon Optical MEMS: Three Dimensional Micromachining and Integration", ECS Seventh International Symposium on Magnetic Materials, Processes, and Devices, 540 (2002).6) K.Hane, M.Sasaki, "Silicon Micro-Machining for Optical Systems", Ninth International Conference on Composites Engineering(ICCE/9) 1-4 (2002).
- 7) K.Hane, "Optical MEMS using thin film structures and bulk micromachined substrate", Symposium on Functional Coatings and Surface Engineering (FCSE-2003) 40 (2003).
- 8) K.Hane, Y.Kanamori, "Subwave Grating and Optical MEMS", The second Japan-Taiwan Workshop on Mechanical and Aerospace Engineering, 85-91. (2003)
- 9) Y.Kanamori, Y.Aoki, M.Sasaki, H.Hosoya, A.Wada and K. Hane, "Driving of optical fiber by surface-micromachined cam-micromotor for the applications to variable optical attenuator", 2003 IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, 119-120 (2003).
- 10) Y.Kanamori, K.Inoue, K.Horie and K.Hane, "Photonic crystal switch by inserting nano-crystal defects using MEMS actuator", 2003 IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS, 107-108 (2003).