



MEMS技術の 光エレクトロニクス応用に関する研究

マイクロマシンで光を制御

年吉 洋

東京大学 生産技術研究所 マイクロメカトロニクス国際研究センター
准教授

研究の背景

電子デバイスが真空管からトランジスタになり、光デバイスでは半導体レーザーが誕生し、その後、ようやく1980年代になって機械構造がマイクロ化した。半導体プロセス技術を応用してシリコン基板上に機械構造を集積化するMEMS技術の誕生である(MEMS=Micro Electro Mechanical Systems)。現在では、車載加速度センサやゲーム機、画像プロジェクタなどにMEMS技術を見ることが出来る。我々は研究の初期の段階から微小光学とMEMSの整合性と将来性に注目し、MEMSデバイスの原理、設計・製作法、光学応用に関する研究開発を行ってきた[1-3]。図1はMEMSの機械的動作で発生可能な光学変調方式を、光線幾何学、波動光学、電磁気学、量子光学の順に展開したものである。なかでも、MEMSを用いた光の反射や干渉は、後述の光

ファイバ通信デバイスや画像ディスプレイなどに応用されている。

研究の成果

1. 光ファイバ通信応用MEMS

本研究の最初の応用先は光ファイバ通信分野であった。図2は、シリコン半導体マイクロマシニングで製作した静電ミラー型の光ファイバ可変減衰器であり、企業との共同研究によって製品化したものである[4]。貼り合わせシリコン基板を当時最新の高アスペクト比ドライエッチング装置を用いて加工し、比較的低い印加電圧(5V)で発生する静電引力によって光の反射角度を制御した。可変減衰器とは、波長多重光通信ネットワークが低ビットエラーレートで最適動作するように各チャンネルの光強度を調整するための重要な部品であり、ネットワークの各所で用いられている。インターネットで情報を送受信する際には、知

らないうちに必ずこの部品を通して光信号がやり取りされている。またこのほかにも、誘電体多層膜ミラーの間隔をMEMS的に調整して、透過光の中心波長を制御する方式の波長可変フィルタの研究開発も併せて行った[5]。

2. 光MEMSの医療応用

光ファイバ通信用のMEMS技術の水平展開先として、図3に示すような医療用光ファイバ内視鏡の研究開発を行った。この装置は、体内(特に血管の内壁)に挿入して組織断面の観察を低侵襲で行うMEMS医療機器として開発した。体内で観察光を走査する部品として、先端にMEMS光スキャナを搭載している。また、体内に電圧を導入してMEMS部品を駆動するのはリスクが大きいため、本研究では観察光とは別の波長の光を利用してMEMS駆動用のエネルギーを光伝送する方式を採用した[6]。

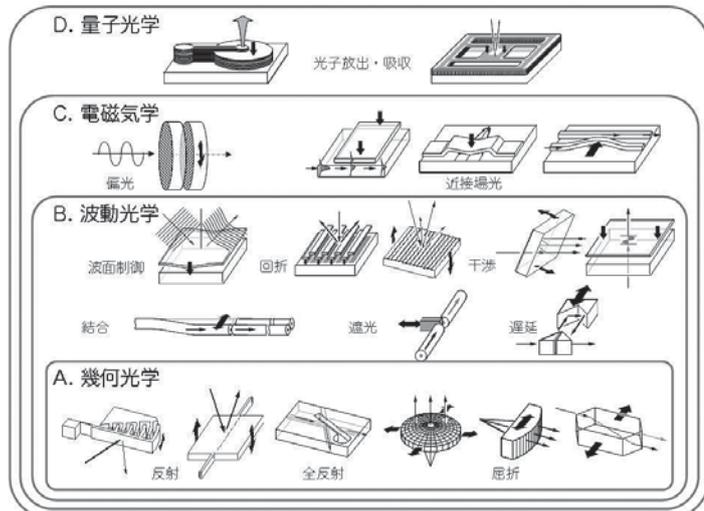


図1 MEMSの機械的動作によって操作可能な光変調。古典的な光線幾何学から、波動光学、電磁気学的な光操作、量子光学にいたるまで、マイクロ・ナノメカニカル構造が幅広く利用可能である。

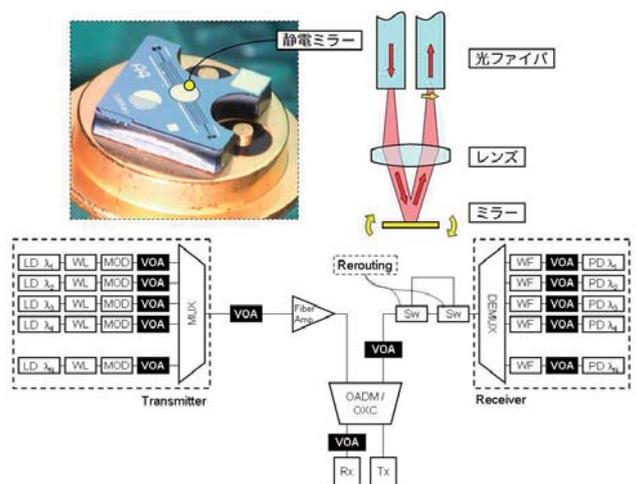


図2 MEMS技術を応用した光ファイバ可変減衰器。静電駆動型のマイクロミラーで光を反射し、光ファイバ間の結合効率を制御する。光ファイバ通信網を低ビットエラーレートに最適化するための重要なデバイスとして実用化した。

図3 光ファイバ通信MEMS技術の水平展開として研究開発した医療用光ファイバ内視鏡。先端にMEMS光スキャナを内蔵し、組織に観察光を操作する。MEMSの駆動エネルギーも別の波長の光で伝送する。写真は指先の指紋の断面画像。

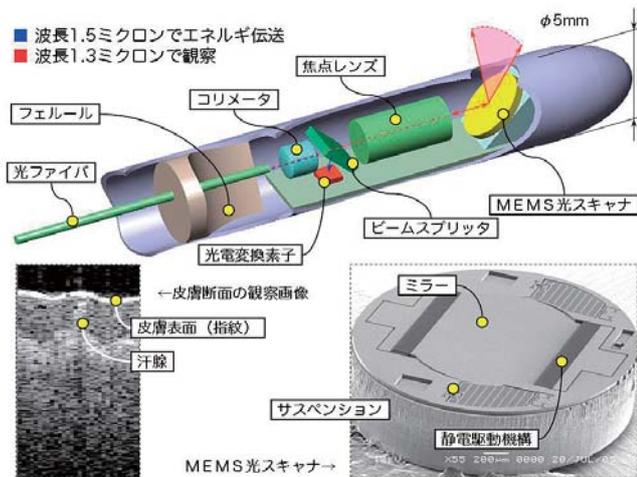
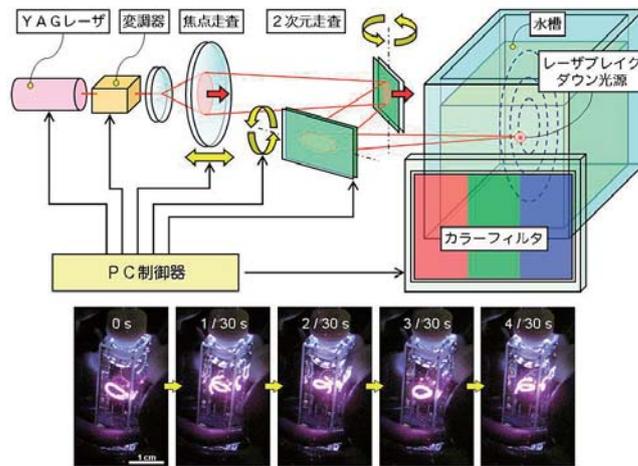


図4 YAGレーザーの強力な電界によって液体(水)をプラズマ化し、その点光源を操作することで3次元ビットマップ画像を形成する。小型3次元ディスプレイ用に、MEMS型の光スキャナを開発した。



光ファイバを通してエネルギーと情報の両方を伝送できるため、本方式は内視鏡以外にも光ファイバセンサネットワークへの応用が期待されている。また、本デバイスには、光によってMEMSデバイスを駆動し、その効果によって別の光を操作するという概念が盛り込まれている。この原理をより小さな物理領域で展開し、ナノメカによる新たな光デバイスの創成を模索中である。

3. 光MEMS技術の画像ディスプレイ応用

MEMS光スキャナを用いた画像ディスプレイは、光MEMSの応用先として注目を集めており、国内外の企業・大学でさまざまな方式が研究開発されている。本研究でも産学連携の一環として、圧電型の光MEMSスキャナを開発し、VGAクラスの動画を表示している[7]。2次元動画の次のステップとして、本研究では新たに3次元動画の表示方式についても研究を行った。図4は、強力なYAGレーザーのパルス光電界を用いて液体媒質中にプラズマを発生し、その光を点光源に用いて3次元ビットマップ画像を形成する手法を示したものである[8]。発光媒質として、有機・無機の種々の液体を試した結果、水道水でも低閾値で発光できることが分かった。走査光学系の小型化のために、大出力レーザー光でも損傷しない超小型MEMS光スキャナを併せて開発した。

4. 光MEMSの大面積化

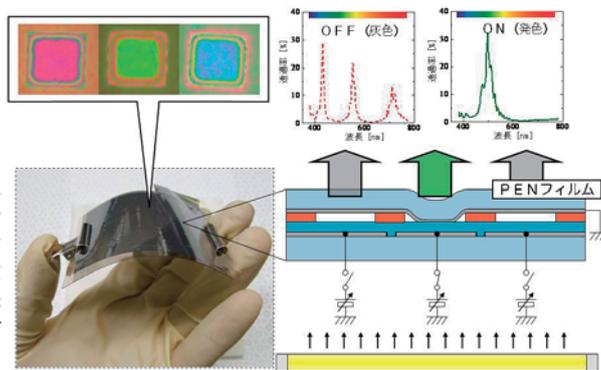
半導体微細加工技術を利用したMEM

Sでは、デバイスの外形寸法は数cm程度に制限される。そこで新たなMEMS加工方式として、ロール・ツール・ロール印刷技術を用いて、パタニング、膜付け、貼り合わせ等の加工をウェブ幅20cm程度で行う手法を開発した。図5は薄いプラスチックフィルムの表面に金属膜や光干渉膜などの製膜加工を行った後に、貼り合わせて形成した静電駆動型のファブリ・ペロ光干渉計である。干渉計の光路長を静電駆動のフィルムの変形によって行うことで、背後の白色光源からの透過光波長を選択し、色味を付けることができる。これまでに、赤、緑、青の3色を試作し、その静電駆動に成功した。

将来展望

MEMSの微小光学応用には光の反射、干渉以外にも実に様々な方式がある[10]。また、MEMSデバイスの微細化は現状の数ミクロン寸法に留まらず、これからもサブミクロンからナノの領域に移行するだろう。光の波長と同程度のナノメカは、図1の方式以外の新たな物理現象による光学効果をもたらす。そのときには、光と電子、メカの3者が相互作用する全く新しいデバイスとなるに違いない。

図5 プラスチックフィルムの表面を加工して製作した大面積MEMS型のカラー画像ピクセル。貼り合わせたフィルム間隔を静電駆動によって変化させ、バックライトからの透過光の色味を制御する。電子サイネージ(看板)への応用を検討中。



References (参考文献)

- [1] H. Toshiyoshi, H. Fujita, IEEE J. Microelectromech. Syst. 5(4), 231-237, 1996.
- [2] H. Toshiyoshi, W. Piyawattanametha, C.-T. Chan, and M. C. Wu, IEEE J. Microelectromech. Syst. 2(10), 205-214, 2001.
- [3] D. Hah, S. T.-Y. Huang, J.-C. Tsai, H. Toshiyoshi, M. C. Wu, IEEE J. Microelectromech. Syst. 13(2), 279-289, 2004.
- [4] K. Isamoto, A. Morosawa, M. Tei, H. Fujita and H. Toshiyoshi, IEEE JSTQE 10(3), 570-578, 2004.
- [5] T. Yamano, T. Endo, and H. Toshiyoshi, Sensors and Actuators A 145-146, 116-122, 2008.
- [6] C. Chong, K. Isamoto, and H. Toshiyoshi, Photon. Tech. Lett. 18(1), 133-135, 2006.
- [7] 谷 雅直, 赤松雅洋, 安田喜昭, 藤田博之, 年吉 洋, レーザー研究, 第36巻4号, 183-189, 2008.
- [8] A. Chekhovskiy and H. Toshiyoshi, Jpn J. of Appl. Phys., 47(8), 6790-6793, 2008.
- [9] Y. Taii, A. Higo, H. Fujita and H. Toshiyoshi, J. SID 14(8), 735-741, 2006.
- [10] K. Takahashi, M. Mita, H. Fujita, K. Suzuki, H. Funaki, K. Itaya and H. Toshiyoshi, IEEE Custom Integrated Circuits Conference(CICC 2008), Sept. 21-24, 2008, DoubleTree Hotel, San Jose, CA, USA.