

技術調査レポート^の (技術動向編) 第3号

MEMSに関する技術の現状と課題

経済産業省産業技術環境局技術調査室
製造産業局産業機械課

発行

平成15年 3月28日

電話 03-3501-1366

はじめに

技術調査室では、技術調査レポート(統計・研究システム編、海外編)とともに、個別技術の動向について「技術調査レポート(技術動向編)」として省内外に情報提供することとしております。今回は技術動向編の第3号として、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)技術を取り上げました。

今回のレポート内容

MEMSは、半導体微細加工技術等を用いて、機械・電子・光・化学等の多様な機能を集積化したデバイスである。

MEMSは、製品(システム)差別化のキーテクノロジーとして多くの応用事例が検討されている。

特許・論文数とも1990年代後半から大幅に増加している。

MEMS技術を活用した製品(システム)開発の本格化のためには、製品(システム)開発や多品種少量生産に活用できる開発・量産ファンドリーサービスのための環境整備や設計支援技術(シミュレーション等)の構築、製造技術の一層の高度化・標準化が重要である。

また、本レポートでは、MEMSデバイス事例を補論として掲載した。

なお、本レポートのとりまとめでは「技術動向調査委員会」(委員長:古川勇二・東京都立大学大学院教授)における検討結果を参考にした。

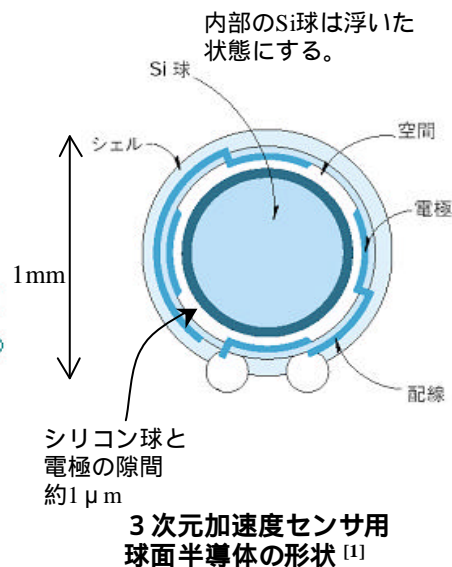
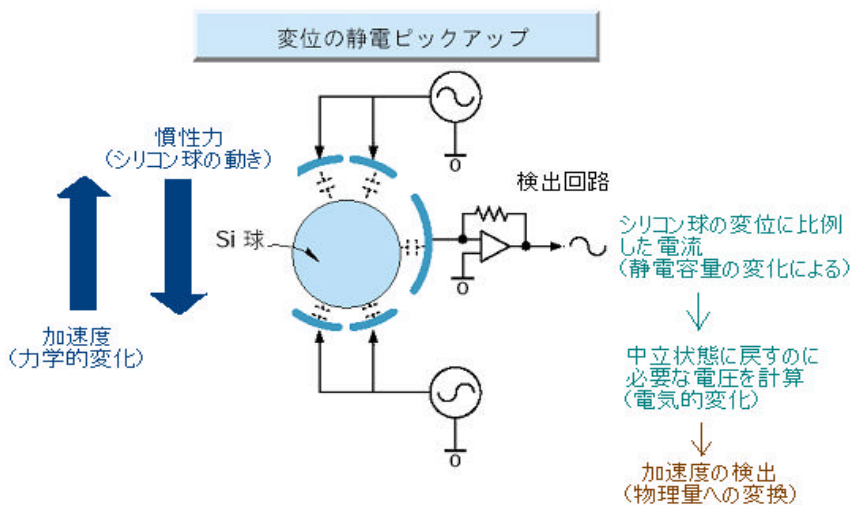
1 . MEMS* とは

- MEMSとは、一般に急速に進歩した半導体微細加工技術等を用いて、可動部品等の機械構造と電子回路を集積した微細なデバイスと定義されているが、最近では機械・電子・光・化学などの複合機能を一体化した微細なデバイス全般を指す場合もある。
- 高性能かつ省エネ性等に優れた点を活用し、多様な機能を集積化した新たなる分野への応用が期待されている。
- 例えば、下図の加速度センサでは可動部である内部球とその外側の球殻を半導体微細加工技術を応用して実現することにより、3方向同時計測が可能となっている。

MEMSの例：直径1mmのシリコン球を用いた加速度センサ

- 機械と電子機能を集積化。
(力学的変化を電気的变化に変換することが可能)
- 静電引力で浮かせた球の位置変化によって加速度を検出する。
(3軸方向の加速度が検出可能)

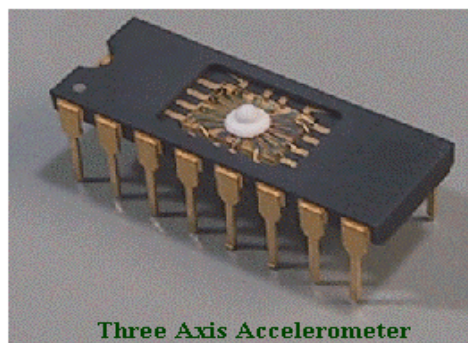
*) MEMSは、米国で生まれた用語で、同様の技術を日本ではマイクロマシン、欧州ではMSTと呼ぶことがある。



加速度を検知する仕組み [1]



米Ball Semiconductor Inc. が試作した 球面半導体IC [2]



球面半導体ICを用いた加速度センサ [2]

2. 商品化されているMEMSデバイス

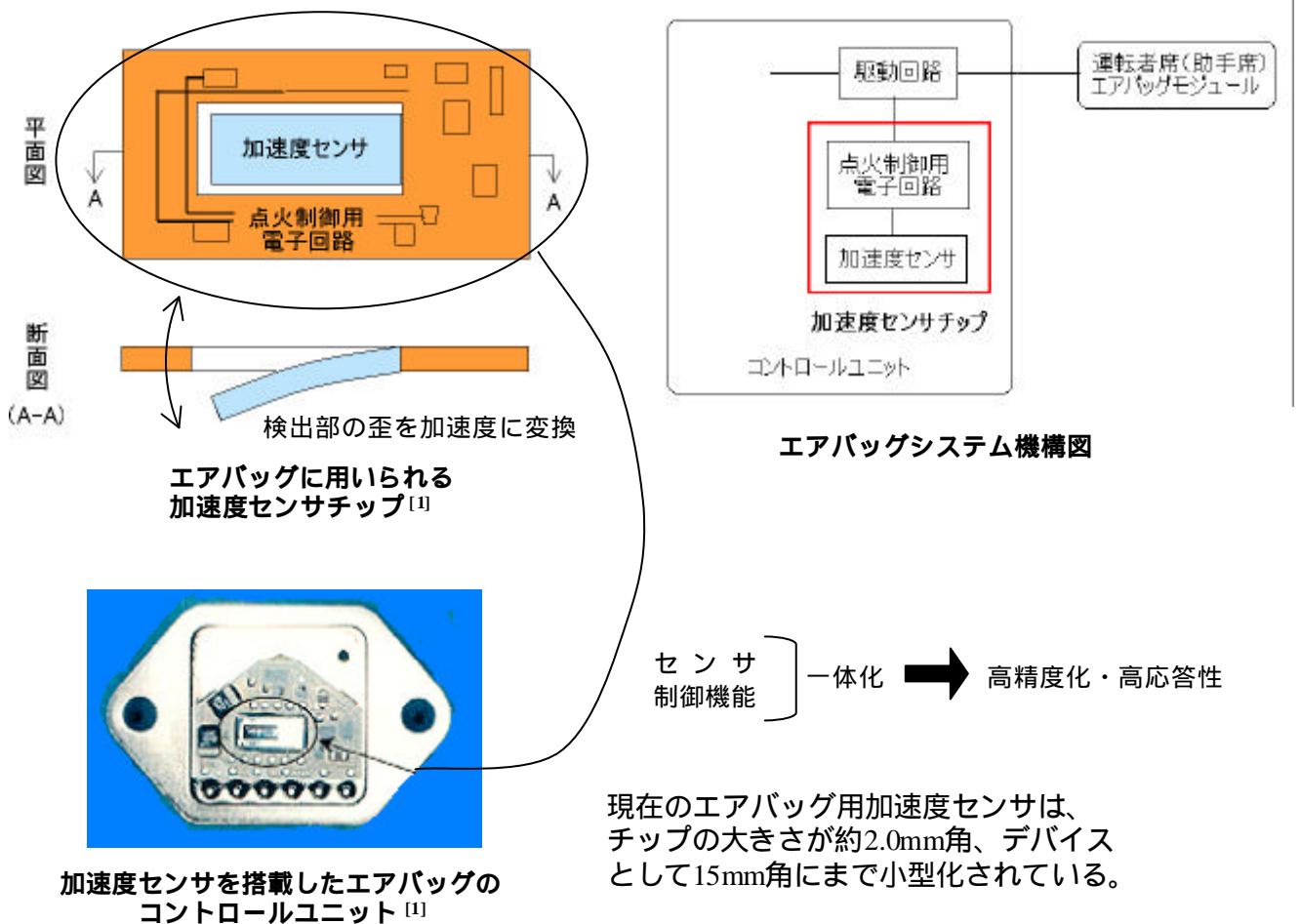
2.1 商品化例

- ・ 現在 MEMSを用いて、例えば以下のようなデバイスが実用化されている。
 マイクロセンサ（自動車用各種センサなど）
 インクジェットプリンタヘッド
 ハードディスクドライブヘッド
 DNAチップ
- ・ 多くのMEMSは、単体ではなく、製品（システム）のキーデバイスとして用いられている。

マイクロセンサ（自動車用各種センサなど）

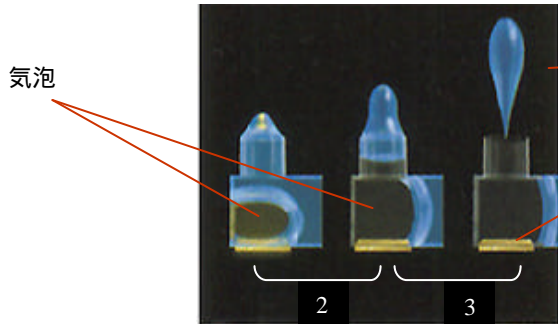
- ・ 自動車では80年代半ばから、次のようなMEMSを用いたマイクロセンサを搭載したシステムが実用化されている。
 - ・ エアバッグシステム（加速度センサ）
 - ・ ABS作動装置（加速度センサ）
 - ・ エンジン制御システム（圧力センサ）
 - ・ 燃料噴射システム（エアフローセンサ）

エアバッグシステムの例



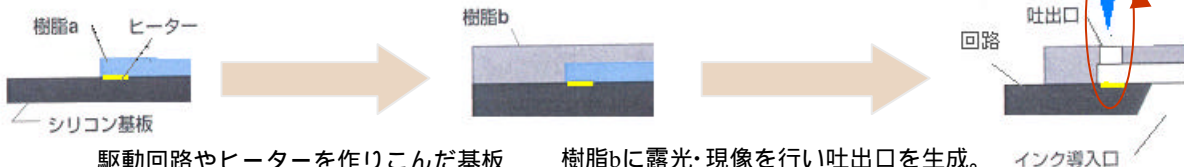
インクジェットプリンタヘッド部（インク噴出部）

- MEMSの採用により、インクを噴出するノズル数の増加と正確なインクの噴出が可能となり、画質の向上と印刷スピードの高速化が図られた。
- ノズル数は従来機種の約4倍の3,000個に増加し、2ピコリットル(ピコは1兆分の1)という微量のインク制御が可能となっている。



1. ヒーターに通電
表面温度が急速に上昇（約300℃以上）
2. ヒーター表面に接するインクが発泡
3. 泡が成長するときにインク滴を吐出

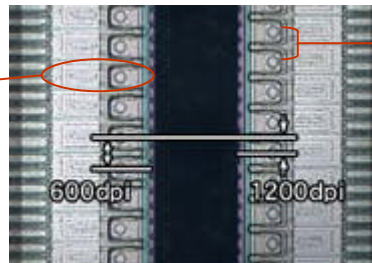
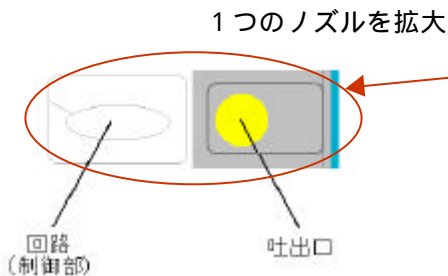
インクの吐出イメージ^[1]
(回路などは省略)



駆動回路やヒーターを作りこんだ基板の上に、感光性の樹脂aを塗布し、露光・現像を行いパターンニングする。上と同じ感光性の樹脂bを塗布。

樹脂bに露光・現像を行い吐出口を生成。背面からも異方性エッチングによりインクの導入口を生成。溶剤によって樹脂aを溶かしだす。

ノズルの製造過程の断面図^[2]（回路部は省略）

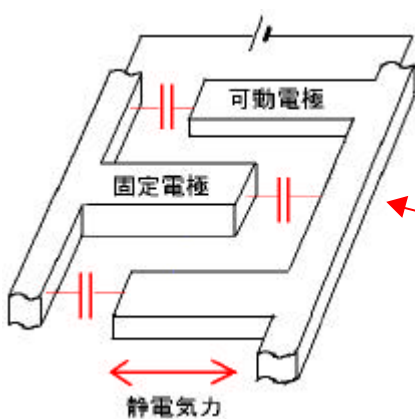


ノズルの間隔：約42μm
左右で21μmシフト

- ・密度 1,200ノズル / 1inch相当
- ・毎秒 7,400万個のインク滴を吐出可能

ノズルを吐出口側から見た図^[3]

ハードディスクドライブのヘッド用マイクロアクチュエータ（記録部）



可動電極と固定電極間の電位差により生じる静電気力を駆動源とし、可動電極が左右に運動する。

マイクロアクチュエータの駆動原理

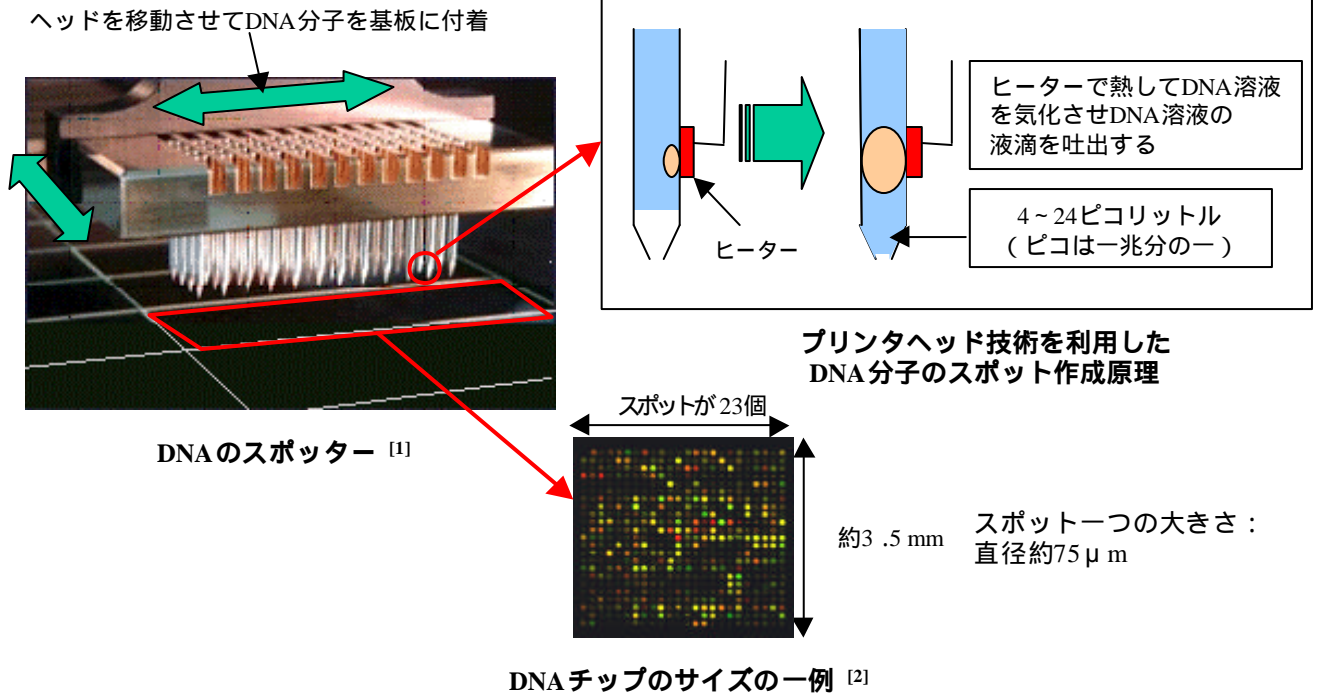
- ・ハードディスクのヘッドの精密位置決めを行うアクチュエータにMEMSが用いられている。
- ・これにより、データトラック幅約0.4μm(2,800トラック/mm)ごとに対応してヘッドの向きを微調整している。
- ・将来は光ディスクのヘッドへの応用が期待されている。



磁気ディスクヘッドのイメージ^[1]

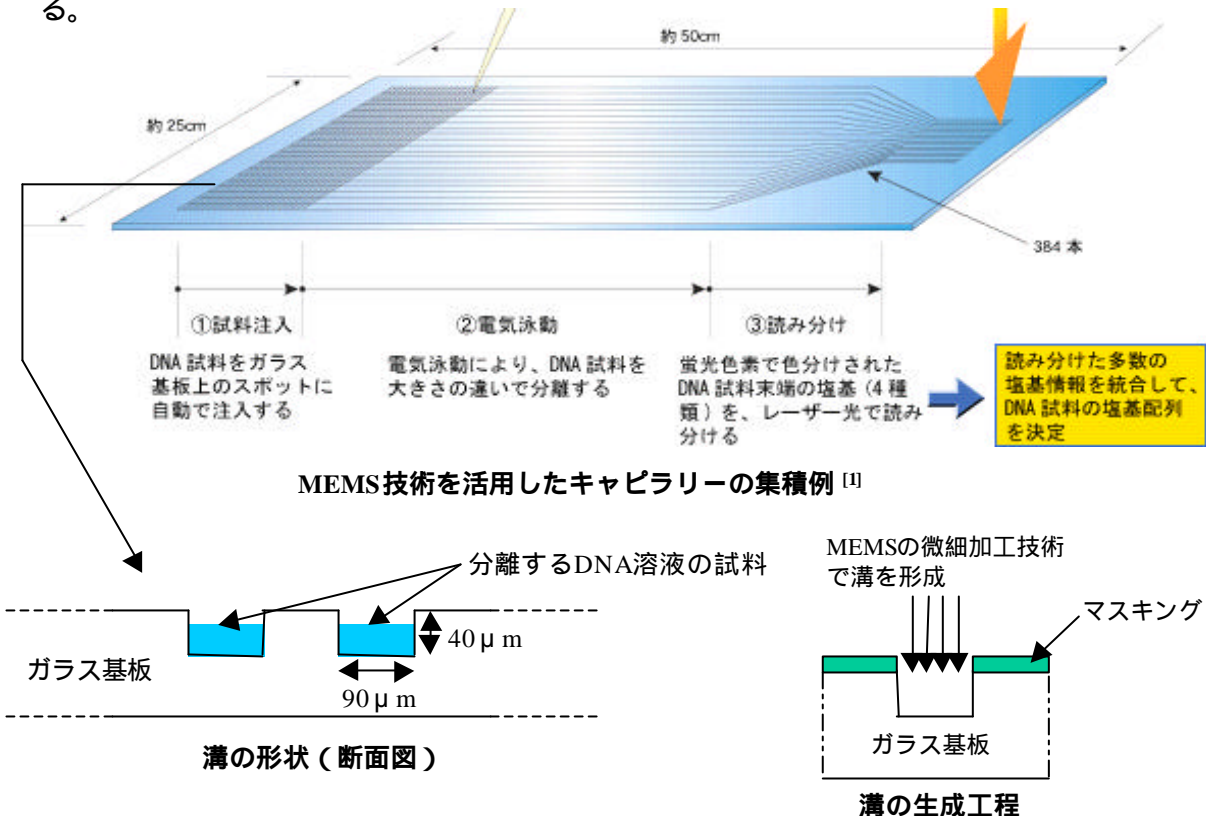
マイクロアレイ型DNAチップ (MEMSによるプリンタヘッド技術の応用)

- ・ 1996年に商品として販売が開始され、多くの企業が参入している。
- ・ 現在は、遺伝子研究用が主な用途。
- ・ MEMS技術で作成されたプリンタヘッドを応用してDNA分子を基板に付着させる。



DNAシーケンサー・キャピラリー・システム (電気泳動型)

- ・ 極めて微細な溝(幅約90μm×深さ約40μm)を集積し、電気泳動を利用してDNAを分離。
- ・ MEMS技術でDNAシーケンサー要素部品(前処理部分(分離))を小型化することによって、解析の短時間化(圧倒的なスループットの向上)や試薬・試料の少量化を図ることができる。



2.2 2000年のMEMS市場の推計^[1]

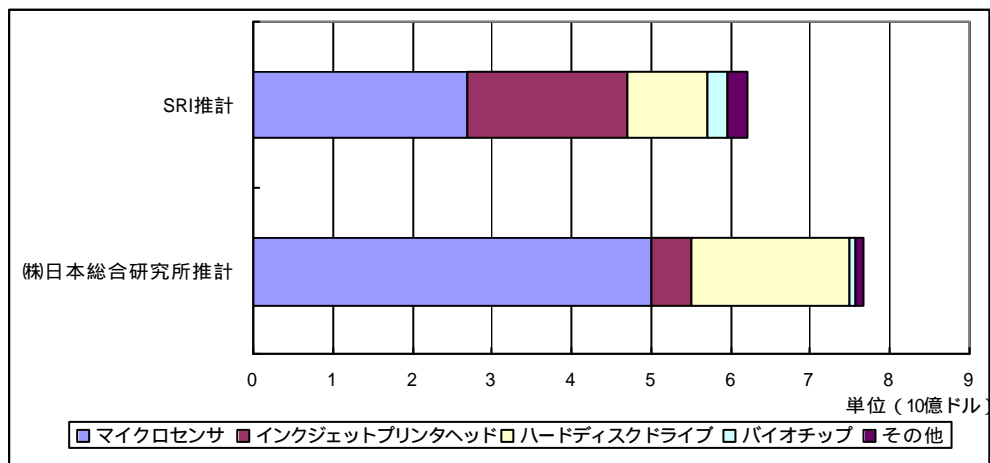
- MEMSは、多様な機能が製品(システム)へ応用されており、MEMSの市場規模推計は調査機関によって幅がある。ある民間調査機関によれば、2000年又は2001年におけるMEMSに関連する世界市場の規模は、約5,000～9,000億円*程度と試算されている。
- 2000年の時点では、マイクロセンサ、インクジェットプリンタヘッド、ハードディスクドライブ、バイオチップでMEMS市場全体の95%以上を占めており、その他の占める割合はごく僅かである。

* 1ドル = 120円で計算

MEMSに関連する現在の市場規模

MEMSデバイス名	2000年 (SRI Consulting Business Intelligence推計)	2000年 (株)日本総合研究所推計)	2001年 (In-Stat/MDR、WiCHT TECHNOLOGIE CONSULTING(WTC)、Strategy Analytics推計)
マイクロセンサ	3,240億円(27億ドル)	6,000億円(50億ドル)	1,200億円(10億ドル)
インクジェットプリンタヘッド	2,400億円(20億ドル)	600億円(5億ドル)	3,480億円(29億ドル)
ハードディスクドライブ	1,200億円(10億ドル)	2,400億円(20億ドル)	
バイオチップ (DNAチップ、Lab. on Chip)	300億円(2.5億ドル)	100億円(8,300万ドル)	
その他	300億円(2.5億ドル)	100億円(8,300万ドル)	
合計	7,440億円(62億ドル)	9,200億円(76.7億ドル)	4,680億円(39億ドル)

2000年のMEMSに関連する市場



3. 将来想定される利用方法

3.1 将来予定される用途例

- ・ 将来、次のような用途でMEMS技術が利用されると考えられる。
RF-MEMS (携帯電話、無線LANなど)
光通信用光スイッチ
マイクロ化学チップ / Lab. on Chip
マイクロ燃料電池

RF (Radio Frequency : 高周波) - MEMS

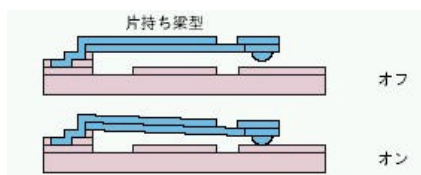
- ・ 無線通信分野での利用が期待され、特に携帯電話では下図の分野での利用が考えられている。
- ・ 現時点ではRFスイッチ、RFフィルター、RF共振子などが試作されている。
- ・ RF-MEMSを利用することで、記憶素子等の電子部品を含めた機器の一体製造が可能となり、省電力、省スペース、高機能化が期待される。



- = > RFアンテナ (高周波アンテナ)
- = > RFスイッチ (微小高速周波数変更スイッチ)
- = > RF共振子・RFコンデンサー (可変コンデンサー・共振子)
- = > チューナー・フィルター
- = > 指向性マイクロフォン

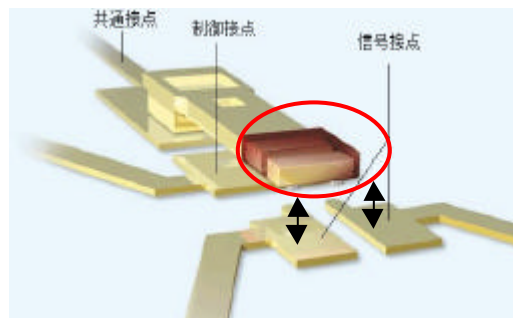
携帯電話で利用が期待されるMEMS [1]

RFスイッチ(RF-MEMSの例)



RFスイッチのオン・オフ
切り替えの仕組み [2]

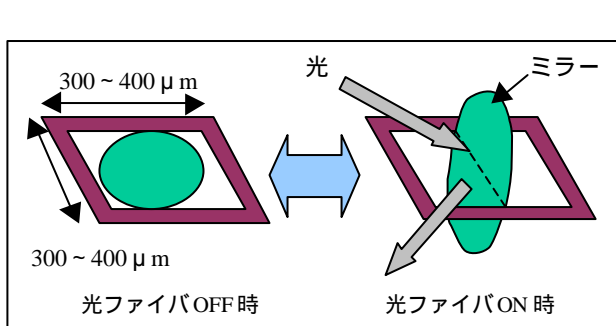
カンチレバーの先端部 (上右図の赤丸部分) が上下に動くことにより、スイッチのオン・オフを切り替えることができる。



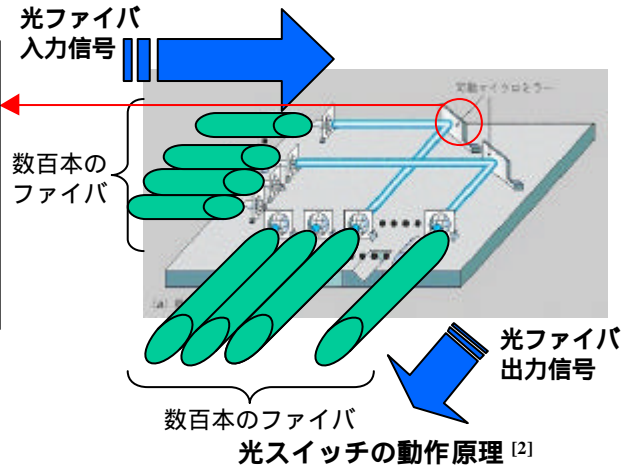
RFスイッチの動作原理 [2]

光通信用光スイッチ

- ・光通信網の中継点において光信号の経路を切り替える素子として期待されている。
- ・従来の光電変換方式のスイッチに比べ、省スペース、省エネルギー等の優位性がある。
- ・同様の技術を用いて、プロジェクター方式のディスプレイにも応用することができる。
注) 光スイッチには、ここで紹介するミラー型他に導波路型が研究されている。



マイクロミラーの動作原理 [1]



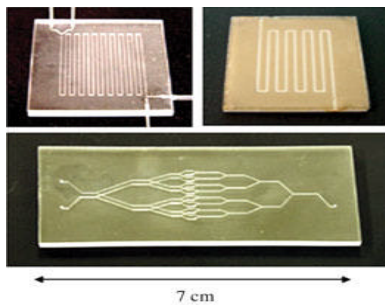
光スイッチの動作原理 [2]

マイクロ化学チップ / Lab. on Chip

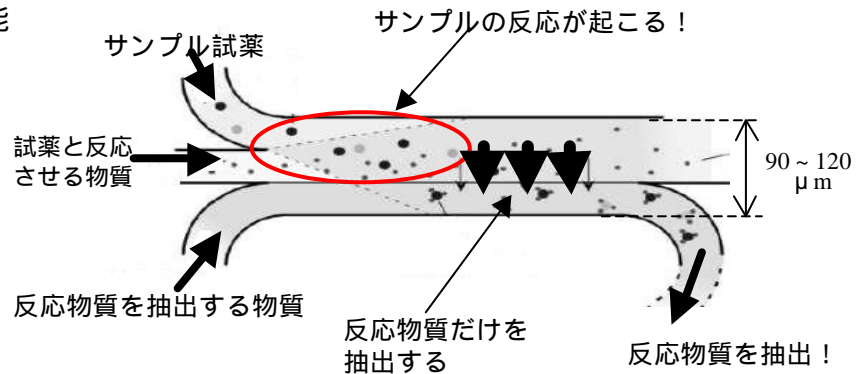
- ・MEMSのエッチング技術等により微小な反応流路をガラス基板上等に形成し、化学物質をこの流路で反応させる。
- ・試薬の反応、反応物質の抽出を最も効率的に行うための設計が重要
(チップのレイアウトの最適化計算、流体計算による化学反応の最適化計算など)

サイズを小さくすることによるメリット

- ・反応が短時間で終わる
- ・微小物質の反応が可能



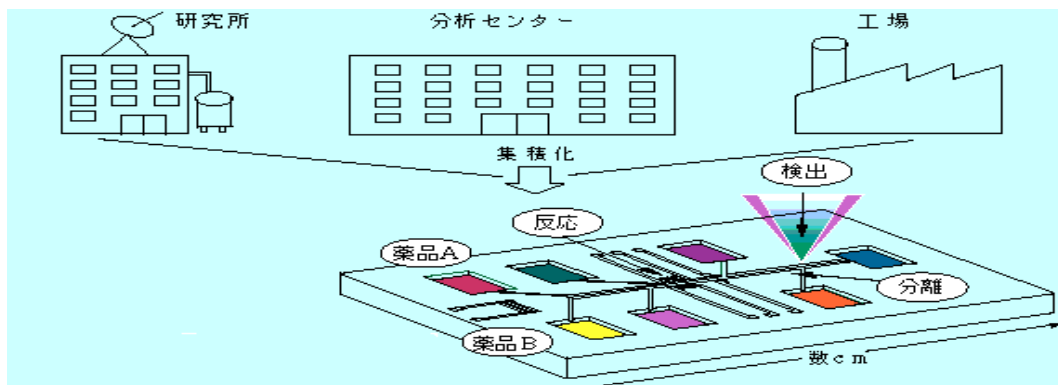
マイクロ化学チップ [1]



マイクロ化学チップの動作原理 [2]

Lab. on Chip構想 [3]

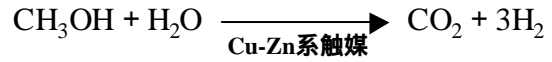
将来は、わずか数cmのマイクロ化学チップ上で、試料の反応、分離、分析など一括して作業を行うことができるようになることが期待されている。



マイクロ燃料電池

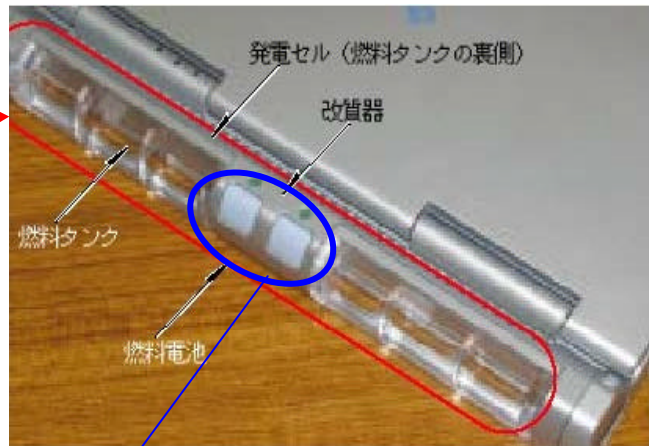
- ・ノートPC等の携帯機器では、長時間の利用が可能なエネルギー源として燃料電池が期待されている。
- ・改質器型燃料電池では、MEMS技術による改質器の小型化が期待されている。

注) 改質器での反応(メタノール型)
メタノールから水素を取り出す反応

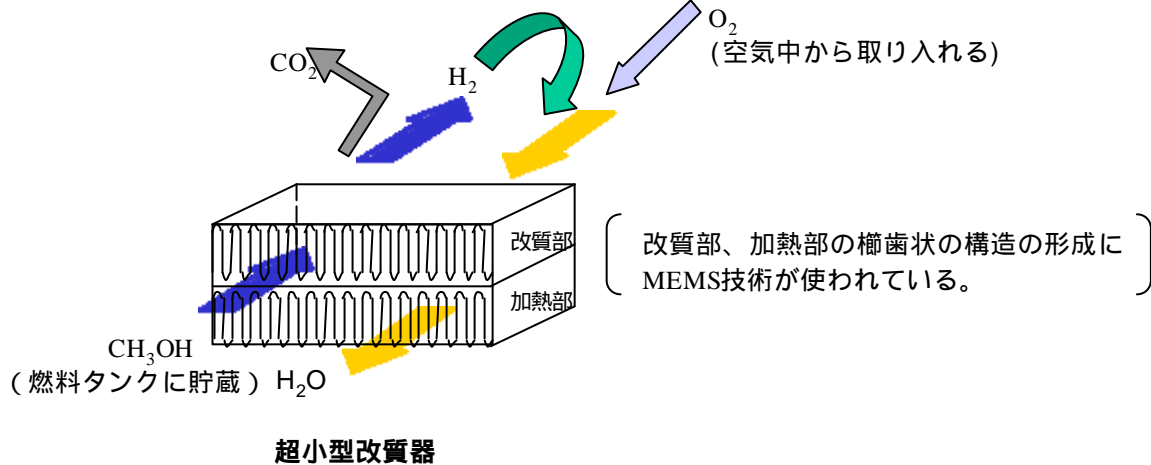


ノートPCに搭載予定の
燃料電池のイメージ [1]

拡大すると...



燃料電池の構造 [2]

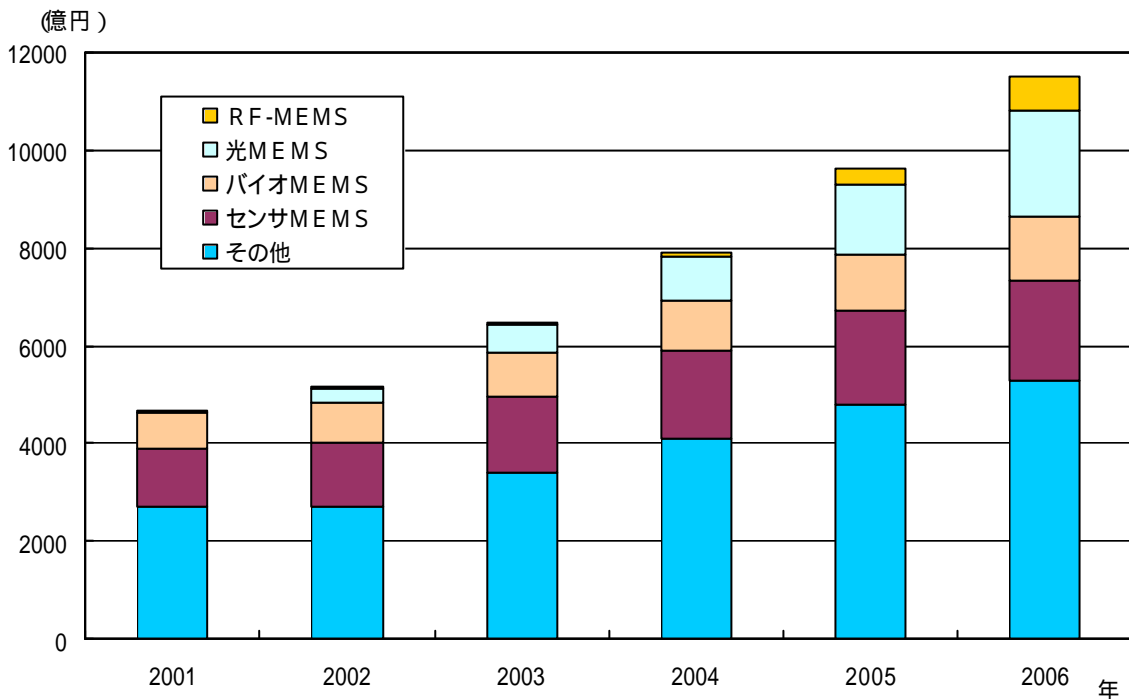


3.2 市場予測^[1]

- ・ 米国のある民間調査機関によると、MEMSの市場は、2001年の約5,000億円* (39億ドル) から2006年には約12,000億円* (96億ドル) に成長すると予測している。
- ・ 特に、RF-MEMS、光MEMS等の伸びが大きい。

* 1ドル = 120円で計算

将来発展が期待されている分野の市場予測



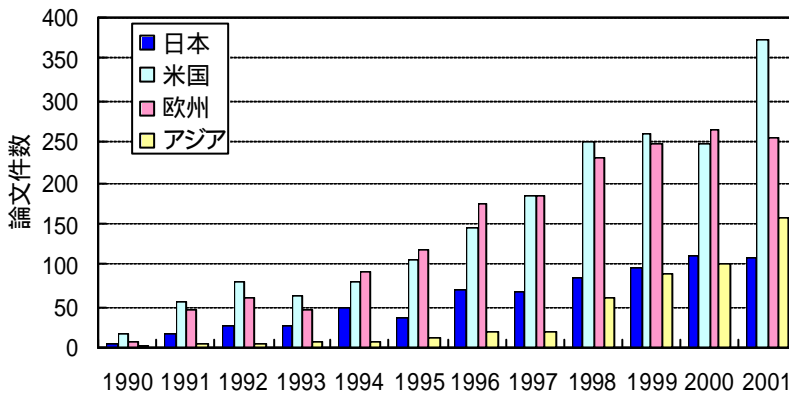
- RF-MEMS ... スイッチ、リレー、フィルタ、コンダクタなど
- 光MEMS ... 2Dスイッチ、3Dスイッチ、チューナブルレーザなど
- パイオMEMS ... ノズル、針、ポンプ、プローブなど
- センサMEMS ... 加速度センサ、角速度センサ、圧力センサ
- その他 ... インクジェットヘッド、HDD用磁気ヘッドなど

4 . 国際競争

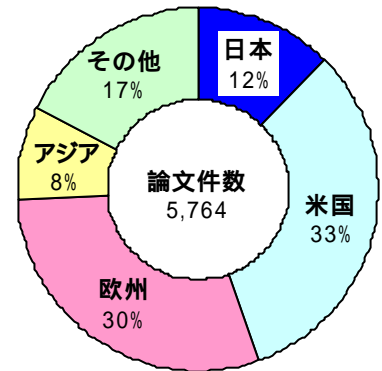
- 論文は、1990年後半から徐々に増加し、特許は2000年から著しく増加している。
- 論文件数では、米国・欧州がそれぞれ約30%ずつを占め互角、日本は12%。またアジア諸国では、中国・韓国・台湾・シンガポールからの論文数は増加傾向にあり、全世界の8%を占めている。
- 世界知的所有権機関（WIPO）経由の国際特許出願件数の累計では米国が80%弱を占め、日本、欧州はそれぞれ6%、10%を占めるにとどまっている。
- 米国では、国防総省（DOD）の研究（年間約7億ドル）が中心になっており、軍事分野のウェイトが高い。そのため米国は特許化には積極的であるが、論文発表には消極的と考えられる。民生分野では日米の特許の格差はやや小さいと思われる。

4.1 論文・特許動向

論文動向



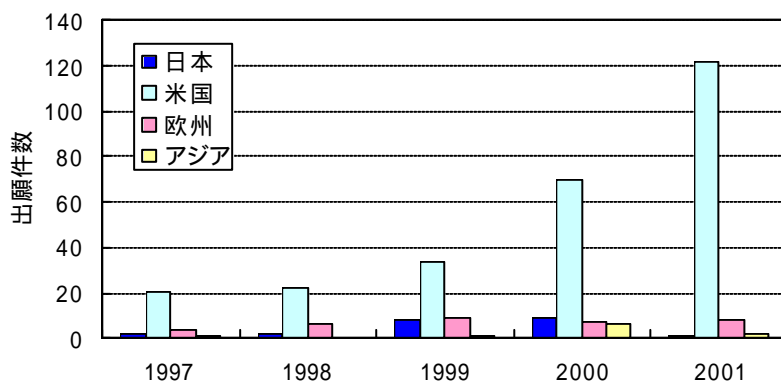
論文件数推移



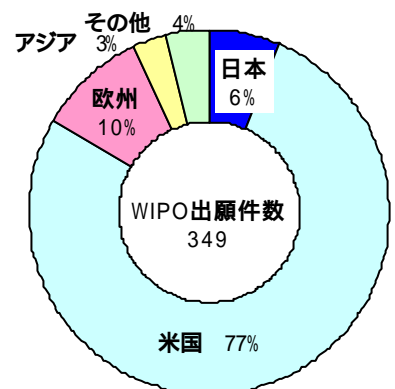
論文件数の地域別割合
(1990～2001年の累計件数)

出典 : ISI Web of Scienceを用いて産業技術総合研究所 技術情報部門作成
(欧州はEU加盟国データの合計)
(アジアは中国・韓国・台湾・シンガポールのデータの合計)
検索式 : micromachine OR "micro machine" OR micromachining OR "micro machining"
OR MEMS OR MST OR LIGA OR microactuator OR "micro actuator"

特許動向



WIPO国際出願件数推移



WIPO国際出願件数の地域別割合
(1997～2001年の累計件数)

出典 : 世界知的所有権機関（WIPO）ホームページのデータを基に日本総研作成
(欧州はヨーロッパ特許条約（EPC）加盟国データの合計)
(アジアは中国・韓国・台湾・シンガポールのデータの合計)
検索式 : micromachine OR "micro machine" OR micromachining OR "micro machining"
OR MEMS OR MST OR LIGA OR microactuator OR "micro actuator"

4.2 米国における研究開発状況

米国における研究開発プログラム

機 関	プロジェクトの名称	概 要
国防総省 (D O D)	国防先端研究プロジェクト (DARPA) (年間7億ドル程度)	「システムの微小化」を国防上の重要技術と位置付けている。「MEMS・集積マイクロシステム技術」の枠の中で実施。
標準技術局 (N I S T)	先端技術プロジェクト(ATP) (年間1,000万ドル程度)	3年から6年間のプロジェクトが現在10個程度進行している。
全米科学財団 (N S F)		「設計、製造および産業イノベーション」の枠の中にMEMS関連の課題を位置付け。

出典：産業技術総合研究所 技術情報部門とりまとめ

主要な企業・研究機関の研究開発状況

大分類	研究分野	主要な企業・大学・研究機関
機械・エレクトロニクスMEMS	センサ	Analog Device, Inc., Motorola, Delphi Delco, GE NovaSensor, Draper Labs
	ストレージ	Hewlett-Packard, Carnegie Mellon, Caltech, Texas Instruments, Seagate
通信・ネットワークMEMS	RF-MEMS マイクロリレー	Cronos(MEMSCAP), Rockwell, University of California Berkeley
オプティカルMEMS	光スイッチ	Xros(Nortel), Optical Micromachines, Integrated Micromachines, Movaz Networks, Cronos(MEMSCAP), Agilent, Calient Networks, Onix Microsystems, Silicon Light Machines
	ディスプレイ	Texas Instruments, Microvision
その他	DNAチップ	Affymetrix, Motorola, University of Wisconsin
	ラボチップ	Cepheid, Aclara Biosciences, Caliper Technologies, Nanogen, Oak Ridge National Laboratories
	その他	Sandia National Lab., University of Michigan, University of Cincinnati, Harvard University

出典：SRI Consulting Business Intelligence の調査報告

4.3 米国における産業状況

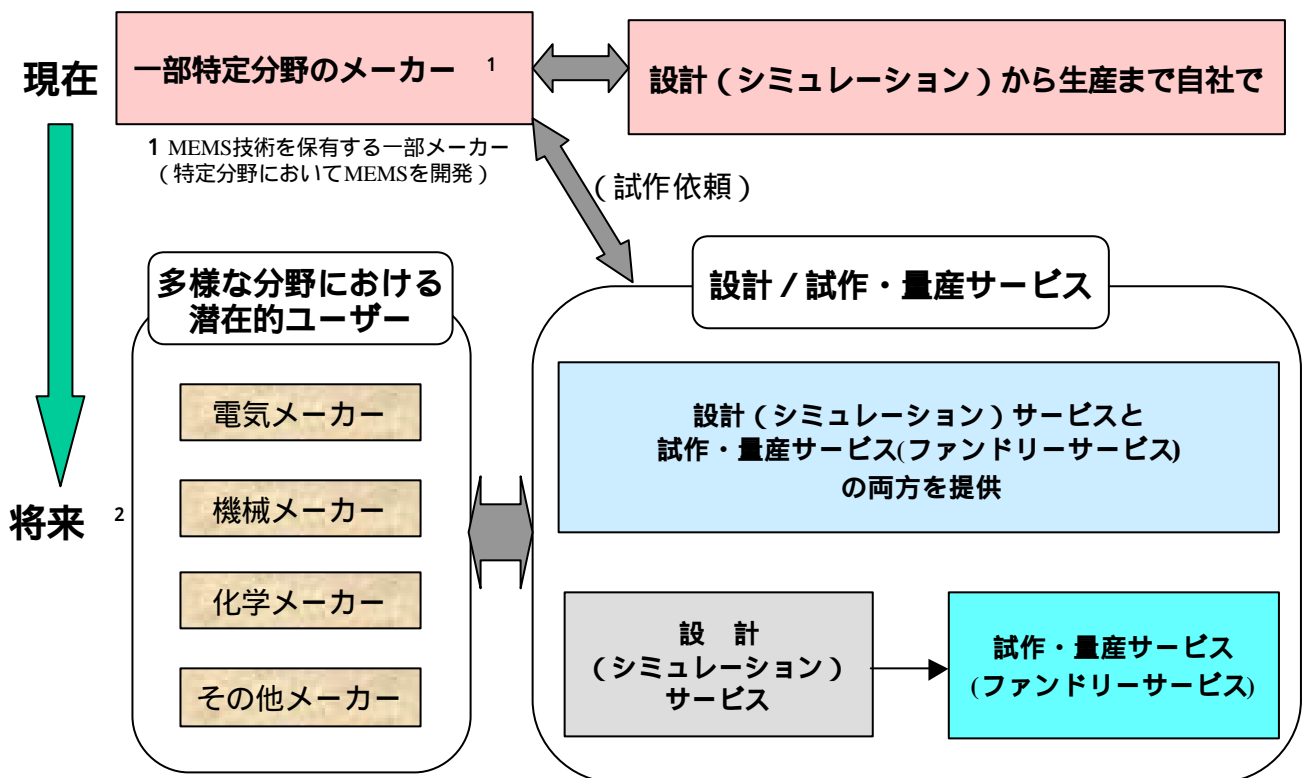
MEMS Industry Groupのレポート(2001年)では、米国には現在150社を超えるMEMS企業があり、そのうち70%以上が1995年から2001年の設立とされている。

5 . 今後のMEMS産業の発展の方向

- ・既存のMEMSデバイスは、特定用途向けの大量生産品が多い。
- ・将来、MEMSデバイスは各種の機械・装置の高機能化を支えるキーテクノロジーとなる可能性を秘めており、多様な分野の潜在的なユーザー企業のエンジニアによるMEMS技術利用のアイデアをいかに具現化するかがポイント。
- ・このため、MEMSメーカーとMEMSユーザーによる企業間ネットワークの構築が重要。MEMSメーカー側は、ユーザーニーズに基づく設計サービスや試作・量産サービスを柔軟に提供することが期待される。

5.1 ファンドリーサービス（シーズとニーズをつなぐ技術の架け橋）

- ・多様なMEMSメーカーとユーザーをつなぐ仕組みとして、設計サービス・ファンドリーサービスが注目されている。
- ・個々のユーザーがニーズに合わせて使用するサービスを選択できることが重要。



2 将来においても、一部特定分野のメーカーが設計から生産までの工程を自社で行う形態は引き続き存在するが、これに加えて、多様なユーザー企業がMEMS設計 / 試作・量産サービス提供企業と連携する形態が重要な役割を担う。

5.2 設計 / 試作・量産サービスを提供している主な大学 / 研究室・研究機関・企業

・MEMS研究・試作が行われている主な大学 / 研究室・研究機関

大学 / 研究室・研究機関	ウェブサイト
東北大学 工学研究科 機械電子工学専攻 江刺研究室 他	mems.mech.tohoku.ac.jp/esashilab/top.html
東京大学 生産技術研究所 第3部 藤田研究室 他	www.fujita3.iis.u-tokyo.ac.jp/index-j.html
立命館大学 理工学部 ロボティクス学科 杉山研究室(マイクロシステム研究室) 他	www.ritsumeit.ac.jp/se/sugiyama/
名古屋大学 マイクロシステム工学専攻 佐藤研究室(微細加工システム講座)	www.kaz.mech.nagoya-u.ac.jp/index-j.html
東京農工大学 工学部 機械システム工学科 池田研究室	www.tuat.ac.jp/ikedai/index.html
早稲田大学 理工学部 電子・情報通信学科 庄子研究室	www.shoji.comm.waseda.ac.jp/homepage/
東京工業大学 精密工学研究所 下河邊研究室	www.nano.pi.titech.ac.jp/index.html
群馬大学 工学部 機械システム工学科 早乙女研究室	www.micro.me.gunma-u.ac.jp/
北陸先端科学技術大学院大学 材料科学研究科 民谷研究室	www.jaist.ac.jp/ms/labs/tamiya/
姫路工業大学 高度産業科学技術研究所 光応用・先端技術大部門 服部研究室	www.lasti.himeji-tech.ac.jp/NS/beamline/BL11/index.html
産業技術総合研究所 機械システム研究部門 集積機械研究グループ	unit.aist.go.jp/imse/isemi/index.htm

・少量生産を引き受ける設計 / ファンドリーも立ち上がりつつある主な企業

企業	設計 / ファンドリーサービスに関連するサイト
オリンパス光学工業	www.olympus.co.jp/Special/Info/n020213.html
オムロン	www.omron-ecb.com/sc/mems/index.htm
松下電工	www.mew.co.jp/mems/index.html
住友金属工業	www.e2-lab.com/technology/mems/index.html
沖電気工業	www.okisemi.com/jp/products/c_foundry.htm
富士通	edevice.fujitsu.com/fj/FJCOT/MEMS/MEMS_j.html
神戸製鋼所	www.kobelco.co.jp/p047/erl/microprocess.html
NTTアドバンスドテクノロジー	www.keytech.ntt-at.co.jp/nano/index.html
大日本印刷	saiyo.dnp.co.jp/dno_2004/g/g_laboratory/lab_kenkyu.html
日立製作所	www.i-eng.hitachi.co.jp/

引用、参考文献等

1 . MEMSとは

- [1] 日経エレクトロニクス (2000/11/06 No.782) 球面半導体IC対に離陸 (pp.173-182, p.176) に加筆
- [2] Ball Semiconductor Inc. Three Axis Accelerometer (<http://www.ballsemi.com/NEW/products/TAA/features.asp>)

2 . 商品化されているMEMSデバイス

2.1 商品化例

マイクロセンサ (自動車用各種センサなど)

- [1] 資料提供 (株)デンソー

インクジェットプリンタヘッド部 (インク噴出部)

- [1] Canon(株) 技術紹介 (パブルジェットプリンタ) (http://web.canon.jp/technology/t_seihin/tech_bj.html) に加筆
- [2] パリティ Vol.17 No.04 2002-04 キャノンインクジェットプリンター(pp.54-59, 図4)に加筆
- [3] Canon(株) PIXUS950i 開発者インタビュー (<http://cweb.canon.jp/bj/technology/interview/mdef2.html>) に加筆

ハードディスクドライブのヘッド用マイクロアクチュエータ (記録部)

- [1] IBM マイクロマシンを一部利用 (<http://www.trl.ibm.com/projects/mmachine/>)

マイクロアレイ型DNAチップ (MEMSによるプリンタヘッド技術の応用)

- [1] TeleChem International, Inc.のHomepageより抜粋 (<http://arrayit.com/Products/Printing/Stealth/stealth.html>)
- [2] OSWELのHomepageより抜粋 (http://www.oswel.com/code/en/micr_tech_acce.htm)

DNAシーケンサー・キャピラリー・システム (電気泳動型)

- [1] (株)島津製作所のHomepageより抜粋 (<http://www.shimadzu.co.jp/news/press/020318.html>)

2.2 2000年のMEMS市場の推計

- [1] Explorer Viewpoints – Micromachining – July 2001 (Ref. 3) (<http://www.sric-bi.com/Explorer/MM/MM.0701.final.shtml>)
In-Stat/MDR、WiCht TECHNOLOGIE CONSULTING(WTC)、Strategy Analytics

3 . 将来想定される利用方法

3.1 将来予定される用途例

RF (Radio Frequency : 高周波)-MEMS

- [1] Intel MEMS for wireless integrationより抜粋 (<http://www.intel.com/research/silicon/BobRaoIDF022802.pdf>)
- [2] EDN Japan ニュースリリースより抜粋 (<http://www.ednjapan.com/ednj/2002/200205/feature-b0205.htm>)

光通信用光スイッチ

- [1] (株)富士通研究所のHomepageより抜粋 (<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2002/08/22-1.html>)
- [2] 日経マイクロデバイス 2001年09月号より抜粋 (P.125 ~ 136)

マイクロ化学チップ / Lab. on Chip

- [1] 産業技術総合研究所Homepageより抜粋 (<http://unit.aist.go.jp/kyushu/mischel/eng/theme.htm>)
- [2] Technisch-Wetenschappelijk AttachesのHomepageより抜粋 (<http://www.technieuws.org/cgi-twa/twa.pl/Tokyo/235.html>)
- [3] かながわサイエンスパークのHomepageより抜粋 (<http://home.ksp.or.jp/kast/res/proj/proj01.html>)

マイクロ燃料電池

- [1] カシオ計算機(株)のHomepageより抜粋 (<http://www.casio.co.jp/release/fuelcell.html>)
- [2] 日経メカニカルより抜粋 (<http://dm.nikkeibp.co.jp/free/nmc/kiji/h572/re572c.html>)

3.2 市場予測

- [1] In-Stat/MDR、WiCht TECHNOLOGIE CONSULTING(WTC)、Strategy Analytics

6 . MEMSの技術的課題

- [1] Coventor WareのHPより抜粋 (<http://www.coventor.com/coventorware/analyzer/modules.html>)
- [2] 日経エレクトロニクス (2000/11/06 No.782) 球面半導体IC対に離陸 (pp.173-182, p.176)
- [3] 産業技術総合研究所Homepageより抜粋 (<http://unit.aist.go.jp/kyushu/mischel/eng/theme.htm>)
- [4] Ball Semiconductor Inc. Three Axis Accelerometer (<http://www.ballsemi.com/NEW/products/TAA/features.asp>)

(補論) MEMSデバイス事例集

大分類	事例	主な用途	実用化	参照ページ
1. 機械・エレクトロニクス MEMS	加速度センサ	加速度のセンシング (2,3次元)		2, 3, 18
	圧力センサ	圧力のセンシング (真空センサにも応用)		19
	マイクロジャイロ	角速度のセンシング		20
	流量センサ	流量のセンシング		-
	酸素センサ	酸素濃度のセンシング		-
	赤外線イメージャ	温度のセンシング		21
	マイクロアクチュエータ(回転運動系)	微小機械の駆動部 (回転運動)		21
	マイクロアクチュエータ(線形運動系)	微小機械の駆動部 (線形運動)		4, 22
	インクジェットプリンタヘッド	微小な液体の噴出		4, 22
	共振子フィルタ	高周波のフィルタリング		-
	マイクロリレー	リレー		-
	マイクロプローバ			-
	SPM	原子間力顕微鏡		-
	マルチサーマルプローブ	ストレージディスクヘッド		-
2. 通信・ネットワーク MEMS	RFスイッチ	第3世代携帯電話スイッチ		7
	RF MEMS	発振器		7
3. オプティカル MEMS	光スイッチ	光通信のスイッチ		8, 23
	マイクロメカ光導波路スイッチ			8, 23
	DMD	ディスプレイ		24
	光スキャナ	バーコードリーダー、 共焦点レーザー顕微鏡		24
4. その他	DNAチップ	特定のDNAの検出		5
	マイクロ化学チップ	有機合成反応		8
	燃料電池	燃料電池		9
	マイクロ触覚センサ カテーテル	内視鏡の動作		-

実用化の度合いについて

：実用化済み(商用化)

：研究・開発段階(試作)

(各デバイスとも、複数の機構が存在する場合は、最も実用化が進んでいるものについて記している。)

1. 機械・エレクトロニクスMEMS

1.1 加速度センサ

(1) 応用分野

自動車（エアバッグ、車載機器の入力装置）、
ゲーム機（ジョイスティック）、
携帯電話（入力装置）、
航空・宇宙（フライトコントローラ）、
工作機械・ロボット（アーム・姿勢制御）

(2) 動作原理

- 1 静電容量型（櫛歯型）

櫛歯の間に生じる静電容量を検出。

- 2 静電容量型（表面型）

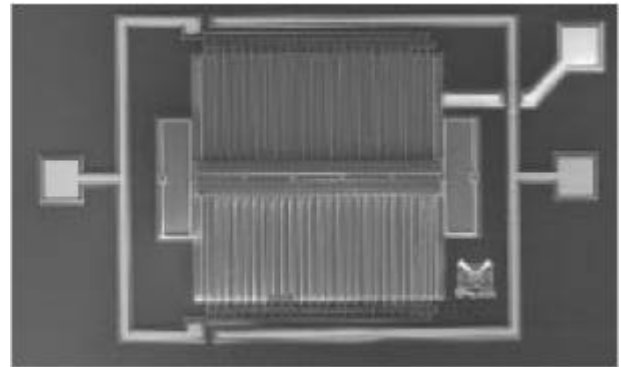
多結晶シリコンのおもりをバネで支えた構造で
重りの動きを静電容量変化として検出。

- 3 静電容量型（球型）

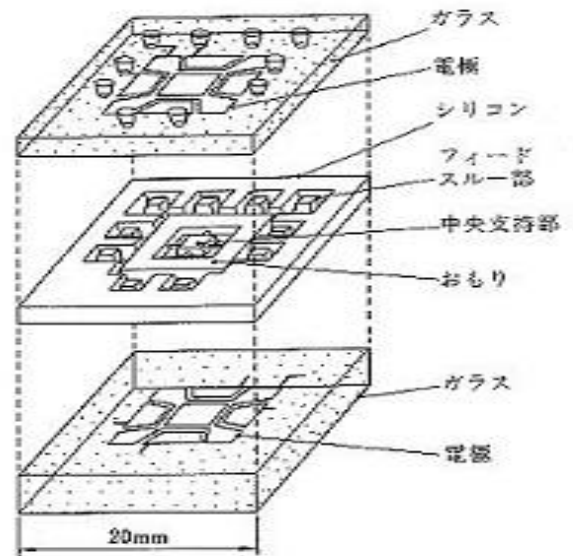
シリコン球の位置変化によって生じる電圧
の変化を検出。（2ページ参照）

piezoresistive

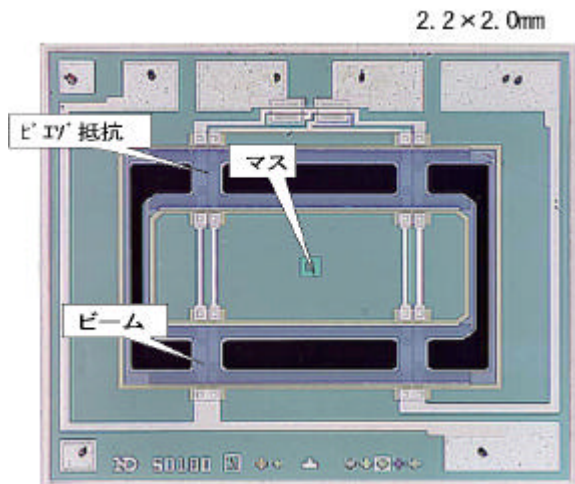
piezoresistive effect (resistance changes proportionally to stress) is used.



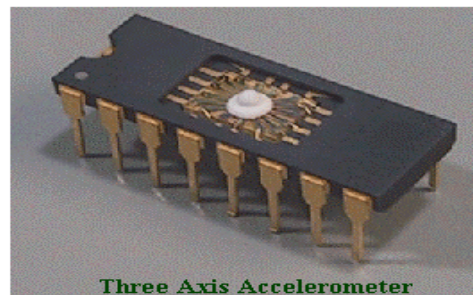
- 1 静電容量型（櫛歯型）加速度センサ [1]



- 2 静電容量型（表面型）加速度センサ [2]



piezoresistive MEMS Accelerometer [4]



- 3 静電容量型（球型）加速度センサ [3]

1.2 圧力センサ

(1) 応用分野

時計（高度計、水深計）、医療機器（電子血圧計）、掃除機、自動車（エンジン制御）、等

(2) 動作原理

静電容量型

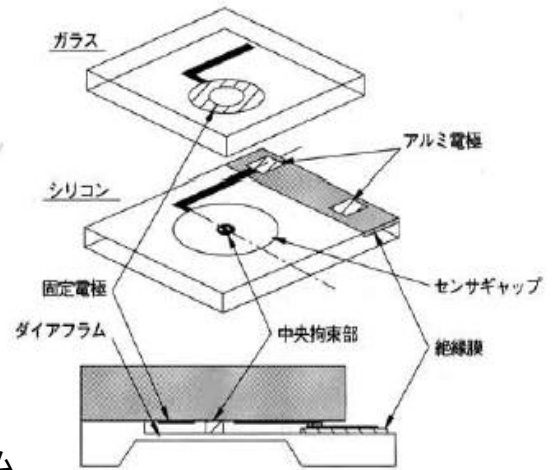
2枚の電極間の、圧力による距離の変化を静電容量の変化とし検出。

ピエゾ抵抗型

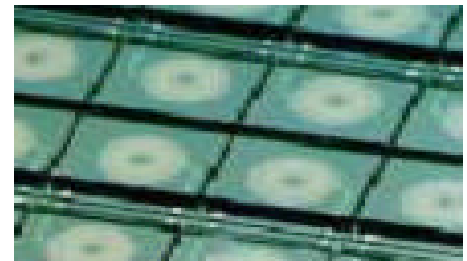
シリコンのダイアフラムのたわみを、ダイアフラムに埋め込まれたピエゾ抵抗素子によって検出。

シリコン振動式

シリコン振動子の圧力による共振周波数の変化を検出。

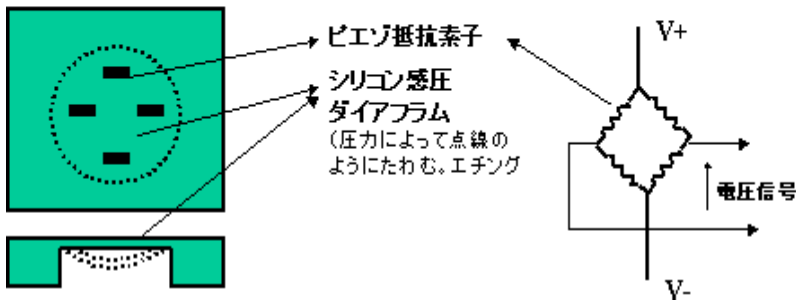


ドーナツダイアフラム構造微圧センサチップの構造結果

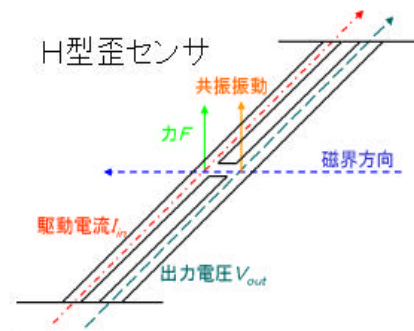
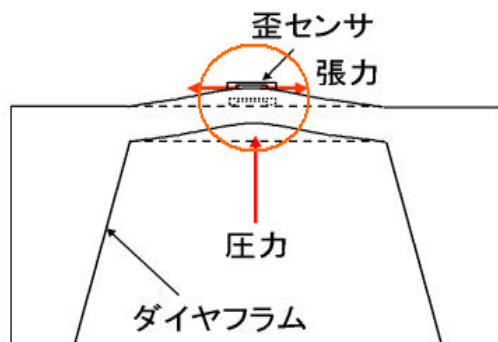


静電容量型圧力センサ [1]

- シリコン加工技術により作製した感圧ダイアフラムのたわみをダイアフラム上に形成したピエゾ抵抗素子で検出する
- 圧力→感圧ダイアフラムのたわみ→抵抗値変化→電圧信号というメカニズムで圧力が電圧信号に変換される。



ピエゾ抵抗型圧力センサ [2]



シリコン振動式圧力センサ [3]

1.3 マイクロジャイロ

(1) 応用分野

姿勢制御、カメラ一体型VTRの手ぶれ補正、カーナビの位置制御

(2) 動作原理

圧電振動式

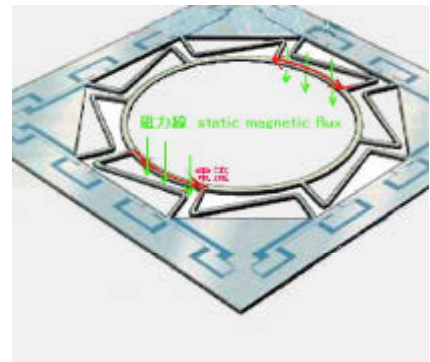
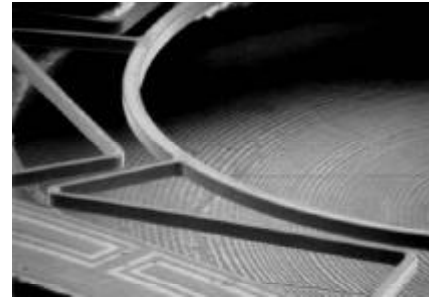
振動子のコリオリ力による変化によって生じる静電容量の変化を検出。

レート型

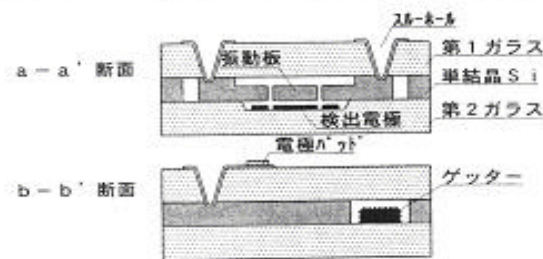
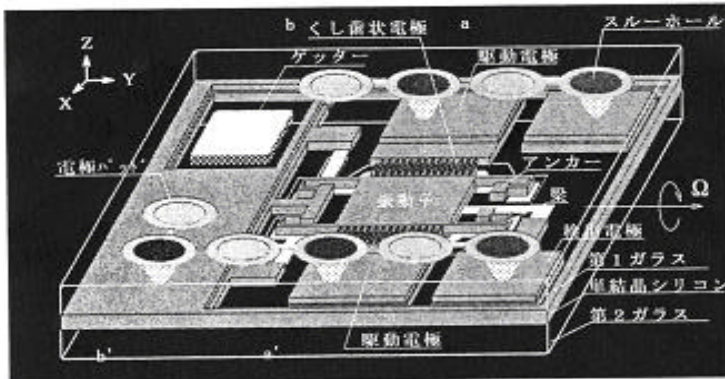
微細リングの振動のコリオリ力による変化によって生じる起電力を検出。

静電浮上型

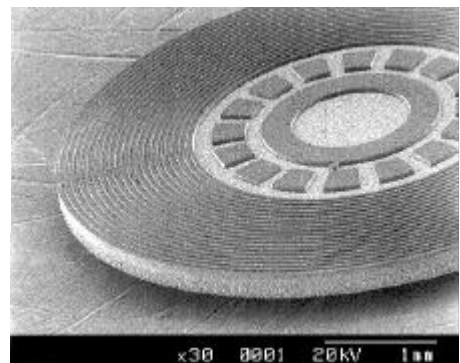
電極とローターの間の静電容量によりローターの位置を検出。



レート型ジャイロ [2]



圧電振動式ジャイロ [1]



静電浮上型ジャイロ [3]

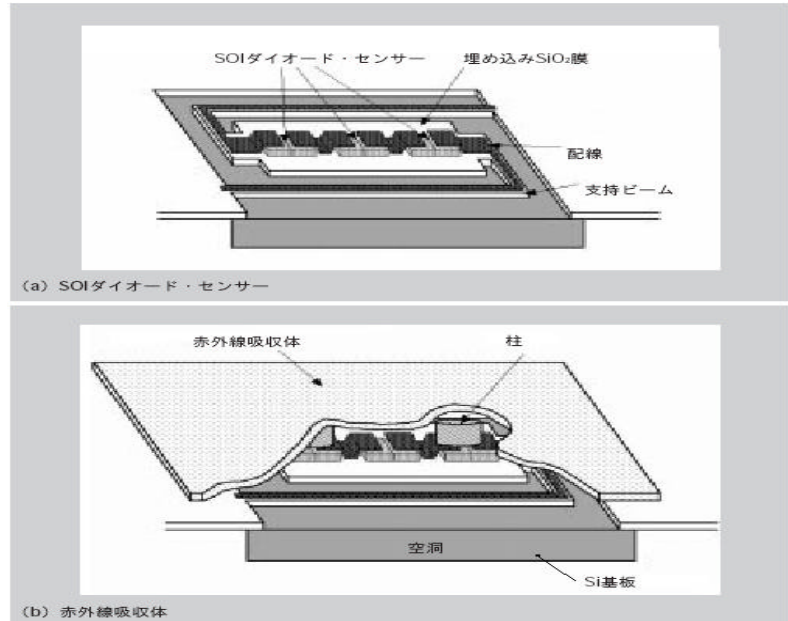
1.4 赤外線イメージャ

(1) 応用分野

赤外線センサ、暗視スコープ、非接触温度計、等

(2) 動作原理

吸収した赤外線が温度変化による抵抗の変化として検出。



赤外線イメージャ [1]

1.5 マイクロアクチュエータ(回転運動系)

(1) 応用分野

時計等

(2) 動作原理

静電型

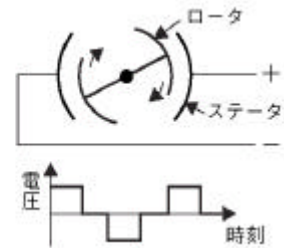
静電吸引力によるトルクを利用したモータを回転。

超音波型

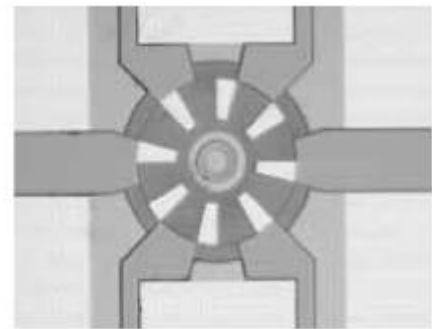
筒状の振動子のたわみ振動からトルクを取り出す。

静電気駆動マイクロモータの動作原理

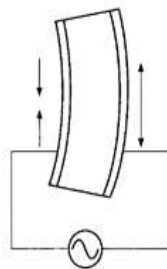
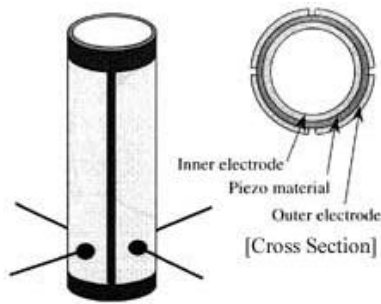
ロータとステータの間に電圧を印加すると静電吸引力によるトルクが発生し、回転する。



静電気駆動マイクロモータの顕微鏡写真
直径 $100\mu\text{m}$ 、厚さ $2\mu\text{m}$ の8極のロータと6極のステータで構成されている。



静電型圧力モータ [1]



超音波型モータ [2]

1.6 マイクロアクチュエータ（線形運動系）

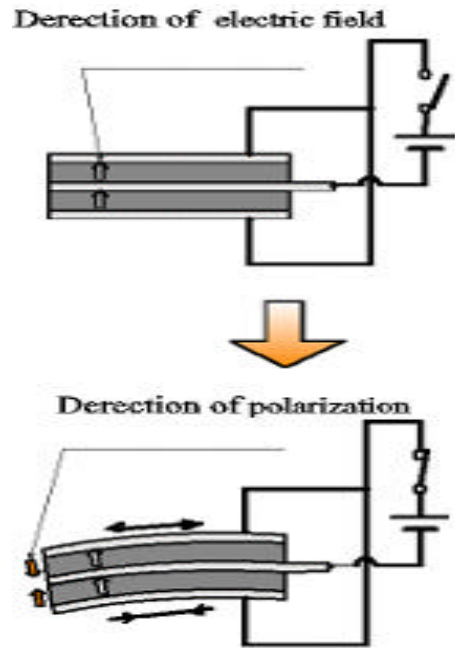
（1）応用分野

磁気ディスクのヘッド部（位置決め）、
光スキャナの角度制御、等

（2）動作原理

圧電素子型
圧電セラミックスの電界による伸縮を利用。

静電櫛歯型
（4ページ参照）



圧電素子型アクチュエータ ^[1]

1.7 インクジェットプリンタヘッド

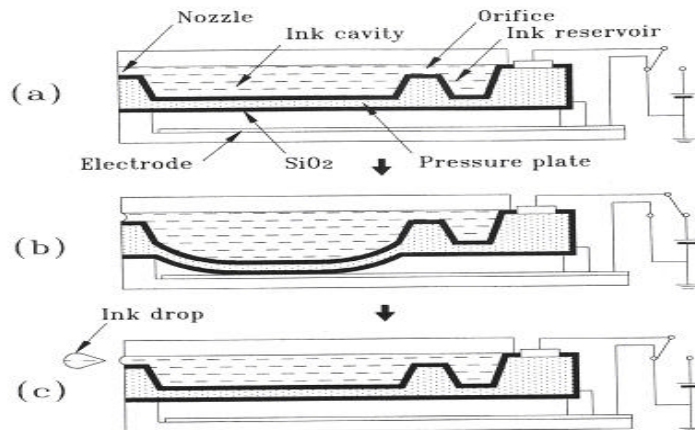
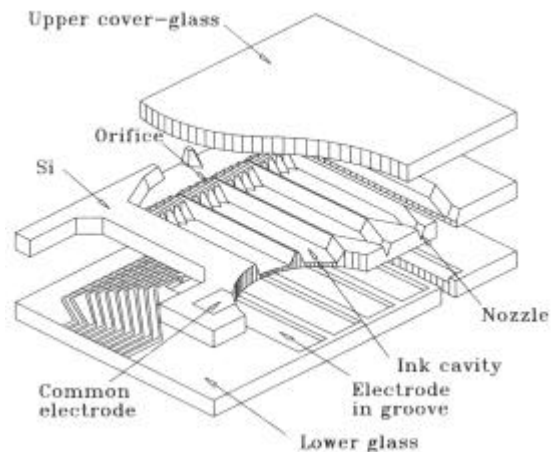
（1）応用分野

インクジェットプリンタのヘッド
（インク噴出部分）

（2）動作原理

バブルジェット型
（4ページ参照）

静電駆動型
静電引力によるアクチュエータの
たわみを利用し、インクをノズル
から噴射。



静電駆動型 ^[1]

3 . オプティカルMEMS

3.1 光スイッチ

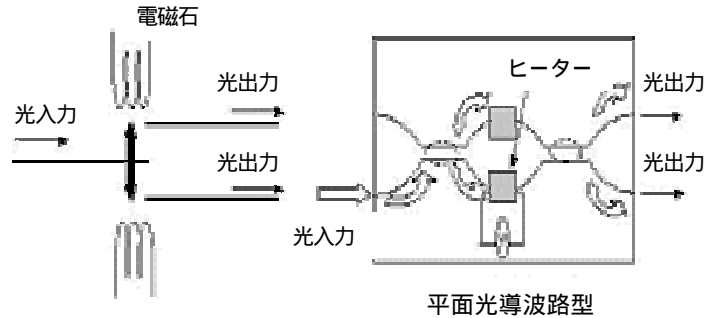
(1) 応用分野

次世代のネットワークの基幹系に搭載

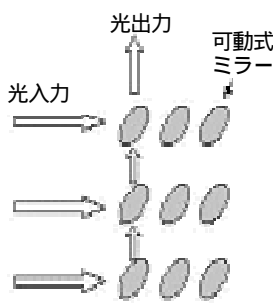
(2) 動作原理

メカニカル型

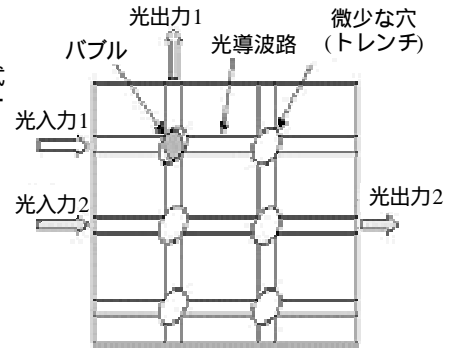
光ファイバを電磁力などで移動させることで経路を変更。



メカニカル型



ミラー型



バブル型

平面導波路型

光導波路上にペルチェ素子やヒーターを設置し、温度により導波路の屈折率が変化する現象を利用して経路を変更させる。

ミラー型 (2次元、3次元)

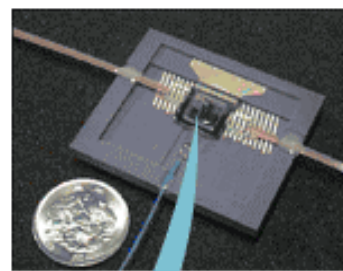
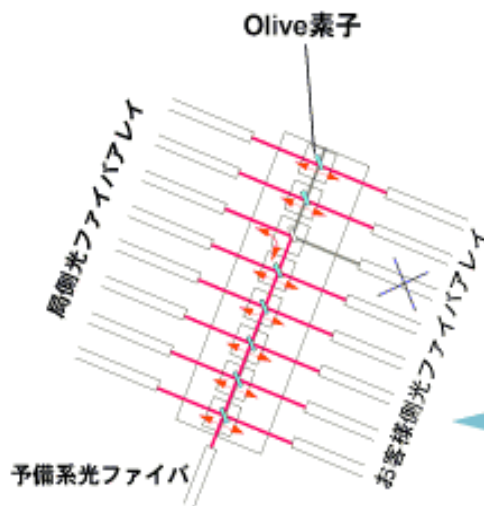
(8 ページ参照)

バブル型

石英ガラスの光導波路の各交点に微小な穴 (トレンチ) を形成し、オイルを充填する。ヒータを用いて、この液体から泡 (バブル) を生成 / 消滅させることで、光信号の経路を変える。

(インクジェットプリンタヘッドのバブルジェット技術の応用)

~ 光スイッチの動作原理イメージ^[1]



チップサイズ：
12 mm×12 mm

平面導波路型光スイッチ^[2]

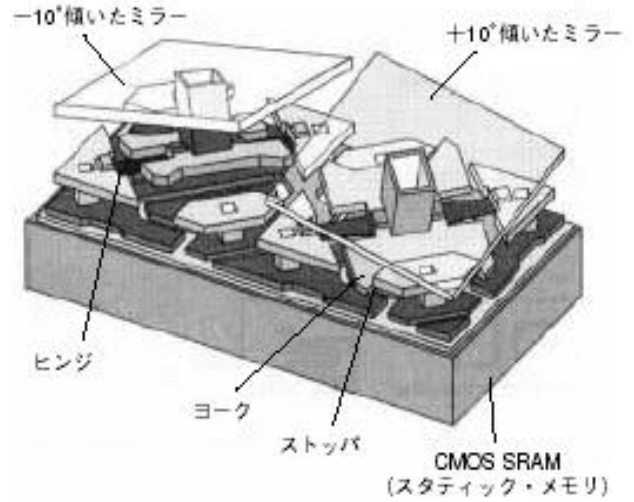
3.2 DMD

(1) 応用分野

プロジェクタ・ディスプレイの反射ミラー

(2) 動作原理

ミラーの下には制御回路とミラーを駆動する静電アクチュエータが配置されており、ミラーとの間に電圧を印加することで、ミラーを正確に $\pm 10^\circ$ 傾ける(オンオフ制御)。



DMD画素の模式図^[1]

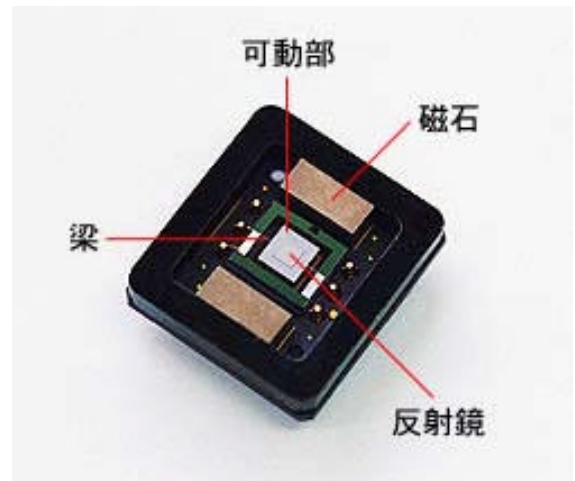
3.3 光スキャナ

(1) 応用分野

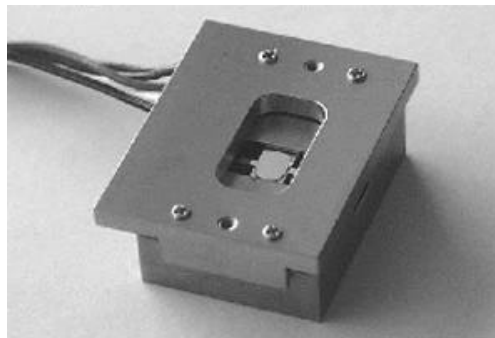
バーコードリーダー、レーザープリンター、走査型共焦点レーザー顕微鏡、レーザープロジェクター、光スイッチ、形状測定器、等

(2) 動作原理

電磁アクチュエータによる共振駆動とミラーに一体形成した検出コイル出力を利用したフィードバック制御を行う。



1次元走査型光スキャナ^[1]



走査型共焦点レーザー顕微鏡用光スキャナ^[2]

引用、参考文献等（補論）

1. 機械・エレクトロニクスMEMS

1.1 加速度センサ

- [1] サイバネットニュース (Spring 2000 No.93) (<http://www.cybernet.co.jp/news/backno/no93.pdf>)
- [2] マイクロマシニング技術が可能にする新しいセンシングシステム
(<http://www.geocities.co.jp/Technopolis-Mars/5941/micro2/newsen.html>)
- [3] Ball Semiconductor Inc. Three Axis Accelerometer (<http://www.ballsemi.com/NEW/products/TAA/features.asp>)
- [4] 資料提供：(株)デンソー

1.2 圧力センサ

- [1] オムロン(株) ドーナツダイヤフラム構造微圧力センサ (http://www.omron.co.jp/r_d/doc/ot031_1.pdf)
- [2] (株)山武 マイクロデバイスの研究開発 (<http://www.compoclub.com/rd/md1.html>)
- [3] ポリシリコン振動式圧力センサ (<http://www.tuat.ac.jp/~iked/pre/resonant.files/frame.htm>)

1.3 マイクロジャイロ

- [1] マイクロマシン技術と応用（シーエムシー出版）マイクロジャイロ構造図(pp.156-159)
- [2] (株)シリコン・センシング・システムズ・ジャパン レートジャイロ (<http://www.spp.co.jp/sss/sirikon.html>)
- [3] 東北大学工学研究科 江刺研究室 静電浮上型のマイクロモーターを使った回転ジャイロ
(<http://mems.mech.tohoku.ac.jp/esashilab/fsseminar/fsseminar.htm>)

1.4 赤外線イメージャ

- [1] 日経マイクロデバイス(2001/9)システムLSIの差異化技術へ3次元構造や異種材料を導入(pp.125-136, p.132)

1.5 マイクロアクチュエータ（回転運動系）

- [1] Design Wave Magazine(2001/9)マイクロアクチュエータの原理と応用(p.100)
(<http://www.cqpub.co.jp/dwm/contents/0046/dwm004600990.pdf>)
- [2] 東京大学工学研究科 樋口・鳥居・山本研究室 マイクロ超音波モータ
(http://www.intellect.pe.u-tokyo.ac.jp/research/micro_usm/micro_usm_j.html)

1.6 マイクロアクチュエータ（線形運動系）

- [1] 立命館大学理工学部 杉山研究室 バイモルフ型圧電素子を用いたマイクロバルブの開発
(http://www.ritsumeit.ac.jp/se/~sugiyama/research/re_4.1.html)

1.7 インクジェットプリンタヘッド

- [1] マイクロマシン技術と応用（シーエムシー出版）p.115, 116

3. オプティカルMEMS

3.1 光スイッチ

- [1] 文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター 光通信技術の研究開発動向
(<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt005j/feature2.html>)
- [2] NTT通信エネルギー研究所 熱毛管現象を利用したマイクロメカ光導波路スイッチ (Olive*)
(http://www.mcon.ne.jp/~imai/ntt_en/netw/p3.html)

3.2 DMD

- [1] Design Wave Magazine(2001/11)マイクロシステムの原理と応用(p.84)
(<http://www.cqpub.co.jp/dwm/contents/0048/dwm004800840.pdf>)

3.3 光スキャナ

- [1] 機械技術・日本の世界一 [種目] 光スキャナの消費電力 [勝者] 日本信号
(<http://nmc.nikkeibp.co.jp/kiji/part15.html>)
- [2] オリンパス光学工業(株) シリコンマイクロマシニングによる走査型共焦点レーザー顕微鏡用光スキャナ
(<http://www.olympus.co.jp/Special/Silm/index.html>)

技術動向調査委員会（製造技術分野）委員名簿（敬称略）

委員長	古川 勇二	東京都立大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授
副委員長	藤田 博之	東京大学生産技術研究所 教授 マイクロメカトロニクス国際研究センター長
委員	一條 久夫	独立行政法人産業技術総合研究所 技術情報部門 部門長
委員	東郷 洋一	新エネルギー・産業技術総合開発機構 産業技術開発室 室長
専門委員	榊原 伸介	ファナック株式会社 主任研究員 ロボット研究所 名誉所長
専門委員	谷江 和雄	独立行政法人産業技術総合研究所 知能システム研究部門 部門長
専門委員	根本 泰弘	株式会社日立製作所 日立研究所 IT応用研究センタ 情報制御第6研究部 部長
専門委員	川原 伸章	株式会社デンソー 基礎研究所 第5研究室 室長
専門委員	中桐 孝志	キヤノン株式会社 テクノロジー統括本部 副本部長
専門委員	三原 孝士	オリンパス光学工業株式会社 研究開発センター 研究開発戦略部 映像技術分野担当部長

本技術調査レポートの作成に当たっては、経済産業省から(株)日本総合研究所への14年度委託調査「平成14年度長期エネルギー技術戦略策定等調査(分野別技術動向調査)」の中での検討、特にそのために設けられた上記調査委員会のアドバイスを活用した。