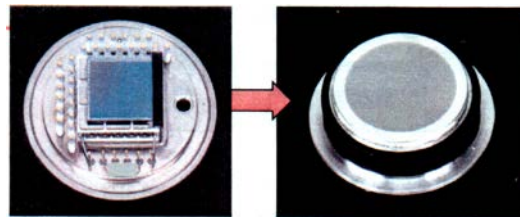
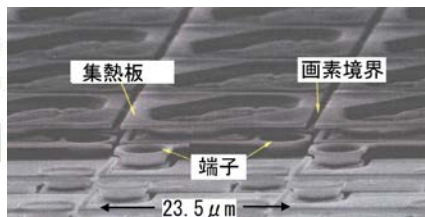
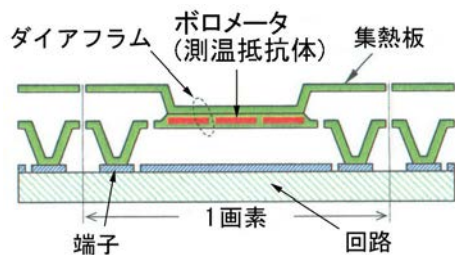
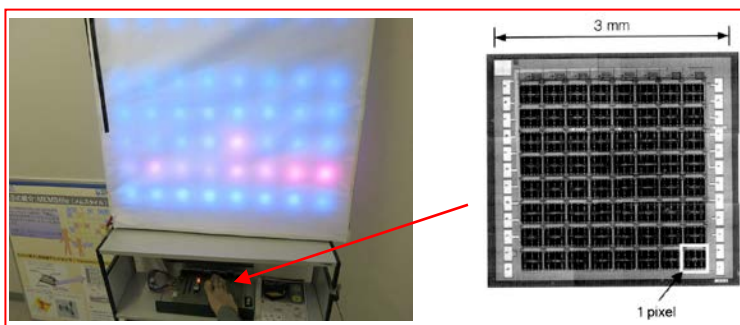


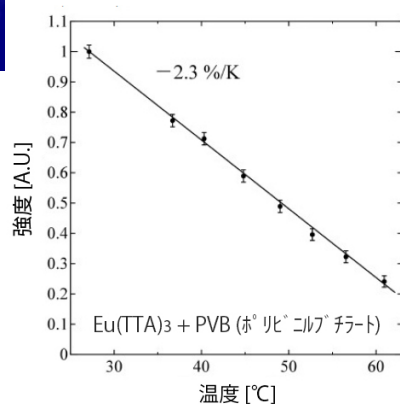
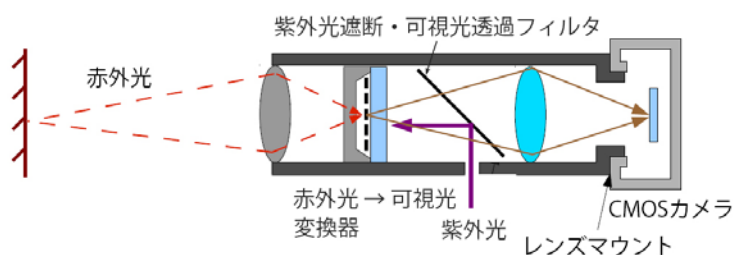
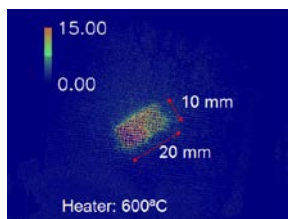
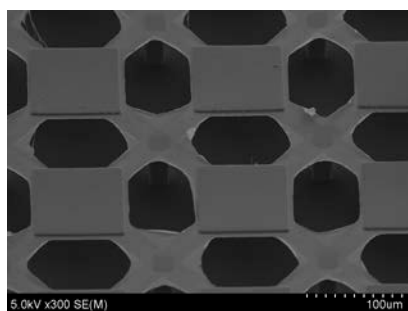
A1 赤外線センサ・イメージャ



VO₂ ボロメータを用いた 640×480 熱型赤外線イメージャ (NEC) (S.Tohyama, Optical Engineering, **45** (2006) 14001)



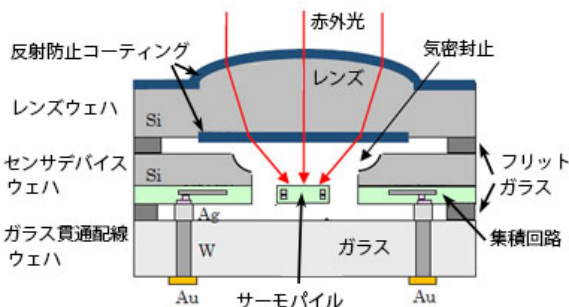
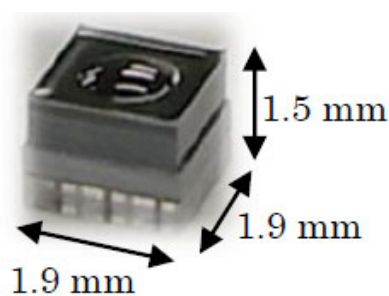
小形熱画像センサ (チノー) (展示) 8×8 サーモパイル赤外線センサ (Panasonic) (廊下展示 カード N1)



赤外光-可視光 変換器

蛍光型感温塗料を用いた熱型線赤外イメージャ

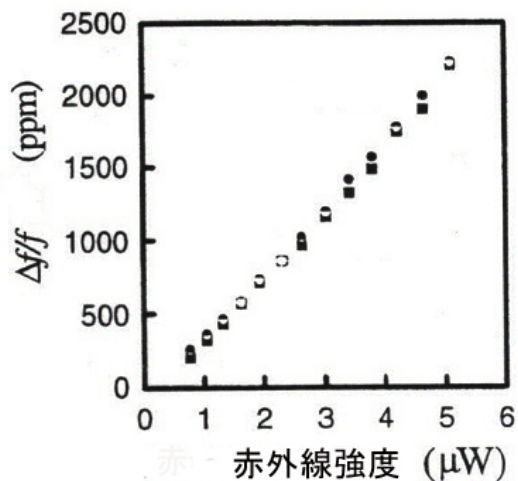
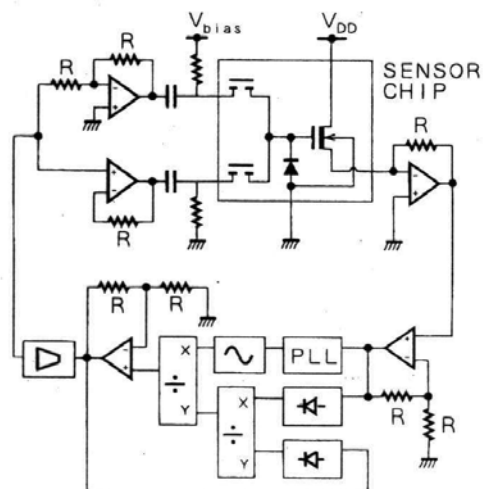
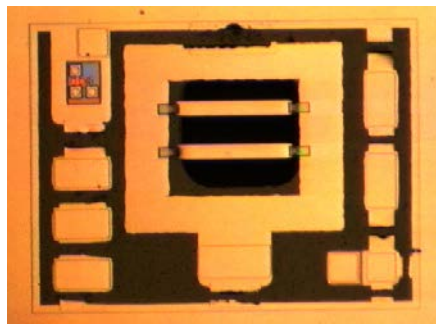
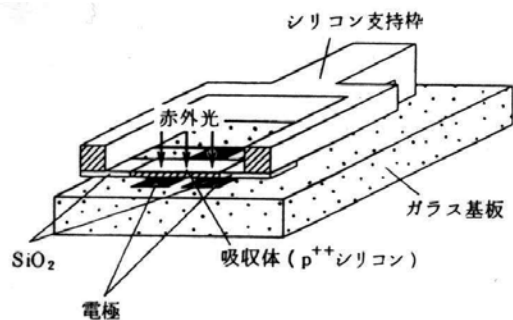
(T.Tsukamoto, M.Esashi and S.Tanaka, J. of Micromechanics and Microengineering, **23**, 11 (2013) 114015)



レンズ一体型超小型非接触温度センサ(集積化サーモパイル赤外線センサ) (リコー)

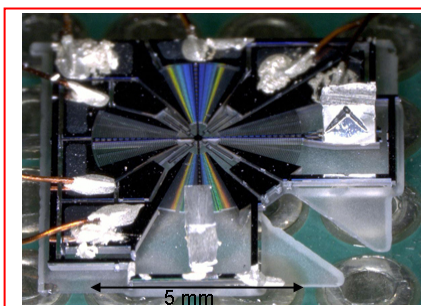
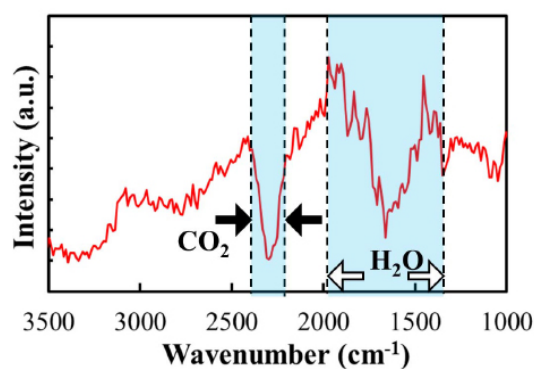
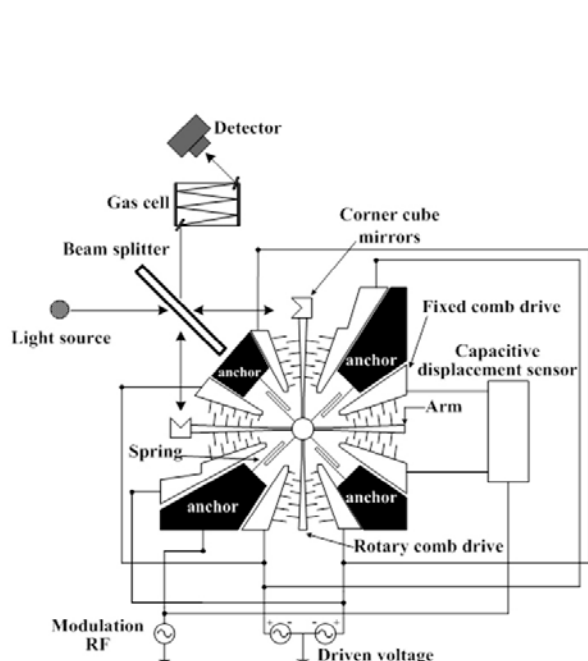
(野口英剛, 渡辺博文 他, 第 31 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム (2014) 21pm1-B1)

A2 赤外線センサ



振動型赤外線センサ

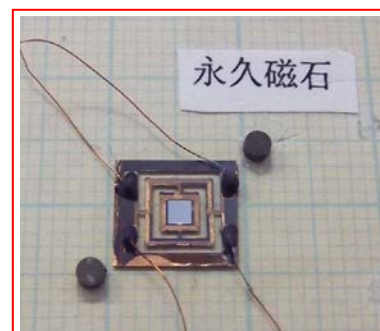
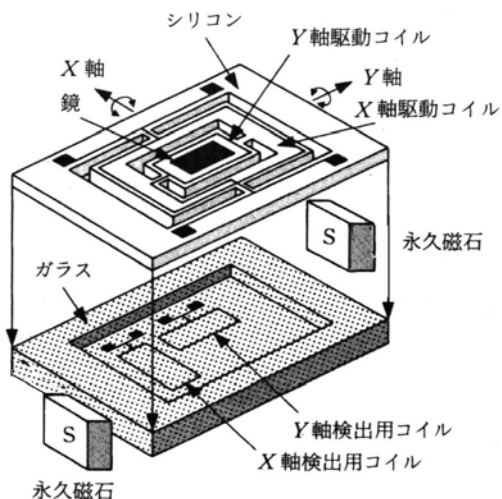
参考文献 : C.Cabuz, S.Shoji, K.Fukatsu, E.Cabuz, K.Minami and M.Esashi, Fabrication and Packaging of a Resonant Infrared Sensor Integrated in Silicon, Sensors and Actuators A, 43 (1994) pp.92-99



マイクロ化フーリエ変換型赤外分光計

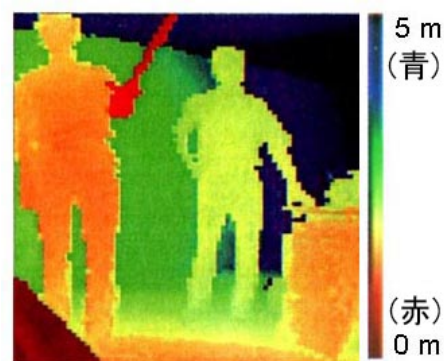
参考文献 : Y.-M. Lee, M. Toda, M. Esashi, and T. Ono, Micro wishbone interferometer for Fourier transform infrared spectrometry, J. of Micromechanics and Microengineering, 21 (2011) 065039

A3 2軸ガルバノ電磁光スキャナ



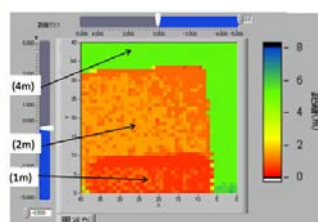
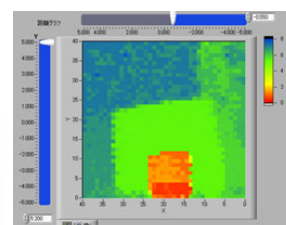
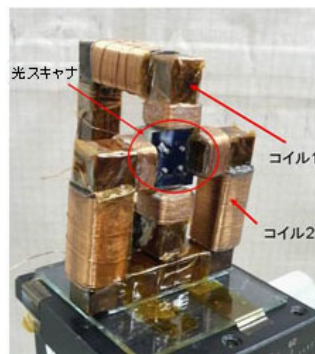
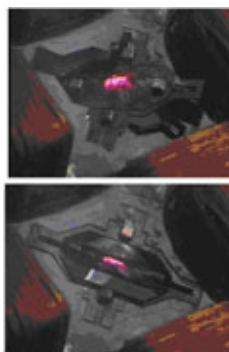
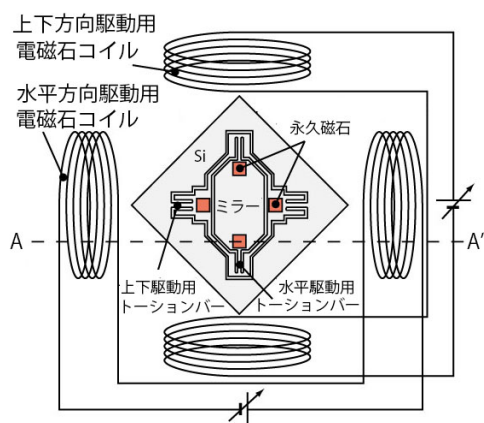
2軸ガルバノ(電磁)光スキャナ (東北大 - 日本信号)

参考文献：N.Asada, H.Matsuki, K.Minami and M.Esashi：Silicon micromachined two-dimensional galvano optical scanner, IEEE Trans. on Magnetics, 30 (1994) pp.4647-4649



鉄道駅のプラットフォームドアなどに使われる応用距離画像システム「エコスキャン」(日本信号)

参考文献：石川智之、猪俣宏明：MEMS技術とレーザ計測技術の融合 MEMS光スキャナ「ECO SCAN」を用いた測距センサ、日本信号技報、33, 1, pp.41-46 (2009)



電磁式非共振大偏向角2軸光スキャナ

画像拡大機能

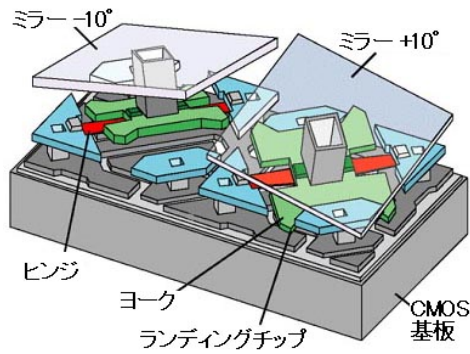
参考文献：W.Makishi, Y.Kawai and M.Esashi：Magnetic Torque Driving 2D Micro Scanner with a Non-Resonant Large Scan Angle, 電気学会論文誌 E, 130-E, 4 (2010) 135-136

A4 DMD (Digital Micromirror Device) (TI (テキサス・インスツルメンツ) 米国)

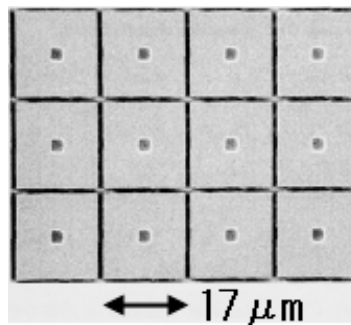
ビデオプロジェクタやデジタルシネマに用いられる CMOS チップ上に作られた静電駆動ミラーアレイ。

DLP (Digital Light Processing)と呼ばれる方式で、時分割のオンオフで諧調を表現

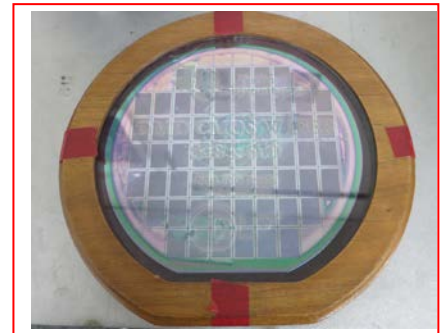
Al₃Ti のアモルファス金属を変形部に用いることで疲労問題を解決



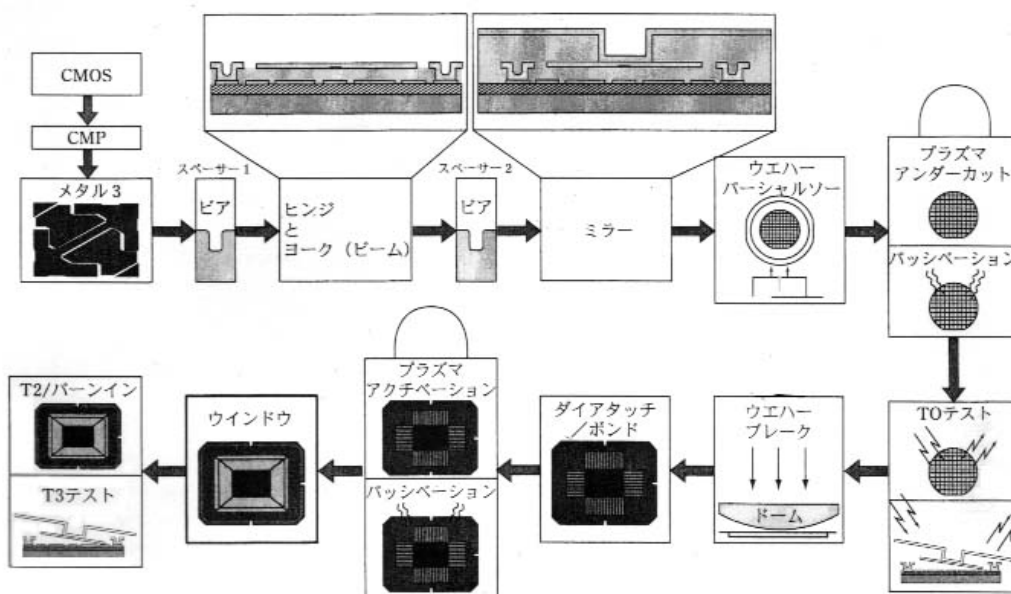
静電駆動ミラーの原理



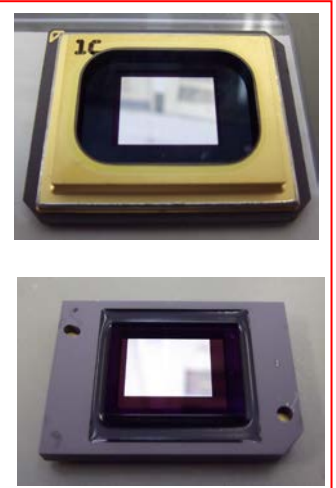
ミラーアレイの拡大写真



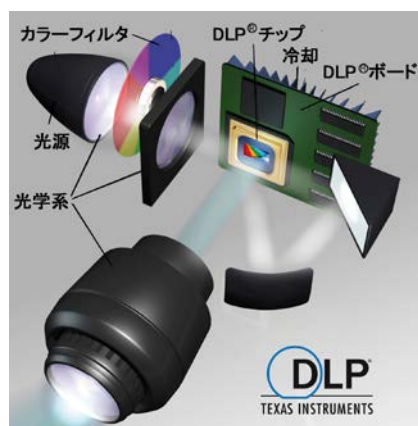
6 インチ(15cm 径)ウェハ上の DMD



製作工程



参考文献 : P.F.Van Kessel, L.J.Hornbeck, R.E.Meier and M.R.Douglass: A MEMS-based projection display, Proc. of the IEEE, 86, 8 (1998) 1687-1704



DMD ビデオプロジェクタの原理

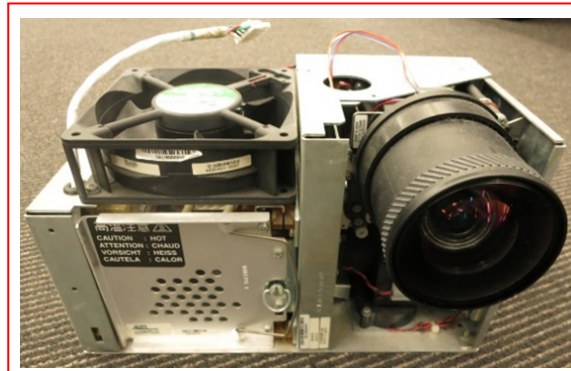
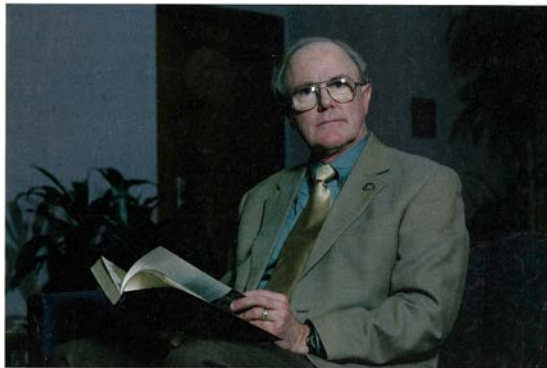


デジタルシネマ映写機



モバイル用 DLP ピコプロジェクタ

A5 DMD (Digital Micromirror Device) による映画のデジタル上映化



1995年頃のDMDビデオプロジェクタ(展示)

<https://www.redcruise.com/magic/press/tij00597.php>

DLP — 光を受け継ぐ者たち — (1-6回), 日経エレクトロニクス, 2005.2.28 - 2005.5.9 <http://www.dlp.com/jp/>

100年の歴史を持つ映画業界にHD DLP Cinema ディスプレイ・テクノロジーによるデジタル・シネマ・テクノロジーを導入した功績により、DLP チップ発明者 TIフェローのラリー J. ホーンベック博士が2015年2月10日にアカデミー賞を受賞

テキサス・インスツルメンツは、TIフェローのラリー J. ホーンベック博士 (Larry J. Hornbeck) が、映画の制作、配給や上映の革命的な進歩への貢献により、アカデミー科学技術賞とオスカー像を受賞したと発表しました。ホーンベック博士はデジタル・マイクロミラー・デバイス (DMD) の開発者で、DMD を採用した DLP Cinema(R) ディスプレイ・テクノロジーの設計を開発しました。DLP シネマ・テクノロジーは全世界の約 8 割の映画館スクリーンで採用されています。

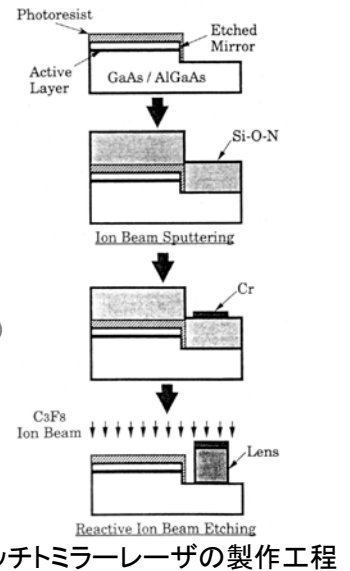
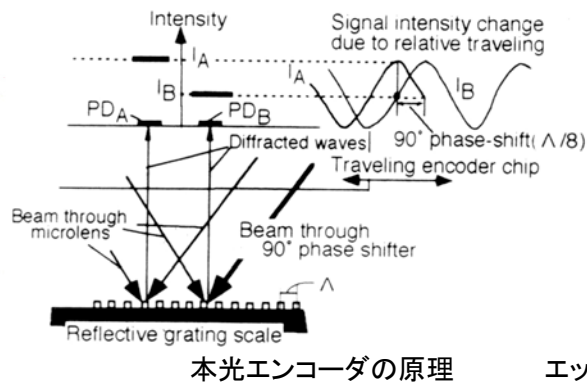
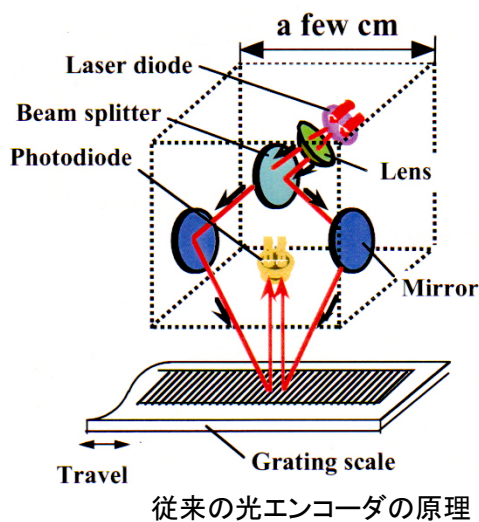
DLP シネマ・テクノロジーは、35mm の動画フィルムと比較して、より安定した輝度と正確な色の再現が特長です。DLP シネマ・テクノロジーは、映画をまとめて配給しやすくするほか、観客は制作者が意図したとおりの映像を楽しむことができます。

DLP チップは、1977 年に TI の中央研究所で開発がスタートし、ホーンベック博士は当初、ミラーをアナログ制御することにより光をコントロールしていましたが、期待通りに安定動作させるのが難しいものでした。1987 年、博士は画期的なデジタル制御の DMD を開発、現在 DLP チップとして知られるようになりました。TI は、1990 年代中頃に DLP シネマ・チームを発足させ、35mm 動画フィルムに匹敵する品質の映画上映用デジタル・プロジェクタ開発を行いました。

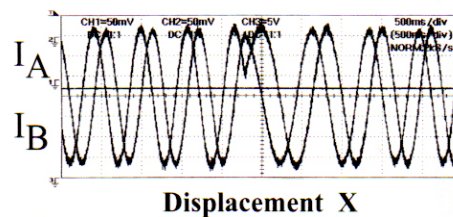
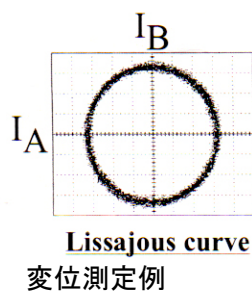
1999 年に世界で初めて「スター・ウォーズ エピソード 1/ ファントム・メナス」がデジタル上映されて以来 15 年、DLP シネマ・テクノロジー搭載のデジタル・プロジェクタは全世界の 117,000 * を超える映画館スクリーンで採用されています。(*TI 調べ)

DMD テクノロジーに関する画期的な研究で 38 件の米国特許を所有する ホーンベック博士は、次のように述べています。「アカデミー賞を受賞し大変光栄です。コアテクノロジーを定義付けた最初の考案に続き、TI の優秀なエンジニアチームと協業し、初の DMD を画期的な技術革新につなげられたことは、とても幸運な出来事でした。この革新的なデジタル・シネマ・テクノロジーの開発を続けたことで、TI の DLP Cinema 部門は、映画業界の誰も想像もしなかった決定的な進歩につながりました」

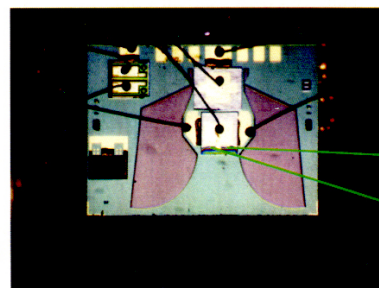
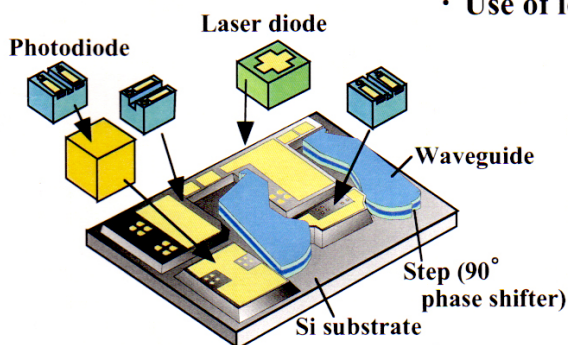
A6 光エンコーダ (NTT)



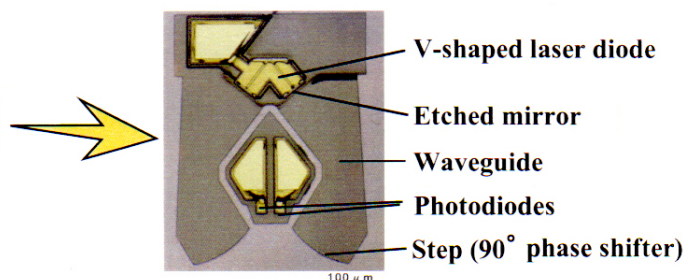
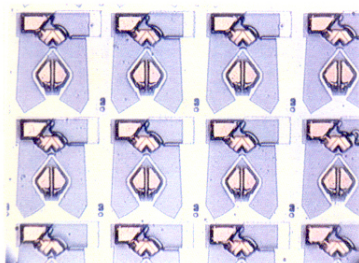
One revolution of Lissajous curve corresponds to displacement of 0.8 or 1.6 μm .



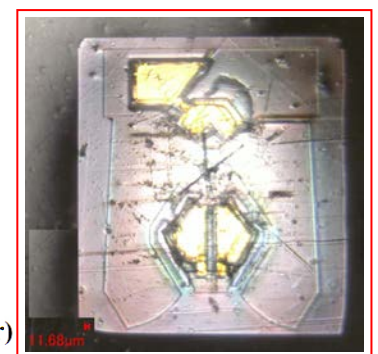
- Accurate bonding on silicon substrate
- Use of long-life optical elements (LD, PD)



- 4000 chips fabricated using batch process on 2-inch GaAs substrate

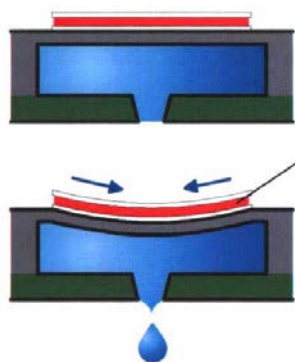


モノリシック法

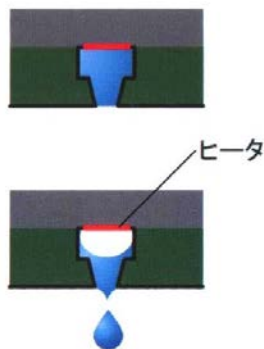


参考文献 : R.Sawada, O.Ohguchi, K.Mise and M.Tsubamoto, Fabrication of Advanced Integrated Optical Micro-encoder Chip, IEEE MEMS' 94 (1994) pp.337-342

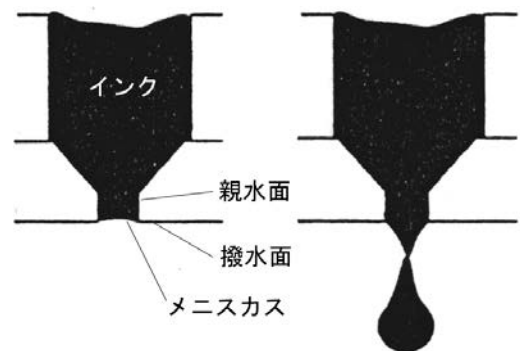
A7 圧電型・熱型インクジェットプリンタヘッド



圧電型 (ピエゾ方式)



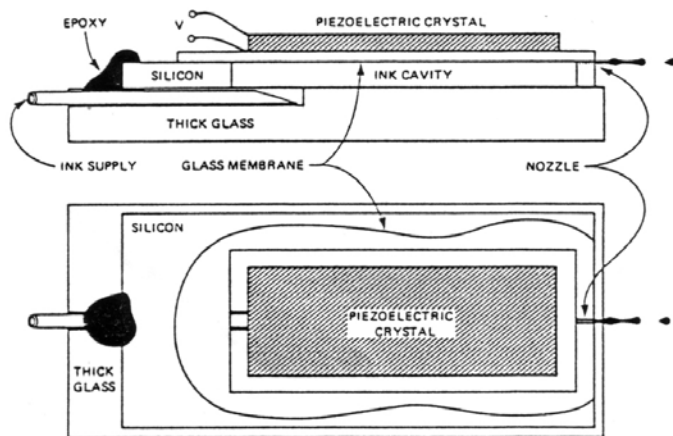
熱型 (バブルジェット、サーマルインクジェット)



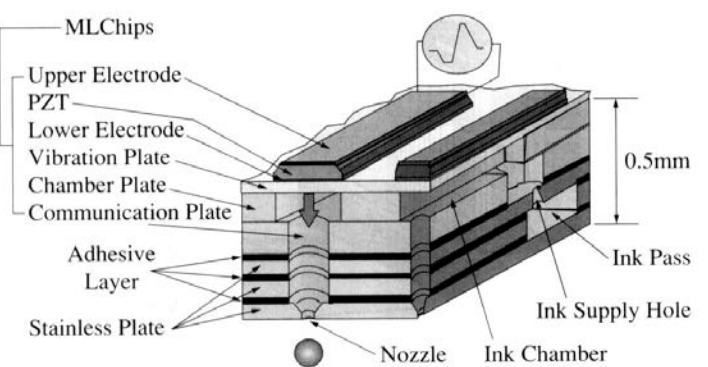
インク吐出の原理

(EPSON, XAAR.)

(CANON, HP, Lexmark, XEROX.)



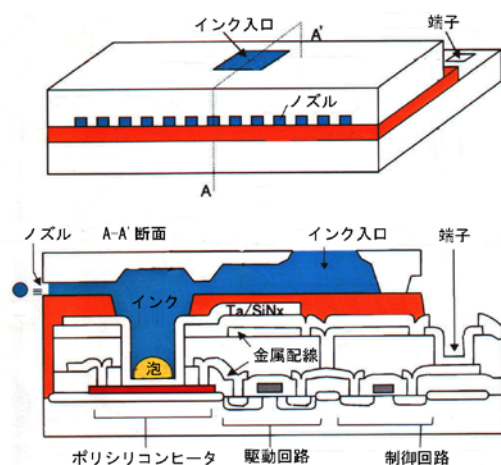
オンデマンド圧電インクジェットプリントヘッド



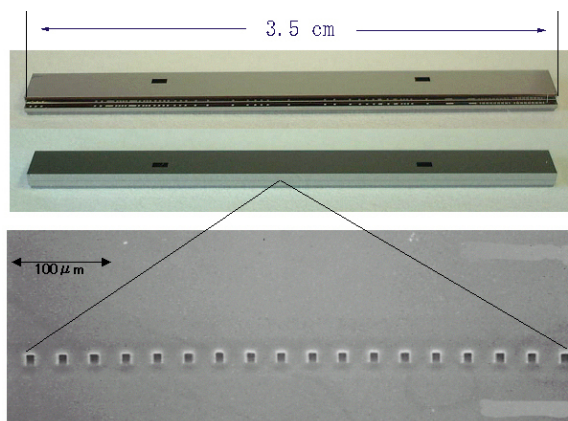
圧電インクジェットプリントヘッド (セイコーエプソン)

参考文献 : K.P.Petersen, Fabrication of an Integrated, Planar Silicon Ink-Jet Structure, IEEE Trans. on Electron Devices, ED-26 (1979) pp.1918-1920

インクジェットヘッド (セイコーエプソン), 2003 マイクロマシン / MEMS 技術大全 (2003) pp.71-74



構造

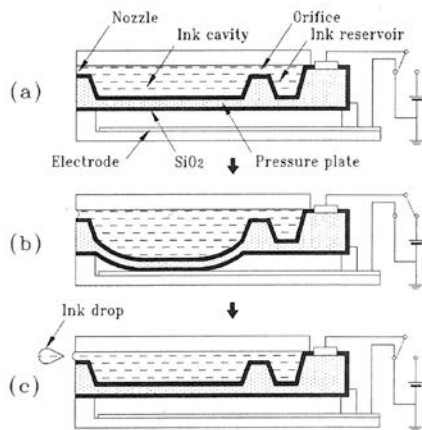


ノズル

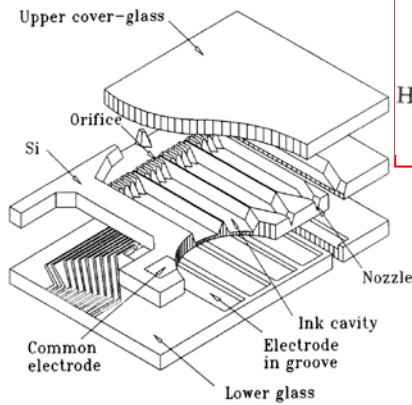


参考文献 : M.Murata, M.Kataoka, R.Nayve, A.Furugawa, Y.Ueda, T.Mihara, M.Fujii and T.Iwamori, High Resolution Long Array Thermal Ink Jet Printhead with On-chip LSI Heater Plate and Micromachined Si Channel Plate, IEICE Trans. Electronics, E-84-C (2001) pp.1792-1800

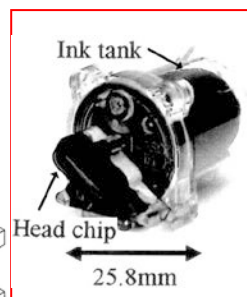
A8 静電インクジェットプリンタヘッド



原理



構造

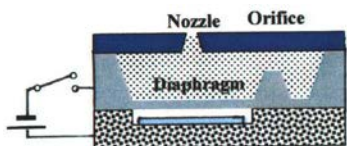


インクタンクとヘッド

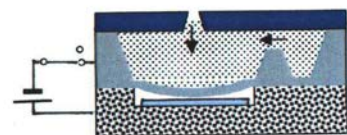


静電インクジェットプリンタヘッド (セイコーエプソン)

参考文献 S.Kamisuki, T.Hagata, C.Tezuka, Y.Nose, M.Fujii and M.Atobe, A Low Power, Electrostatically-driven Commercial Inkjet Head, Proc. of IEEE MEMS (1998) pp.63-68



(1) Initial state

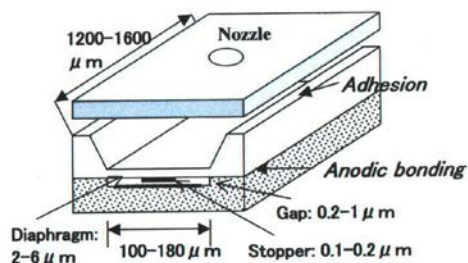


(2) DC voltage applied



(3) DC voltage is stopped and Ink is ejecting

原理

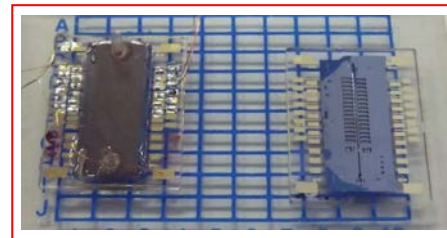


Schematic structure

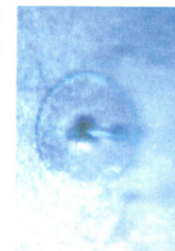
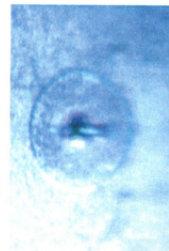


Cavity

構造とノズル写真

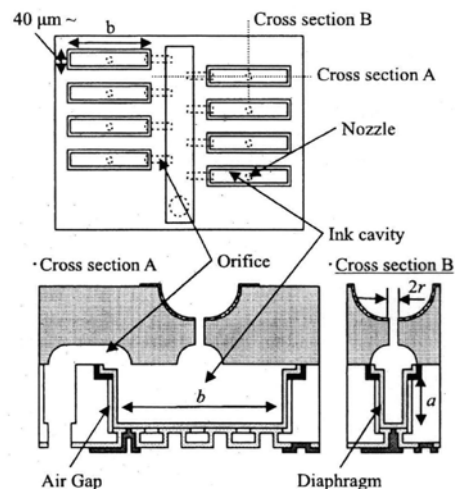


インクヘッド

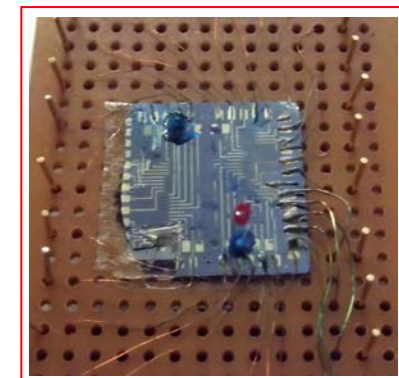
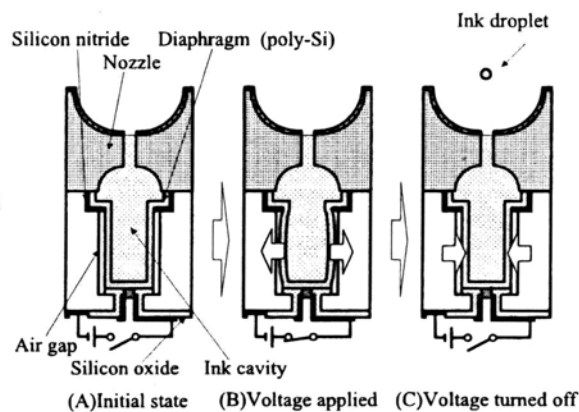


インク吐出のストロボ観察

高速低電力ラインプリンタ用静電インクジェットプリンタヘッド (東北大学 - ソニー)

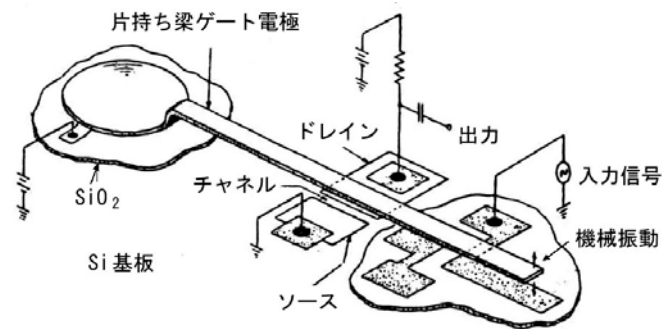


垂直ダイアフラム静電インクジェットプリンタヘッド



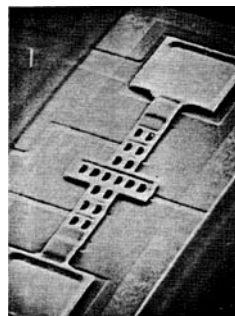
参考文献 : T.Norimatsu, S.Tanaka and M.Esashi, Vertical Diaphragm Electrostatic Actuator for a High Density Ink Jet Printer Head, 電気学会論文誌E, 125-E (2005) pp.350-354

A9 MEMS 共振子 (米国)



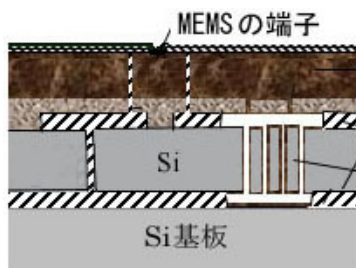
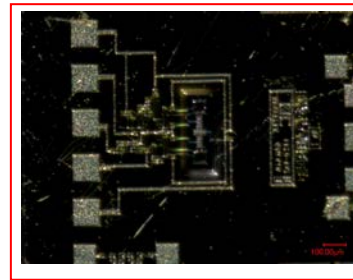
共振ゲートトランジスタ (ウェスティングハウス)

参考文献 : H.C.Nathanson et.al. The resonant gate transistor, IEEE Trans. on Electron Devices, ED-14 (1967) 117-133

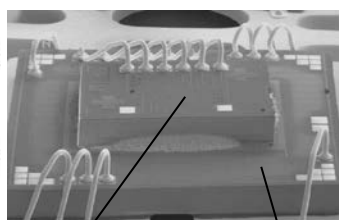


共振マイクロブリッジ (U.C.Berkeley)

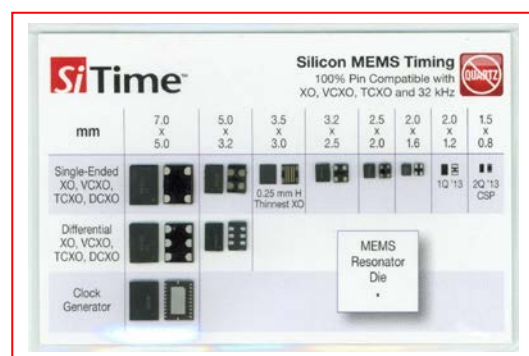
R.T.Howe and R.S.Muller, Resonant-Microbridge Vapor Sensor, IEEE Trans. on Electron Devices, ED-33 (1986) pp.499-506



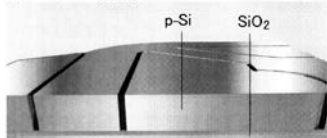
MEMS 発振器 (SiTime)



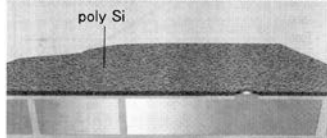
MEMS 共振子チップ 回路チップ



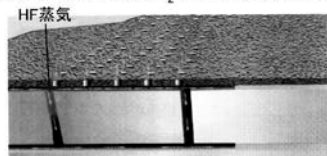
(1) SOIウェハ活性層のRIE



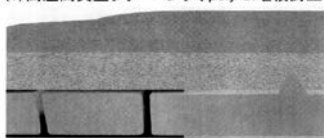
(2) SiO2による穴埋と部分除去, poly SiのCVD



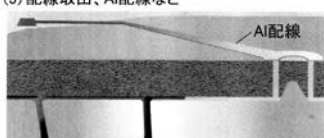
(3) poly Siの穴あけ, SiO2途中まで除去(HFガス)



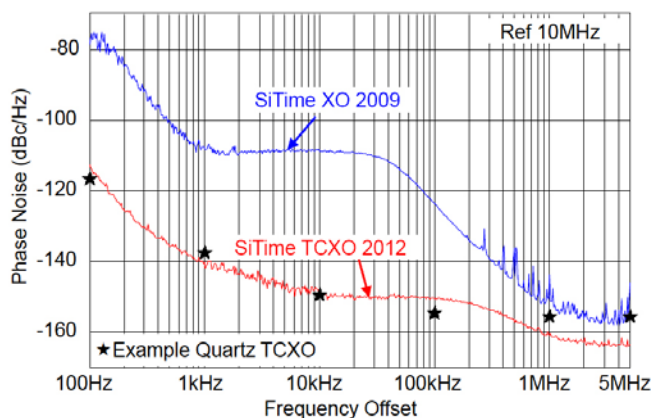
(4) 高温高真空クリーニング、poly Si堆積封止



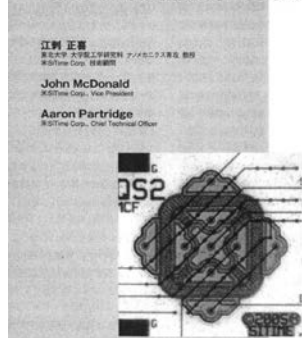
(5) 配線取出、Al配線など



100x Lower Phase Noise in 3 Years



Si技術を使ったMEMS発振器 水晶発振器の置き換えを狙う



Silicon Always Wins

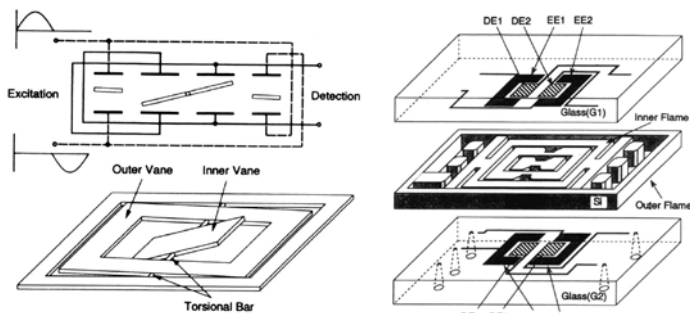


Highest Performance, Best Reliability, Smallest, Lowest Cost



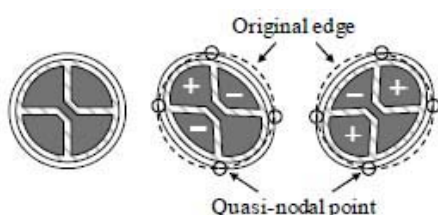
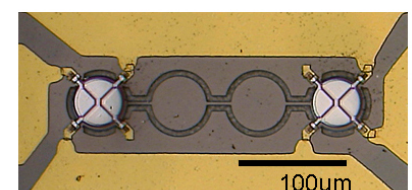
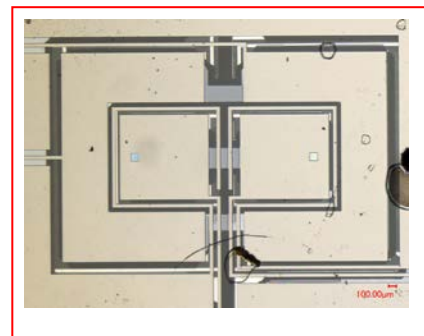
参考文献 : 江刺正喜, J.McDonald and A.Partridge : Si 技術を使った MEMS 発振器 水晶発振器の置き換えを狙う, 日経エレクトロニクス, 923 (2006/04/10) pp.125-134

A10 MEMS 共振子（ディスク、Lamb 波 他）

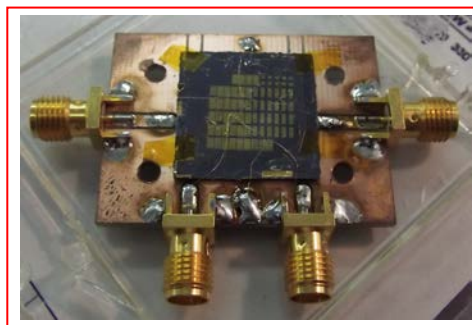


パッケージングした高 Q の MEMS 共振子（東北大 - 島津製作所）

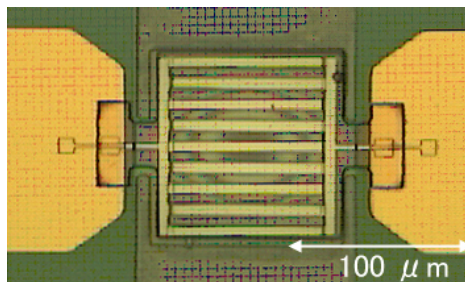
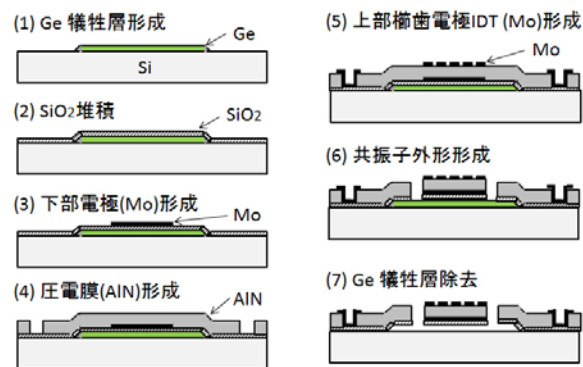
参考文献：K.Yoshimi, K.Minami, Y.Wakabayashi and M.Esashi, Packaging of Resonant Sensors, Technical Digest of the 11th Sensor Symposium(1992) pp.35-38



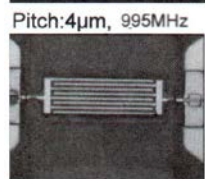
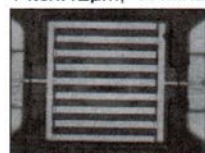
マイクロディスク共振子（東北大 - 情報通信研究機構(NICT)）



参考文献：T.Matsumura, M.Esashi, H.Harada and S.Tanaka : Multi-band Radio-frequency Filter Fabricated Using Polyimide-based Membrane Transfer Bonding Technology, J. of Micromech. Microeng., 20, 9 (2010) 095027(9pp)

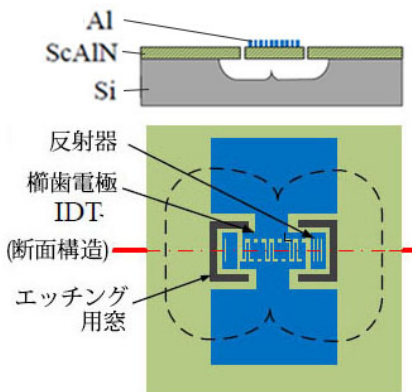


Pitch:12μm, 331MHz



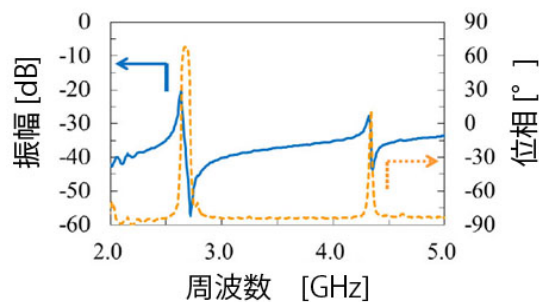
Lamb 波共振子（東北大 - 日本電波）

参考文献：K.Hirano, M.Esashi and S.Tanaka, Aluminum Nitride Lamb Wave Resonator Using Germanium Sacrificial Layer, 2nd International Workshop on Piezo-devices Based on Latest MEMS Technologies (2008) pp.111-117

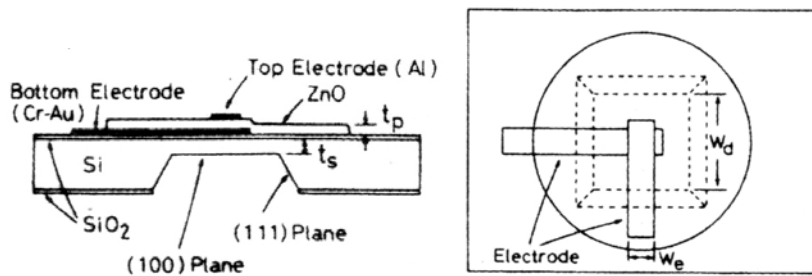


Sc-AIN を用いた Lamb 波共振子,

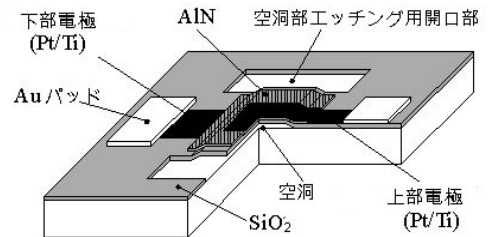
参考文献：A.Konno et.al : ScAlN Lamb Wave Resonator in GHz Range Released by XeF₂ Etching, 2013 IEEE Ultrasonics Symposium 2013 1378-1381)



A11 FBAR (Film Bulk Acoustic Resonator) 薄膜バルク音響波共振子



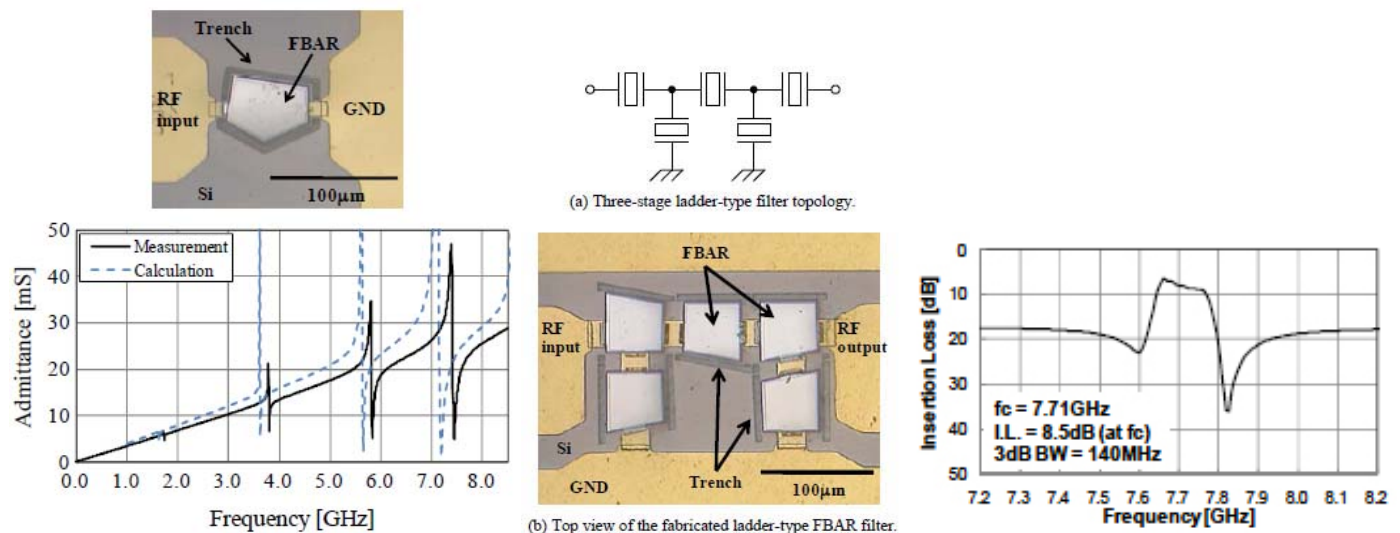
FBAR (東北大 中村 僖良)



FBAR

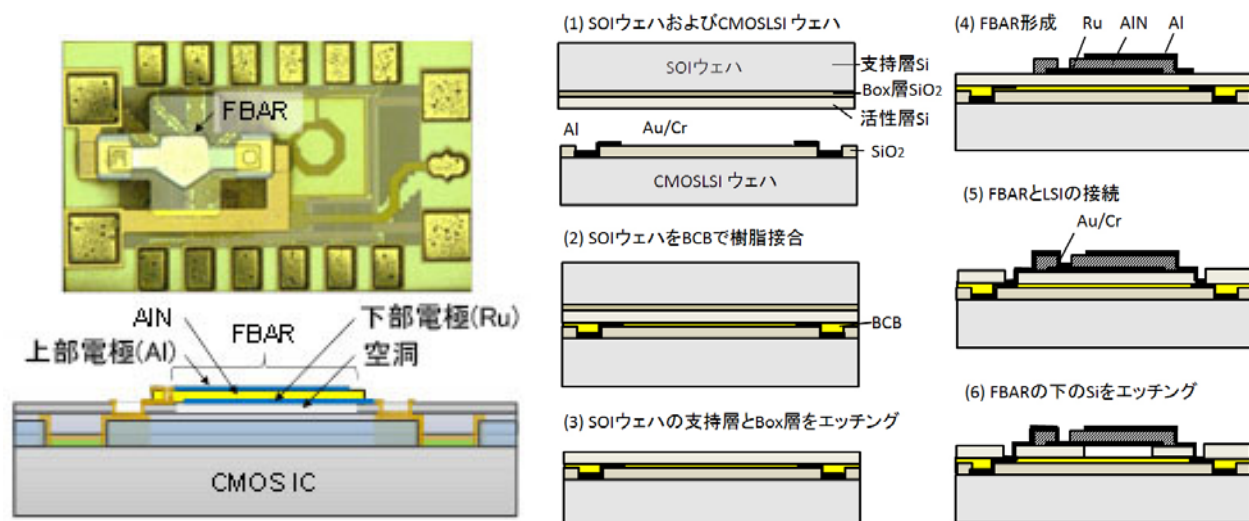
参考文献 : K.Nakamura, H.Sasaki and H.Shimizu, A Piezoelectric Composite Resonator Consisting of a ZnO Film on an Anisotropically Etched Silicon Substrate, Proc. of 1st Symp. On Ultrasonic Electronics (1980), Jap. J. of Applied Physics, 20(1981) Supplement 20-3, pp.111-114

M.Hara, J.Kuypers, T.Abe and M.Esashi, Surface Micromachined AlN Thin Film 2GHz Resonator for CMOS Integration, Sensors & Actuators A, 117 (2005) pp.211-216



FBAR (Film Bulk Acoustic Resonator) (東北大 - 情報通信研究機構(NICT))

参考文献 : T.Matsumura, M.Esashi, H.Harada and S.Tanaka, Multi-band Radio-frequency Filter Fabricated Using Polyimide-based Membrane transfer Bonding Technology, J. of Micromech. Microeng., 20 (2010) 095027(9pp)

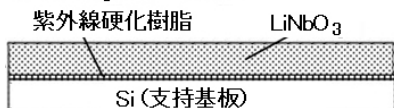


LSI 上に製作した FBAR(film bulk acoustic resonator)

参考文献 : Kochhar et. al, 2012 IEEE Internl. Ultrasonic Symp. (2012) 1047

A12 LSI 上の SAW デバイス（集積回路上の表面弾性波素子）

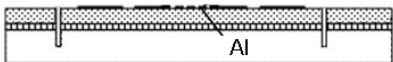
1. LiNbO_3 の Si への接合



2. LiNbO_3 の研磨



3. Al 電極パターン形成と溝加工



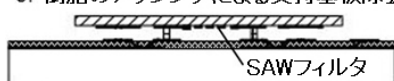
4. Au パンプ形成



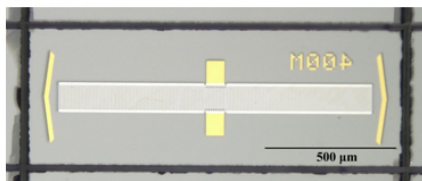
5. Au-Au 接合



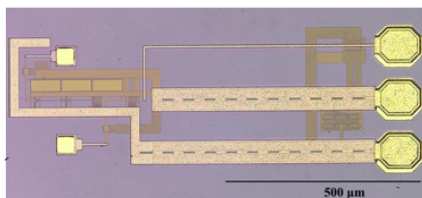
6. 樹脂のアッシングによる支持基板除去



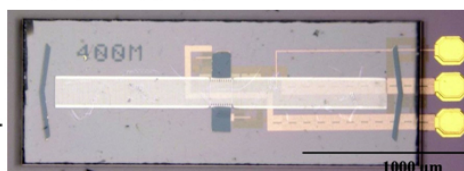
SAW フィルタ



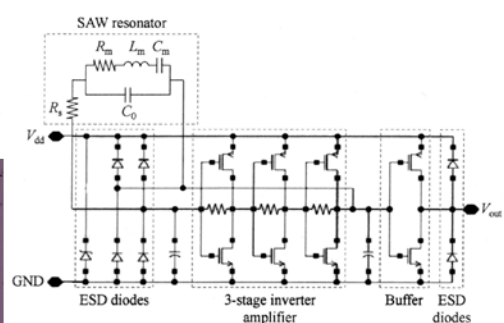
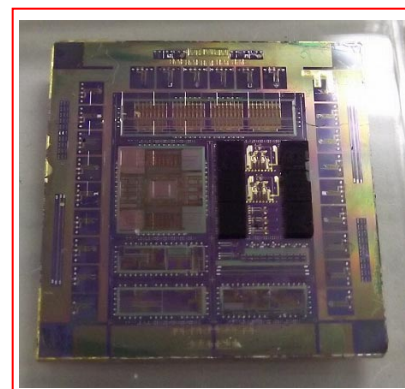
LSI



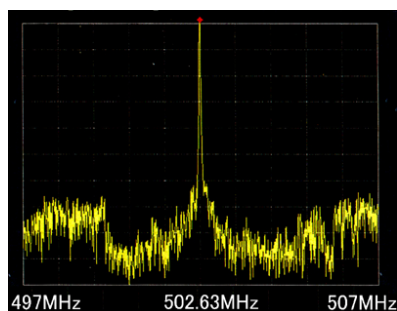
LSI 上の SAW フィルタ



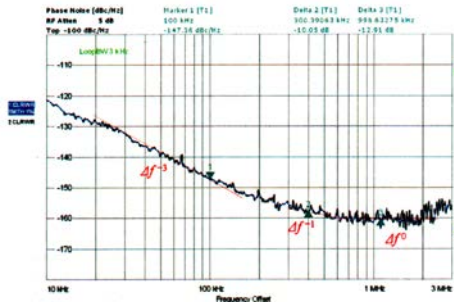
製作工程



集積回路

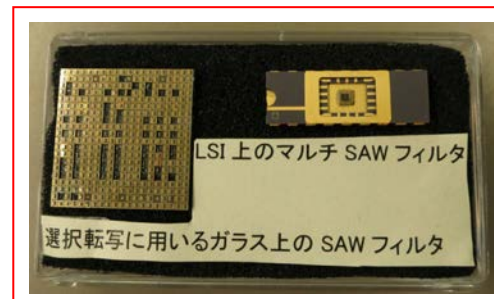


発振スペクトル



ジッター特性

参考文献：K.D.Park, M.Esashi and S.Tanaka, Preparation of Thin Lithium Niobate Layer on Silicon Wafer for Wafer-level Integration of Acoustic Devices and LSI, 電気学会論文誌E, 130-E (2010) pp.236-241

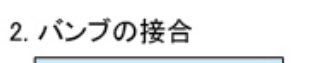


1. パンプ形成、SAW ウェハ樹脂接合、ダイシング

樹脂 ガラス SAW ウェハ

シリコンパンプ LSI ウェハ

2. パンプの接合

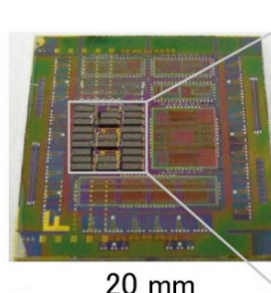
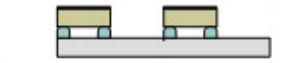


3. レーザデボンディング

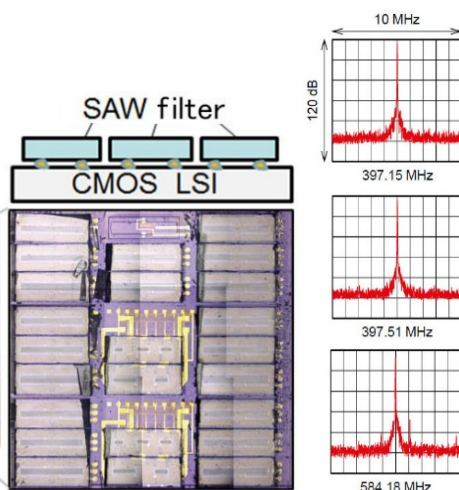
レーザ

4. デバイス転写

5. ダイシング

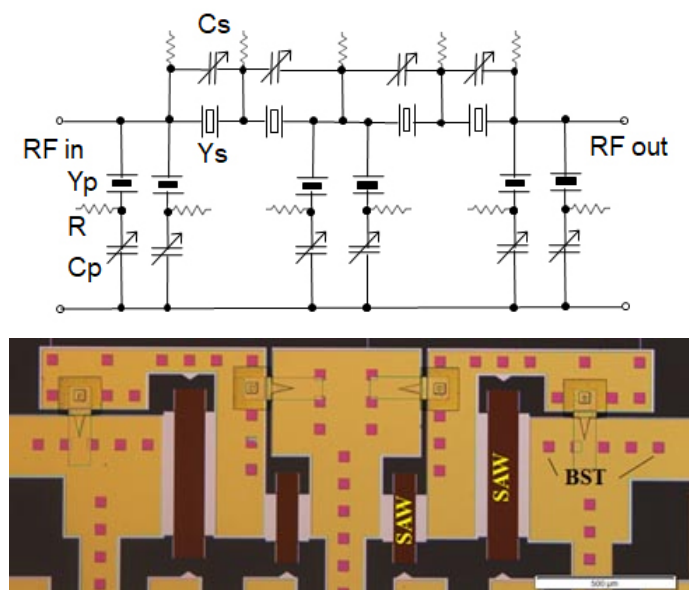


選択転写工程とそれを用いた LSI 上マルチ SAW フィルタ

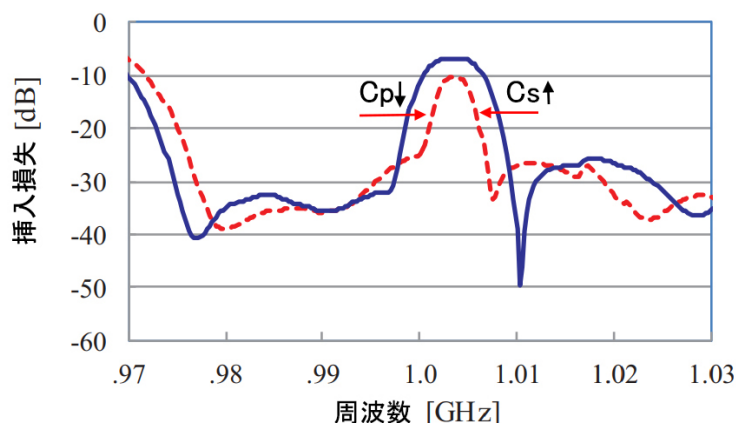


Reference ; S. Tanaka, M. Yoshida, H. Hirano and M. Esashi, Lithium Niobate SAW Device Hetero-transferred onto Silicon Integrated Circuit Using Elastic and Sticky Bumps, 2012 IEEE International Ultrasonics Symposium (2012) p.1047

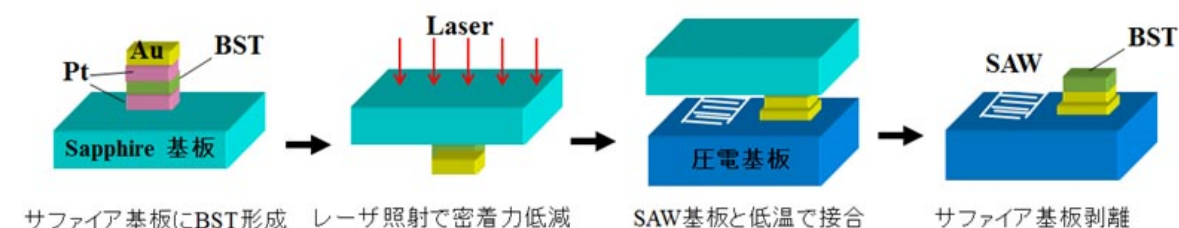
A13 可変容量付帯域可変 SAW フィルタ



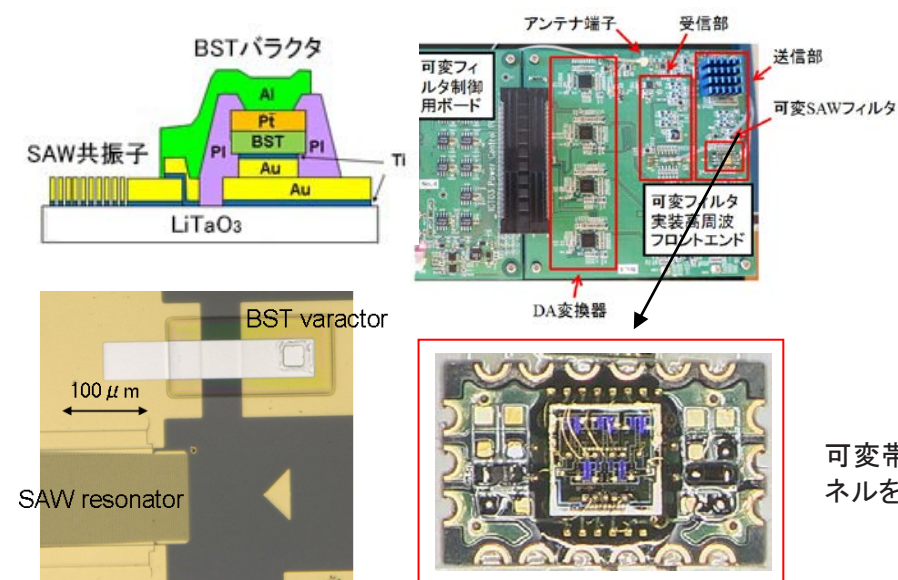
原理と写真



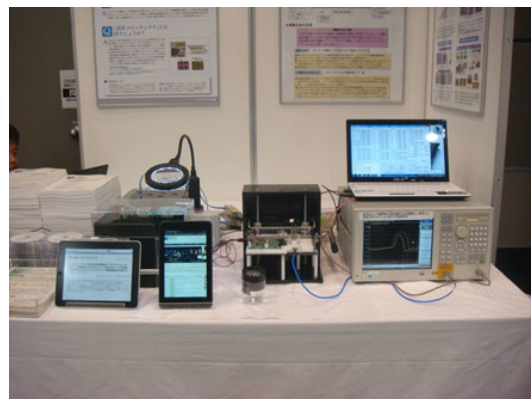
可変帯域フィルタの特性



強誘電体(BST($\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$))を用いた可変容量素子の製作工程



可変帯域フィルタ



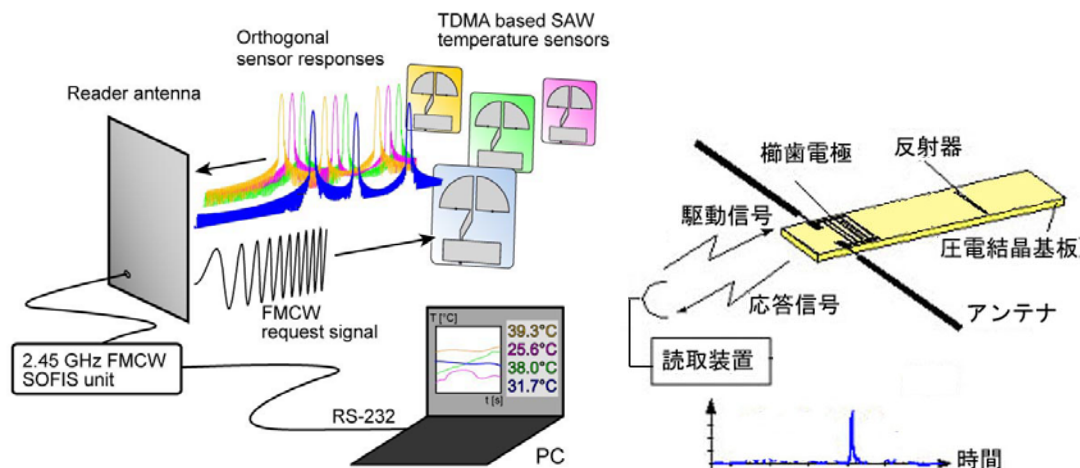
可変帯域フィルタを用い非常時にデジタルTVのチャネルを用いて通信するワイヤレスシステムのデモ

参考文献 : Hideki Hirano et.al, Bandwidth-tunable SAW Filter Based on Wafer-level Transfer-integration of BaSrTiO₃ Film for Wireless LAN System using TV White Space, Proc. IEEE Ultrason. Symp., Chicago, USA (2014) 803-806

参考文献 : H.Hirano, T.Kimura, I.P.Koutsaroff, M.Kodato, K.Hashimoto, M.Esashi and S.Tanaka, Integration of BST Varactors with Surface Acoustic Wave Device by Film Transfer Technology for Tunable RF Filters, J. of Micromech. Microeng., 23, 2 (2013) 025005 (9pp)

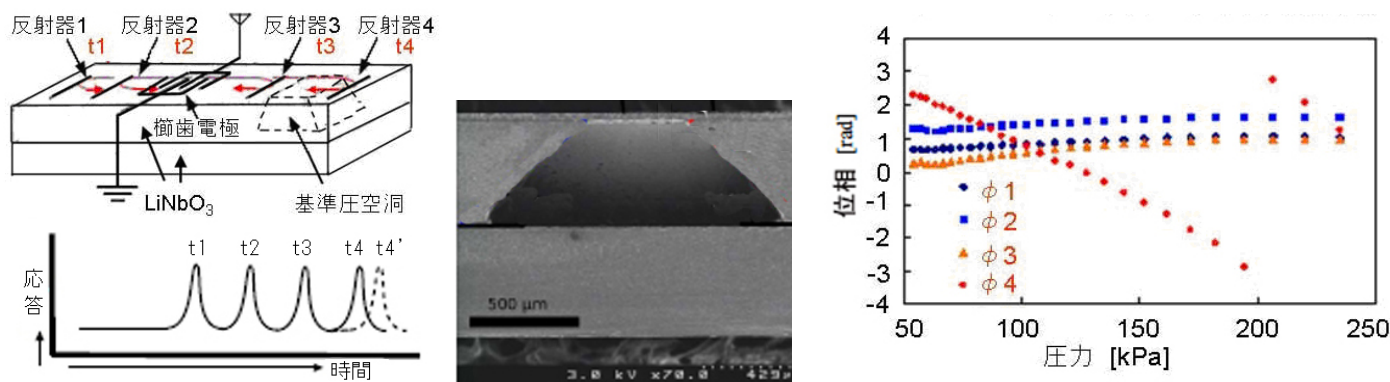
A14 SAW パッシブワイヤレスセンサ

(戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE) 2006 年度 - 2008 年度)



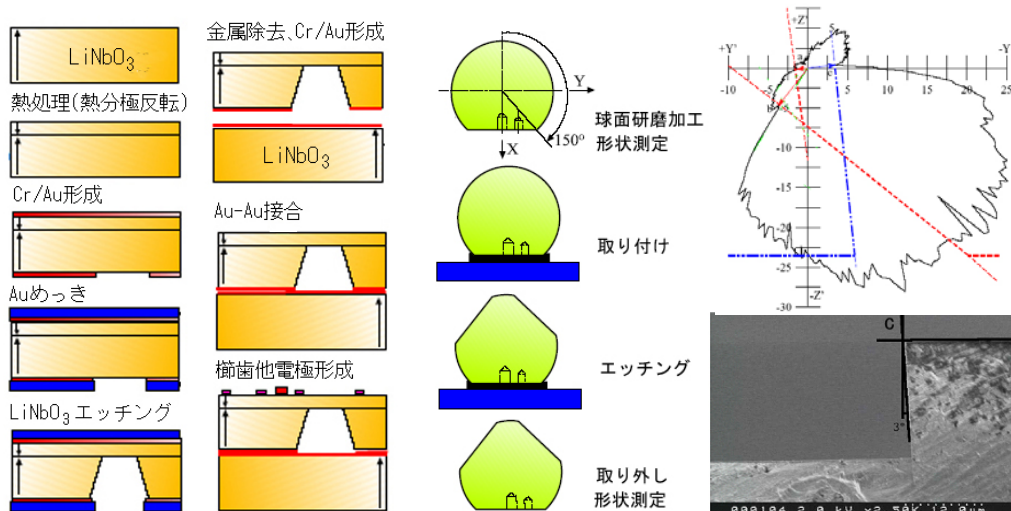
SAW パッシブワイヤレスセンサの原理

参考文献 : J. H. Kuypers, L. M. Reindl, S. Tanaka and M. Esashi, Maximum Accuracy Evaluation Scheme for Wireless SAW Delay Line Sensors, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 55 (2008) pp.1640-1652



タイヤ圧モニタへの応用 (東北大学 - 日産自動車)

参考文献 : S.Hashimoto, J.H.Kuypers, S.Tanaka and M.Esashi, Design and Fabrication of Passive Wireless SAW Sensor for Pressure Measurement, 電気学会論文誌E, 128 (2008) pp.231-234



LiNbO₃ の選択エッチングと結晶異方性エッチングシミュレーション



参考文献 : A. B. Randles, M. Esashi and S. Tanaka, Etch Stop Process for Fabrication of Thin Diaphragms in Lithium Niobate, Jap. J. of Applied Physics, 46 (2007) pp.L1099-L1101

A.B.Randles, M.Esashi and S.Tanaka, Etch Rate Dependence on Crystal Orientation of Lithium Niobate, IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 57 (2010) pp.2372-2380