

AGH

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Sensory w Aplikacjach Wbudowanych

**Przegląd nowoczesnych przetworników:
mikroaktuatory**

dr hab. inż. Cezary Worek, prof. AGH

(na bazie materiałów dra inż. Wojciech Maziarz)

Wydział IET, Instytut Elektroniki

Kontakt: worek@agh.edu.pl

Przegląd czujników

Przetworniki MEMS - aktuator

Czujniki przyśpieszenia (akcelerometry)

Czujniki ciśnienia

Mikrofony półprzewodnikowe

Głośniki półprzewodnikowe

Czujniki CO₂

Czujniki żyroskopowe

Aktuator to urządzenie mechaniczne lub elektroniczne przekształcające sygnał sterujący (elektryczny, pneumatyczny, hydrauliczny lub termiczny) w ruch mechaniczny

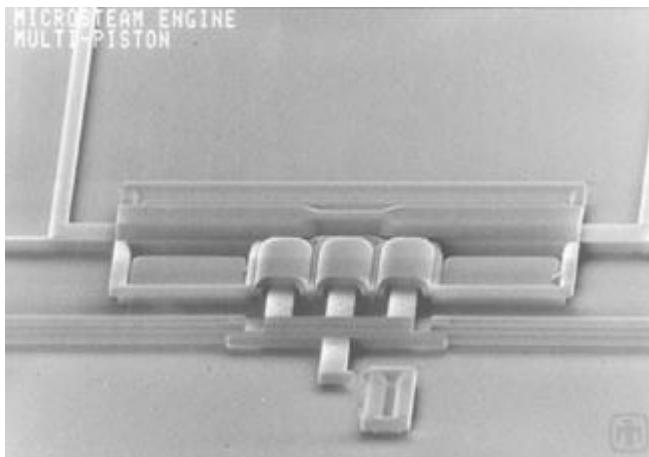
Przegląd czujników

Aktuator to urządzenie mechaniczne lub elektroniczne przekształcające sygnał sterujący (elektryczny, pneumatyczny, hydrauliczny lub termiczny) w ruch mechaniczny

- Wyróżniamy trzy główne typy aktuatorów: elektryczne, pneumatyczne i hydrauliczne, z których każdy ma swoje specyficzne zastosowania i cechy.
- Aktuatorów elektrycznych są idealne do precyzyjnego sterowania w automatyce przemysłowej i robotyce.
- Pneumatyczne aktuatorów sprawdzają się tam, gdzie wymagana jest szybka reakcja, na przykład w systemach transportowych.
- Hydrauliczne aktuatorów są niezastąpione w aplikacjach wymagających dużej siły, takich jak maszyny budowlane.
- Aktuatorów liniowych przekształcają energię na ruch prostoliniowy, co czyni je idealnymi do precyzyjnego przesuwania elementów.
- Z kolei aktuatorów obrotowych przekształcają energię na ruch obrotowy, co jest niezbędne w robotyce czy motoryzacji.

Aktuator MEMS

Przetworniki MEMS - aktuator

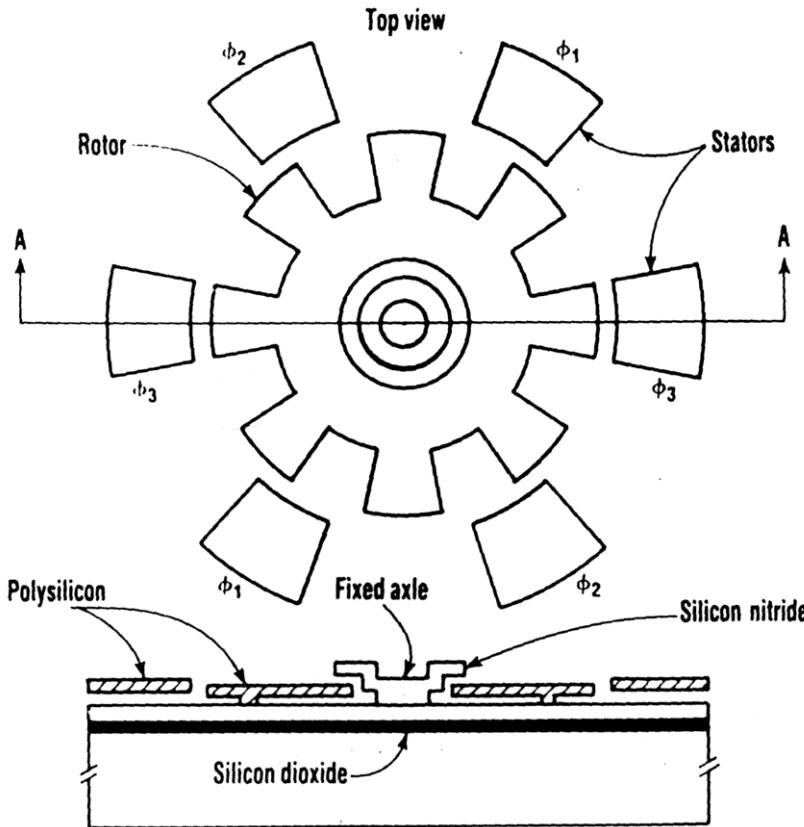


Trzycylindrowy silnik parowy
wykonany w technologii MEMS

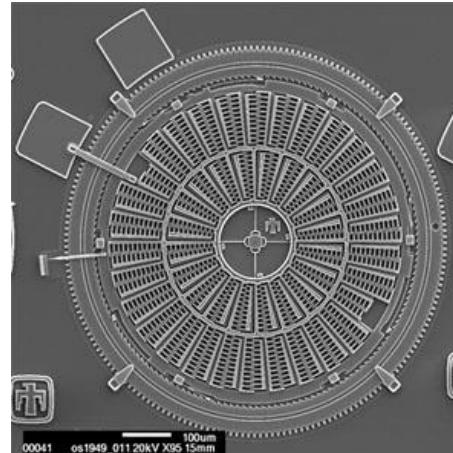


Konwerter ruchu obrotowego na
liniowy

Aktuator



Mikrosilnik elektrostatyczny
średnica rotora 0.1 mm

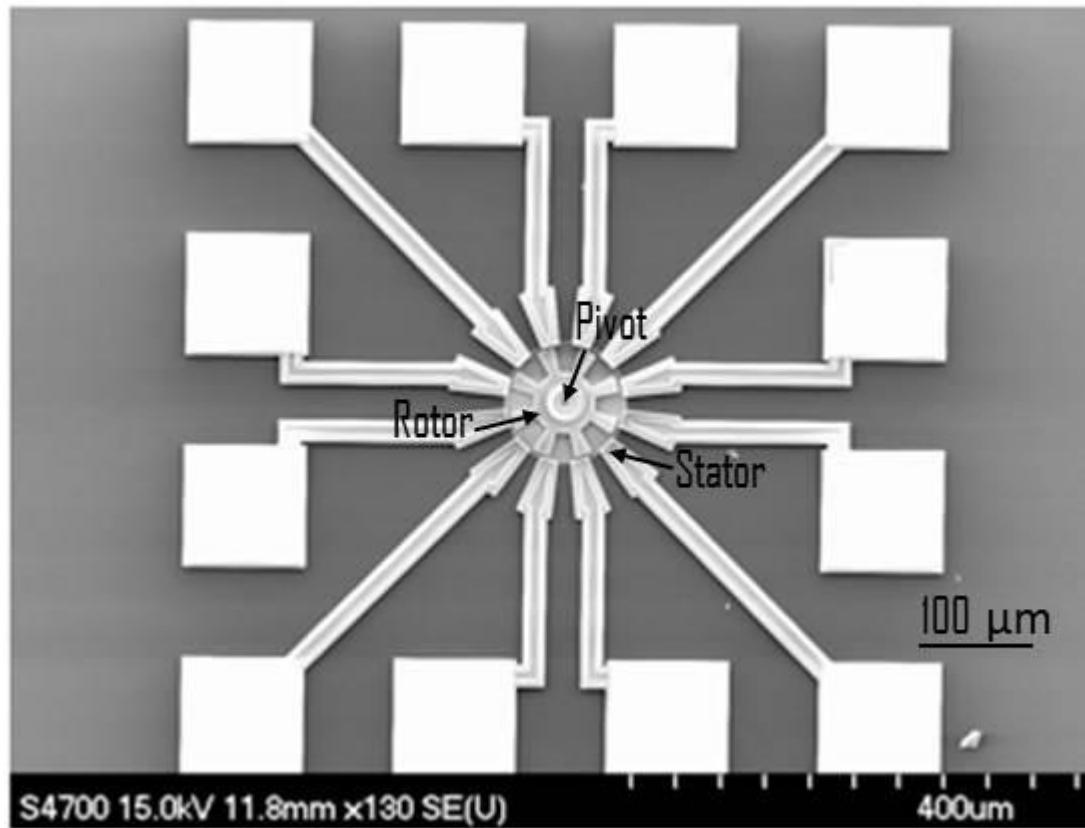


<http://mems.sandia.gov/about/actuators.html>

Smarowanie miniaturowych kół zębatych (Ar + opary alkoholu tworzą cienką warstwę poślizgową)
– poprawa trwałości 100.000 razy

Helping a micromachine to work,
[http://www.nature.com/news/2008/080407/full/
news.2008.740.html](http://www.nature.com/news/2008/080407/full/news.2008.740.html)

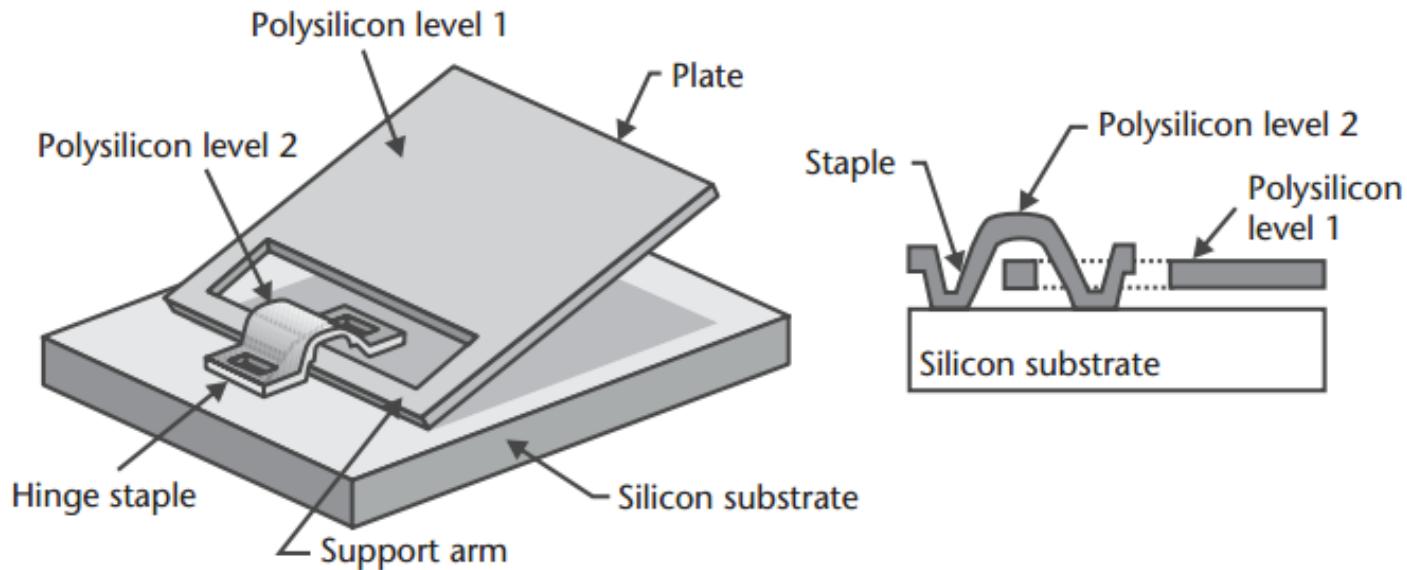
Aktuator



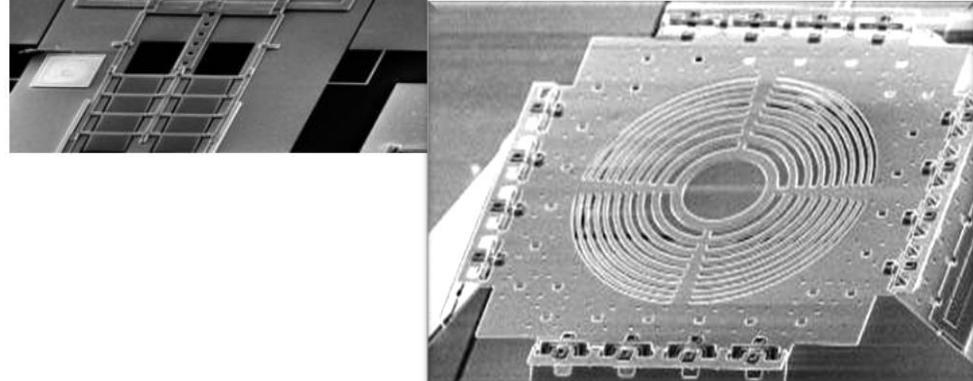
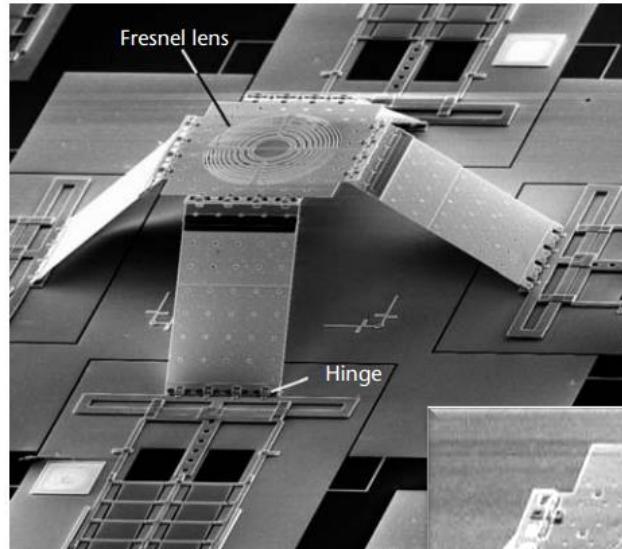
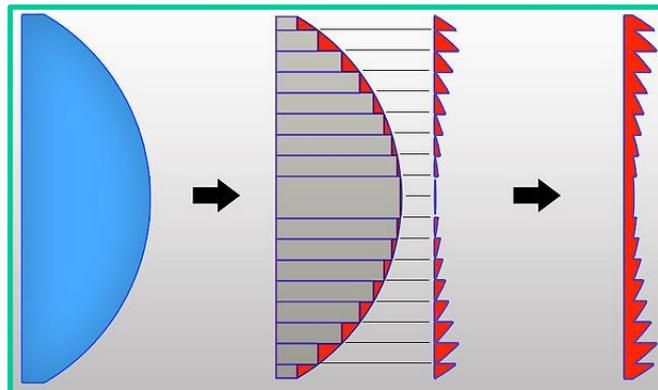
*Zdjęcie SEM silnika elektrostatycznego MEMS.
(Source: <https://www.mems-exchange.org/>)*

Aktuator – mikrozawiasy

AGH

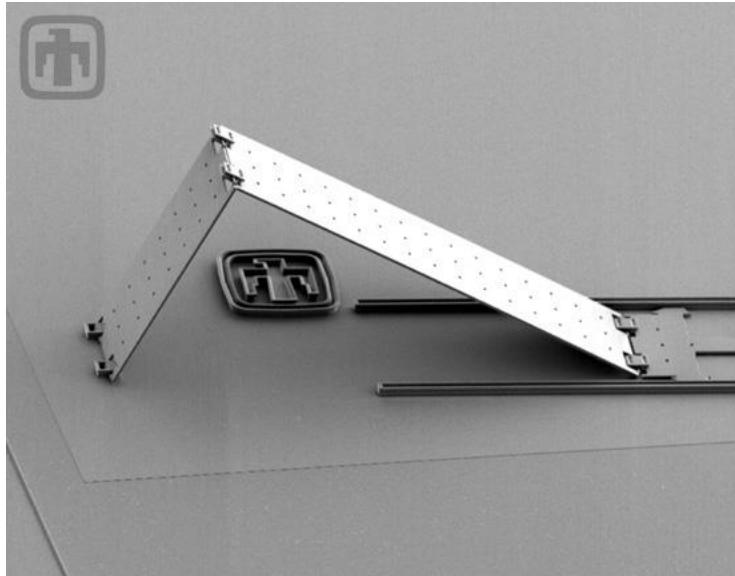


Aktuator – soczewka Fresnела

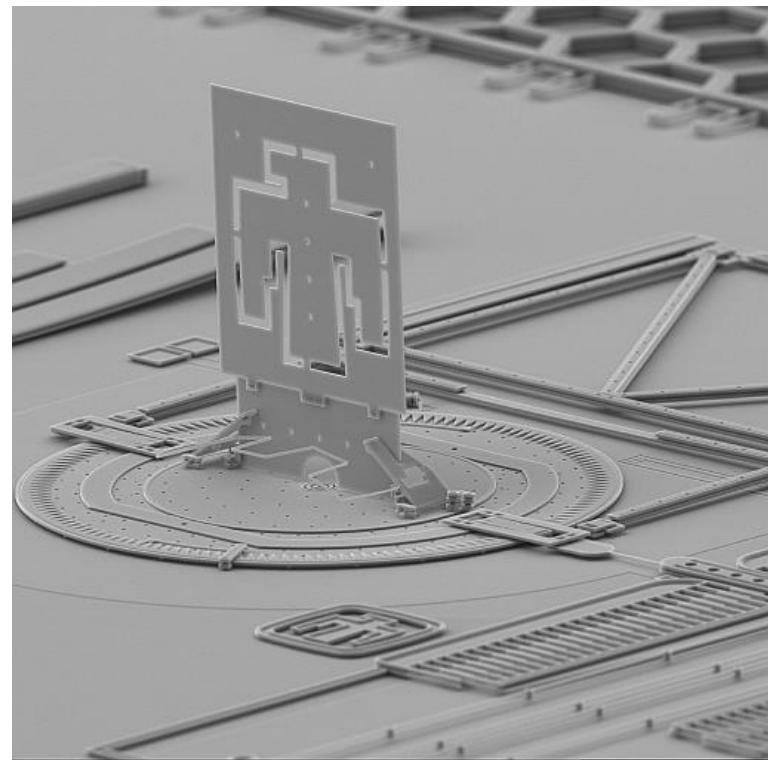


Mikrosoczewka Fresnela (pierścieniowa, schodkowa) zawieszona na sterowanej platformie, 4 zawiasy

Aktuatorы - микролустра



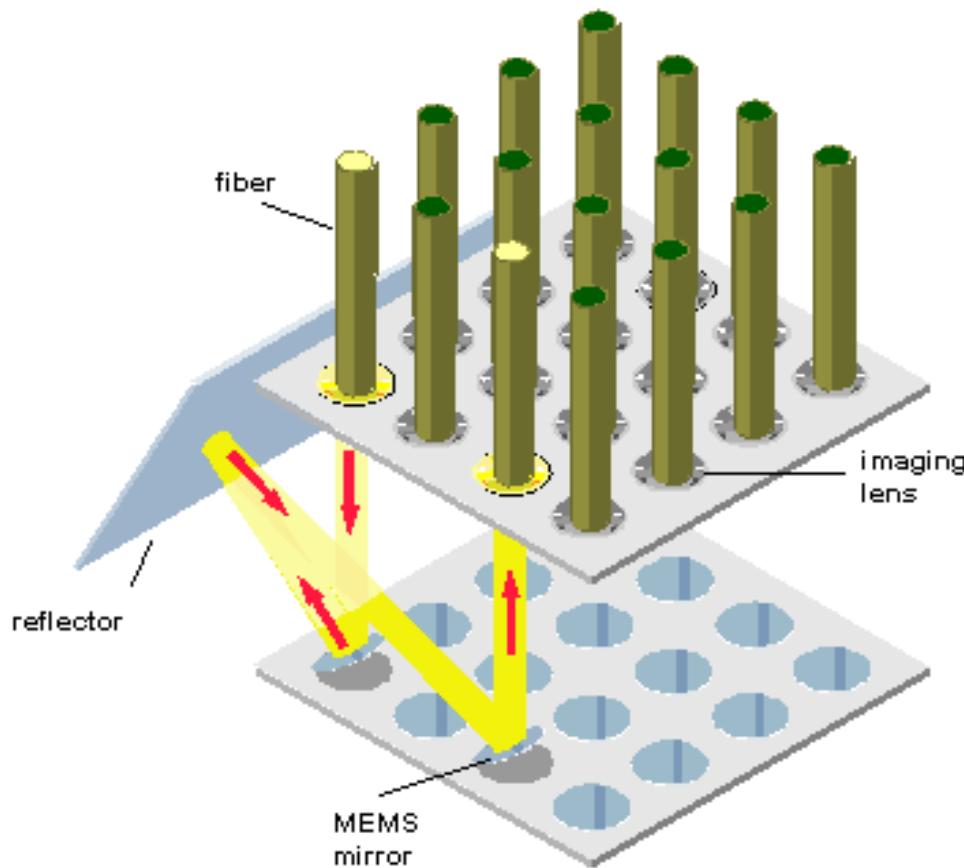
Mikrolustro unoszone i
opuszczane za pomocą
mikrosilnika



Pionowe lustro wytworzone na
obrotowym elemencie umożliwiającym
precyzyjny obrót. Utrzymywane w miejscu
przez zatrzaszki zawiasów i sprężyn. 9

Aktuator – przełącznik optyczny bazujący na mikrolustrach

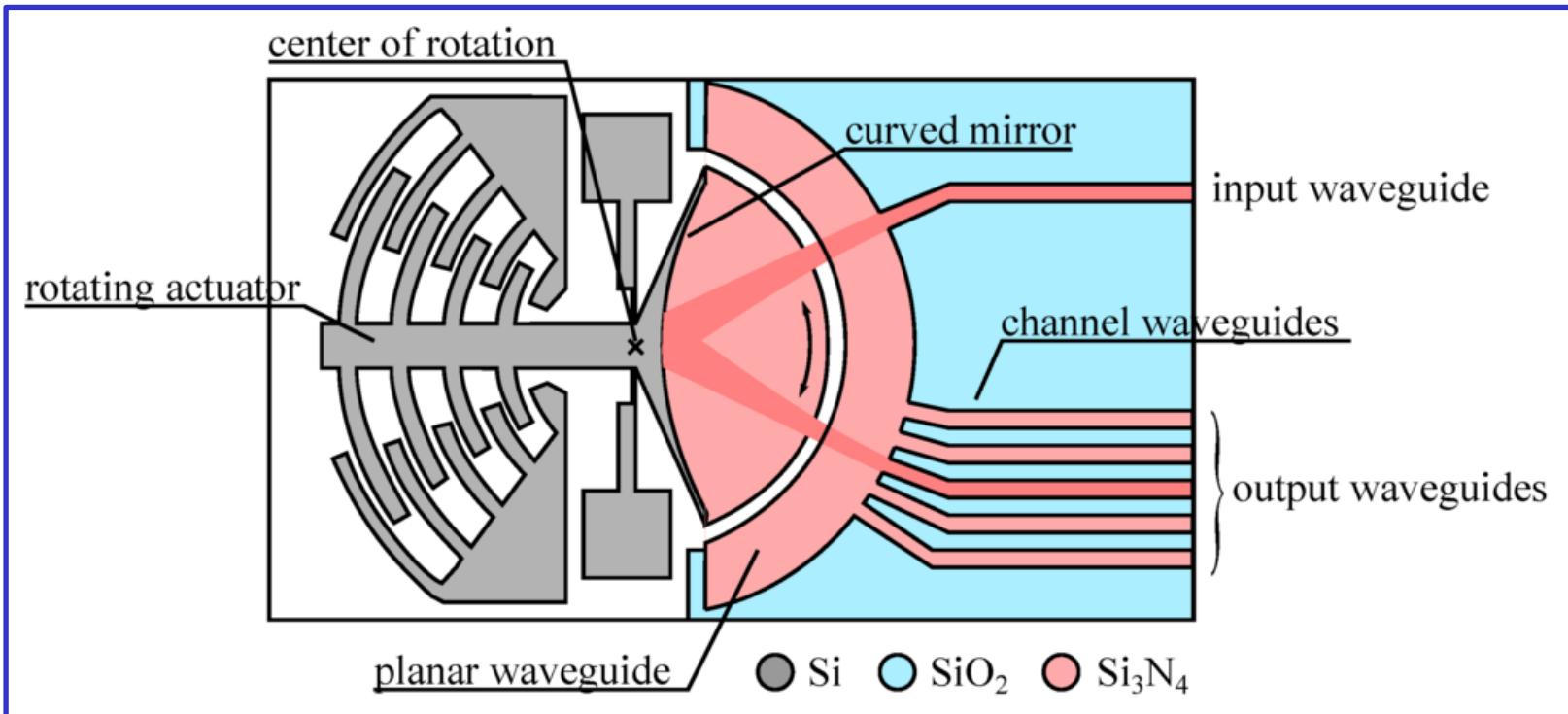
From Computer Desktop Encyclopedia
© 2000 The Computer Language Co. Inc.



We wszystkich przełącznikach optycznych, mikrolustra odbijają sygnał **niezależnie od tego, z jaką prędkością zachodzi transmisja i jaki jest protokół**.

Technologia uważana za dominującą w przyszłości do budowy przełączników fotonycznych.

Aktuator – przełącznik optyczny bazujący na soczewce obrotowej



Brière, J.; Beaulieu, P.O.; Saidani, M.; Nabki, F.; Menard, M.
Rotational MEMS mirror with latching arm for silicon photonics.
Proc. SPIE 2015, 9375, 937507

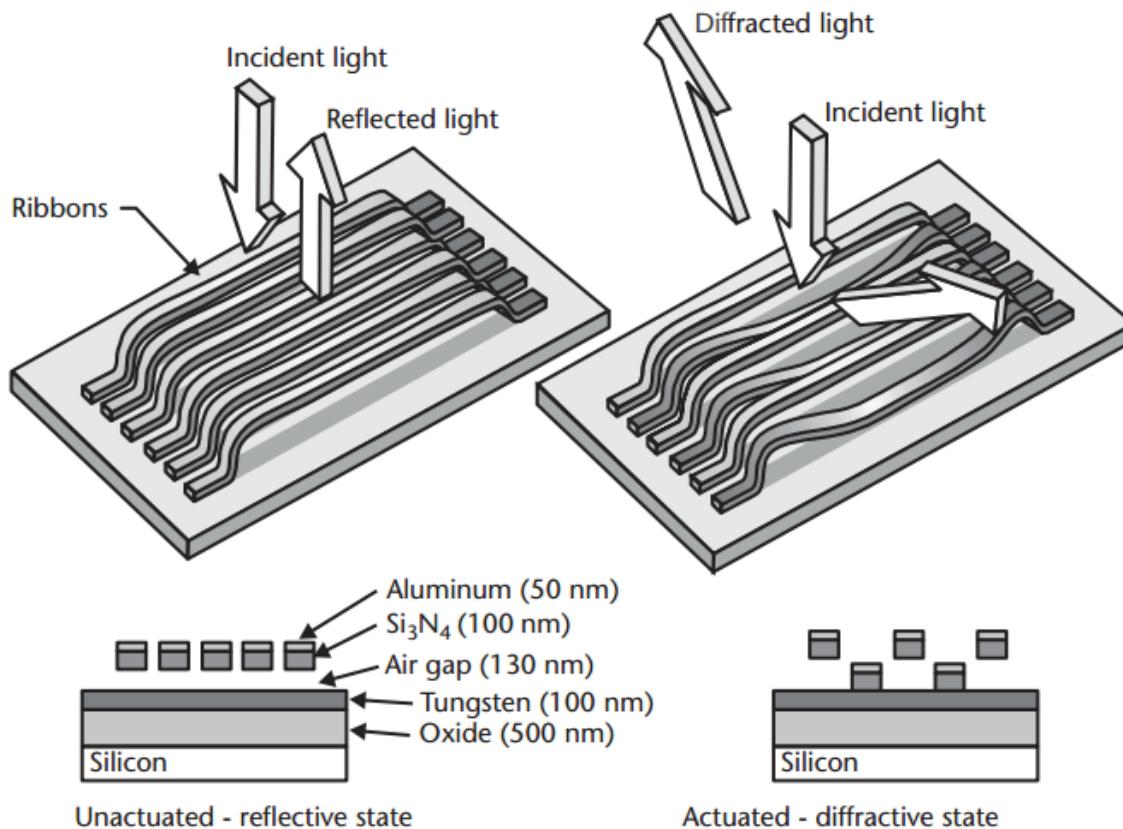
Dla zainteresowanych - więcej rozwiązań i przykładów :

F. Chollet, Devices Based on Co-Integrated MEMS Actuators and Optical Waveguide: A Review

11

Micromachines 2016, 7(2), 18; doi:[10.3390/mi7020018](https://doi.org/10.3390/mi7020018)

Aktuator – przełącznik optyczny bazujący na mikrolustrach

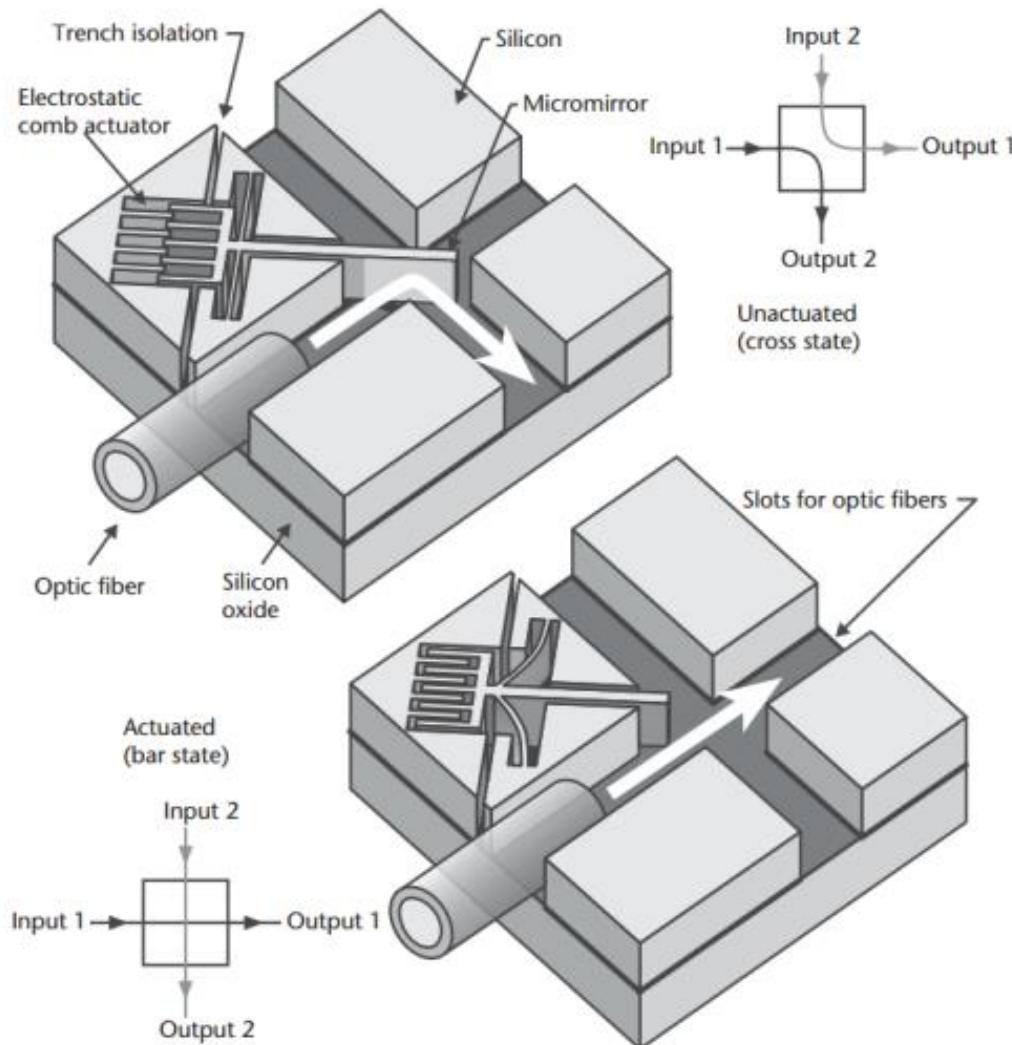


*Silicon Light Machines
of Sunnyvale,
California*

Pojedynczy piksel
Grating Light Valve™

Elektrostatyczne odchylenie naprzemiennych wstążek powoduje zmianę własności optycznych powierzchni piksela z odbijających na rozpraszających. 12

Aktuator – przełącznik optyczny bazujący na mikrolustrach



Optical Micromachines, Inc.

Optyczny przełącznik dwustanowy

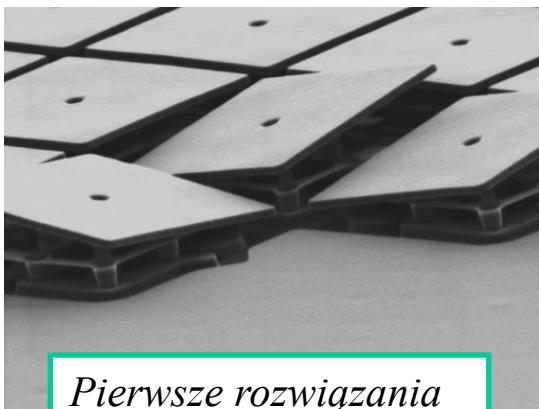
Technologia SOI,
trawienie DRIE

Przetworniki MEMS – lustra DLP

Przetworniki MEMS w systemach projekcji obrazów (np. kino domowe).

<https://www.ti.com/dlp-chip/overview.html>

Projekcja obrazów odbywa się za pomocą **systemów ruchomych mikroluster DMD (Digital Micromirror Devices) lub DLP (Digital Light Processor)** zintegrowanych w jednym układzie scalonym



Pierwsze rozwiązania mikroluster – 1987 r.



Texas Instruments DMD

System telewizji projekcyjnej (Texas Instruments)

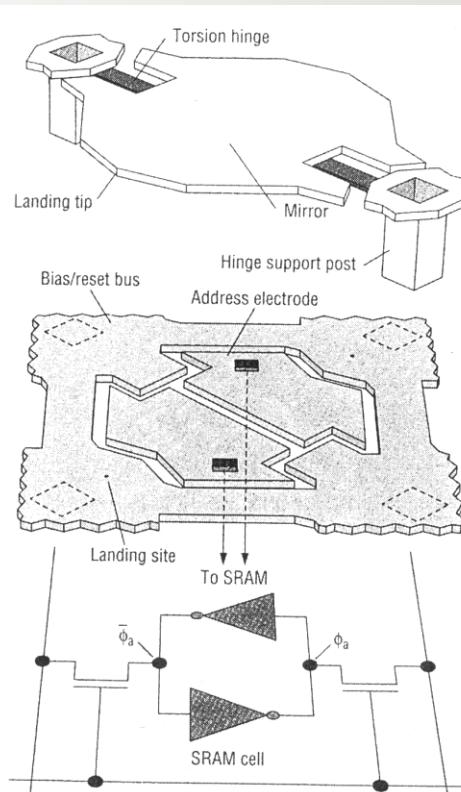
Mikrozwierciadło Al ze sterowaniem cyfrowym

Układ DMD +DLP

-Digital Light Processing

-Digital Micromirror Devices

Struktura adresująca
CMOS SRAM

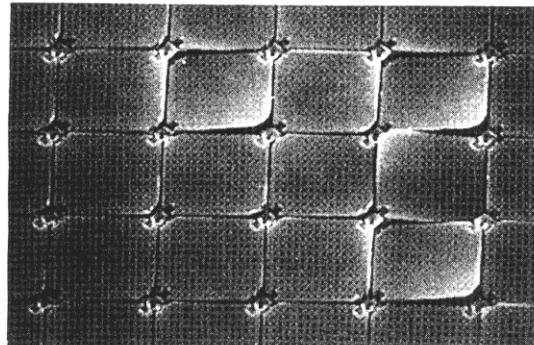


Matryca mikrozwierciadeł

Typowe parametry:

768 x 576 pixeli,

tj. **442.368 zwierciadeł**

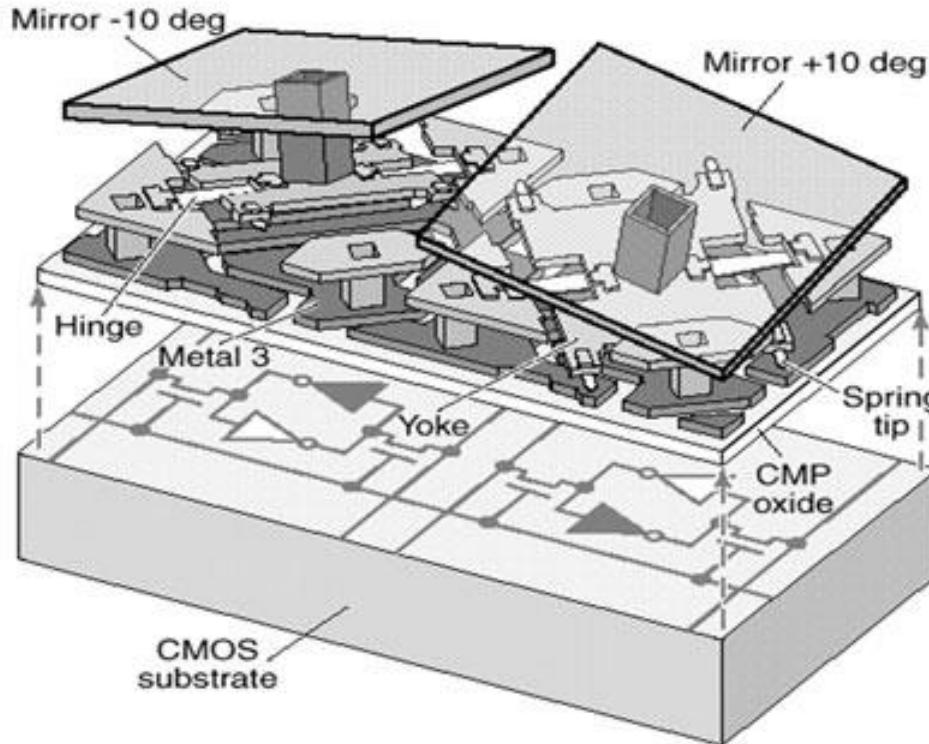


Zasada działania:

- Lustro pochylane elektrostatycznie
- Światło wiązki lasera pada na DMD
- Odbija się w konkretne miejsce na ekranie lub poza nim (obszar czarny)

Szybkość przełączania: 10 us

Obrazowanie wielowidmowe (hyperspectral imaging)



Schemat układu DMD używanego w systemie Hyperspectral Image Projector.

Składa się on z **matrycy 1024x768 luster (XGA)**, każde z nich ma szerokość 14 um (1/7 grubości włosa).

Technika rejestracji obrazu będąca uogólnieniem fotografii barwnej na pełną przestrzeń barw w zakresie światła widzialnego, a także mikrofal, dalekiej i bliskiej podczerwieni oraz ultrafioletu.

Układ HIP używany w medycynie jako narzędzie diagnostyczne – podgląd uszkodzeń tkanek i gojenia się ran.

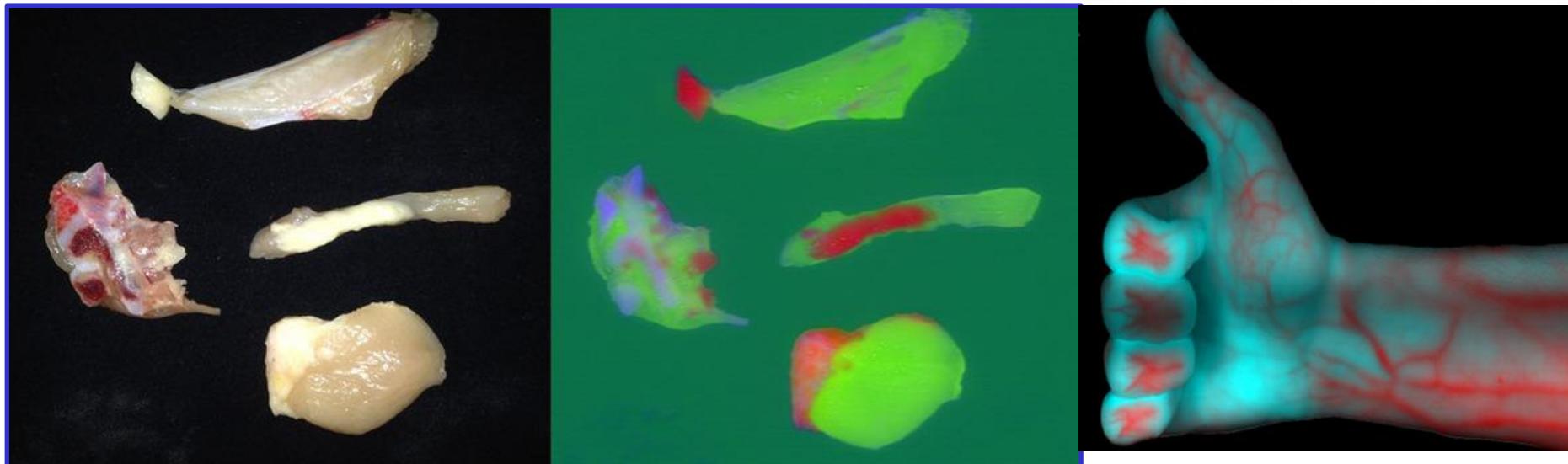
Dostępne na rynku: **1920x1080 (full HD, piksel 11 um).**

Każde lustro DMD odbija światło w jednym z dwóch kierunków ($\pm 20^\circ$ optycznie) w zależności od stanu komórki pamięci (SRAM).



AGH

Obrazowanie wielowidmowe (hyperspectral imaging) - szybka identyfikacja substancji



Rozróżnienie fragmentów kurczaka :

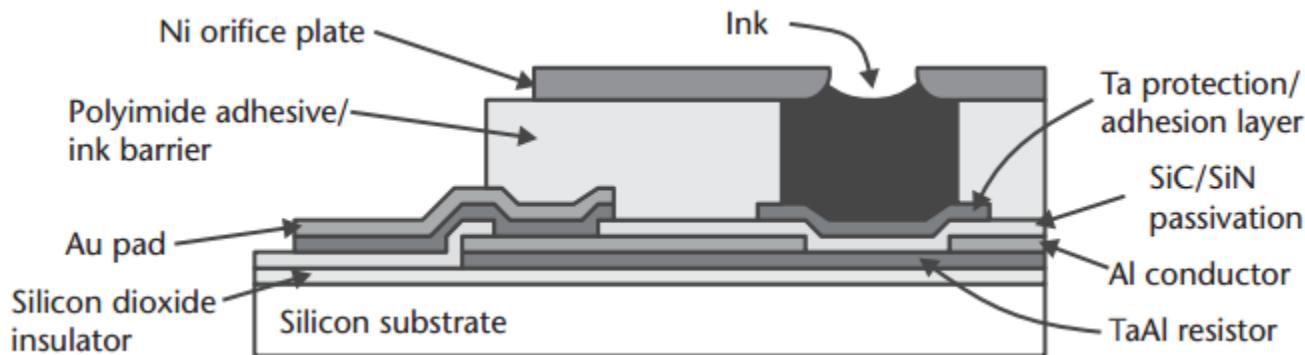
L: trudne,

P: łatwe - kości (niebieskie) , tłuszcz
(czerwony) i mięso (zielony)

Cukier, sól i kwasek cytrynowy – rozróżnienie
możliwe dzięki innej budowie cząsteczkowej i
własnościach chemicznych

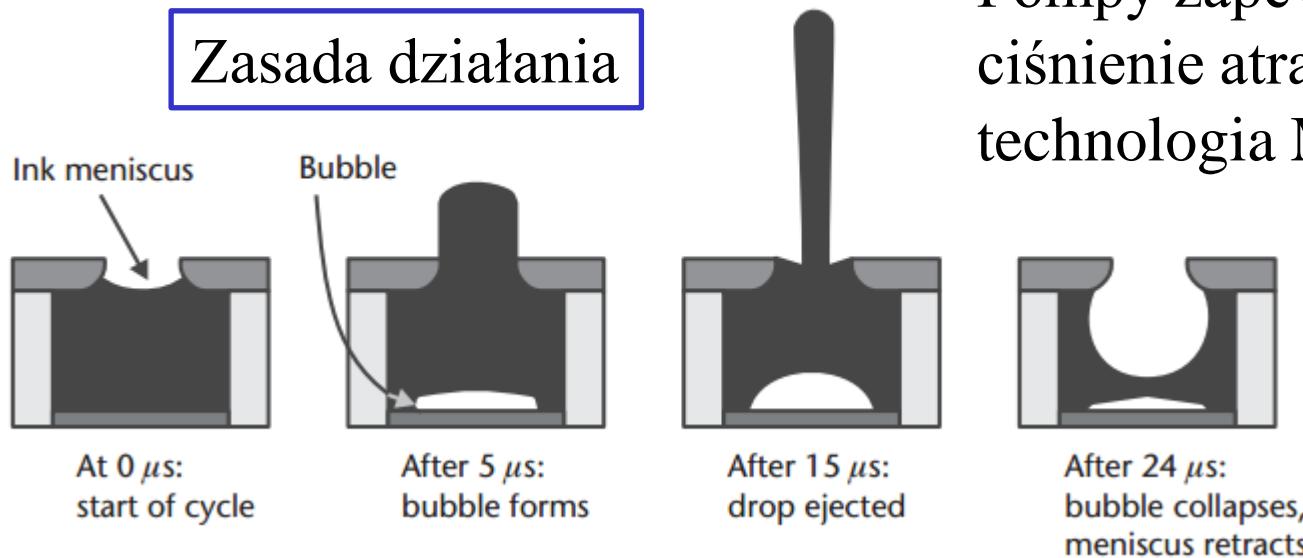


Główice drukarek atramentowych – miniaturaowe dysze



Budowa dyszy

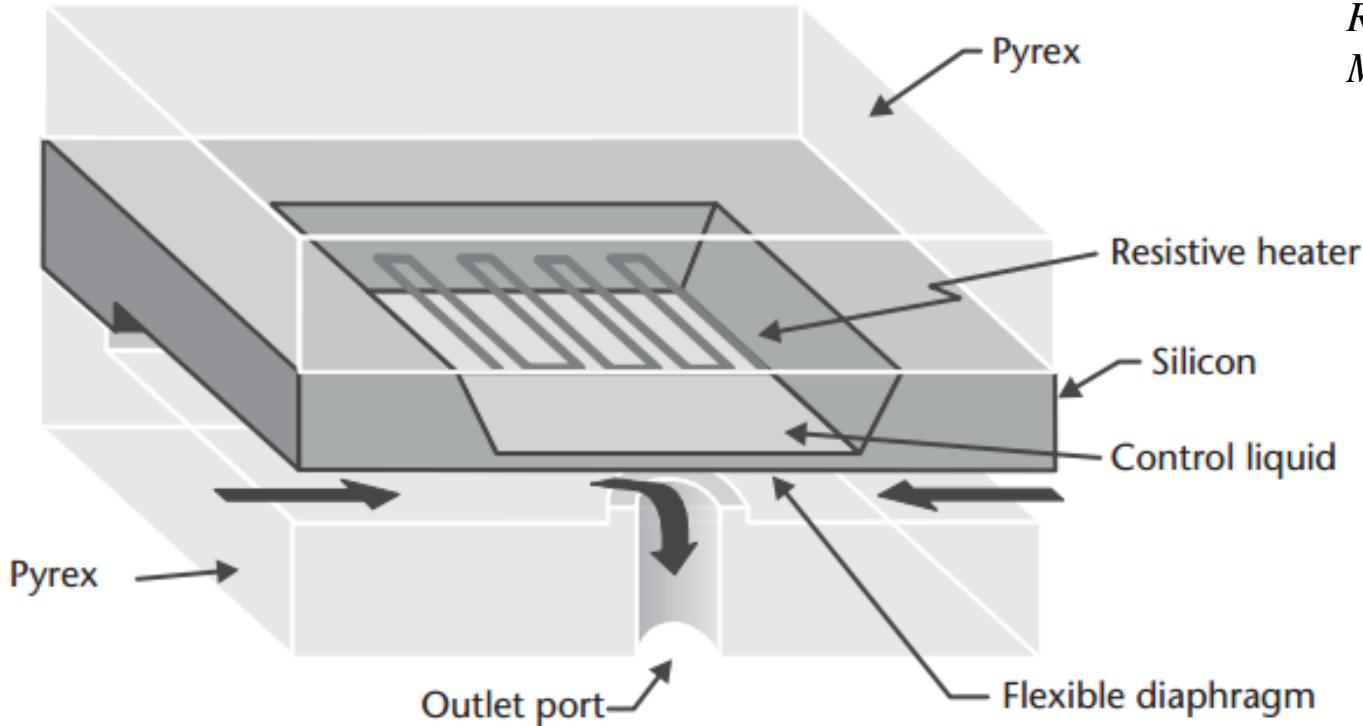
Zasada działania



Pompy zapewniają odpowiednie ciśnienie atramentu - technologia MEMS

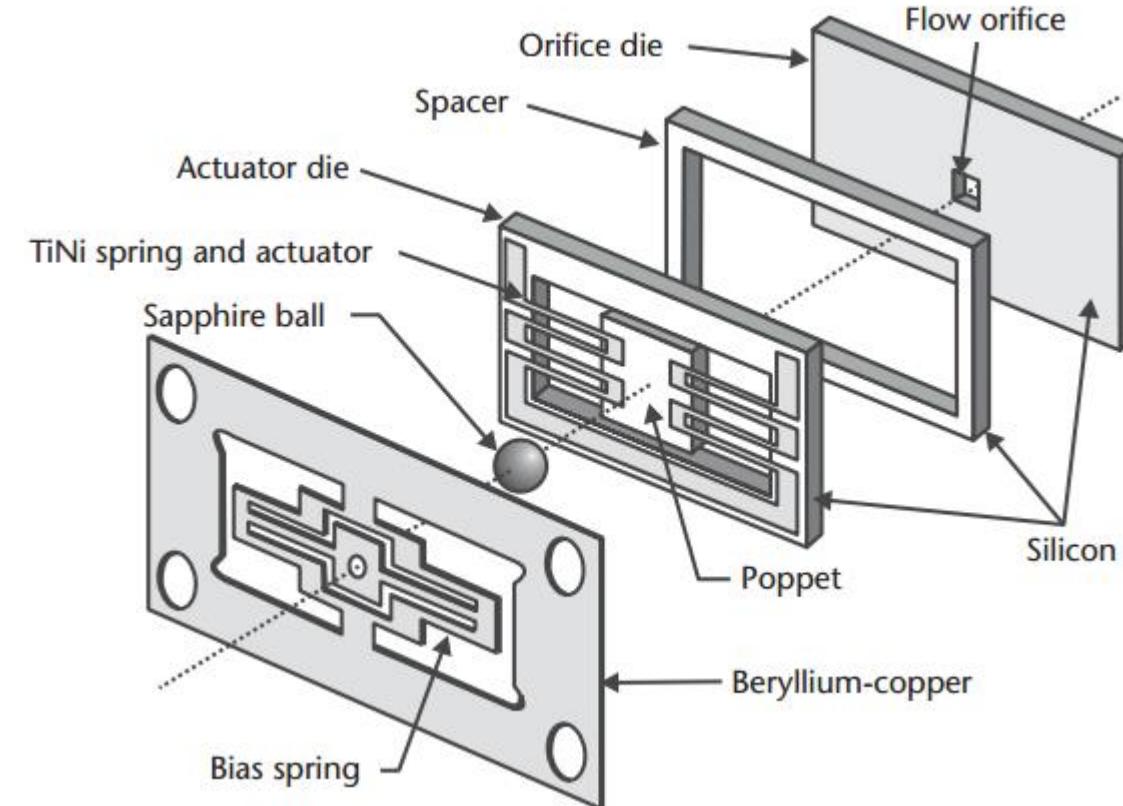
Mikrozawory

*Redwood Microsystems of
Menlo Park, California*



Zawór normalnie otwarty: podgrzanie cieczy zamkniętej wewnątrz komory powoduje ugięcie membrany Si i zablokowanie przepływu cieczy.

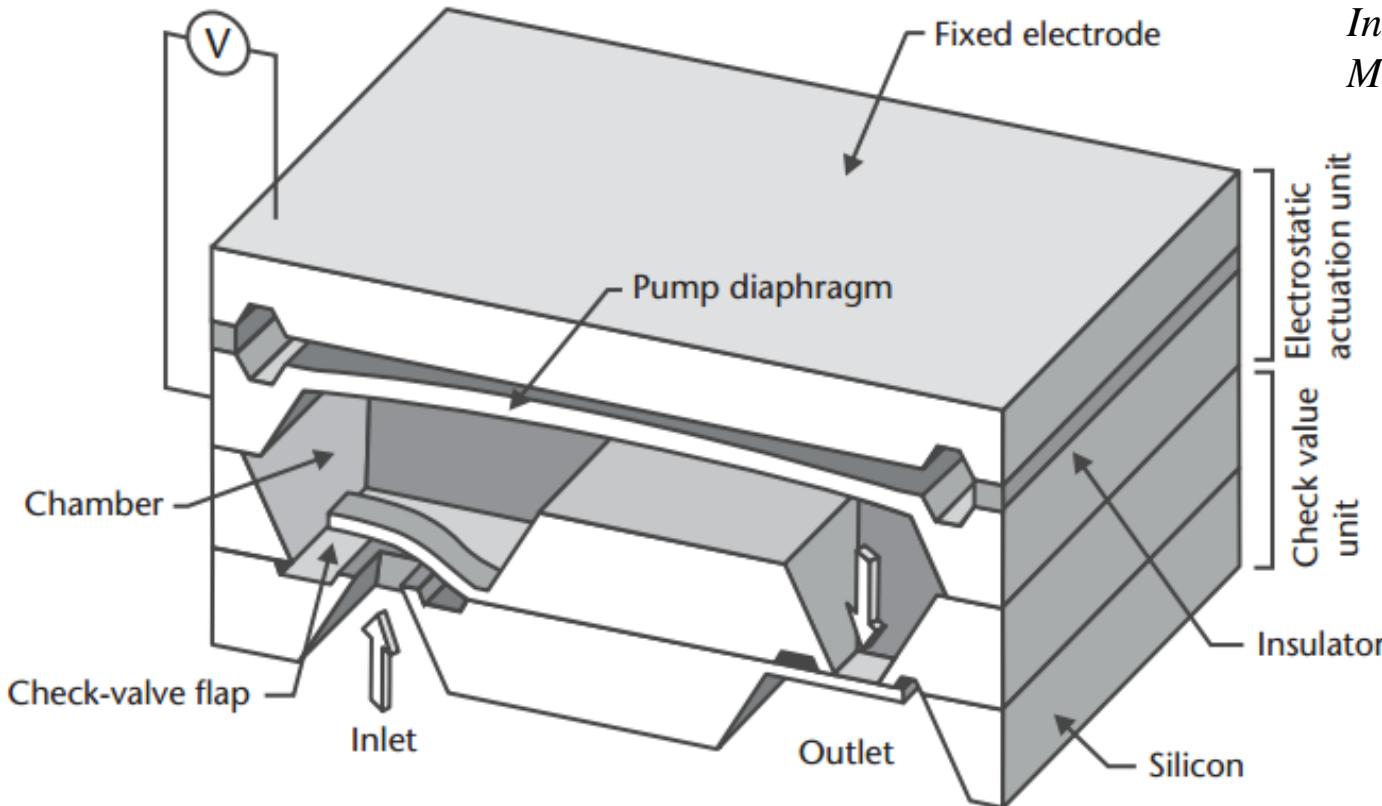
Mikrozawory



*TiNi Alloy Company of
San Leandro, California*

Zawór normalnie zamknięty: sprężyny TiNi są normalnie ugięte i przepływ cieczy jest zamknięty, podgrzanie powoduje odkształcenie membrany do pozycji płaskiej i odblokowanie przepływu cieczy. Szafirowa kulka + sprężyna zapewniają docisk.

Mikropompy



Instytut Fraunhofera,
Monachium, Niemcy

Wymiary:
 $7 \times 7 \times 2 \text{ mm}^3$

Pobudzenie elektrostatyczne membrany moduluje objętość cieczy w komorze.
Membrana sekwencyjnie zasysa i wyrzuca płyn z mikropompy.

Mikropompy

Zastosowania :

- autonomiczne dozowniki leków
- przenośne analizatory krwi (glukometry)
- analizatory biologiczne i chemiczne, urządzenia diagnostyki

Działanie mikropompy Nikkiso - [film](#):

<http://www.nikkiso.com>

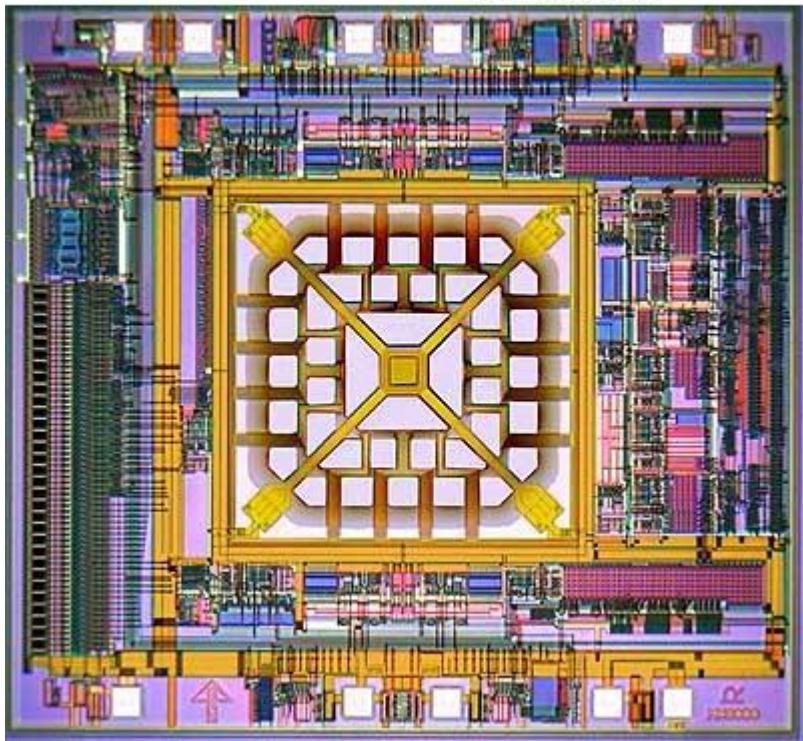
Specification

Flow rate	1 – 50 μ L/min (controlled by drive frequency)
Pressure	Max30kPa
Applied voltage	120V
Power Consumption	less than 10 μ W
Materials	silicon, glass
Dimensions	22mm×16.5mm×4mm



Akcelerometr dwuosiowy MEMS

From Computer Desktop Encyclopedia
Reproduced with permission.
© 2003 MEMSIC, Inc.

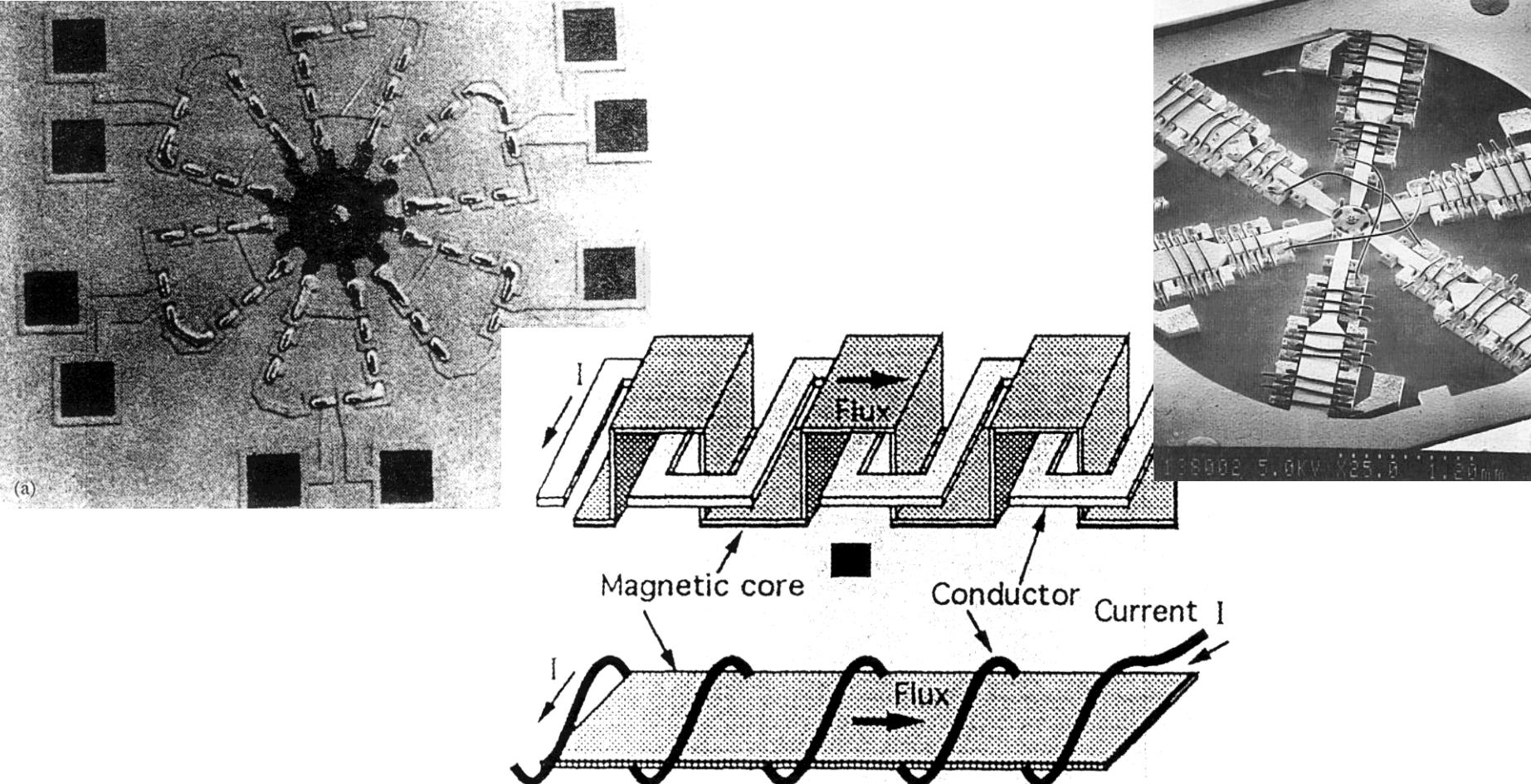


Firma MEMSIC, Inc.

Zasada działania wykorzystuje bąbelek gazu (!).

Obszar w środku to rezistor podgrzewający ów bąbelek. Naokoło niego mieszczą się termopary wykrywające położenie bąbla, gdy urządzenie jest przechylane lub działa na nie przyśpieszenie.

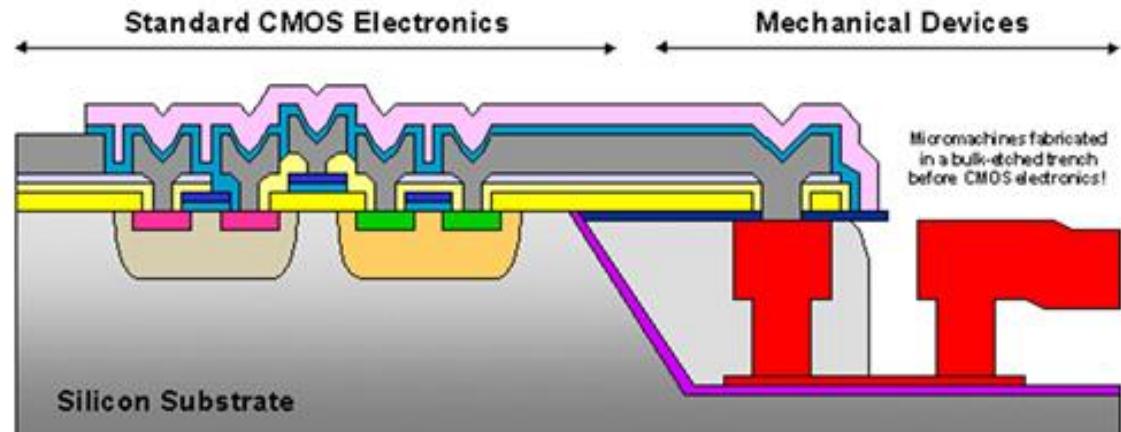
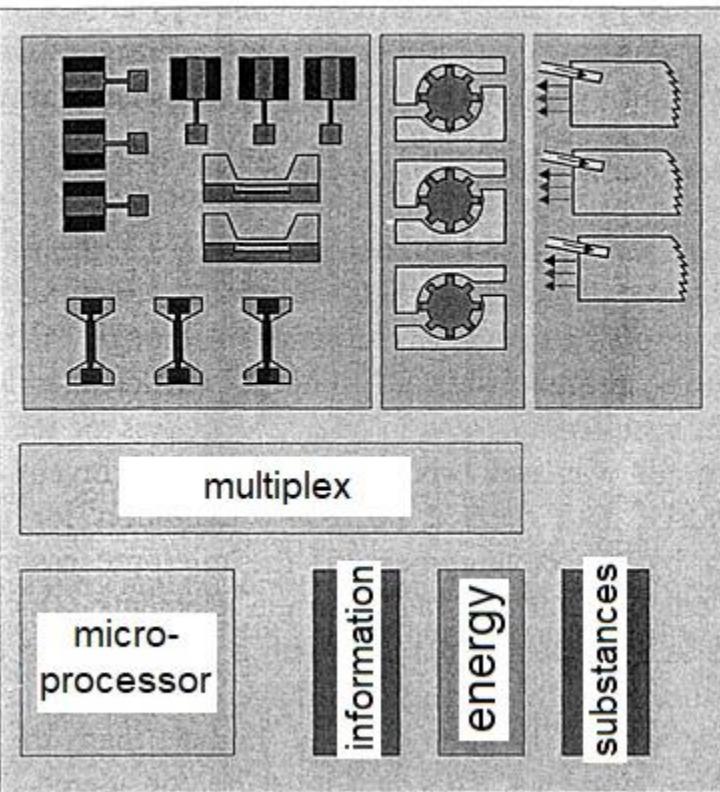
Aktuator – mikrosilnik magnetyczny



H. Guckel, T. R. Christenson, K. J. Skrobis, T. S. Jung, J. Klein, K. V. Hartojo, and I. Widjaja, "A first functional current excited planar rotational magnetic micromotor". Proc. IEEE Micro Electro Mech. Systems, p. 7 (1993).

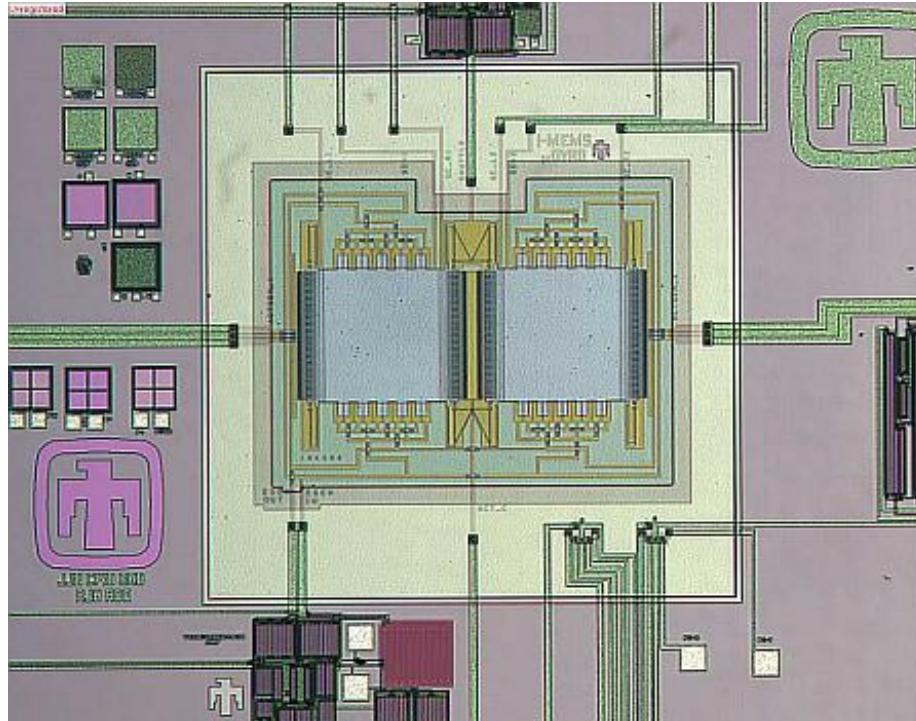
Mikrosystemy

sensors actuators others



<http://mems.sandia.gov/scripts/images.asp>.

Mikrosystemy - przykład



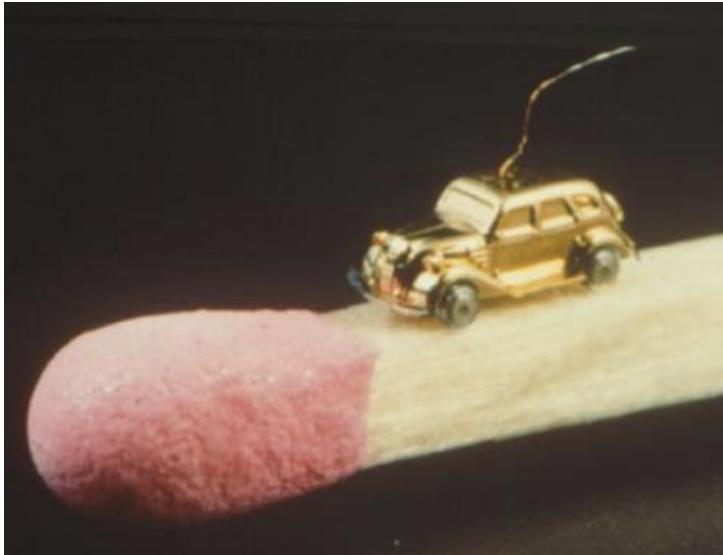
Wibracyjny żyroskop MEMS wykonany w Sandia umożliwiający integrację MEMS i elektroniki w tym samym podłożu krzemowym



AGH

Mikrosystemy

Nippondenso Co., Ltd, Japan



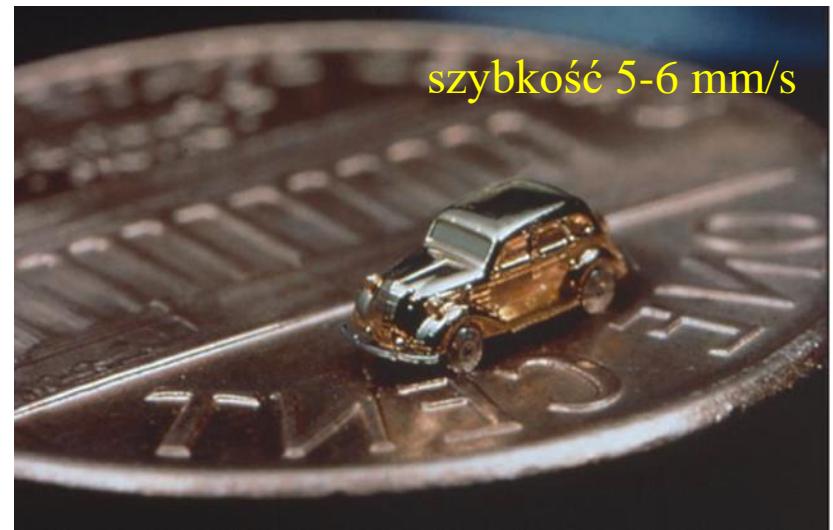
Silnik elektromagnetyczny, szybkość 2 cm/s

Model pierwszej Toyoty (1936 r., AA sedan) w skali 1:1000 (dł. 4.8 mm).

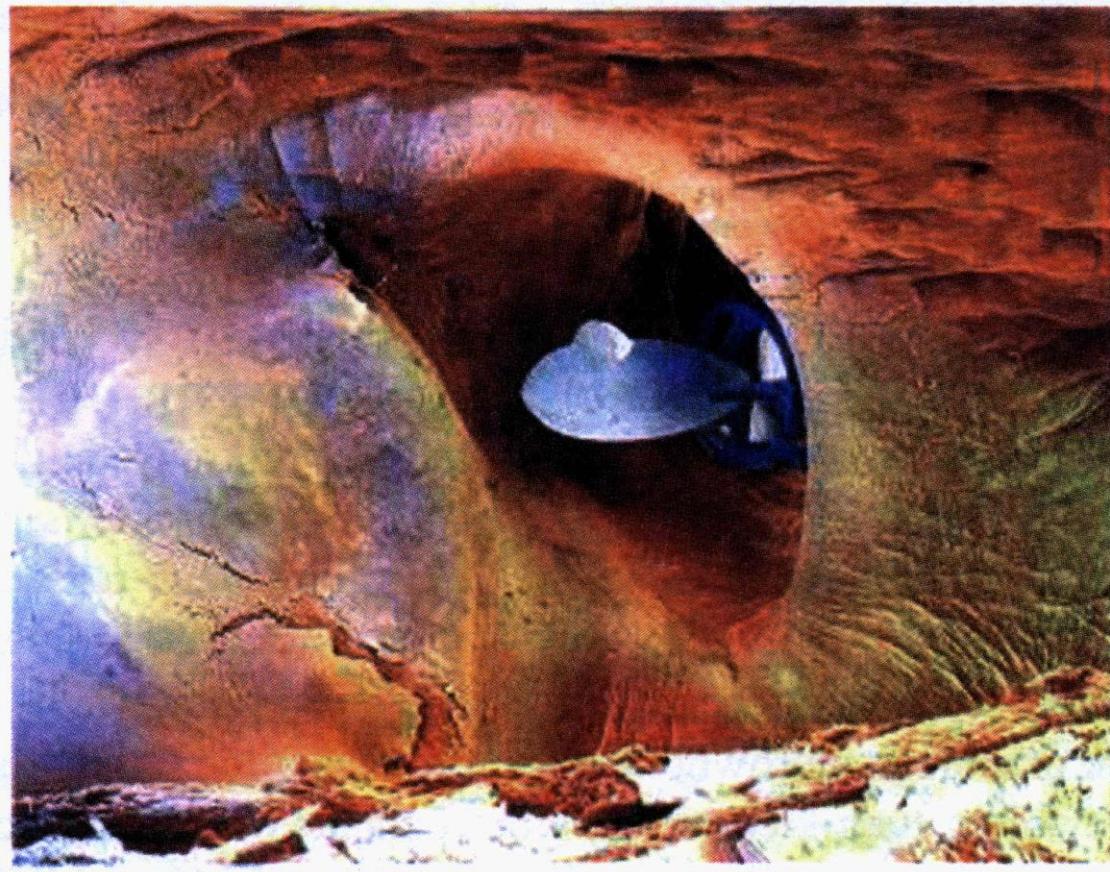
Wykonanie: 1995 r. , w 1996 model nr 2 – (zasilanie magnetyczne)

„The Micro-Car has a total of 24 parts which include the body, tires, spare tire, wheels, axle, bearings, headlights, rear lights, front bumper, rear bumper, step, number plate and emblem.”

Pojazd w pełni funkcjonalny.



Mikromaszyny w zastosowaniach medycznych

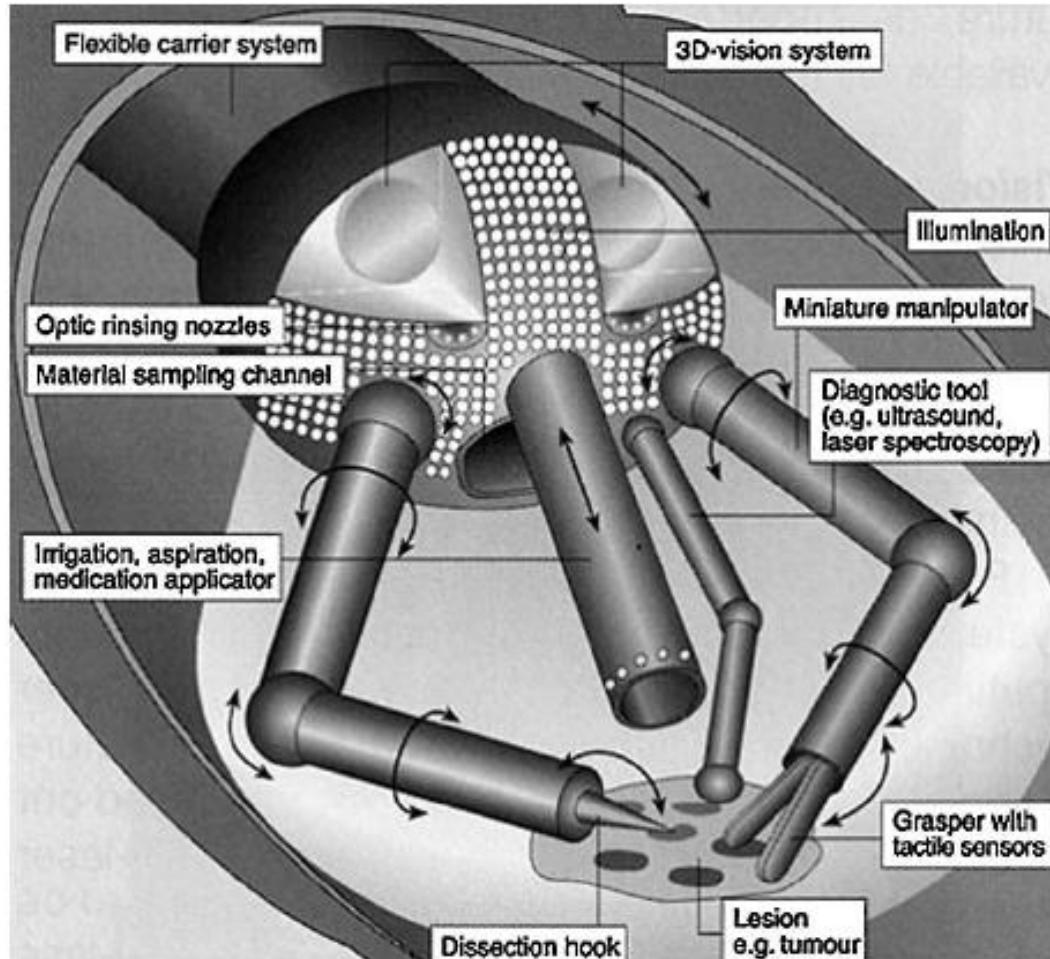


Miniatura łódź podwodna (4×0.8 mm) w naczyniu krwionośnym
(Micro TECH Duisburg)

Minimalnie inwazyjna
terapia (MIT)

Minimalnie inwazyjna
chirurgia (MIS)

Mikromaszyny w zastosowaniach medycznych

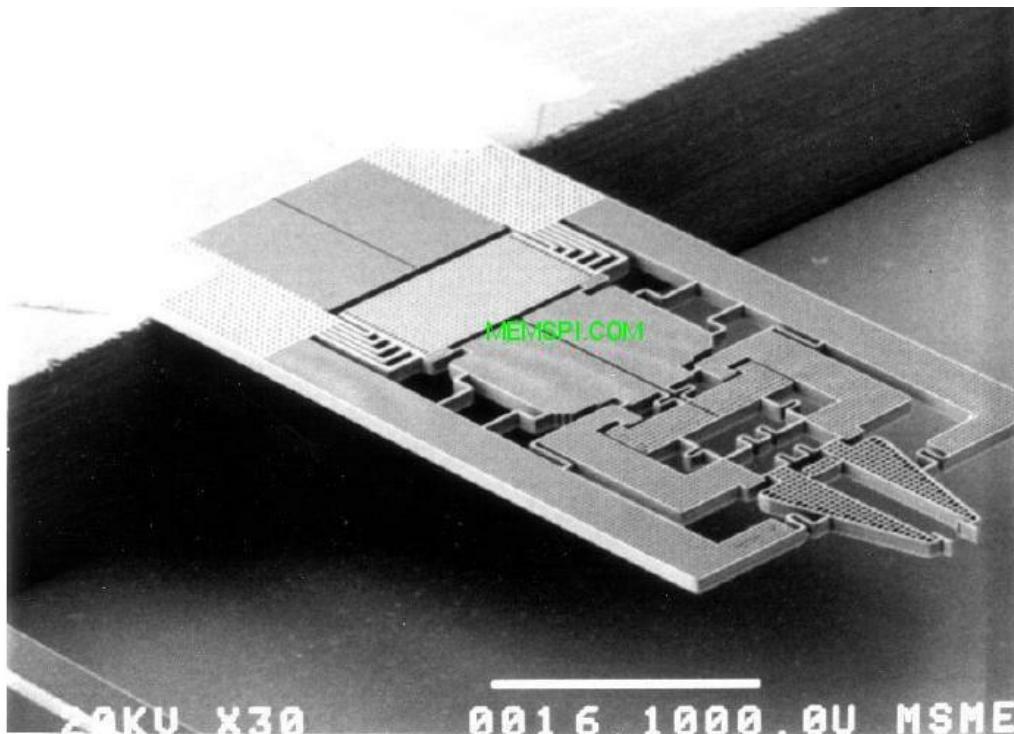


Manipulator endoskopowy do chirurgii guza

W niedalekiej przyszłości:

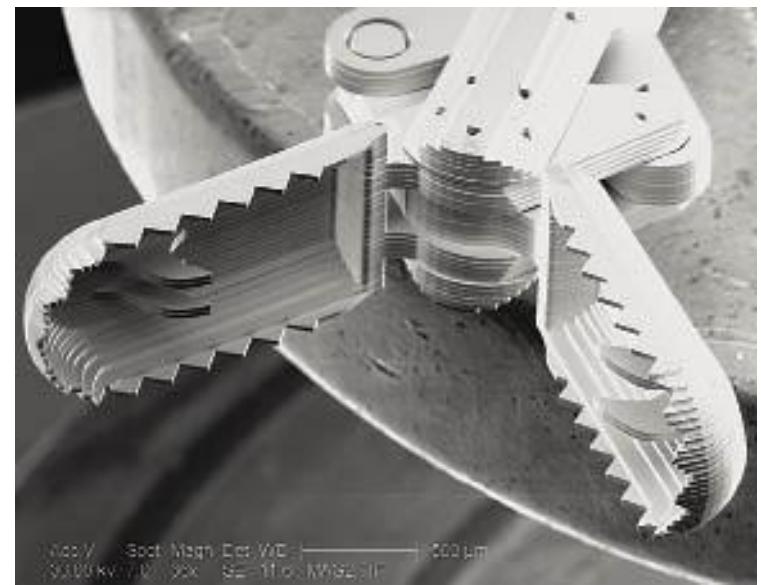
- Bezprzewodowa endoskopia
- Pobieranie próbek i wycinków bez konieczności wprowadzania do organizmu człowieka narzędzi).
- Obrazowanie w czasie rzeczywistym

Mikromaszyny w zastosowaniach medycznych



Micromachined surgical tools: a pair of silicon MEMS tweezers.

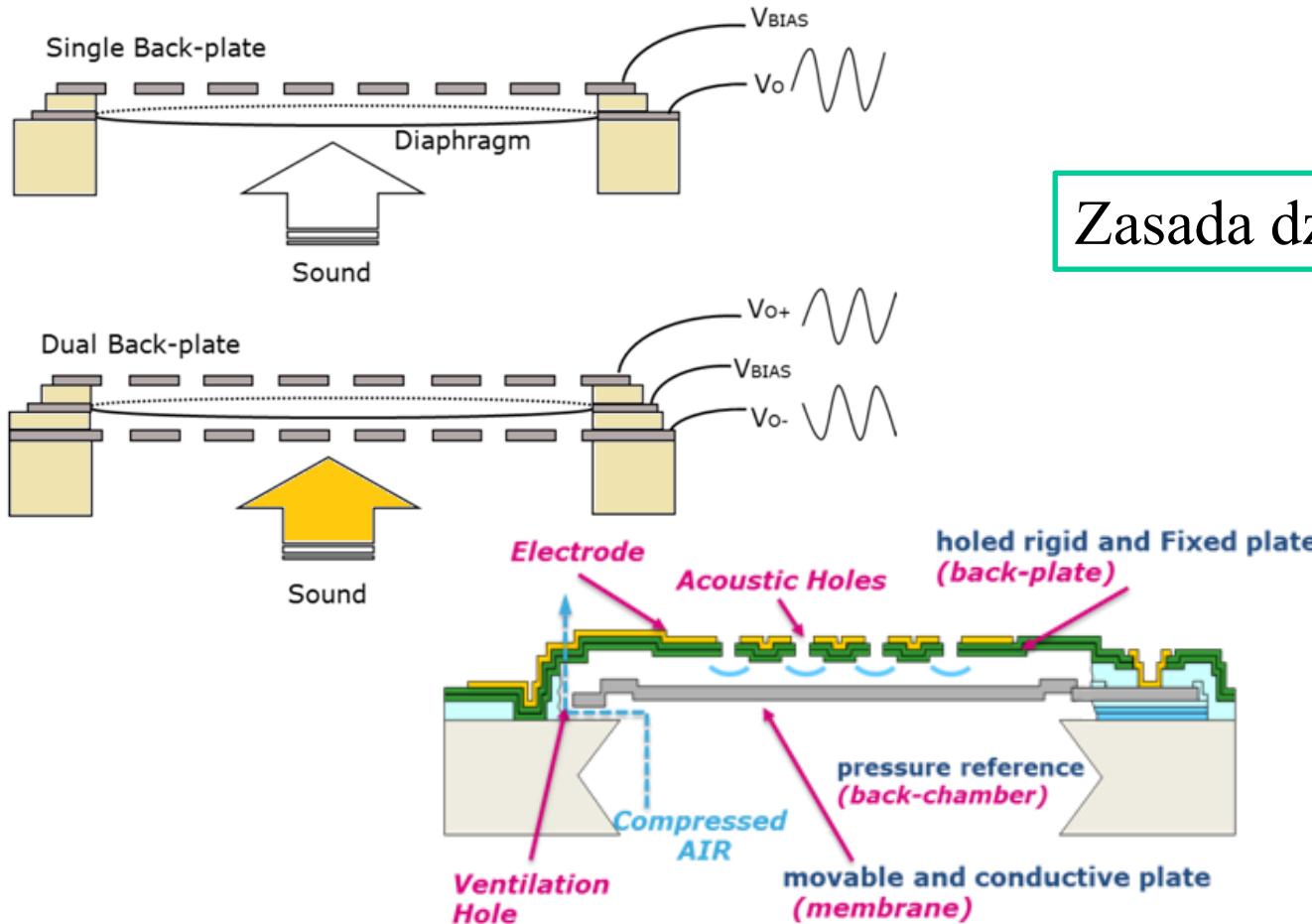
(Source: <http://www.memspi.com/>).



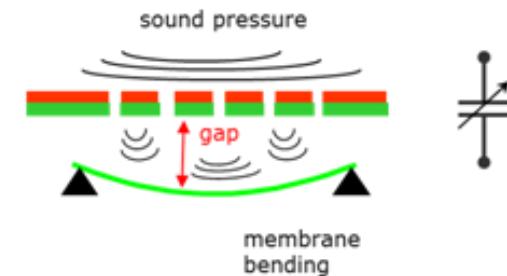
Micromachined surgical tools: a pair of metal MEMS biopsy forceps.

(Source: <http://www.microfabrica.com>

Przetworniki MEMS - mikrofony



Zasada działania i budowa



Przetworniki MEMS - mikrofony

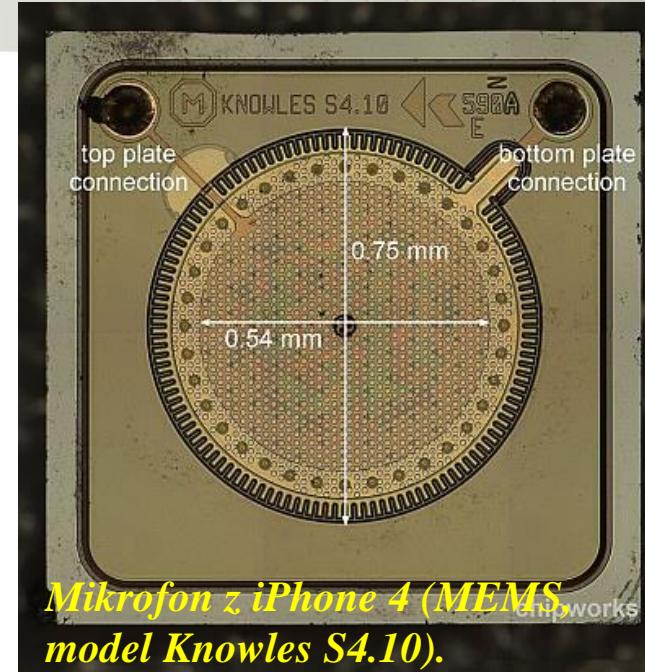
- Miniaturowe mikrofony MEMS
 - analogowe (ze zintegrowanym wzmacniaczem audio)
 - cyfrowe (z wbudowanym filtrem antialiasingowym i przetwornikiem A/C).



Infineon

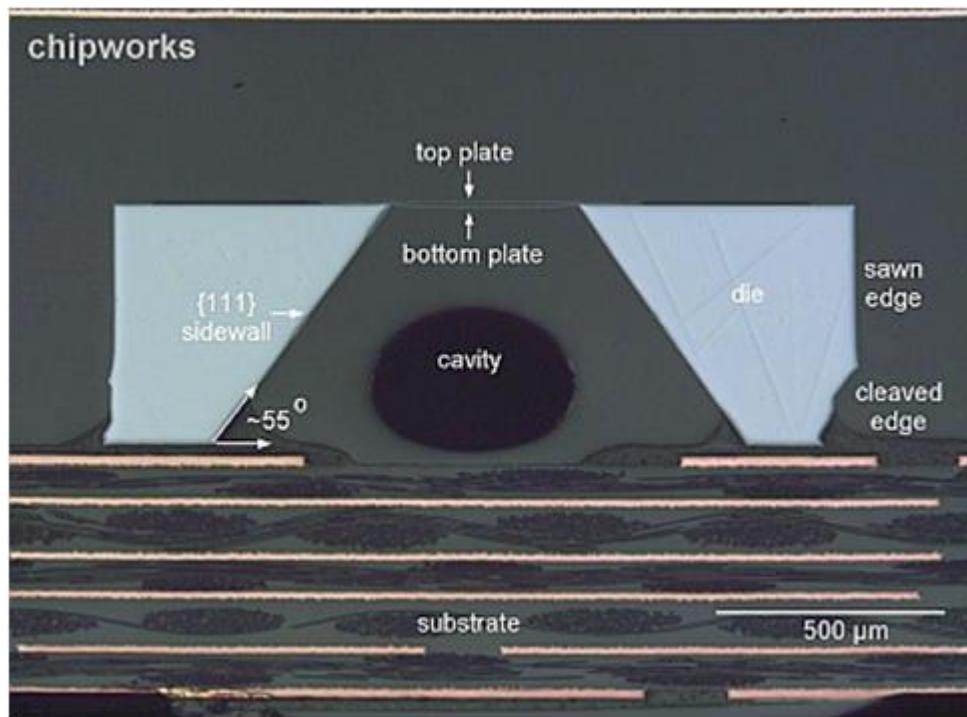
Pobór mocy ~70 μ A
S/N : 59dB(A)
Czułość: 10 mV/Pa
(jak mikrofony elektretowe)

Ciekawostka:
Dla 10 kHz dł. fali to 34 mm,
wymiar membrany to ok. 0.5 mm

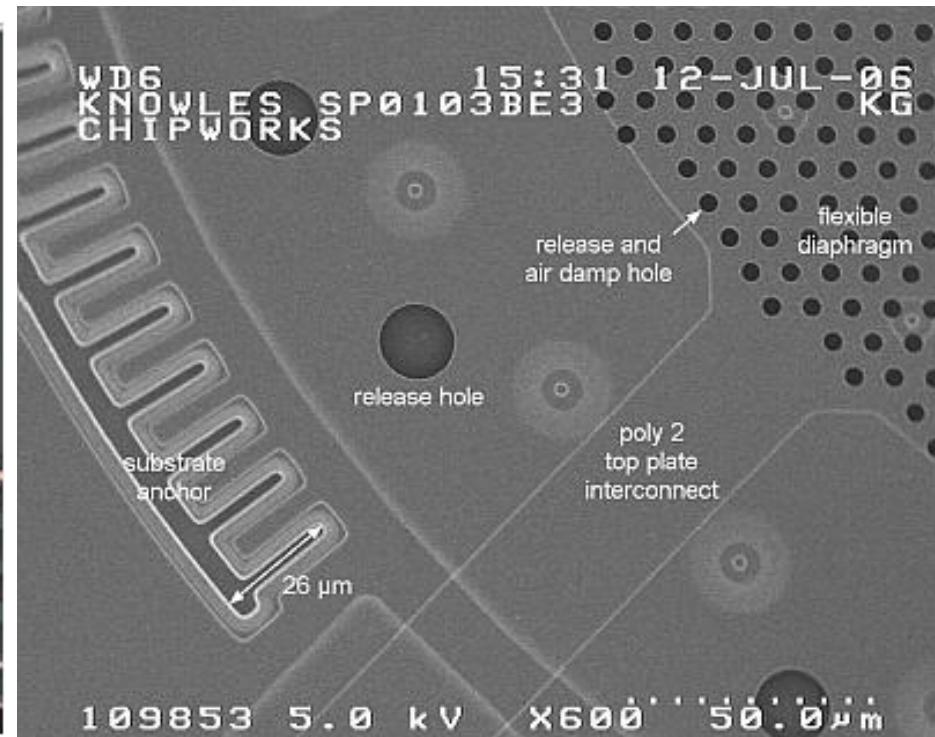


Przetworniki MEMS - mikrofony

Konstrukcja - przykład



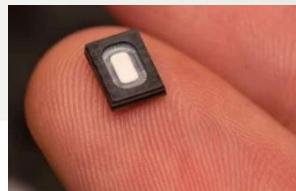
Przekrój mikrofonu Knowles S2.14



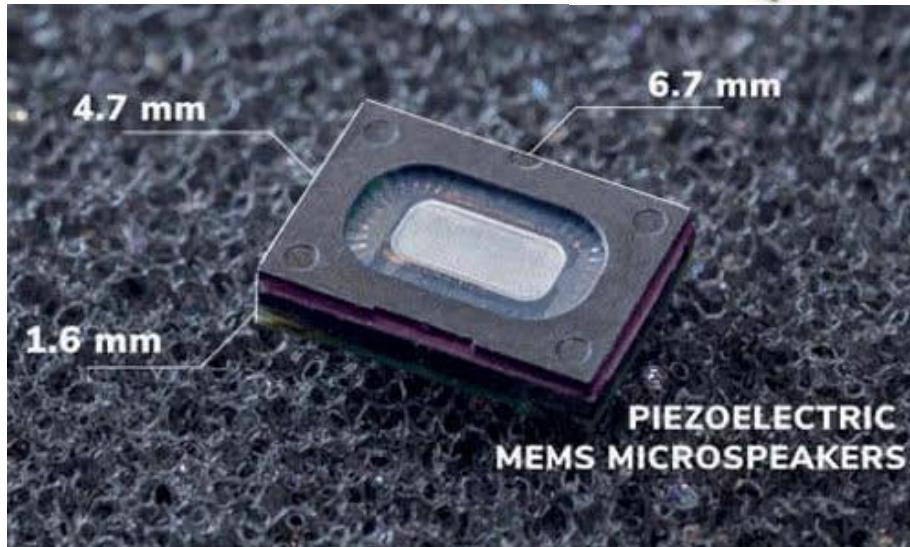
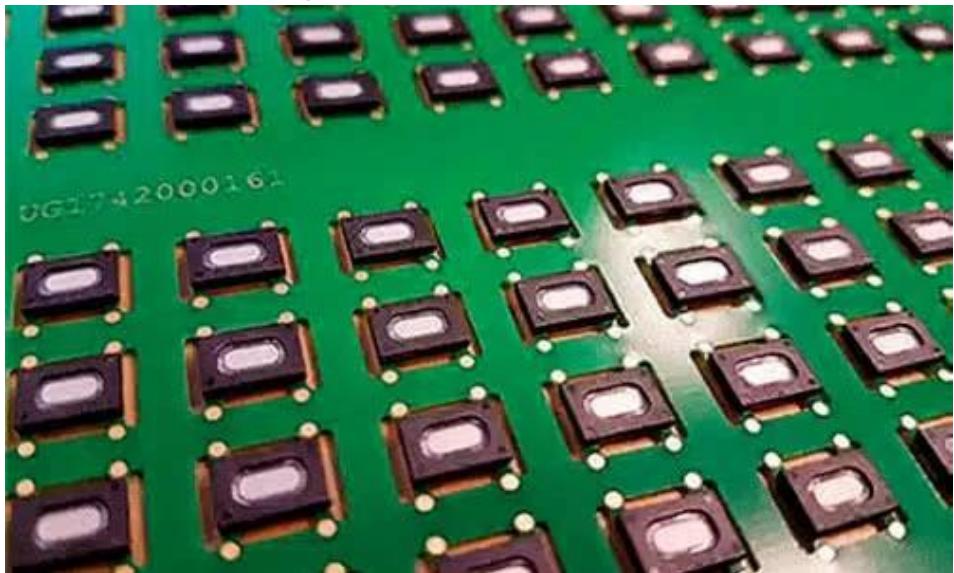
Widok na membranę Knowles S2.14

80% rynku – Knowles. Reszta: Infineon, Analog Devices i inne (np. Bosh)

Przetworniki MEMS - głośniki



Konstrukcja - przykład

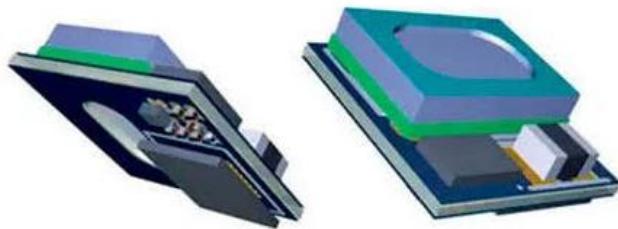


Głośniki MEMS, po prawej wersja na podłożu PCB o wymiarach $6,7 \times 4,7 \times 1,6$ mm

W tym obszarze aplikacyjnym można wyróżnić dwie kategorie:

- urządzenia douszne, gdzie głośnik znajduje się w słuchawce wewnętrz kanału ucha. W tych rozwiązaniach ucho słyszy jedynie dźwięk z głośnika, a odgłosy zewnętrzne są wyłumione.
- urządzenia zewnętrzne, gdzie głośnik znajduje się poza uchem, które słyszy wszystkie dźwięki otoczenia.

Konstrukcja - przykład



**Wzmacniacz zintegrowany z głośnikiem
MEMS na podłożu PCB**



**Douszna słuchawka bezprzewodowa
wykorzystująca głośnik MEMS**

Głośniki MEMS to dalej nowa technologia, a ich pełny potencjał będzie odkrywany dopiero z czasem, jednak już teraz znane są ich wyjątkowe właściwości i zalety w porównaniu do głośników elektrodynamicznych. Główną zaletą aplikacyjną rozwiązań MEMS w tej kategorii jest niewątpliwie ich niewielki rozmiar, niskim poborem mocy głośników MEMS.

Tabela 1. Prąd sterujący głośnikiem MEMS i elektrodynamicznym przy poziomie głośności 94 dB

MEMS	Pobór prądu (mA)	Głośnik elektrodynamiczny	Pobór prądu (mA)
IEC 60268-1	0,28	IEC 60268-1	1,43
Szum różowy	0,57	Szum różowy	1,84
Sygnał 1 kHz	0,11	Sygnał 1 kHz	1,92

Konstrukcja - przykład



Głośnik MEMS z technologią automatycznego otwierania/zamykania kanału DynamicVent

Firma xMEMS Labs opracowała pierwszy na rynku monolityczny głośnik MEMS ze zintegrowanym systemem DynamicVent, umożliwiający budowę "inteligentnych" słuchawek dousznych i aparatów słuchowych, łączących zalety konstrukcji open-fit i closed-fit.

Głośnik Montara Pro zapewnia płaską charakterystykę częstotliwościową i SPL na poziomie 115 dB @ 1 kHz. Monolityczna architektura z głośnikiem i strukturą DynamicVent, wykonanymi w pojedynczym chipie, zapewnia powtarzalność odpowiedzi częstotliwościowej pomiędzy różnymi egzemplarzami i skracą czas kalibracji podczas produkcji. Powierzchnia kanału w głośniku wynosi 1,5 mm², a tłumienie po zamknięciu kanału to 20 dB w zakresie częstotliwości 20...500 Hz. Stopień ochrony IP58 zapewnia większą odporność głośnika na wnikanie cząstek stałych i wilgoci, wydłużając żywotność produktu końcowego. Głośnik Montara Pro wejdzie do produkcji masowej w 3. kwartale 2022. Jest on produkowany w obudowie LGA o wymiarach 10,8 x 5,15 x 1,15 mm. Producent oferuje również współpracujący wzmacniacz audio klasy H (xMEMS Aptos), zamkany w obudowie WLCSP o wymiarach 1,92 x 1,92 x 0,6 mm.

<https://xmems.com/>

<https://elektronikab2b.pl/produkty/podzespoli-elektroniczne/podzespoli-pasywne/15456--glosnik-mems-z-technologią-automatycznego-otwierania-zamykania-kanalu-dynamicvent>



Przetworniki MEMS - czujniki CO₂

Nowe czujniki CO₂ Infineon XENSIV PAS

AGH

Aktualne statystyki, takie jak te amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (EPA), pokazują, że ludzie spędzają prawie 90% czasu w pomieszczeniach, gdzie stężenie niektórych zanieczyszczeń powietrza jest często 2-, 5-krotnie większe niż na zewnątrz. Stężenie dwutlenku węgla jest kluczowym wskaźnikiem jakości, co już wiadomo od około 140 lat, kiedy Max von Pettenkofer położył podwaliny pod obecne przepisy dotyczące jakości powietrza poprzez swoje badania nad poziomem dwutlenku węgla.

Im wyższa zawartość CO₂ w budynku, tym mniej komfortowy dla przebywających w nim osób. W słabo wentylowanych pomieszczeniach stężenie gwałtownie wzrasta. Na przykład, na czterech metrach kwadratowych powierzchni zajmowanej tylko przez jedną osobę, poziom CO₂ wzrasta z 500 ppm (0,05%) do ponad 1000 ppm (0,1%) w zaledwie 45 minut. Przy takim stężeniu może powodować to ból głowy, senność i słabą koncentrację. Od 2000 ppm (0,2%) wpływa nawet na zdolności poznawcze ludzi, a przy jeszcze większych stężeniach istnieje znaczne ryzyko dla zdrowia.



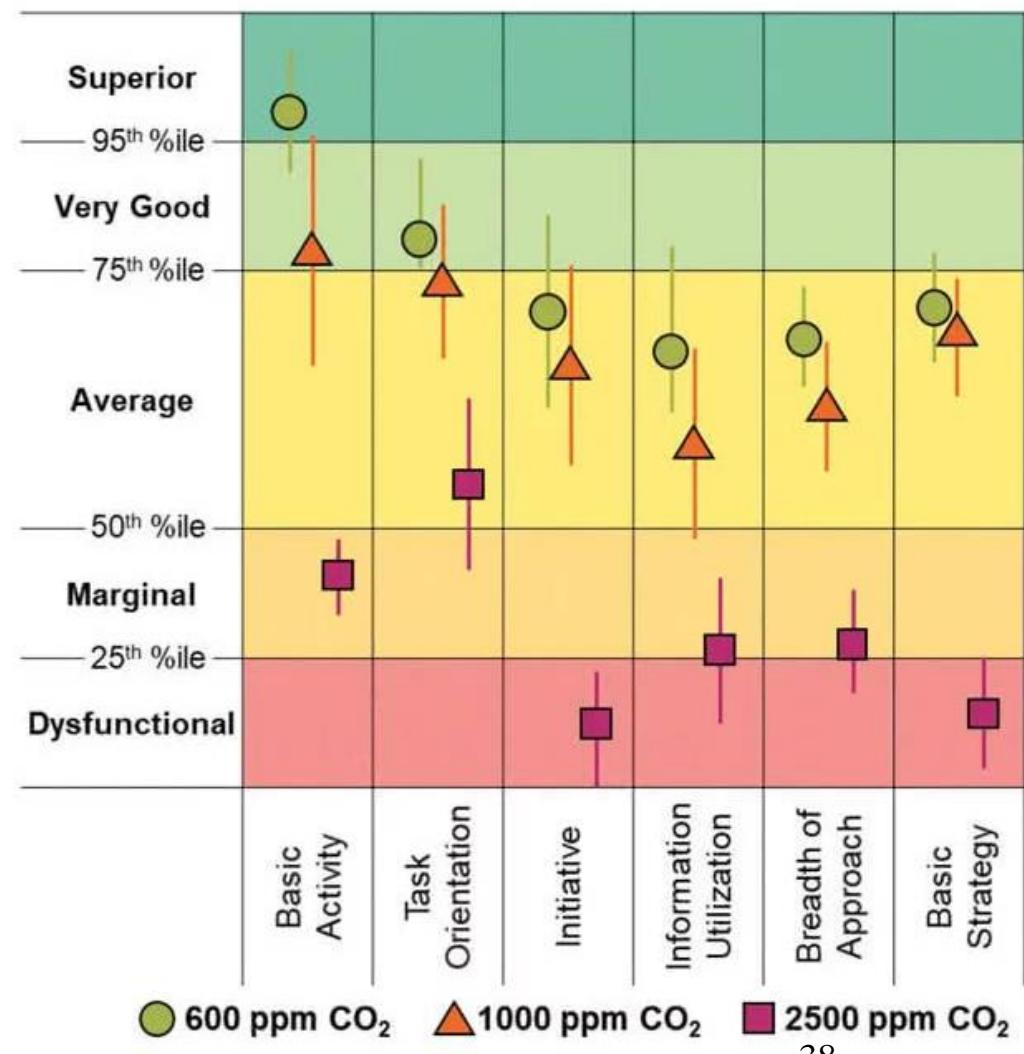
Przetworniki MEMS - czujniki CO₂

AGH

Nowe czujniki CO₂ Infineon XENSIV PAS

Stężenie dwutlenku węgla powyżej 2000 ppm znacząco wpływa negatywnie na funkcje poznawcze człowieka.

Federalna Agencja Środowiska Niemiec i ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers) opublikowały zalecenia, że w salach lekcyjnych i biurach poziom CO₂ nie powinien przekraczać 1000 ppm. Dla porównania, na świeżym powietrzu (na zewnątrz), stężenie dwutlenku węgla wynosi 400 ppm.





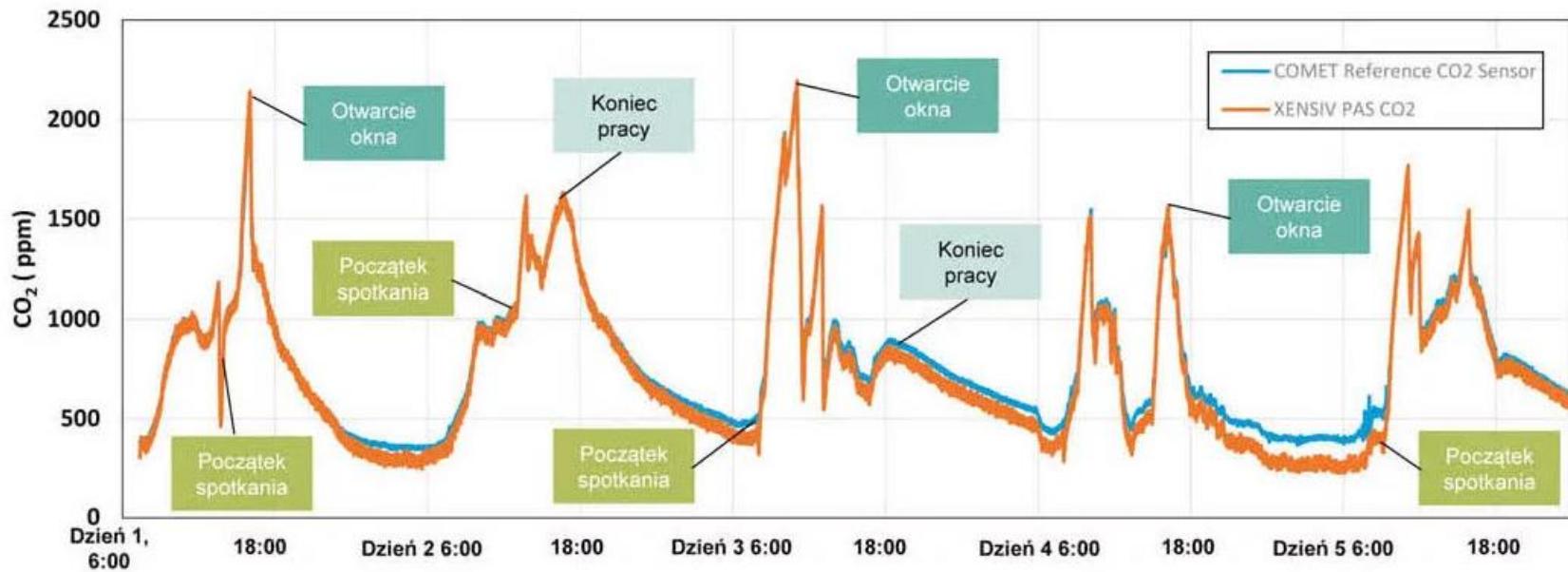
Przetworniki MEMS - czujniki CO₂

Nowe czujniki CO₂ Infineon XENSIV PAS

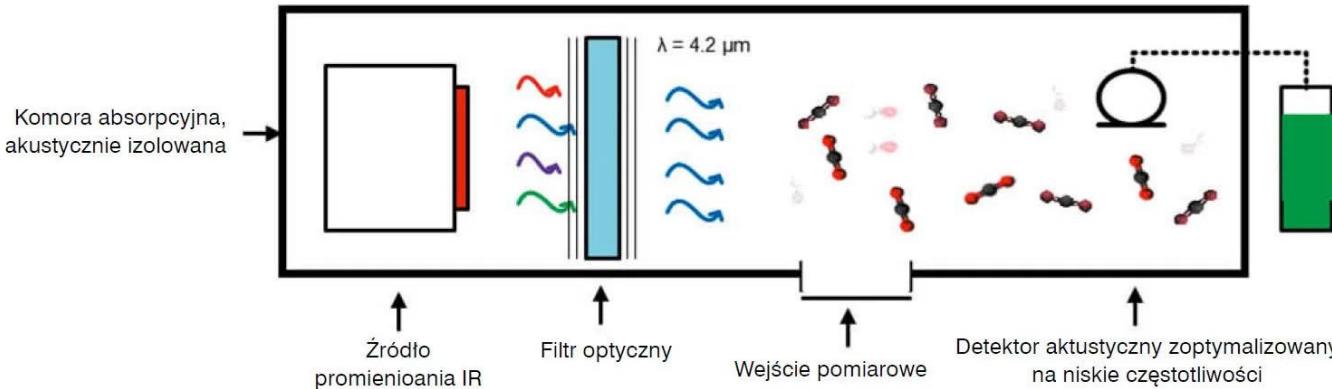
AGH

Czujniki CO₂ mogą służyć do pomiaru stężenia dwutlenku węgla, a tym samym jakości powietrza w pomieszczeniach. Jednak, aby monitorowanie jakości powietrza stało się standardem, potrzebne są niezawodne i przystępne cenowo sensory. Obecnie istnieją dwie opcje: czujniki dokładne, ale nieporęczne i drogie lub małe, ale niedokładne. To może zmienić nowy XENSIV PAS, zapewniając dokładne pomiary przy małych wymiarach i niewielkiej cenie.

Zmiana poziomu CO₂ w jednej z sal konferencyjnych Infineona w ciągu tygodnia pracy



Konstrukcja - przykład



*Nowe czujniki CO₂
Infineon XENSIV PAS*

*Zasada pomiaru
stężenia CO₂ metodą
spektroskopii
fotoakustycznej (PAS)*

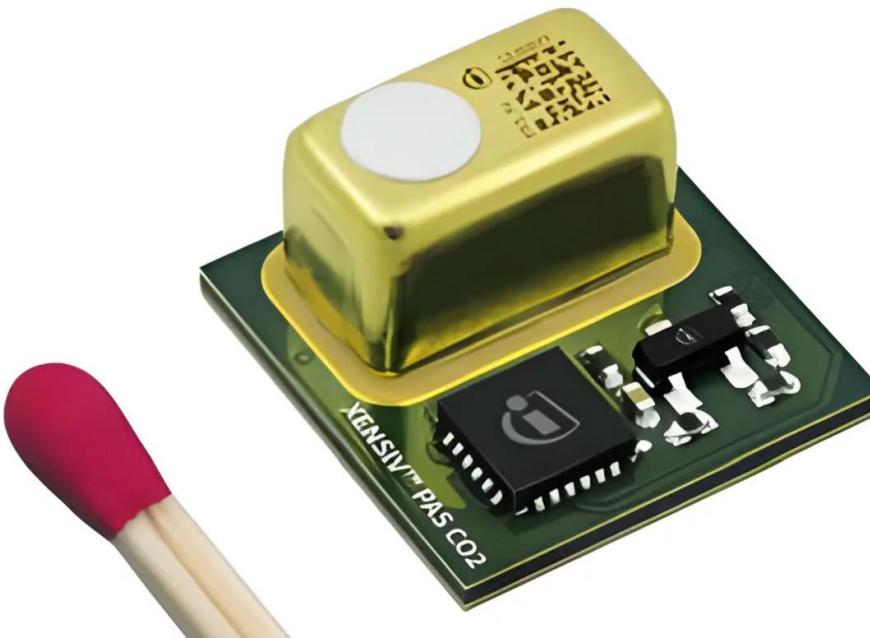
Czujnik ze spektroskopią fotoakustyczną

Firmie Infineon udało się opracować czujnik CO₂ nowego typu oparty na spektroskopii fotoakustycznej lub w skrócie PAS (photoacoustic spectroscopy) wykonany jako MEMS. Metoda pomiaru opiera się na efekcie fotoakustycznym wykorzystującym zjawisko absorpcji światła o określonej długości fali przez cząsteczki gazu.

W przypadku dwutlenku węgla jest to 4,25 μm (https://pl.wikipedia.org/wiki/Dwutlenek_w%C4%99gla) Próbka gazu jest pobudzana za pomocą promieniowania o tej długości fali ze źródła z odpowiednim filtrem optycznym. Wywołuje to szybkie nagrzewanie, a następnie chłodzenie cząsteczek gazu i wywołuje zmianę ciśnienia, która może być rejestrowana przez detektor akustyczny zoptymalizowany pod kątem rejestracji niskich częstotliwości. Sygnał ten jest następnie mierzony za pomocą czułego detektora ciśnienia akustycznego (mikrofonu). Im jest silniejszy, tym większe jest stężenie dwutlenku węgla. Konstrukcja sensora jako MEMS zapewnia wymaganą miniaturyzację.

www.infineon.com

Konstrukcja - przykład



**Nowe czujniki CO₂
Infineon XENSIV PAS**

Architektura i problemy

Czujnik CO₂ firmy Infineon integruje przetwornik fotoakustyczny z detektorem, źródłem promieniowania podczerwonego i filtrem optycznym w małej obudowie. Do przetwarzania i obróbki sygnału wykorzystywany jest mikrokontroler, który jednocześnie steruje źródłem IR za pomocą MOSFET-a.

Z uwagi na małe wymiary, dużym problemem było doprowadzenie wydajności detektora do granic jego możliwości i zminimalizowanie zakłóceń, tj. odizolowanie detektora MEMS od szumu zewnętrznego, tak aby tylko zmiana ciśnienia pochodząca od CO₂ w komorze została wykryta. Wymusiło to konieczność izolacji akustycznej komory absorpcyjnej oraz użycia innych rozwiązań technicznych wypracowanych przez Infineona na bazie doświadczenia w produkcji mikrofonów MEMS, np. modelowania odpowiedzi tego elementu na pobudzenie po to, aby zapewnić optymalne parametry detektora.



Przetworniki MEMS - czujniki CO₂

AGH

Nowe czujniki CO₂ Infineon XENSIV PAS

Tabela 1. Najważniejsze dane techniczne czujnika CO₂ PAS

Zakres pomiarowy	400–10 000 ppm
Dokładność	± 30 ppm +3% odczytu w zakresie 400–5000 ppm
Żywotność	10 lat przy 1 pomiarze/minutę
Zakres temperatur pracy	0–50°C
Wilgotność względna	0% do 85% (bez kondensacji)
Interfejs	I ² C, UART i PWM
Napięcie zasilania	12 V dla emitera IR i 3,3 V dla pozostałych komponentów
Średni pobór mocy	11 mW przy 1 pomiarze na minutę
Wymiary	13,8×14×7,5 mm

Zalety czujnika CO₂ MEMS

Czujnik XENSIV PAS wykorzystuje bardzo czuły mikrofon MEMS firmy Infineon, który wykrywa zmiany ciśnienia pojawiające się przy oświetlaniu cząsteczek CO₂ światłem podczerwonym w komorze pomiarowej. Dzięki zintegrowanemu mikrokontrolerowi na wyjściu podaje bezpośrednio stężenie CO₂ w ppm. Do dokładnego oznaczenia wystarcza niewielka ilość gazu, stąd wielkość komory może być mała.

Sensor jest 4 razy mniejszy (14×13,8 ×7,5 mm) i 3 razy lżejszy (2 g) niż typowy czujnik NDIR, co daje ponad 75% oszczędności miejsca na PCB. Jest produkowany w wersji SMD i dostarczany jako standardowy element taśmowany na rolce. To spora zaleta, bo większość komercyjnie dostępnych NDIR-ów jest dostarczana w wersji ze złączem, a więc nie nadaje się do montażu automatycznego. Krótko mówiąc, nowy detektor zapewnia dużą dokładność przy małych wymiarach, co czyni go właściwym wyborem do aplikacji sterowania HVAC (DCV).

*Nowe czujniki CO₂ Infineon
XENSIV PAS*



Dostępność i wsparcie projektowe

Czujniki PAS są produkowane przez firmę Infineon we własnym zakresie. Producent planuje kontynuować rozwój technologii PAS w celu dalszego zmniejszania wymiarów i poprawy zdolności detekcyjnych. Jako wsparcie dostępne są zestawy projektowe do testowania czujników, płytki ewaluacyjne, biblioteki oprogramowania oraz obszerna dokumentacja, w tym noty aplikacyjne, aby ułatwić tworzenie aplikacji.