

MEMS и NEMS актуаторни елементи - микропомпи, микроклапани и системи за дозиране на флуиди

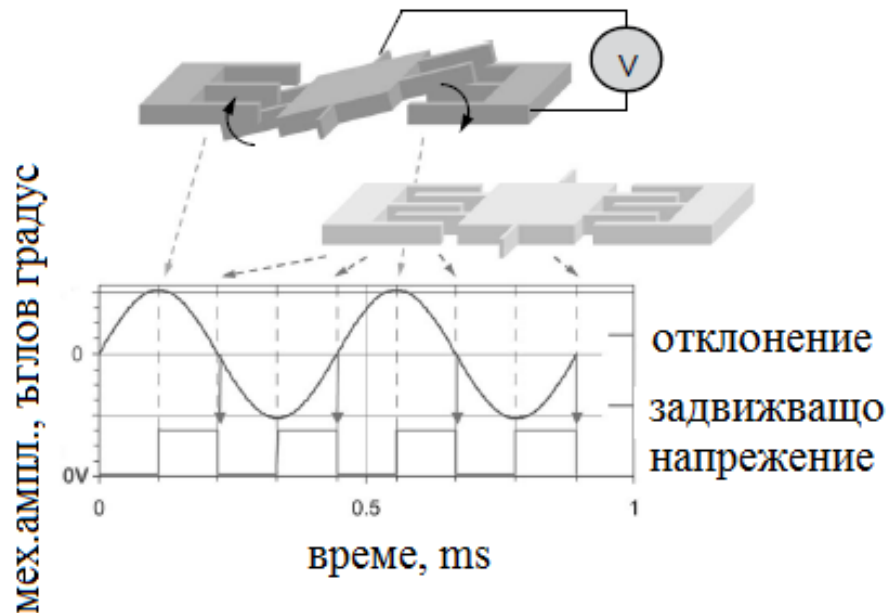
доц. д-р Мария Александрова

- Класификация на микроактуаторите според механизма на задвижване
 - Конструктивни особености
 - Материали и процеси
 - Предимства и недостатъци
- Класификация на микропомпите според драйверната структура

- Актуаторите (задвижващите механизми) преобразуват електрически сигнали във физическо движение.
- Микроактуаторите се изработват по MEMS или NEMS технология (материали и процеси за MEMS или NEMS) и реализират микро- или нанопреместване, което може да е транслационно или ротационно.
- MEMS актуаторите имат нужда от по-мощни схеми за управление на мощността, за да работят .
- 4-те основни типа MEMS актуатори и техни примерни приложения са:
 - **Електростатичен** (задвижване на микроогледала, сканиране на триизмерна повърхност)
 - **Електромагнитен** (задвижване на микроогледала, сканиране на триизмерна повърхност)
 - **Пиезоелектричен** (автофокус на камери, GSM високоговорители, AFM сканиращ кантилевър, ултразвуково пулверизиране)
 - **Термичен** (термозащита от прегряване в микро- и наносистемите)

Принципна работа на електростатичния микроактуатор:

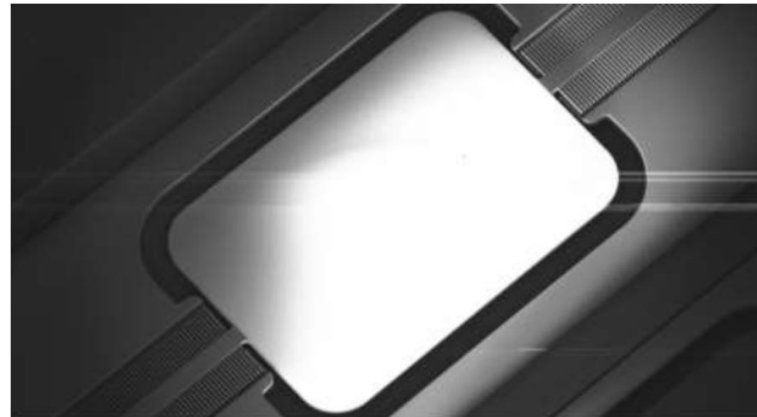
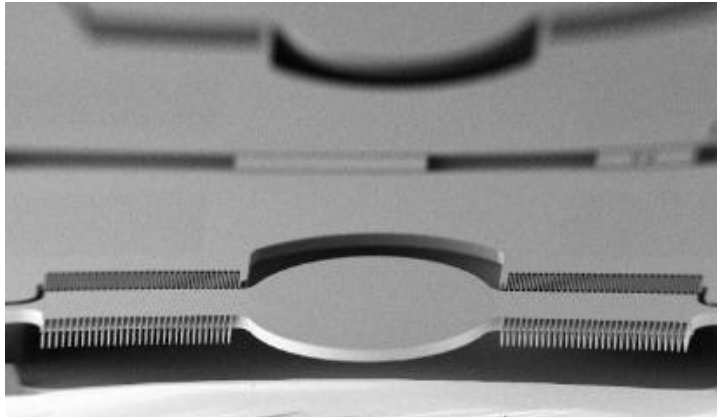
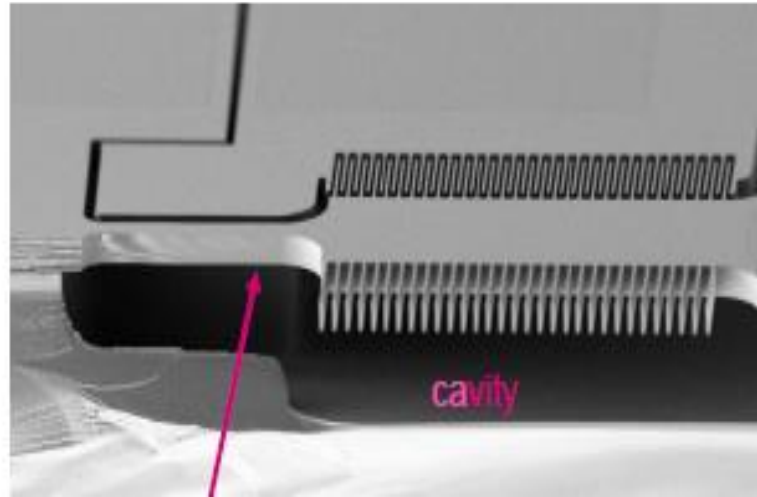
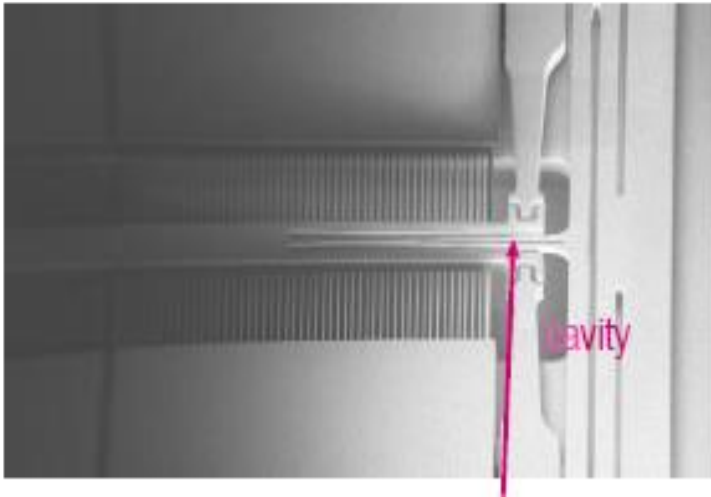
Електростатичната сила се използва като задействащ механизъм посредством гребенчата задвижваща конструкция, т.е. силициеви „пръсти на гребен“, които създават въртящ момент върху MEMS.



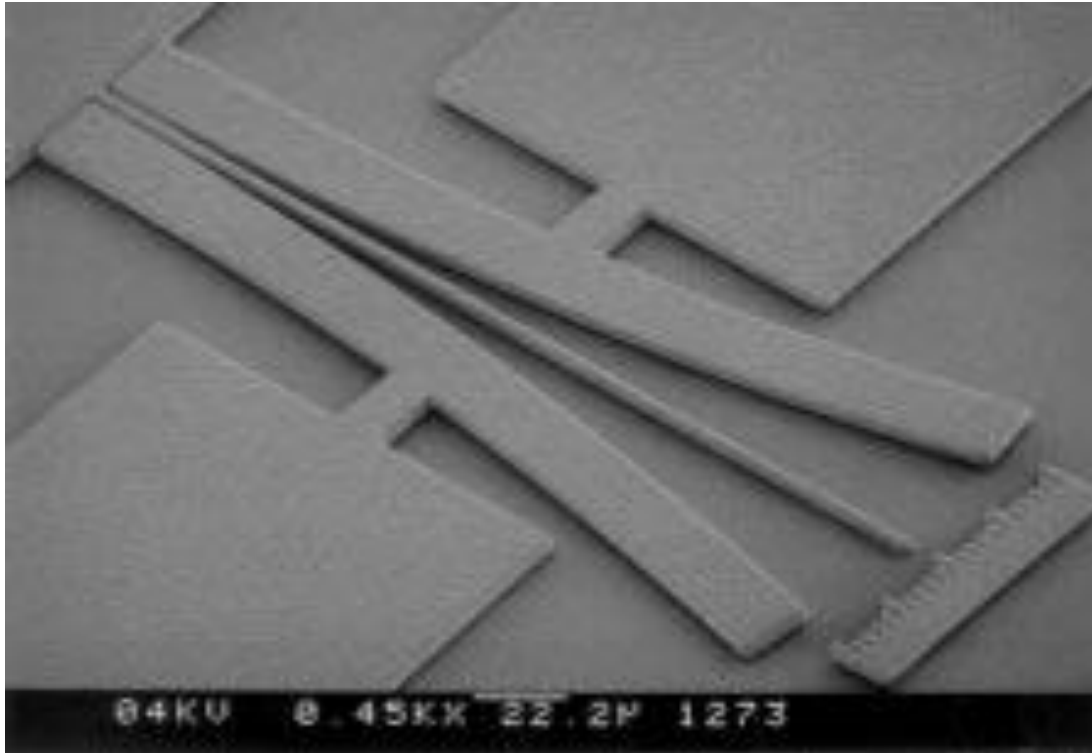
$E = \frac{1}{2} CV^2$, където C е капацитетът на кондензатора, V е приложеното напрежение. Електростатичната сила създаваща задвижващия момент е

$$M_{forcing} = \frac{1}{2} \frac{dC_{comb}}{d\theta} V^2$$

θ е ъгълът на завъртане



SEM микроскопски изображения на електростатични микроактуатори
(Източник: MEMS Micro-actuators enabling new and unforeseen applications
STMicroelectronics, AME Microsystems Product Marketing, 2017)



SEM микроскопско изображение на електростатичен микроактуатор тип „цип“
(zipper microactuator)

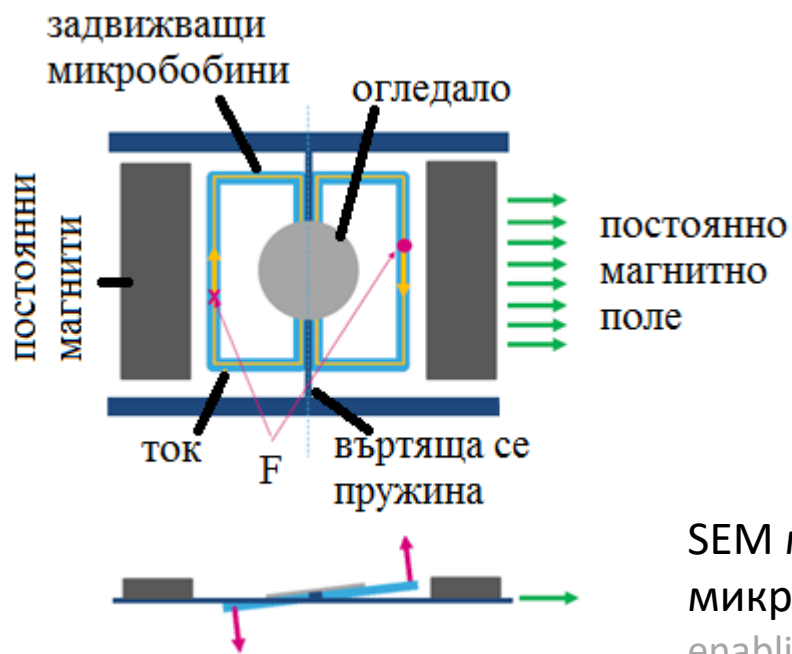
(Източник "Electrostatic Curved Electrode Actuators." Journal of
Microelectromechanical Systems 6, no. 3 (2017): 257-265).

Предимства на електростатичните микроактуатори – бързо превключване (няколкостотин микросекунди) между състоянията и лесна технологична изработка (4 фотошаблона максимум).

Електромагнитни микроактуатори

Устройството съдържа фиксирани магнити, които индуцират постоянно магнитно поле върху структурата. Протича ток в микробобини част от движещата се структура. Възниква сила на Лоренц, която предизвиква преместването.

$F = q(E + v \times B)$ зависи от заряда q , който се придвижва със скорост v в среда на електрическо поле E и магнитно поле B .



SEM микроскопска снимка на електромагнитен микроактуатор. (Източник: MEMS Micro-actuators enabling new and unforeseen applications STMicroelectronics, AME Microsystems Product Marketing, 2017)

Предимства на електромагнитните микроактуатори

- сравнително бърза реакция и
- най-голяма надеждност от 4-те основни вида,
- слабо чувствителни на смущаващи полета, заради силното поле на перманентните магнити.

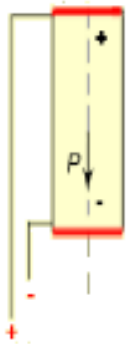
Недостатъци

- голяма степен на сложност на изработката,
- управление по ток, което означава голяма разсейвана мощност,
- най-ниска степен на съвместимост със стандартната CMOS технология
- трудност при нанасяне на тънки магнитни слоеве.

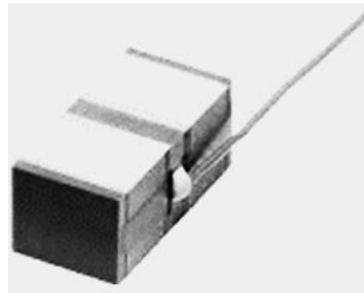
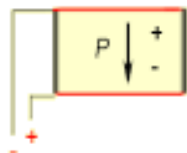
Пиезоелектрични микроактуатори

Ако напрежение е приложено през пиезоелемент, той ще се деформира - обратен пиезоелектричен ефект.

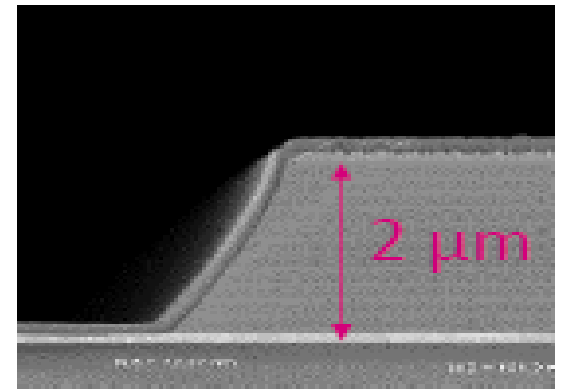
разширение



свиване



2 mm дебелина – обемен



2 микрона дебелина на цялата структура – слоен

P - вътрешна поляризация на материала от ориентация на диполни моменти



20V, 1Hz → 30μm



Предимства на пиезоелектричните микроактуатори

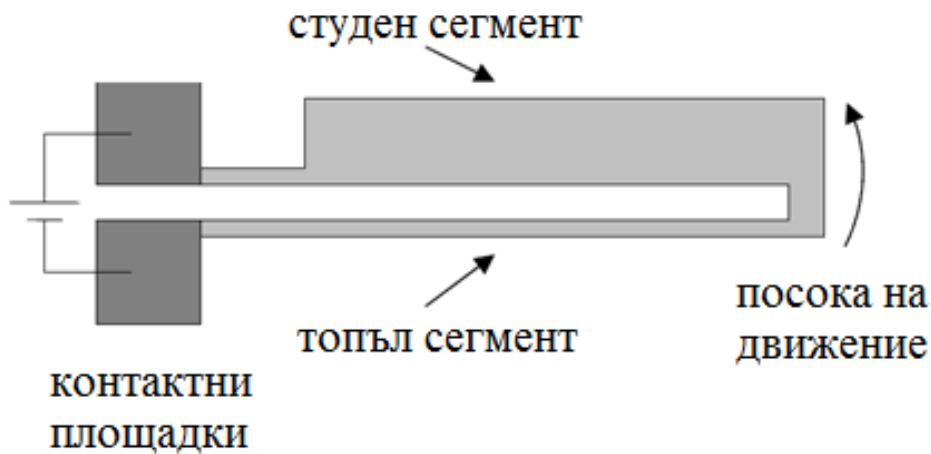
- високи скорости на превключване,
- ниска разсейвана мощност, защото текат наноампери и дори пикоампери поляризационни токове (това са диелектрици).

Недостатъци

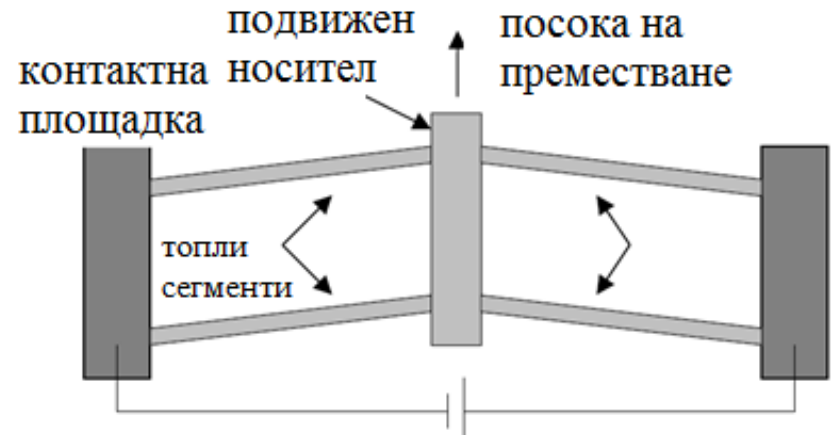
- използват се неконвенционални материали заместители на олово-съдържащия оловно-циркониев титанат (PZT), което затруднява и оскъпява технологията (KNbO_3 , BaSrTiO_3),
- затруднения при бондирането на тези материали.

Термични микроактуатори

Използват топлинно разширение за постигане на преместване. Топлинното разширение се причинява най-често чрез Джаулово нагряване - чрез преминаване на ток през тънки рамена от даден материал с определен топлинен капацитет. Има две различни конструкции на термични микроактуатори – биморфна пластина или U-образен и задвижващ механизъм с огънато рамо или V - образен.



U-образен



V - образен

И в двата случая се използва поликристален силиций (полисилиций) за тези рамена, заради модулът на Юнг, който позволява достатъчна микротвърдост, която може да се контролира в процеса на израстване на слоя.

Той израства чрез CVD процес или разпрашване във вакуум.

PolySi е с подходяща топлинна проводимост ($72 \text{ W/m/}^\circ\text{C}$) и температурен коефициент на разширение $2.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

Предимства на термичните микроактуатори

- изработката е проста (под 4 фотошаблона).
- лесно се контролира съпротивлението му, което определя и Джауловото нагряване, посредством степента на легиране чрез дифузия – стандартен MEMS процес.

Недостатъци:

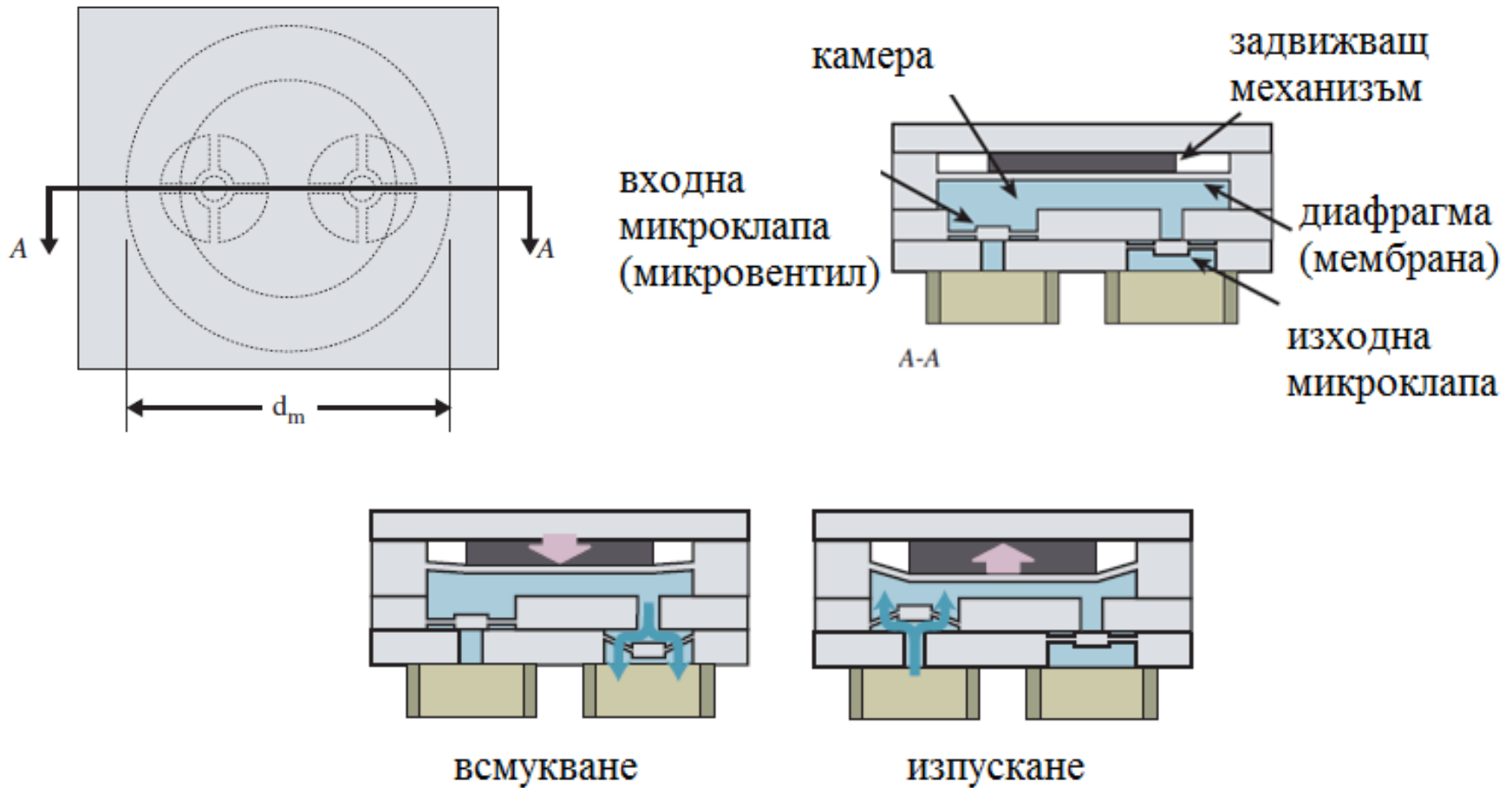
- бавно се преместват (милисекунди)
- разсейваната мощност е голяма, защото е необходимо продължително протичане на ток, за да настъпят термичните ефекти (няколко минути).
- проблем за дълговременната стабилност е засиленото окисление на силиция при увеличаване на температурата.

Микропомпи

Те се използват за придвижване на малки обеми течности (флуиди), еквивалентни на мили- или микролитър. Това може да е охлаждаща течност за микротоплообменна система за охлаждане на чип или в медицината дозатор на лекарствено вещество. За микрофлуидните системи е препоръчителна, самостоятелна активна помпа, чийто размер е сравним с обема течност, който да се изпомпва.

Възвратно-постъпателни изместващи микропомпи

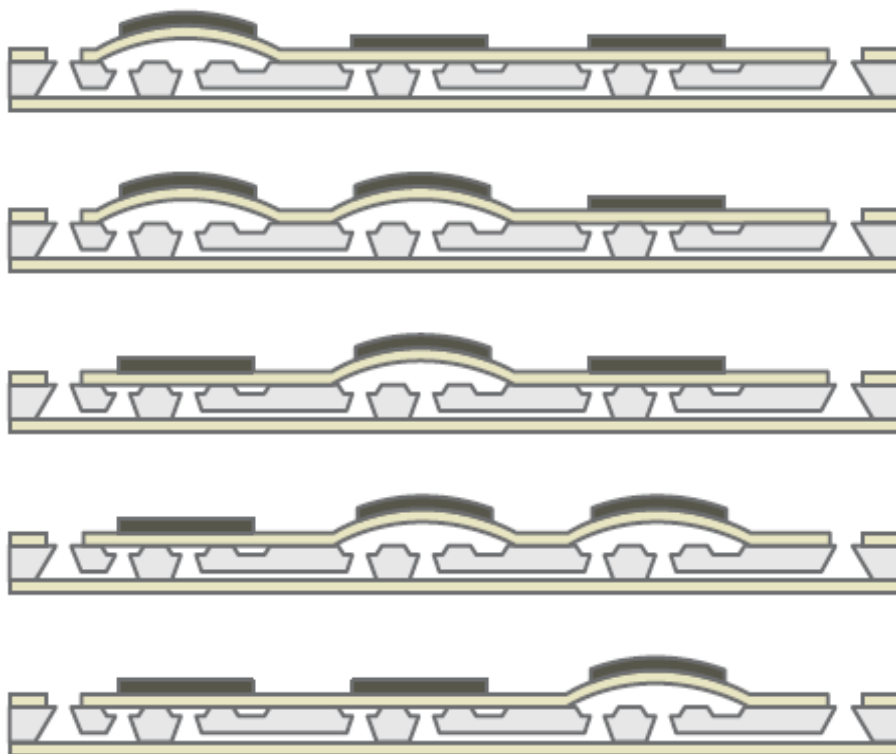
При тях движещи се гранични повърхности извършват работа под налягане върху работната течност периодично. Прилагащата сила движеща се повърхност е деформируема микромембраната с фиксирани краища (не свободностояща като кантилевър). Мембранните материали включват силиций, стъкло и полимери. Основните компоненти са помпена камера (една от страни до мембраната на помпата), задвижващ механизъм или драйвер и два пасивни възвратни клапана - един на входа (или смукателен) и една на изхода (или изпускателен).



Микропомпата е 2-инчова силициева пластина свързана между две подобни стъклени пластини. Камерата на помпата е с диаметър 12,5 мм, 130 μm е дълбочината на кухината, ецната в силициевата пластина с използване на мокро ецване с маска от силициев оксид.

За 12 V, 1 kHz, $\Delta p = 1\text{kPa}$, $Q=0,8 \mu\text{l}/\text{min}$.

По-прецизен вариант на микропомпа с по-добро уплътняване на потока и липса на паразитно налягане, създавано от мехурчета във флуида е с 3 камери, свързани последователно и имащи ецнати канали в силициевата пластина (микропомпа на Смит).



Принцип на действие на перисталтична микро- и макропомпа.

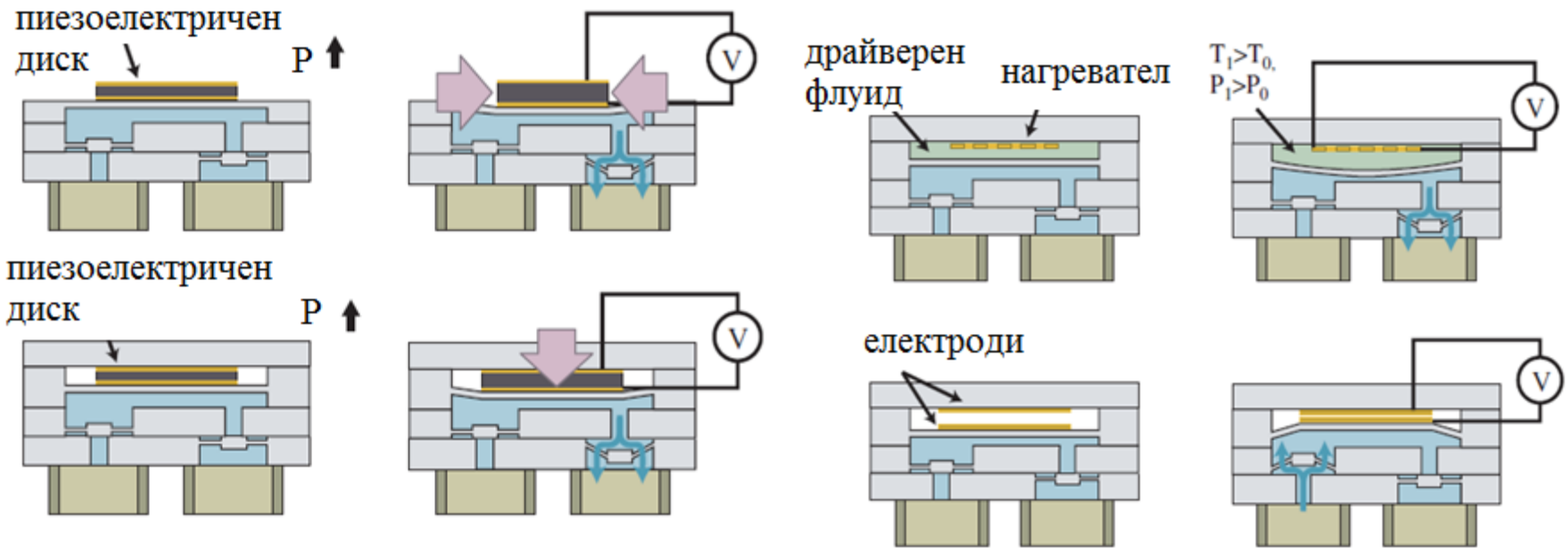
Производителността на такава микропомпа е много по-добра от еднокамерната – $V=10 \text{ V}$, $f=15 \text{ Hz}$, $\Delta p = 600 \text{ Pa}$, $Q= 10 \text{ }\mu\text{l}/\text{min}$.

С напредъка в развитието на технологичните обработки на материалите, структурната комбинация стъкло-силиций за изготвянето на помпите, която затруднява процеса на бондиране (слепване и спояване за монтиране) се заменя с комбинация от полимери, които се втвърдяват чрез УВ облъчване, но могат да запазват гъвкавостта си в определена степен според дозата на облъчване. Така всички части твърди и гъвкави са от един и същ материал по химичен състав (което е улеснение при бондирането), но различно обработени с УВ светлина.

Друг аспект на приложението на полимери е биосъвместимостта им.

Недостатъкът на полимерно-базираните микропомпи е по-слабата устойчивост на полимерите при директен контакт с флуидите, които могат да имат най-различно рН. Пиезоелектричната задвижваща част във всички случаи е на основата на пиезополимер PVDF. Цялостната дебелина на микропомпата е от 1 до 4 мм. Като конструкция се предпочитат кръгли силициеви диафрагми с дебелина на гъвкавата мембранна част $10 \text{ }\mu\text{m}$ с диаметър поне 1 mm, за да могат да реализират поне един микрон отместване при прилагане на натиск от пиезопреобразувателя не по-голям от 1 kPa за пренос на флуид с обем 10 nL.

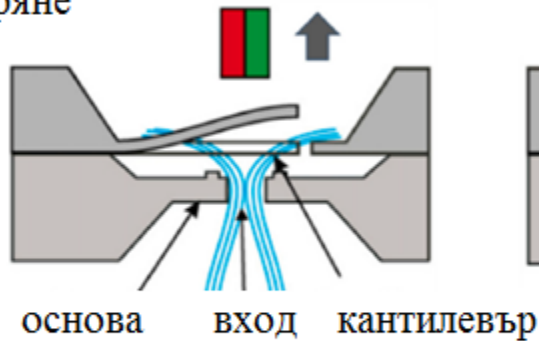
Ефективността на електромеханичното преобразуване в пиезоелектриците е обикновено между 10 и 30% в актуаторен режим. Затова са измислени варианти на тази микروпомпа със сходна конструкция, но със задвижващи механизми за мембраната, подобни на термичен и електростатичен микроактуатори.



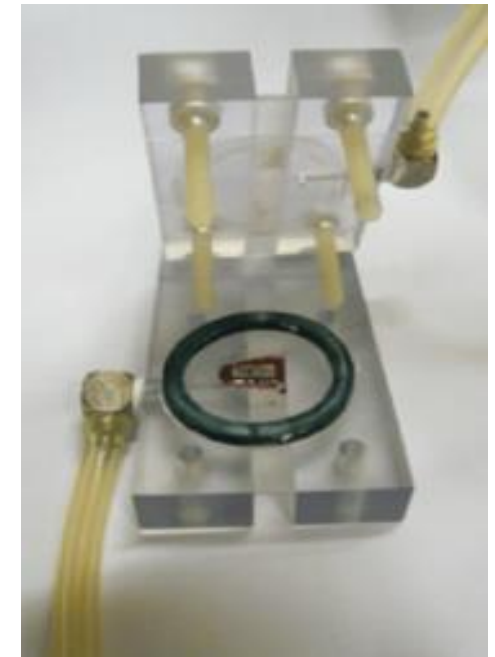
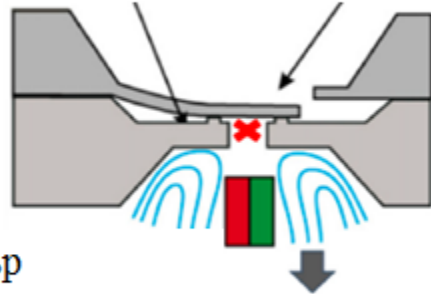
Магнитни микроклапани

Типичният магнитен микроклапан съдържа постоянен магнит и гъвкавата еластична мембрана от магнетомек материал. Деформацията на мембраната се предизвиква от магнитните сили. По този начин този вид микроклапан се нуждае почти от нулево външно потребление на енергия.

магнитни сили
отваряне



основа кантилевър



БЛАГОДАРЯ ЗА ВНИМАНИЕТО!