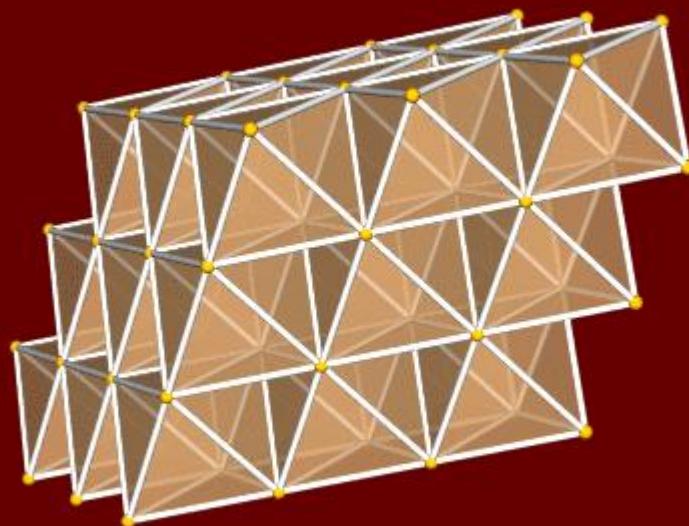


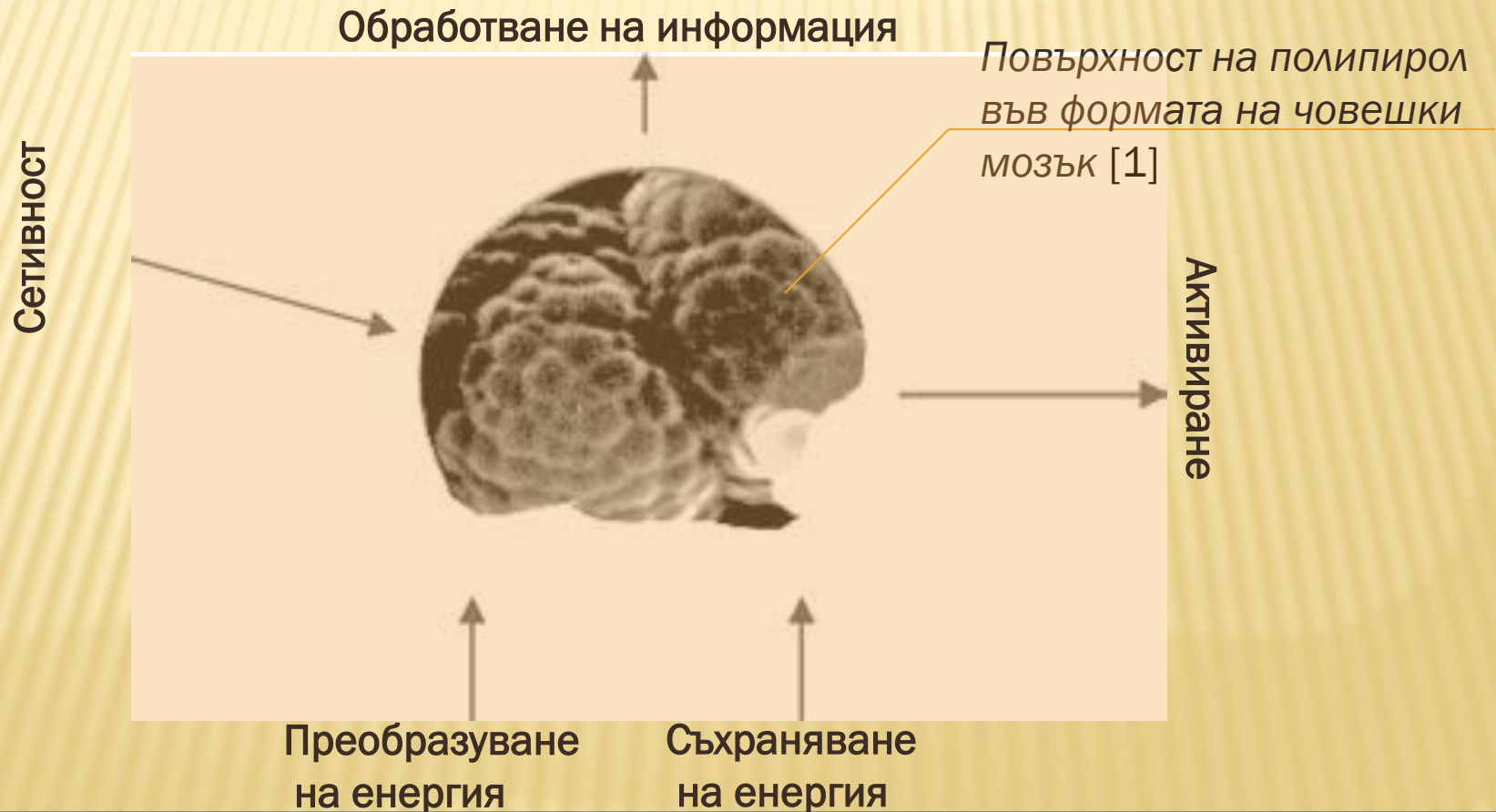
12.0 ИНТЕЛИГЕНТНИ МАТЕРИАЛИ, ЕЛЕКТРОАКТИВНИ ПОЛИМЕРИ И МЕТАМАТЕРИАЛИ



СЪДЪРЖАНИЕ

- ✘ *Интелигентни материали видове и свойства*
- ✘ *Електроактивни полимери*
 - + *електронни и йонни електроактивни полимери*
 - + *йонни електроактивни полимери*
 - + *видове, свойства и приложение.*
- ✘ *Метаматериали – въведение.*

Интелигентни материали – притежават способност да разпознаят съответно външно въздействие, да обработят информацията възникваща от това въздействие и да реагират по подходящ начин в определени рамки. Освен това е желателно материалът да притежава възможности за самозахранване, преобразуване и съхранение на енергия. След премахване на външното въздействие, да възстанови първоначалното си състояние.



Умни материали Те са с по-ограничени свойства от интелигентните. Трябва да реагират на определено въздействие и генерират определен сигнал.

функционални материали Основно качество на тези материали е управляемо да се променя някаква характеристика при определено по големина въздействие т.е. между въздействието и реакцията на материала да има функционална зависимост. В тази категория спадат почти всички умни материали, а за интелигентните функционалността е едно от необходимите свойства.

За **интелигентните материали** основното качество е адаптивността към промените на условията на околната среда.

Интелигентните материали имат възможности за сетивност и измерване, както и да обработят и въздействат на дадени параметри като деформация, температура, налягане, промяна в състояние или фаза. Тези материали може да бъдат оптични, електрически, магнитни, химични или биологични. Към тях спадат:

- ◆ **Пиезоелектрични материали (ПМ)** – увеличават размерите си след прилагане на електрическо напрежение;
- ◆ **Сплави с памет на формата (СПФ)** – способност да възстановяват първоначалната си форма след подлагане на подходяща термична процедура;
- ◆ **Електрореологични флуиди (ЕРФ)** – наблюдава се промяна на вискозитета на флуид след прилагане на електрическо поле;
- ◆ **Магнитореологични флуиди (МРФ)** – както при ЕРФ, но вискозитетът се променя вследствие на действието на магнитно поле. При МРФ се постигат по-високи тангенциални напрежения около (60-120 kPa);
- ◆ **Електроактивни полимери (ЕАП)** – получават значителни изменения на формата или размерите при електрическо въздействие.

Сравнителни характеристики на интелигентните материали

Параметър	ЕАП	СПФ	ПМ	ЕРФ	МРФ	Ел. Магн.	Мускул
Удължение %	>10%	<8%	0.2%	-	-	50%	>40%
Сила/площ МРа	0,1-3	700	110	$2-4 \cdot 10^{-3}$	$60-120 \cdot 10^{-3}$	0.1	0,35
Време за реакция	ms-min	s-min	us-s	ms	ms	ms	s
Енерг. плътност J/cm^3	0.3-3,4	>100	0,1	-	-	0,025	0.07
Плътност g/cm^3	1-2,5	5-6	7-8	1-2	2-3	-	-
Задв. напрежение	2-7V/ μm 10-150V/ μm	<40v	<200v	4kV/mm	-	-	-



Интелигентен материал, който има променлив вискозитет и лесно се превръща от флуид в твърдо тяло. Разработен е в лаборатория на Michigan Institute of Technology.



MPΦ е
течност,
която се
превръща в
твърдо тяло,
ако ѝ
действа
магнитно
поле.

Предимства на магнитореологичния флуид

1. За умни устройства, в които променя коравината, демпферирането, вискозитета, напречния модул по предписан сценарий
2. Сравнително ниска мощност
3. Прости конструкции
4. Висока енергийна плътност
5. Лесно се управлява
6. Високо бързодействие (0.02 s или 50 Hz в макроустройства)
7. По-ниска чувствителност на примеси от ЕРФ
8. 20 до 50 пъти по-силен от ЕРФ

Недостатъци на магнитореологичния флуид

1. Ниска якост
2. Висока цена
3. Изисква магнит или електромагнит

Свойства на магнитореологичните флуиди

Сравнение с ЕРФ

Property	MR fluids	ER fluids
Max. yield stress τ_0	50-100 kpa	2-5 kpa
Maximum field	~250 kA/m	~4 kV/mm
Apparent plastic viscosity η	0.1-10 pa-s	0.1-10 pa-s
Operable temp. range	-40-150 °C	+10-90 °C
Stability	Unaffected by most impurities	Cannot tolerate impurities
Density	3-4 g/cm ³	1-2 g/cm ³
Maximum energy density	0.1 Joules/cm ³	0.001 Joules/cm ³
Power supply (typical)	2-50 V, 1-2 A	2000-5000 V, 1-10 mA

Свойства на магнитореологичните флуиди

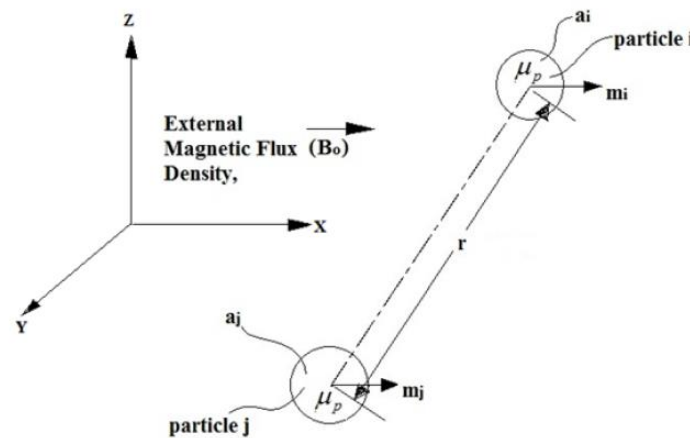
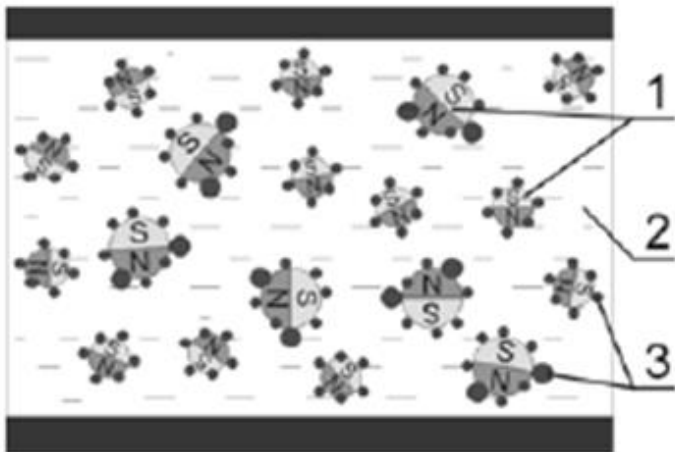
Три вида МРФ

MR fluid	MRF-132LD	MRF-240BS	MRF-336AG
Fluid base	Synthetic oil	Water	Silicone oil
Operable temp. range °C	-40-150	0-70	-40-150
Density (g/cc)	3.055	3.818	3.446
Weight percent solids	80.74%	83.54%	82.02%
Coefficient of thermal expansion	$0.55-0.67 \times 10^{-3}$	0.223×10^{-3}	0.58×10^{-3}
Specific heat @ 25°C (J/g °C)	0.80	0.98	0.68
Thermal conductivity (w/w °C)	0.25-1.06	0.83-3.68	0.20-1.88
Flash point (°C)	> 150	>93	> 200
Viscosity @ 10s ⁻¹ /50s ⁻¹ (Pa-sec)	0.94/0.33	13.6/5.0	8.5

Компоненти на магнитореологичния флуид

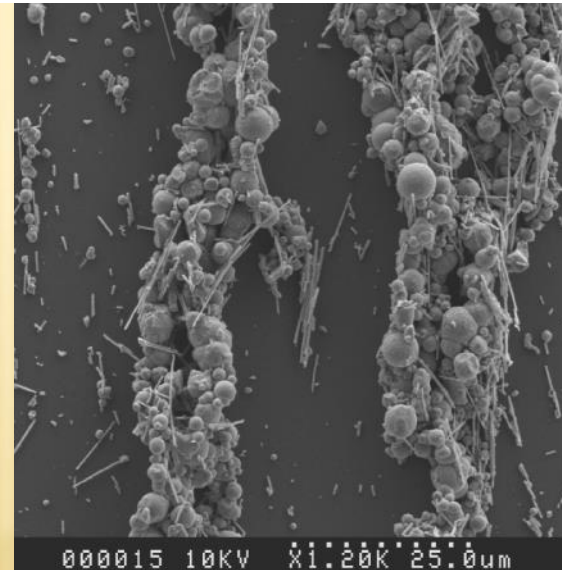
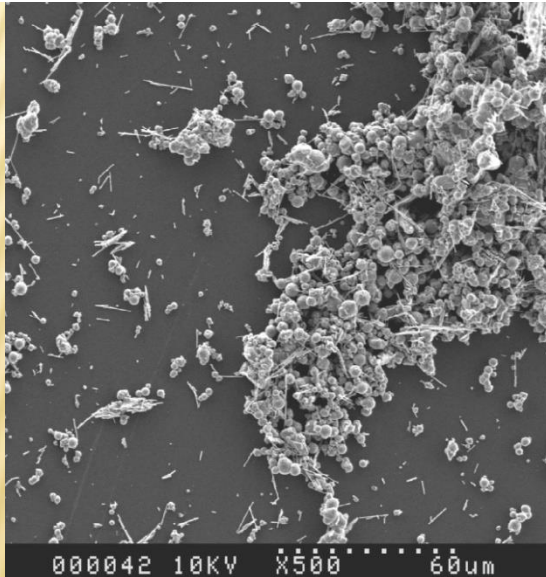
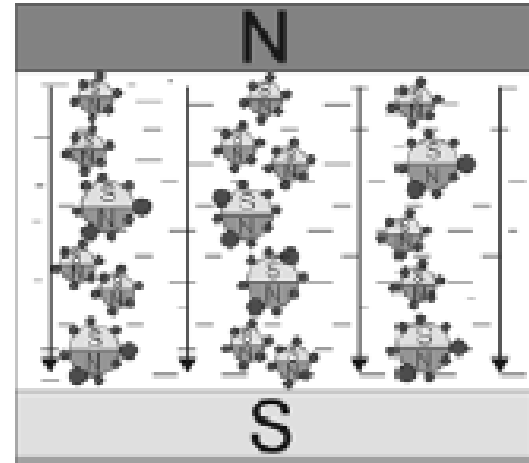
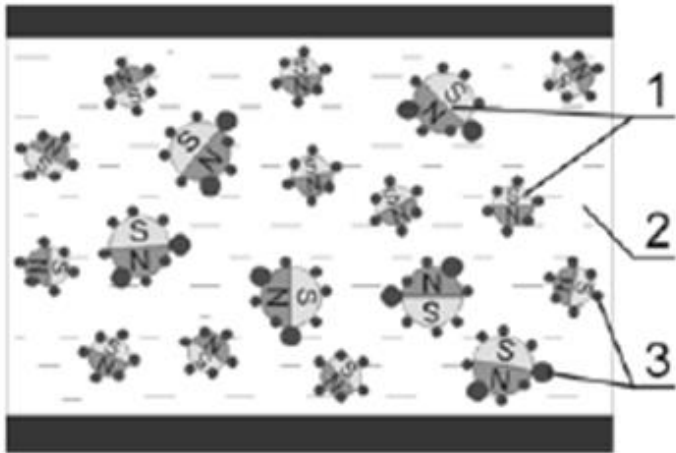
1. Феритни частици: сфери или пръти с микро- или нано размери Доказва се е, че над $10\ \mu\text{m}$ частиците се утаяват, под $1\ \mu\text{m}$ доминира брауновото движение и това дестабилизира флуида.
2. Носещ флуид: синтетични масла, силикон или вода
3. Свързващи частици (предотвратяват утаяването на ферромагнитните частици): специални греси

a)



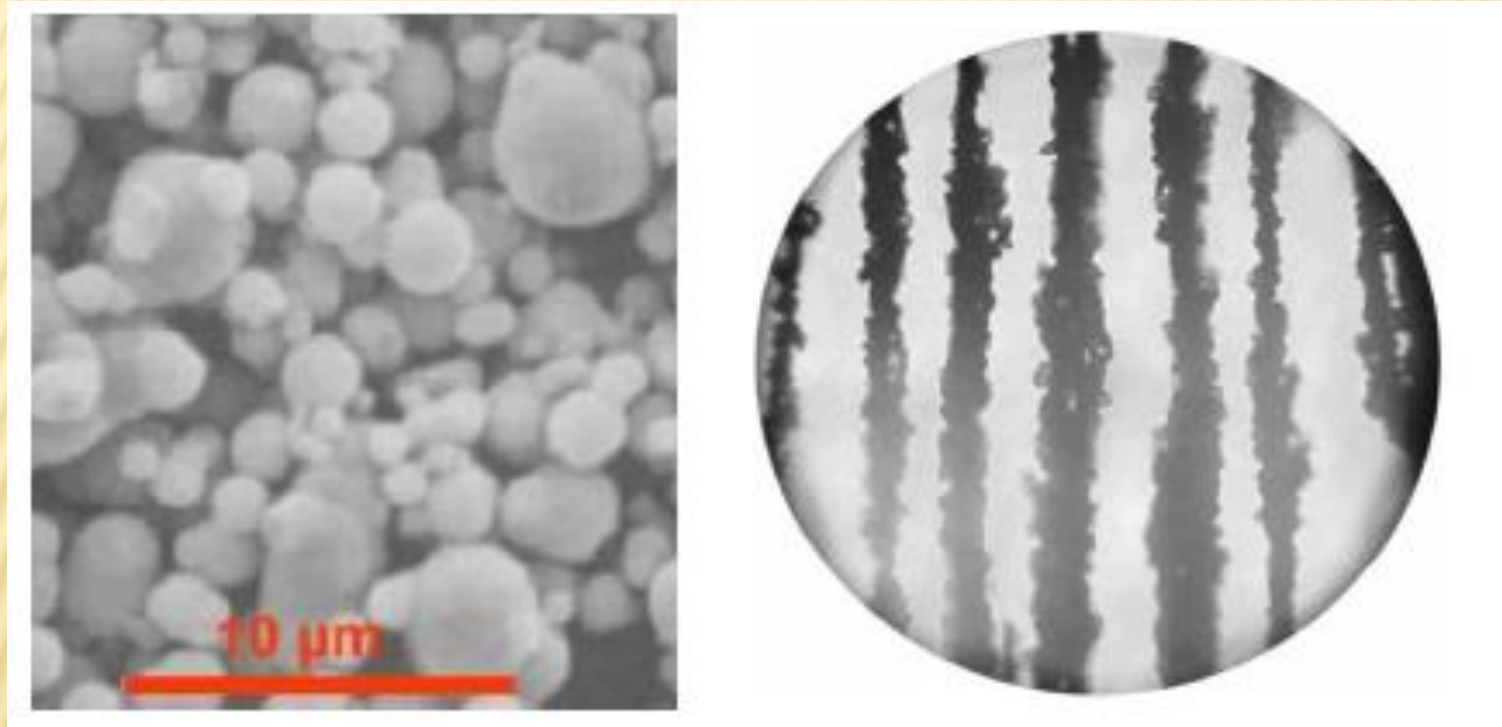
$$\frac{2(\rho_p - \rho_f)gr^2}{9\eta}$$

Компоненти на магнитореологичния флуид

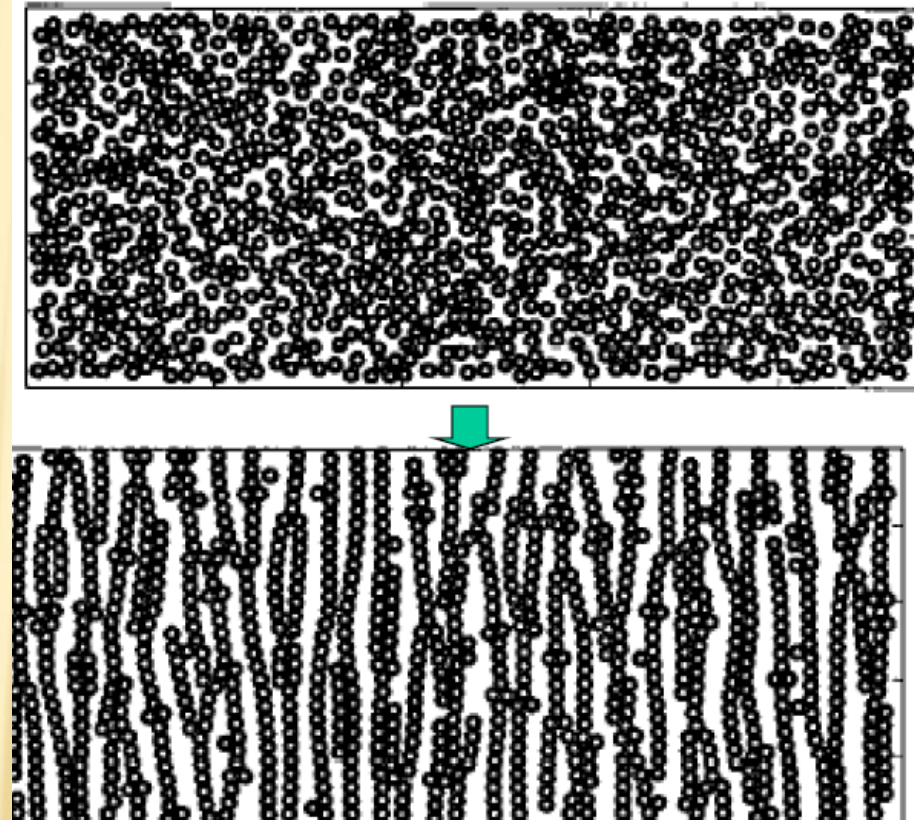
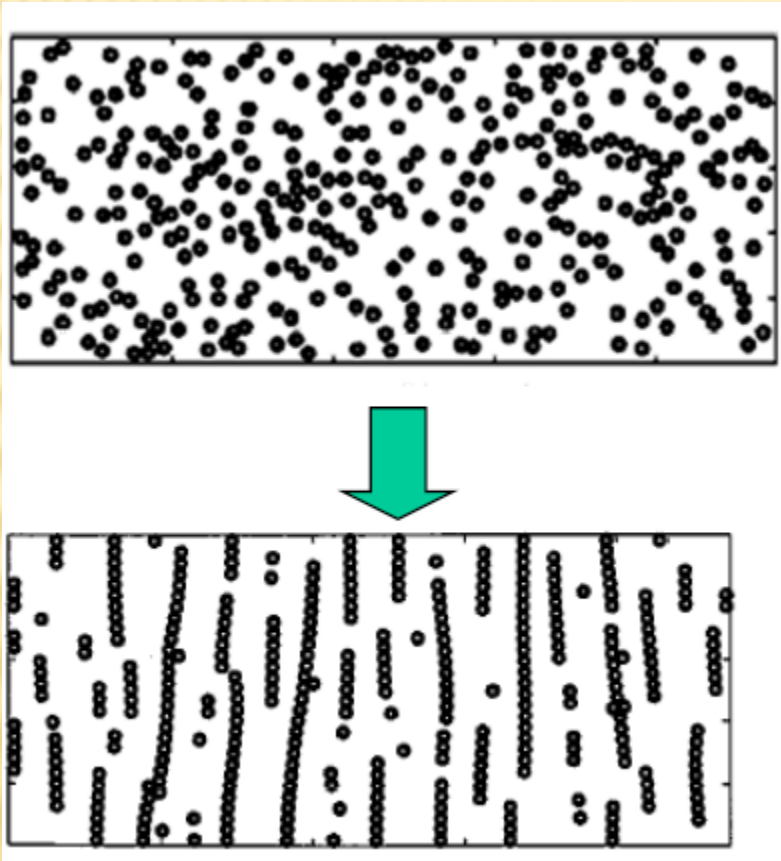


Когато се изложат на магнитно поле, феромагнитните частици придобиват диполен момент ориентиран по приложеното магнитно поле и формират линейни вериги успоредни на силовите линии на полето.

Компоненти на магнитореологичния флуид



Компоненти на магнитореологичния флуид



Най-подходящи се оказват сфери от пречистено желязо 99.95%, които заемат от обема на флуида 20-50%. Високото процентно съдържание променя вискозитета и втвърдява флуида.

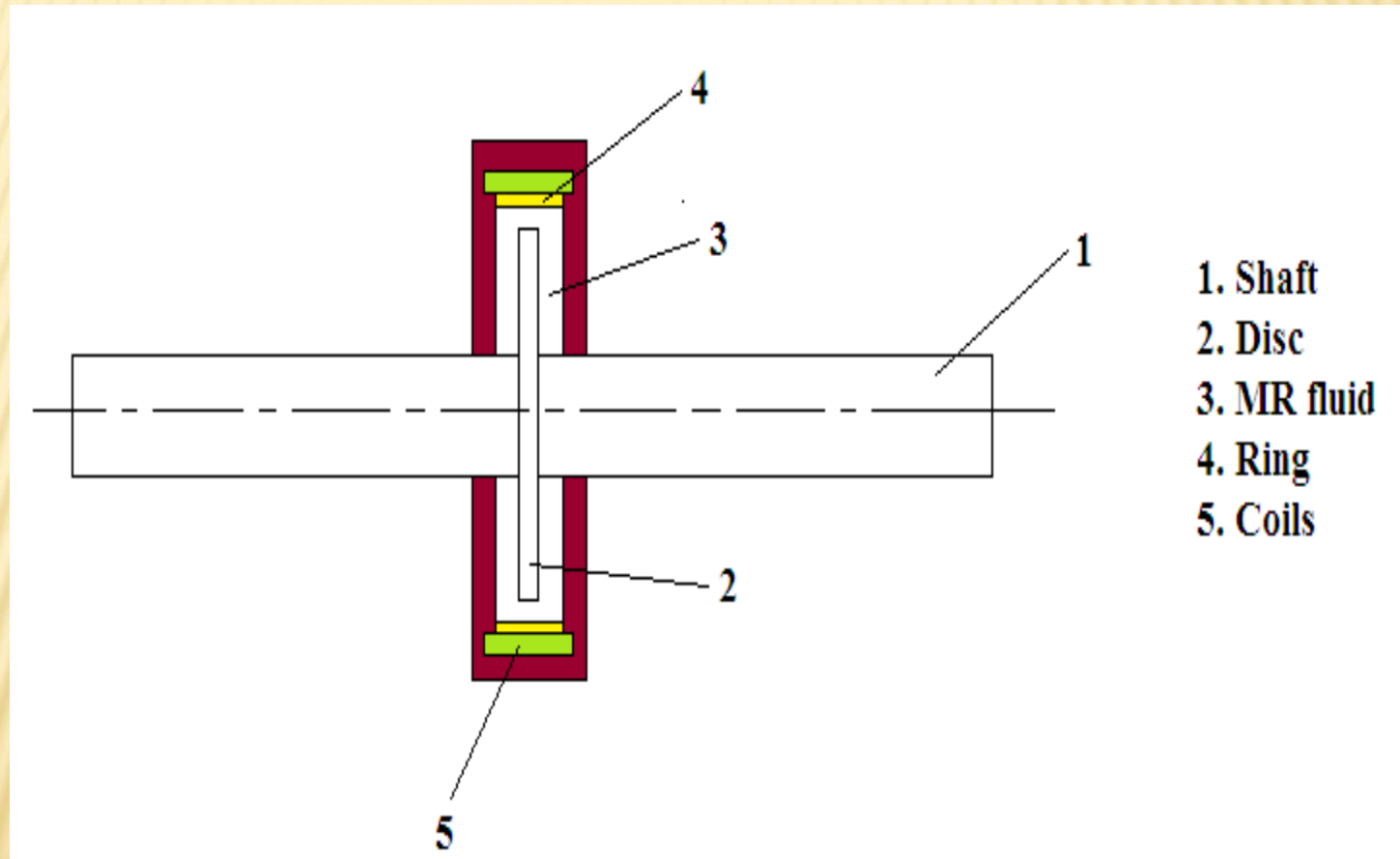
Приложения на магнитореологични флуиди

Два вида устройства:

1. **Неподвижни полюси (управляват налягането на флуида) – серво-клапани, демпфери, гасители на удар (ударни абсорбери)**
2. **С относително подвижни полюси (директно плъзгане или срязване) МРФ е неподвижен, а странични полюси се движат - спирачки, патронници и заключващи устройства. Режим на изцеждане (изстискване) – бавно движение с високи приложни сили.**

Приложения на магнитореологичните флуиди

MP Спирачка



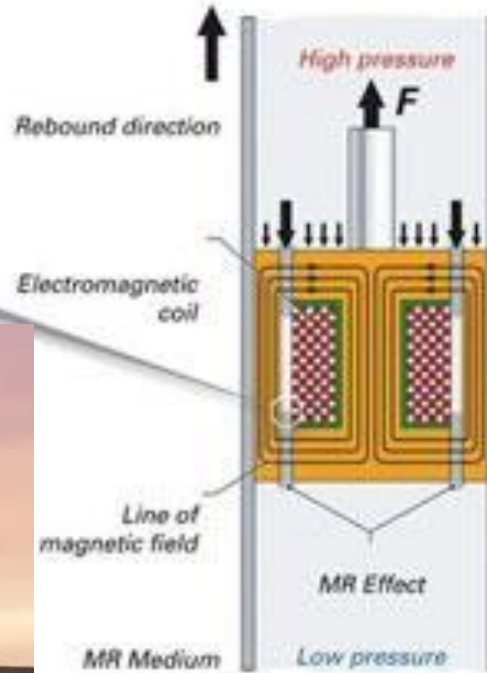
Приложения на магнитореологичните флуиди

MP Спирачка



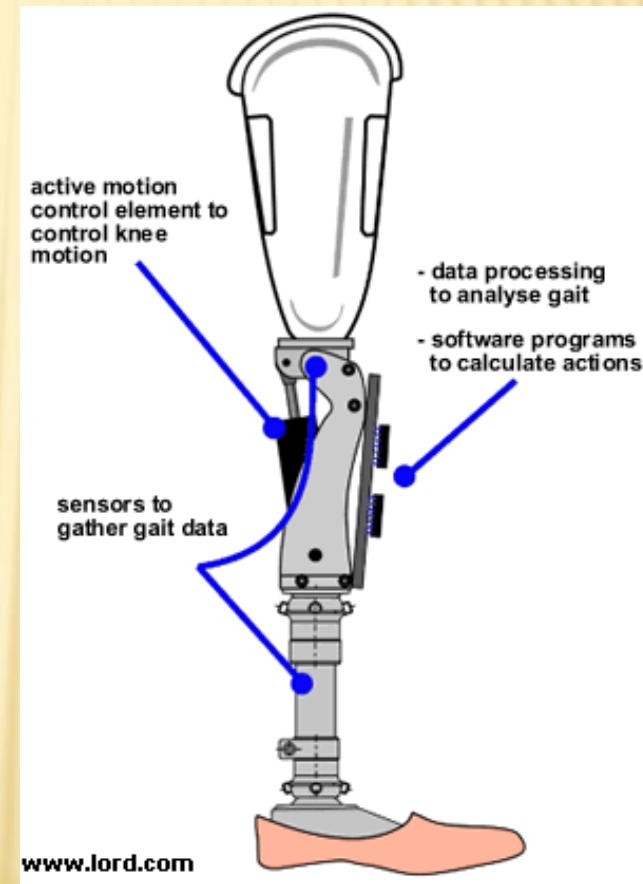
Приложения на магнитоореологичните флуиди

Амортисьор



Приложения на магнитореологичните флуиди

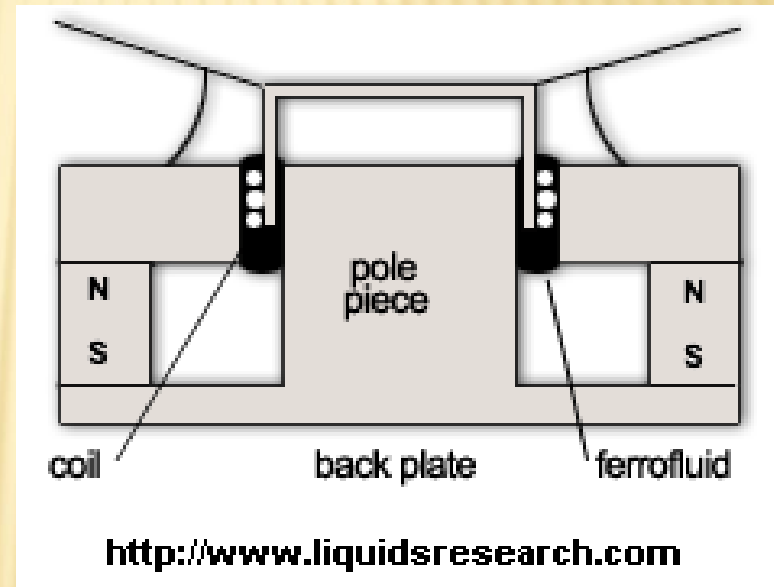
Ортопедична протеза



Елемент за активно управление на движението на коляното.

Приложения на магнитореологичните флуиди

Динамични високоговорители



Електроактивните полимери (ЕАП) проявяват значително изменение на формата или размерите при електрическо възбуждане. [3]. ЕАП се наричат още “изкуствени мускули”, поради поведението им, подобно на биологичните мускули.

По отношение на задвижването спрямо конвенционалните актюатори и другите интелигентни материали те имат превишаващи показатели спрямо: активното преместване; масата; цената; консумираната мощност и характеристиките на умора.

Приложенията на ЕАП включват изкуствени мускули, синтетични крайници и протези в медицината, миниатюрни ръце на роботи, миниатюрни инсетктоподобни роботи, мастилено-струйни принтери и др.

Исторически бележки

- Roentgen [1880] извършва първи експеримент с ЕАП като активира електрически гумена лента, за да задвижи конзолна греда с маса окачена на свободния ѝ край.
- Sacerdote [1899] формулира зависимостта на деформациите на полимерите от параметрите на електрическото поле, с което се активират.
- Eguchi [1925] открива електретите и успява да разработи първия ЕАП
 - открива, че палмов восък, колофон и пчелен восък кристализират чрез охлаждане, докато са положени допълнително на постоянно токово поле.
- Друго важно събитие е откритието на Kawai [1969] за значителна пиезоелектрическа активност на PVF2.
 - PVF2 филми се прилагат за сензори, актюатори и високоговорители.
- Въпреки че от ранните 70 години списъкът на нови ЕАП нараства значително, най-голям прогрес в тази област настъпва след 1990 г.

Видове електроактивни полимери (ЕАП)

Електронни ЕАП

- Диелектрични ЕАП
- Електростриктивни присадени еластомери
- Електростриктивна хартия
- Електро-вискоеластични еластомери
- Фероелектрични полимери
- Течни кристални еластомери (LCE)

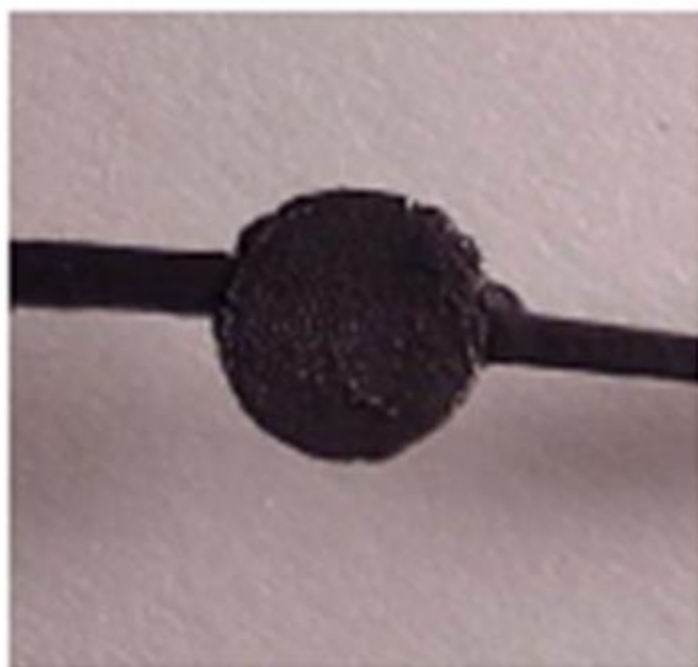
Йонни ЕАП

- Въглеродни нанотръби (CNT)
- Проводящи Полимери (CP)
- Електрореологични флуиди (ЕРФ)
- Йонни полимерни гелове (IPG)
- Йонни полимерни метални композити

Диелектрични ЕАП – задвижват се от сили на Maxwell, които се дължат на електростатичното привличане и предизвикват свиване по направление на дебелината и разтягане в посока перпендикулярна на приложеното поле. Имат нисък модул на надлъжна еластичност от 1 до 10 МПа. Изискват електрическо поле около 150 MV/m. Понеже са диелектрични материали, може да надделее електростриктивния ефект. Високо относително удължение до 50% в напречно и до 100% в надлъжно направление. КПД >30%. Честота до 1 kHz. Изискват високо захранващо напрежение, което може да доведе до късо съединение, поради тази причина максималното механично напрежение не надвишава 1 МПа.



Приложение: задвижвания в роботиката; задвижвания с голям ход имат потенциал да изместят индустриалните технологии, използващи пневматични цилиндри или електромагнитни актюатори. Поради ниските еластични модули на материалите има импедансно съвпадение с въздуха – приложение в диафрагмени помпи и високоговорители,



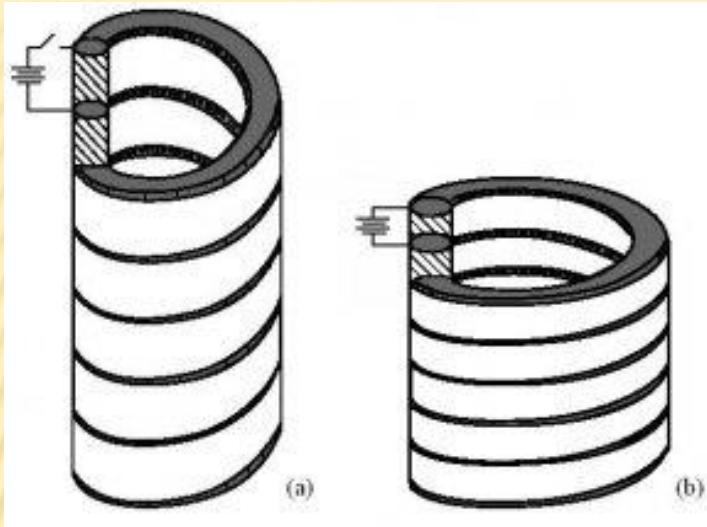
Voltage Off



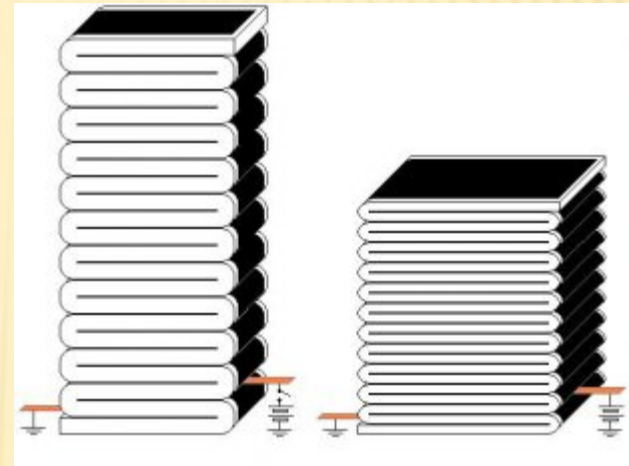
Voltage On

Dielectric EAP

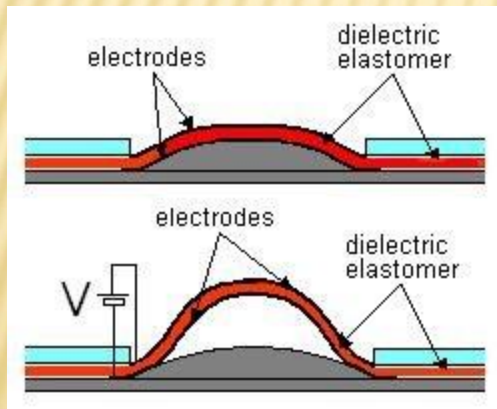
[R. Kornbluh, et al., SRI International]



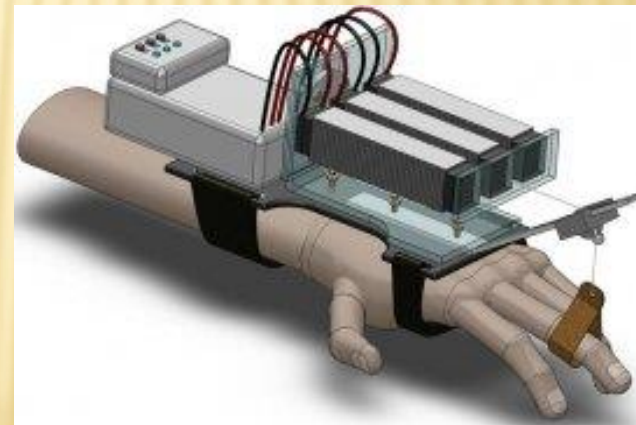
Спирален диелектричен актюатор



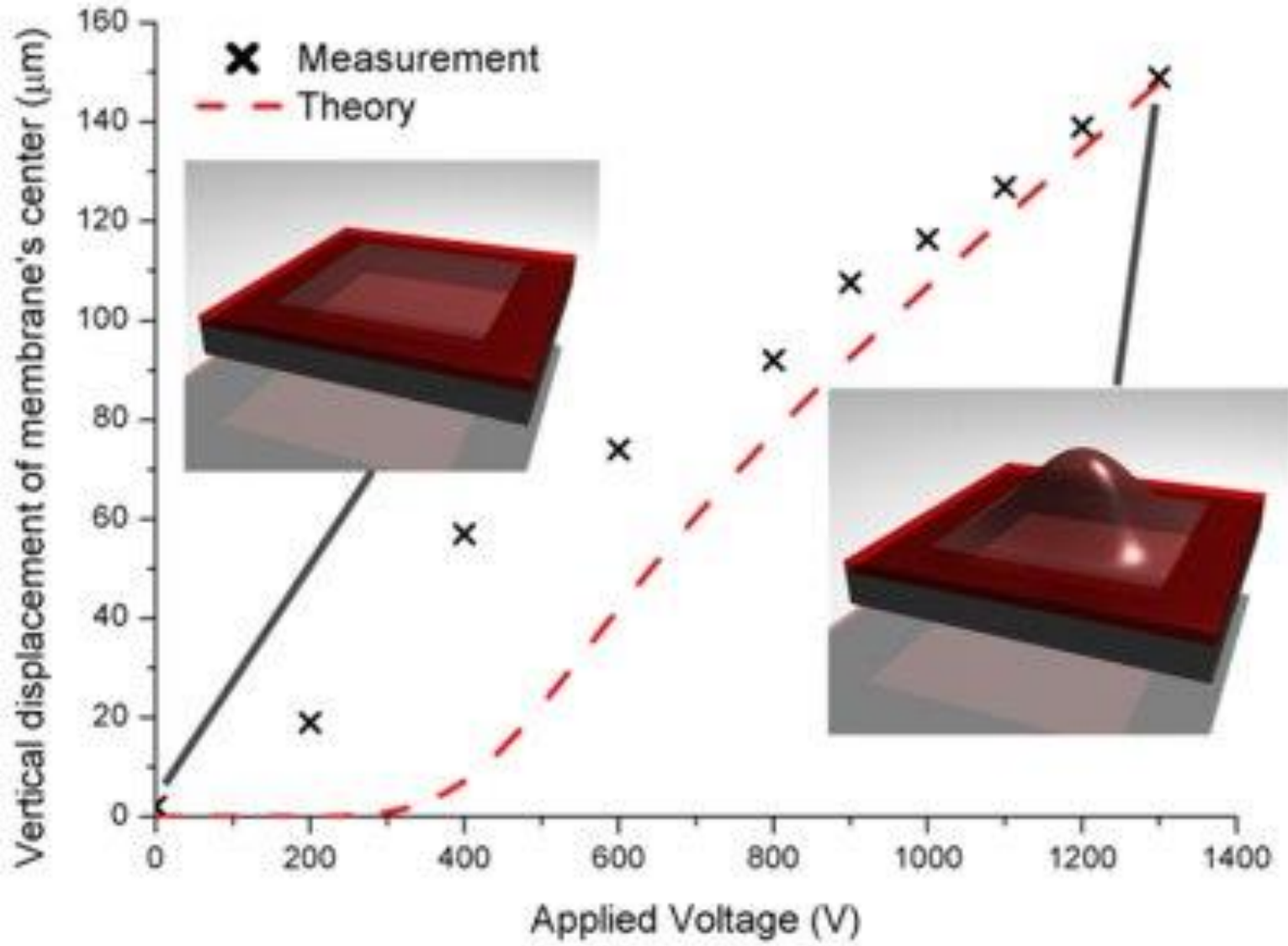
Нагънат диелектричен еластомерен актюатор



Огъващ се диелектричен еластомерен актюатор

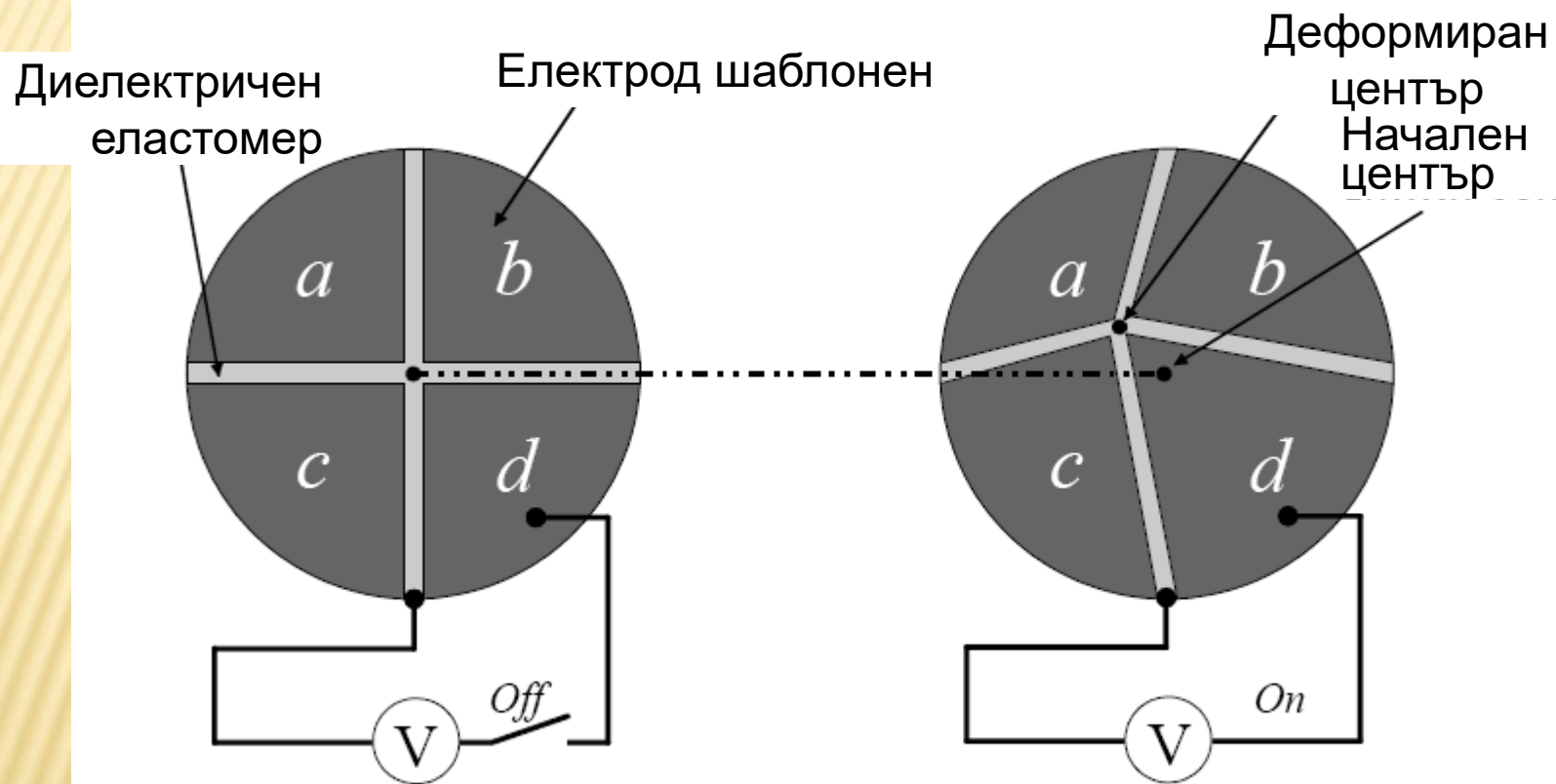


Активна рехабилитационна ортопедична система



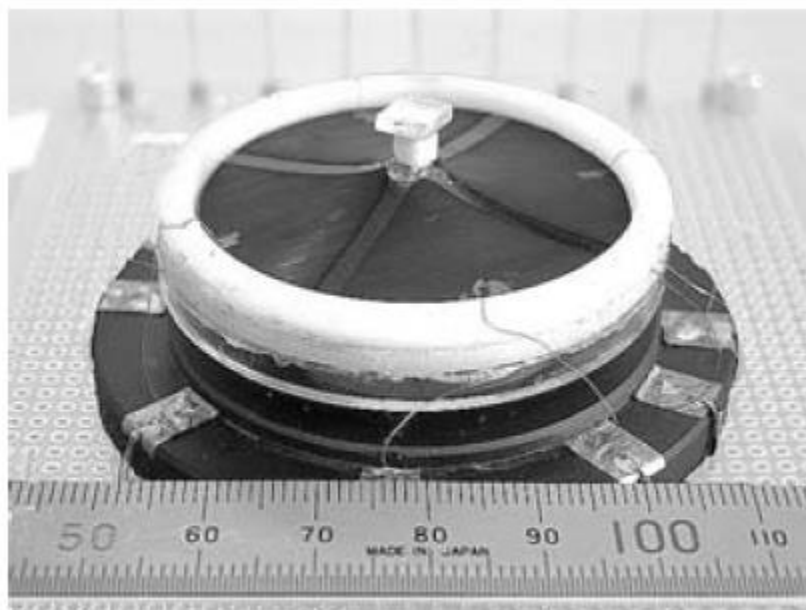
Огъващ се актюатор. Вертикално преместване 25% от диаметъра на устройството, честота 1 kHz, генерира сила 5x от електростатичните с подобни размери, поради по-голямата диелектрична константа. За микроромпи и управляеми антени. (lmts.epfl.ch/page15808.html)

Диелектрични еластомери

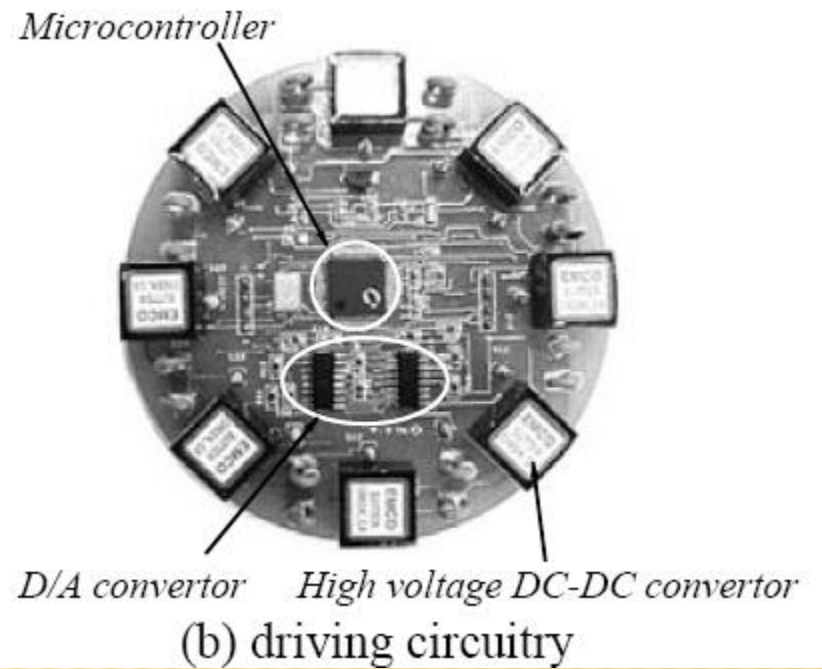


Генериране на движение с много степени на свобода

Диелектричен еластомер



(a) actuator body



Microcontroller
D/A converter *High voltage DC-DC converter*
(b) driving circuitry



MakeAGIF.com

Диелектричен елестомер

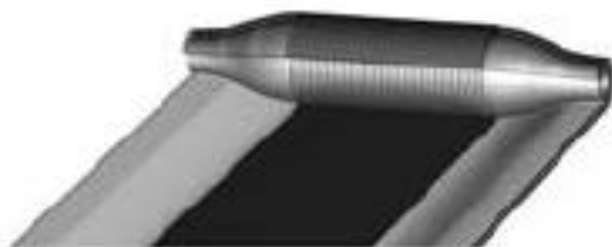
Схема на
цилиндричен
диелектричен
полимерен
актуатор



(a) Relaxed spring



(b) Compressed spring



(c) Rolled actuator



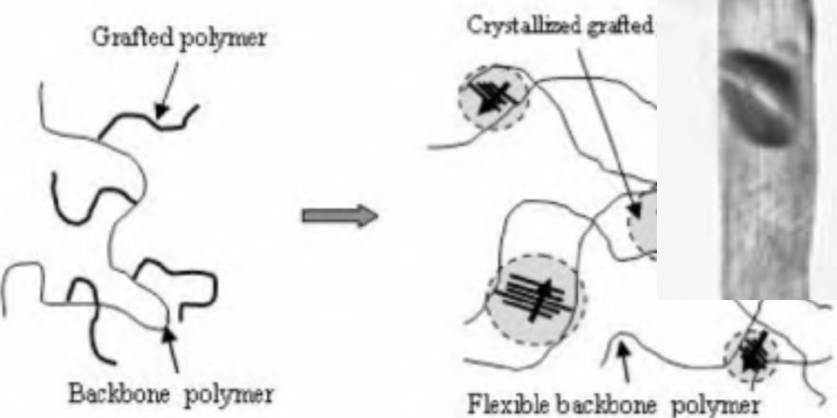
(d) Idle state





Електростриктивни присадени еластомери

NASA Langley Research Center 1999 .Състои се от два компонента: гъвкава макро-молекулярна гръбнаковидна верига и кристализирани странични вериги прикрепени към гръбнака (присадки)

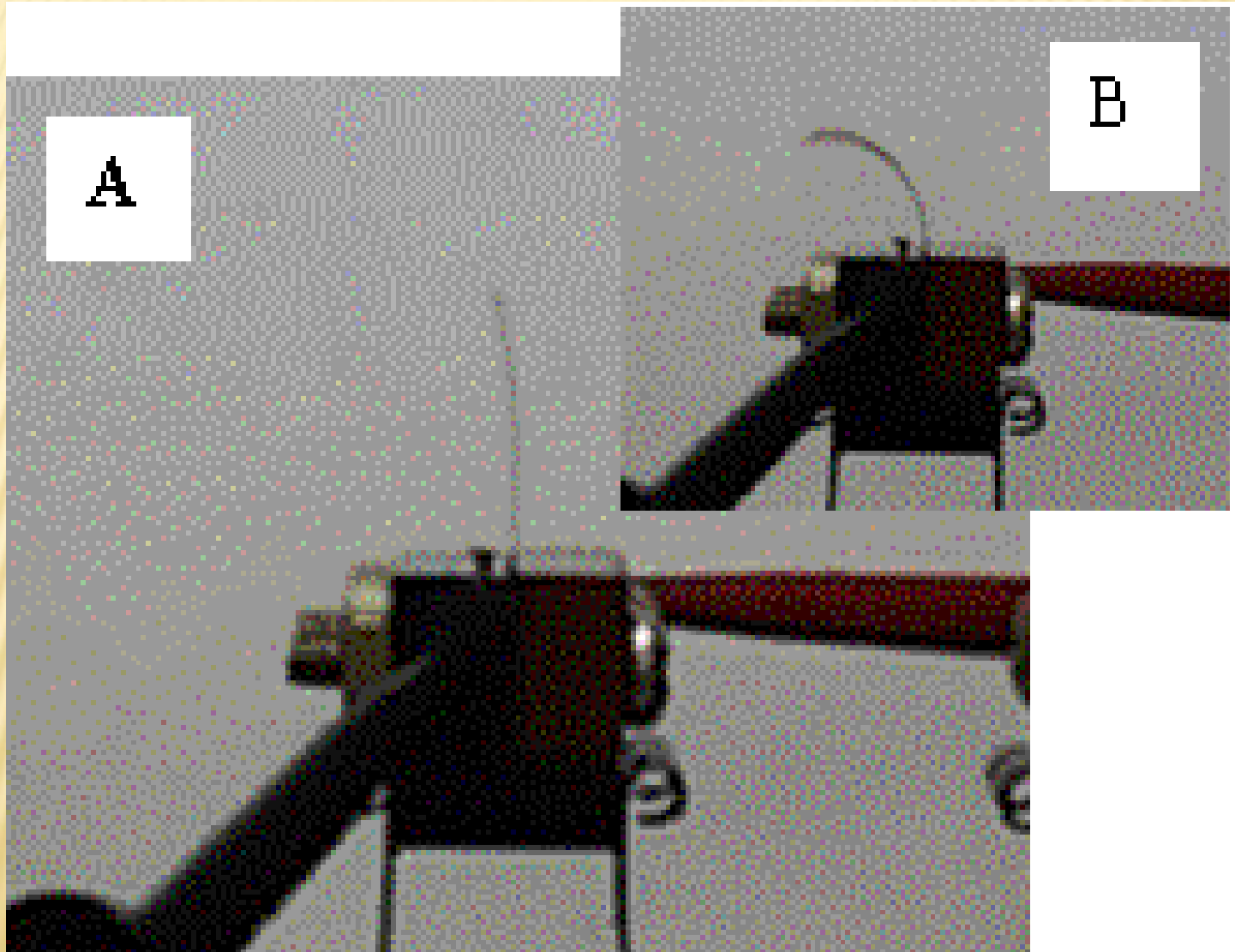


Присадките могат да кристализират и формират физически кръстосано свързани места за три-дименсионна еластомерна мрежа и да генерират реагиращи на електрическо поле поляризирани кристални домени. Поведението е близко до това на електростриктивните материали.

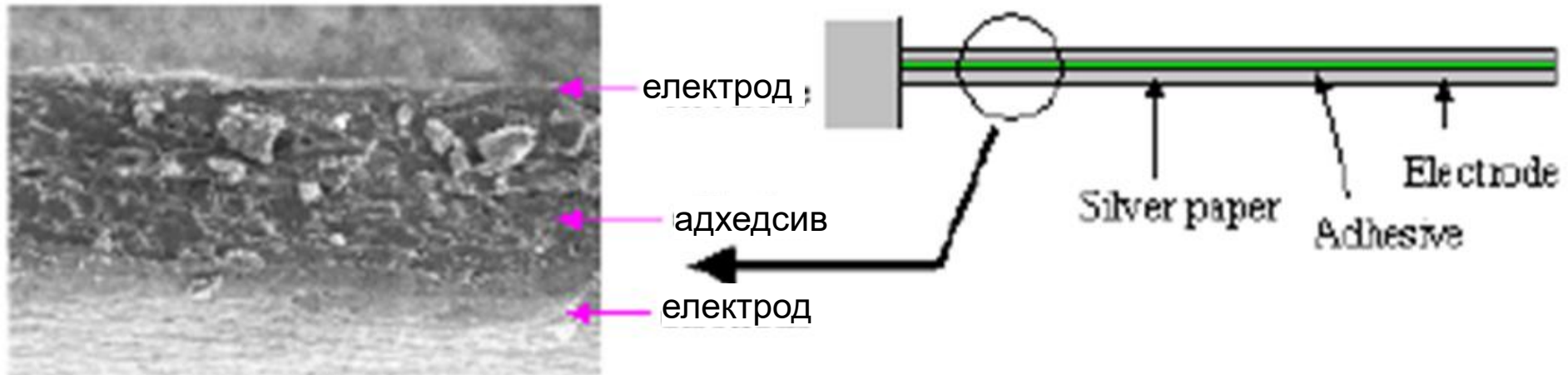
ЕПЕ полимер на SRI дава относително удължение от 20% и 207 КПа (30 psi); Друг полимер относително удължение 3,5 % , активно налягане до 690 КПа (100 psi). Разработени са микро-въздушни летателни средства със задвижване подобно на мускулите на птици [9].

Подходящи са за добиване на енергия от вибрационни източници. Може да се достигне плътност на енергията до $\sim 1 \text{ J/cm}^3$ [10]

Електростриктивни присадени еластомери



Електростриктивна хартия



Paper EAP

[J. Kim, Inha University, Korea]

Свързани са два хартиени слоя ламинирани със сребро. Външните повърхнини са свързани със сребърни електроди. Постига се огъване на структурата при пропускане на ток през електродите. Поведението на задвижването зависи от вида на хартията, възбуждащото напрежение, честотата и вида на адхедзива, свързващ двата слоя хартия. Проста технология за изработване.

Електро-вискоеластични еластомери

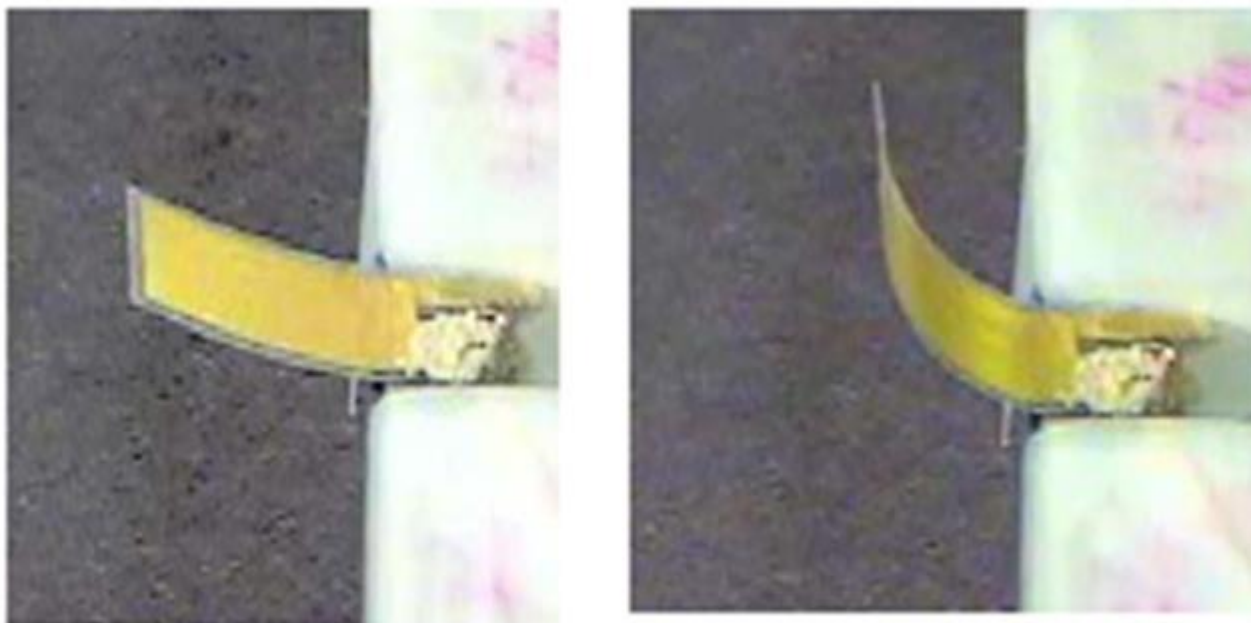


Вискоеластичен означава, че материалът проявява едновременно свойства на течност и на еластично твърдо тяло.

- По-ниска скорост на плъзгане от гума, неопрен, силикон.
- Добър коефициент на демпфериране в широк температурен диапазон.
- Ударна устойчивост за милиони цикли
- Не са нужни пружини за възстановяване на равновесното положение.

Седалка с подплънка от вискоеластичен полимер. Полимерът намалява динамичното въздействие на удара и спомага за снижаване на затоплянето на шофьора. Прилича на пяна, но е по-тежък и плътен полимер.

Фероелектрични полимери



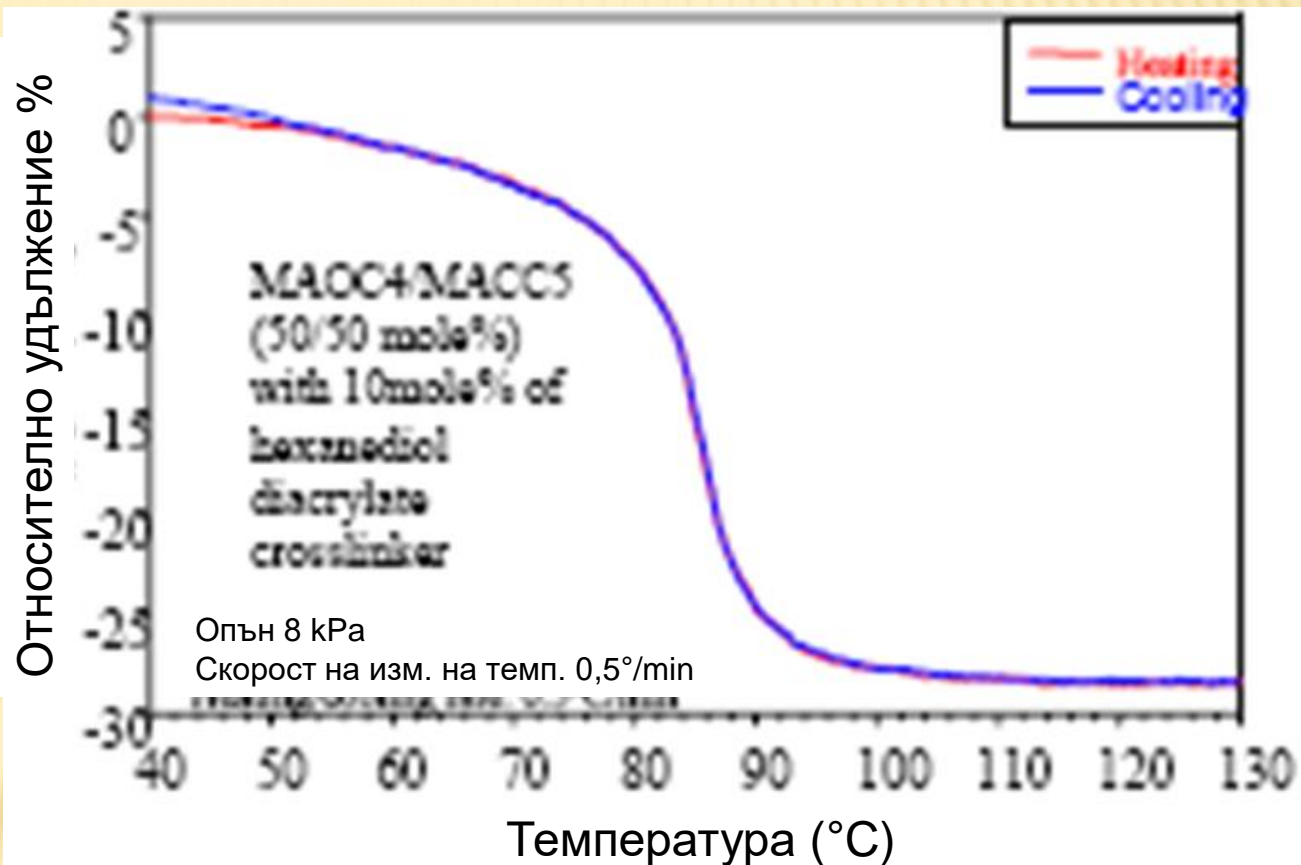
Ferroelectric

[Q. Zhang, Penn State U.]

В материала настъпва поляризация и промяна на размерите вследствие на влиянието на магнитно поле. Използват се филми от PVDF и техни кополимери като P(VDF-TrFE).

Течни кристални еластомери

Електрически се активират чрез загряване. Монодомейн течен кристален еластомер с успоредни на магнитно поле оси с проводящ полимер разпределен в мрежова структура. Промените в пренарежданията се дължат на фазови изменения, индуцирани от електростатична или топлинна енергия. Оригиналната форма се възвръща чрез охлаждане за около 10 с. Притежават пиезоелектрични свойства, но се произвеждат по-лесно - не е нужно поляризиране.

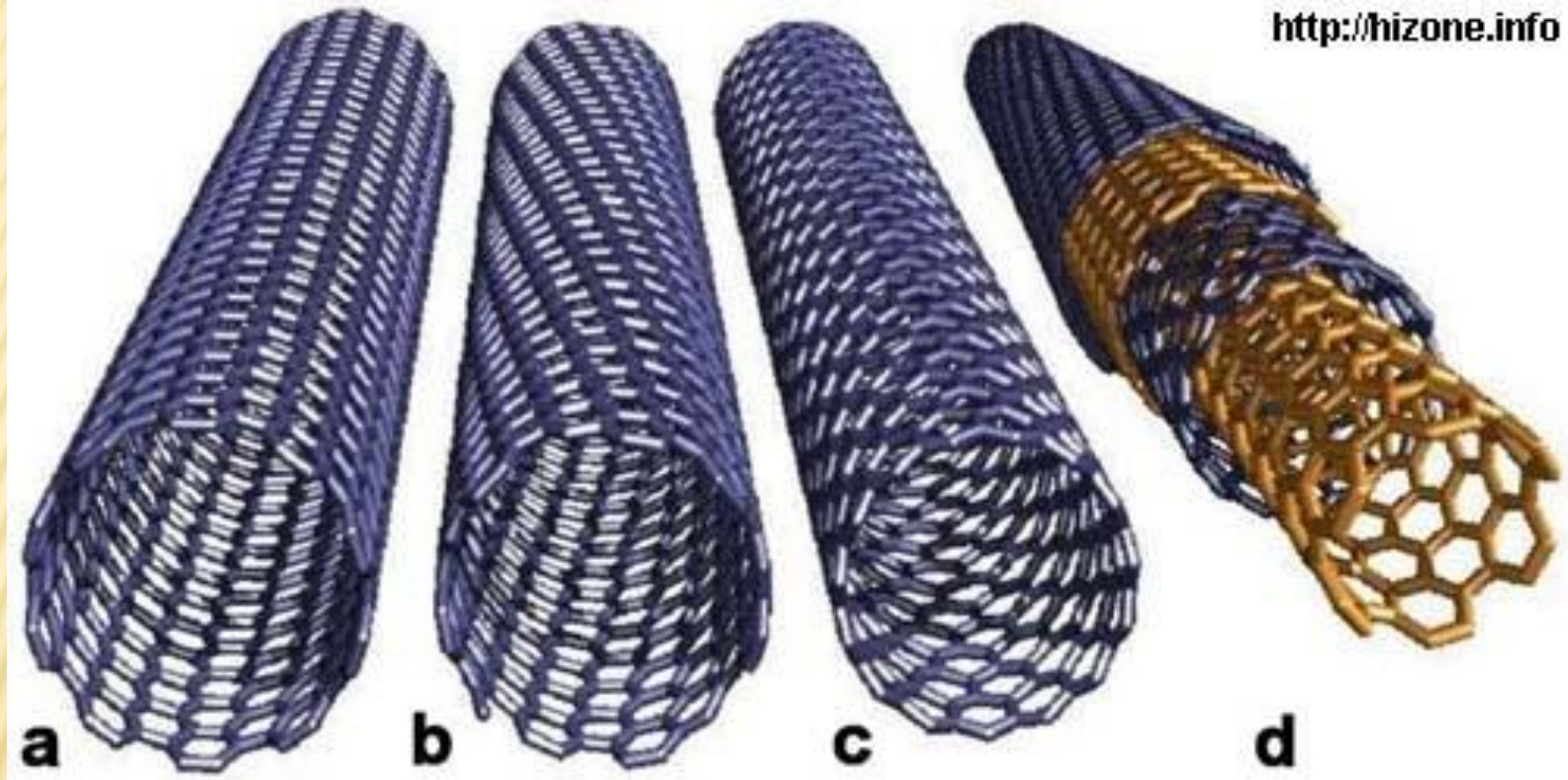


Liquid crystals

(Piezoelectric and thermo-mechanic)

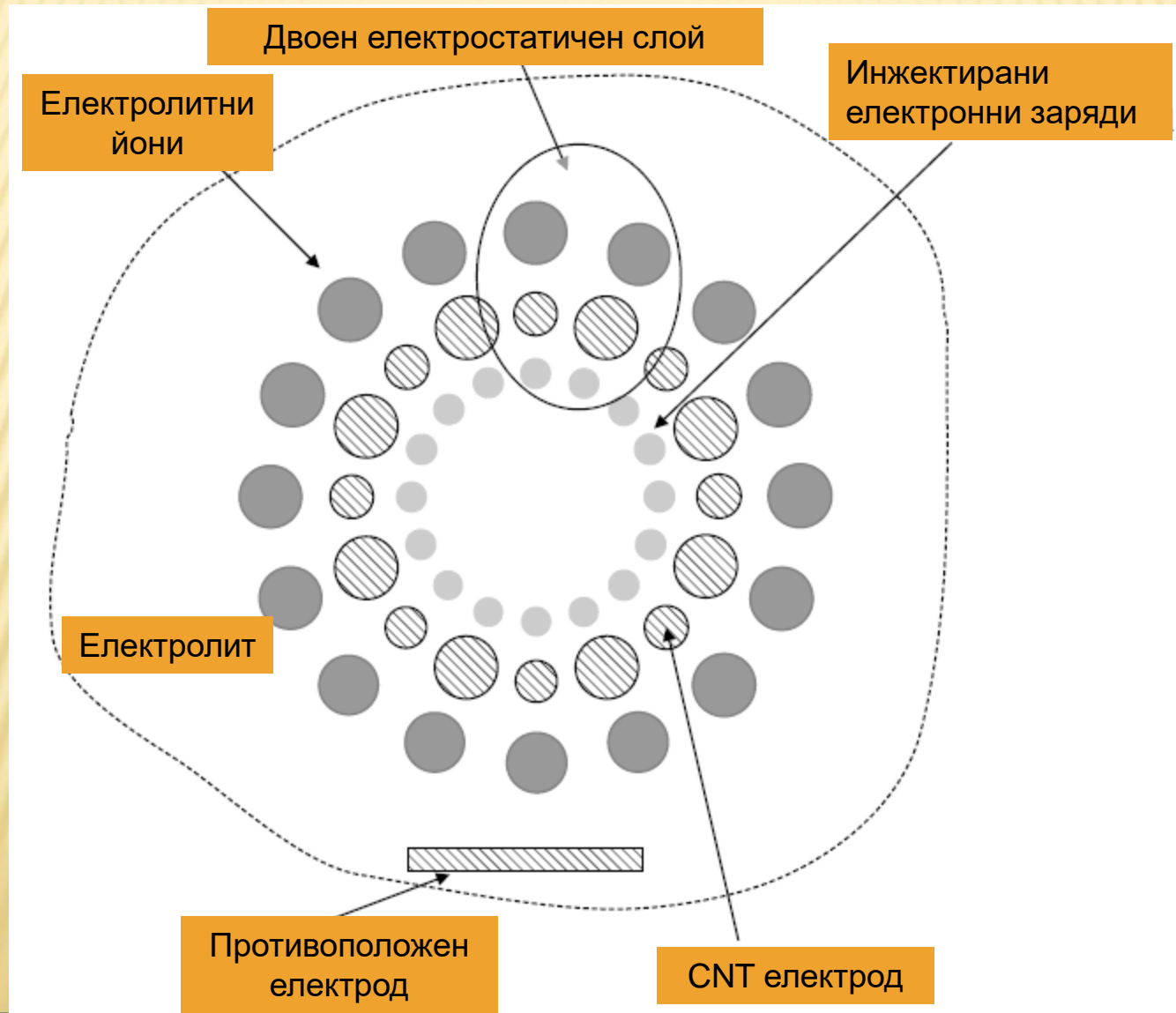
[B. R. Ratna, NRL]

Въглеродни нанотръби (CNT)



Въглерод с хексагонална структура. Нишки с дебелина няколко nm и дължина няколко μm (50-100 пъти по-тънки от човешкия косъм). При радиус $< 5 \text{ nm}$ $E = 1 \text{ TPa}$. 50-100 пъти по-висока якост от стоманата и 6 пъти по-ниска плътност.

Принципът на действие като актуатори се базира на употребата на КНТ структури като електроди в супер кондензаторите. CNT структурата е с форма на лист хартия. Квантов механичен ефект – увеличаване на CNT при инжектиране на електрони или свиване при инжектиране на дупки. Електростатичен двуслоен ефект – увеличаване.

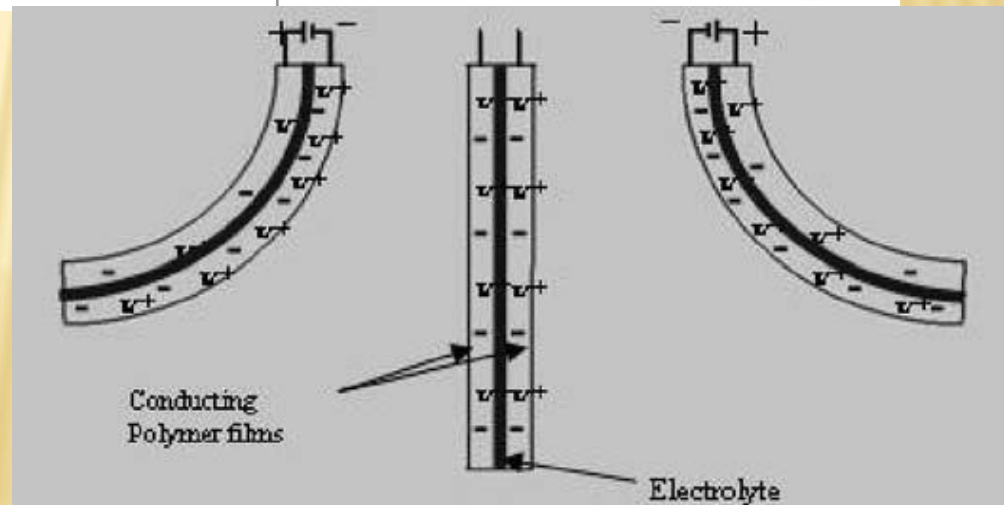
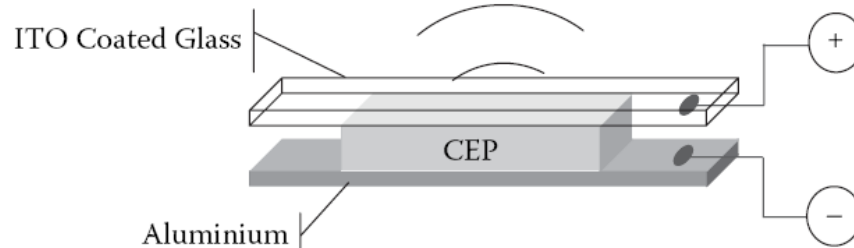
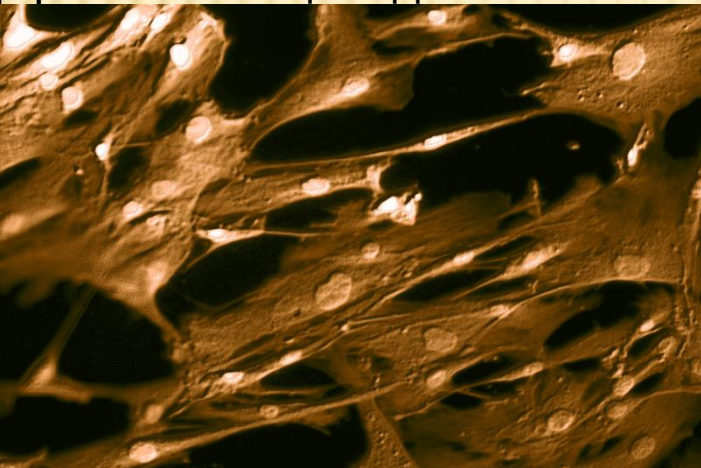


Проводящи Полимери (СР)

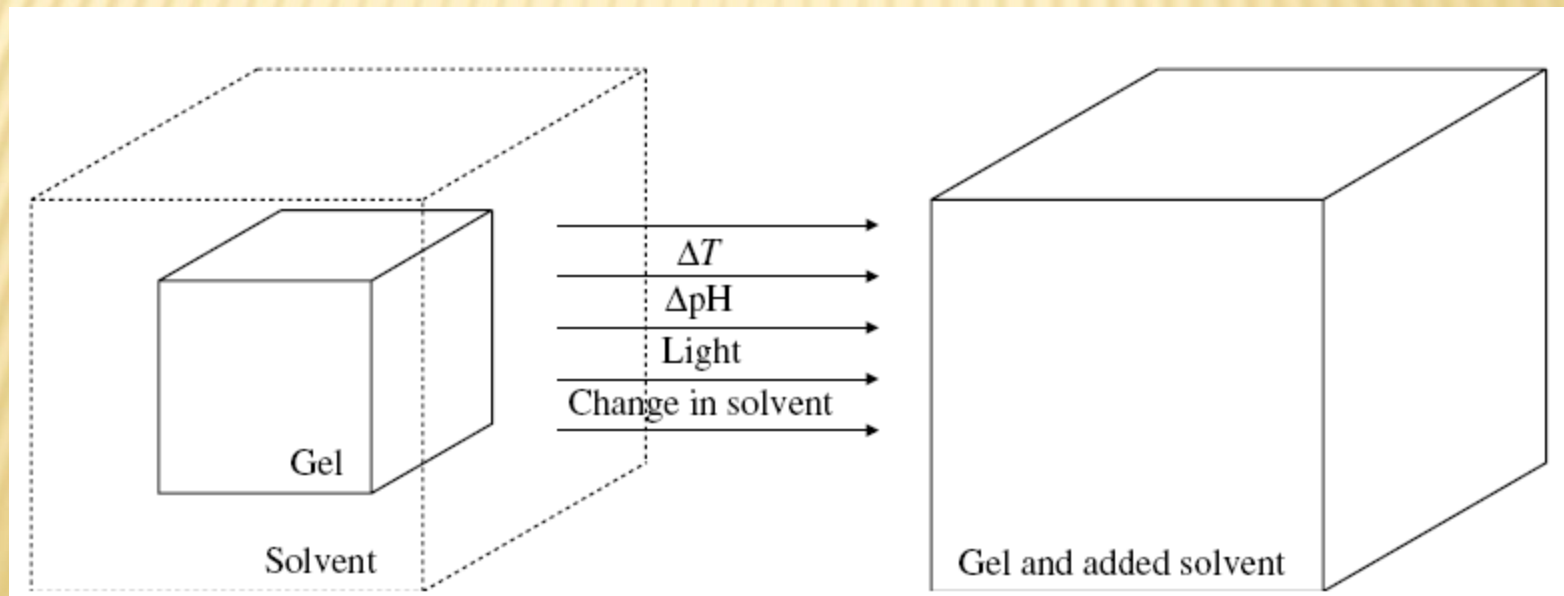
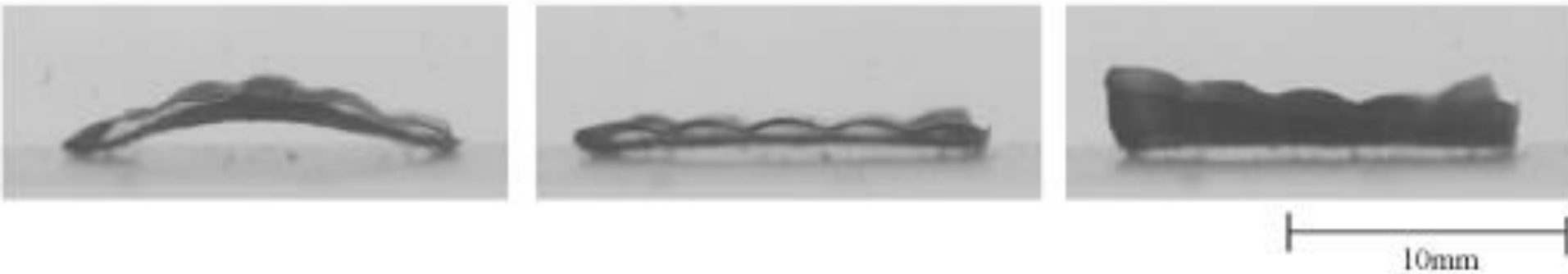
В MEMS намират приложения полимерите Polypyrrole, (PPy), polyaniline (PANI), polythiophene (PTh), poly paraphenylene vinylene (PPV).

Използват се за сензори и задвижвания. Пример - сензор за влажност от потопени в polyaniline платинени нишки.

В микрофлуидните MEMS СР имат съвместимост с мокри среди. Разработени са микропомпи на основата на СР. Диафрагма от Polypyrrole осигурява в микропомпа преместване от няколкостотин микрометра [7]. Робот с мускули на лакътя, китката и пръстите демонстрира, хващане, пускане на сфера [8]. Други приложения - фотоволтаици и дисплеи.



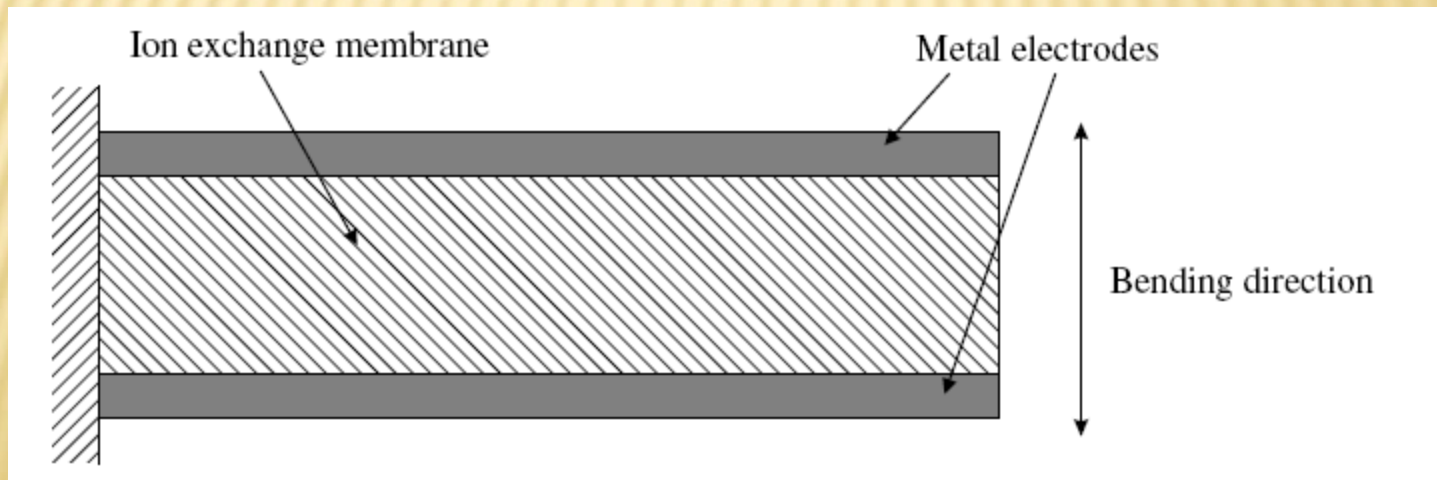
Йонни полимерни гелове (IPG)



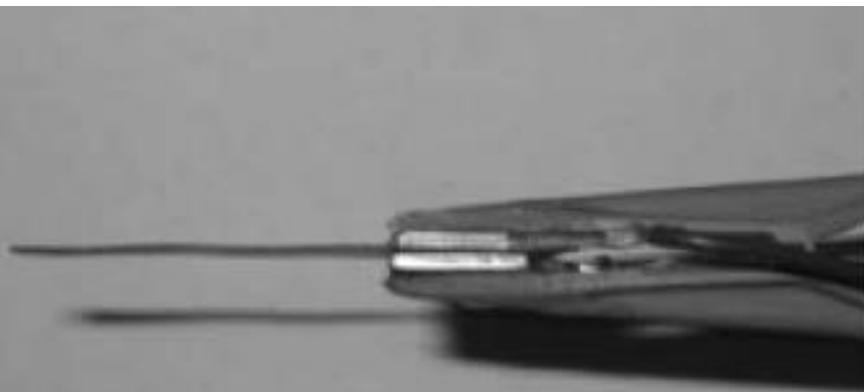
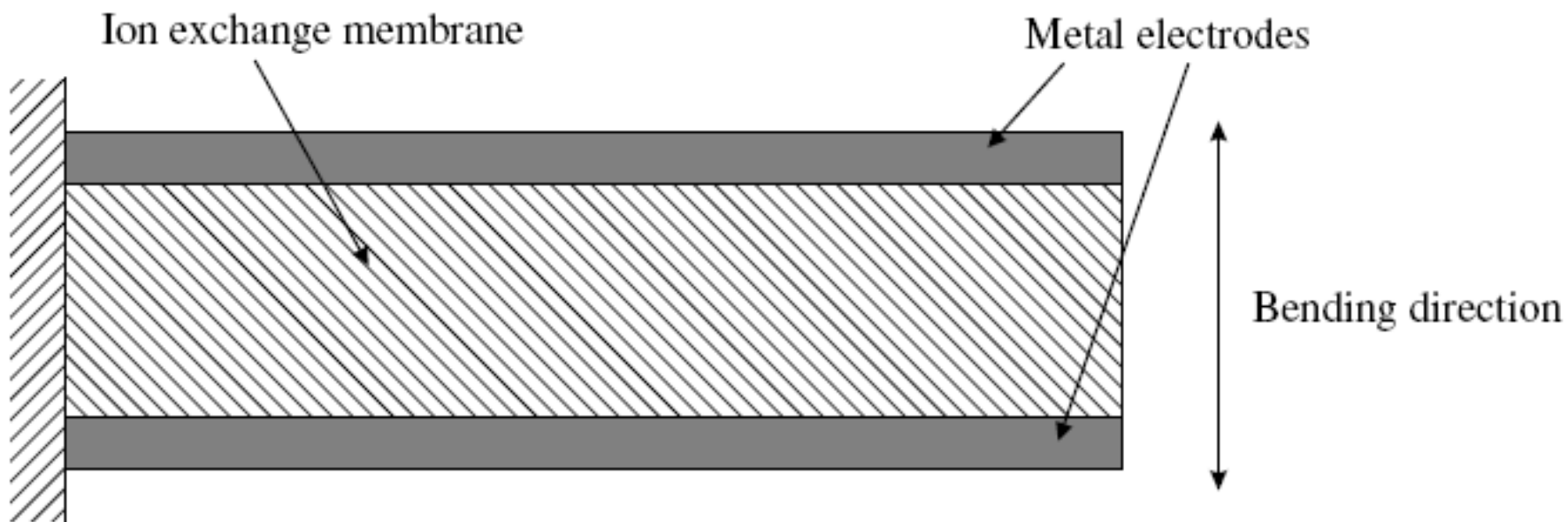
Полимерен гел	Въздействие	Време за реакция	Действие
Poly(acrylic Acid), PAA	pH	≈40 s	Прекъснато
Poly(vinyl alcohol), PVA–Poly(acrylic Acid), PAA	pH	Slow	–
Poly(acrylonitrile), PAN–Poly(pyrrole), PPY	pH	Slow	–
N-isopropylacrylamide, NIPA	Temperature	Thermally limited	Прекъснато
Poly(vinyl methyl ether), PVME	Temperature	≈1 s	–
Poly(acrylamide), PAM	Electric field	≈0.1 s	–
Poly(vinyl alcohol), PVA	Electric field	≈0.1 s	–
Poly(acrylamide), PAM	Solvent (Sodium Acrylate)	Slow	–
Poly(vinyl alcohol), PVA	Solvent (Water–Acetone)	Slow	–
Poly(acrylamide), PAM	Solvent (Water–Acetone)	Slow	–
N-isopropylacrylamide, NIPA	Visible light	Thermally limited	Прекъснато

Йонни полимерни метални композити

- йонно-обменни мембрани налични са при следните производители: Nafion (DuPont), Aciplex (Asahi Chemical) and Flemion (Asahi Glass).
- IPMC актюаторите се произвеждат и поддържат лесно.
- Задвижват се с ниско напрежение обикновено 1 V и може да се активират със стандартни захранващи източници.
- Те са механично стабилни и може да се използват като сензори.

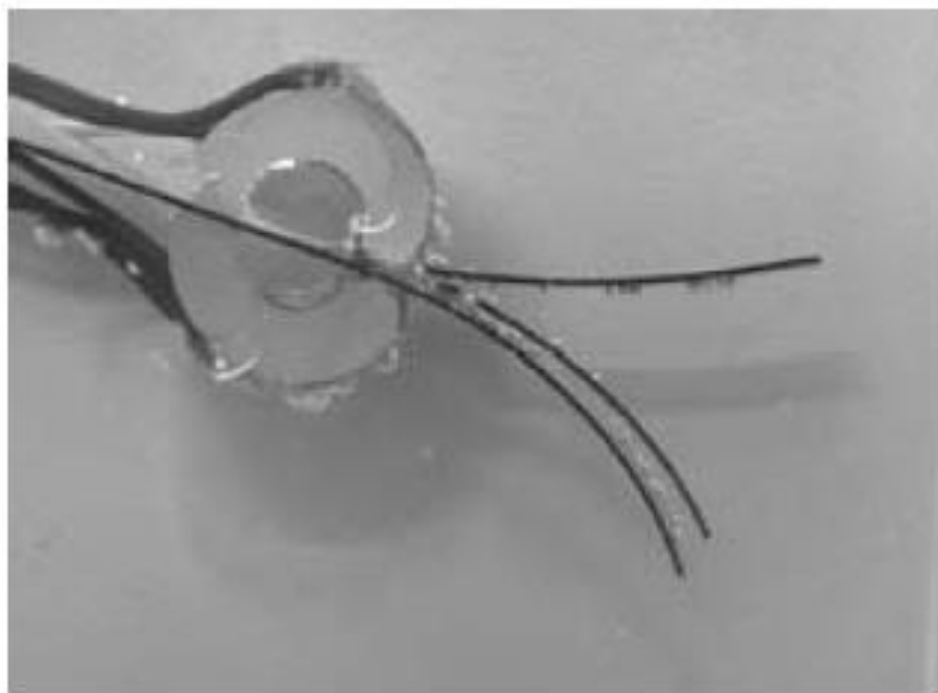


Ionic Polymer-Metal Composite (IPMC)



IPMCs може да извършват големи огъвания при ниски електрически напрежения (~ 10 kV/m) приложени през метализирана проводима повърхност.

Ionic Polymer-Metal Composite (IPMC)



Хващач в отворено и работно положение

Ionic Polymer-Metal Composite (IPMC)

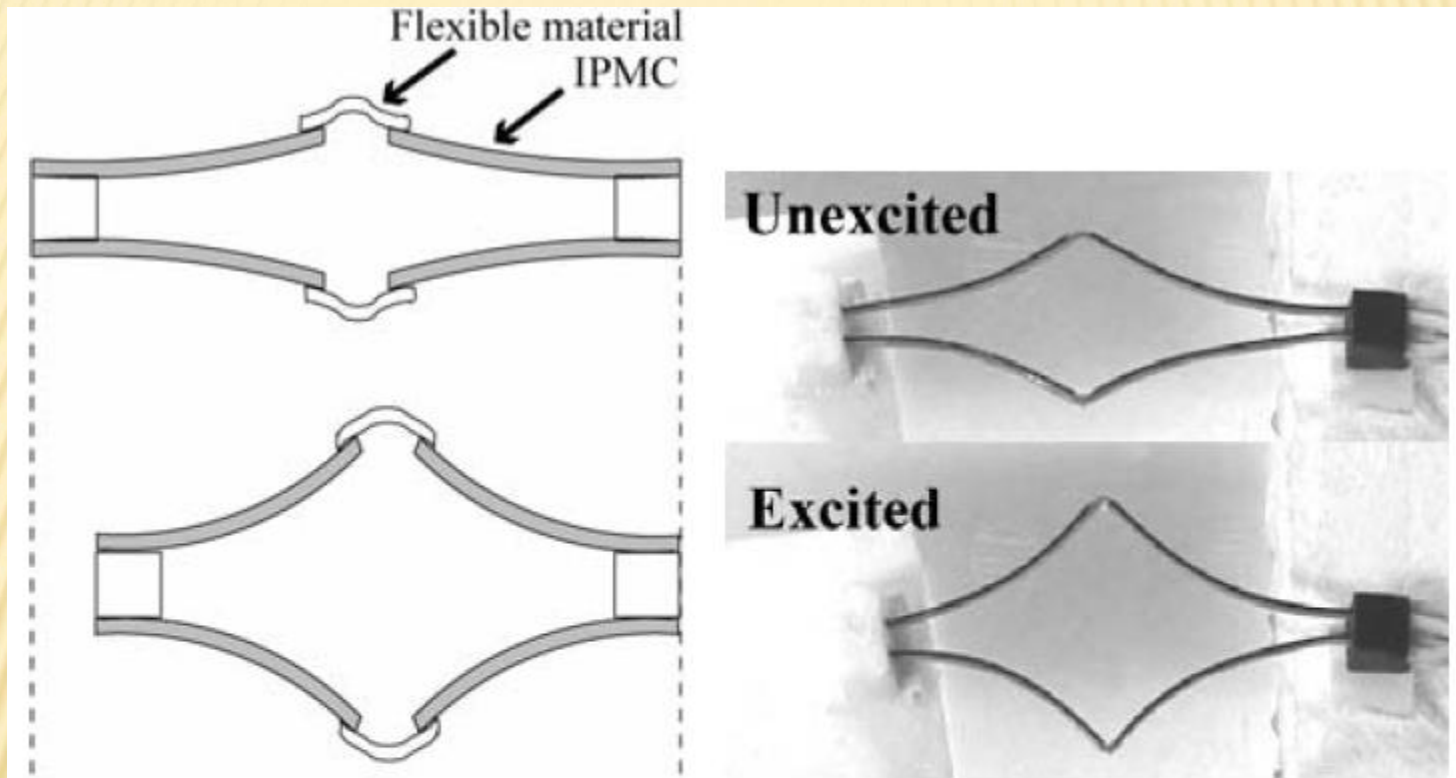
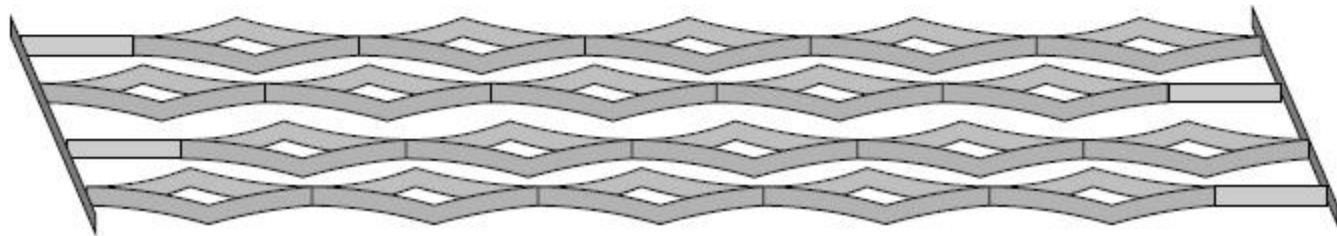
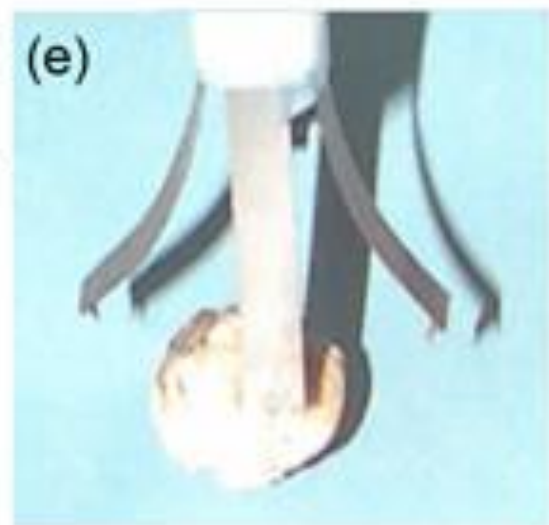
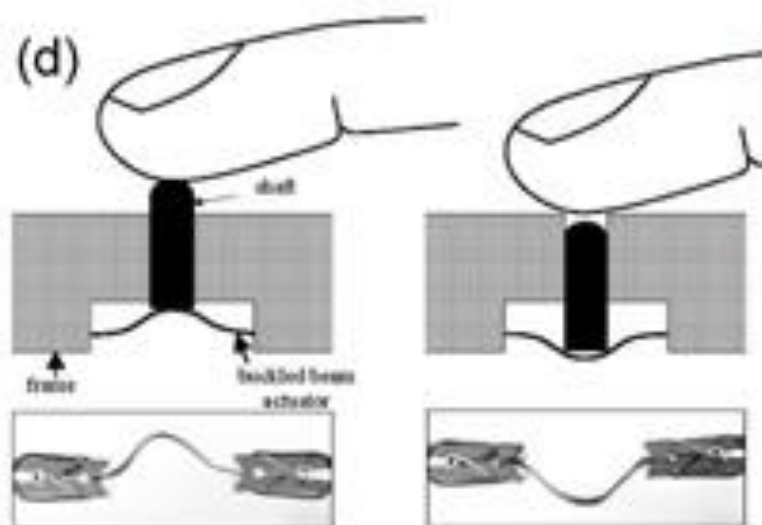
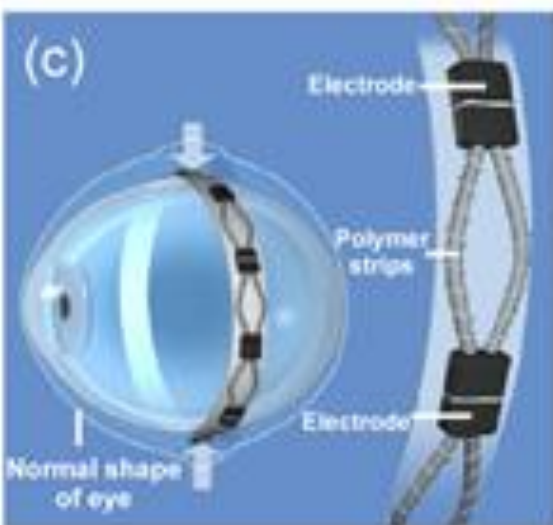
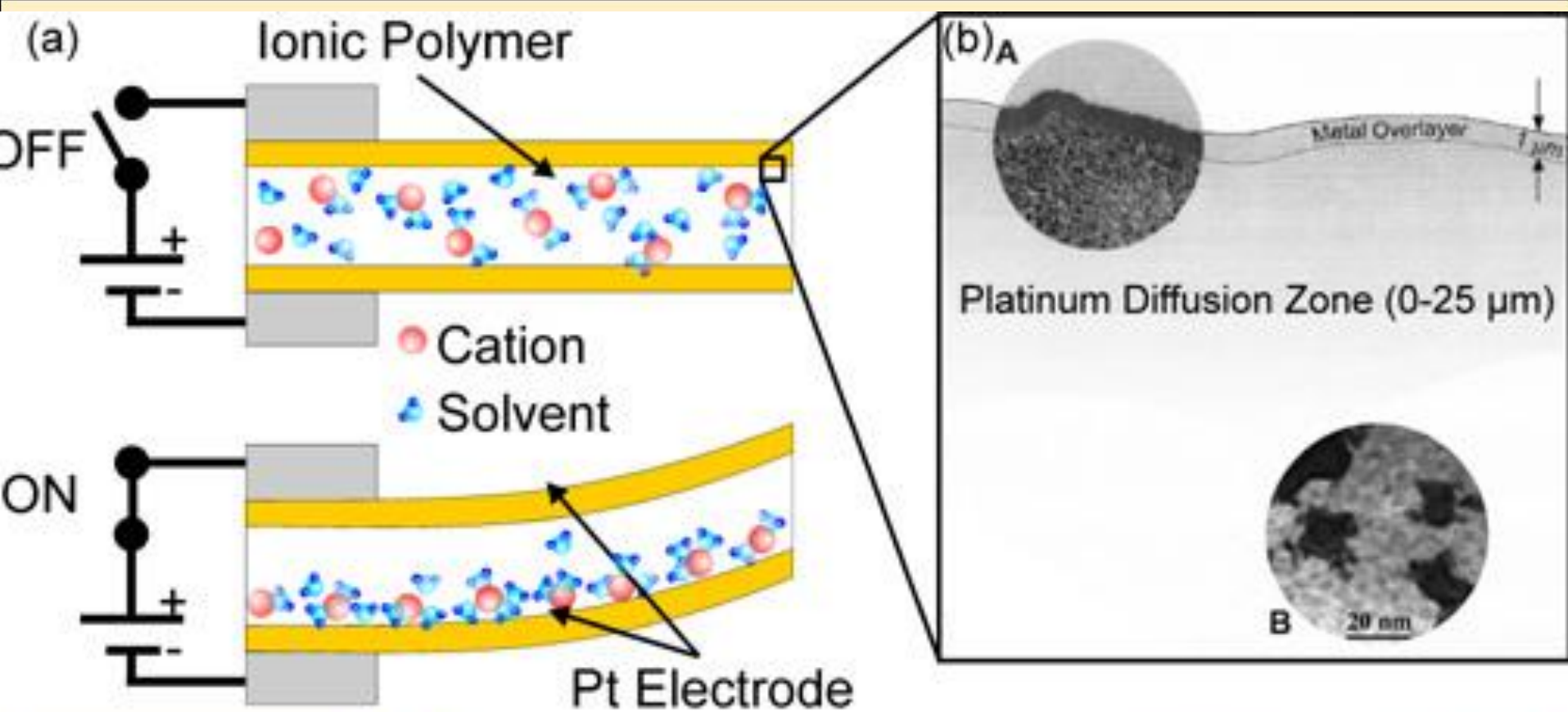


Figure 8.1. Structure of IPMC actuator







Current EAP



EAP тип	Предимства	Недостатъци
Електронни EAP	<p>Могат да работят в стабилни условия за дълъг период от време</p> <p>Бърза реакция (ms)</p> <p>Не задържат удължението под DC активиране</p> <p>Относително високи активни сили</p>	<p>Изискват високи напрежения (~150V/μm).</p> <p>Налага компромис между удължение и механично напрежение</p> <p>Температурата на втвърдяване не е подходяща за задвижване при ниски температури.</p>
Йонни EAP	<p>Големи огъващи премествания</p> <p>Предимно огъващи задвижвания (може да се преобразуват в линейни)</p> <p>Изискват ниско напрежение</p>	<p>Не задържат удължение при DC*</p> <p>Бавна реакция (части от секундата)</p> <p>Създават относително ниски активни сили</p> <p>Материалите трудно се произвеждат</p> <p>Във водни системи материалите се хидролизират при $>1,23\text{ V}$</p> <p>* Не се отнася за CP</p>

Ionic EAP

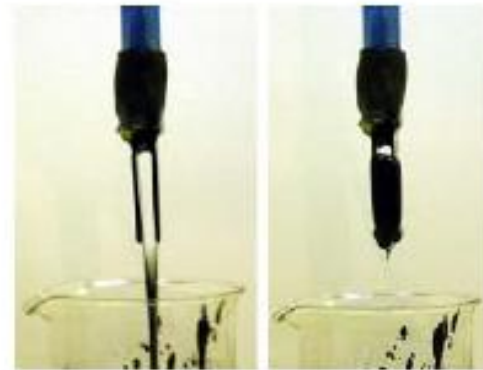


Turning chemistry to actuation



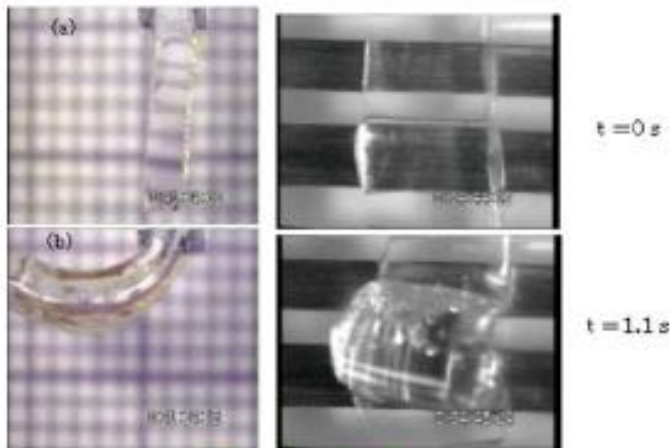
IPMC

[JPL using ONRI, Japan & UNM materials]



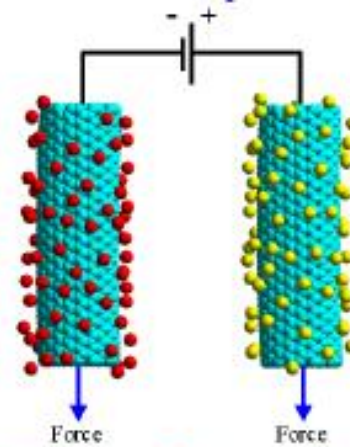
ElectroRheological Fluids (ERF)

[ER Fluids Developments Ltd]



Ionic Gel

[T. Hirai, Shinshu University, Japan]



Carbon-Nanotubes

[R. Baughman et al, Honeywell, et al]

Вид ЕАП		Механизъм на задвижване	Материал	Производител	Задвижващо напрежение	Време за реакция	Работни условия
Йонни ЕАП	Проводящи полимери (ПП)	Електрохимичен процес: чрез вмъкване на реверсивен насрещен йон и изчистване на появяващото се по време на оксидирането	Polipyrrolle (Ppy) Polyaniline (PA)	Лаб.	1-5 V	Бавно	Влага, някои работят във въздух
	Йонометричен полимер-метал композит (IPMC)	Транспортиране на йони през полимерната мрежа между два електрода	Nafion, Flemion	Dupont, Asahi Glass Co., Лаб.	1–10 V	Бавно	Влага, въздух
	Йонно полимерни гелове	Дифузия на йони през полимерен гел	Polyvinilalcohol (PVA), Polyacrilic acid (PAA)	Налични на пазара, лаб.	<10V	Бавно	Водна

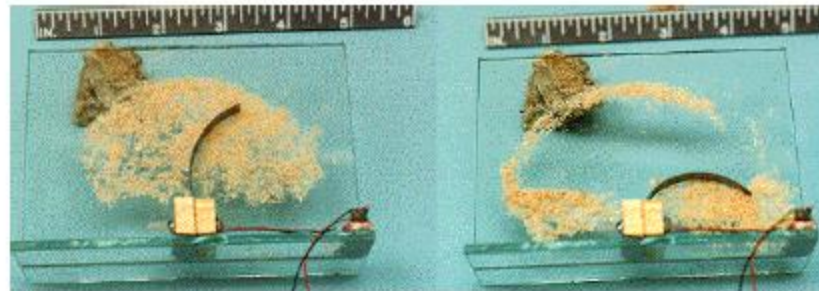
Вид ЕАП		Механизъм на задвижване	Материал	Производител	Задвижващо напрежение	Време за реакция	Работни условия
Електрични ЕАП	Фероелектрични полимери	Пиезоелектричност	Polyvinilidene fluoride (PVDF-TrFE)	Налични на пазара, Лаб.	>1kV	Бързо	въздух, влага, вакуум
	Диелектрични полимери	Електростатично индуцирано удължение	Силиконови еластомери	Dow, Nusil, Technic. Lab.	>4kV	Бързо	въздух
			Acrylic elastomer	3M	>3kV	средно	Въздух
			Polyurethane (PU)	Deerfield	>3kV	бързо	Въздух
			Polybutadiene (PBD)	Adric	>3kV	бързо	Въздух



Considered planetary applications

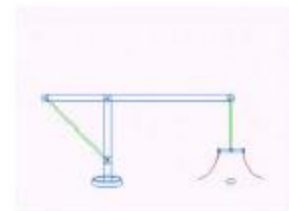
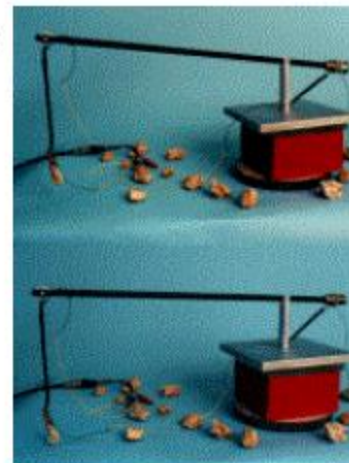
Dust wiper

Bending EAP is used as a surface wiper



Sample handling robotics

Extending EAP lowers a robotic arm, while bending EAP fingers operate as a gripper



Comparison between EAP and widely used transducing actuators

Свойство	EAP	EAC	SMA
Акт. удължение	>10%	0.1 - 0.3 %	<8% short fatigue life
Налягане MPa	0.1 – 3	30-40	about 700
Реакция	μsec to sec	μsec to sec	sec to min
Плътност	1- 2.5 g/cc	6-8 g/cc	5 - 6 g/cc
Задвижващо напрежение	2-7V/ 10-100V/ μm	50 - 800 V	NA
Конс. мощност	m-watts	watts	watts
Чупливост	resilient, elastic	fragile	elastic

* Note: Power values are compared for documented devices driven by such actuators.

Приложение на проводящи електроактивни полимери (ПАЕП) за сензор за повърхностно разпределено налягане[2].

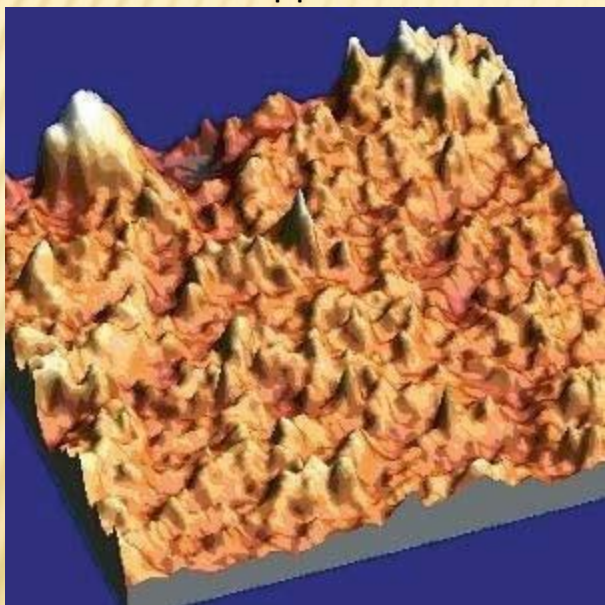
Използват се два слоя ПАЕП тънък филм нанесен върху пластмасова основа.

Грапавостта на микроскопично ниво способства за намаляване на съпротивлението, когато се упражни налягане. Предимство на технологията за големи повърхнини – автомобилни “интелигентни седалки”.

-Леки пластмасови листове

-Ниска цена на сензорите, което ги прави приложими в автомобилната индустрия

-Структурата на сензора позволява да се интегрира в гъвкава конструкция като автомобилна седалка



Наноразмерен тънък проводящ филм от PEDOT (Poly3,4-ethylenedioxythiophene) нанесен върху пластмасова основа



4 x 4 масив от сензорни елементи върху площ 1 cm² разположени по цялото устройство

Важна част от системата за сигурност се основа на наличието на информация относно човека на седалката. Къде е, дали е възрастен, или дете, височината и теглото са данни за управление активиране или деактивиране на системите за сигурност (въздушни възглавници, системата за пренапрягане на предпазните колани) и в случай на задействане да се осигури оптимална защита.





Студена вода



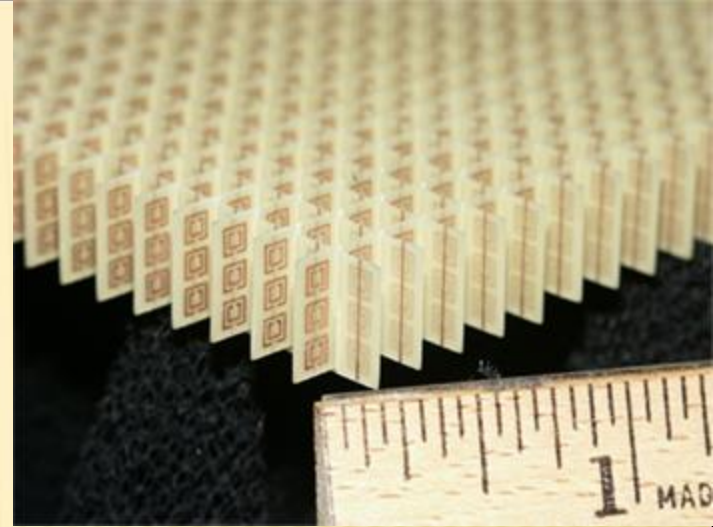
Термо
чувствителен
гел

Топла вода

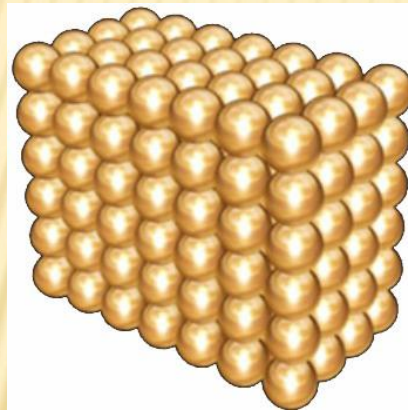
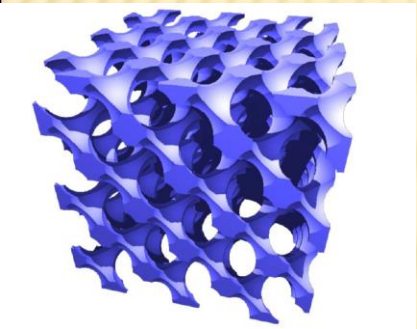


Метаматериали

1. Композитни материали, чиито свойства се определят от изкуствена периодична структура, а не от свойствата на елементите, от които е създаден.
2. Материали, проектирани със свойства, които не се срещат в природата.

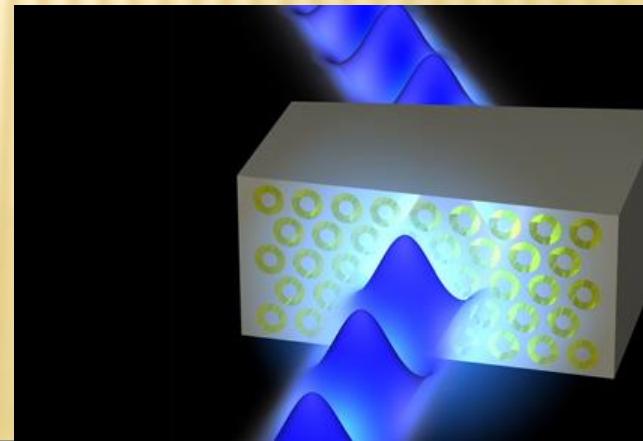


Виктор Веселаго 1968



Фотонни кристали (PC)

Оптичните свойства на фотонните кристали се определят от геометрията.



Видове метаматериали:

-**негативен индекс (NIM)**, - едновременно диелектричната ϵ електромагнитната μ проницаемост са отрицателни. При оптичните материали това води до отрицателен коефициент на пречупване на светлината, въпреки че $n^2 = \epsilon\mu$.

-**Единично отрицателни (SNG)** - само един от параметрите ϵ или μ е отрицателен но не и двата едновременно.

-**Метаматериали за електромагнитни ограничени ленти** – за контролиране на разпространението на светлината. Фотонни кристали (PC) или ляво ориентирани материали (LHM).

-**Двойно позитивна медия** – подобно на естествените материали, но получена от комбинация на различни видове метаматериали.

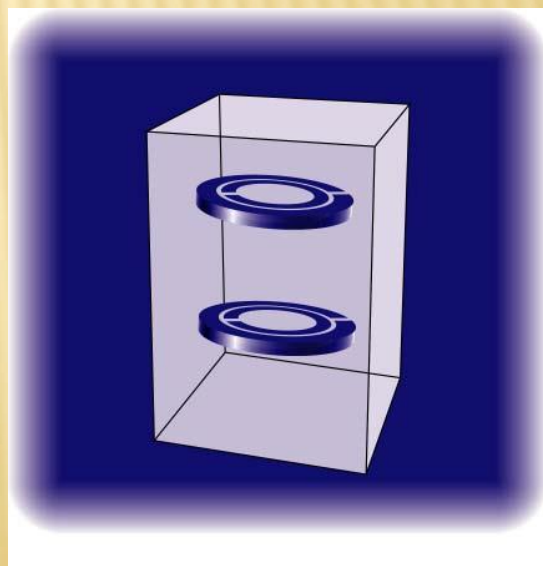
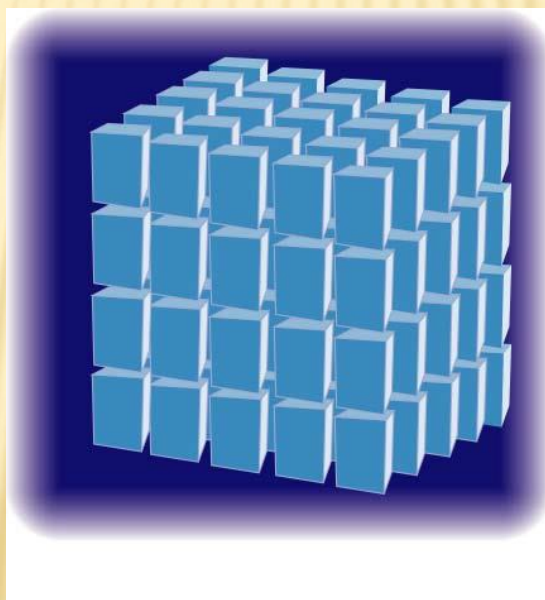
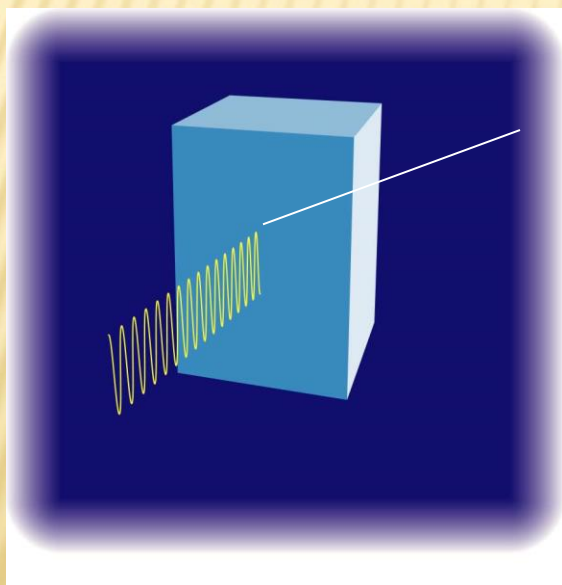
-**Би-изотропни би-анизотропни** – материалът е независим от Bi-isotropic and bianisotropic metamaterials от електрически и магнитни въздействия описвани чрез ϵ и μ . Когато електрическото поле индуцира магнитна поляризация и магнитното поле – електрическа поляризация – би-изотропни. Медия с анизотропни свойства и свързани електрически и магнитни свойства се нарича – би-анизотропна.

Терахерц метаматериали – края на инфрачервената лента, в началото на микровълновата честотна лента от 0.1 до 10 THz – милиметрови и суб-милиметрови вълни.

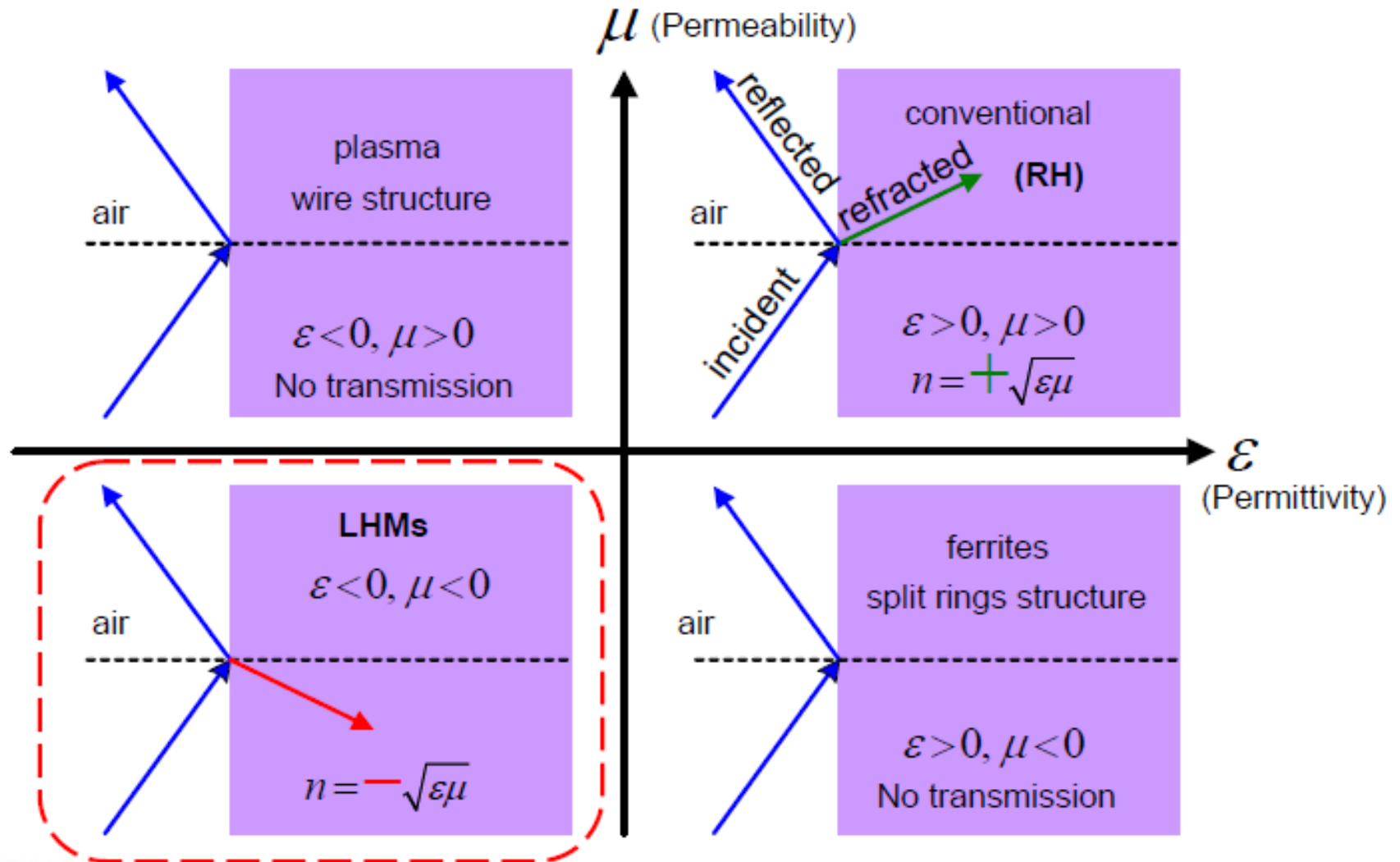
Настройваеми метаматериали – способност да се настройват на произволна честота

Електромагнитни метаматериали

Примери: Метаматериали базирани на повтарящи се клетки...



Ляво ориентиран метаматериал



Електромагнитни вълни

- Няма особена разлика между 1kHz ($\lambda=300\text{km}$) и 1THz ($\lambda=0.3\text{mm}$) вълни

Защо светлината (с THz честота) не може да премине през стените а микровълните могат?

- Материалните честотни характеристики варират голям честотен диапазон
- Прозрачността се определя от подредеността на атомната структура (10^{-10} m).

Как може да се променят електромагнитните свойства на материалите?

- 1 метод да се въведат периодични елементи които са електрически малки в даден честотен интервал, в който се държат като “атоми” при тези честоти.

Пример: Как се постига отрицателен коефициент на пречупване?

- $n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$

- Отрицателен коефициент на пречупване ако μ_r и ϵ_r са едновременно отрицателни

$$\sqrt{\mu_r \epsilon_r} = \left((e^{-j\pi})(e^{-j\pi}) \right)^{1/2} = (e^{-j\pi/2})(e^{-j\pi/2}) = e^{-j\pi} = -1$$

- отрицателни μ_r и ϵ_r съществуват в природата, но не едновременно:

-среброто, златото и алуминият проявяват отрицателно ϵ_r при оптични честоти

-резонансните феромагнитни системи проявяват отрицателно μ_r при резонанс

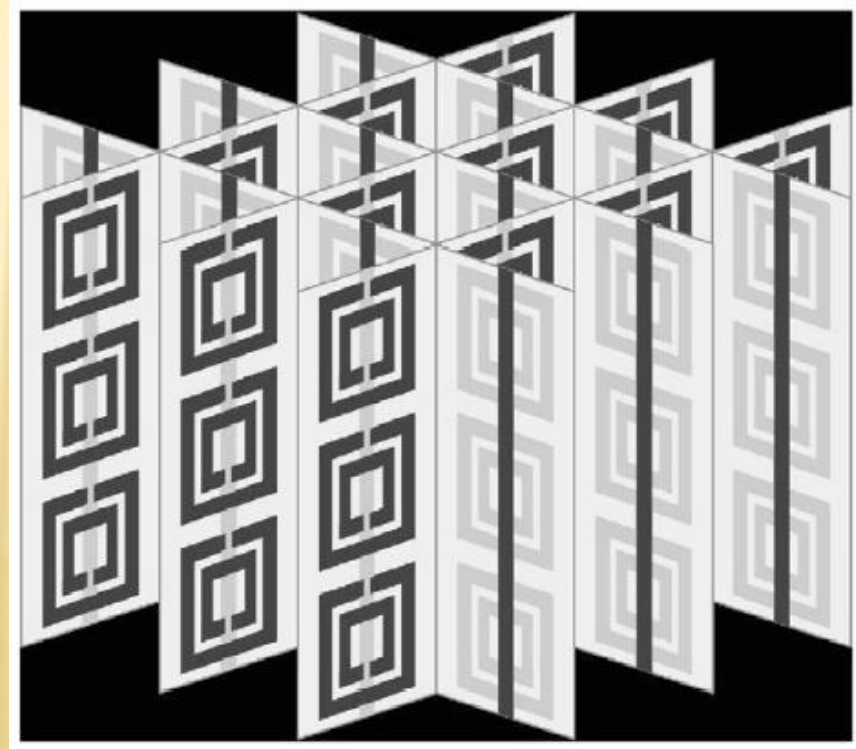
— Първият метаматериал съдържа комбинация от Сплит ринг резонатори (SSRs) и проводник

— SSRs се използва да генерира желаното μ_r за резонансна лента от честоти.

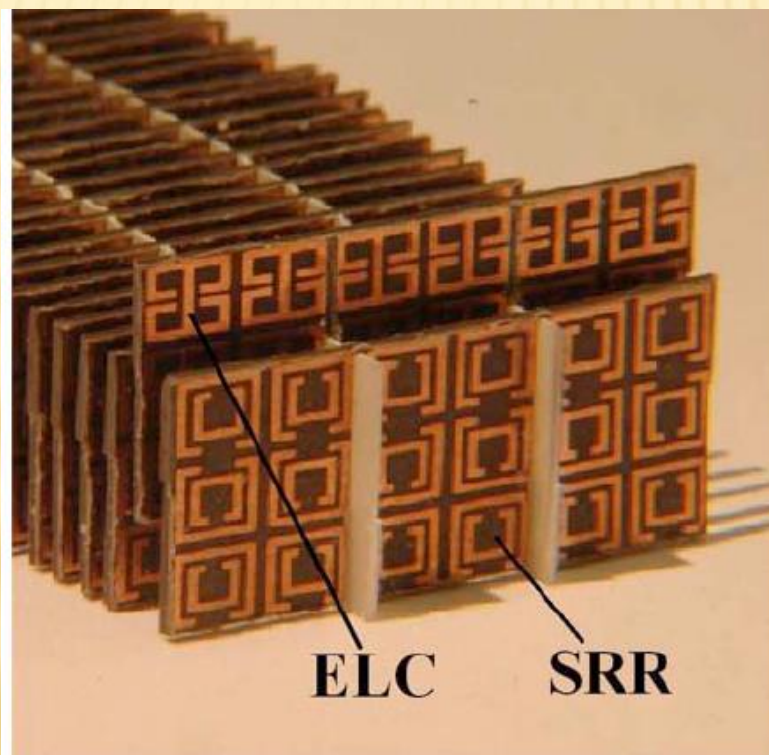
— Проводящите жици са поляризирани чрез електрическо поле и генерират желаното ϵ_r за всички честоти под дадена гранична честота.

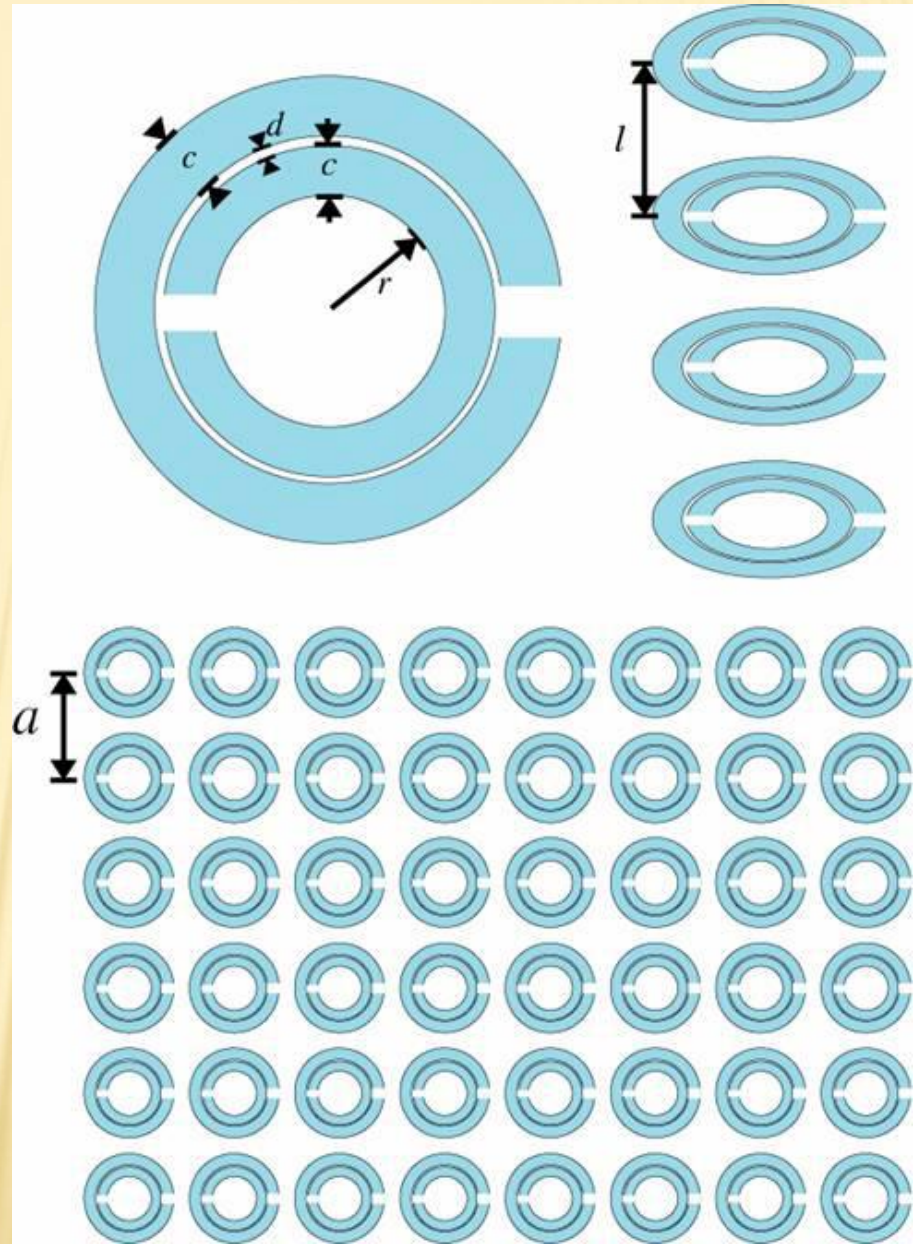
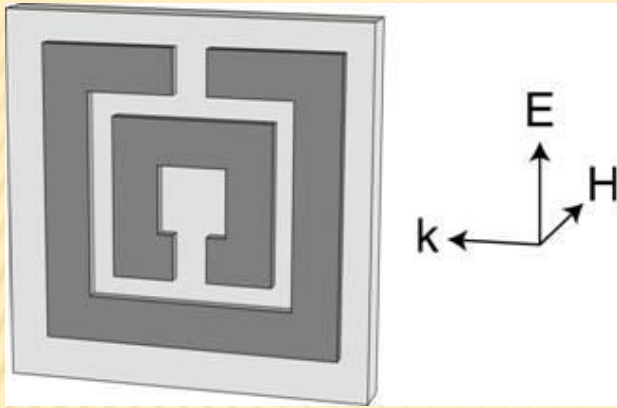
Притежава свойства на метаматериал само в резонанс – тясна честотна лента и високи загуби

SSR –са обемни и неудобни за микровълнови приложения

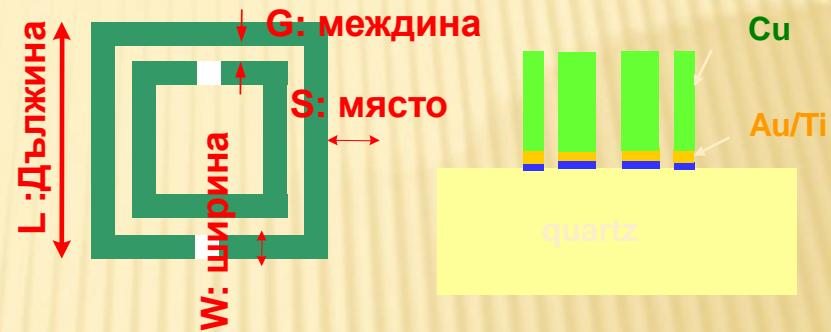
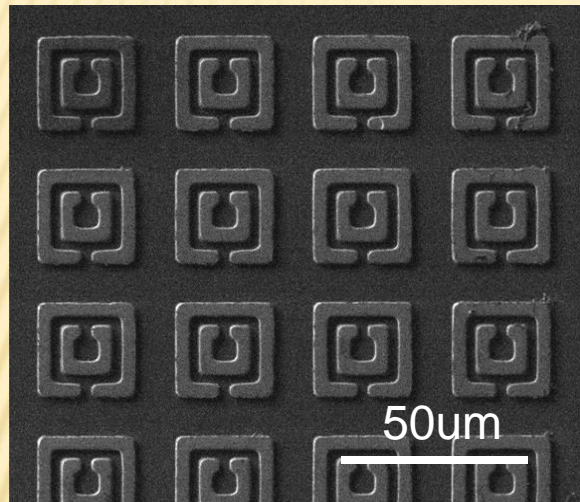


— Проводящите жици се заменят с контури ELC, имитиращи LC резонансно поведение. SRR се изискват за да променят μ_r .





Sample



Типични параметри:

Единична клетка: 50 μm

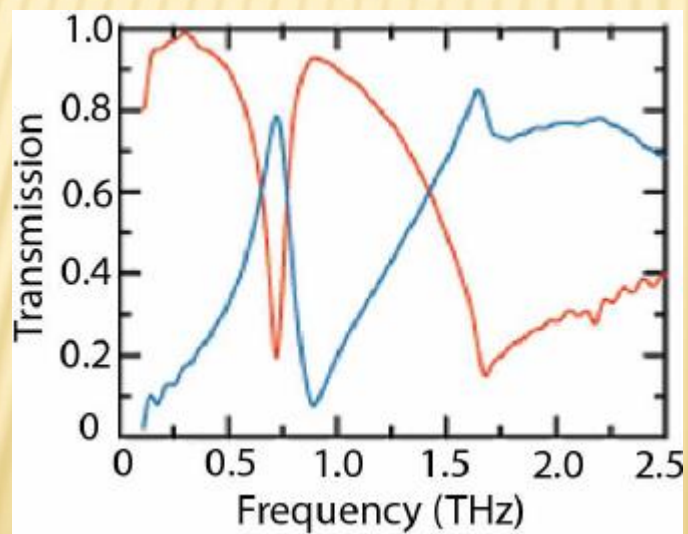
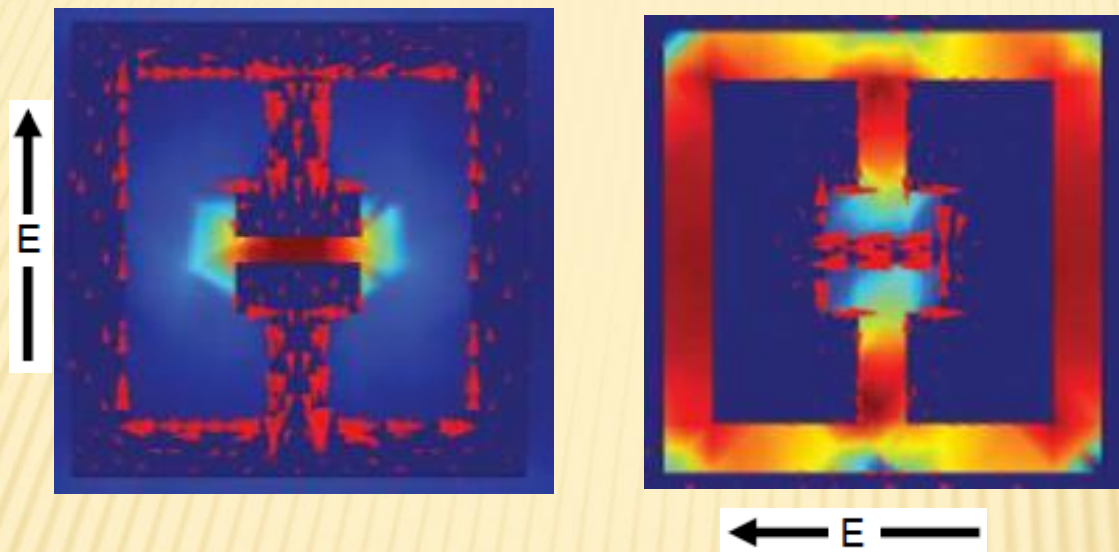
Вътрешен размер: 36 μm

Дебелина на линията: 4 μm

Разделяща междина: 2 μm

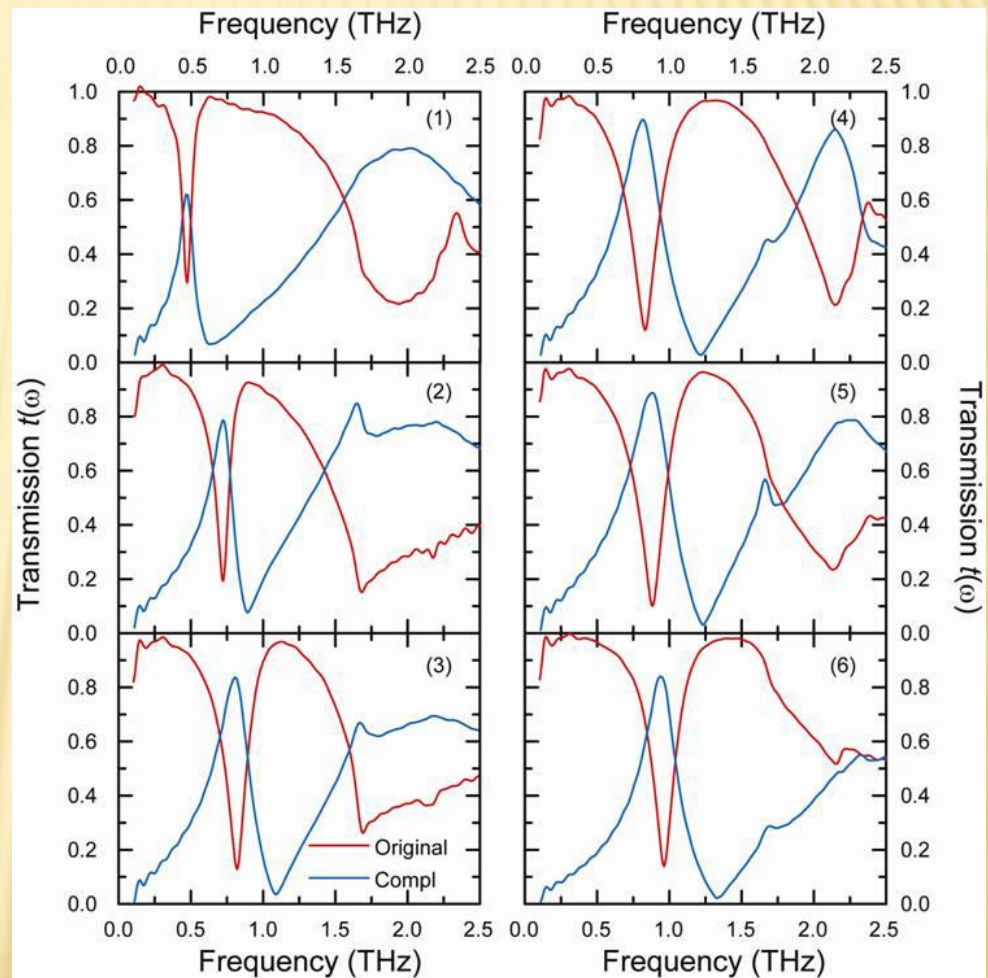
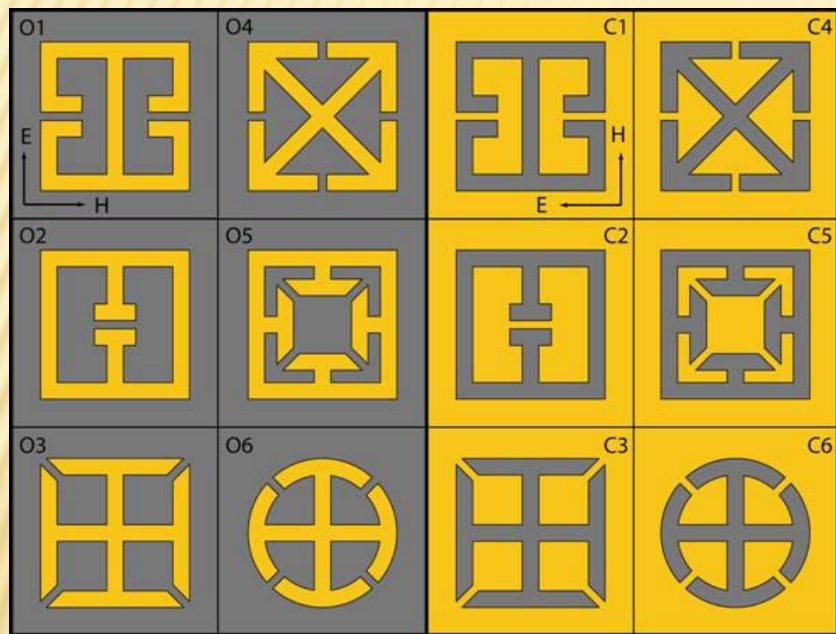
Технология: Фотолитография

Допълващи се THz Електрически материали

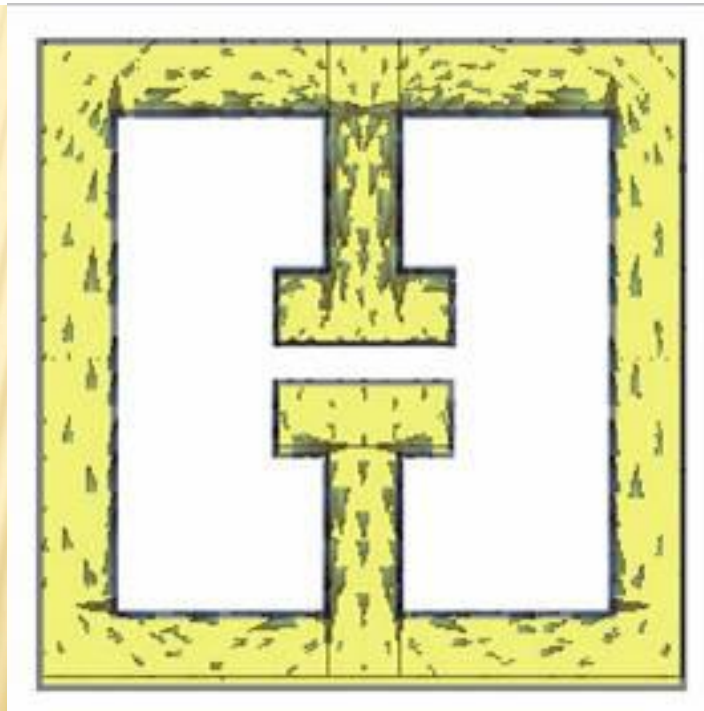
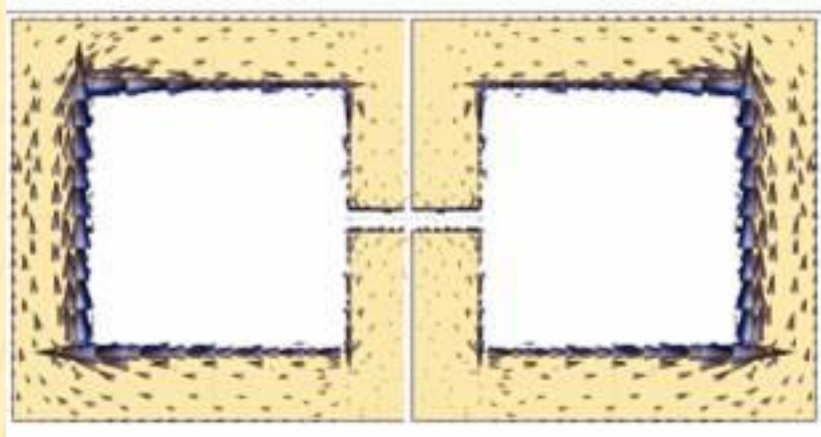


Оригинален

Допълнителен

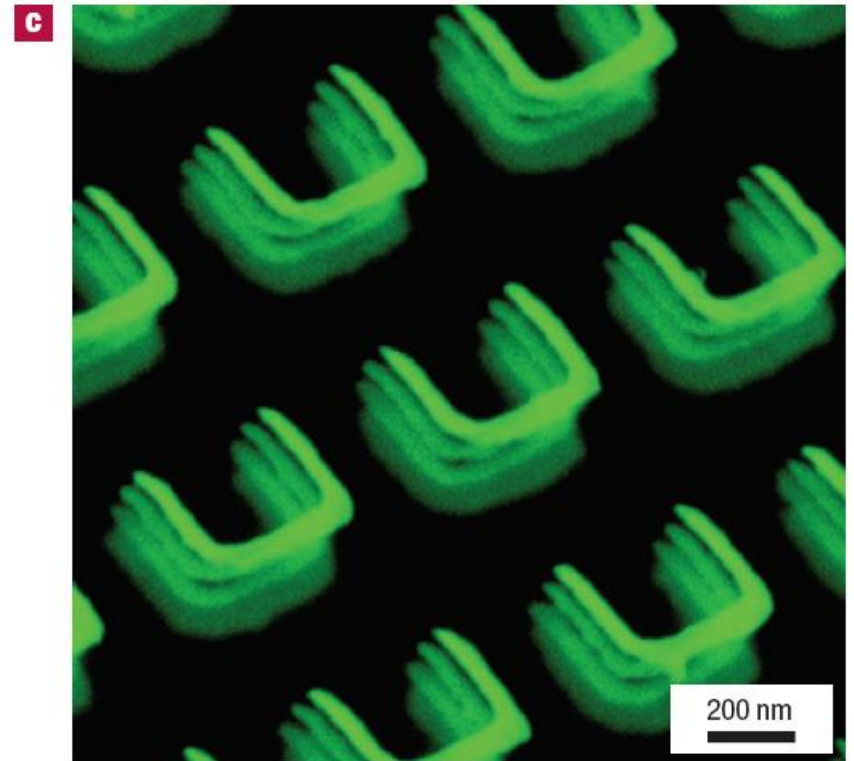
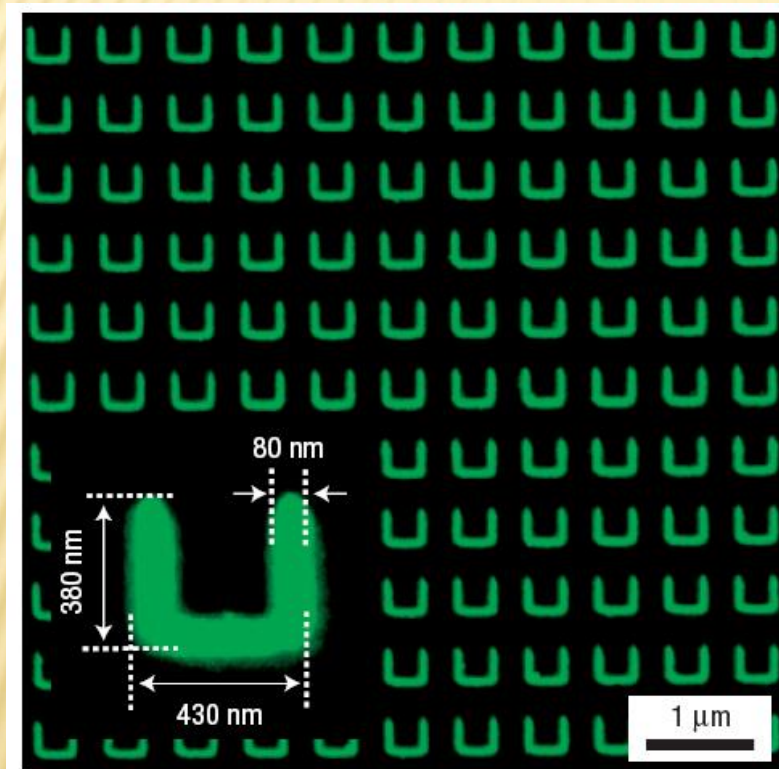


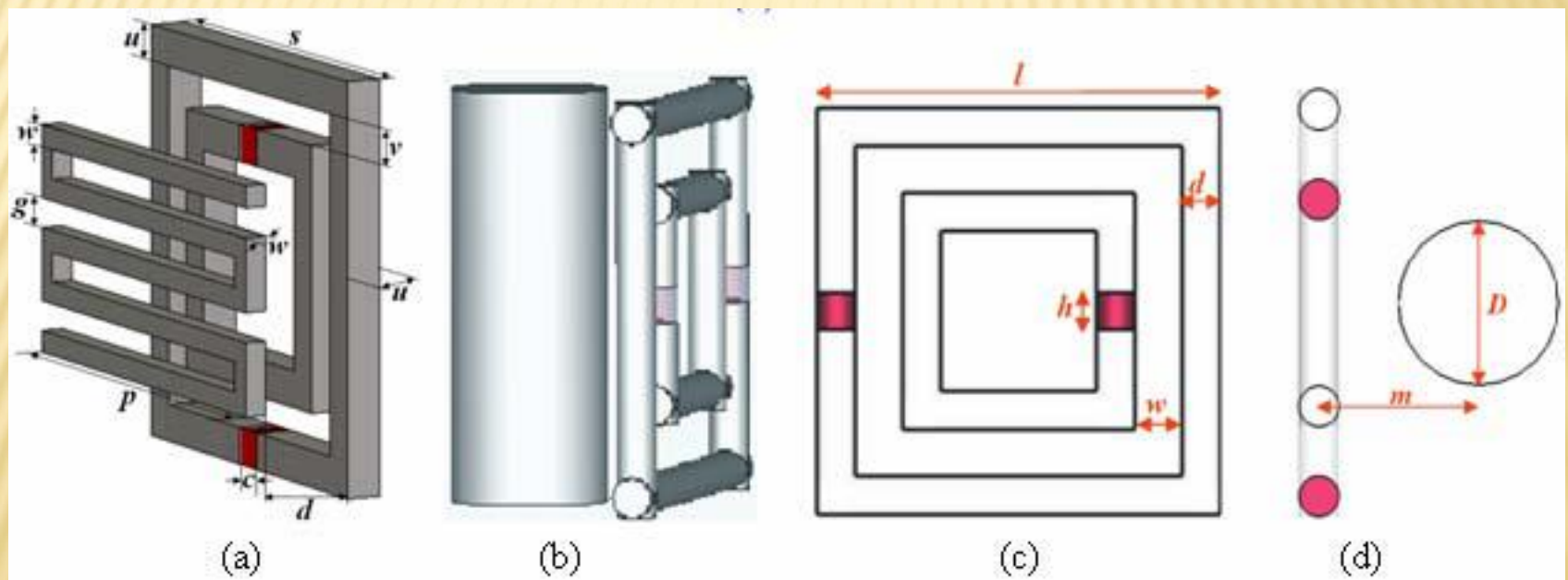
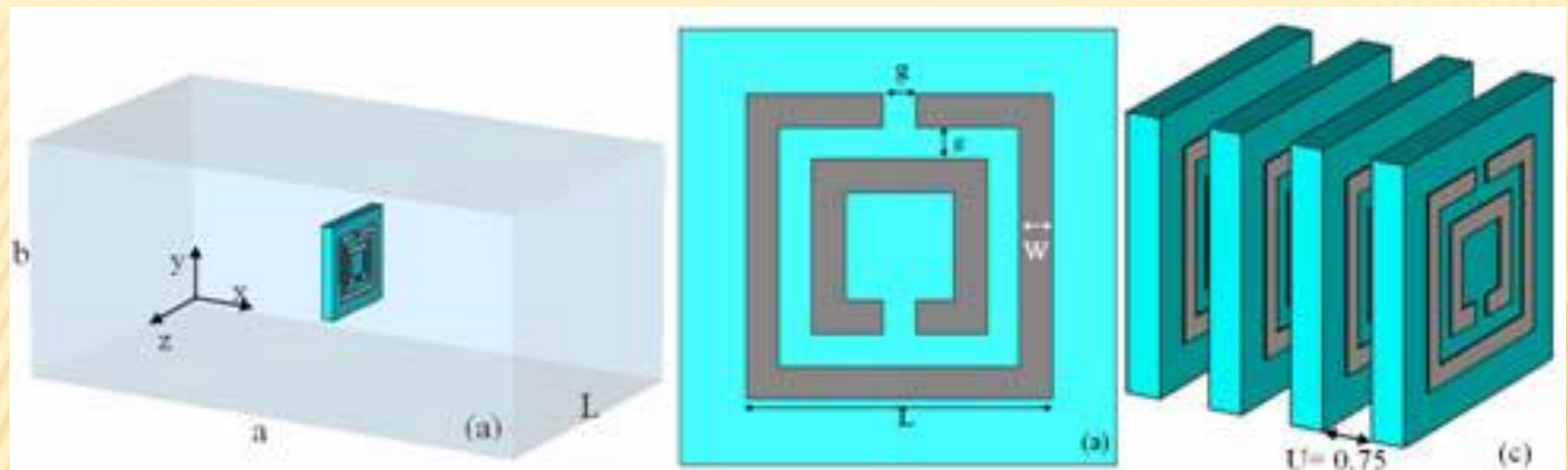
Split Ring Resonators

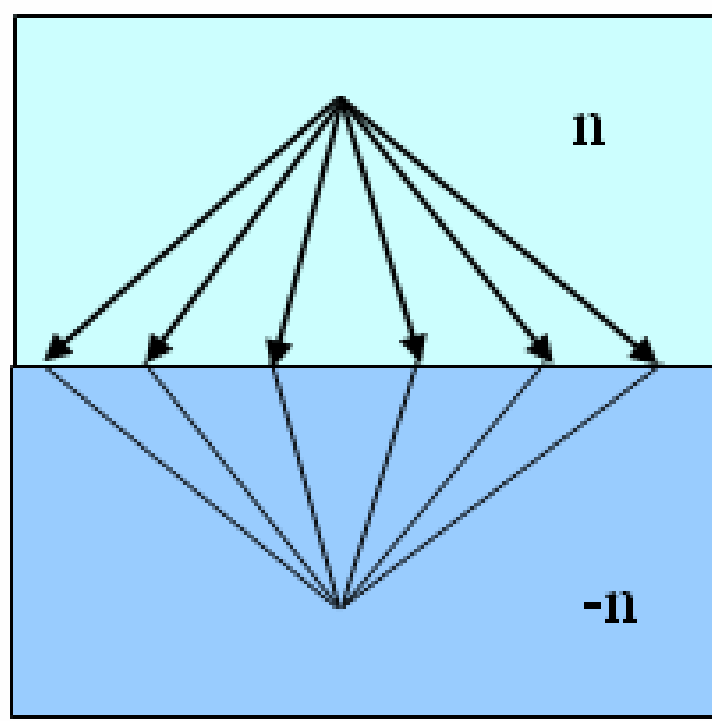


Оптични метаматериали

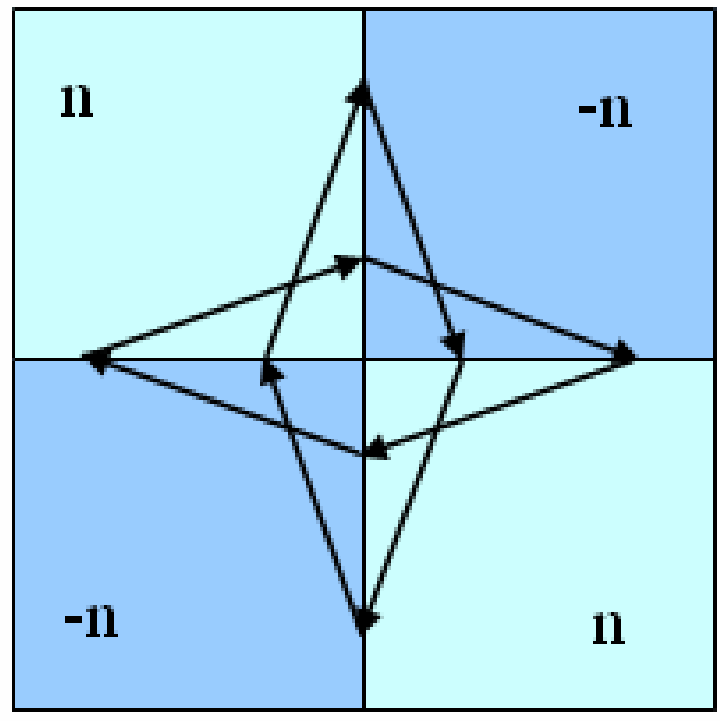
— Пример на 3D оптичен метаматериал. Златни наноструктури със 70nm разстояние между слоевете.







(a)

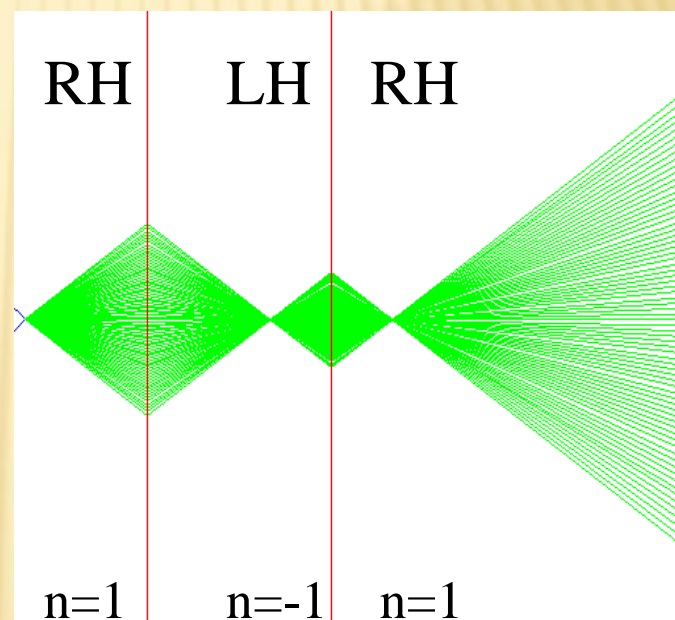
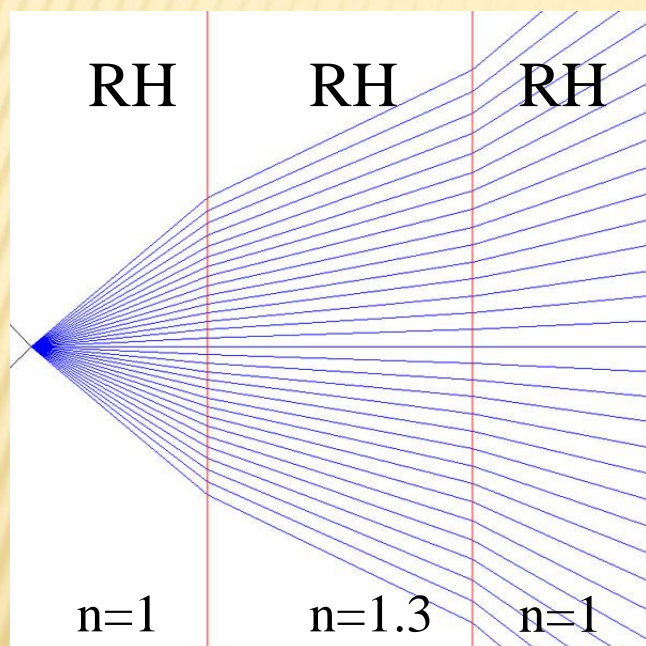


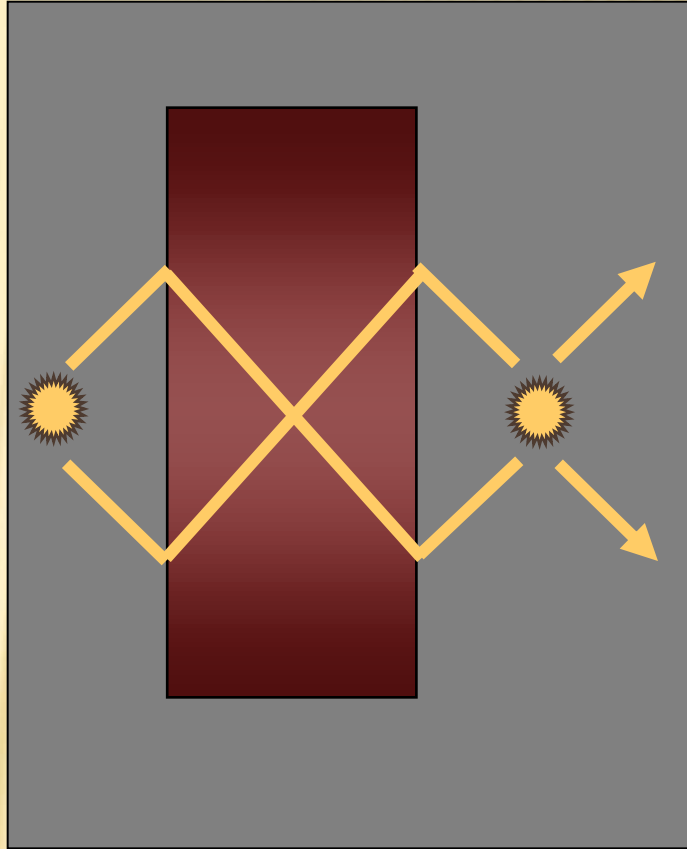
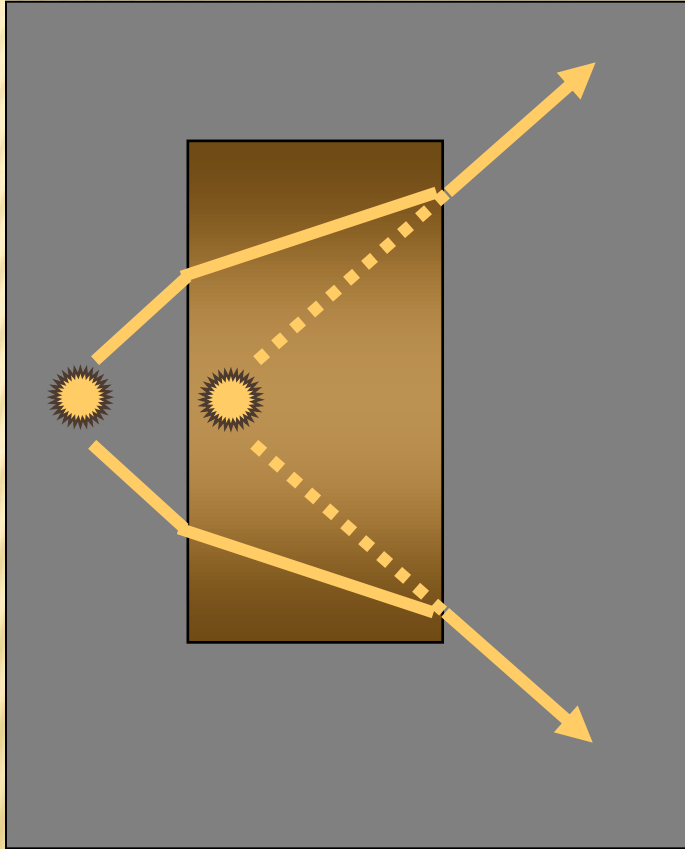
(b)

(a) Mirror-inverted imaging effect. (b) Formation of an open cavity

Yunnan University, Kunming, Yunnan PR China

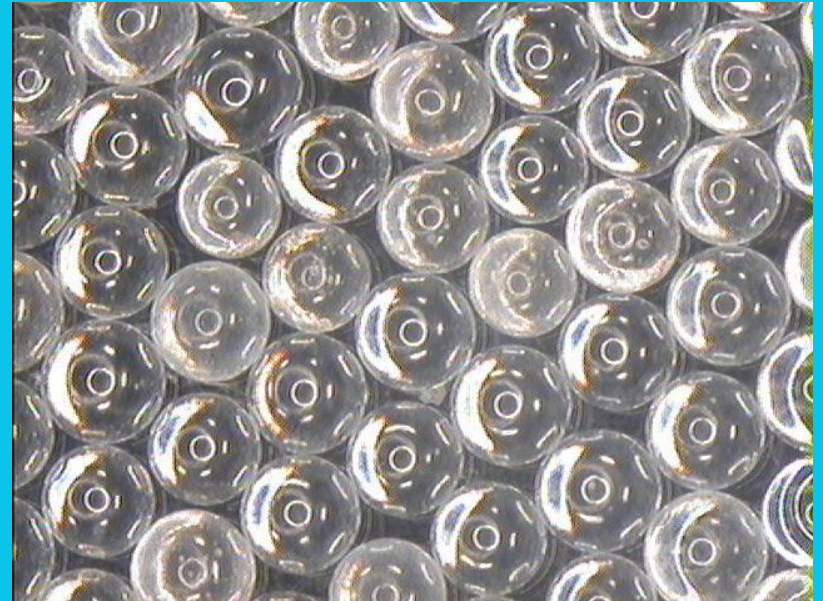
Фокусиране при $n < 1$





Resonator Array structures for metamaterials?

- Higher Frequencies pushing into the THz range
- Spherical resonators instead of cylindrical resonators
- Free space optical testing.



1 mm diameter silica spheres.
Fabricated by Amanda Baker

Applications & Research

Metamaterial Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) Arrays for 802.11n Application [11]

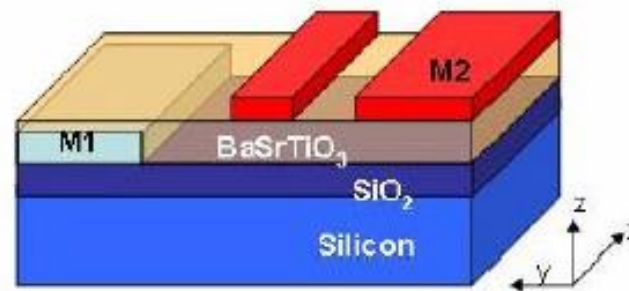
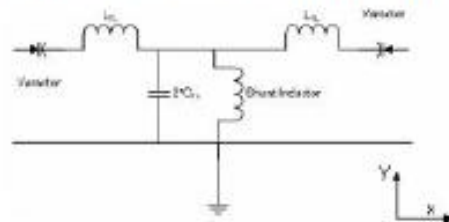
RAYSPAN™

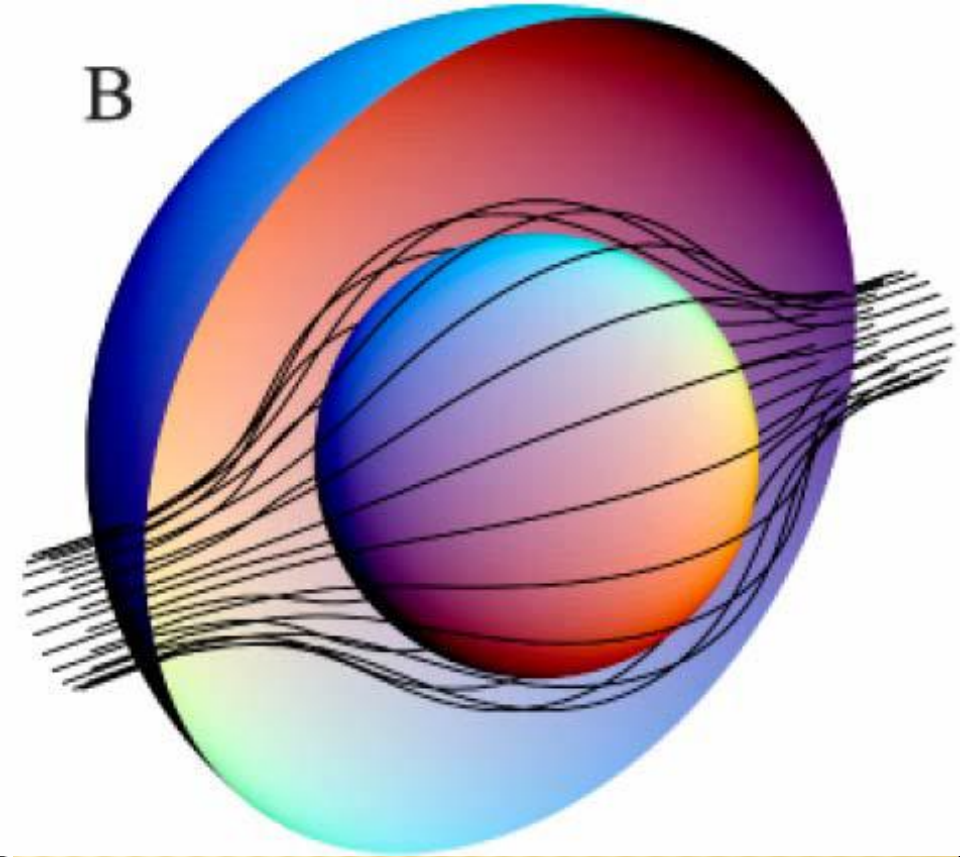
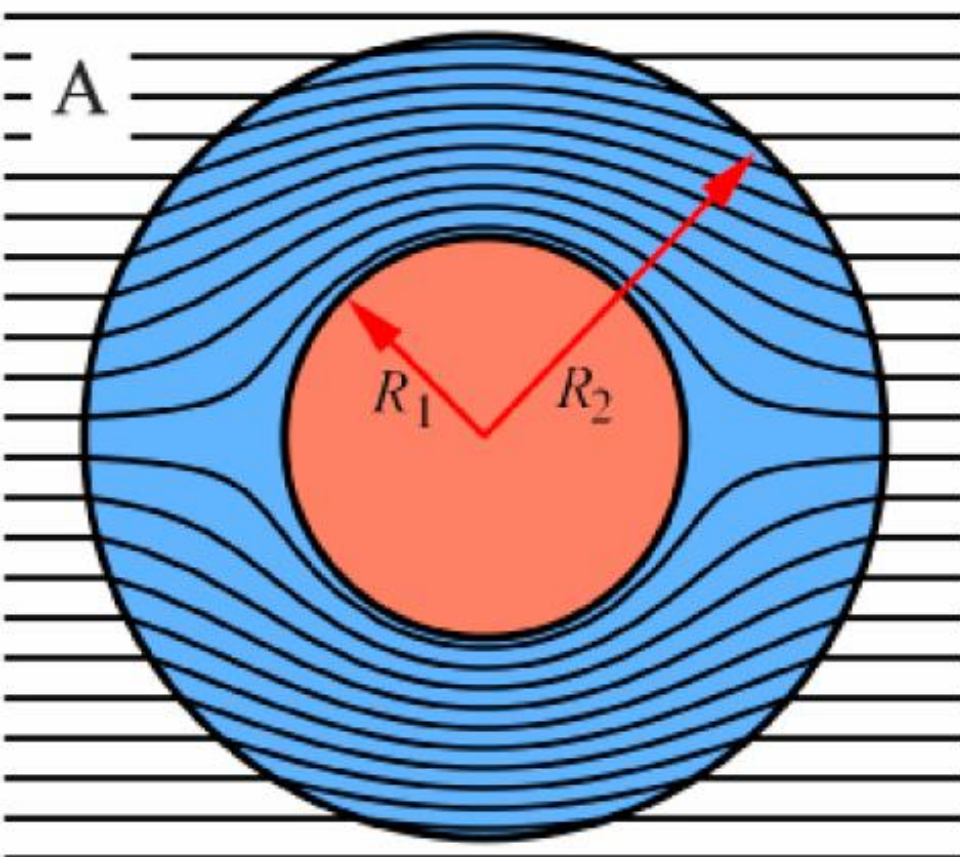


Active CRLH Metamaterials

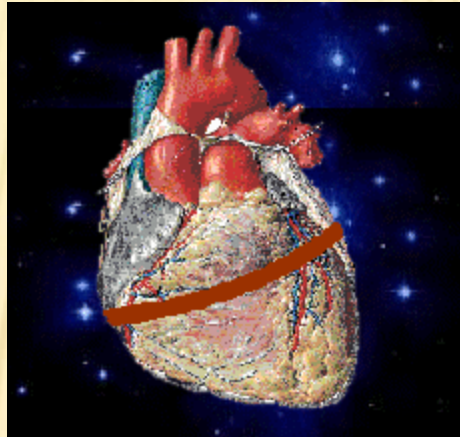
- High-gain leaky-wave antennas (embed amplifiers in unit-cell) [12]
- Distributed amplifiers [13]

Tunable Phase Shifters [14]

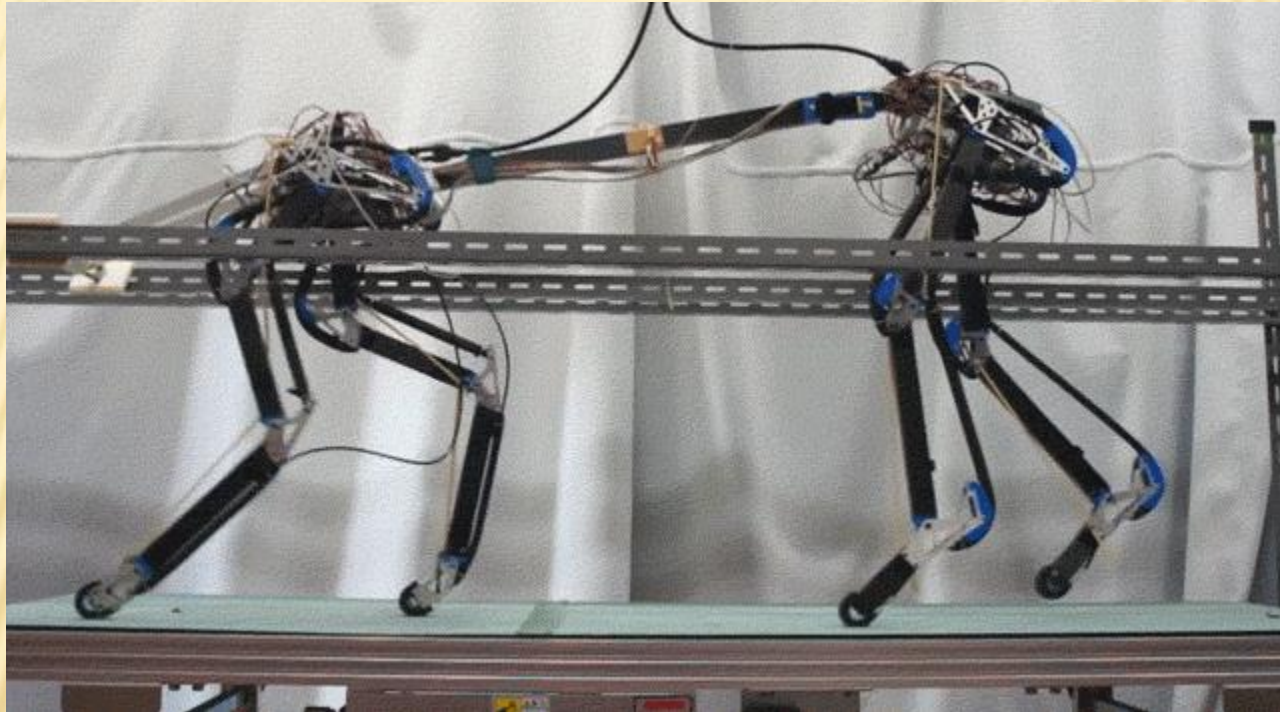


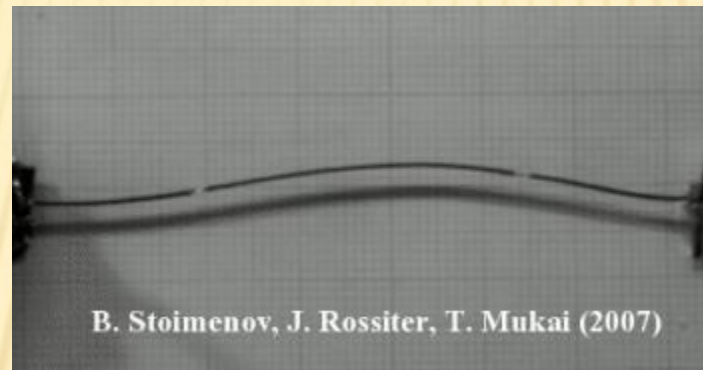


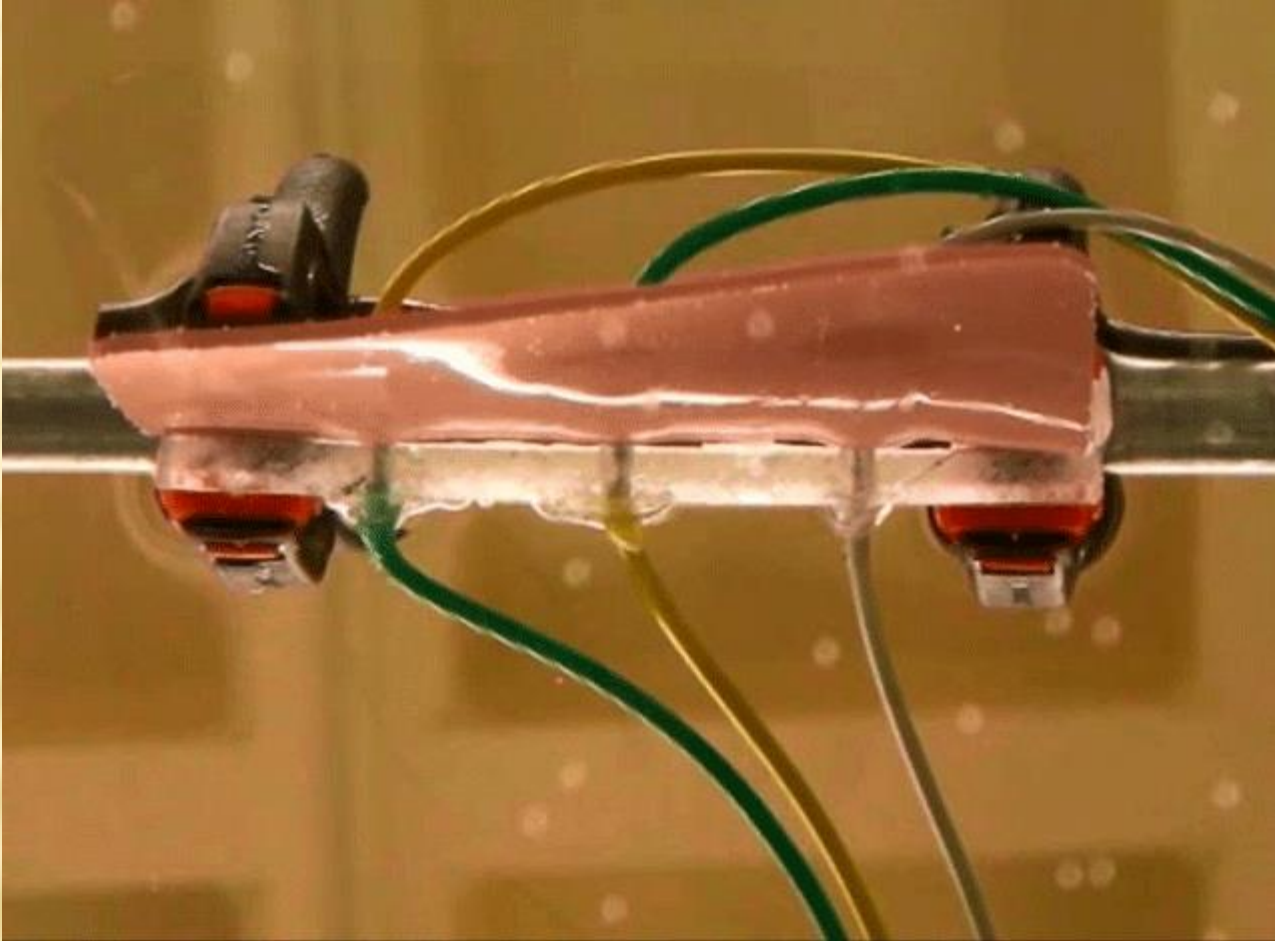


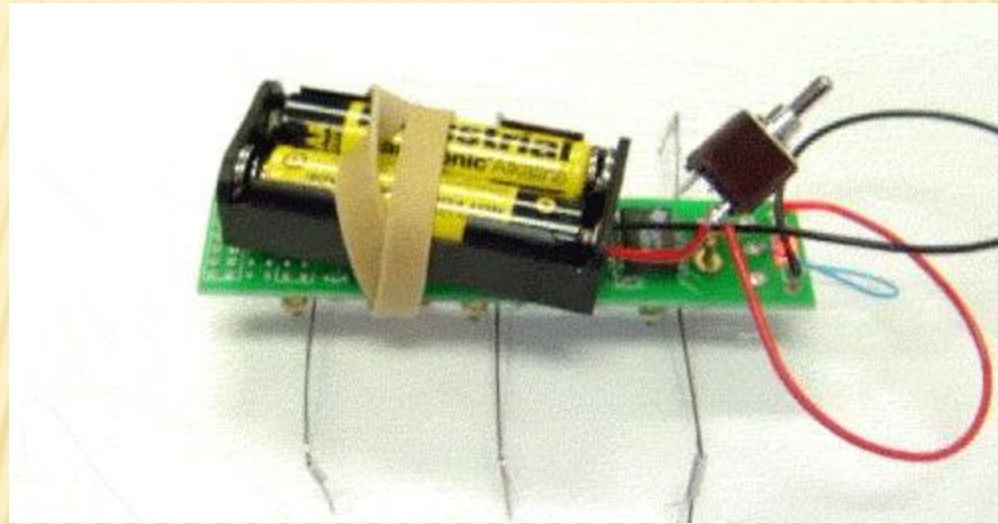












Литература:

1. Wallace G., Spinks G., Kane-Maguire L., R. Teasdale., Conductive electroactive polymers: intelligent polymer systems - 3rd ed., CRC Press Taylor & Francis Group, 2009, p.282.
2. E. Ochoteco, J.A. Pomposo, H. Grande, Cidetec F. Martinez, G. Obieta, Ikerlan J. Lezama, J. M. Iriondo, Distributed Pressure Sensor Based on Electroactive Materials for Automotive Application Advanced Microsystems for Automotive Applications 2006, Springer Berlin Heidelberg, 2006, pp 249-260.
3. Yoseph Bar-Cohen; Electroactive Polymer (EAP) Actuators as Artificial Muscles; Reality, Potential, and Challenges. 2001, ISBN 0-8194-4054-X.
4. Andrea Mazzone, Rui Zhang, Andreas Kunz, Novel Actuators for Haptic Displays based on Electroactive Polymers, Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, 2003, pp.196 – 204.
5. Jos ´e L. Pons, Emerging actuator technologies: a micromechatronic approach, John Wiley & Sons Inc., 2005, p. 301.
6. <http://www.piaggio.cci.unipi.it/index.php?en/173/artificial-muscles-smart-materials-research-activities>
7. Lee, S.-K.; Lee, S.-J.; An, H.-J.; Cha, S.-E.; Chang, J.K.; Kim, B.; Pak, J.J. Presented at Smart Structures and Materials, Electroactive Polymer Actuators and Devices, San Diego, CA, 2002
8. Jager, E.W.H.; Inganas, O.; Lundstrom, I. *Science* 2000, 288: 2335
9. http://www.sri.com/esd/automation/art_muscle.html
10. Yiming L.; Kailiang R.; Heath F.; Qiming Z., Electrostrictive polymers for mechanical energy harvesting, Smart Structures and Materials, 2004

В ъ п р о с и ?

Благодаря за вниманието!