

Приложение на MEMS и NEMS технологията за автомобилни сензори

Доц. д-р Мария Александрова-Пандиева

Сензори за двигателя

- *Сензор за охлаждане на двигателя*
- *Сензор за нивото на охлаждащата течност*
- *Сензор за температура на горивото*
- *Сензор за количество на впръскваната горивна смес*
- *Сензор за количество на кислорода*

Сензори за трансмисията и ходовата част

- *Акселерометри*
- *Сензори за обороти, скорост и изминато разстояние*
- *Жироскопи*
- *Сензори за ъгъл*
- *Сензори за налягане*

Сензори за безопасност и комфорт

- *Сензори за въздушните възглавници*
- *Сензори за паркиране*
- *Сензори за предпазни колани*
- *Сензори, чувствителни на докосване за диспелите*

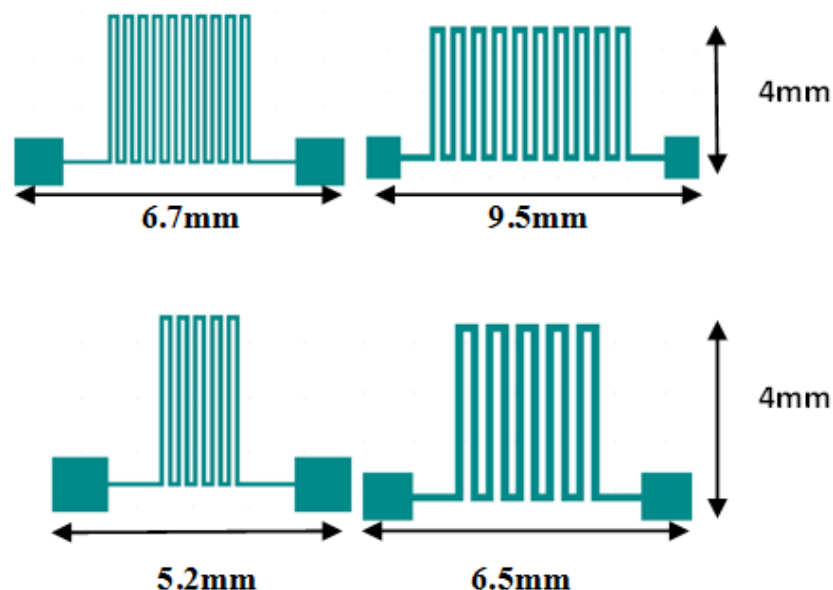
Сензори за двигателя

Характерни за тях са тежките условия на работа като висока температура, вибрации, значително налягане, замърсявания.

Сензор за охлаждане на двигателя - (Engine coolant temperature sensor – ECR)

Терморезистор, свързан през резистор към постоянно напрежение. Пропорционалното на температурата напрежение върху него се подава на електронен блок за управление и той задейства вентилатор при температура над определена прагова стойност.

Дизайн на терморезистори с различна номинална стойност на съпротивлението според геометричните особености, респективно различни чувствителност и динамичен диапазон.

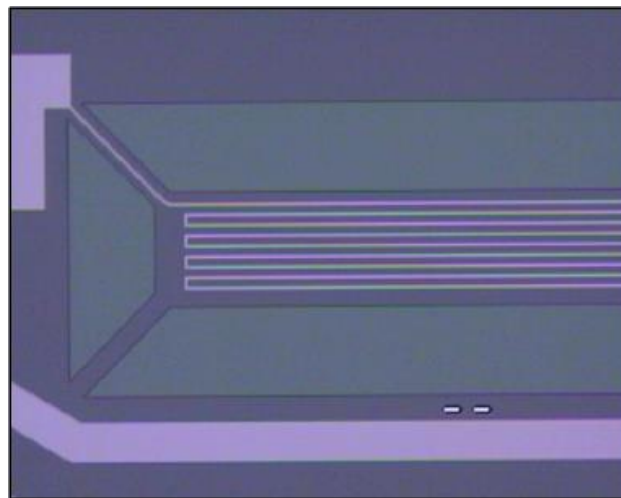
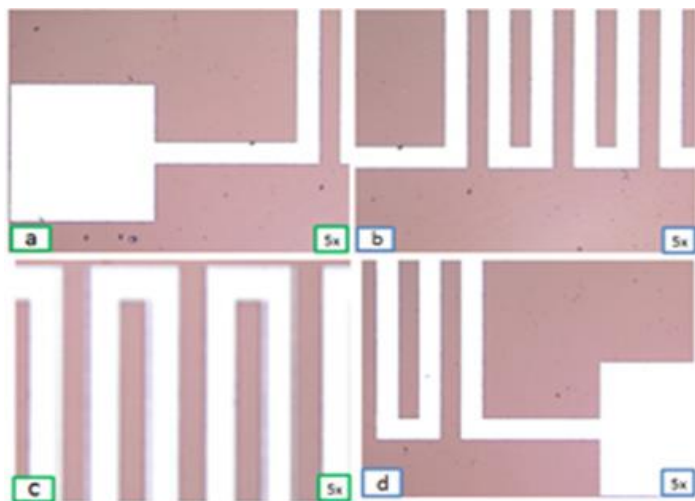


При метален слой, ако температурата на елемента се изменя линейно, тогава връзката между измереното съпротивление и температурната промяна е:

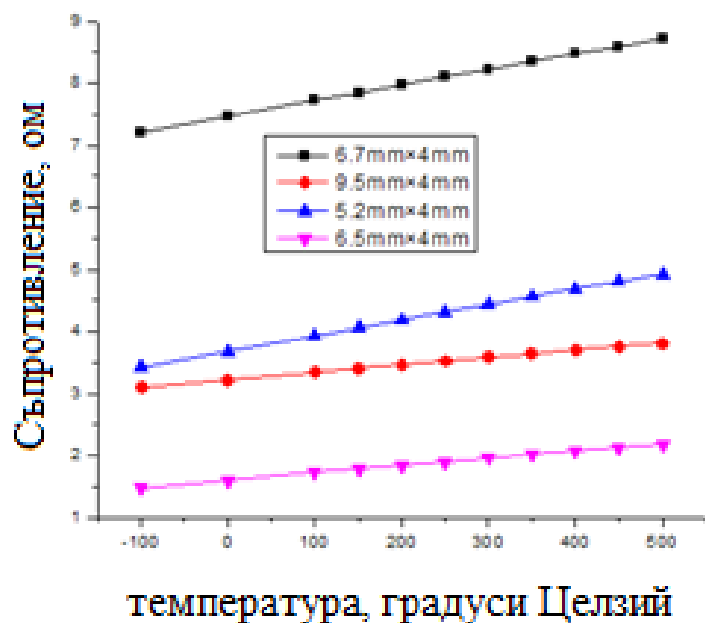
$$R_t = R_0 [1 + \alpha (t - t_0)]$$

където R_t е съпротивлението при текуща температура t , t_0 – начална температура преди загряване, R_0 – съпротивление при нула градуса по Целзий, α – температурен коефициент на изменение на съпротивлението, който е характеристика на материала.

Подложката е Si/SiO₂ с молибденов слой, който се структурира с класически фотолитографски процес и се ецва в разтвор, съдържащ 30 mL H₃PO₄, 18 mL HNO₃, 10 mL CH₃COOH, 65 mL H₂O.



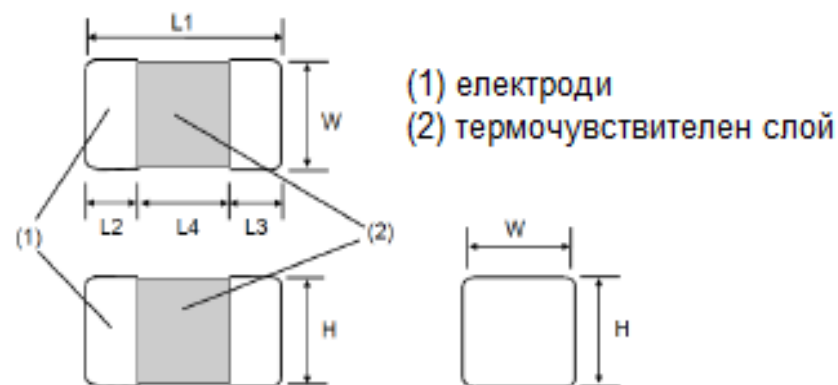
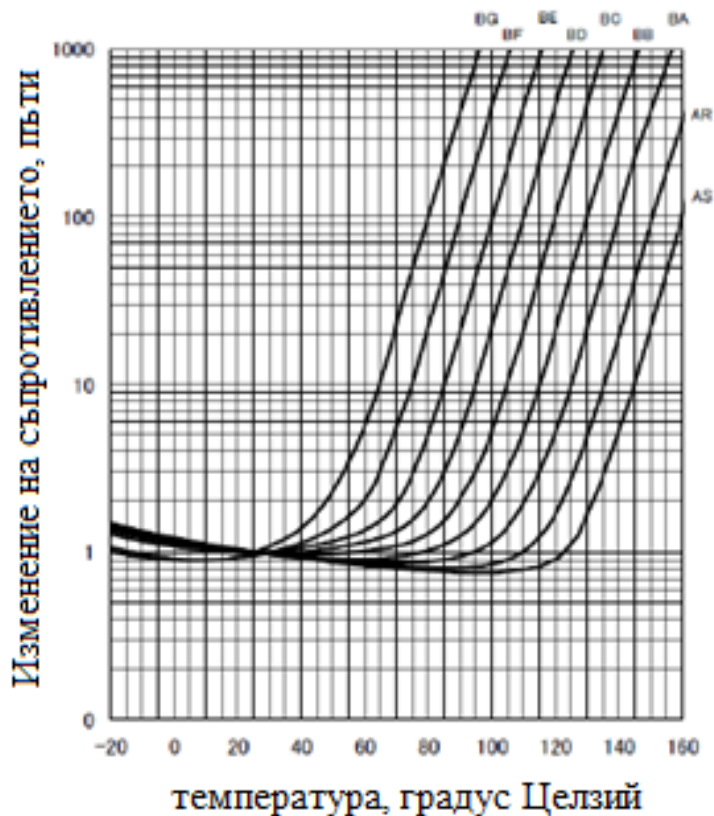
Микроскопски снимки на терморезистори.



Изменение на съпротивлението от температурата за различните геометрични дименсии (най-вече дължина на меандъра) – говорим за няколко ома изменение на R при няколкостотин градуса изменение на C°, което отговаря на около 500 mV изменение на потенциала през резистора. Корпус (вдясно) и схема на свързване в автомобилната система.

Технологията е сравнително проста и евтина, заради което и цената е ниска, но чувствителността е слаба.

Съществуват терморезистори, които работят на принципа на промяна на съпротивление в електрическа верига в следствие от промяна на забранена зона на полупроводник (ПП) при нагряване.



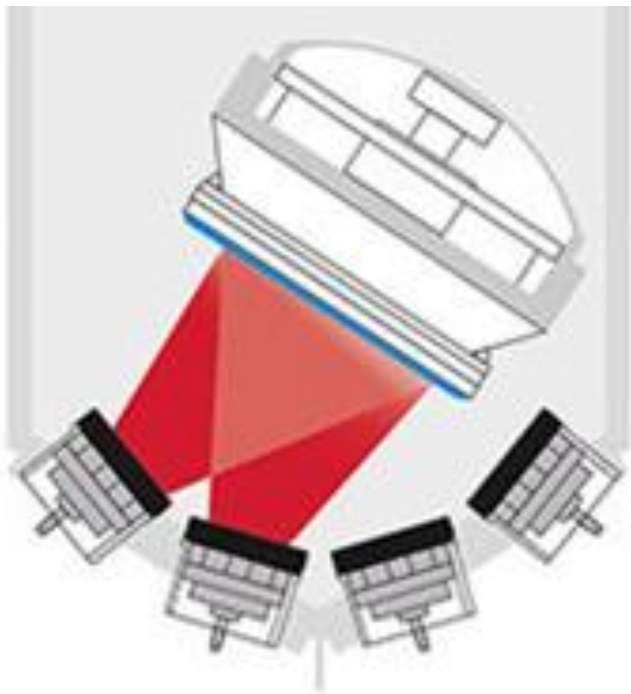
Size[mm/in.]	L1	W	H	L2 and L3	L4 (Min.)
1005/0402	1.00±0.05	0.50±0.05	0.50±0.05	0.15~0.35	0.3
1608/0603	1.60±0.15	0.80±0.15	0.80±0.15	0.10~0.60	-
2012/0805	2.00±0.20	1.25±0.20	0.90±0.20	Min. 0.20	Min. 0.50

Зависимост на съпротивлението от температурата при ПП терморезистори и размери на термочувствителните SMD елементи (<https://www.murata.com/>)

Те имат по-висока чувствителност (10 -100 пъти) в диапазона на изменение на температурата от -20 °C до 160 °C, но пък диапазонът им на измерване е по-тесен.

Използва се BaTiO_3 допълнително легиране на слоя с титан, за да се засили проводимостта му до полупроводникова и да придобие силно температурно зависима ширина на забранената зона.

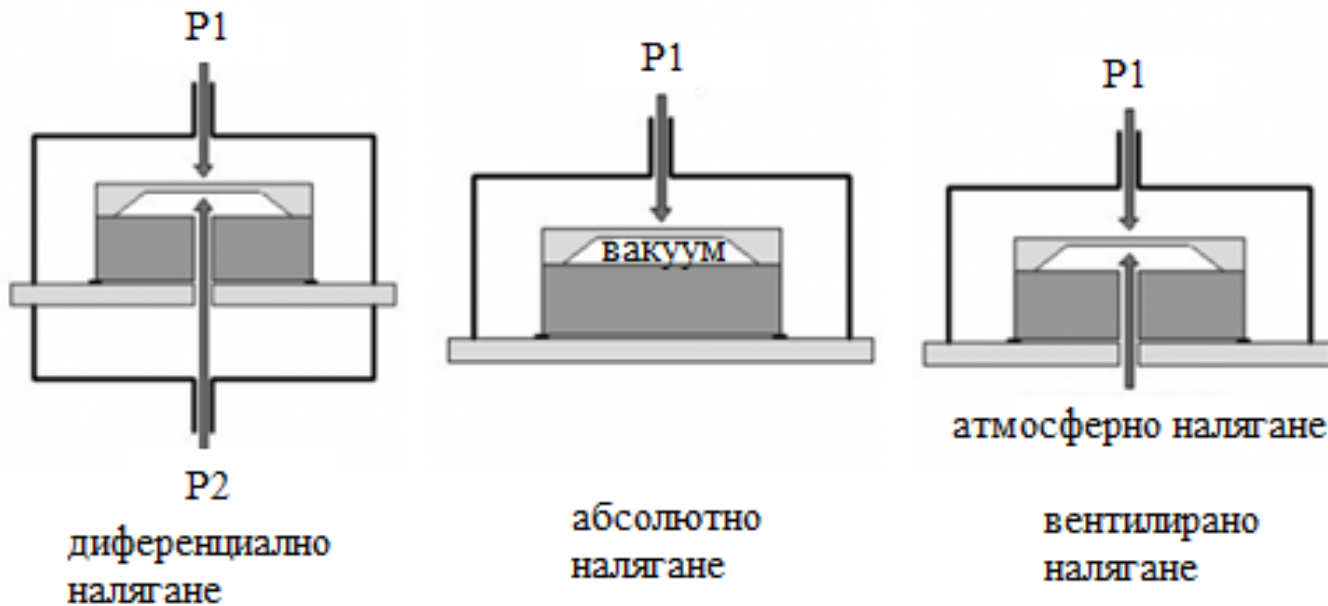
Това може да стане чрез вакуумно електроннолъчево изпарение или чрез съвместно разпръскване едновременно от два източника (конфокално).



Принцип на съвместно (конфокално) разпръскване <https://www.singulus.com/en/rotaris.html> и на електронно-лъчево изпарение от различни източници <https://angstromengineering.com/tech/electron-beam-evaporation/>

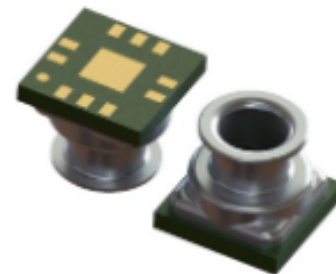
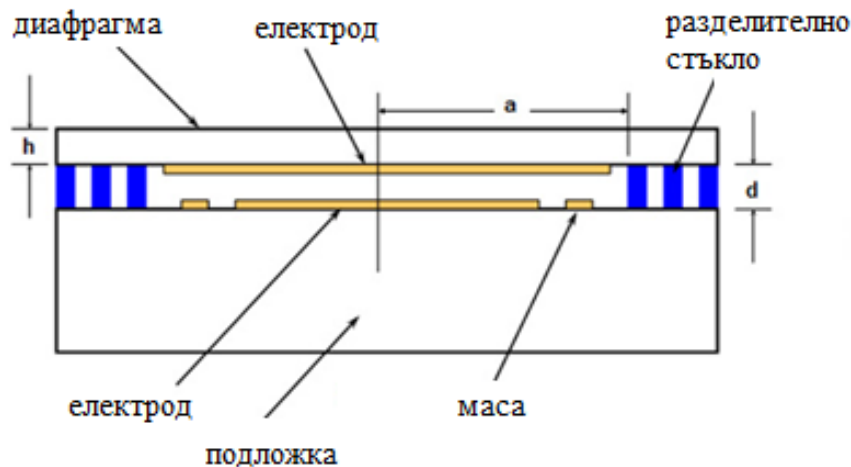
Материалът не може да се ецва добре, затова се използва обратна фотолитография. Електродите се нанасят по химичен безтоков метод и са дебели – многослойна система сребро, никел, калай.

Достатъчното количество на охлаждащата течност се оценява чрез друг **сензор за нивото** ѝ, който задейства индикатор на таблото на водача при намаляването му под определена стойност (**Coolant Level Sensor - CLS**)



Принцип на измерване на ниво на флуид, посредством капацитивно измерване на налягане (<https://www.bestech.com.au/product/submersible-level/>)

В допълнение към подвижната силициева диафрагма с електроди, диелектричната проникваемост в кухината също играе роля - капацитетът зависи от нивото на течността, като празният микрорезервоар има нисък капацитет, докато напълненият има по-голям капацитет, заради промяната в проникваемостта на средата между електродите.



Принцип на измерване на ниво на флуид, посредством капацитивно измерване на налягане и изглед на сензора за ниво в автомобилните системи

(<https://www.st.com/>)

Използват се стандартно силициеви диафрагми, получени чрез анизотропно дълбоко мокро ецване и вакуумно нанесени електроди върху подвижната част.

Основните предимства на тези капацитивни системи за ниво включват прост принцип, широк динамичен диапазон, добра точност, класическа MEMS технология.

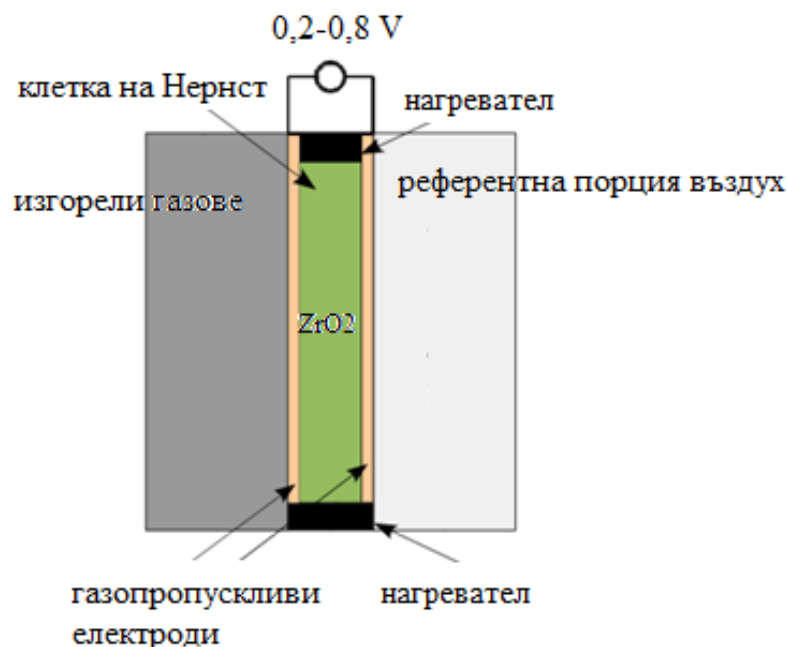
Недостатък е чувствителност към промени в измеримите свойства като диелектрична константа и проводимост, заради промени в състава на флуида с времето което създава проблем.

Сензор за температура на горивото. Плътността на горивото се променя в зависимост от неговата температура. Контрол върху тази величина се постига чрез промяна количеството на впръскваното гориво в зависимост от температурата, като чрез него става постоянното следене на температурата (***Fuel Temperature Sensor -FTS***). Той подава пропорционално на температурата напрежение.

Сензор за количество на впръскваната горивна смес. Двигателите с вътрешно горене имат дроселова клапа, чието положение определя количеството на въздуха в горивната смес. Към нея има сензор (***Throttle position sensor - TPS***) за следене на големината на отварянето ѝ и колко бързо става то при нейното затваряне.

Сензор за количество на кислорода

Осигуряването на оптимално изгаряне на горивото и съответно минимален разход и ниво на емисиите изисква поддържане на определено съотношение въздух-гориво на горивната смес. За осигуряването му при промяна на температурата трябва в зависимост от нея да се променя количеството на подаваното гориво. Това се постига чрез сензор за кислород (**oxygen sensor/lambda probe или ламбда сонда**), поставен на мястото на излизане на изгорелите газове.

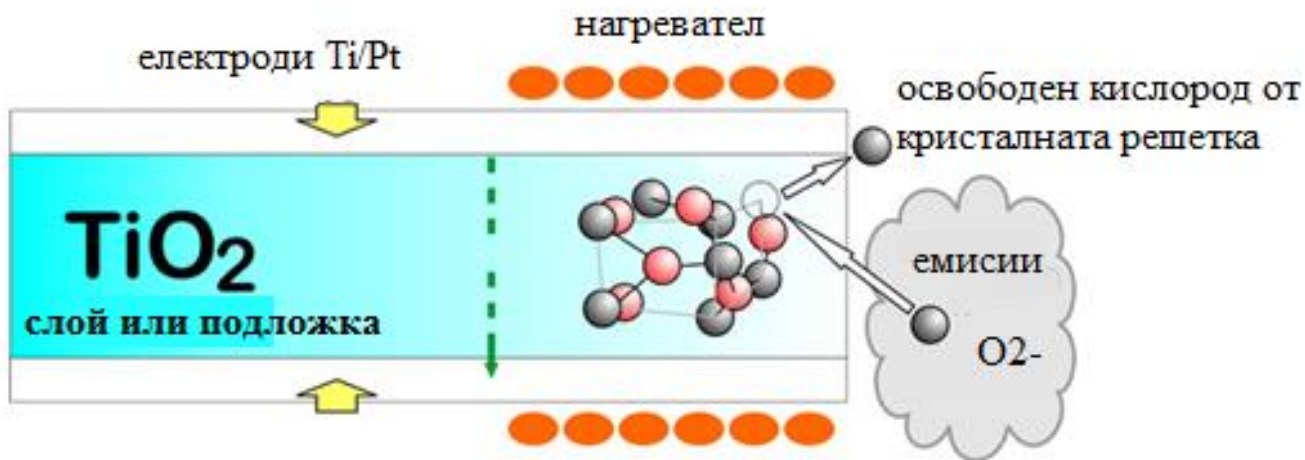


Коефициентът на излишък на въздух - L (ламбда) характеризира доколко реалната горивно-въздушна смес е далеч от оптималната ($14.7 : 1$).

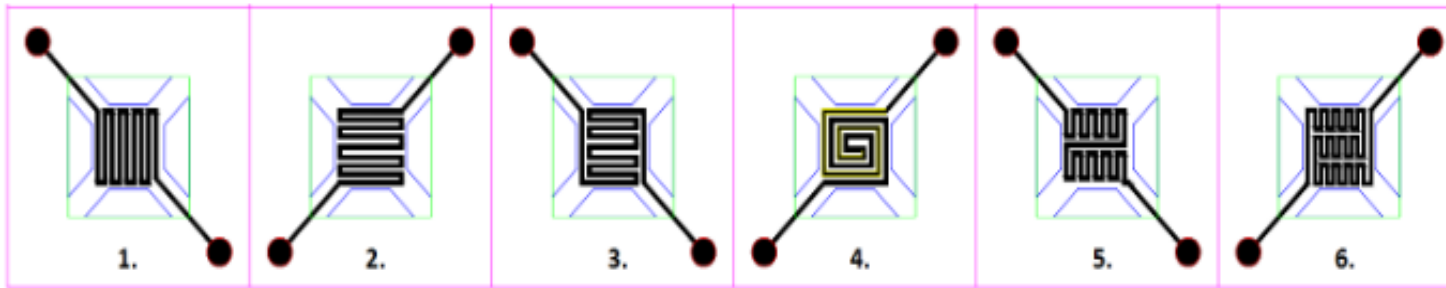
По същество, циркониеводиоксидният сензор е галваничен източник на ток, който променя напрежението си в зависимост от температурата и съдържанието на кислород.

Според използваното веществото в чувствителния им елемент са: циркониево диоксидни и титаново диоксидни между два платинени електрода.

За реализирането на циркониево диоксидния сензор се използва дебелослойна технология – ситопечатно нанасяне на паста от циркониев диоксид, вакуумно нанесен тънък платинен слой, структурира се във вид на пори (микроотвори) с фотолитография, за да стане пропусклив за емисиите, които да достигнат до циркониевия диоксид, а в последствие се удебелява електрохимично.



Титаново диоксидният сензор не генерира собствено напрежение, но променя електрическото си съпротивление в отговор на концентрацията на кислород. Съпротивлението на TiO₂ е функция на парциалното налягане на кислорода и температурата.

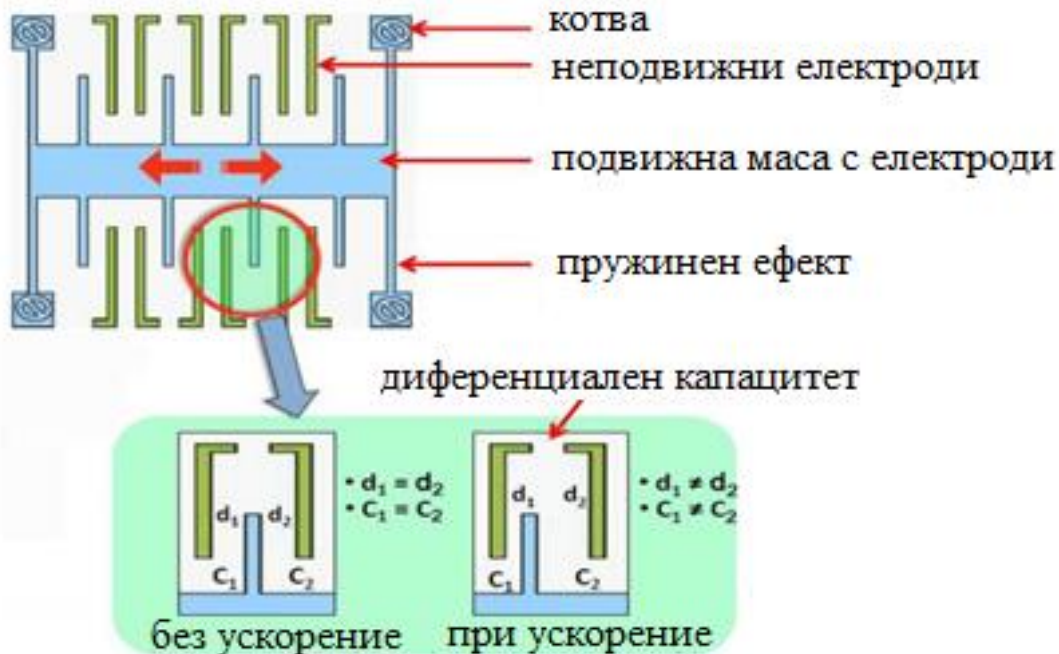


© APS Auto Parts

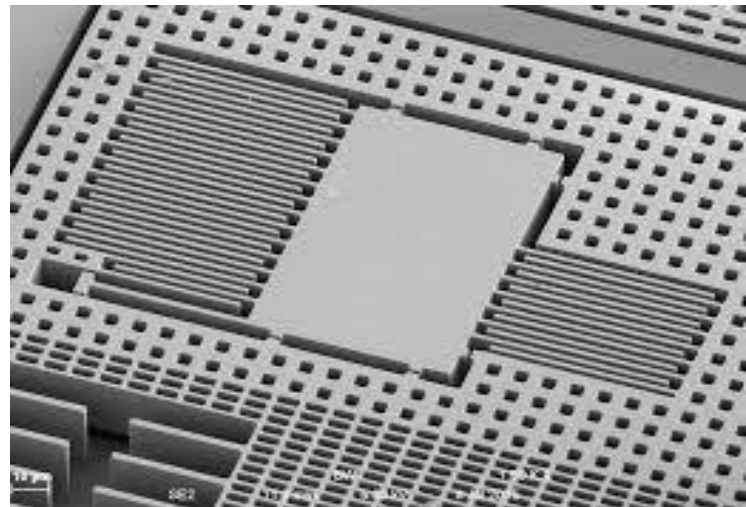
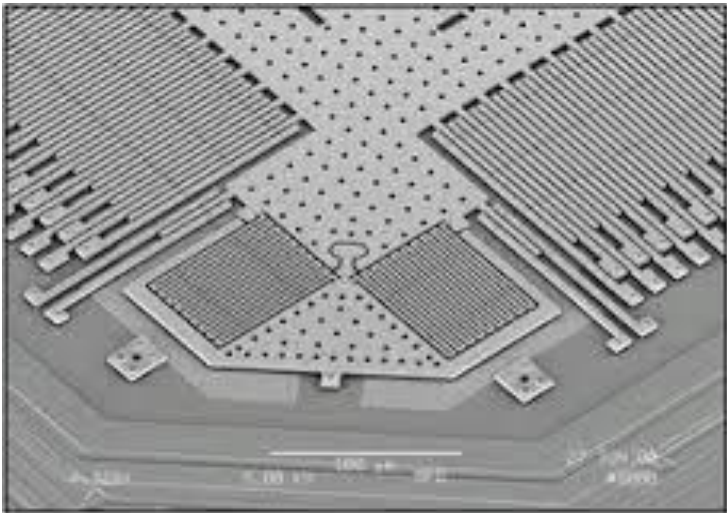
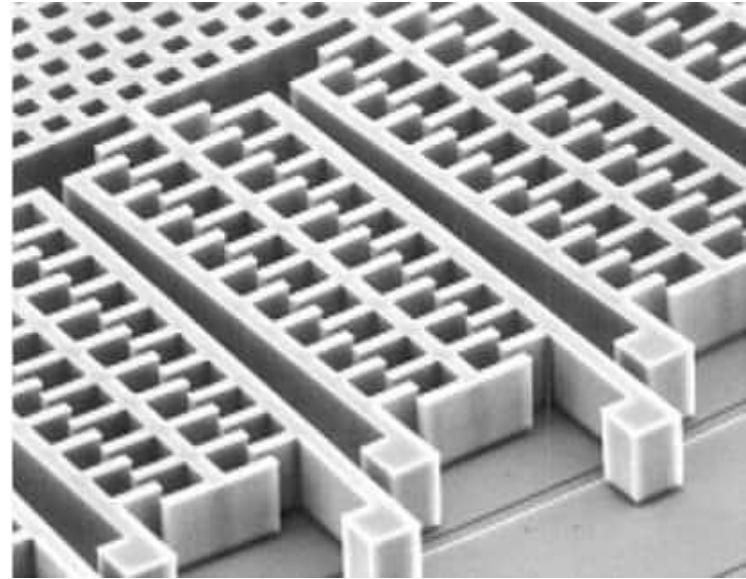
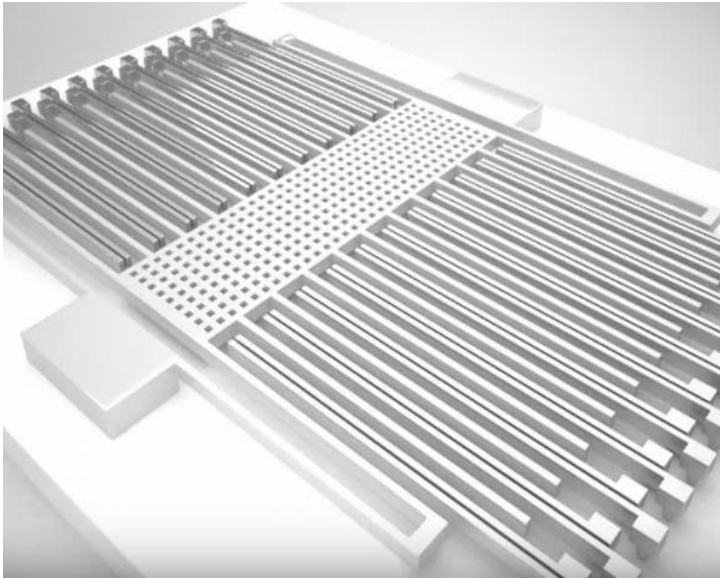
TiO₂ има по-бързо време на реакция от циркониево-диоксидния, но се влияе от частиците на антифриза. Такова влияние или взаимодействие не се наблюдава при циркониевия диоксид, но пък той изисква по-голяма дебелина, за да функционира. За титановодиоксидният е достатъчна температурата на емисиите, за да се активира механизмът с кислородните ваканции, докато сензорният елемент, направен от циркониев диоксид, трябва да е разположен до нагревателен елемент, тъй като сензорът започва да работи правилно само когато достигне 350+ градуса C. Като нагревател се използва резистивен микронагревател от платина (платинен меандър с Джаулово нагряване от ток през него), който се получава чрез ситопечат на платинена паста или на паста AgPt.

Сензори за трансмисията и ходовата част

Акселерометри (Accelerometer) - сензор за ускорение. Тъй като ускорението на физическо тяло се измерва в определена посока, съществуват акселерометри за една посока (Single axes), перпендикулярна на плоскостта на сензора, за две взаимно перпендикулярни посоки (Dual axes), които съвпадат с плоскостта му и за три посоки (Triple axes).

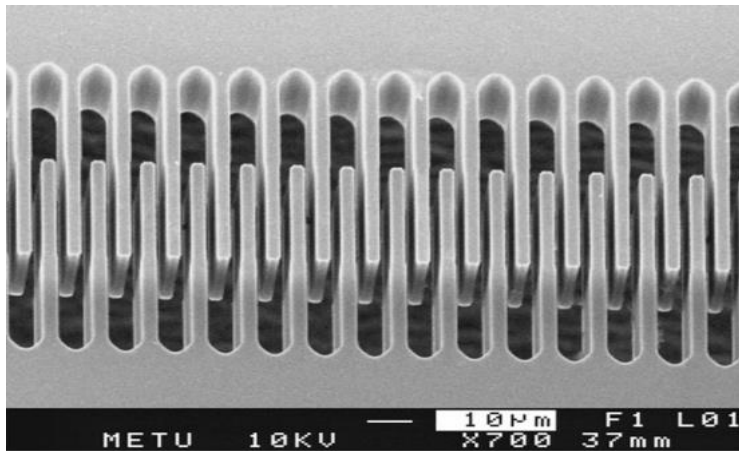


Сред характерните приложения на акселерометрите са системите за поддържане посоката на движение и стабилността на автомобила (**Electronic Stability Program – ESP, Electronic Stability Control – ESC**), за задействане на въздушните възглавници при превишаване на прагова стойност на ускорението, и в антиблокиращите спирачни системи (**anti-lock braking system ABS**).

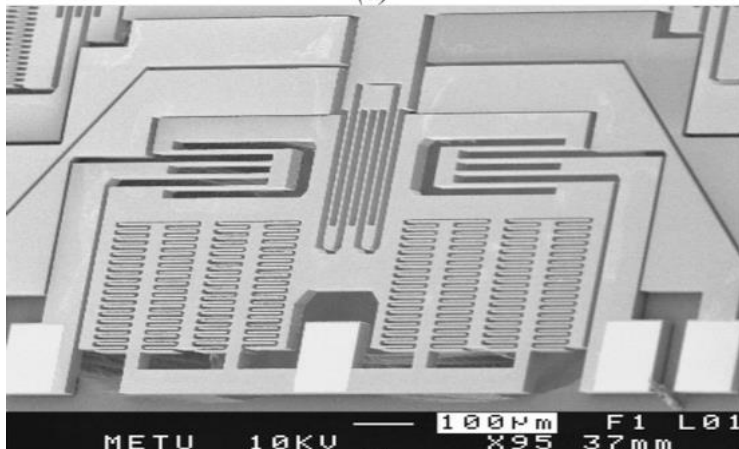


www.analog.com

STMicroelectronics



(a)



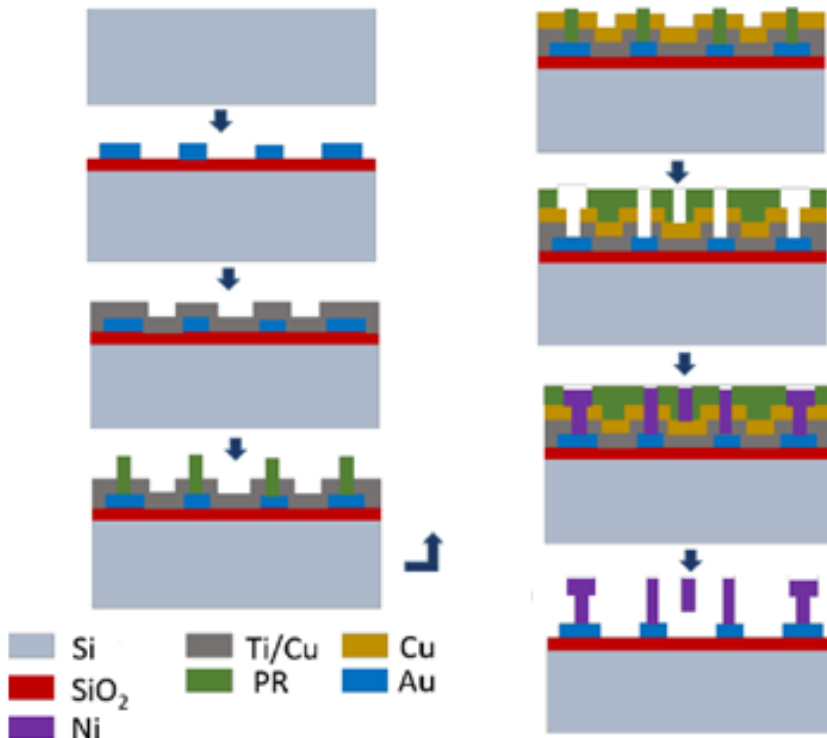
(b)



Различни конструктивни решения за акселерометър (микроскопски снимки) – всички работят на принципа на промяна на капацитета заради промяна на взаимната площ на припокриване на електроди на MEMS капацитивен елемент с подвижна платформа за единия от всеки чифт електроди, която платформа е с известна референтна маса и се задвижва според големината и посоката на ускорението съобразена с масата ѝ.

Технологията е обемна микрообработка на монокристален силиций – дълбоко анизотропно ецване до получаване на прорез в силициевата пластина, но задължително в суха среда (плазмено йонно ецване), за да се дефинират желаните форми (в случая пръстите на гребенчатата структура на кондензатора) без да има зависимост от кристалографската ориентация на силиция и без да се образуват скосени форми. Предварително е създаден легиран слой от бор в силиция чрез високотемпературна термична дифузия, който да играе ролята на повишаващ проводимостта слой. Метализацията е със златни слоеве, получени с постоянно-токово вакуумно разпръскване с адхезивен подслой от хром.

Опростена и по-евтина технология



БЛАГОДАРЯ ЗА ВНИМАНИЕТО!