

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za računalništvo  
in informatiko



# 9. Mikro in nano elektronsko mehanski sistemi (MEMS, NEMS)

II.Stopnja RI, 2019/2020

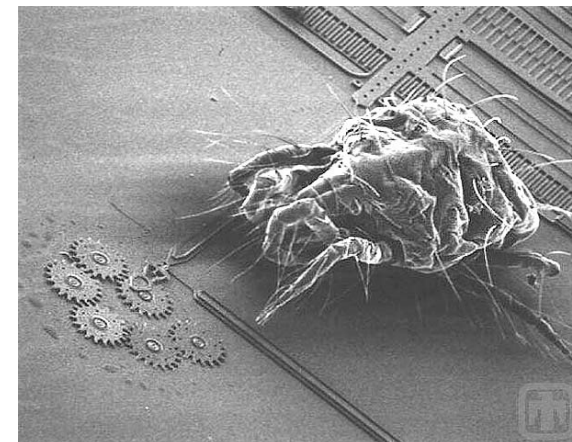
Nosilec: prof.dr.Miha Mraz

5. december  
2019



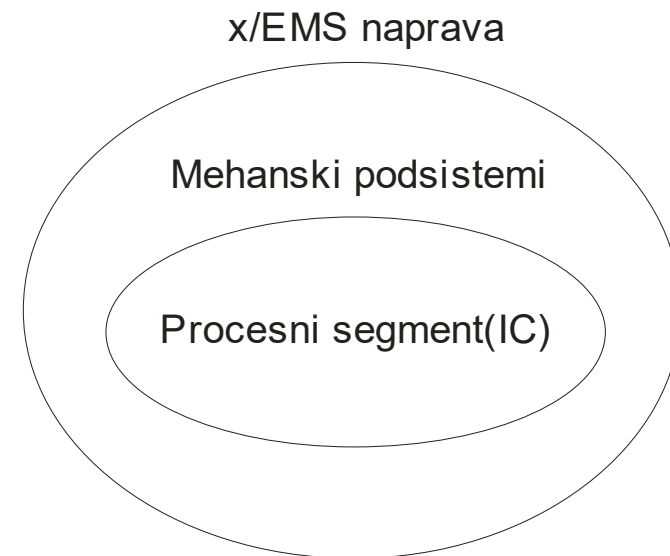
# 1. Osnove MEMS in NEMS naprav

- MEMS: elektro mehanske naprave izdelane na mikro nivoju (angl. *Micro Electro Mechanical Systems - micromachines*)
- NEMS: elektro mehanske naprave izdelane na nano nivoju (angl. *Nano Electro Mechanical Systems - nanomachines*)
- Metoda izdelave: fotolitografija, elektrodepozicija, površinska obdelava silicija
- Sliki: muha in pršica ter MEMS napravi





- V splošnem razdelimo MEMS/NEMS napravo na mehanske podsisteme in na procesni (elektronski) segment (Mikroelektronika + "micro machining" = "system on chip")
- Mehanski segment (I/O) – interakcija z okoljem: I v funkciji zaznavanja okolja (senzorika) in O v funkciji premikanja, mehanskega vplivanja na okolje, itd.
- Procesni segment: klasične procesne funkcije (odločanje)





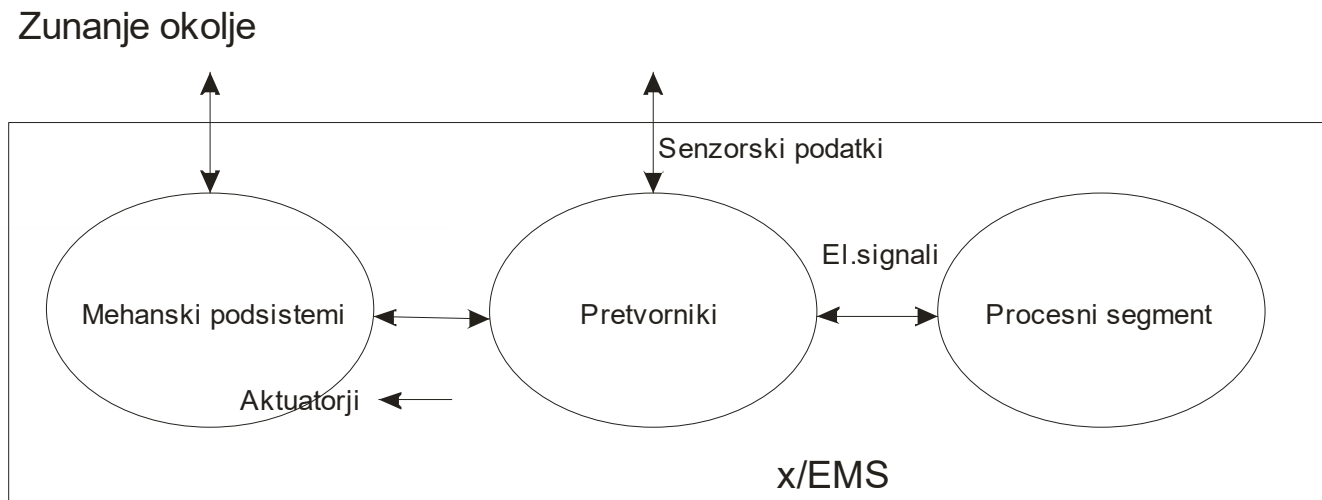
## 2. Značilnosti MEMS/NEMS naprav

- Majhnost naprav -> mehanski podsistem izrablja „fizikalne fenomene“ (angl. *small scale phenomena*):
  - Veliko razmerje med površino in volumnom naprave (uporaba za gibanje naprave ob min. porabi energije)
  - Površinski efekt elektrostaticnosti (uporaba za gibanje)
  - Površinski efekt stičnosti (angl. *wetting*)
  - V splošnem: majhnost -> lažje gibanje
- Prevlada fenomenov nad masnimi in inercialnimi značiln. sistema (angl. *small scale phenomena*)





### 3. Definicija MEMS/NEMS naprav



- Definicija: MEMS/NEMS naprave so plod integracije pretvornikov (angl. *transducer*), **aktuatorjev**, **senzorjev**, ostalih mehanskih komponent in elektronike z logiko na običajnem **silicijskem substratu** [3]



## 3.1. Pretvorniki (angl. *transducers*)

- Funkcija: pretvorba ene vrste nosilca podatkov v drugo vrsto
- Klasični primeri: mikrofoni, zvočniki, termometri
- Efektivnost pretvornika  $E$
- $Q$  – Izhodna moč
- $P$  – Vhodna moč
- Zaradi izgube pri konverziji vedno velja  $E < 1$

$$E = \frac{Q}{P}$$



## 3.2. Aktuatorji

- Mehanizmi za pretvorbo (običajno električnih) decizijskih signalov v mehansko dejavnost (iniciatorji gibanja, nadzorniki gibanja, itd.) – mehanski gonilniki
- Inicijacija aktuatorja – vhodni signal pride s strani pretvornika
- Nadzorovanje okolja MEMS/NEMS se preko aktuatorjev manifestira v:
  - Premik,
  - Pozicioniranje,
  - Reguliranje,
  - Filtriranje,
  - Črpanje itd.

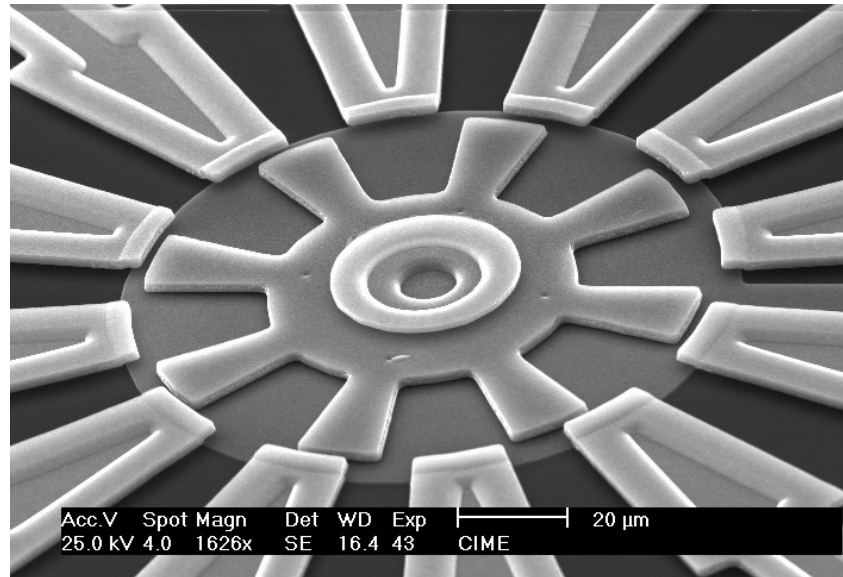


- Vrste aktuatorjev (v realnih merskih gabaritih, sledi miniaturizacija) [3] :
  - Elektromagnetni (npr. električni motorji, akustični zvočniki, ventili),
  - Pnevmatični (npr. motorji),
  - Hidravlični (npr. zavore,)
  - Piezo električni (izkoriščajo elektrostatične fenomene),
  - Termični (za mehansko dejavnost izkoriščajo toploto) itd.





- MEMS aktuator: elektrostatični motor delujoč na osnovi alternirajočih napetosti na sosednjih površinah (vir [3]/lecture11)





## 3.3. Senzorji

- Zajemajo - zbirajo informacije iz okolja
- Namen: merjenje fizikalne veličine in njena konverzija v signal, ki ga bo opazovalec „razumel“
- Vrste senzorjev:
  - Mehanski,
  - Termični,
  - Akustični,
  - Biološki,
  - Kemični,
  - Optični,
  - Magnetni, itd.



- Resolucija sensorja: min.razlika merjene količine, ki jo senzor še zazna
- Odzivnost sensorja:
  - Linearna (idealno)
  - Linearna v navezavi z drugo funkcijo (npr. log.)
- Senzorske anomalije:
  - Občutljivost (lahko je nelinearna)
  - Obseg zaznavanja
  - Odmik od resnične opazovane veličine
  - Dinamična občutljivost (čas zaznavanja)



## 3.4. Mehanske komponente

- Primeri:
  - Motorji,
  - Ventili,
  - Zavorni in prestavni gradniki,
  - Menjalniki (angl. *gears*),
  - Zobniki,
  - Prijemalni sistemi itd.



## 3.5. Elektronski sklop

- Vršni decizijo (angl. *computing*) in pomnjenje (angl. *storage*)
- Rezultat decizije: krmilni izhodi elektronske narave, ki gredo preko pretvornikov do aktuatorjev
- Domena računalniške stroke ob poznavanju ostalih ved (fizika, kemija, mehansko inženirstvo, itd.)

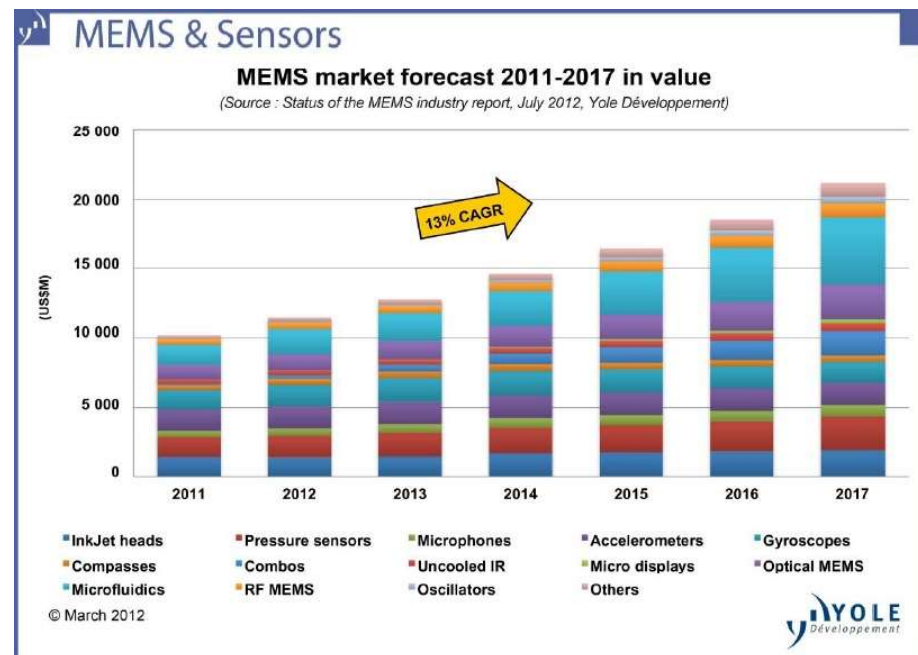


## 4. Zgledi MEMS/NEMS naprav in njihovo tržišče

- [www.sandia.gov](http://www.sandia.gov) (Sandia National Laboratories, 1949 ->), GO-CO (angl. *government owned, contractor operated facility*)
- trenutno aktualni primeri MEMS/NEMS naprav: giroskopi, pospeškometri (Airbag MEMS)
- 15/20 MEMS naprav na državljana ZDA



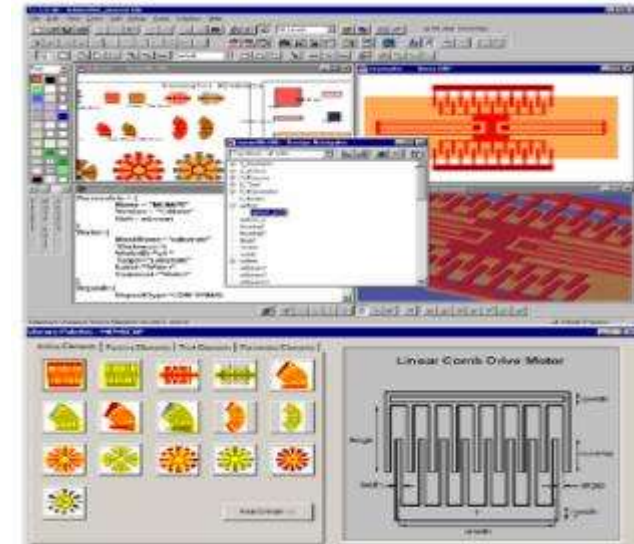
- Vir:  
[http://www.sensorsportal.com/HTML/Status\\_of\\_MEMS\\_Industry.htm](http://www.sensorsportal.com/HTML/Status_of_MEMS_Industry.htm)
- Napoved za leto 2017: cca 20 milijard USD.





## 5. Programska orodja za snovanje naprav

- <http://www.comsol.com/mems-module>
- MEMCAD: [www.memcad.com](http://www.memcad.com)
- IntelliCAD: [www.intellisense.com](http://www.intellisense.com)
- MEMS ProCAET: [www.tanner.com](http://www.tanner.com)
- MEMScap: [www.memscap.com](http://www.memscap.com)







## 6. Področja uporabe

- Medicina (naprave (angl. *POC strips*) in zdravila)
- Ink-jet tiskalniki
- Avtomobilska industrija (airbag sistemi)
- Mikro baterije
- Senzorji za različne aplikacije
- RF MEMS naprave
- Giroskopi v vozilih – plovilih
- Letalska in vojaška industrija



- Atraktivna področja prihodnosti:
  - “wearable market” (POC naprave v zdravstvu, oblačila, rekreacijski nameni, itd.)
  - “IoT market” (Internet of Things)
  - Senzorika za potrebe “wearable” naprav:
    - Svetovno tržišče 2013: letna proizvodnja 67 milijonov kosov
    - Svetovno tržišče 2019: letna proizvodnja 466 milijonov kosov
    - 2013: “Wearable” naprava ima 1,4 senzorja
    - 2019: “Wearable” naprava bo imela 4,1 senzorja



- Zanimivi posnetki:
  - <http://www.youtube.com/watch?v=GiG5czNvV4A>
  - <http://www.youtube.com/watch?v=CNmk-SeM0ZI>



## 7. Literatura

[1] <http://www.ee.ucla.edu/~wu/ee250b/Introduction.pdf>

[2] <http://www.memsnet.org>

[3] <http://www.liebachman.net/eecs179/lectures/lecture07.pdf>

[4] M. Gad-el-Hak: MEMS Handbook, CRC Press, 2002, USA – reference MEMS aplikacij (knjigo si lahko sposodite pri prof.Mrazu)