

# Nanotehnologija v energetiki in elektroniki

**doc. dr. Iztok Kramberger**

Univerza v Mariboru

Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Laboratorij za digitalne in informacijske sisteme

Smetanova ulica 17, SI-2000 Maribor, Slovenija

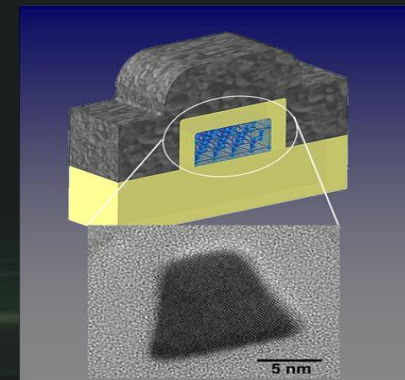
[iztok.kramberger@uni-mb.si](mailto:iztok.kramberger@uni-mb.si)

# Uvodoma ...

- tranzistorska evolucija
  - prvi tranzistor 1947 1 cm
  - danes 30 nm (300 000 krat manjši)
    - večanje zapornih tokov in tunelski efekt skozi oksidno plast vrat
  - system-on-chip (SoC) integracija
    - večjedrne enote s strojno pospešenimi perifernimi enotami (rekonfigurabilna vezja)
  - nove oblike tranzistorjev na osnovi nanotehnologije
    - zmanjševanje porabe energije in večanje števila aktivnih elementov

# V elektroniki ...

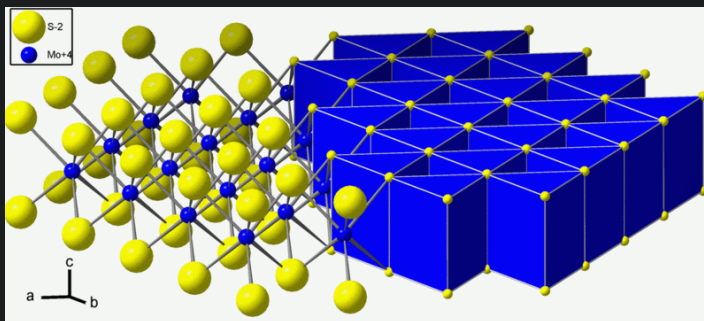
- zmanjševanje porabe električne energije
  - **tranzistorji brez spojev (patent 1928)**
    - krmiljen upor brez spojev nima difuzije
    - silicijeva nanožica - zadovoljivo tanka in ozka plast polprevodnika (nekaj atomskih plasti), da omogoča popolno osiromašenje prostih nosilcev (izklopljeno stanje), pri tem pa močno dopiran za doseganje zmernega tokovnega pretoka (vključeno stanje)
    - popolna CMOS funkcionalnost, manjša občutljivost na termične težave
    - zmanjševanje stroškov proizvodnje, doseganje ostrih robov spojev na 22 nm tehnologiji zahteva izjemno hitre, sofisticirane in drage tehnike toplotne obdelave
    - proizvodnja trenutno zahteva izjemno čiste silicijeve kristale brez napak



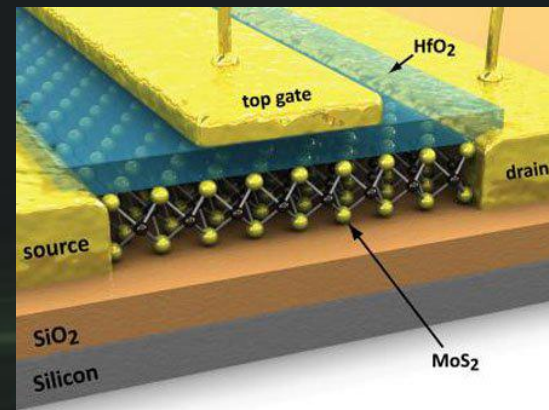
Vir: Tyndall - Nanowire transistors without junctions

# V elektroniki ...

- zmanjševanje porabe električne energije
  - manjši in učinkovitejši tranzistorji
    - Nobelova nagrada
    - molibdenit je mineral molibden disulfida ( $\text{MoS}_2$ ) - dvodimenzionalen material
    - trenutno uporabljan kot aditiv mazil in nekaterih železovih zlitin
    - učinkovit polprevodnik v primerjavi z grafenom in silicijem
      - mobilnost elektronov v 0,64 nm debeli plošči je enakovredna mobilnosti elektronov 2 nm debele plasti silicija
      - energija elektronskega praga je 1,8 eV ( $10^5$  krat manjša poraba)



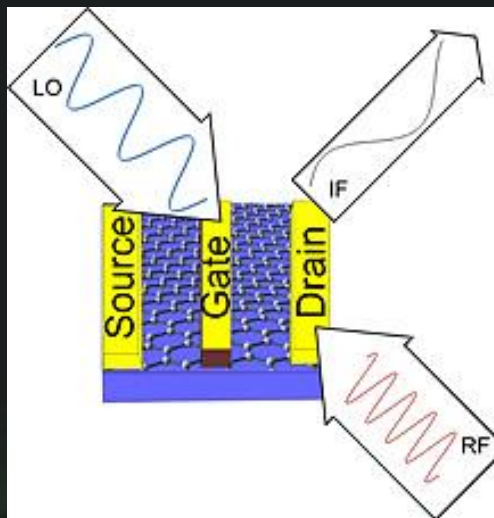
Vir: Wikipedia



Vir: Laboratory of Nanoscale Electronics and Structures

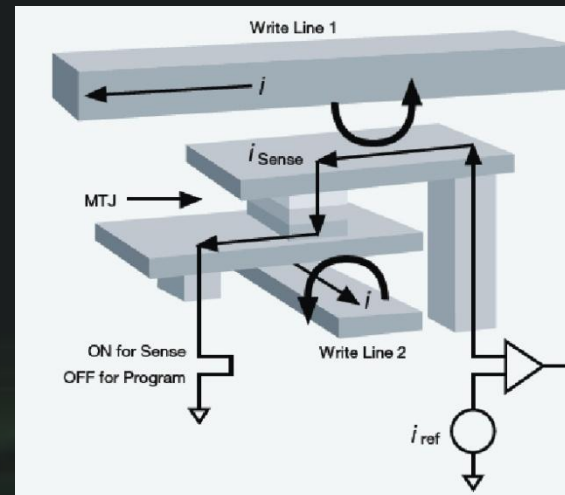
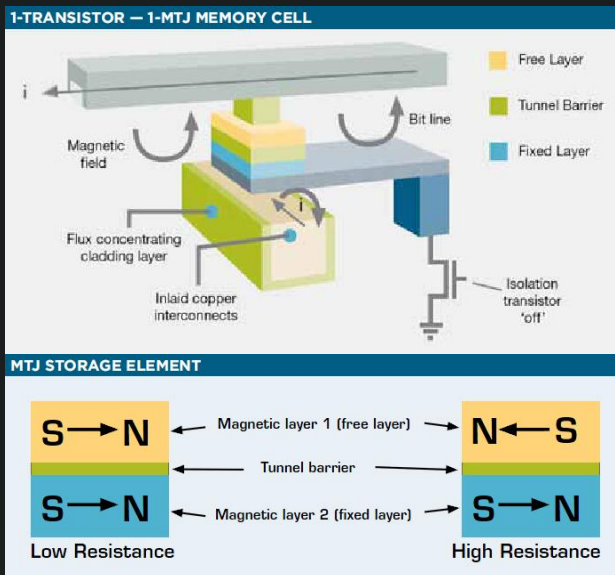
# V elektroniki ...

- višje frekvence mikrovalovnih radijskih aplikacij
  - **grafenski FET uporovni mikser (G-FET) za mikrovalovno področje na osnovi enega tranzistorja**
    - izraba simetrične električne karakteristike grafena in sposobnosti krmiljenja elektronov/vrzeli s vplivom električnega polja
    - prihodnje aplikacije na THz področju
    - slikanje z visoko razločljivostjo za radarske sisteme in radijsko astronomijo



# V elektroniki ...

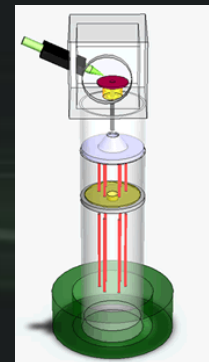
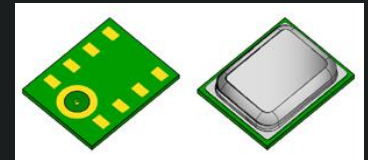
- novi tipi pomnilnikov
  - magnetno rezistivni pomnilniki (MRAM)
    - neomejeno število bralno/pisalnih ciklov s trenutno hitrostjo 35 ns
    - zadrževanje podatkov 20+ let
    - veliko temperaturno območje delovanja (-55 do 125 °C)
    - bitna celica je imuna na mehke napake
    - 64 Mb DDR3 združljivi pomnilniki v drugi polovici 2012
    - imunost na radiacijo pri 130 nm tehnologiji (LET 84 MeV, 75 kRad TID)



Vir: Everspin Technologies

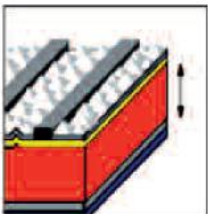
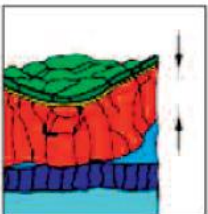
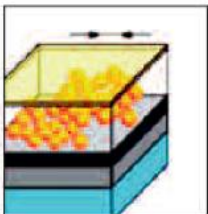

# Integrirani nanosistemi ...

- MEMS (Microelectromechanical systems)
  - integrirani filtri, pospeškometri, giroskopi, optična stikala, mikrofoni
  - pomnilniki, precizni senzorji
- NEMS (Nanoelectromechanical System)
  - kvantni efekt in obrobje mehanike
  - tehnologija izjemno majhnih in visoko občutljivih senzorjev za razne aplikacije



# V energetiki ...

- bolj učinkovita proizvodnja električne energije
  - sončne celice

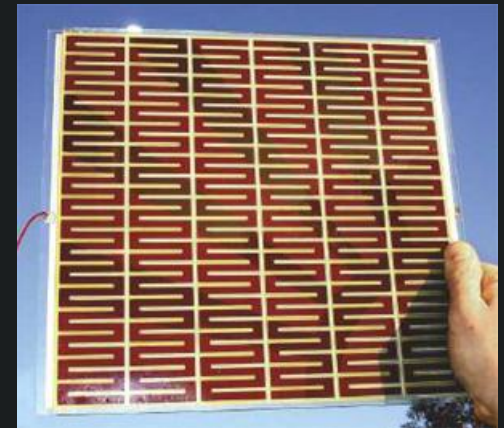
Type of solar cells	Wafer based	Thinfilm	Electrochemical	Electrochemical
Structure				
Materials	Crystalline Silicon	Amorphous Silicon CIGS cadmium telluride	Dye solar cells, nanoporous titanium dioxide	Fullerenes (C60) conjugated polymers
Efficiency (State of the art)	25%	19%	10%	5%

Vir: [www.fv-sonnenenergie.de](http://www.fv-sonnenenergie.de)



# V energetiki ...

- bolj učinkovita proizvodnja električne energije
  - sončne celice
    - **tankoplastne izvedbe (izkoristek do 20%)**
      - zniževanje stroškov proizvodnje
        - » manjša poraba materialov
        - » nizko temperaturni procesi
        - » integrirano povezovanje celic
        - » visoka stopnja avtomatizacije
      - CIGS – baker, indij, galij, žveplo, selen
      - nanoteksturane transparentne prevodne plasti
    - **nanodelci v izvedbah na osnovi barvil (izkoristek do 10%)**
      - dopiranje molekul barvil z nanodelci za separacijo naboja
        - » absorpcija fotonov v barvilu povzroči emisijo elektronov, ki jo delci titanovega dioksida absorbirajo, prejet naboj pa se preko elektrolita prenese na elektrodo
      - cenen proizvodni proces, možnost uporabe pri difuzni svetlobi (interne aplikacije), možnost transparentne izvedbe, barvna paleta
    - **fulerenovi derivati v polimernih izvedbah (izkoristek 10%)**
      - kompozitna plast med 100 in 300 nm, kateri fuleren deluje kot akceptor elektronov
      - nizko cenovni materiali in proizvodni procesi, fleksibilnost



Vir: FGH-ISE

# V energetiki ...

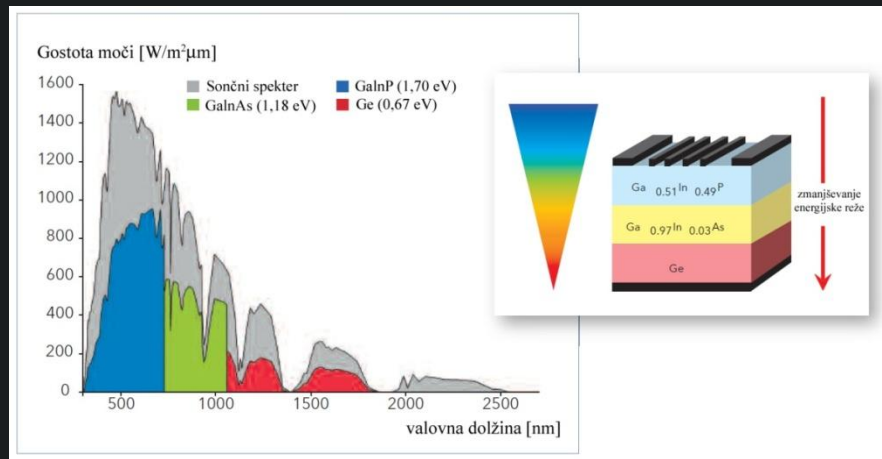
- bolj učinkovita proizvodnja električne energije
  - sončne celice
    - **nanoplasti v večplastnih izvedbah (izkoristek do 40%)**
      - večplastna polprevodniška izvedba na osnovi III/V skupine
        - » trenutno vesoljske aplikacije, proizvodni proces predrag za zemeljsko uporabo
        - » uporaba koncentradorjev in zniževanje stroškov
      - večplastne silicijeve in polimerne izvedbe na vidiku
    - **izvedbe na osnovi nanokristalov (izkoristek teoretično do 60%)**
      - uporaba nanokristalnih mrež z visokimi opto-elektronskimi lastnostmi
        - » povečanje ustvarjanja prostih elektron-vrzel parov na foton
        - » prilagajanje absorpcijskih pasov na spekter vzbujanja
    - proti-refleksijske nanostrukturne plasti (zmanjšanje refleksijskih izgub steklenih panelov iz tipično 8% na 2%)
      - nanoporozne prevleke silicijevega dioksida
        - » poroznost omogoča prilagajanje lomnega količnika med steklom in okoljskim zrakom

# V energetiki ...

- bolj učinkovita proizvodnja električne energije
  - sončne celice



Vir: SolarSystems



Vir: FHG-ISE

- vetrna energija

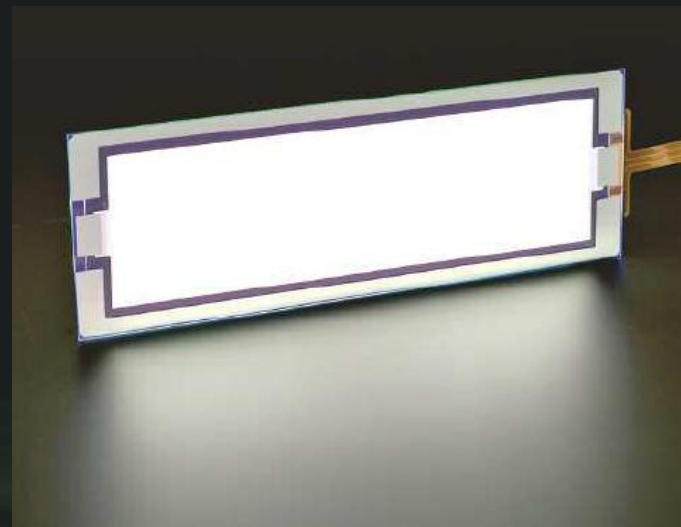
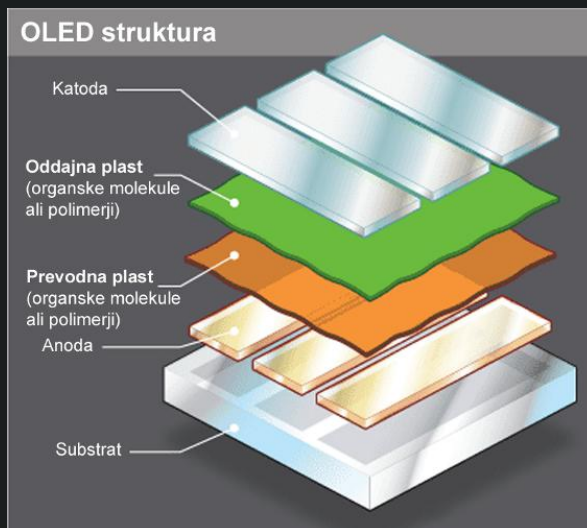
- izboljšave mehanskih obremenitev materialov in komponent
  - uporaba ogljikovih nanocevk (CNT) za večanje trdote lopatic rotorjev
  - nižanje nivoja hrupa
  - CNT polimerni kompoziti za elektromagnetno zaščito krmilne elektronike
    - » 10% okvar vetrnih generatorjev je posledica udara strele

# V energetiki ...

- učinkovita pretvorba električne energije
  - nanomateriali za termoelektrično pretvorbo energije
    - uporaba nanoporoznih materialov z veliko notranjo površino za povečanje adsorpcije izmenjevalnih medijev toplotnih črpalk
- optimizacija shrambe električne energije
  - litij-ionske tehnologije
    - optimizacija elektrodnih materialov in elektrolitov
      - ogljikovi nanoporozni materiali
    - višanje energijske gostote z večanjem celične napetosti
      - novi katodni materiali na osnovi mešanih oksidov  $\text{LiMPO}_4$  (Co, Ni, Mn)
  - superkondenzatorji
    - uporaba ogljikovih aerogelov kot nanoporoznih substanc za grafitne elektrodne materiale
      - raziskave kažejo do 10 kW/kg

# V energetiki ...

- optimizacija porabe električne energije
  - nanooptimizirana močnostna elektronika
    - uporaba nanotehnologije za izboljšanje lastnosti močnostnih polprevodnikov
  - razsvetljava
    - uporaba nanotehnologije za dvigovanje kvantne storilnosti WOLED



Vir: Merck KGaA

# Zahvala ...

OBDHTEAM 

**BEYOND**  
SEMICONDUCTOR



**VPT**

*plus*

**NXP**



**Microsemi.**

**vector**

**JTAG**  
TECHNOLOGIES

**NATIONAL  
INSTRUMENTS™**

**LINEAR**  
TECHNOLOGY

**ISSI**

**Telesis**



**elti**

**astron**  
advanced solutions electronics

**Vacutech**

**TELETECH**

transmittingtogether



**EVERSPIN™**  
TECHNOLOGIES  
The MRAM Company™

**AEROFLEX**  
GAISLER