

*Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet*

Uvod u elektroniku

13E041UE

# UVOD U PROJEKTOVANJE INTEGRISANIH KOLA

Cilj predavanja:

Upoznavanje sa značajem i prednostima integrisanih kola kao i osnovnim elementima projektovanja integrisanih kola

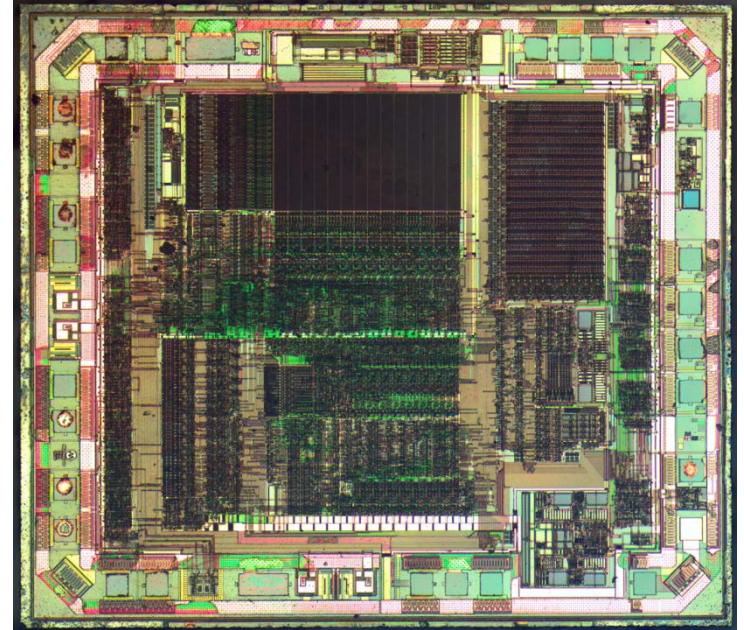
Vladimir Petrović, asistent

[petrovicv@etf.rs](mailto:petrovicv@etf.rs)

# Sadržaj predavanja

- Šta su integrisana kola?
- Čemu služe IK i koje su im prednosti?
- Šta se nalazi u integrisanom kolu?
- Implementacija invertora u integrisanom kolu?
- Kako se projektuju integrisana kola?

PIC16C505



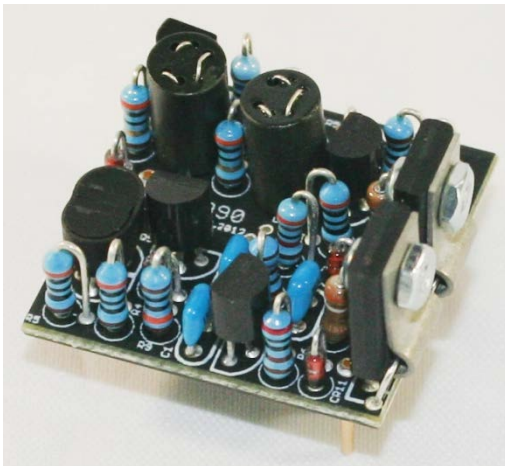
# Šta su integrisana kola?

- Integrisano kolo (drugi nazivi: čip, mikročip) predstavlja skup više elektronskih kola realizovanih na jednom parčetu poluprovodnika
- Ta elektronska kola mogu biti povezana različitim provodnim slojevima u samom IK
- Najčešće je u osnovi poluprovodnika silicijum, mada mogu biti i drugi materijali npr. germanijum, galijum-arsenid

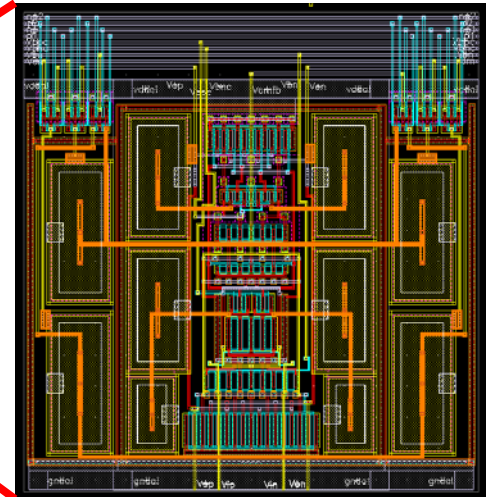
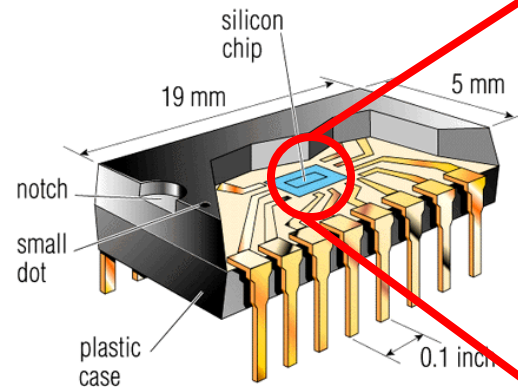
# Diskretno i integrisano

- Diskretna kola su realizovana uz pomoć komponenti koje nisu na jednom čipu – otpornika, kondenzatora tranzistora

Kolo sa diskretnim komponentama



Integrisano kolo



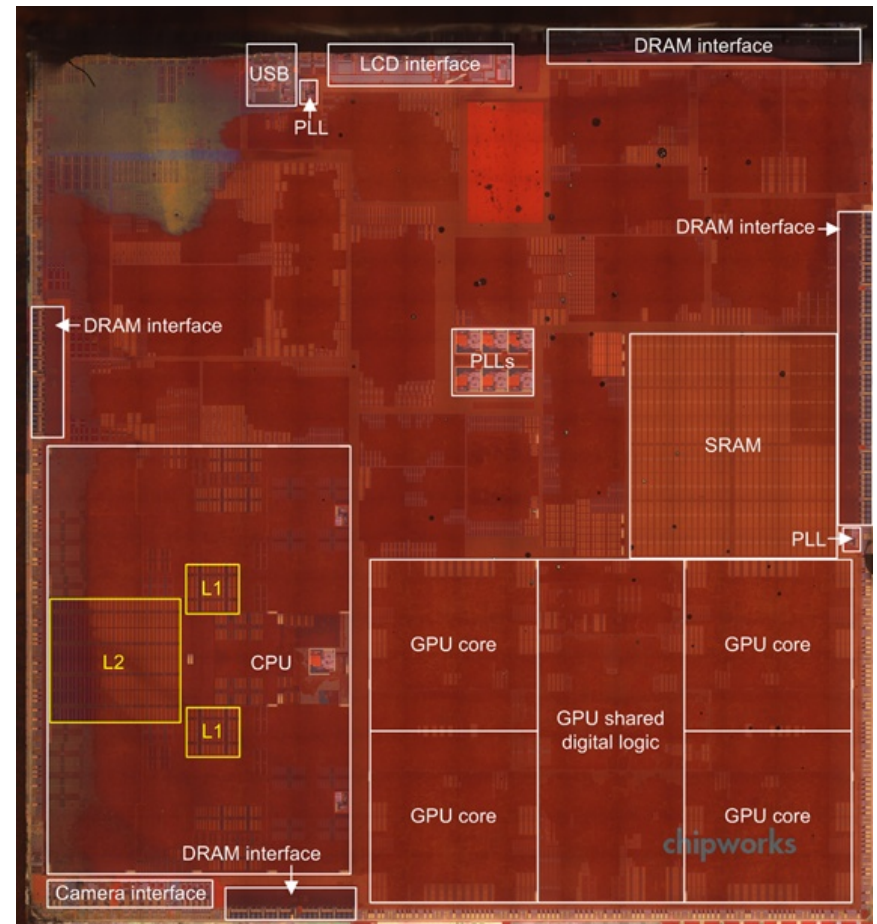
# Zašto integrisana kola?

- Moguće je integrisati velike sisteme u jedan čip
  - digitalna kola – procesore, čitave računare
  - analogna kola – pojačavače
  - mixed-signal kola – AD, DA konvertore
- Zbog toga su sistemi znatno pouzdaniji

## Apple A7 sistem na čipu



- U iPhone 5S, iPad Mini 2 i 3
- sadrži procesor, keš memoriju za procesor, grafički procesor za obradu slike, razne druge periferije za komunikaciju npr. USB, koprocesore za obradu zvuka i drugih signala



# Zašto integrisana kola?

- Cena masovno fabrikovanih uređaja sa integrisanim umesto sa diskretnim kolima je mnogo manja
- U diskretnoj tehnici je cena sistema direktno bila proporcionalna njegovoj složenosti
- Cena IK ne mora da zavisi direktno od broja komponenti u sistemu zbog vrlo razvijenog automatizma u projektovanju i jeftinije masovne fabrikacije

# Ko pravi integrisana kola?

- Samo nekoliko zemalja u svetu ima fabrike za proizvodnju integrisanih kola – SAD, Kina, Tajvan...
- Fabrikacija integrisanih kola je skup tehnološki proces
  - Ako se proizvodi 10ak čipova onda je cena fabrikacije izrazito skupa između 10 000 – 200 000 dolara po čipu
  - Ali ako se proizvodi 100 000 istih čipova cena može da padne i ispod jednog dolara po čipu
- Fabrike za proizvodnju IK ne projektuju čipove, tamo rade tehnolozi
- Inženjeri elektronike koji projektuju čipove rade u drugim kompanijama kojih ima svuda po svetu pa i kod nas

# Šta se nalazi u integrisanom kolu?

- Poluprovodničke komponente (diode, tranzistori)
- Provodni slojevi za njihovo povezivanje
  - Mnogo slojeva metala
  - Veze koje se ostvaruju imaju parazitne otpornosti, kapacitivnosti i induktivnosti, pa se njima mogu realizovati otpornici, kondenzatori i kalemovi u IK
  - Najveći deo površine IK su veze

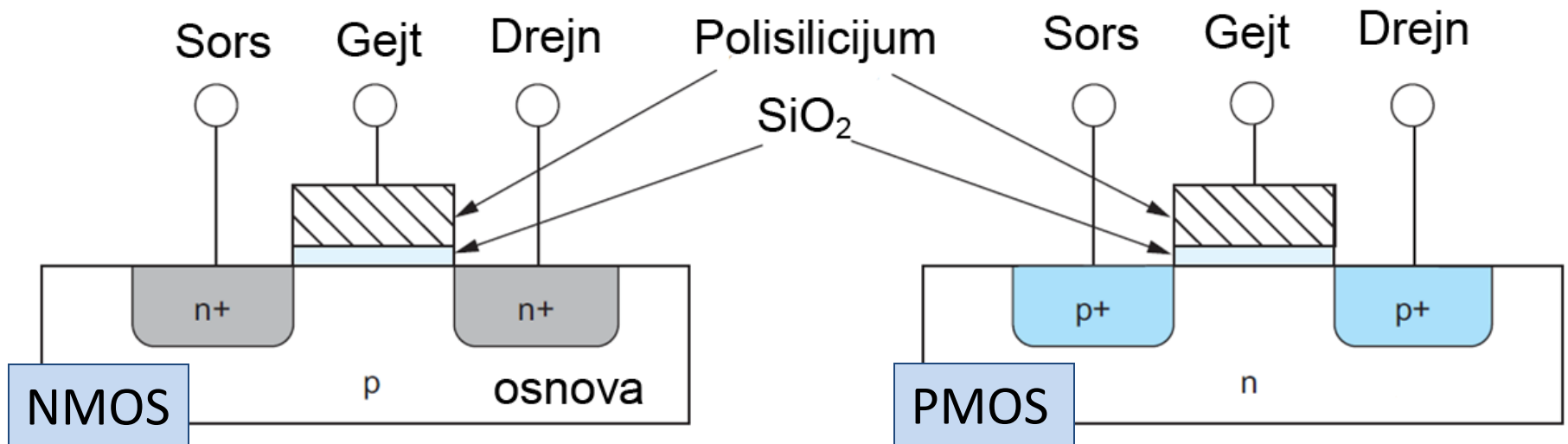


# Poluprovodnici

- Silicijum je pogodan za proizvodnju IK jer je to četvorovalentni element. Takođe, ima ga u izobilju pa je jeftin (pesak).
- Silicijum je poluprovodnik što znači da mu je specifična otpornost negde između izolatora (npr. plastika) i provodnika (npr. bakar)
- Kod provodnika postoji dosta slobodnih elektrona koji mogu da se kreću pod dejstvom električnog polja, kod izolatora elektroni nisu slobodni i zbog toga izolatori ne provode struju
- Poluprovodnici su negde između provodnika i izolatora
- Mogu da provode struju, ali pod određenim uslovima
- Nosioци naelektrisanja su negativni elektroni i pozitivne šupljine
- Poluprovodnici koji imaju više slobodnih elektrona su poluprovodnici n tipa, a oni koji imaju više šupljina su p tipa
- Animacija koja prati ovaj slajd nalazi se na sledećoj adresi:  
[tnt.etf.rs/~oo1ue/predavanja/Semiconductors.mp4](http://tnt.etf.rs/~oo1ue/predavanja/Semiconductors.mp4)

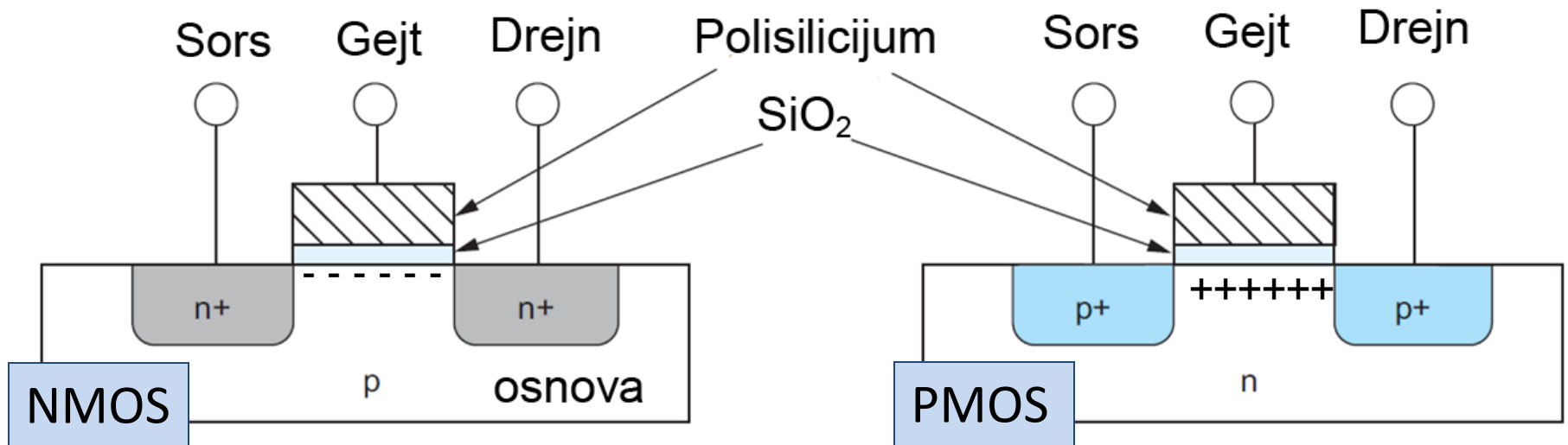
# Tranzistor

- NMOS tranzistor – U poluprovodnik p-tipa (p osnova) se ugrade poluprovodnici n tipa – ovi poluprovodnici predstavljaju sors i drejn NMOS tranzistora; pošto su n-tipa imaju više elektrona
- Prostor u osnovi između drejna i sorsa ima više šupljina nego elektrona, pa između sorsa i drejna ne može da teče struja
- Iznad ovog prostora postoji provodna struktura – polisilicijum koja je dielektrikom ( $\text{SiO}_2$ ) fizički odvojena od osnove, ta struktura se naziva gejt
- PMOS tranzistor – ista struktura kao NMOS samo obrnuti tipovi poluprovodnika



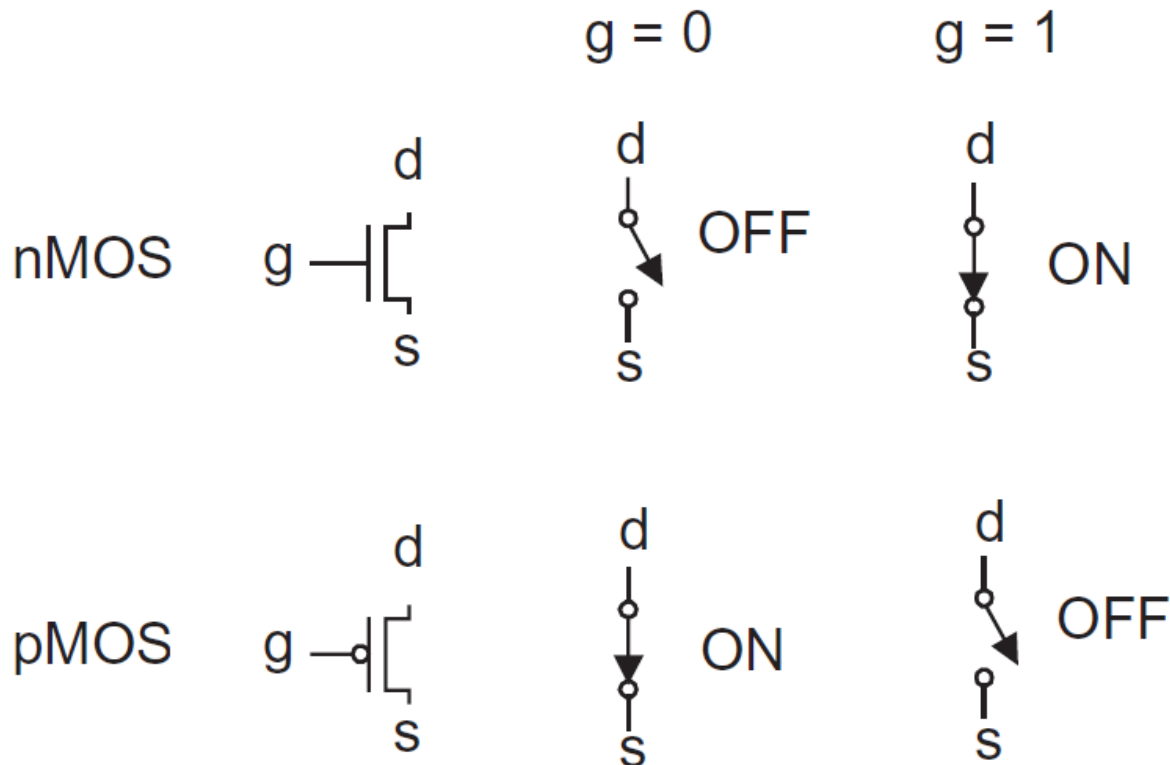
# Tranzistor

- Ako se između gejta i osnove NMOS tranzistora dovede pozitivan napon, onda elektroni zbog električnog polja koje postoji priđu gejtju i ta skupina naelektrisanja formira kanal kojim može da teče struja od drejna ka sorsu
- Ako se između gejta i osnove PMOS tranzistora dovede negativan napon, onda šupljine zbog električnog polja koje postoji priđu gejtju i ta skupina naelektrisanja formira kanal kojim može da teče struja od sorsa ka drejnu



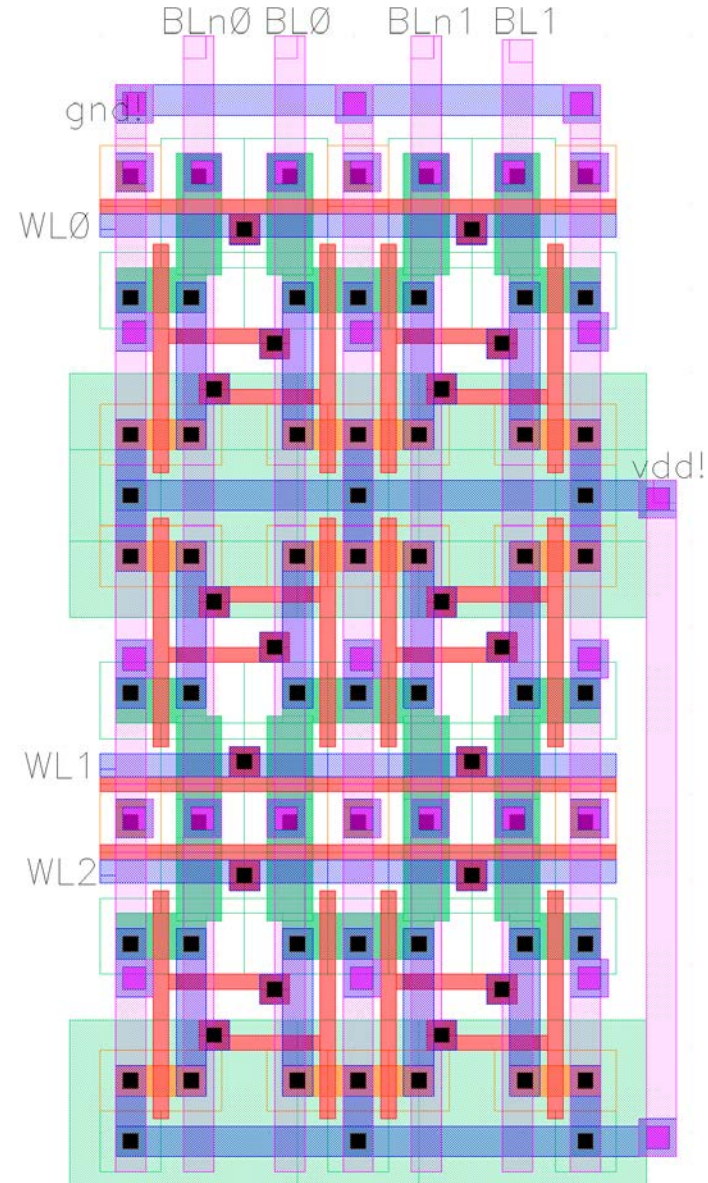
# Tranzistor

- Digitalna elektronika – tranzistor je prekidač
  - Ovo je najjednostavniji model tranzistora
  - Omogućava da analiziramo funkcionalnost digitalnih sistema, ali zanemaruje razne druge efekte kao što su otpornost i parazitne kapacitivnosti tranzistora
- Logička nula – nizak naponski nivo; Logička jedinica – visok naponski nivo



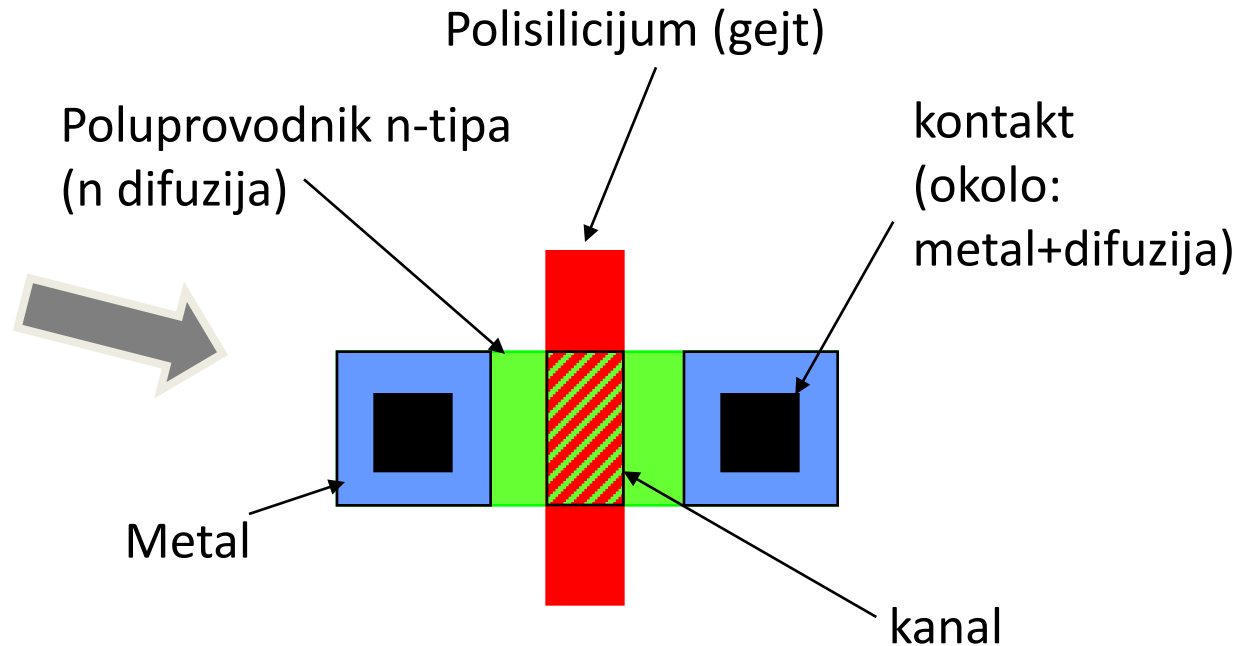
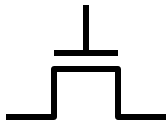
# Lejaut

- Integrisana kola prave mašine
- Neophodno je da postoji poseban format u kome će se mašini reći gde da stavi poluprovodnike n tipa, gde p tipa, gde provodne strukture, kontakte za poluprovodnike
- U alatima za projektovanje integrisanih kola se pored funkcionalnih šema sa tranzistorima, otpornicima, kondenzatorima crta ili automatski generiše lejaut
- Lejaut (*layout*) predstavlja reprezentaciju integrisanog kola u obliku planarnih geometrijskih oblika koji odgovaraju poluprovodnicima, metalima, kontaktima
- Lejaut je zapravo skup crteža – po jedan za svaki sloj

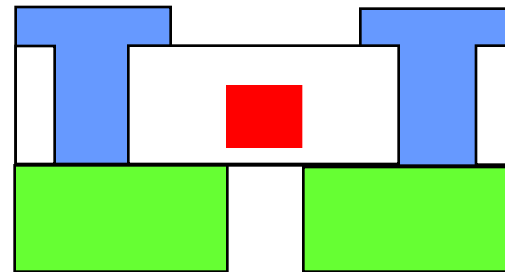


# Lejaut tranzistora

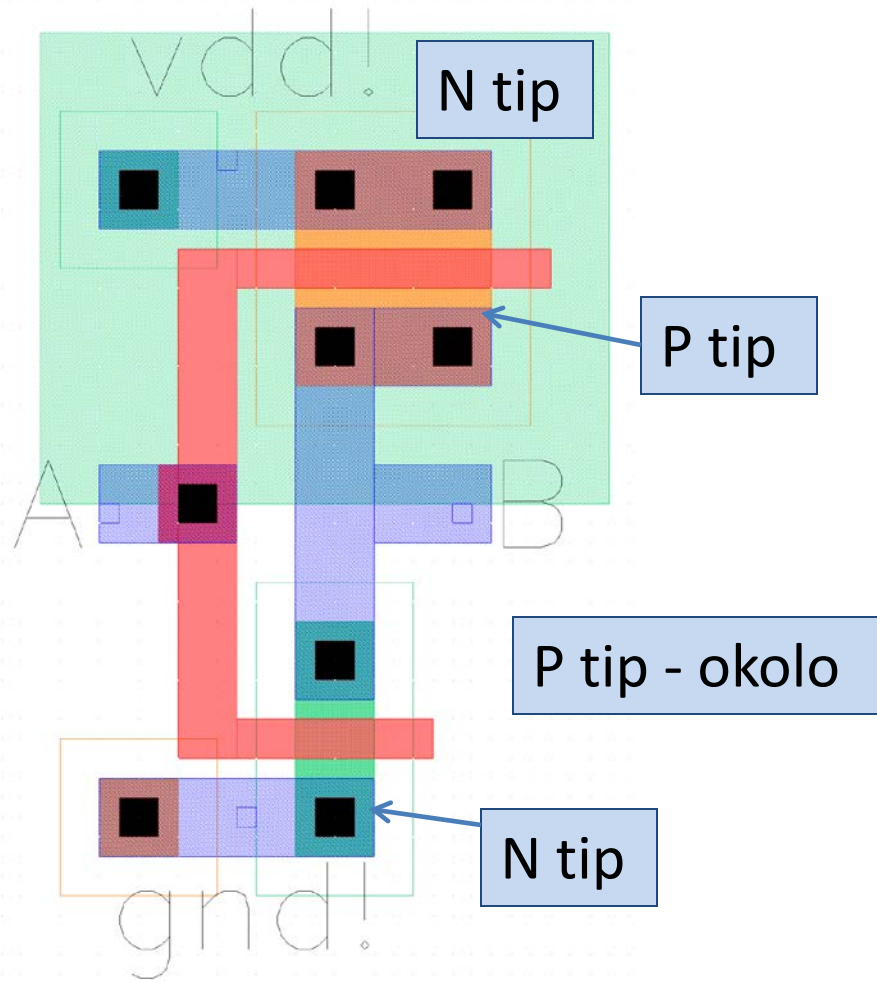
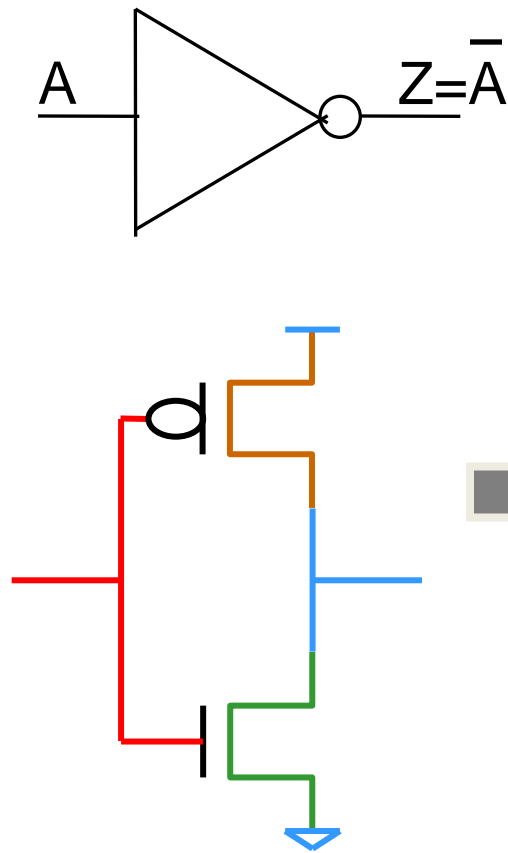
- NMOS tranzistor:



- Od poluprovodnika n-tipa do metalnog sloja mora da se stavi kontakt kojim se ostvaruje veza
- Lejaut PMOS tranzistora je isti samo se za poluprovodnik p tipa koristi braon boja



# Lejaut logičkog invertora



# Lejaut složenijeg sistema - primer memorije -

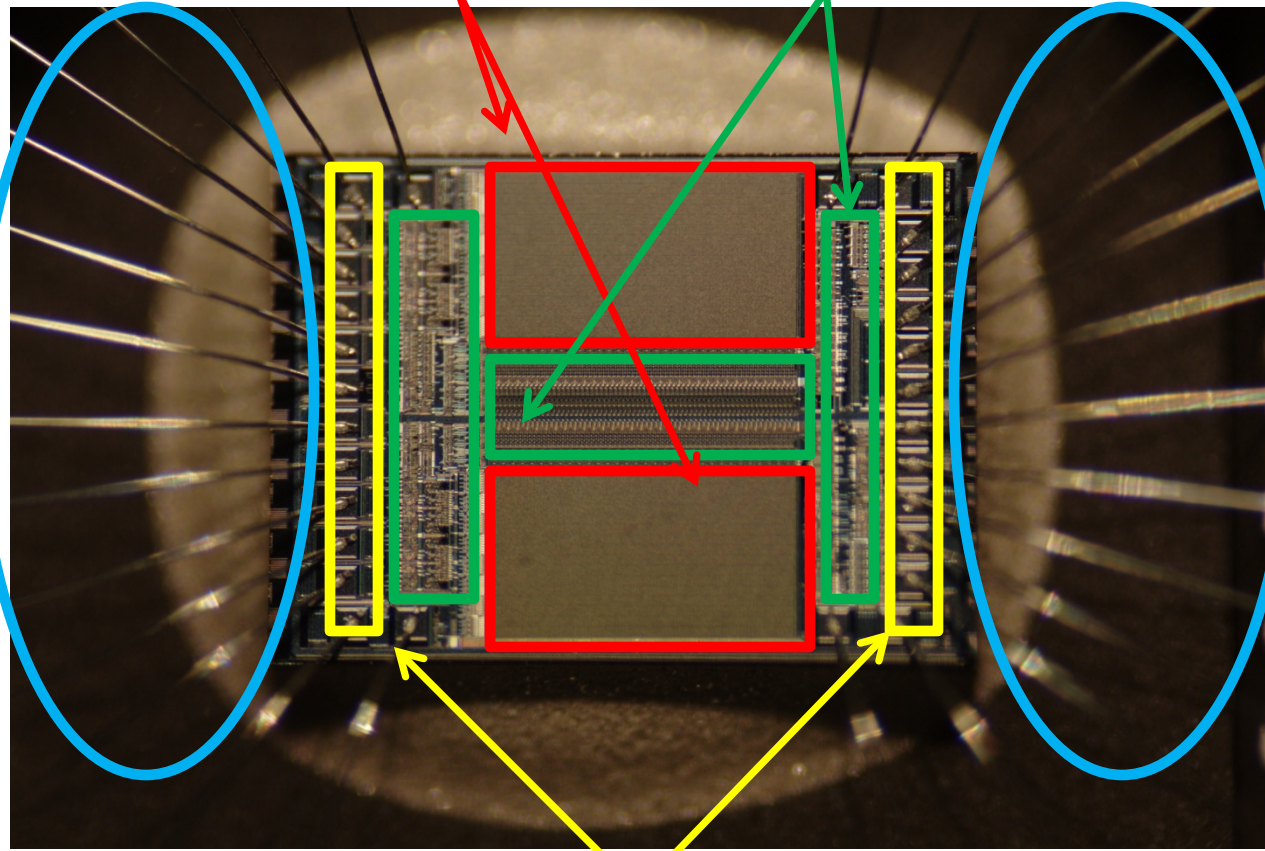




# Kako jedan tip memorije izgleda kad se napravi na čipu?

Memorijske matrice

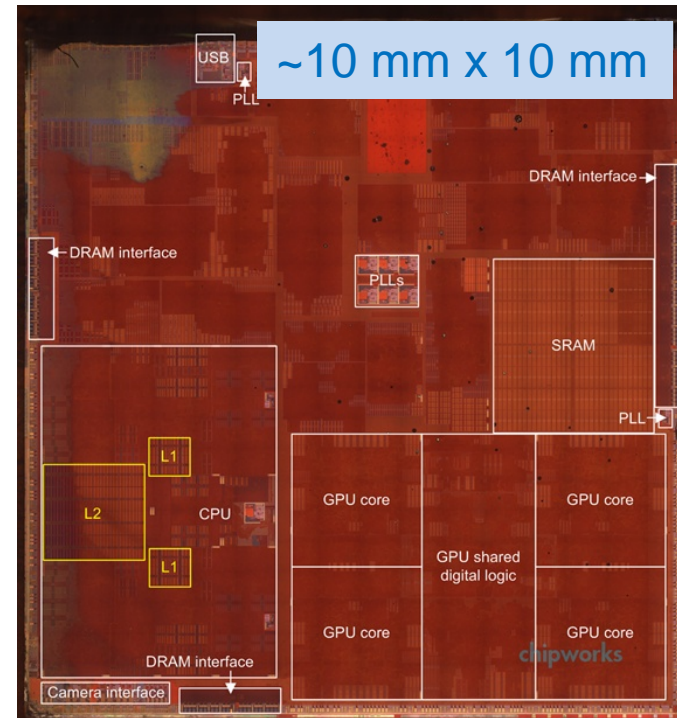
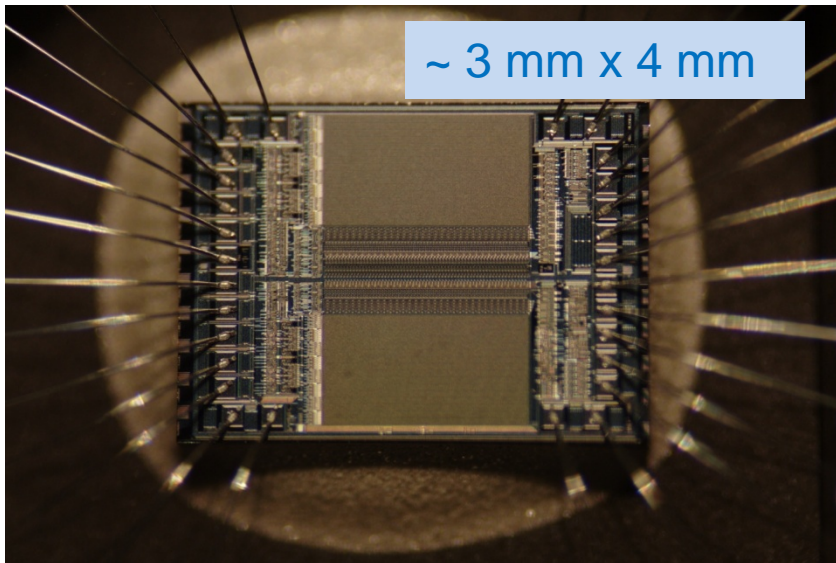
Kontrolna logika



Žice za povezivanje sa pinovima na kućištu

Priključci od metala na koje se povezuju žice

# Koje su dimenzije integrisanog kola?



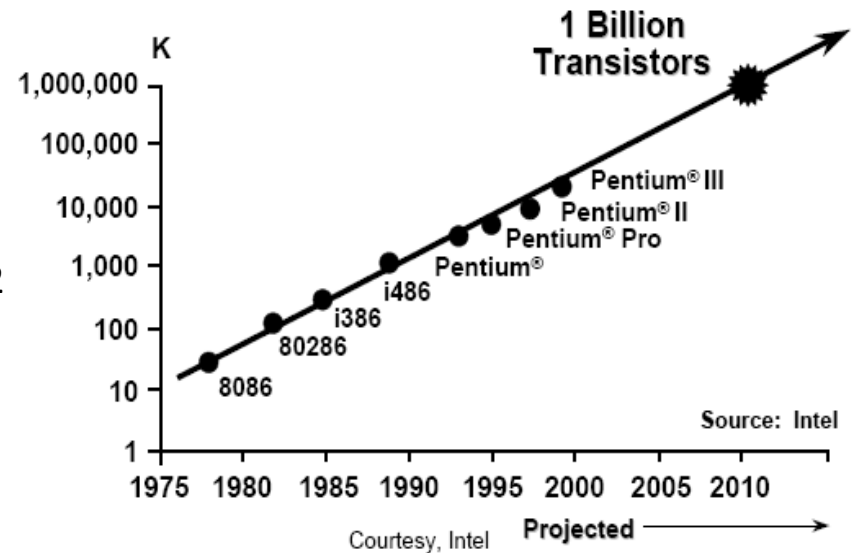
- Sama integrisana kola su jako malih dimenzija – ceo procesor može da stane na nekoliko milimetara kvadratnih
- Kućište kola sa pinovima je mnogo većih dimenzija od samog IK

# Složenost sistema – problemi u projektovanju

- Postoji velika razlika u projektovanju analognih od projektovanja digitalnih kola
- Analogna kola se najčešće projektuju u alatima gde se testira funkcionalnost električne šeme, a zatim delom generiše, a delom crta lejaut
- Digitalna kola su se nekad tako projektovale
- Danas je za digitalna kola razvijeno mnogo načina za brže projektovanje složenih sistema
  - HDL (Hardware Description Languages) – jezici za opis hardvera, slični su programskim jezicima i u njima se može opisati rad sistema; najpoznatiji jezici su VHDL i Verilog
  - Na osnovu HDL koda se generiše lejaut koji uz male dorade može da se fabrikuje

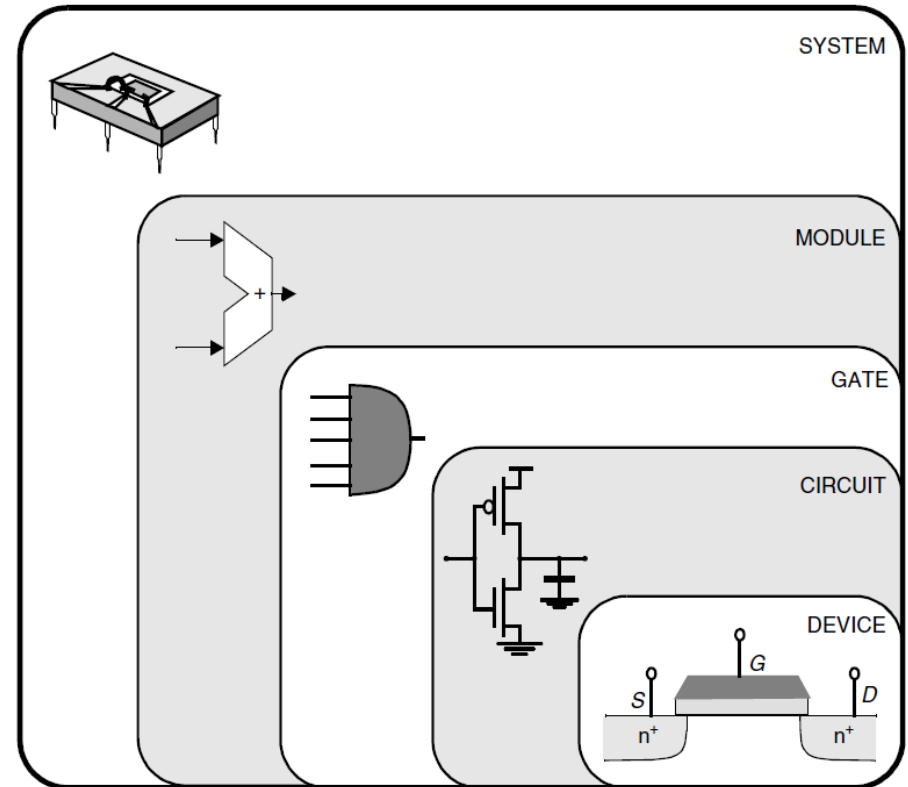
# Složenost sistema – problemi u projektovanju

- Broj tranzistora na jednom čipu eksponencijalno raste – udvostruči se svakih 18-24 meseci – Murovo pravilo
- Što više tranzistora, više je kola koja troše neku električnu energiju, pa se javlja problem potrošnje: ako svi tranzistori na jednom čipu površine  $1 \text{ cm}^2$  rade – potrošnja je reda 250W!
- Mora se ograničiti potrošnja kako kolo ne bi izgorelo
- Često je zbog toga samo 5% tranzistora stalno aktivno



# Složenost sistema – hijerarhijsko projektovanje

- U svakom projektovanju je neophodno da postoji hijerarhija
  - Time se smanjuju verovatnoće greške – dobro istestirana manja celina najčešće uvek dobro radi
  - Sistem je uvek lakše projektovati i analizirati ako se izdela na manje celine
  - Hijerarhija omogućava različite nivoe apstrakcije pri projektovanju
  - Najčešće su u digitalnom dizajnu logička kola i osnovne ćelije isprojektovane i nalaze se u nekoj **biblioteci standardnih ćelija**
  - Osnovne ćelije koriste alati prilikom prevođenja HDL koda kompleksnih sistema u ležaut



# Simulacija i testiranje

- Svako integrisano kolo se projektuje u određenim alatima za projektovanje
- Proces fabrikacije je skup, pa su alati danas sve moćniji u smislu simulacije integrisanih kola
- Simulacija je vrlo važna jer ako kolo radi u simulaciji verovatnoća da će kolo raditi kad se fabrikuje je velika
- Za digitalne sisteme postoje hardverski programabilni čipovi koji mogu da se isprogramiraju tako da se ponašaju kao projektovano integrisano kolo (neki od njih su FPGA, CPLD)
- Ako sistem radi na programabilnom čipu, onda je verovatnoća da će raditi kada se proizvede na posebnom parčetu silicijuma još veća
- Kada se kolo napravi, važno je njegovo testiranje. Ako svi testovi prođu dobro ide se u masovnu proizvodnju.

# Na kraju: koliko je važna ova oblast?

- Oblast elektronike koja se najbrže razvija
- Danas se integrisana kola nalaze svuda: u automobilima, računarima, beloј tehnici, mobilnim telefonima, medicinskim uređajima, mernoј opremi...
- Ukupna zarada od integrisanih kola 2014. godine iznosila je 333 milijarde dolara i ima tendenciju rasta



# Kompanije u Srbiji u oblasti integrisanih kola





# Druge kompanije u Srbiji gde rade elektroničari



# Pitanja

- Šta su integrisana kola? Koja je osnovna razlika između diskretnih i integrisanih kola?
- Koje su glavne prednosti integrisanih kola u odnosu na diskretna kola?
- Šta se sve nalazi u integrisanom kolu?
- Šta su poluprovodnici?
- Opisati strukturu NMOS i strukturu PMOS tranzistora i opisati njihove najosnovnije modele. Koje su prednosti a koje mane tih modela?
- Šta je ležaut?
- Opisati osnovne razlike u projektovanju analognih i digitalnih sistema.
- Šta su jezici za opis hardvera? Čemu služi biblioteka standardnih ćelija?
- Šta je Murovo pravilo? Koji problemi nastaju zbog velikog broja tranzistora na čipu?
- Zašto je važno da postoji hijerarhija u projektovanju IK?
- Zašto je važna simulacija elektronskih kola?
- Šta je FPGA?