

NMOS TRANZISTOR

- TEHNOLOŠKI NIZ I ELEKTRIČNE
KARAKTERISTIKE -

ATHENA I ATLAS

1. Definisiranje domena i mreže

Tehnološki niz NMOS tranzistora simulira se korišćenjem Athene. Pločica je dimenzija $1.5 \times 0.5 \mu\text{m}$.

```
go athena
```

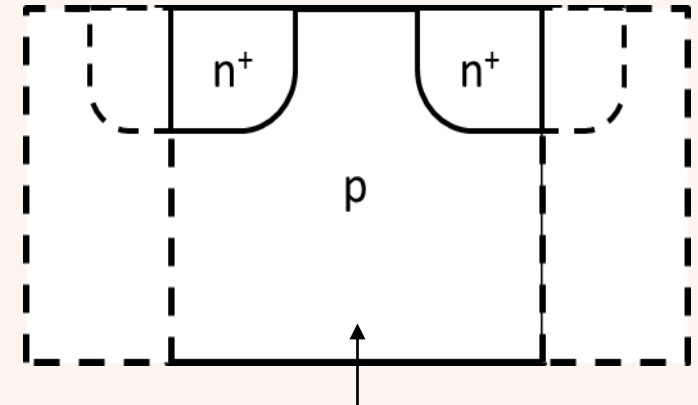
```
line x loc=0 spacing=0.1  
line x loc=0.75 spacing=0.01  
line x loc=1.5 spacing=0.1  
  
line y loc=0 spacing=0.001  
line y loc=0.1 spacing=0.001  
line y loc=0.5 spacing=0.1
```

2. Definisiranje supstrata: **init**

```
init silicon <100> c.boron=1e15 two.d
```

3. Depozicija oksida: **deposit**

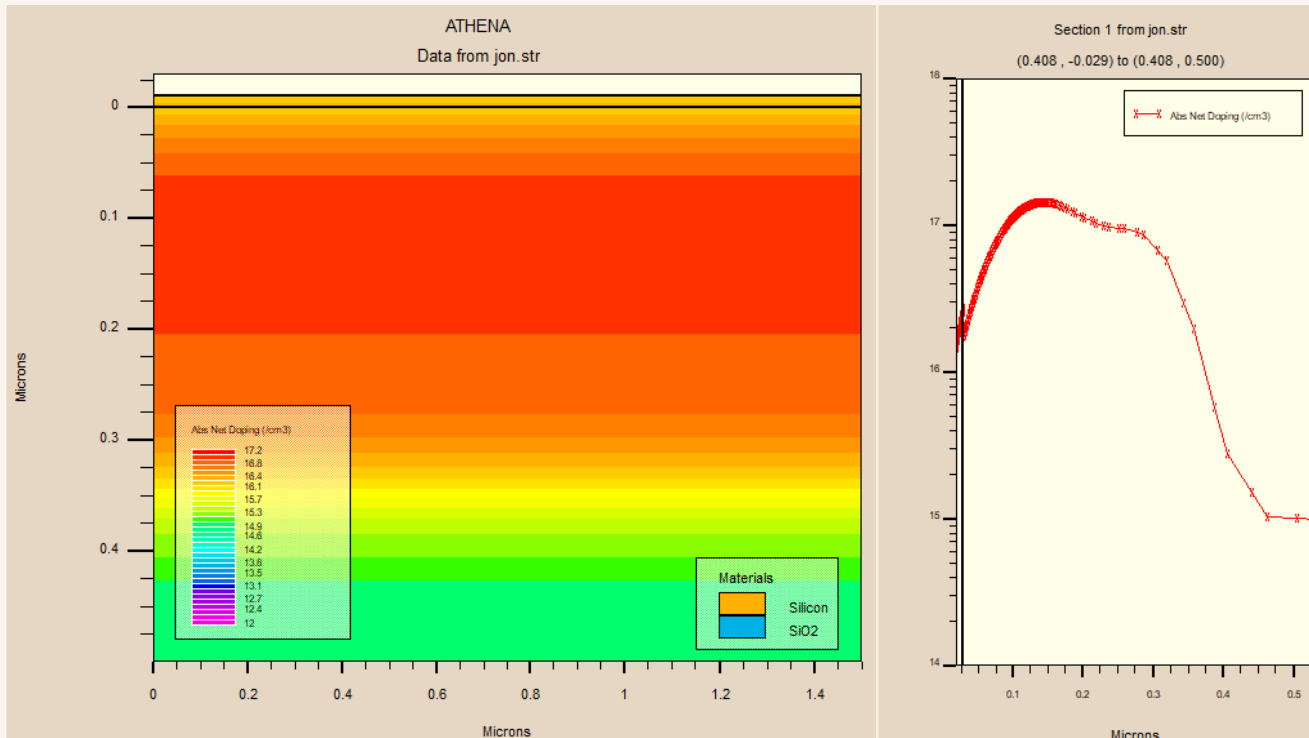
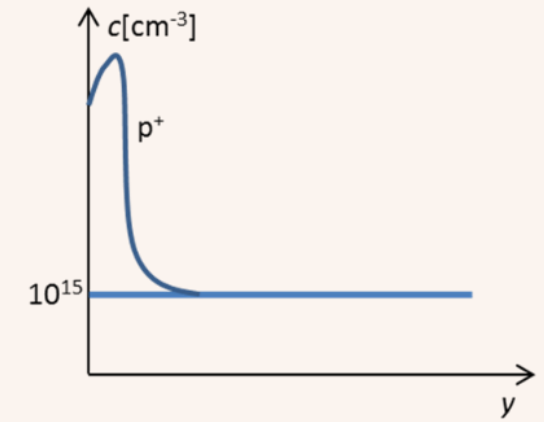
```
deposit oxide thickness=0.01
```



Dovoljan deo strukture za simulaciju.

4. Jonska implantacija - **implant**

implant pearson boron dose=3e12 energy=25 tilt=0



Napon praga podešava se jonskom implantacijom bora kroz oksid. Energija jonske implantacije je mala, jer je potrebna plitka implantacija (dopiranje oblasti kanala).

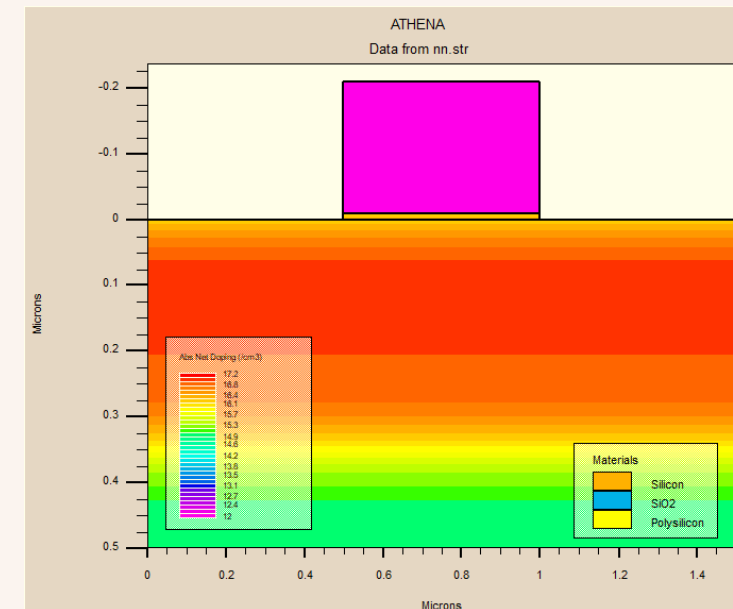
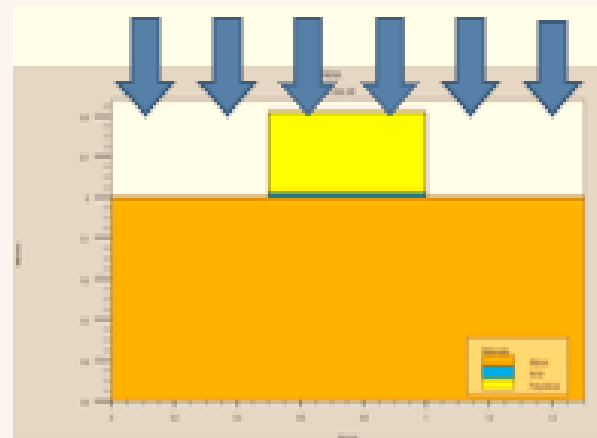
5. Formiranje gejt elektrode depozicijom polisilicijuma: **deposit**

```
deposit polysilicon thickness=0.2
```

6. Uklanjanje polisilicijuma i oksida: **etch**

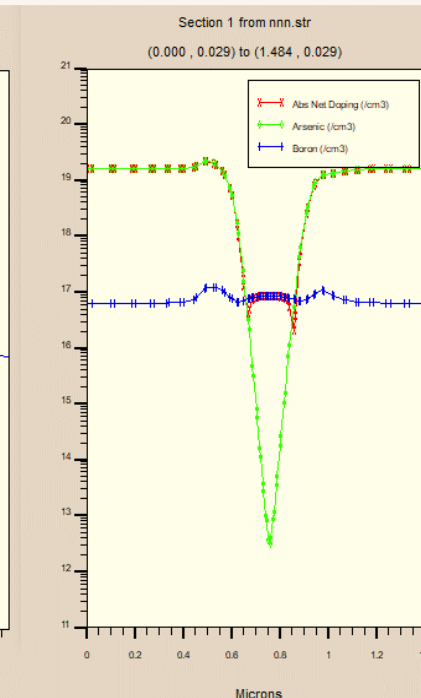
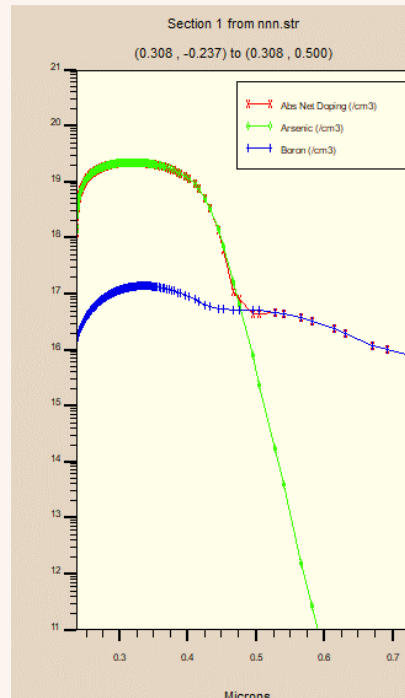
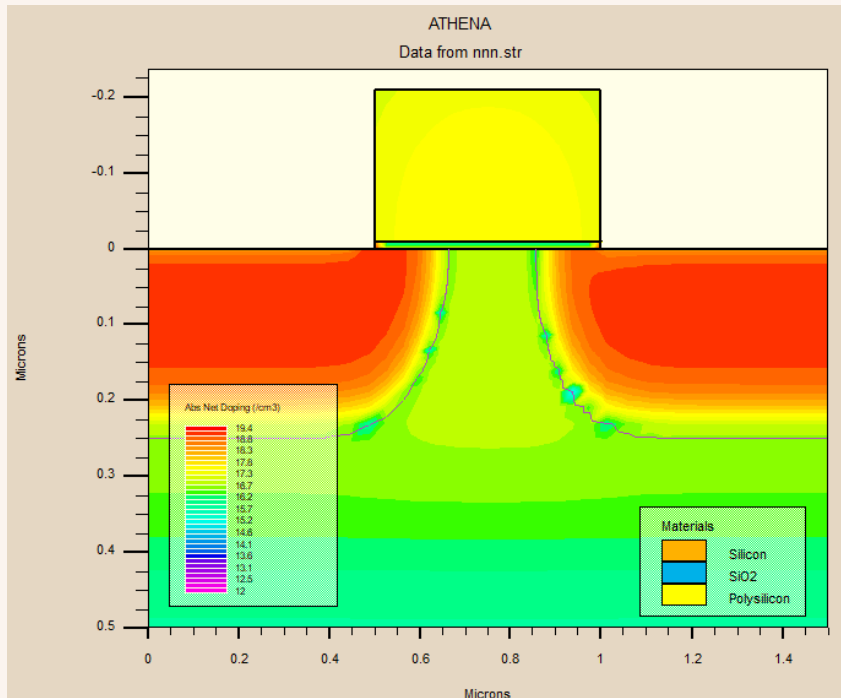
```
etch polysilicon p1.x=0.5 left  
etch polysilicon p1.x=1 right
```

```
etch oxide p1.x=0.5 left  
etch oxide p1.x=1 right
```



7. Jonska implantacija: **implant** i 8. difuzija: **diffuse** za formiranje oblasti sorsa i drejna

implant gauss arsenic dose=1e15 energy=30 tilt=0
diffuse time=60 temp=1000 nitrogen



Kritična dimenzija je dužina kanala tranzistora, da ne bi došlo do preklapanja sorsa i drejna usled lateralne difuzije (nekoliko desetina μm , do nekoliko nm).

9. Depozicija: **deposit** i 10. etovanje: **etch** aluminijuma za kontakte sorsa i drejna

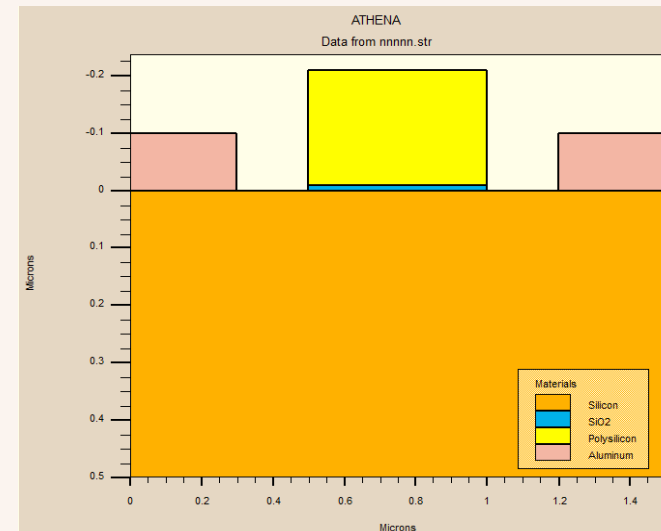
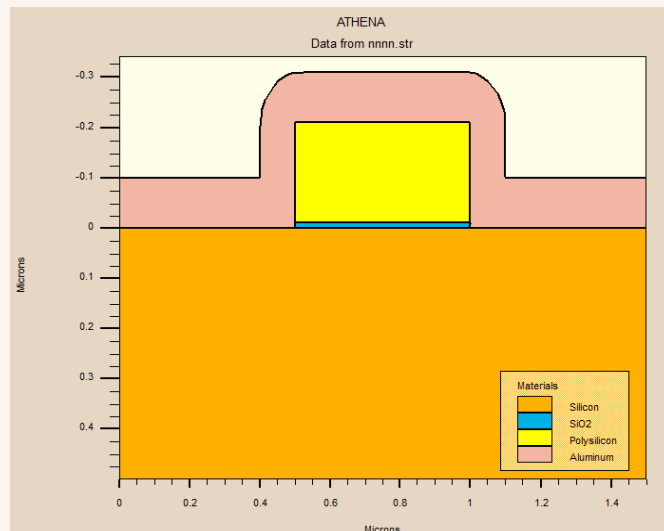
```
deposit aluminum thickness=0.1 dy=0.02
```

```
etch aluminum start x=0.3 y=-5
```

```
etch continue x=0.3 y=5
```

```
etch continue x=1.2 y=5
```

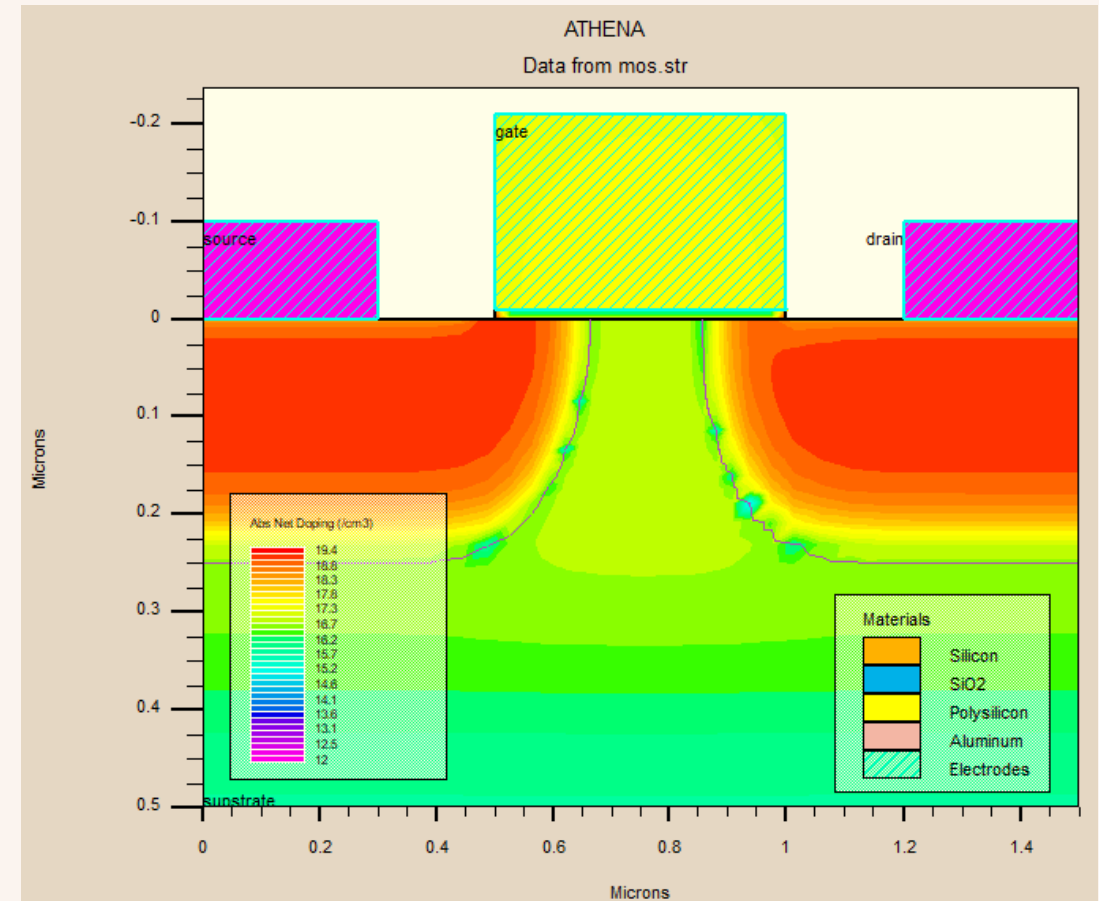
```
etch done x=1.2 y=-5
```



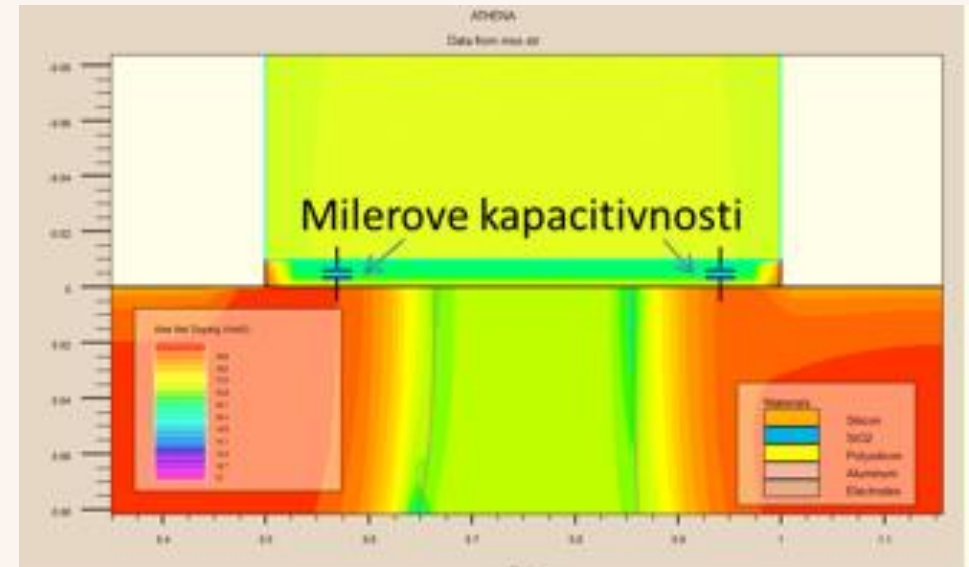
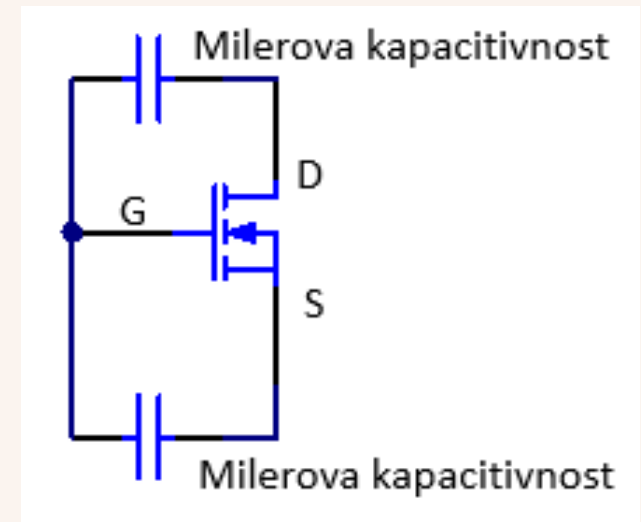
11. Definisanje elektroda: **electrode**

```
electrode x=0.8 y=-0.1 name=gate
electrode x=0.2 y=-0.05 name=source
electrode x=1.4 y=-0.05 name=drain
electrode backside name=substrate
```

```
structure outfile=mos.str
tonyplot mos.str
quit
```



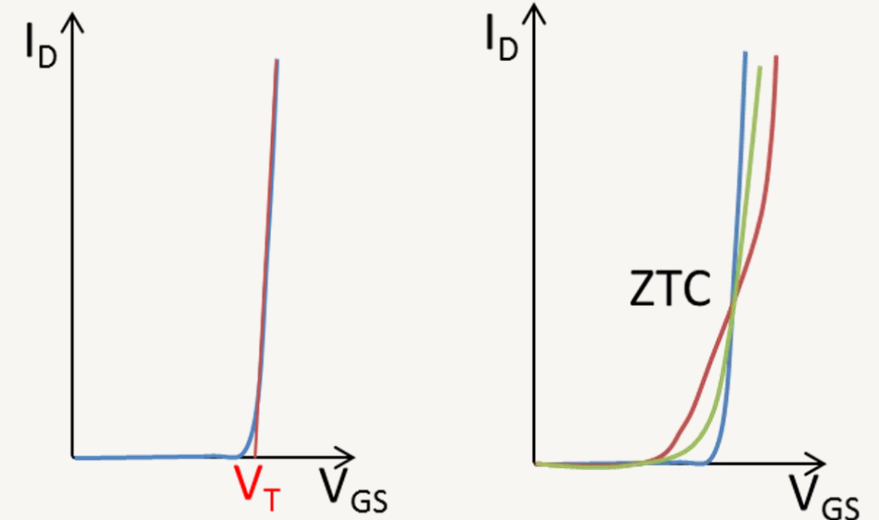
U praksi se često koristi HF oksid ($\epsilon_r=12$) umesto SiO_2 ($\epsilon_r=3.9$). Ovo je bitno radi smanjenja parazitnih kapacitivnosti (kapacitivnost između gejta i drejna, i gejta i sorsa). Kako je **Milerova kapacitivnost** (parazitna kapacitivnost koja nastaje kao posledica lateralne difuzije) **$C=\epsilon_r \epsilon_s S/d$** , dobija se veća kapacitivnost sa HF oksidom, jer je i dielektrična konstanta HF oksida veća. Tanji oksidi ($d=2$ nm) doprinose povećanju struje curenja, tranzistor se greje, pa je zato potrebno povećati debljinu oksida ($d=10$ nm), kako se kapacitivnost ne bi promenila, a da se curenje smanji.



1. Simulacija prenosne karakteristike i ZTC tačke

Prenosna karakteristika: $I_D = f(V_{GS})$

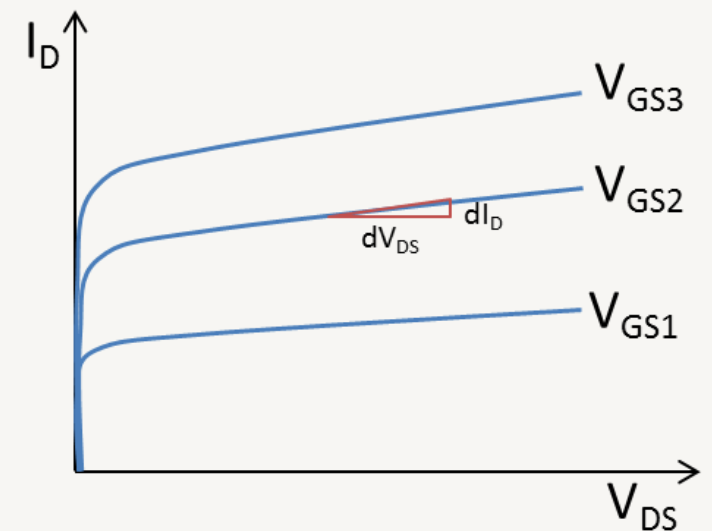
- V_T - napon praga MOS tranzistora (minimalni napon koji je potrebno dovesti na gejt tranzistora da bi tranzistor proveo).
- **ZTC** (Zero Temperature Coefficient): tranzistor treba da radi u ovoj radnoj tački kako struja ne bi zavisila od temperature.



2. Simulacija izlazne karakteristike

Izlazna karakteristika: $I_D = f(V_{DS})$

- Izlazna otpornost tranzistora je $r = dV_{DS} / dI_D$.
- Karakteristike treba da budu što „ravnije“ - za velike promene napona, struja treba da se vrlo malo menja, tako da $r \rightarrow \infty$. U tom slučaju, potrošač troši celokupnu struju i nema samozagrevanja. Ako je dužina kanala mala, na karakteristikama se može uočiti nagib, a otpornost r opada. Da bi karakteristike bile što ravnije, širina kanala treba da bude što manja, a dužina kanala što veća.



1. Simulacija prenosne karakteristike

- Simulacija napona praga

go atlas

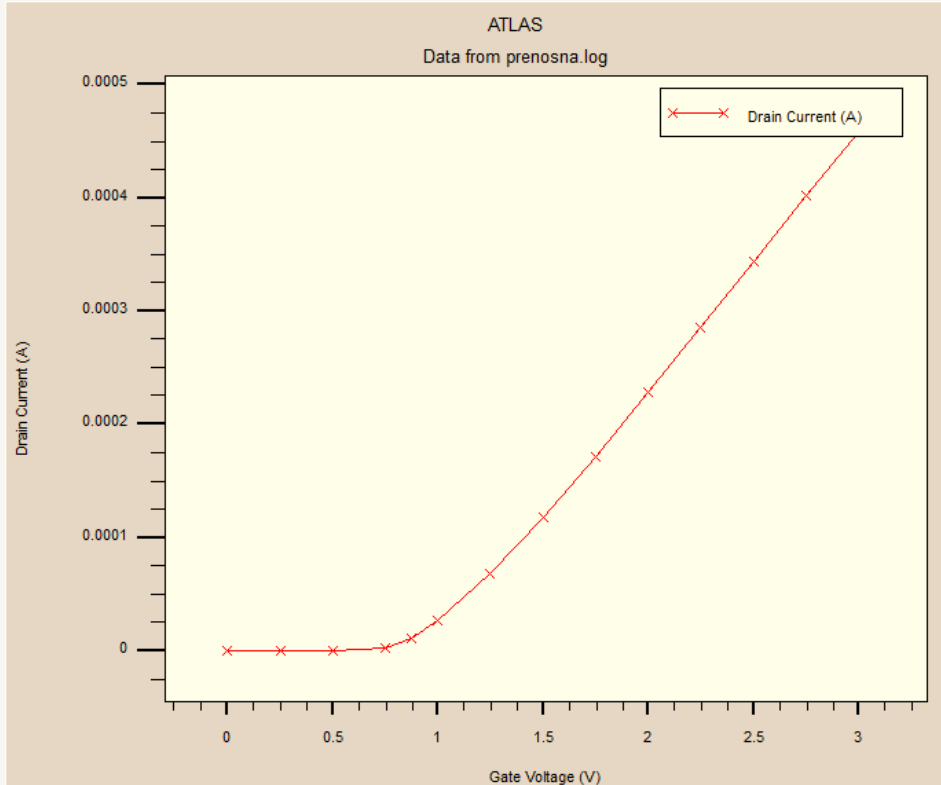
```
models mos temp=300  
method newton
```

```
solve init  
solve vdrain=0 vstep=0.2 vfinal=1 name=drain  
log outfile=prenosna.log  
solve vgate=0 vstep=0.25 vfinal=3 name=gate  
tonyplot prenosna.log  
quit
```

models mos - uključuje jednačine za pokretljivost nosilaca, generaciju i rekombinaciju nosilaca, uzima u obzir promenu pokretljivosti sa promenom napona na gejtu, uzima u obzir samo jednu vrstu naelektrisanja, jer je MOS transistor unipolarna komponenta.

- Napon između drejna i sorsa treba da bude konstantan!
- Napon između gejta i sorsa se menja!
- Sa povećanjem napona na gejtu, opada pokretljivost - manje rastojanje između izlaznih karakteristika.

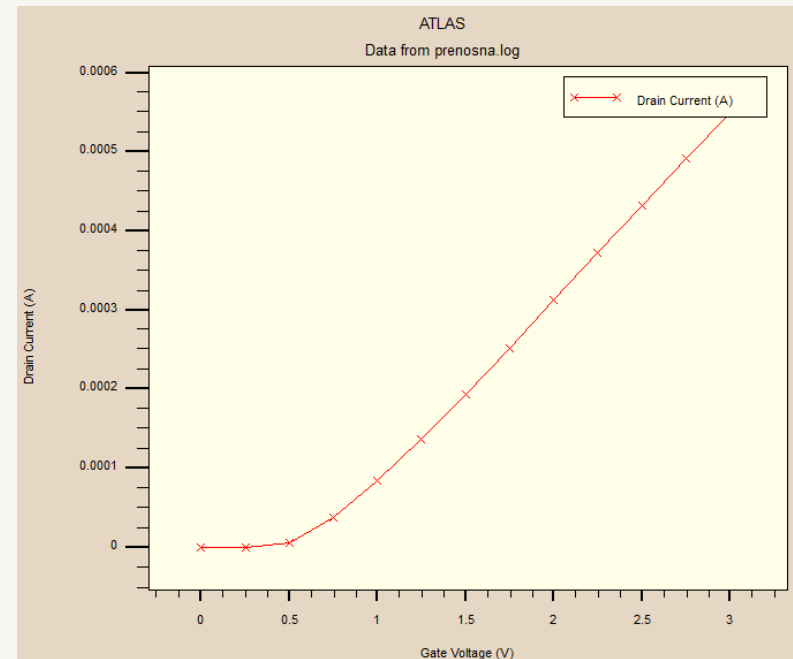
NMOS TRANZISTOR - Simulacija električnih karakteristika



- Napon praga simuliranog tranzistora je $V_T=0.8$ V.

- Napon praga određuju debljina oksida i koncentracija primesa u supstratu u oblasti kanala. Ako se povećava koncentracija nosilaca u kanalu, onda se povećava i napon praga MOS tranzistora.
- Da bi se dobio **manji** napon praga potrebno je **smanjiti** dozu implantacije bora 3 puta, a onda se simulacija ponavlja. Sada je $V_T=0.5$ V.

implant pearson boron dose=1e12 energy=25 tilt=0



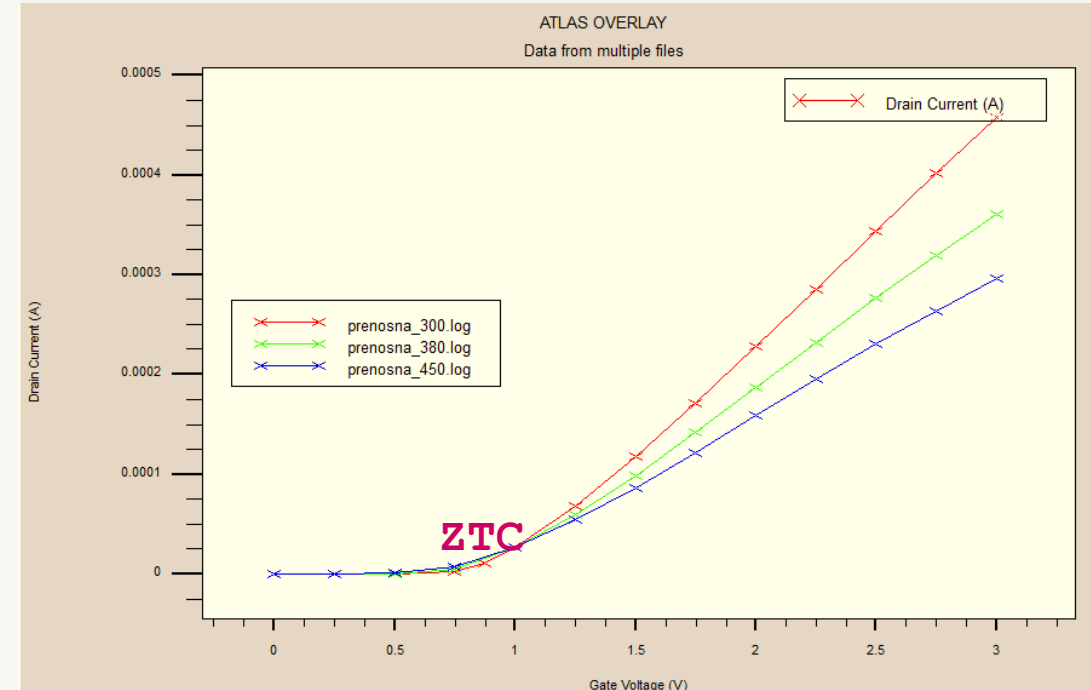
1. Simulacija ZTC tačke

- Za simulaciju ZTC tačke, potrebno je promeniti parametar **temp** u naredbi za definisanje modela, tako što će temperatura da se definiše na 300 K, na 380 K, i na 450 K.
- Karakteristike moraju biti sačuvane u različitim fajlovima (drugačiji nazivi fajlova).

```
models mos temp=300 (380, 450)
```

- Rezultati se otvaraju direktno iz Tonyplot-a da bi se simulirane karakteristike „preklopile“ (prikazale na jednom grafiku) opcijom: **File - Open, Action - Overlay Plot.**

$$V_{ZTC} > V_T$$



U ZTC tački struja drejna ne zavisi od temperature!

2. Simulacija izlazne karakteristike

go atlas

```
models mos temp=300
method newton
```

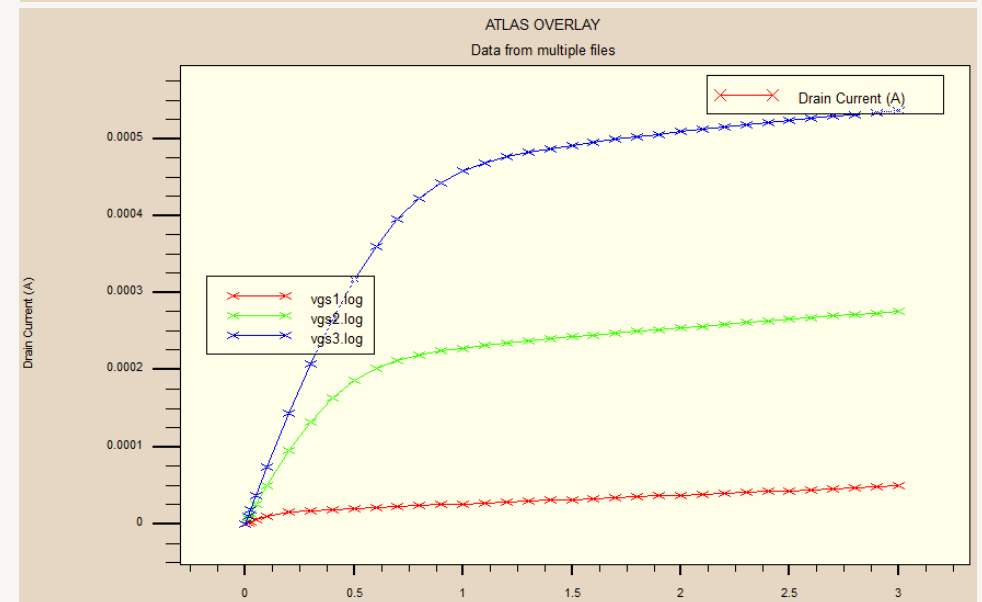
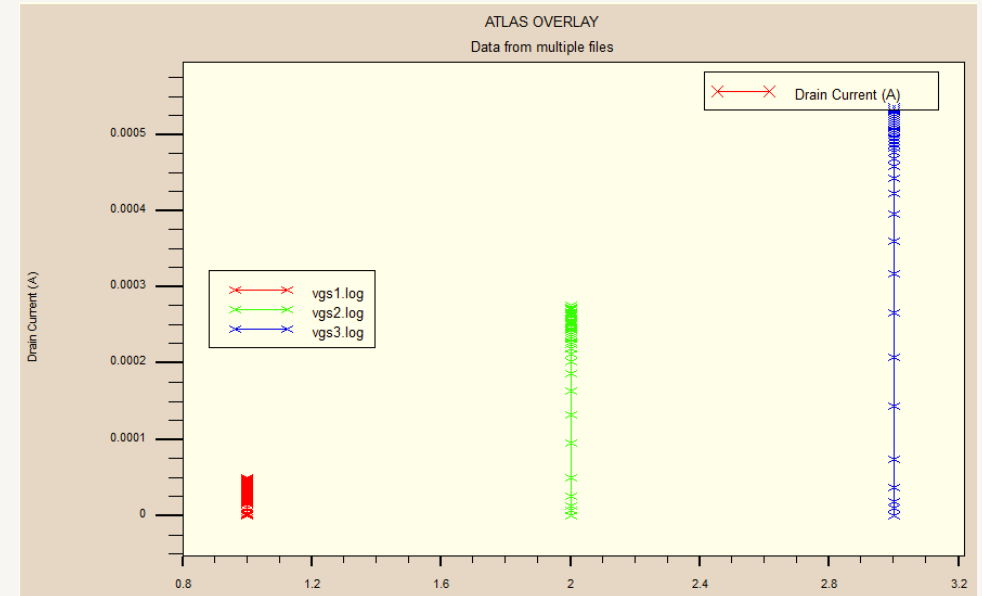
```
solve init
solve vgate=0 vstep=0.05 vfinal=1 name=gate
log outfile=vgs1.log
solve vdrain=0 vstep=0.1 vfinal=3 name=drain
```

```
#tonyplot izlazna.log
quit
```

- Napon na gejtu postaviti na konstantnih 1 V, a napon na drejnu menjati od 0 do 3 V sa korakom 0.1 V.
- Simulacija se ponavlja kada je napon na gejtu konstantnih 2 V i konstantnih 3 V. Obavezno menjati naziv log fajla.
- Rezultati se otvaraju direktno iz Tonyplot- a da bi se simulirane karakteristike „preklopile“ (prikazale na jednom grafiku) opcijom: **File - Open, Action - Overlay Plot.**

NMOS TRANZISTOR - Simulacija električnih karakteristika

- Za prikaz karakteristika: desni klik: **Display**, definisati **X Quantity: Drain Voltage**.
- Karakteristike imaju nagib, a da bi se povećala izlazna otpornost tranzistora, odnosno smanjio nagib, treba povećati dužinu kanala. To je moguće smanjenjem doze implantacije arsena.



3. Simulacija proboja MOS tranzistora

go atlas

```
models mos temp=300
method newton climit=1e-4
impact selb
```

```
solve init
solve vgate=0 vstep=0.05 vfinal=1 name=gate
log outfile=proboj_1.log
solve vdrain=0 vstep=0.1 vfinal=3 name=drain
```

```
#tonyplot proboj_1.log
quit
```

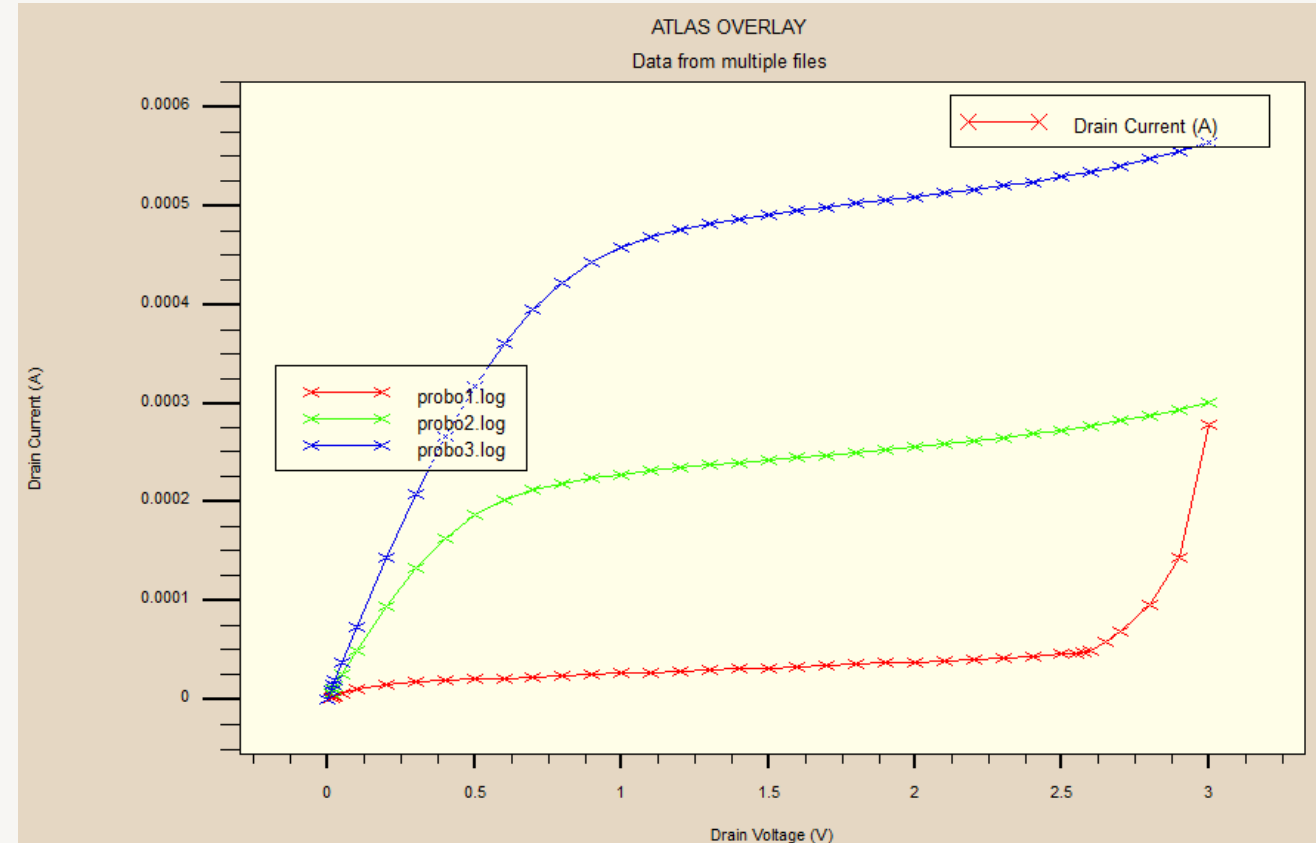
Parametar **climit** - usitnjavanje intervala prilikom rešavanja jednačina Njutnovim metodom.
impact selb - uključivanje Zelbeherovog modela proboja.

- Napon na gejtu postavlja se na konstantnih 1 V, 2 V i 3 V i za svaku vrednost ponavljati simulaciju. Obavezno menjati naziv log fajla.
- Napon na drejnu menjati od 0 do 3 V sa korakom 0.1 V.
- Sa povećanjem napona na drejnu, širi se prelazna oblast PN spoja, skraćuje se kanal i nastupa proboj MOS tranzistora.

NMOS TRANZISTOR - Simulacija električnih karakteristika

- Rezultati se otvaraju direktno iz Tonyplot- a da bi se simulirane karakteristike „preklopile“ (prikazale na jednom grafiku) opcijom: **File - Open, Action - Overlay Plot.**

Očigledno je da je za veće napone na gejtu veći napon proboja, jer je maksimalna vrednost električnog polja dublje u strukturi.




```
save outfile=proboj.str  
tonyplot proboj.str
```

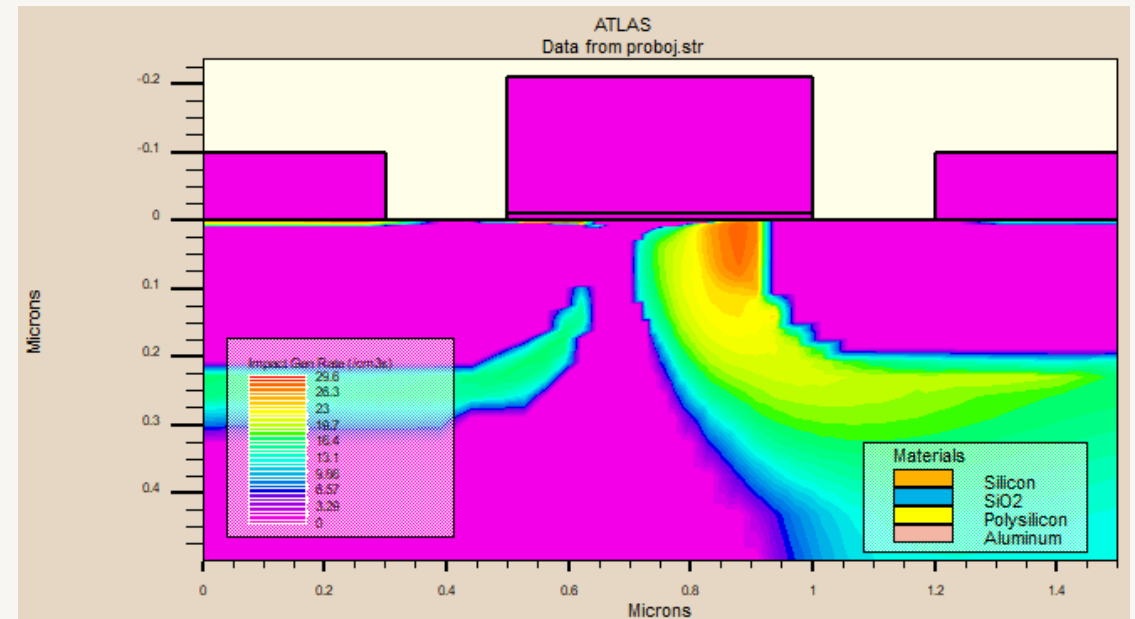
save - za prikaz raspodele polja unutar strukture.
Dobijeni poprečni presek biće za finalne napone na
gejtu i drejnu koji su zadati u solve naredbi.

- Prikaz mesta najveće koncentracije

Desni klik **Display - Contours** -
Quantity: Impact Gen Rate (broj
stvorenih nosilaca po cm^3).

Napon na gejtu dovesti na 3 V.
Napon na drejnu dovesti na 3 V.

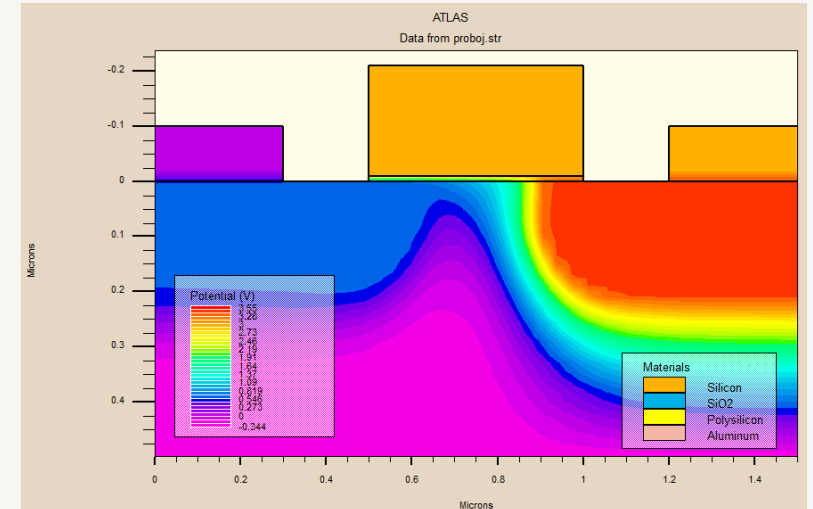
**Proboj u kanalu blizu oblasti drejna,
neposredno ispod gejta.**



- Prikaz raspodele potencijala

desni klik *Display – Contours*
- *Quantity: Potential*

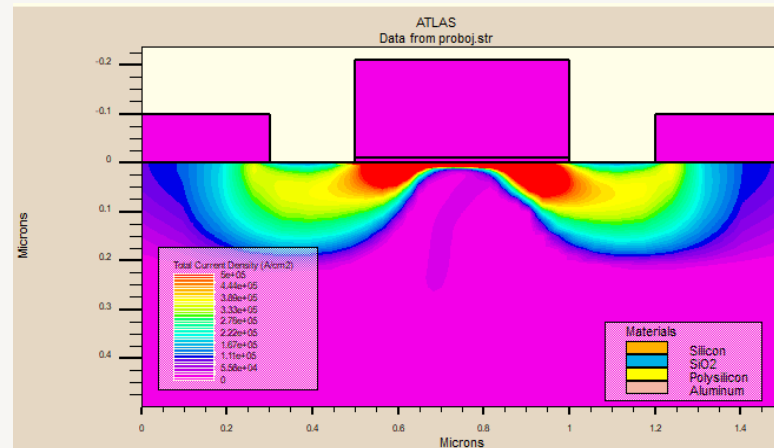
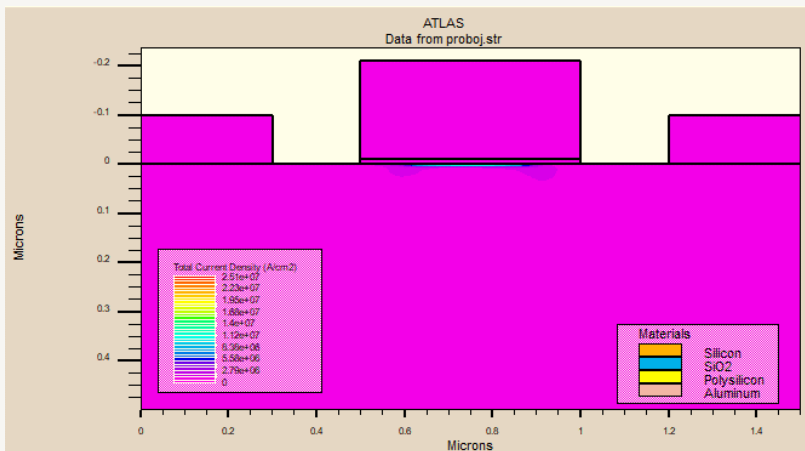
Potencijal opada od drejna prema sorsu.



- Prikaz raspodele gustine struje

Desni klik *Display – Contours*
- *Quantity: Total Current Density*

Potrebno je range za skalu sa automatskog prebaciti na fiksni - **Fix: 5e5**.



Struja teče kroz kanal. Pri probodu struja „curi“ ka masi, tako da I_D nije jednako I_S .

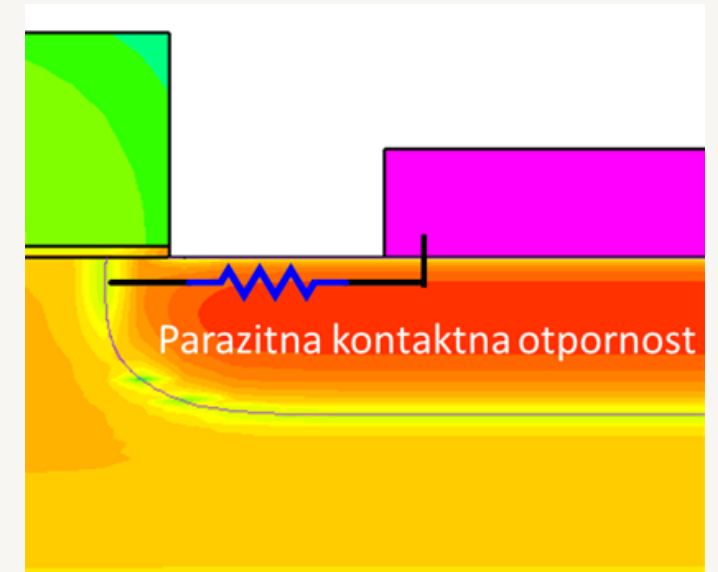
➤ Punch-through efekat

Javlja se kada se oblast sorsa i drejna spoje usled širenja oblasti osiromašenja i tada tranzistor nema napon praga.

Povećanje napona proboja vrši se **smanjenjem dopiranja oblasti sorsa i drejna**, pri čemu se dobijaju plići PN spojevi, tako da je kanal duži i manja je koncentracija nosilaca u ovim oblastima

S druge strane, **smanjenje dopiranja** utiče na **povećanje parazitne kontaktne otpornosti** od kraja kanala do metalnog kontakta za sors i drejn, tako da se smanjuje struja drejna.

U novim tehnologijama, dužina metalnog kontakta je veća (bliža gejtu) i dopiranje oblasti sorsa i drejna je veće, tako da se ova parazitna otpornost smanjuje, pa i kola sa MOS tranzistorima rade brže, jer je vreme porasta (0→1) i opadanja (1→0) određeno vremenskom konstantom $\tau = R_{\text{kontaktno}} C_{\text{gejta}}$.



NMOS TRANZISTOR - Simulacija električnih karakteristika

- Promeniti dozu implantacije ($1e14$) i simulirati probojnu karakteristiku za $V_G = 1$ V. Promeniti naziv izlaznog fajla.

```
implant gauss arsenic dose=1e14 energy=30 tilt=0
```

```
.  
.br/>.
```

```
solve vgate=0 vstep=0.05 vfinal=1 name=gate
```

```
log outfile=proboj_1_novo.log
```

```
solve vdrain=0 vstep=0.1 vfinal=3 name=drain
```

```
tonyplot proboj_1_novo.log
```

