

BIPOLARNI TRANZISTOR

- TEHNOLOŠKI NIZ I ELEKTRIČNE
KARAKTERISTIKE -

ATHENA I ATLAS

1. Definisiranje domena i mreže

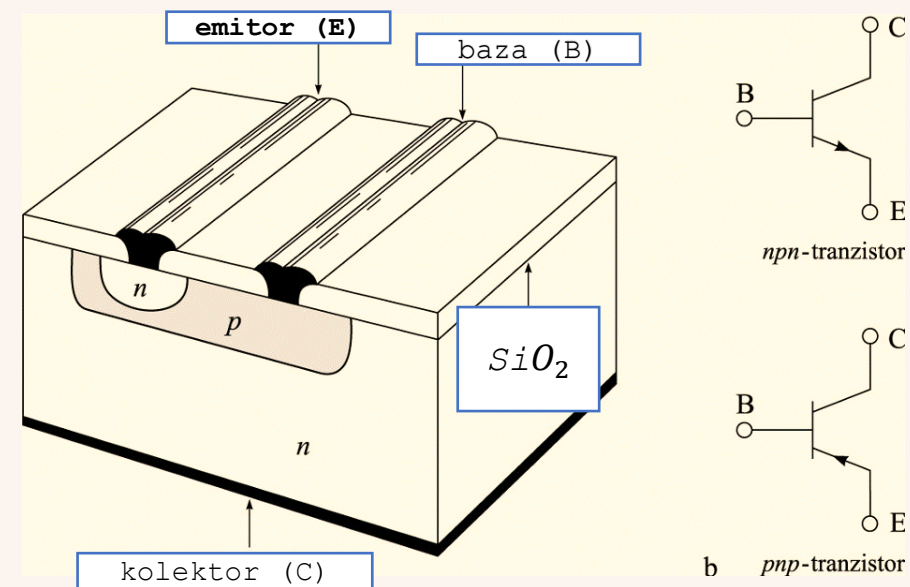
Tehnološki niz bipolarnog tranzistora simulira se korišćenjem Athene. Pločica je dimenzija $12 \times 5 \mu\text{m}$.

go athena

```
line x loc=0 spac=0.5  
line x loc=6 spac=0.05  
line x loc=12 spac=0.5  
line y loc=0 spac=0.01  
line y loc=5 spac=0.5
```

2. Definisiranje supstrata: **init**

```
init silicon orientation=100 c.phos=3e16 two.d
```



3. Depozicija: **deposit** i 4. uklanjanje oksida: **etch** koji služi kao maska za formiranje baze

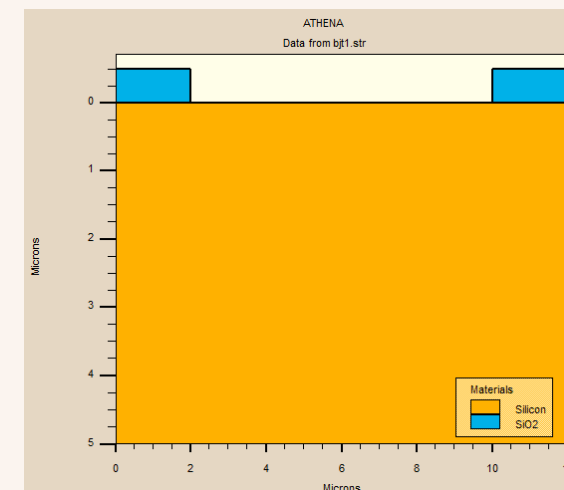
```
deposit oxide thick=0.5 div=10
```

```
etch oxide start x=2 y=10
```

```
etch continue x=10 y=10
```

```
etch continue x=10 y=-10
```

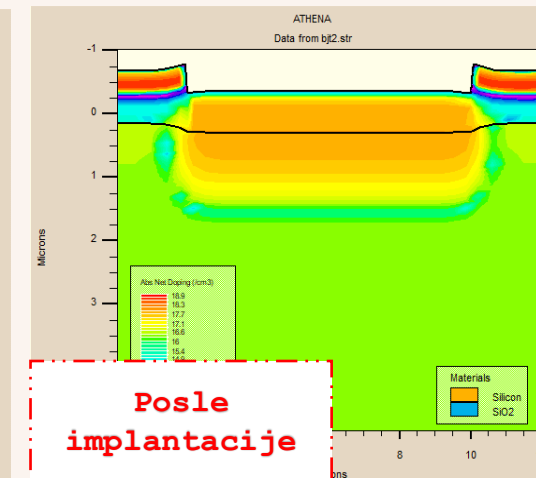
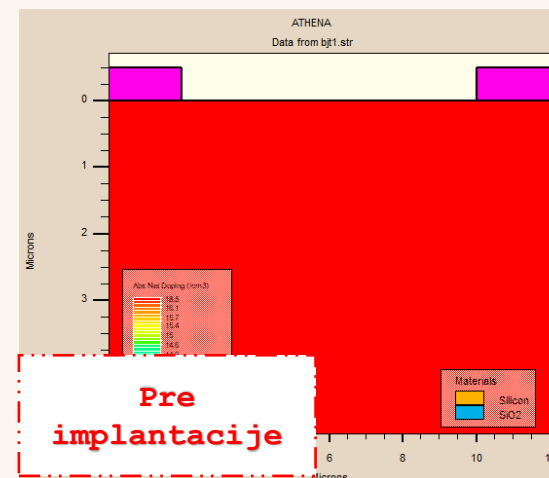
```
etch done x=2 y=-10
```



5. Jonska implantacija: **implant** i 6. difuzija: **diffuse** za formiranje baze

```
implant boron dose=1e14 energy=60 tilt=0
```

```
diffuse time=40 temp=1150 weto2
```



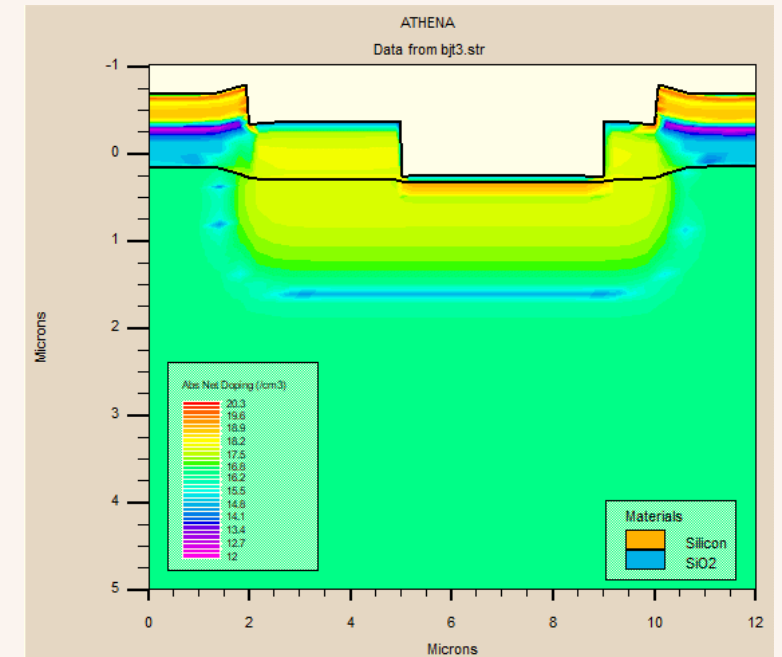
7. Uklanjanje oksida koji služi kao maska za formiranje emitora: **etch**

```
etch oxide start x=5 y=10
etch continue x=9 y=10
etch continue x=9 y=-10
etch done x=5 y=-10
```

Napomena: ne nanosi se nov oksid, već se koristi oksid koji je nastao kao nusproizvod prethodnog procesa odžarivanja.

8. Jonska implantacija: **implant** i 9. difuzija: **diffuse** za formiranje emitora

```
implant arsenic dose=1e15 energy=40 tilt=0
diffuse time=40 temp=1050 dryo2
```



10. Uklanjanje oksida za kontakte: **etch**

```
etch oxide start x=6.5 y=10
etch continue x=7.5 y=10
etch continue x=7.5 y=-10
etch done x=6.5 y=-10
```

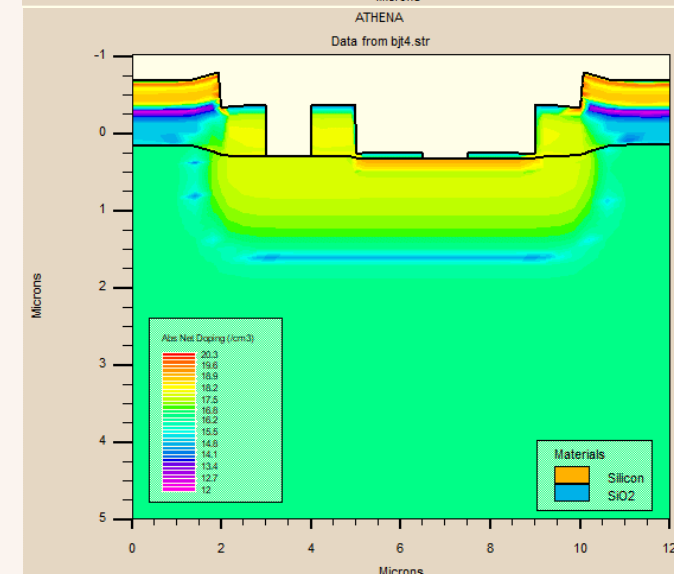
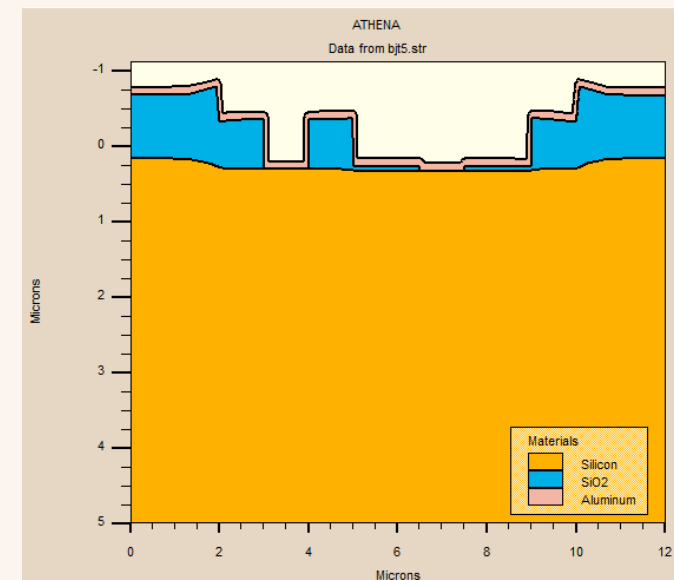
Otvaranje
kontakta za
emitor

```
etch oxide start x=3 y=10
etch continue x=4 y=10
etch continue x=4 y=-10
etch done x=3 y=-10
```

Otvaranje
kontakta za bazu

11. Depozicija: **deposit** aluminijuma za kontakte

```
deposit aluminum thick=0.1 div=10
```



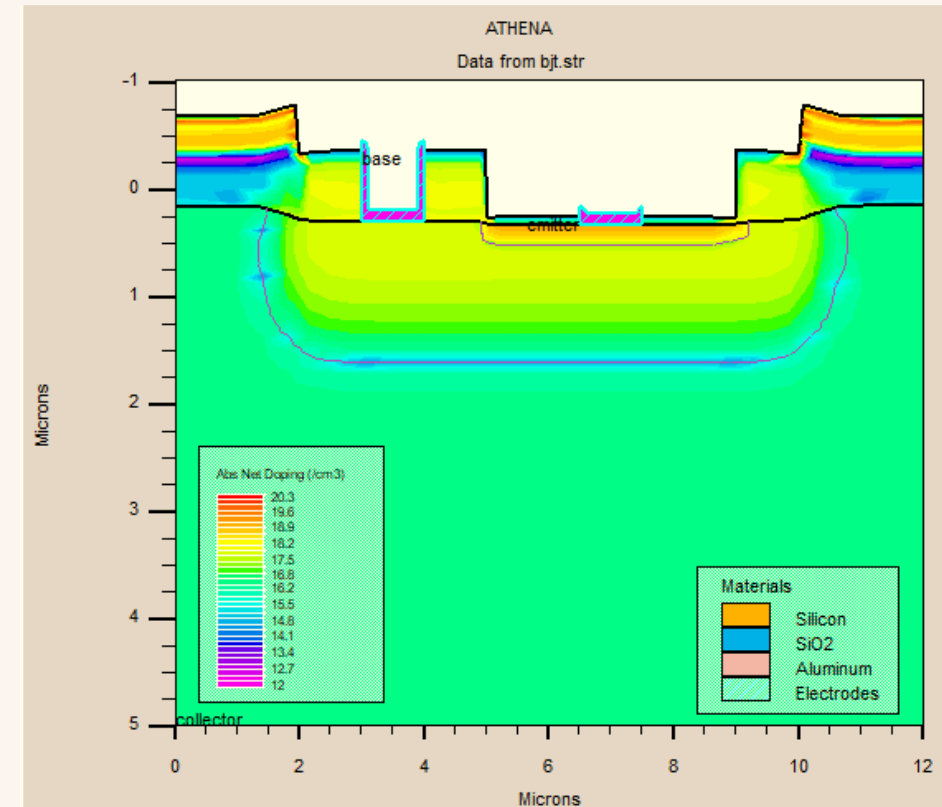
11. Uklanjanje viška aluminijuma: **etch** za formiranje kontakte

```
etch aluminum start x=4 y=10
etch continue x=6.5 y=10
etch continue x=6.5 y=-10
etch done x=4 y=-10
etch aluminum p1.x=3 left
etch aluminum p1.x=7.5 right
```

12. Definisanje elektroda: **electrode**

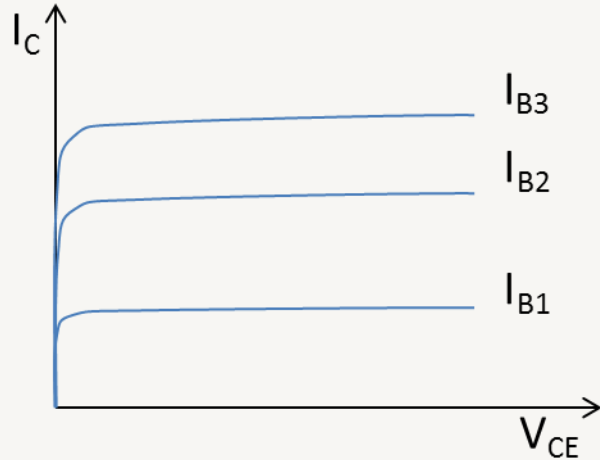
```
electrode x=3.5 name=base
electrode x=7 name=emitter
electrode backside name=collector
```

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



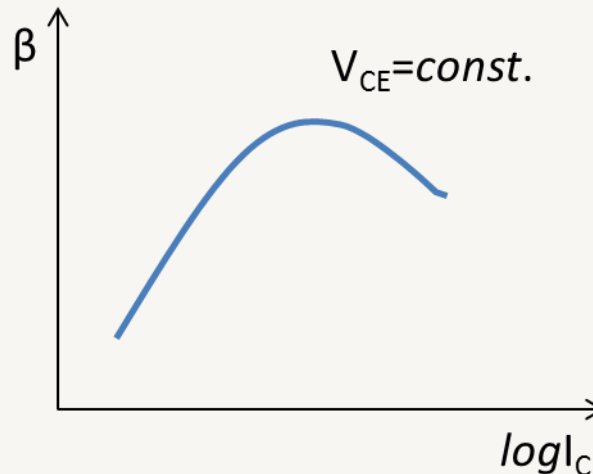
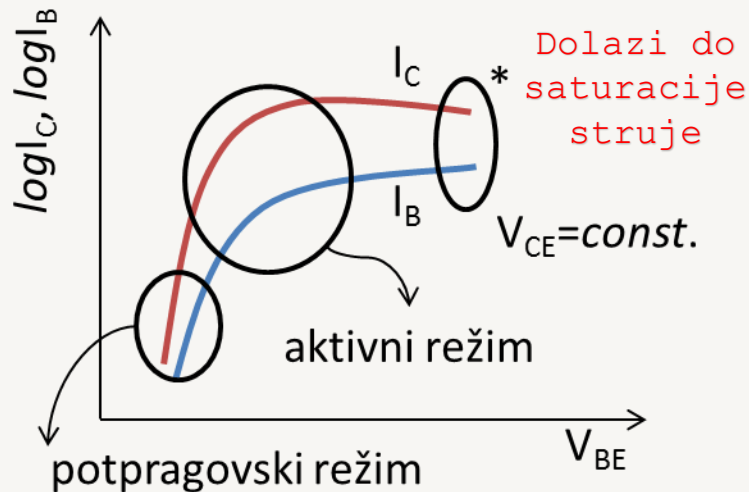
Koncentracija je najveća u oblasti emitora (**n+**), manja u oblasti baze (**p**) i najmanja u oblasti kolektora (**n**).

1. Izlazna karakteristika



- U potpragovskom režimu struja eksponencijalno raste sve dok se baza-emitor (BE) spoj ne polarizuje direktno (0.7 V). Tada se javlja struja curenja.
- Odnos ovih karakteristika daje **pojačanje** tranzistora: $\beta = \frac{I_C}{I_B}$, i što je veći razmak između karakteristika veće je pojačanje.

2. Gummel-ova karakteristika



- Dobar tranzistor treba da ima pojačanje nezavisno od struje kolektora i što manju struju curenja.
- Pojačanje je manje zavisno (nezavisno) kod bipolarnih tranzistora snage, jer oni imaju široku bazu.
- Kriva $\beta = f(\log I_C)$ je zvonasta kod tranzistora za male signale, što znači da takvi tranzistori imaju nestabilno pojačanje.

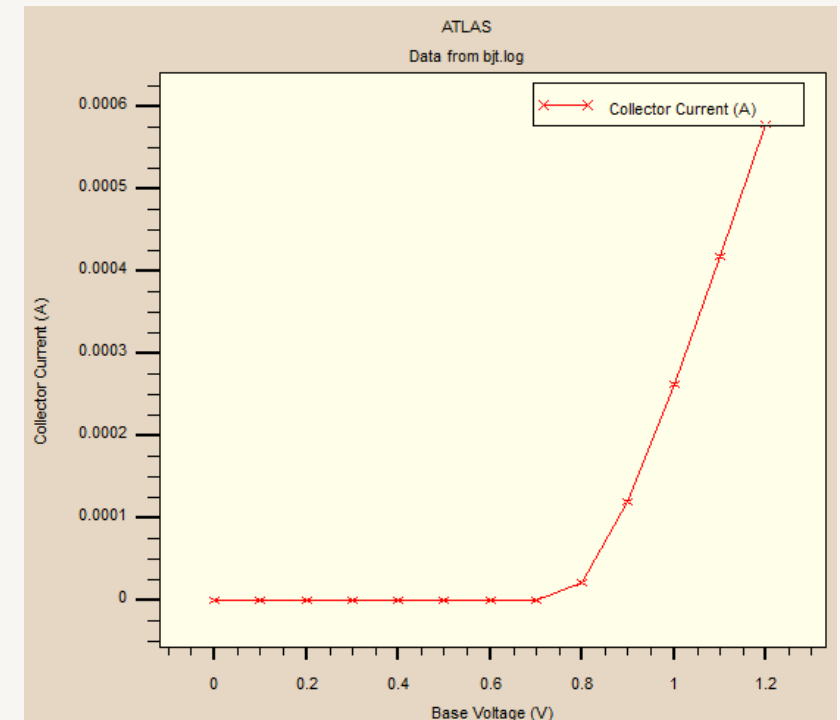
3. Prenosna karakteristika

go atlas

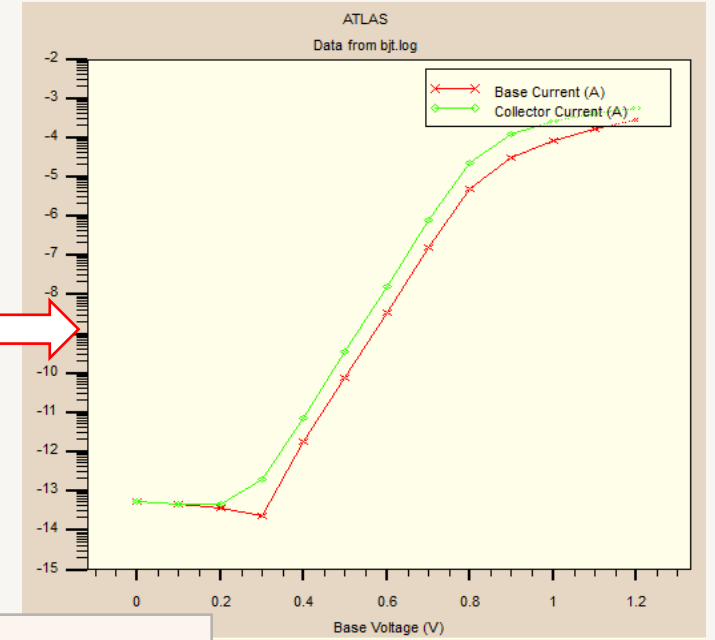
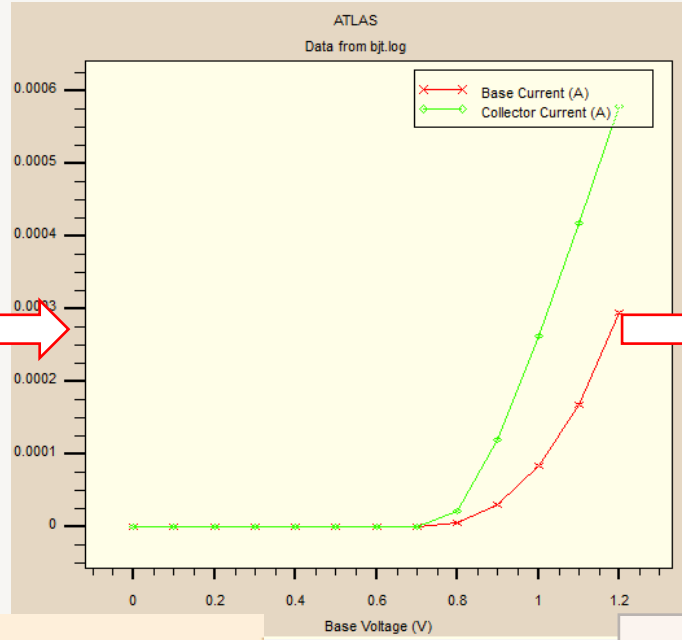
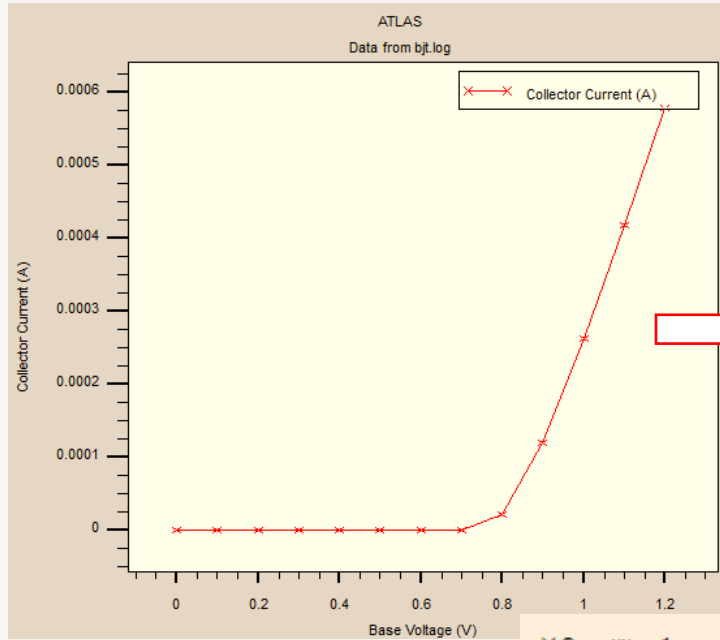
```
models bipolar temp=300 print
method newton
solve init
solve vcollector=0 vstep=0.1 vfinal=1 name=collector
log outfile=bjt.log
solve vbase=0 vstep=0.1 vfinal=1.2 name=base
```

```
tonyplot bjt.log
```

- Napon na kolektoru postaviti na konstantnih 1 V, a napon na bazi menjati od 0 do 1.2 V sa korakom 0.1 V.



2. Gummel-ova karakteristika

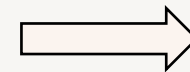


- Y Quantities 1
- Base Voltage
 - Base Int. Voltage
 - Base Current
 - Emitter Voltage
 - Emitter Int. Voltage
 - Emitter Current
 - Collector Voltage
 - Collector Int. Voltage
 - Collector Current

I_C u log razmeri

❖ Određivanje pojačanja

Graph configuration dialog box showing X Scale (Linear), Y1 Scale (Log), and Y Quantities 1 (Base Voltage, Base Int. Voltage, Base Current, Emitter Voltage, Emitter Int. Voltage, Emitter Current, Collector Voltage, Collector Int. Voltage, Collector Current). The 'Functions...' button is circled in pink.



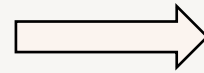
Function Macros dialog box showing Macro Definition fields (Name, Impurity Func 1, Impurity Func 2, Graph Func 1, Graph Func 2) and buttons (Create, Delete, Replace, OK, Cancel, Apply). The 'Graph Func 1' field is highlighted in pink.



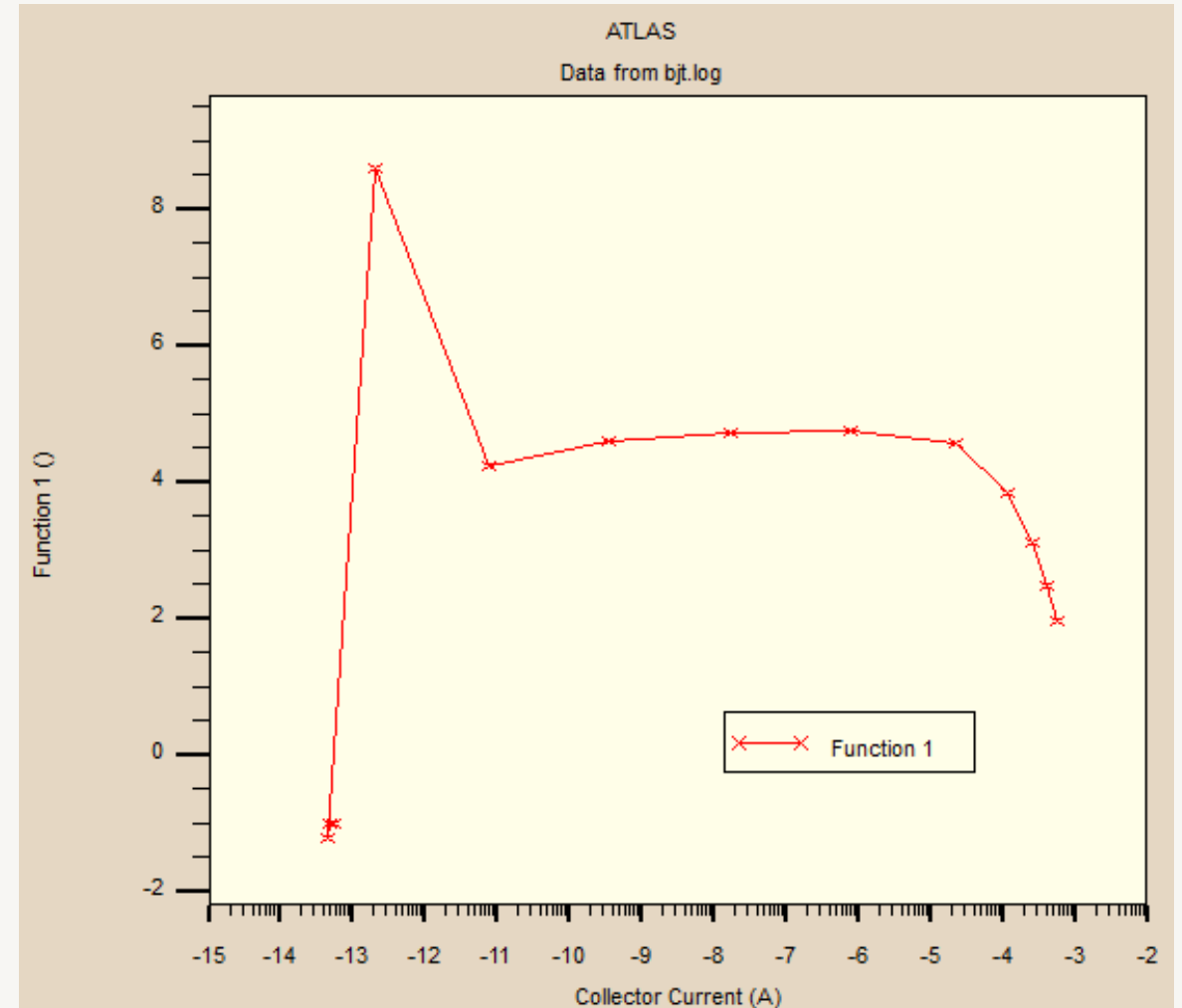
Macro Definition form showing fields for Impurity Func 1, Impurity Func 2, Graph Func 1 (containing the formula $(\text{collector current})/(\text{base current})$), and Graph Func 2.

Y Quantities 1

Base Current
Emitter Voltage
Emitter Int. Voltage
Emitter Current
Collector Voltage
Collector Int. Voltage
Collector Current
Function 1
Function 2



Baza formiranog bipolarnog tranzistora je široka, pa dolazi do rekombinacije nosilaca. Zato se javlja velika struja curenja u potpragovskom režimu (pik).



1. Izlazna karakteristika

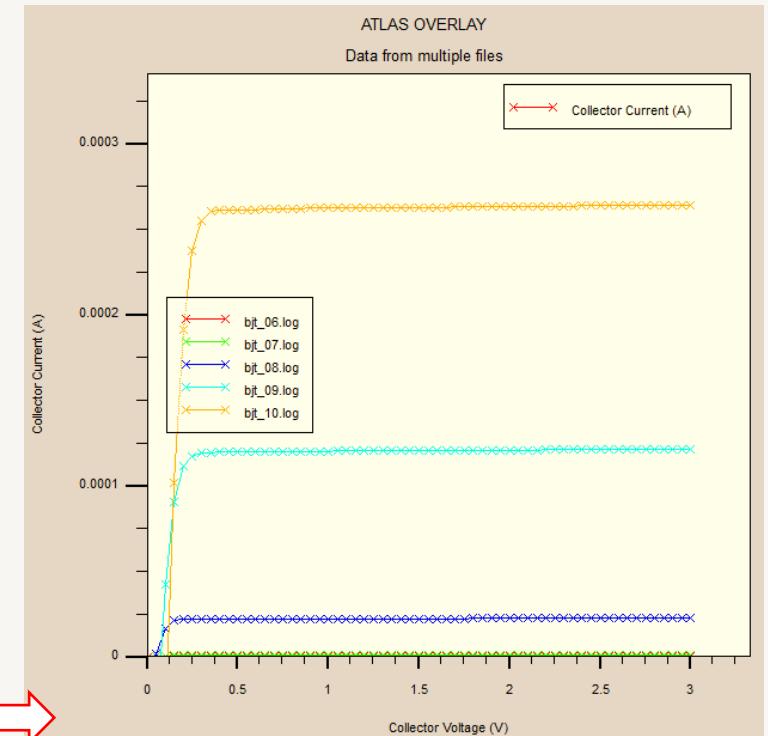
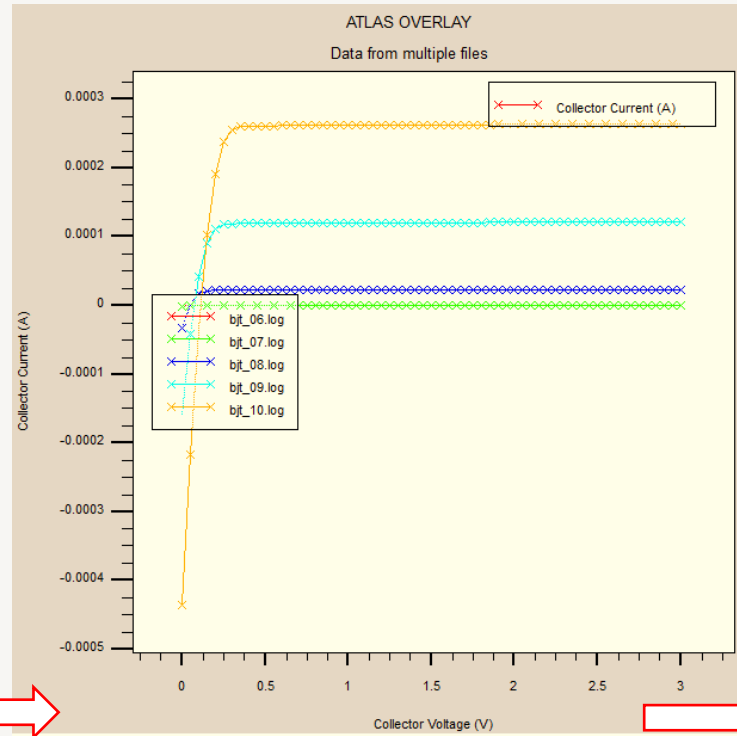
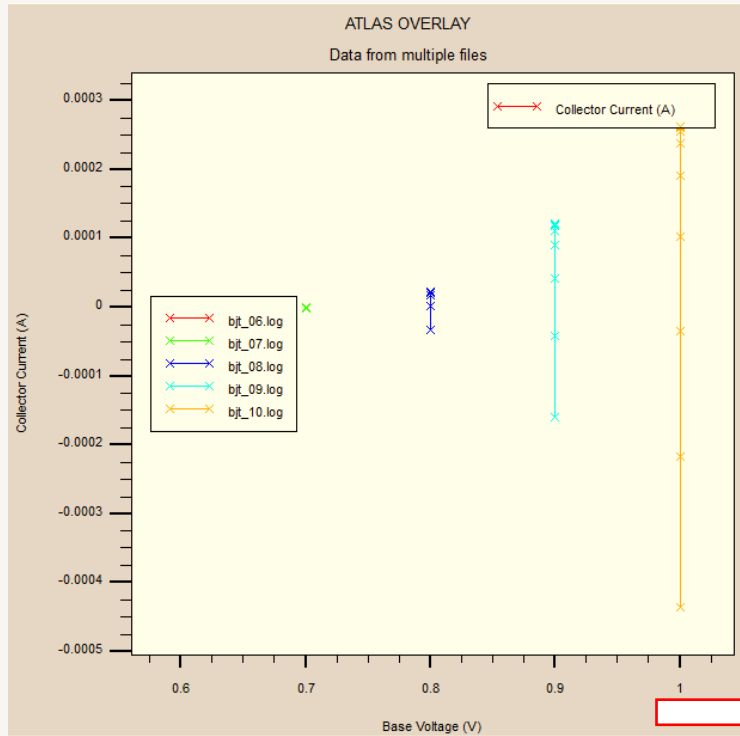
go atlas

```
models bipolar temp=300 print
method newton
solve init
solve vbase=0 vstep=0.1 vfinal=0.6 name=base
log outfile=bjt_0.6.log
solve vcollector=0 vstep=0.05 vfinal=3 name=collector
```

- Napon na bazi postaviti na konstantnih 0.6 V, a napon na kolektoru menjati od 0 do 3 V sa korakom 0.05 V.
- Simulacija se ponavlja kada je napon na bazi konstantnih 0.7 V, 0.8 V, 0.9 V i 1 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.**

BIPOLARNI TRANZISTOR - Simulacija električnih karakteristika

Napomena: legenda se pomera kursorom, pri čemu se drži *SHIFT* taster.



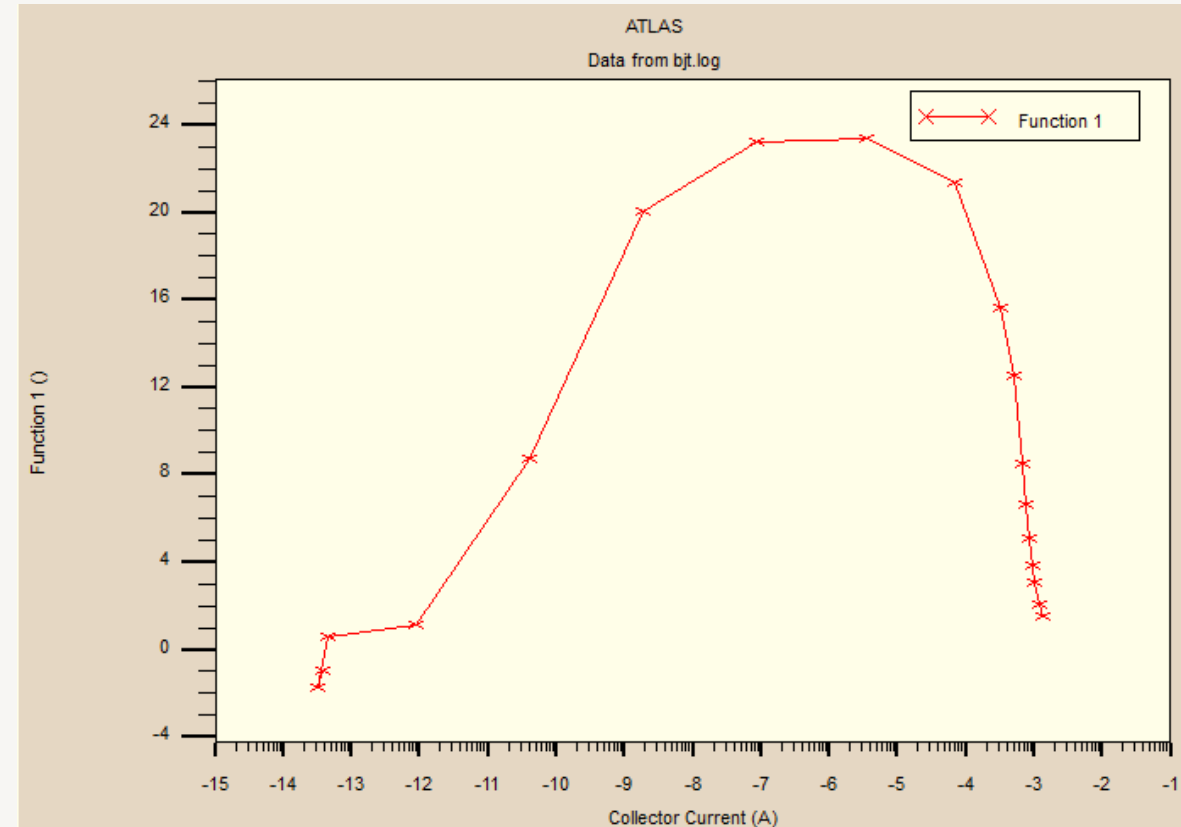
Display - X Quantity -
Collector Voltage

Annotation - X axis -
Specify Min: 0;
Annotation - Y axis -
Specify Min: 0

❖ Povećanje pojačanja

- Da bi se povećalo pojačanje bipolarnog tranzistora potrebno je suziti bazu, odnosno proširiti oblast emitora. U procesnom koraku formiranja baze, smanjuje se doza i energija jonske implantacije, kao i vreme i temperatura odžarivanja primesa.

**implant boron dose=5e13 energy=45 tilt=0
diffuse time=20 temp=1050 weto2**



❖ Analiza strukture bipolarnog tranzistora

```
go atlas
```

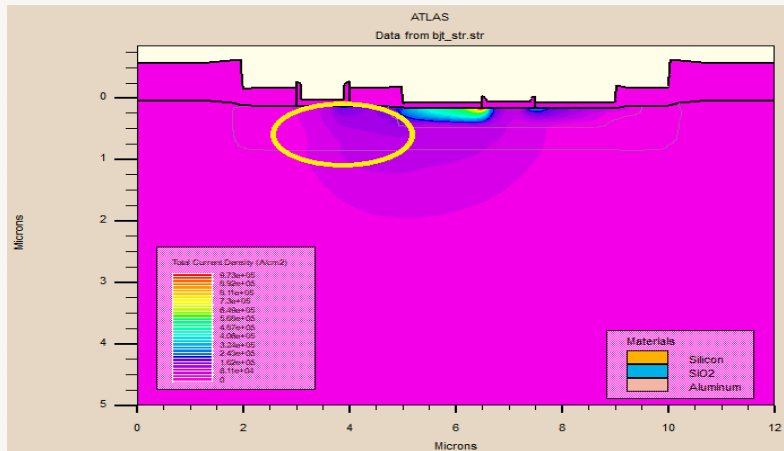
```
models bipolar temp=300 print  
method newton  
solve init  
solve vcollector=0 vstep=0.1 vfinal=1 name=collector  
log outfile=bjt.log  
solve vbase=0 vstep=0.1 vfinal=1.2 name=base  
  
save outfile=bjt_str.str  
tonyplot bjt_str.str  
quit
```

Napomena: koristi se kod kao za prenosnu karakteristiku - napon na kolektoru se postavlja na fiksnu vrednost, a napon na bazi se menja.

1. Ukupna gustina struje

Display - Contours i Junctions

Define - Contours - Quantity - Total Current Density

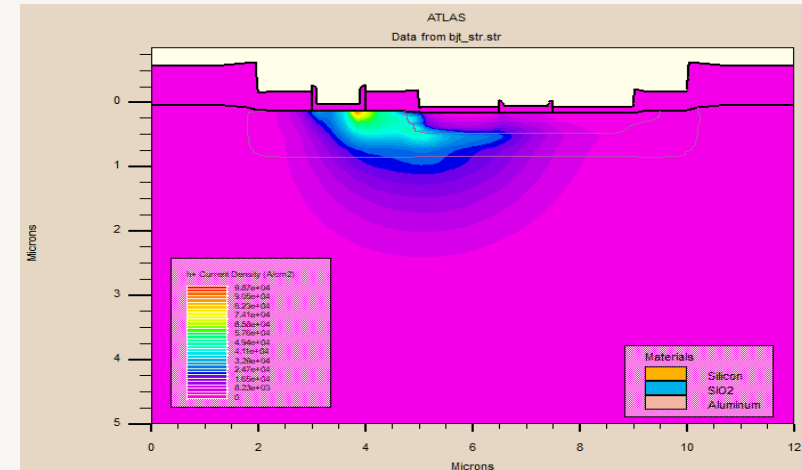


U ovoj oblasti je pojačana injekcija nosilaca zbog kontaktne otpornosti baze. To znači da će se u toj oblasti bipolarni tranzistor grejati.

Rešenje: napraviti tranzistor sa dva kontakta za bazu kako bi se struja ravnomerno raspodelila.

2. Gustina struje šupljina

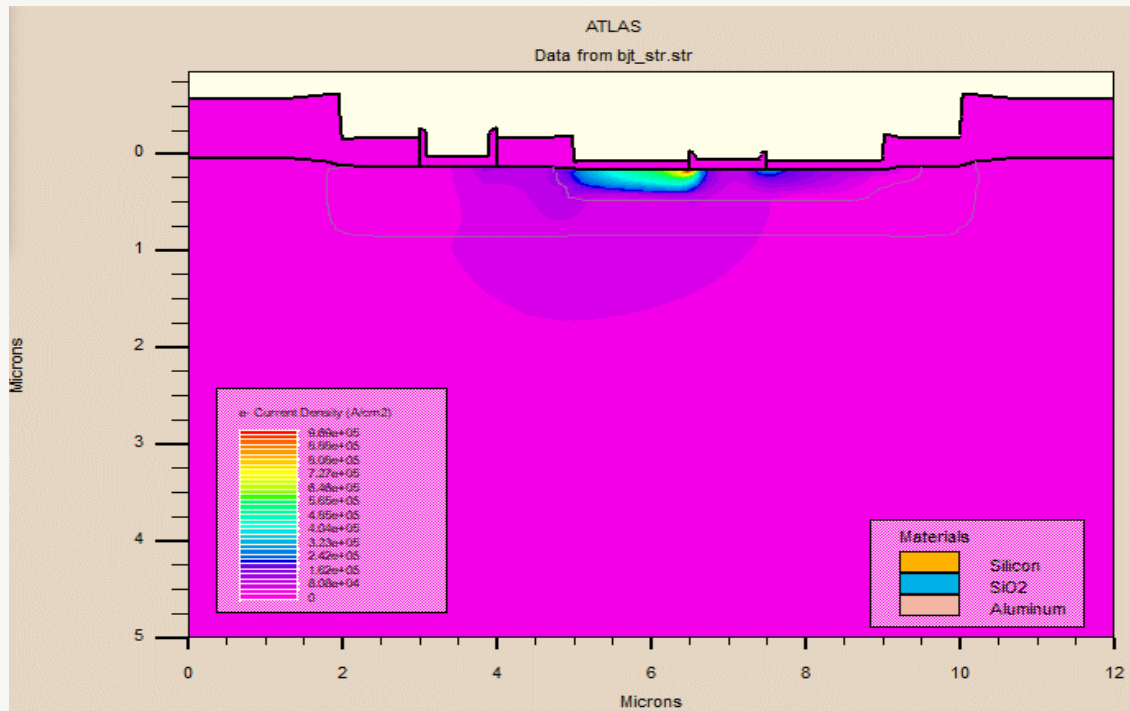
Define - Contours - Quantity - h^+ Current Density



Kada bi bipolarni tranzistor imao više kontakata za emitor, preko iste baze, jedan od tranzistora bi se više zagrevao (zavisno od raspodele primesa). Taj tranzistor bi povukao veću struju (T raste, β raste) i pregoreo, a onda bi se celokupna struja raspodelila kroz ostale tranzistore koji ne bi mogli da je podnesu, te bi redom pregorevali, što bi dovelo do pregorevanja cele komponente.

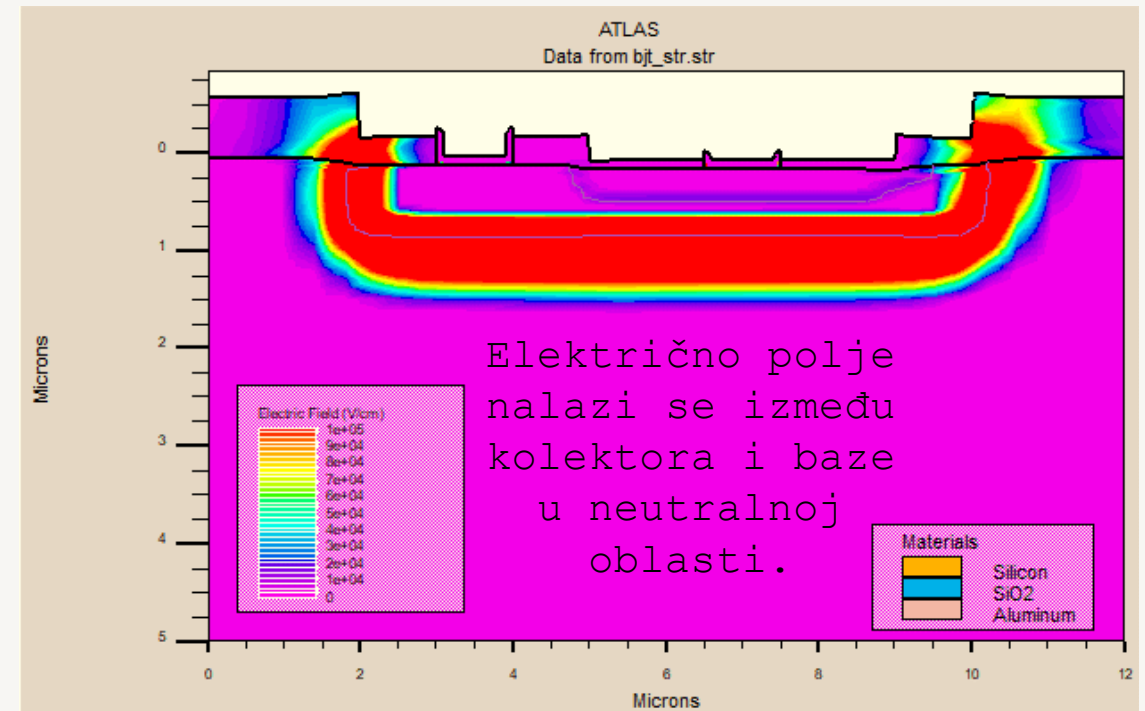
3. Gustina struje elektrona

*Define - Contours - Quantity -
e- Current Density*



4. Raspodela električnog polja

*Define - Contours - Quantity -
Electric Field :
Fix=1e5*



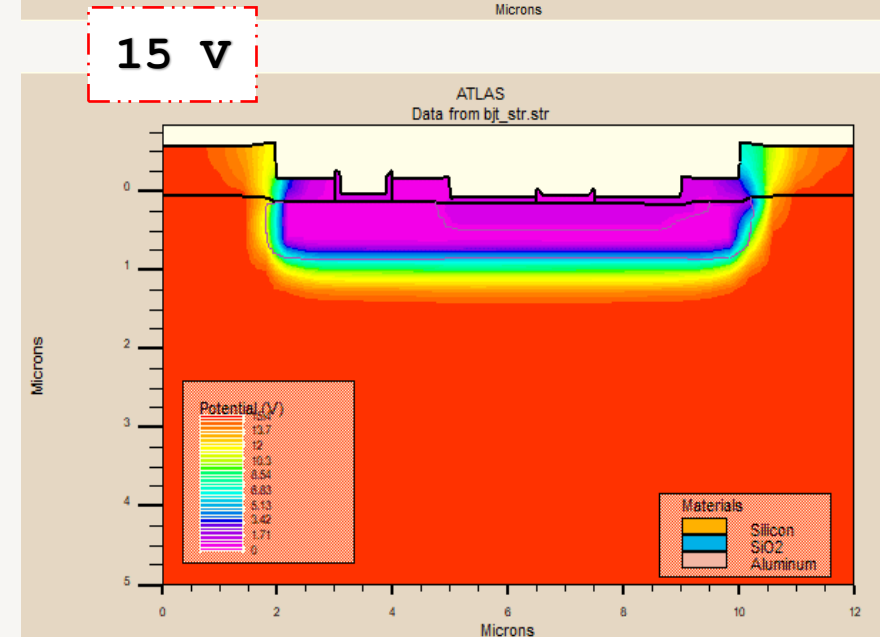
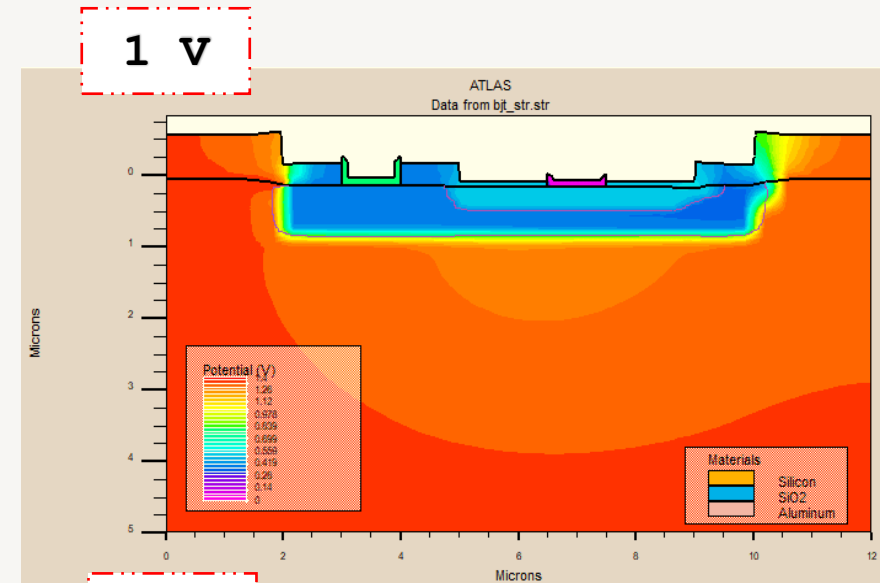
5. Potencijal

Napon na bazi postaviti na konstantnih 0.8 V. Napon na kolektoru postaviti na konstantnih 1 V; napon na emitoru na 0.2 V; napon na bazi je 0.6 V (umesto 0.8 V - zbog unutrašnjeg potencijala PN spoja). Osiromašena oblast baza-kolektor je uska.

Define - Contours - Quantity - Potential

Kada se ponovi simulacija za napon na kolektoru 15 V, dobijaju se rezultati kao na slici.

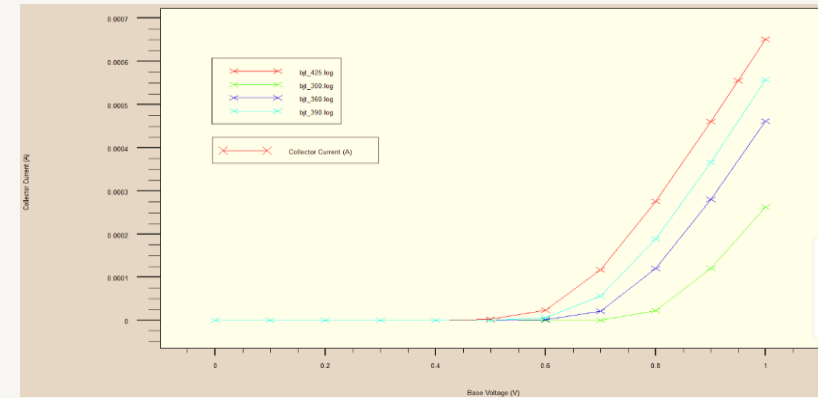
Zaključak: osiromašena oblast baza-kolektor se širi ka strani kolektora, jer je ta oblast slabije dopirana.



- ZTC tačka

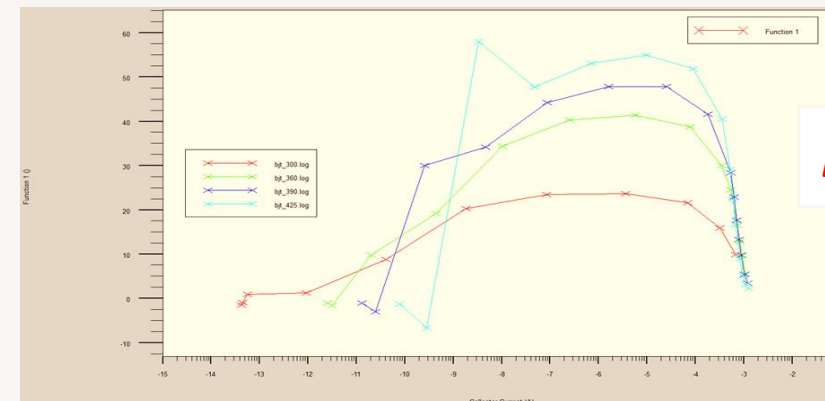
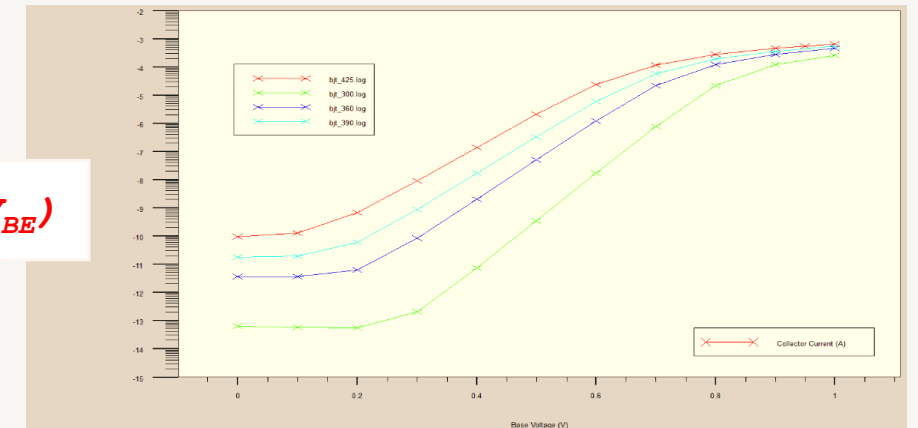
- Kod bipolarnih tranzistora struja mnogo zavisi od temperature, a s obzirom da je bipolarni tranzistor sastavljen od dva PN spoja, dobro je poznato da je struja PN spoja eksponencijalno zavisna od temperature.
- **Nedostatak** bipolarnog tranzistora u poređenju sa MOS tranzistorom je i to što nema ZTC tačku.
- Sa **povećanjem** temperature pojačanje **raste**, a za velike vrednosti kolektorske struje, pojačanje opada i ne zavisi od temperature.

Odraditi simulaciju 300 K, 360 K, 390 K, 425 K (obavezno menjati naziv fajla). Napon na kolektoru postaviti na konstantnih 1.2 V, a napon na bazi na konstantnih 1 V.



$$I_C = f(V_{BE})$$

$$\log I_C = f(V_{BE})$$



$$\beta = f(\log I_C)$$