

# FOTONAPONSKA ČELIJA

- TEHNOLOŠKI NIZ I ELEKTRIČNE  
KARAKTERISTIKE -

**ATHENA I ATLAS**

## 1. Definisiranje domena i mreže

```
go athena
```

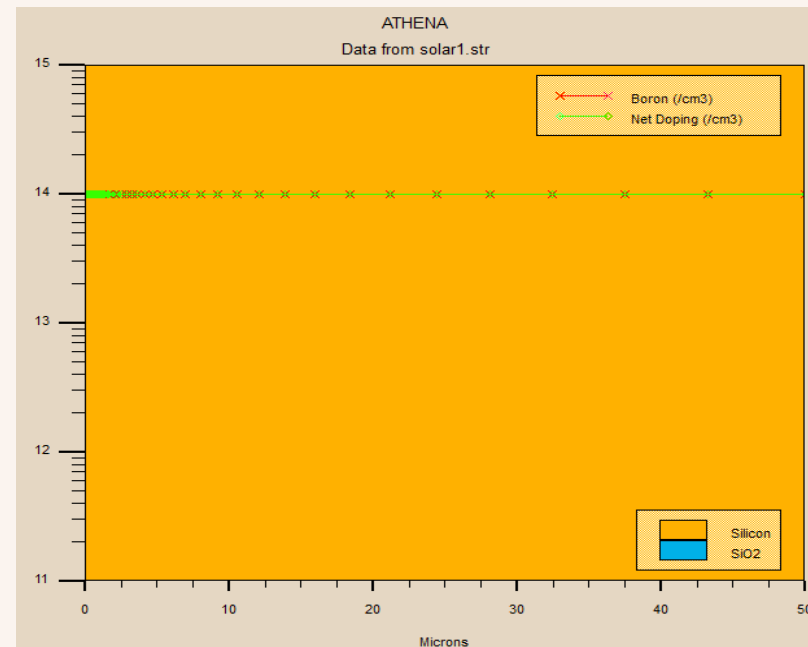
```
line x loc=0.00 spac=1  
line x loc=10 spac=1  
line y loc=0.00 spac=0.05  
line y loc=0.25 spac=0.02  
line y loc=1 spac=0.1  
line y loc=50 spac=10
```

## 2. Definisiranje supstrata: `init`

```
init silicon c.boron=1.0e14 orientation=100
```

## 3. Depozicija oksida: `deposit`

```
deposit oxide thickness=0.05 div=1
```



## 4. Jonska implantacija - **implant** i 5. difuzija - **diffuse**

```
implant phos dose=1e15 energy=30
diffuse time=10 temp=900
```

```
extract name="junc_depth" xj material="Silicon" \
mat.occno=1 x.val=0.1 junc.occno=1
```

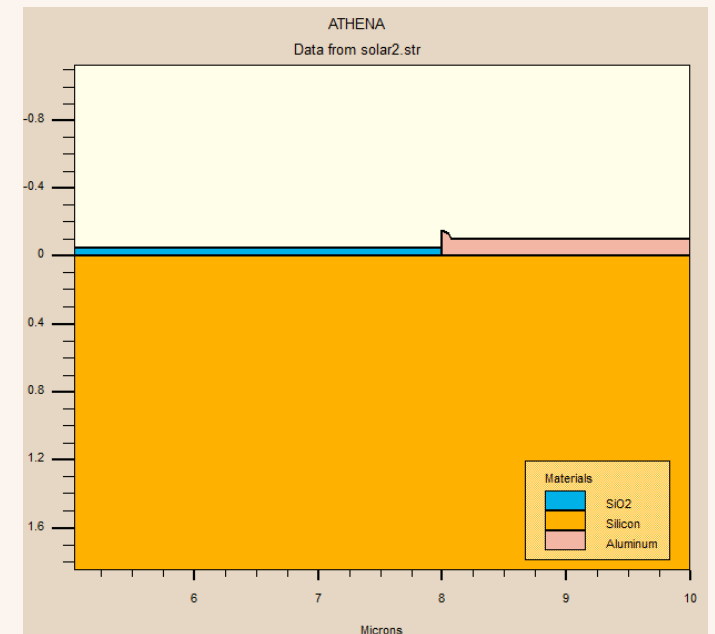
```
EXTRACT> extract name="junc_depth" xj material="Silicon" mat.occno=1 x.val=0.1 junc.occno=1
junc_depth=0.403028 um from top of first Silicon layer X.val=0.1
```

Naredbom **extract** određuje se dubina na kojoj će biti formiran PN spoj.

## 6. Depozicija aluminijuma - **deposit** i 7. uklanjanje viška aluminijuma - **etch**

```
etch oxide right p1.x=8
deposit aluminum thickness=0.1 div=3
etch aluminum left p1.x=8
```

```
structure outfile=solar2.str
tonyplot solar2.str
```



## 8. Definisiranje elektroda: **electrode**

```
structure mirror right
```

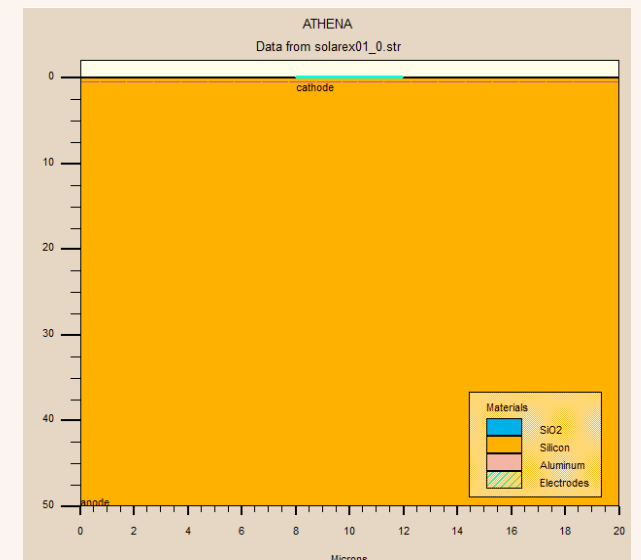
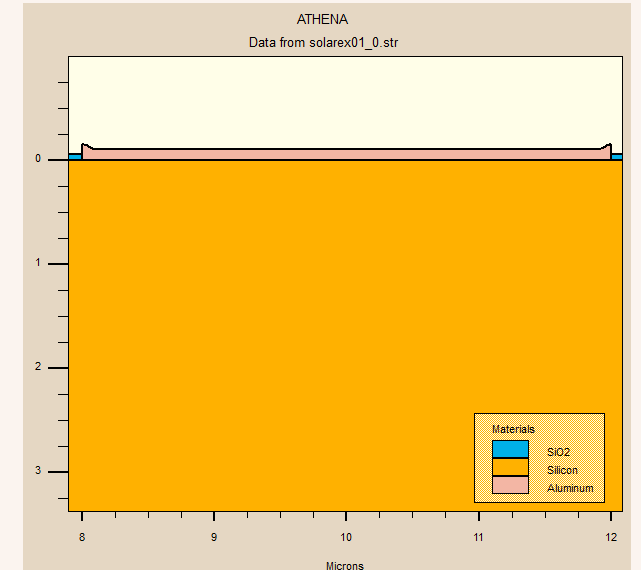
```
electrode name=cathode x=10
```

```
electrode name=anode backside
```

```
structure outfile=solarex01_0.str
```

```
tonyplot solarex01_0.str
```

Naredba **structure mirror** je naredba koja se koristi za preslikavanje (mirorovanje strukture). Do sada je napravljena jedna polovina solarne ćelije i ovom naredbom se druga polovina solarne ćelije preslikava.



# SIMULACIJA ELEKTRIČNIH KARAKTERISTIKA ZENER DIODE

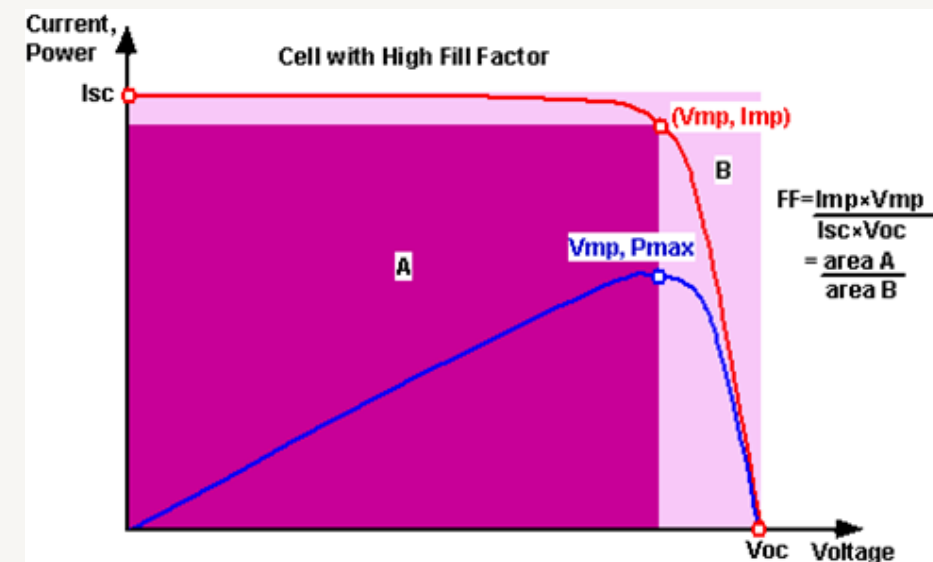
## ATLAS

### 1. Određivanje struje kratkog spoja i napona otvorenog kola solarne ćelije

Osnovni parametri solarne ćelije su: **napon otvorenog kola**  $V_{OC}$ , **struja kratkog spoja**  $I_{SC}$ , **Fill Factor** ( $FF$ ) i **maksimalna snaga**  $P_{max}$ .

- **Napon otvorenog kola** je maksimalna vrednost napona na krajevima solarne ćelije u otvorenom električnom kolu, odnosno kolu u kom nema proticanja struje. Napon otvorenog kola se smanjuje sa porastom temperature solarne ćelije.
- **Struja kratkog spoja** je struja koja teče kroz spoljašnje strujno kolo kada su izvodi solarne ćelije kratkospojeni, odnosno to je maksimalna vrednost struje solarne ćelije kada je napon 0 V i direktno je srazmerna intenzitetu upadnog sunčevog zračenja.
- **Maksimalna snaga** je maksimalna vrednost snage koja će da se generiše u optimalnim uslovima.
- **FF** je faktor ispunje, njime se određuje kvalitet solarne ćelije, i računa se kao odnos maksimalne snage i snage koja se generiše pri struje kratkog spoja i naponu otvorenog kola.

**Napomena:** za simulaciju električnih karakteristika solarne ćelije otvara se kod direktno iz primera datih u softveru.



# 1. Električna simulacija struje kratkog spoja solarne ćelije

**go atlas**

```
mesh infile=solar01_0.str
```

```
material material=Aluminum imag.index=1000
```

```
material material=Silicon taun0=1e-6 taup0=1e-6
```

```
beam num=1 x.origin=10.0 y.origin=-2.0 angle=90.0 power.file=solarex01.spec
```

```
output opt.int
```

**material:** koristi se za definisanje specifičnih parametara navedenog materijala.

**imag.index:** parametar za definisanje neprozirnosti tog materijala (aluminijuma).

**taun0** i **taup0:** parametri za definiranje vremena života nosilaca (elektrona i šupljina).

**beam:** koristi se za definisanje snopa osvetljenja, pri čemu se definišu koordinate izvora svetlosti i ugao pod kojim svetlost pada na površinu solarne ćelije.

**output opt.int:** uključuje se čuvanje raspodele intenziteta svetlosti u izlaznom fajlu.

**mesh infile:** naredba za pozivanje već kreirane strukture solarne ćelije.

```
models conmob fldmob consrh print
```

```
solve init
```

```
solve previous
```

```
log outfile=solarex1_0.log
```

```
solve b1=1
```

**models:** uključivanje adekvatnih modela:  
**conmob**- model zavisnosti pokretljivosti od koncentracije;  
**fldmob**- model zavisnosti pokretljivosti od električnog polja;  
**consrh**- model zavisnosti životnog veka od koncentracije.

Parametar **b1=1** označava iradijansu ( $1 \text{ W/cm}^2$ ).

```
extract name="short_circuit_current" max(abs(i."cathode"))
```

Naredbom **extract** pronalazi se vrednost struje kratkog spoja kao maksimum apsolutne vrednosti katodne struje.

```
save outfile=solarex01_1.str
```

## 2. Električna simulacija napona otvorenog kola solarne ćelije

```
solve init  
solve previous  
contact name=cathode current  
solve icathode=0 b1=1
```

**contact name=cathode current:** napon se dovodi na katodu.

**solve icathode=0 b1=1:** struja na katodi je 0 A, a intenzitet zračenja  $1 \text{ W/cm}^2$ .

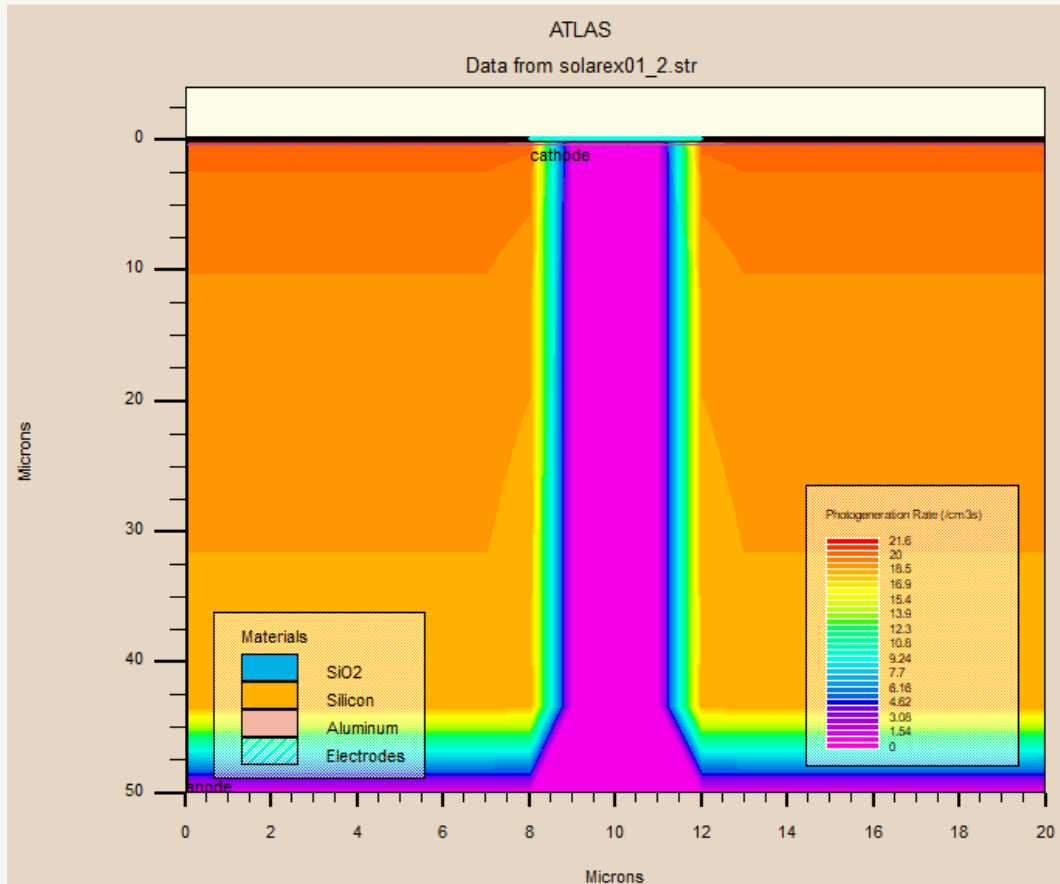
```
extract name="open_circuit_voltage" max(abs(vint."cathode"))
```

Naredbom **extract** definiše se vrednost napona otvorenog kola kao maksimum apsolutne vrednosti napona na katodi. Parametar **vint."cathode"** pokazuje da će se napon meriti direktno sa kontakta katode.

```
save outfile=solarex01_2.str  
tonyplot solarex01_2.str
```



Raspodela svetlosti unutar solarne ćelije



Rezultat extract naredbe za proračun struje kratkog spoja:

```
ERROR : Cannot read file 'solarex01_0.log' : Result too large.  
ERROR : Initialization has not been performed.
```

Rezultat extract naredbe za proračun napona otvorenog kola:

```
EXTRACT> extract name="open_circuit_voltage" max(abs(vint."cathode"))  
open_circuit_voltage=0.40761
```

### 3. Simulacija spektralnog odziva solarne ćelije

**Spektralni odziv** solarne ćelije određuje osobine aktivnog dela ćelije i razlikuje se od vrste materijala od kojeg je napravljena solarna ćelija. Spektralni odziv predstavlja odnos generisane struje i incidentne snage koja dolazi na solarnu ćeliju. Izražava se u A/W. Talasna dužina se ne definiše, jer je ona promenljiva.

**go atlas**

```
mesh infile=solarex01_0.str
```

```
material material=Aluminum imag.index=1000
```

```
material material=Silicon taun0=1e-6 taup0=1e-6
```

```
beam num=1 x.origin=10.0 y.origin=-2.0 angle=90.0
```

```
output opt.int
```

```
model conmob fldmob consrh print
```

```
solve init
```

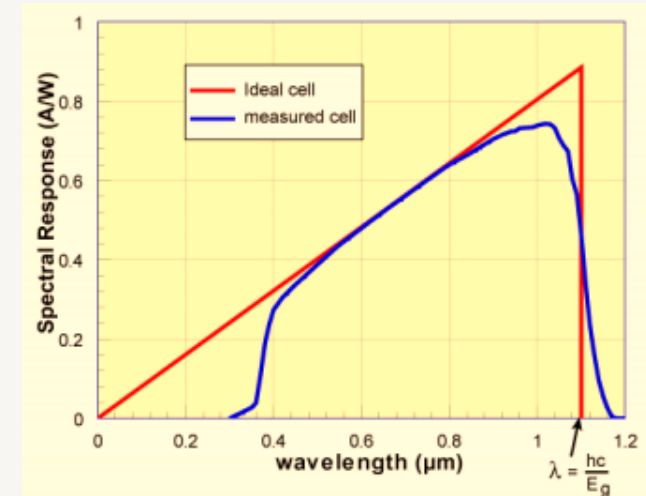
```
solve previous
```

```
solve previous b1=0
```

```
log outfile=solarex_2.log
```

```
solve b1=1 beam=1 lambda=0.3 wstep=0.025 wfinal=1.0
```

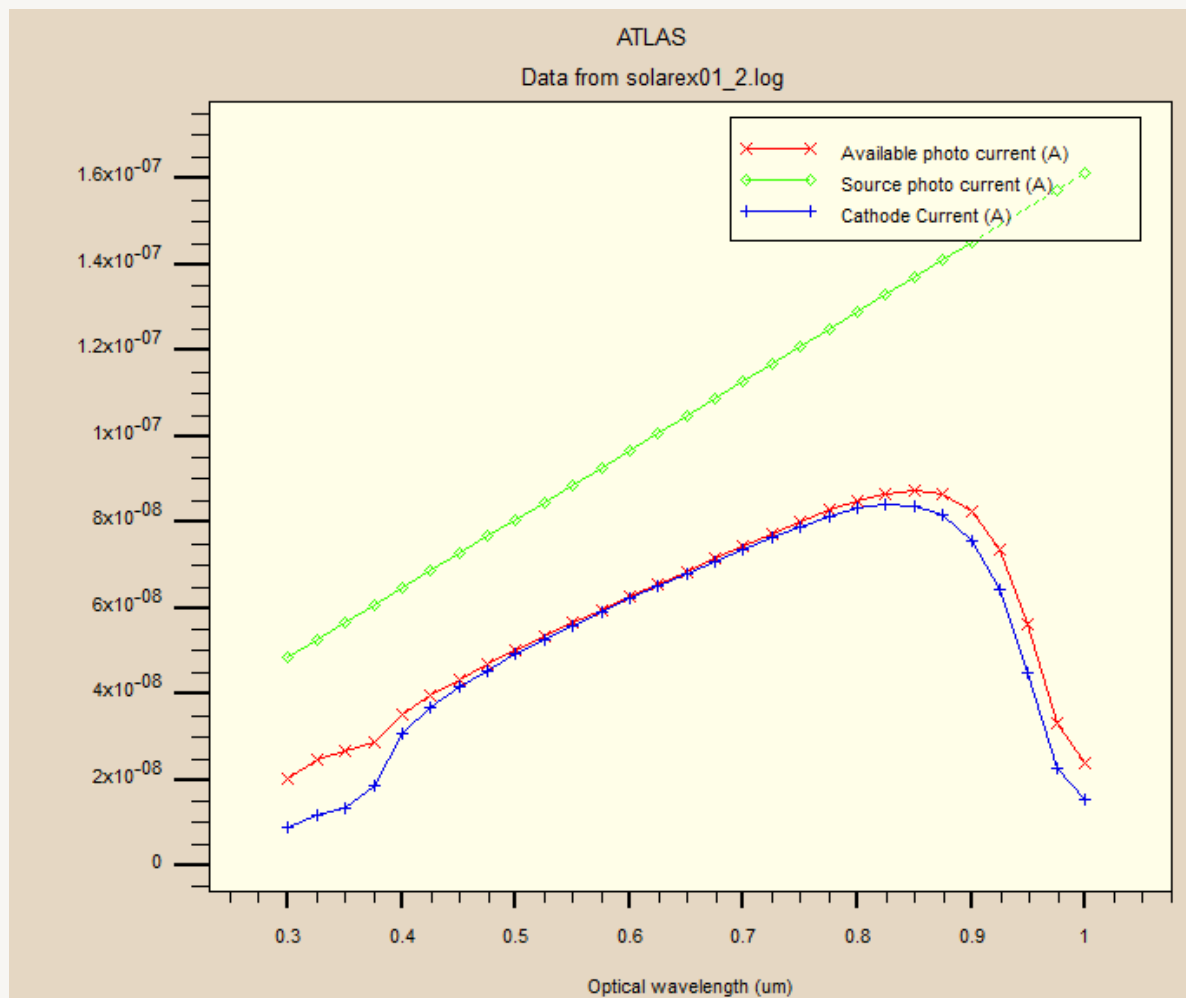
```
tonyplot solarex01_2.log
```



**b1=0:** solarna ćelija je neosvetljena.

**solve:** solarna ćelija se osvetli - **b1=1**, a zatim se menja parametar **lambda** (talasna dužina upadne svetlosti) od 300 do 1000 nm.

# FOTONAPONSKA ĆELIJA - Simulacija električnih karakteristika fotonaponske ćelije



1. **Source photo current** - Struja dostupna iz svetlosnog izvora (maksimalna struja)

2. **Available photo current** - Struja koju bi solarna ćelija trebala da generiše (dostupna struja)

3. **Cathode current** - Stvarna struja solarne ćelije

- Razlika između maksimalne i dostupne struje prouzrokovana je refleksijom sa solarne ćelije i transmisijom zraka kroz solarne ćelije. Ova razlika je značajna pri svim vrednostima talasne dužine, osim pri najmanjim.
- Razlika između dostupne i stvarne struje solarne ćelije postoji zbog rekombinacije nosilaca unutar solarne ćelije i ovi gubici su veoma mali, osim u krajnjim granicama talasne dužine.

## 4. Efikasnost solarne ćelija u odnosu na frekvenciju upadne svetlosti

Efikasnost solarne ćelije korišćenjem simulatora računa se pomoću extract naredbi.

```
extract init inf="solarex01_2.log"
```

```
extract name="IQE" curve(elect."optical wavelength", \ -  
(i."anode")/elect."available photo current")  
outfile="solarex01_IQE.dat"
```

```
extract name="EQE" curve(elect."optical wavelength", \ -  
(i."anode")/elect."source photo current")  
outfile="solarex01_EQE.dat"
```

```
extract name="EQE2" curve(elect."optical wavelength", \ -  
(i."anode")/elect."source photo current"*elect."Absorption")  
outfile="solarex01_EQE2.dat"
```

```
tonyplot solarex01_IQE.dat -overlay solarex01_EQE2.dat -set  
solarex01_1.set
```

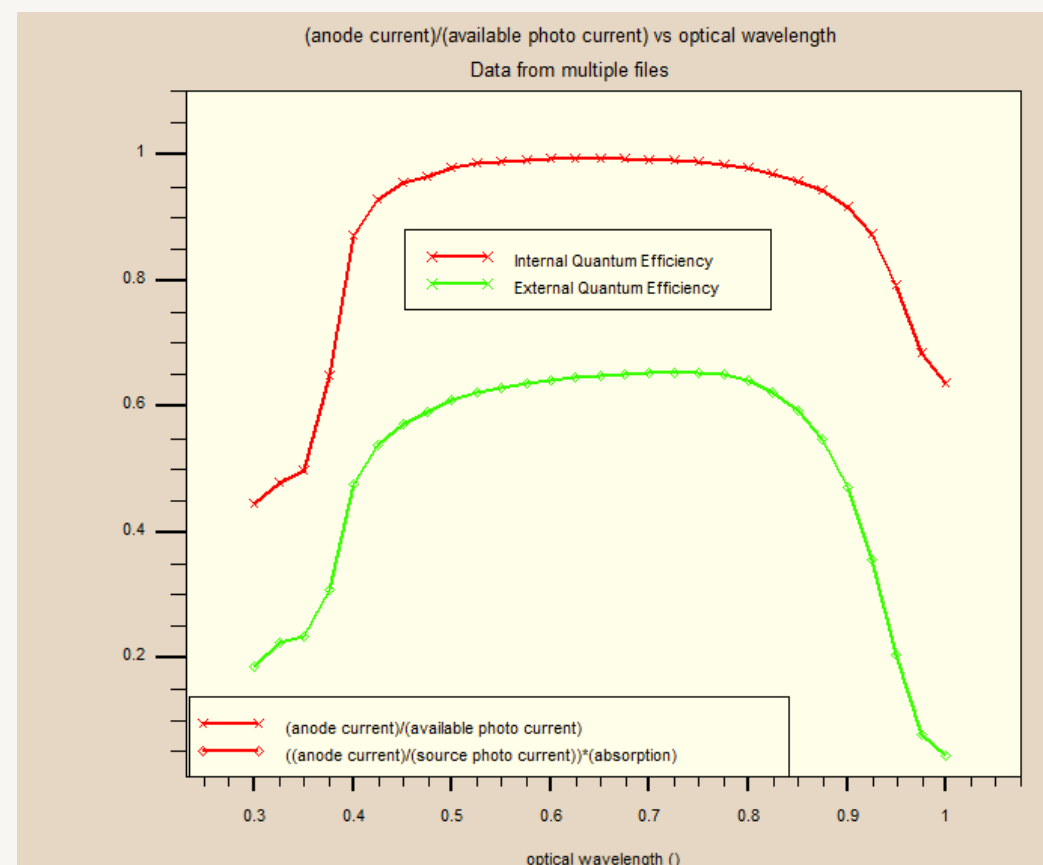
**Interna kvantna efikasnost IQE** (idealna, jer ne utiče apsorpcija) se definiše kao odnos anodne struje i dostupne struje.

**Eksterna kvantna efikasnost EQE2** definiše se kao odnos anodne struje i proizvoda izvorne struje i apsorpcije.

## - Efikasnost solarne ćelija u odnosu na frekvenciju upadne svetlosti

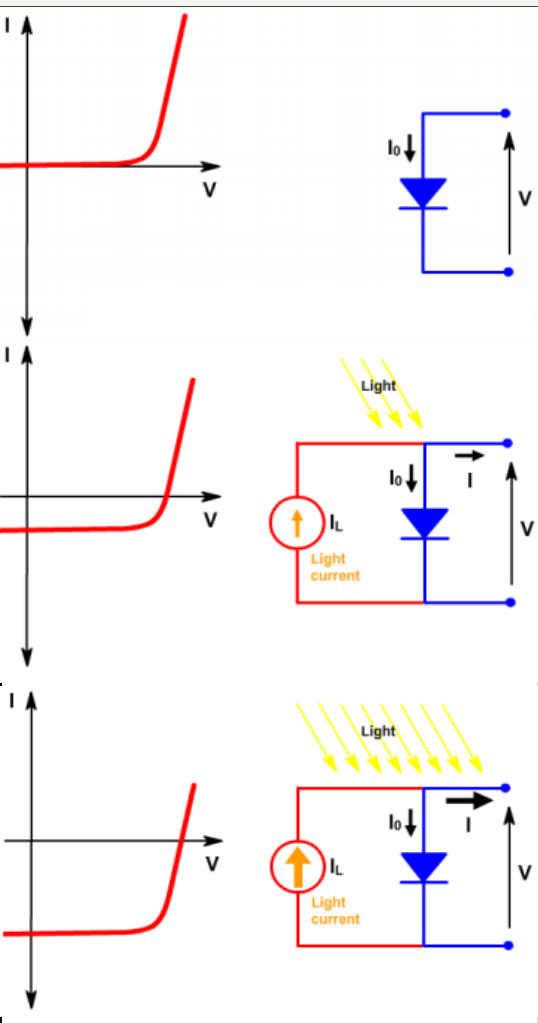
- Efikasnost brže opada pri nižim talasnim dužinama svetlosti (skokovi su strmiji na početku karakteristike), a sporije na višim talasnim dužinama.
- Kada se uzima u obzir i efekat apsorpcije (eksterna kvantna efikasnost), onda je maksimalna efikasnost 60% i tada dolazi do zagrevanja solarne ćelije.
- Na efikasnost solarne ćelije utiče rekombinacija, refleksija, transmisija, ali i apsorpcija. Zbog svih ovih efekata efikasnost solarne ćelije se smanjuje.

Zavisnost talasne dužine u odnosu na definisane formule:



## 5. Simulacija I/V karakteristike solarne ćelije

**Strujno-naponska karakteristika** neosvetljene solarne ćelije ista je kao i strujno-naponska karakteristika diode. Kada se solarna ćelija osvetli, ona počinje da generiše struju. Što je veći intenzitet svetlosti, to je veći pomeraaj karakteristike (struja nije negativna, već protiče u suprotnom smeru).



go atlas

Solarna ćelija je neosvetljena.

```
mesh infile=solarex01_0.str
```

```
material material=Aluminum imag.index=1000
```

```
material material=Silicon taun0=1e-6 taup0=1e-6
```

```
beam num=1 x.origin=10.0 y.origin=-2.0 angle=90.0
```

```
power.file=solarex01.spec
```

```
output opt.int
```

```
probe name=inten beam=1 intensity
```

```
models conmob fldmob consrh
```

```
solve init
```

```
solve previous
```

```
log outfile=solarex01_3.log
```

```
solve vcathode=-0.01 vstep=-0.01 vfinal=-1*$open_circuit_voltage/
```

```
name=cathode
```

```
log off
```

**probe:** uključivanje podataka o intenzitetu svetlosti.

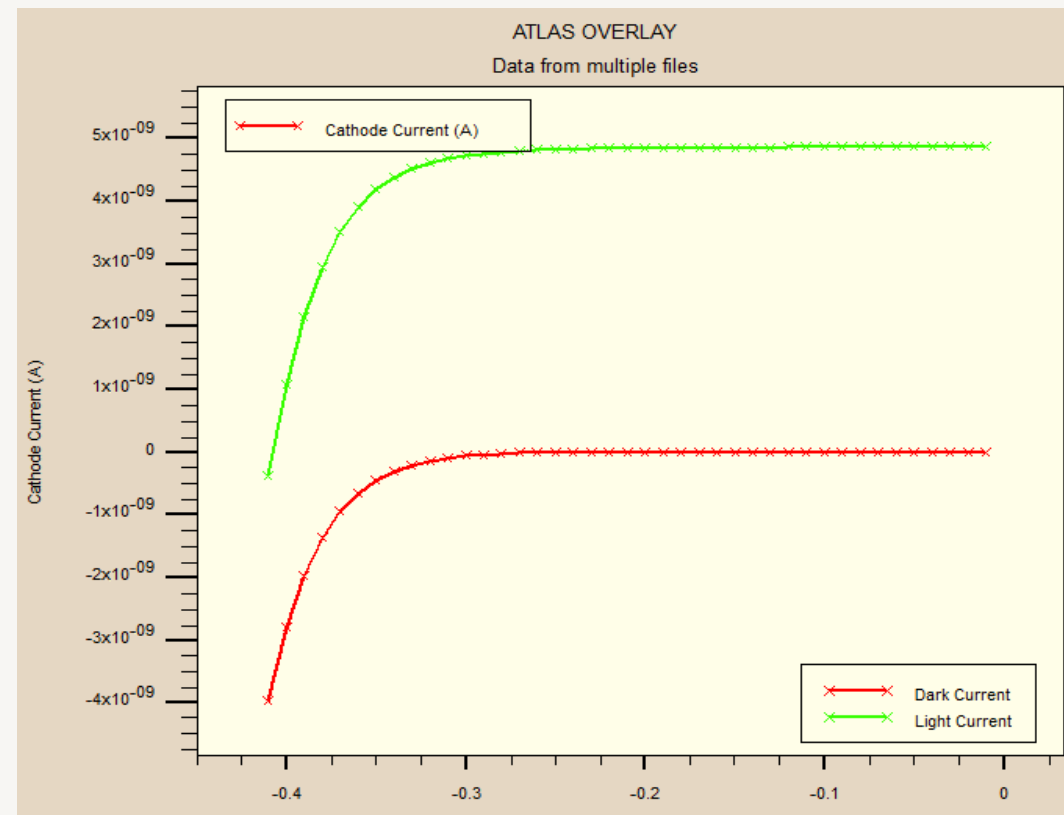
```
solve init  
solve previous  
solve b1=1
```

```
log outfile=solarex01_4.log
```

```
solve vcathode=-0.01 vstep=-0.01 vfinal=-1*$open_circuit_voltage name=cathode b1=1  
log off
```

```
tonyplot solarex01_3.log
```

Solarna ćelija je  
osvetljena.



## 6. Simulacija snage solarne ćelije

Snaga projektovane solarne ćelije računa se pomoću extract naredbi.

```
extract init infile="solarex01_4.log"
```

```
extract name="Jsc (mA/cm2)"
$short_circuit_current*1e08*1e03/20
```

```
extract name="Power" curve (v."cathode",
(v."cathode"*i."cathode"*(-1))) \ outfile="solarex01_P.dat"
```

```
extract name="Pmax" max(curve(v."cathode"*i."cathode"*(-1)))
```

```
extract name="V_Pmax" x.val from curve(v."cathode",
(v."cathode"*i."cathode")) \ where y.val=(-1)*$"Pmax"
```

```
extract name="Fill Factor"
($"Pmax"/($"short_circuit_current"*$"open_circuit_voltage"))
```

```
extract name="intens" max(probe."inten")
```

```
extract name="Eff" ($Pmax/($"intens"*20/1e8))
tonyplot solarex01_P.dat
```

