



Ekspirimenditehnika (4.osa)

- Päikesepatareide I-V karakteristikute mõõtmine
- C-V mõõtmised (ka päikesepatareidel)

Prof. Jüri Krustok

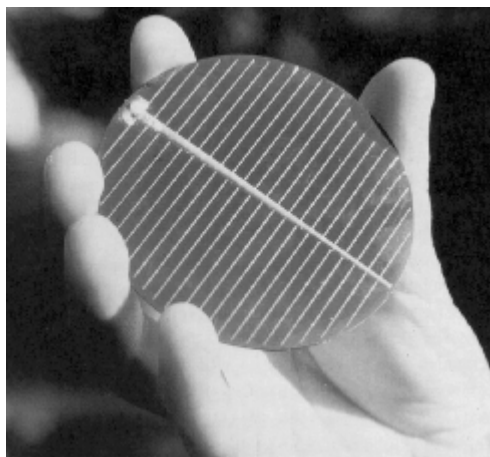
Tallinn University of Technology
Ehitajate tee 5, Tallinn 19086, Estonia

GSM: +372 5236945

WWW: <http://staff.ttu.ee/~krustok>

E-mail: Juri.Krustok@ttu.ee

Päikesepatareid



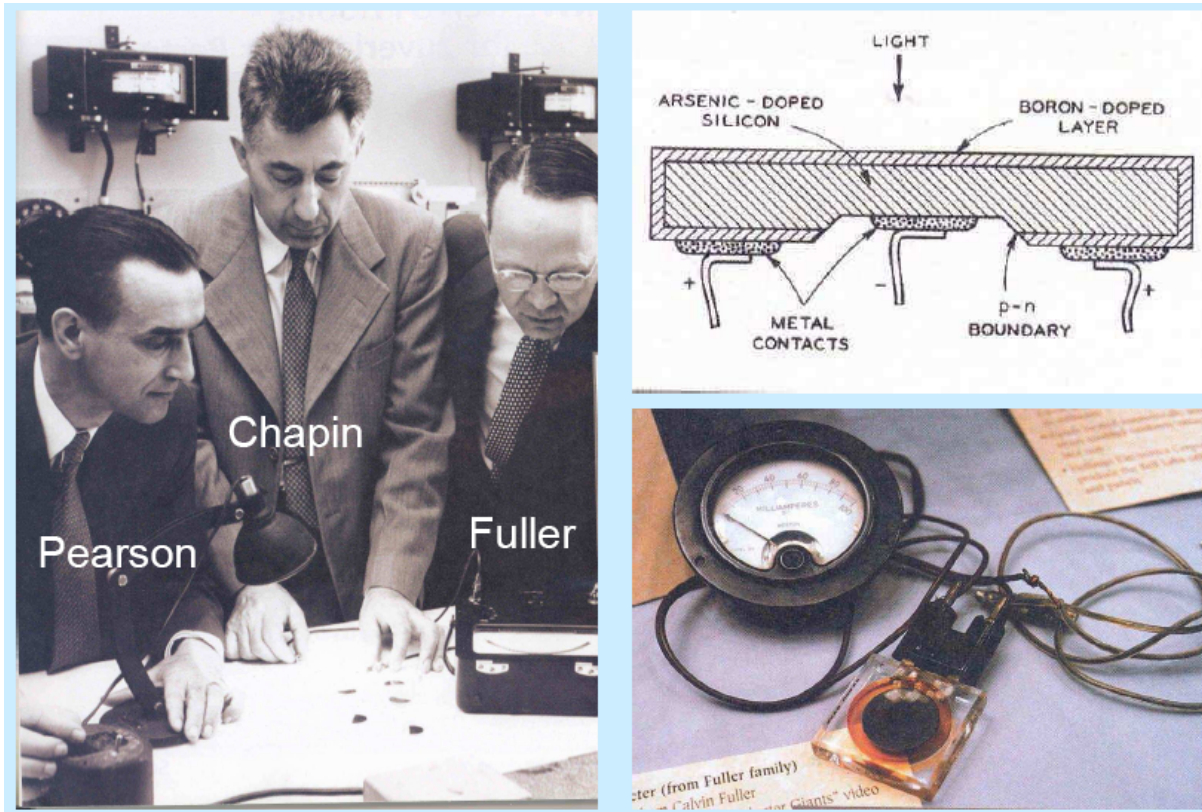
Päikesepatarei (solar cell) muudab päikesevalguse otse elektrienergiaks



Päikese energia

- Maa saab ühes tunnis niipalju päikeseenergiat, et selleks jätkuks kogu inimkonnale terveks aastaks!
- Valgus- see on energia!

Esimene Si päikesepatarei



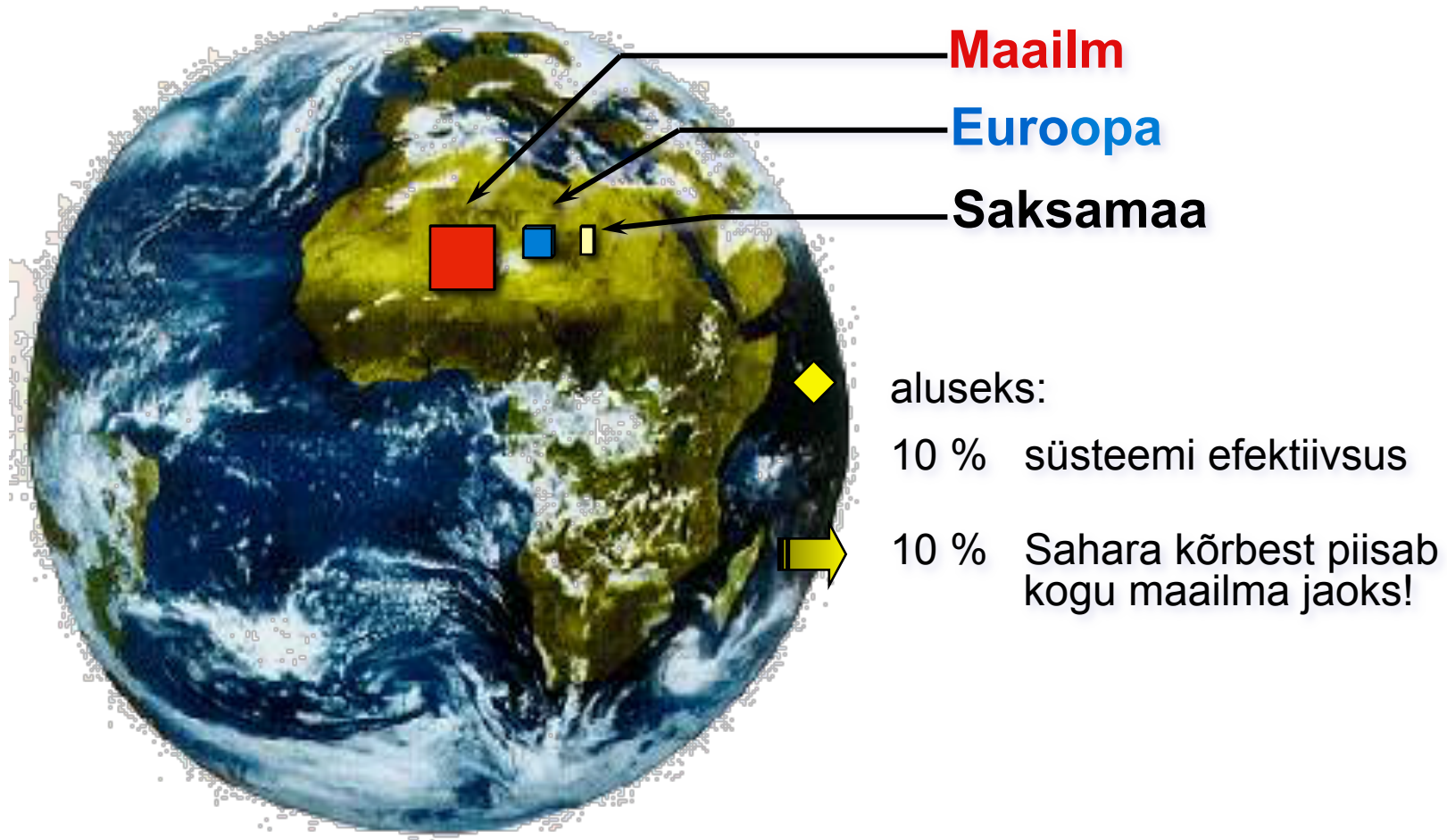
1956



Arvutame veidi:

- 1m^2 pinnale langeb maksimaalselt 1kW päikeseenergiat
- Eestis tarbitakse aastas iga inimese kohta keskmiselt 8MWh elektrienergiat
- Iga päev tuleks seega inimese kohta toota $8\text{MWh}/365=22\text{kWh}$
- Valget aega keskmiselt 12 tundi, seega piisab inimese kohta pinnast 2m^2
- Kasuteguri juures 10% vajatakse umbes 20m^2
- **TEGELIKULT NATUKE ROHKEM--- 61m^2**

Päikeseplatareide vajalik pindala



Päikesepatareide pindala





Probleemid

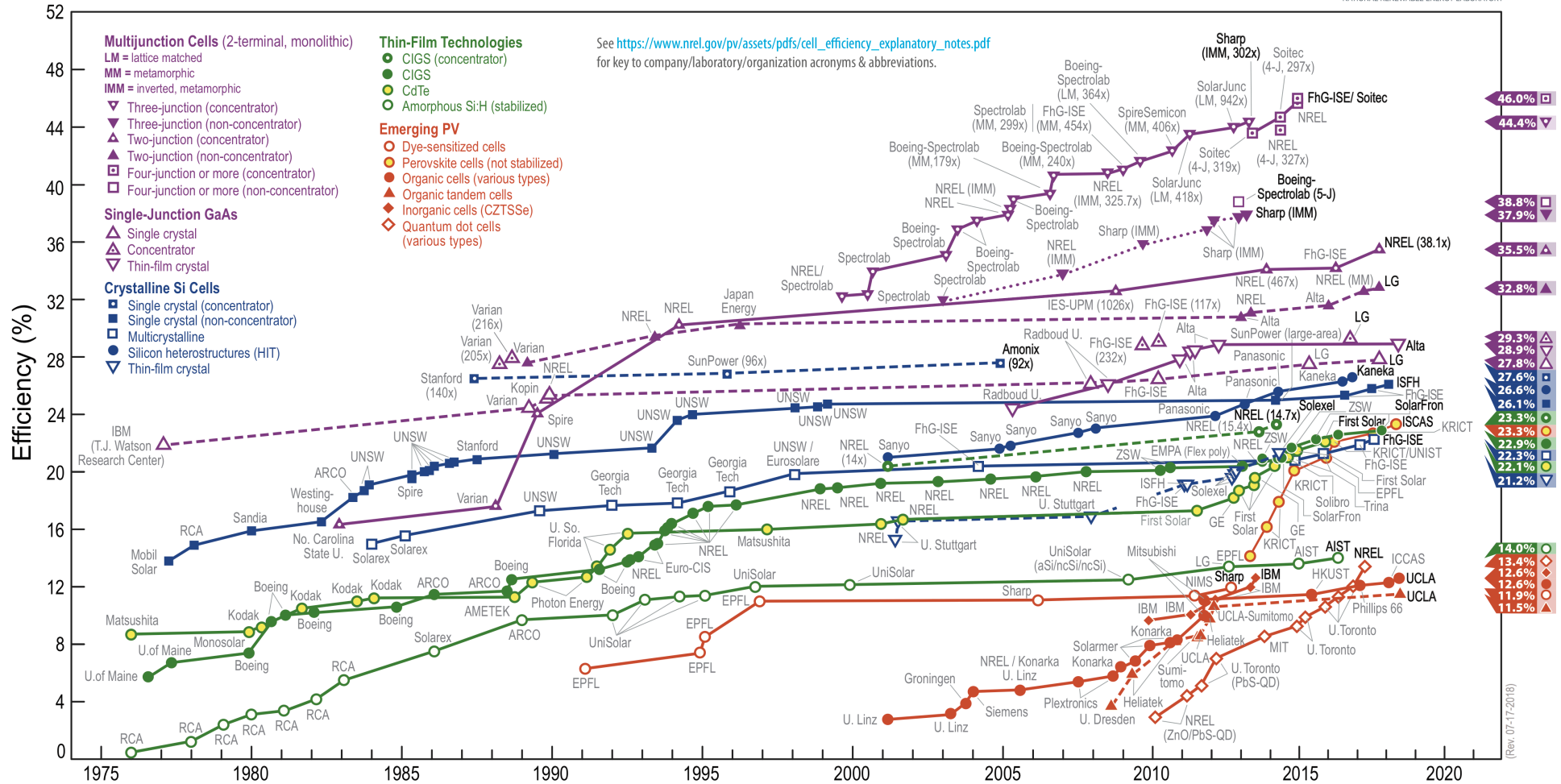
- Liiga kõrge hind ($\approx 0.7\text{€}$ 1Wp aastal 2018)
- Liiga väike toodang



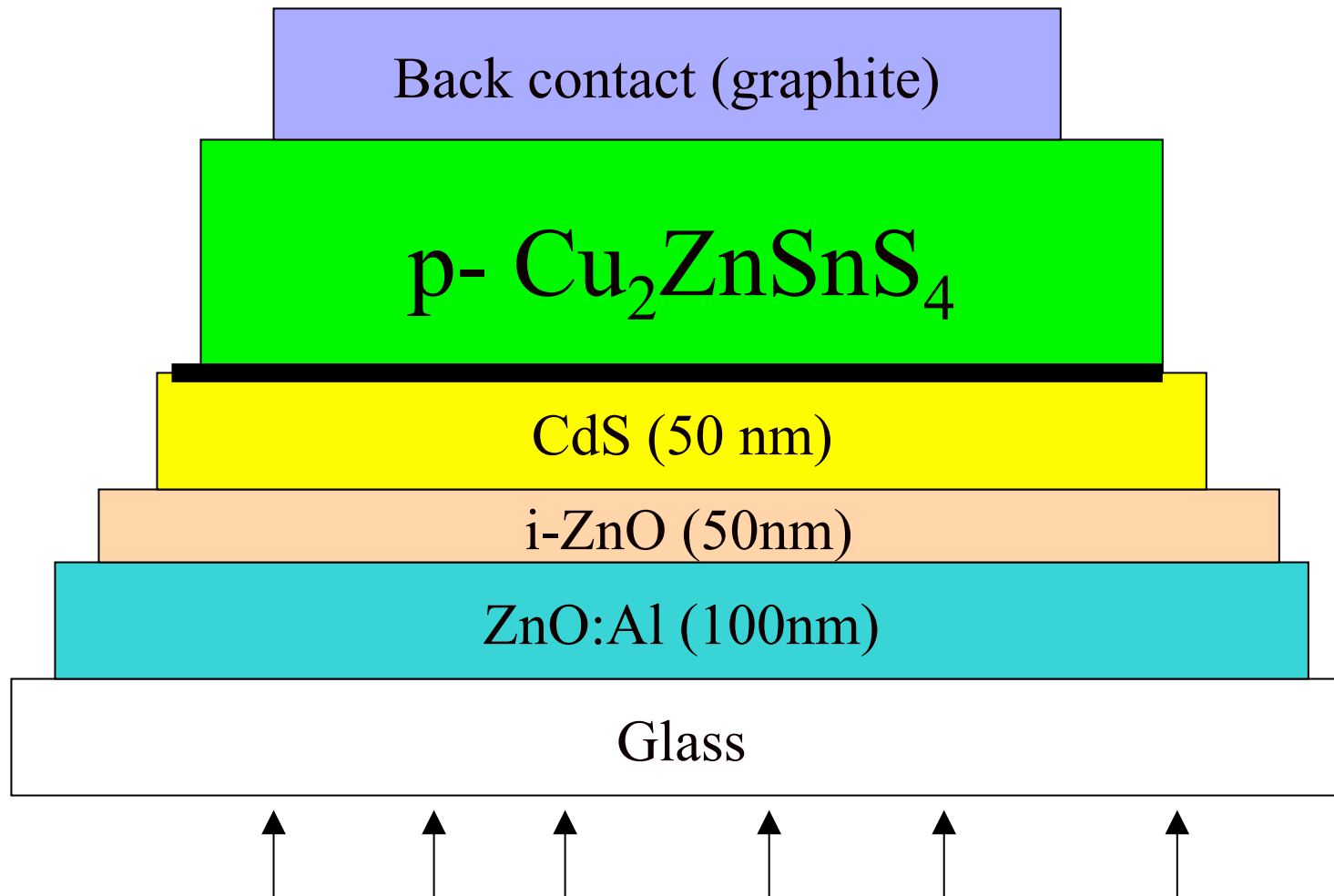
Uued materjalid asendamaks räni:

- Cu(In,Ga)Se_2
- CdTe
- Orgaanilised pooljuhid, perovskiidid
- $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_4$ (kesteriidid)

Best Research-Cell Efficiencies

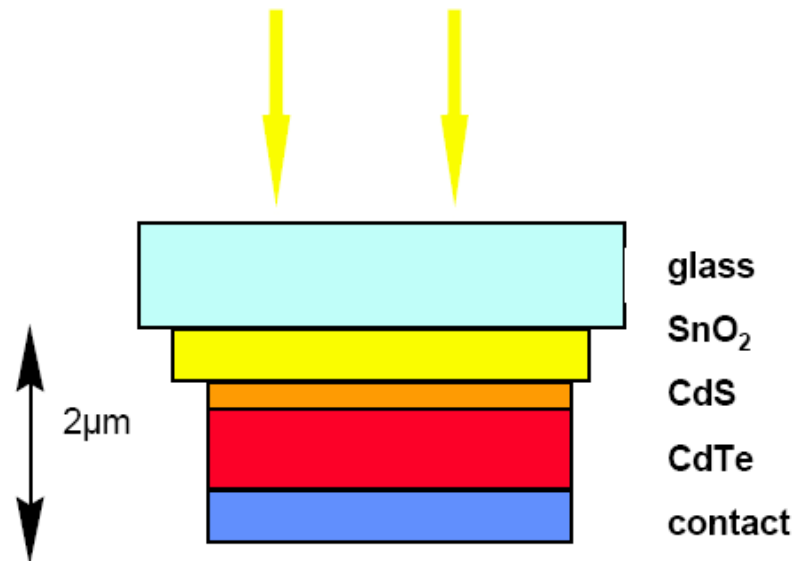


$\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ päikesepatarei



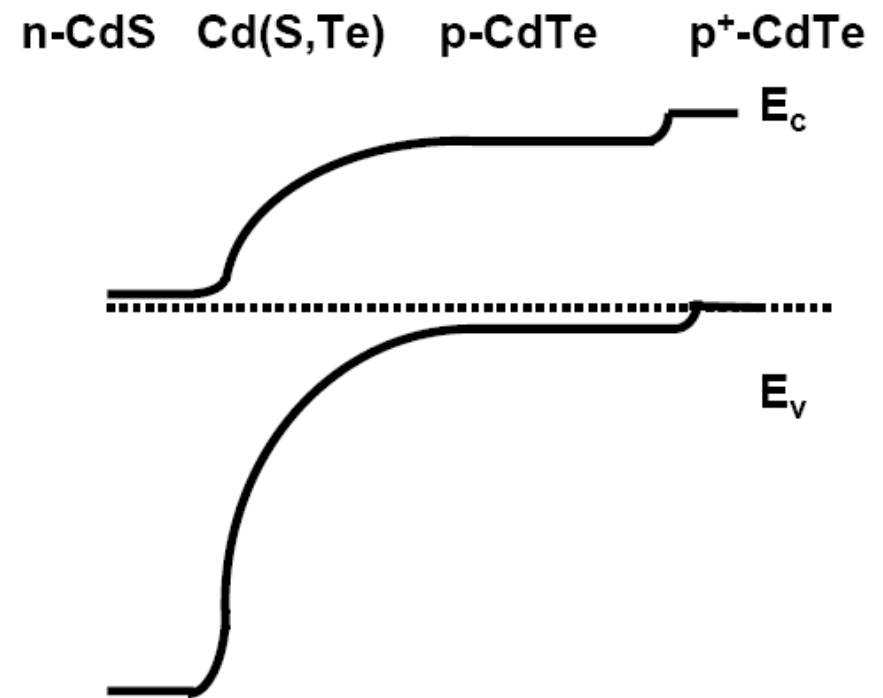
CdTe päikesepatareid

schematic structure



efficiency: üle 21% (First Solar)

band diagram



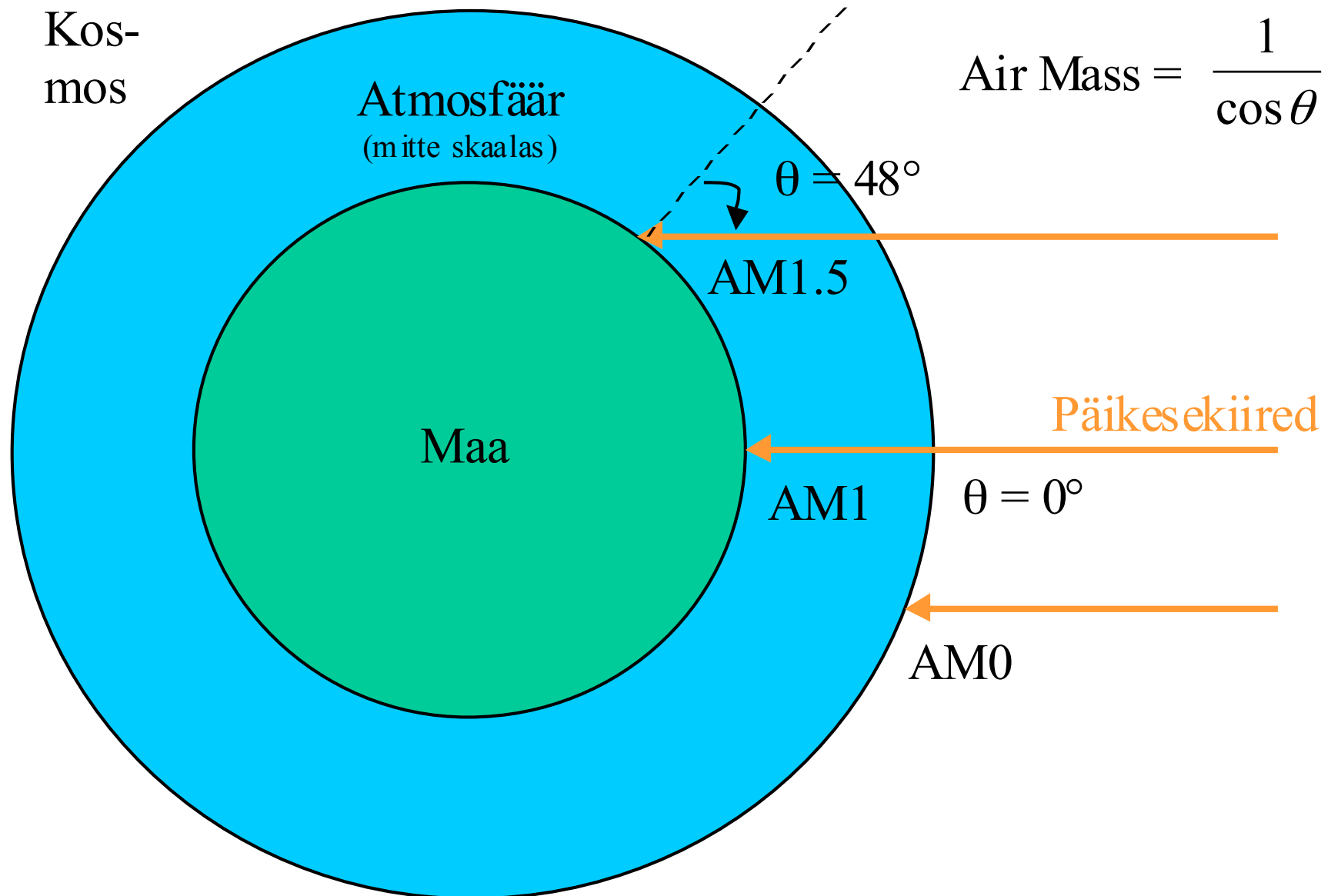
CuInS₂ päikesepatareide tootmine



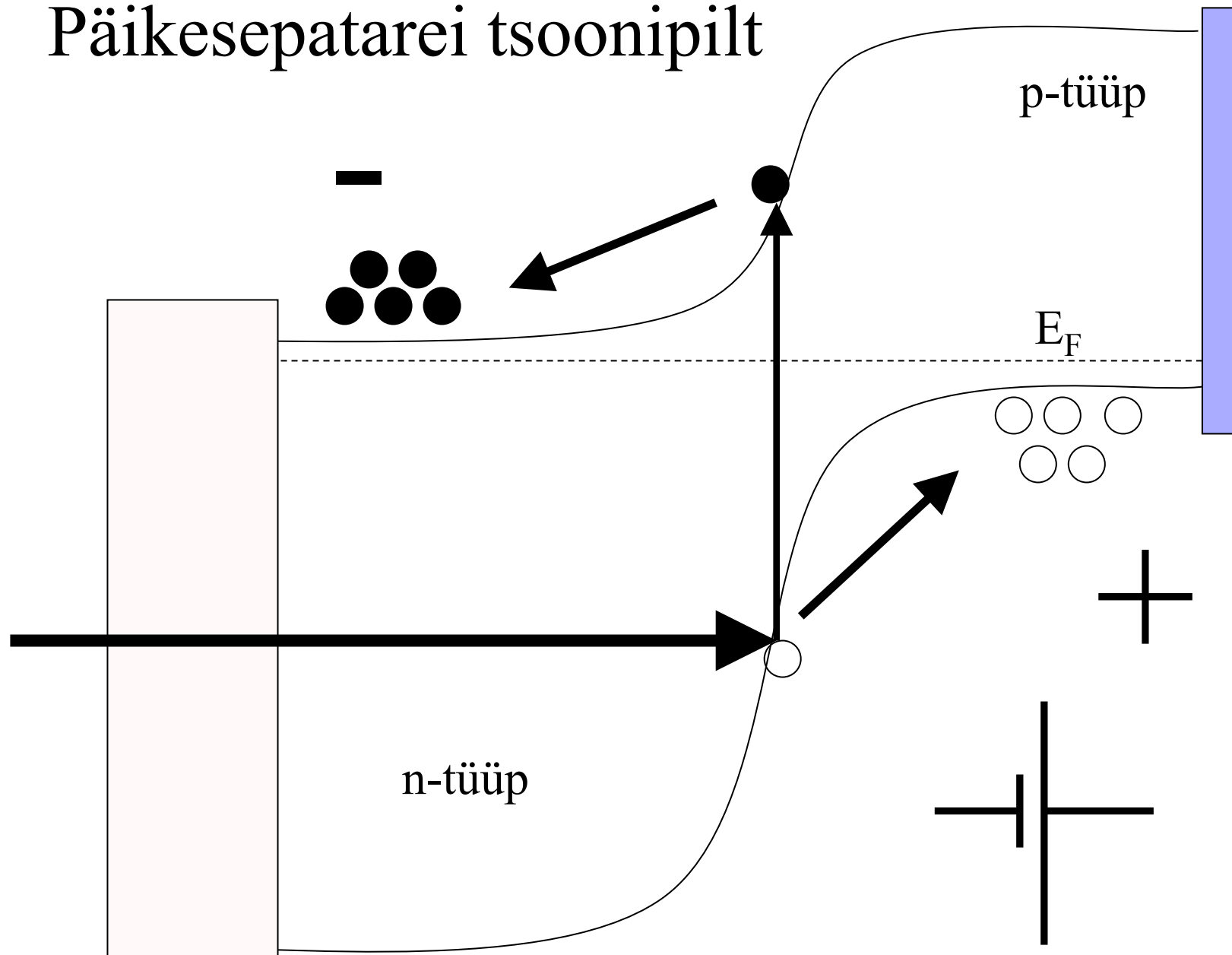
SULFURCELL

Pankrott aastal 2012

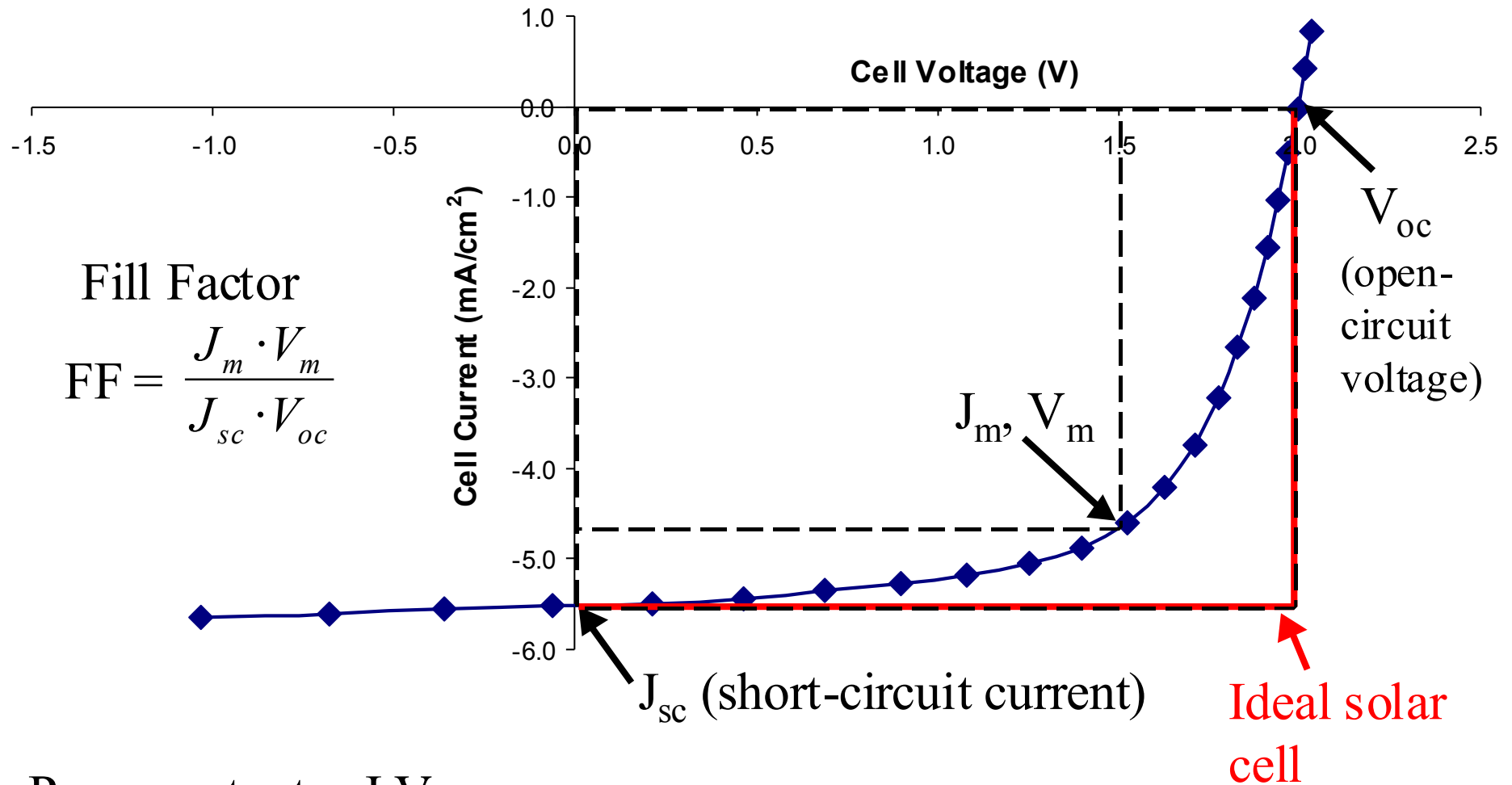
Päikesekiirguse arvestamine



Päikesepatarei tsoonipilt



Päikesepatarei tüüpiline I-V kõver



Power output = $J \cdot V$

$$P_{\max} = J_m \cdot V_m$$

Maximum

$$\text{Efficiency } \eta = \frac{J_m \cdot V_m}{\text{light power}} = \frac{J_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{\text{light power}}$$

Päikeseplatari ideaalvõrrand:

$$J = J_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) - J_L$$

$$J_0 = \frac{qn_i^2 D_p}{N_A L_p}$$

$$J_0 = 10^{-11} \text{ to } 10^{-14} \text{ A/cm}^2$$

J_p vool = dioodi vool – valguse poolt genereeritud vool

Kui $V=0$, $J = -J_L =$ lühisvool (short circuit current) = J_{sc}

Kui $J=0$, $V = V_{oc}$

V_{oc} on maksimaalne kui J_0 on minim.

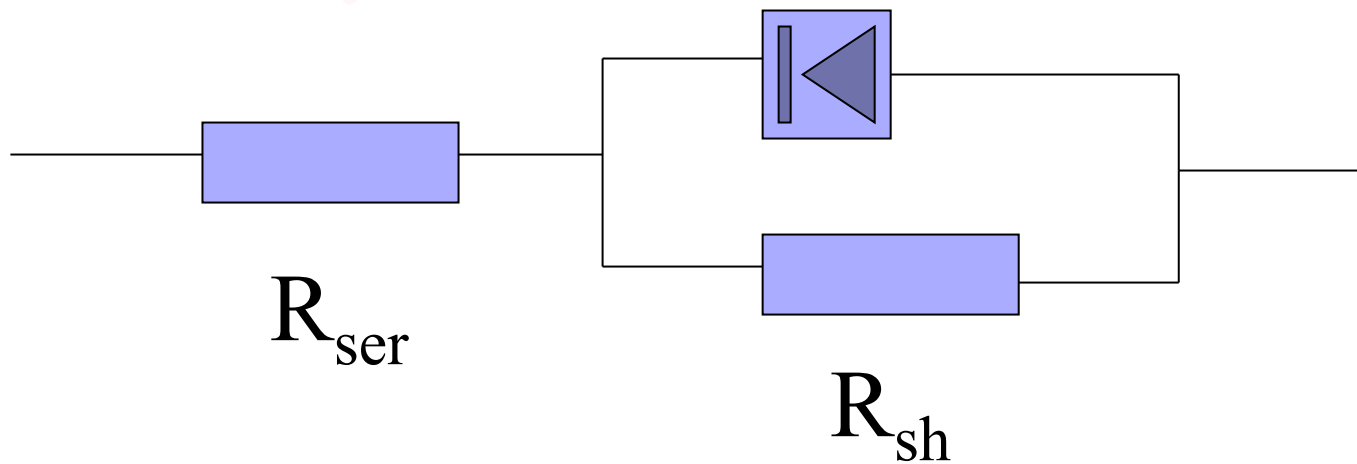
$$J = 0 = J_0 \left(e^{\frac{qV_{oc}}{kT}} - 1 \right) - J_L$$

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{J_L}{J_0} \right)$$

Reaalse päikesepatarei võrrand.

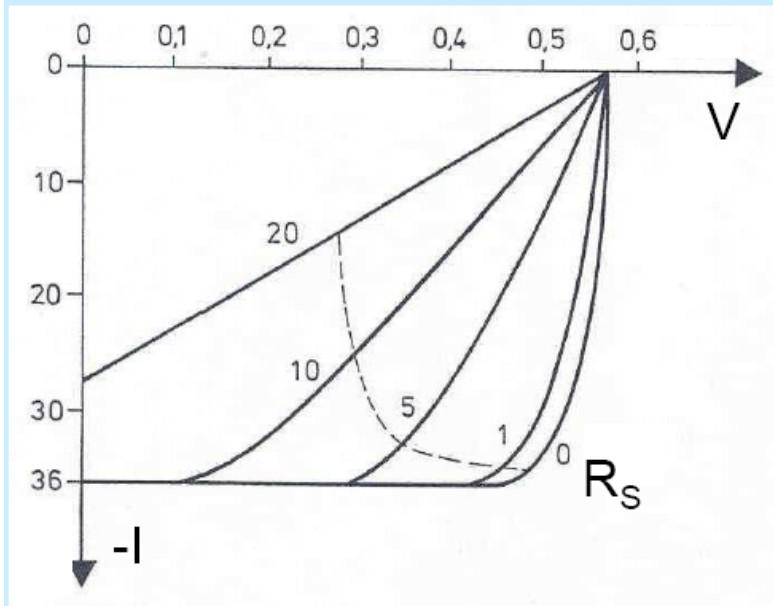
$$J = J_0 \left(e^{\frac{q(V - R_{ser}J)}{nkT}} - 1 \right) + \frac{V - R_{ser}J}{R_{sh}} - J_L$$

n- ideality factor



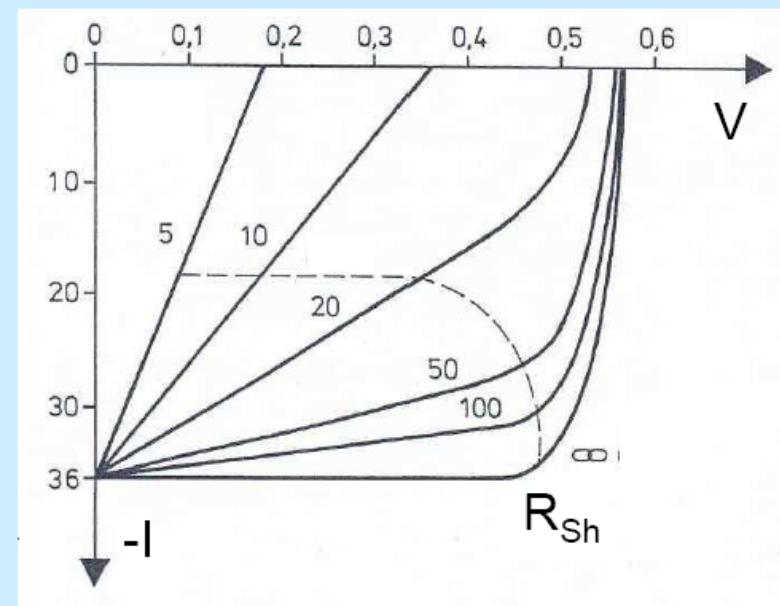
R_{ser} ja R_{sh} mõju I-V kõveratele

Series resistance (R_S)



$$R_S < 0.5 \Omega\text{cm}^2$$

Shunt resistance (R_{Sh})



$$R_{Sh} > 1000 \Omega\text{cm}^2$$

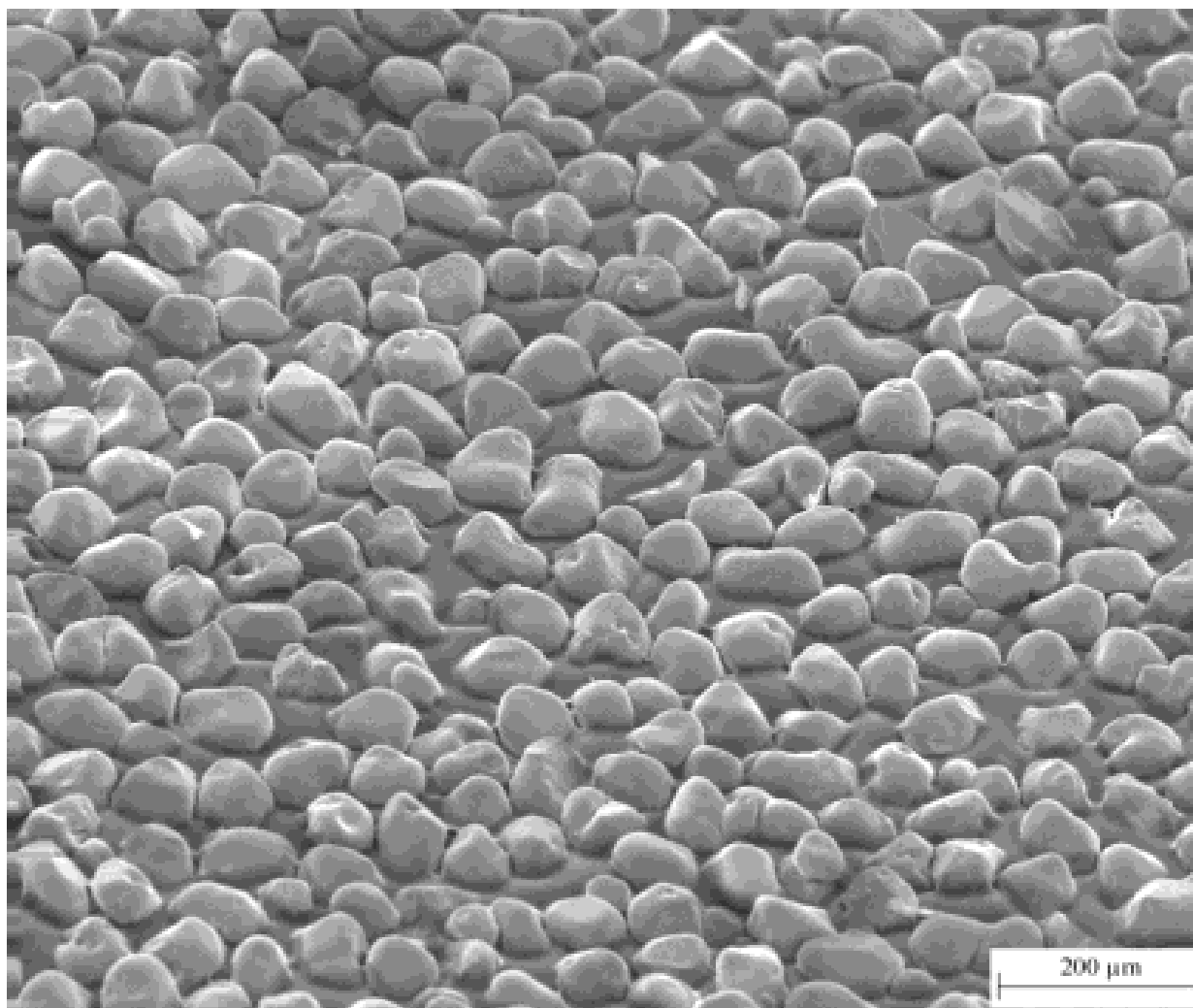


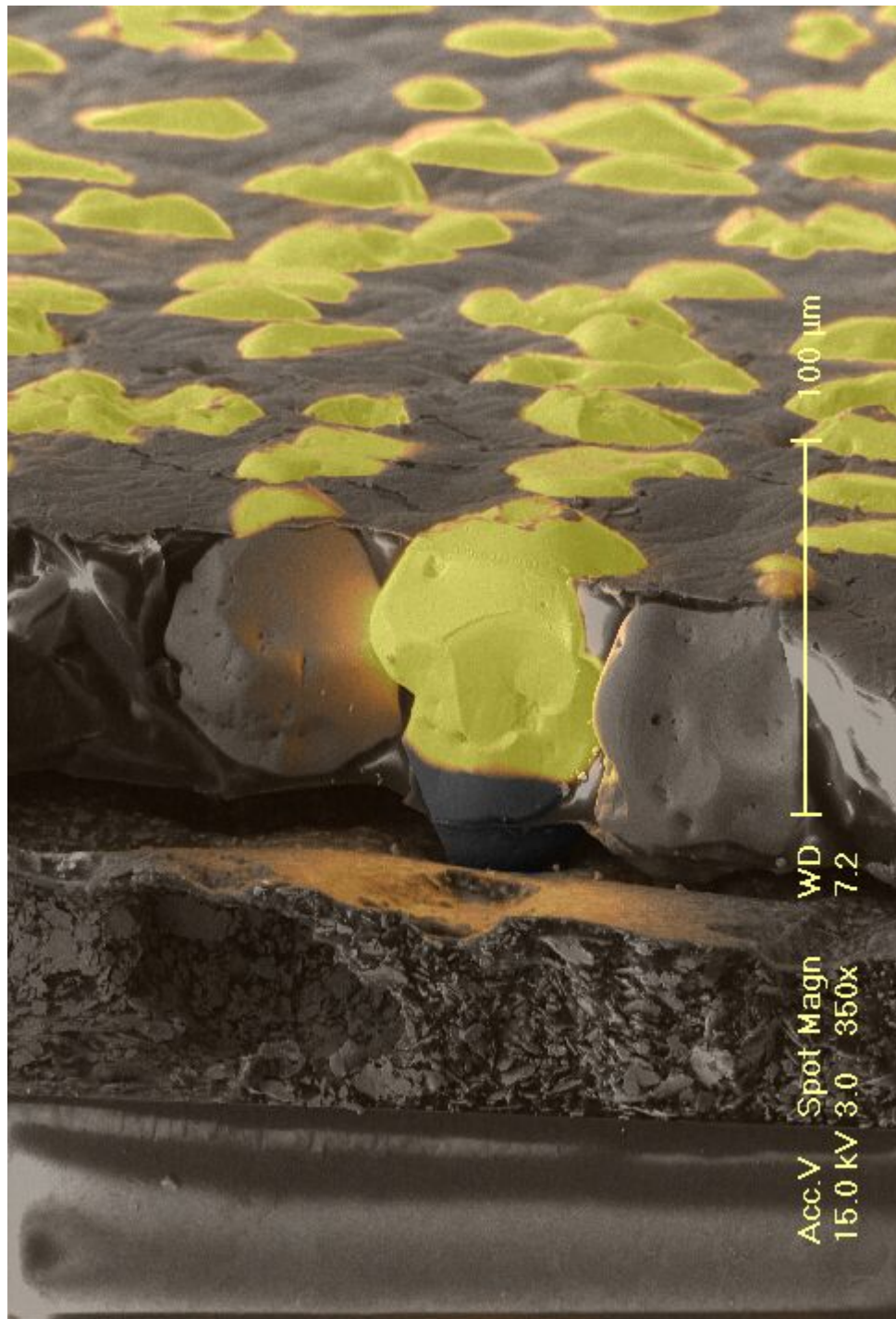
Mida tehakse TTÜ VI korpuses ?

Uut tüüpi materjal kesteriit- $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_4$

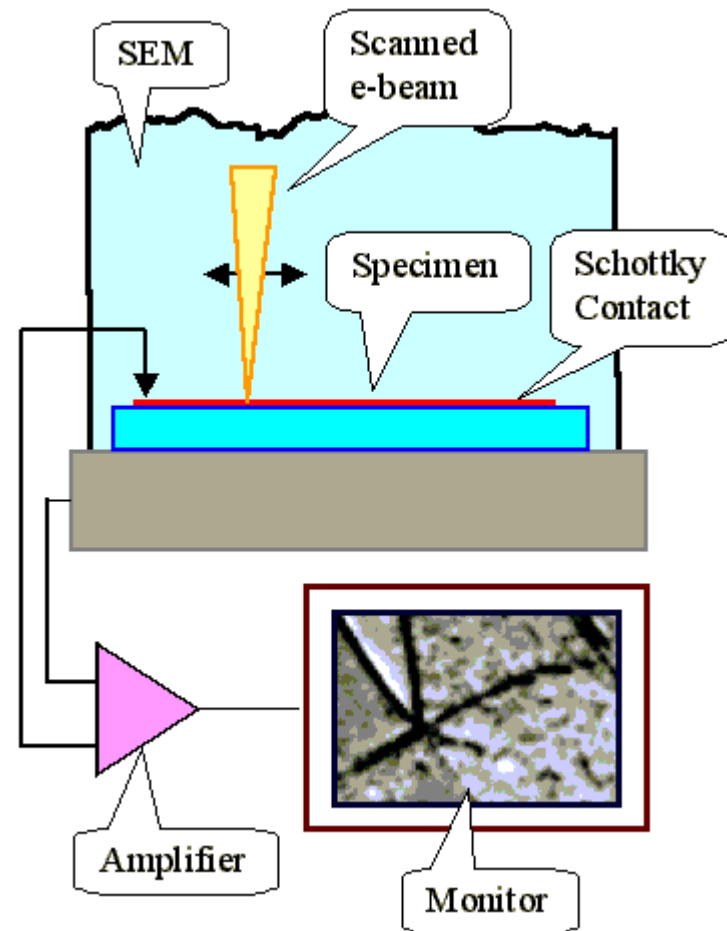
Uut tüüpi konstruktsioon- monoteraline
päikesepatarei

Monoteralse päikesepatarei pind

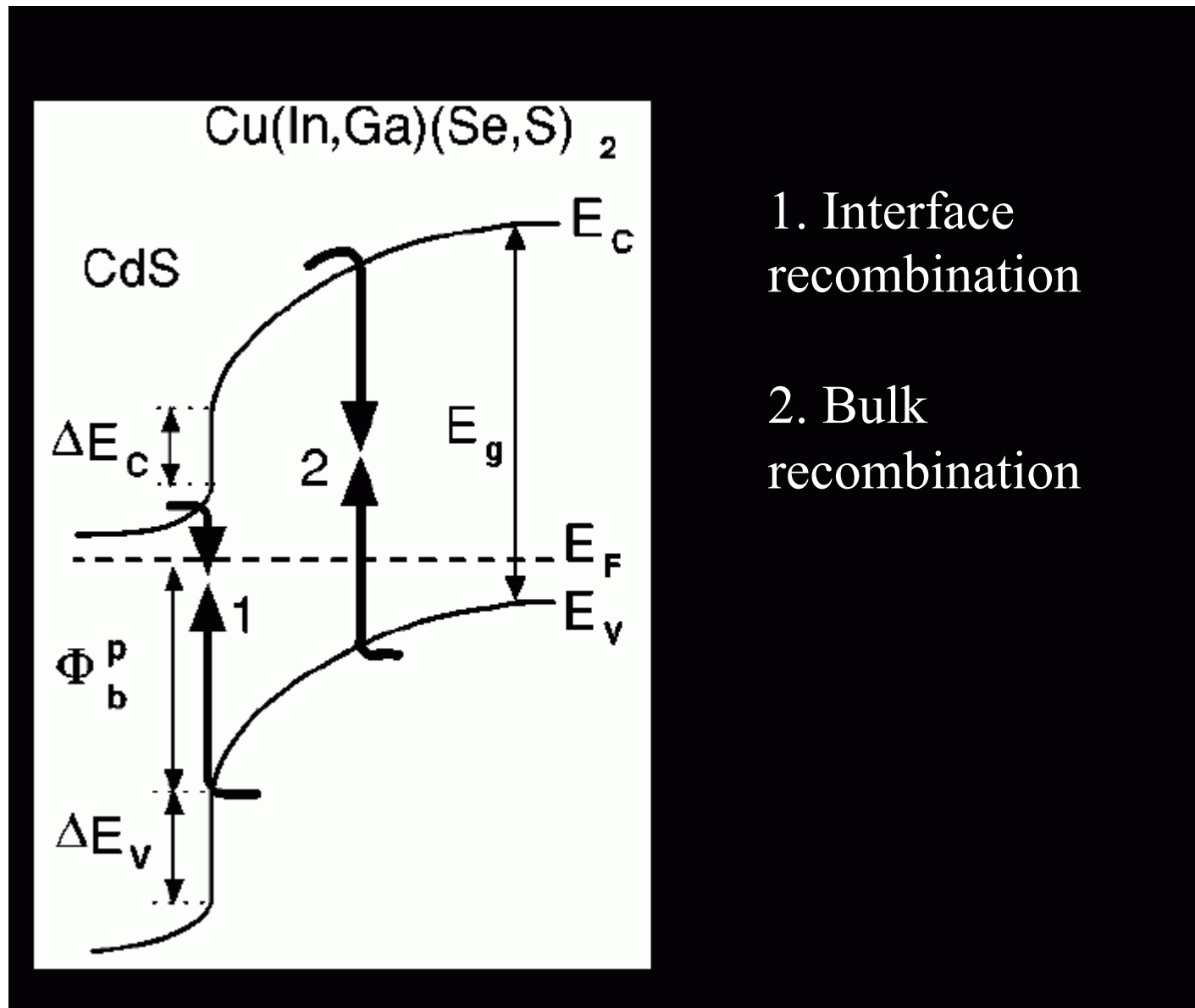




Monoteralse CISE päikesepatarei EBIC pilt



Rekombinatsioonilised kaod CIS päikeseplatareis.



1. Interface recombination

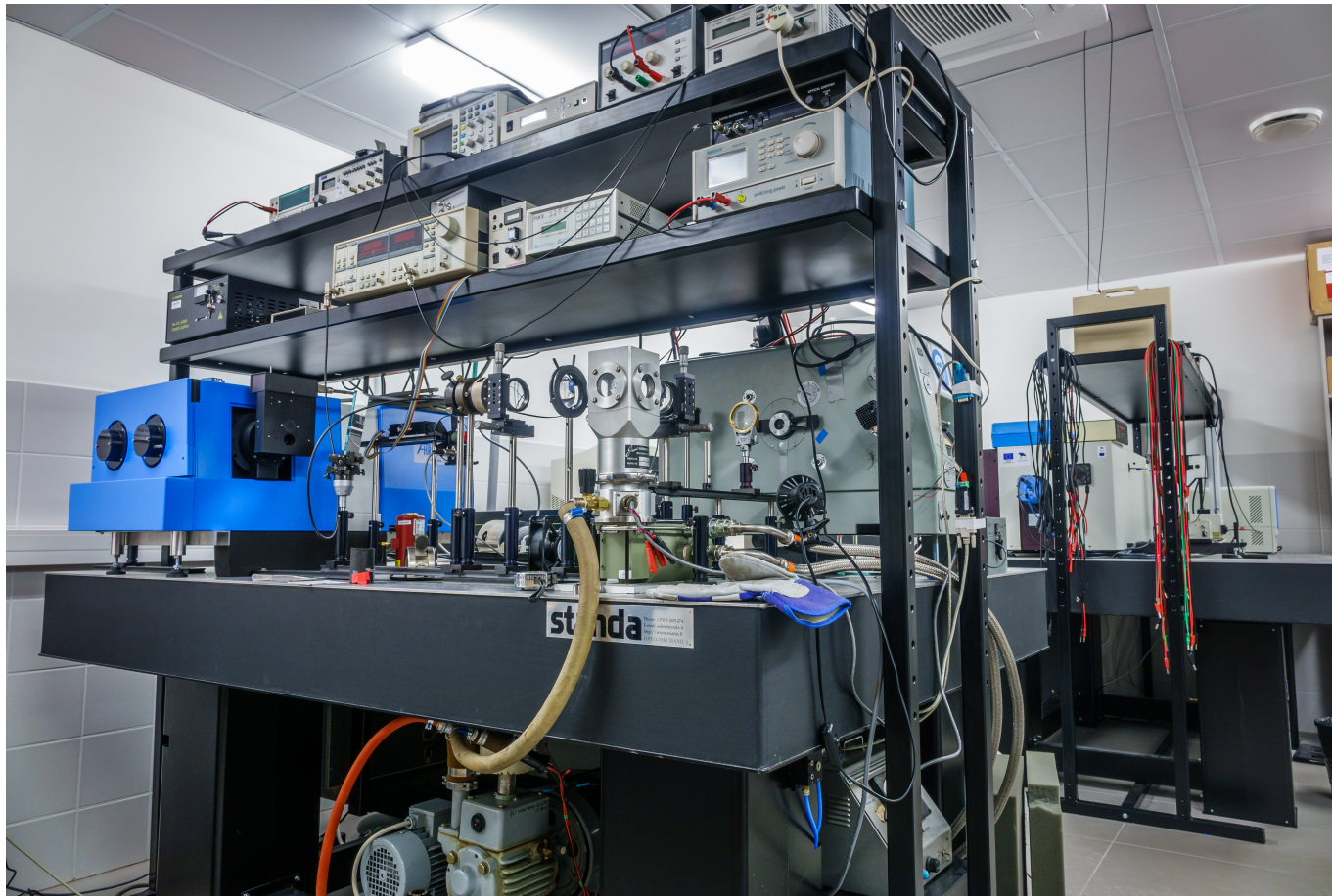
2. Bulk recombination



Päikesepatareide põhiparameetrite mõõtmine

1. Spektraaltundlikkuse mõõtmised.
2. V_{oc} vs T mõõtmised
3. I-V kõverate analüüs
4. C-V kõverate analüüs
5. Admittance spectroscopy

Päikesepatareide füüsikalised uuringud

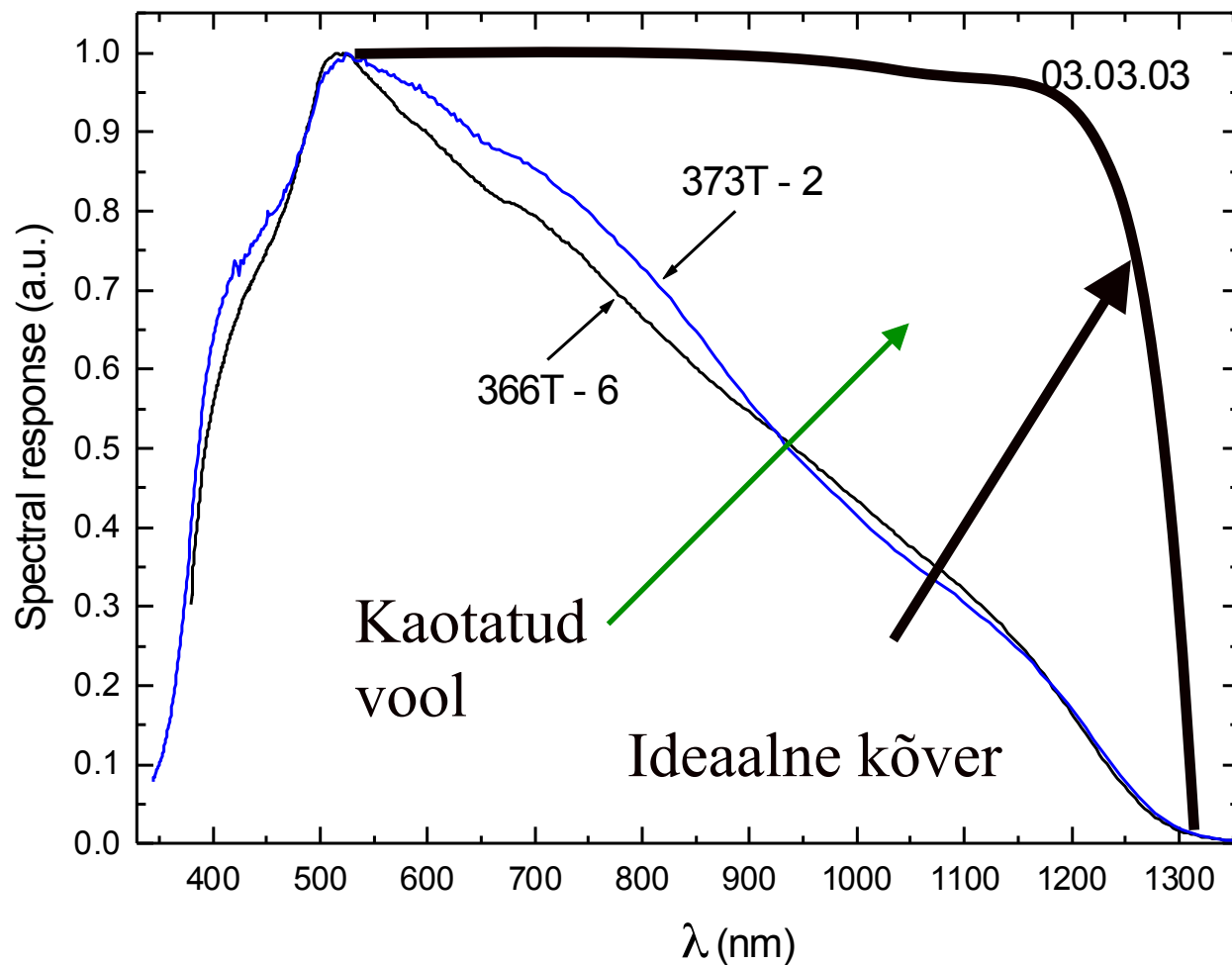


**Optilised ja
termilised
mõõtmised**

$T=10-300K$

Spektraaltundlikkuse mõõtmised.

Mõnede halbade päikesepatareide spektraalkõverad.



V_{oc} vs T mõõtmised

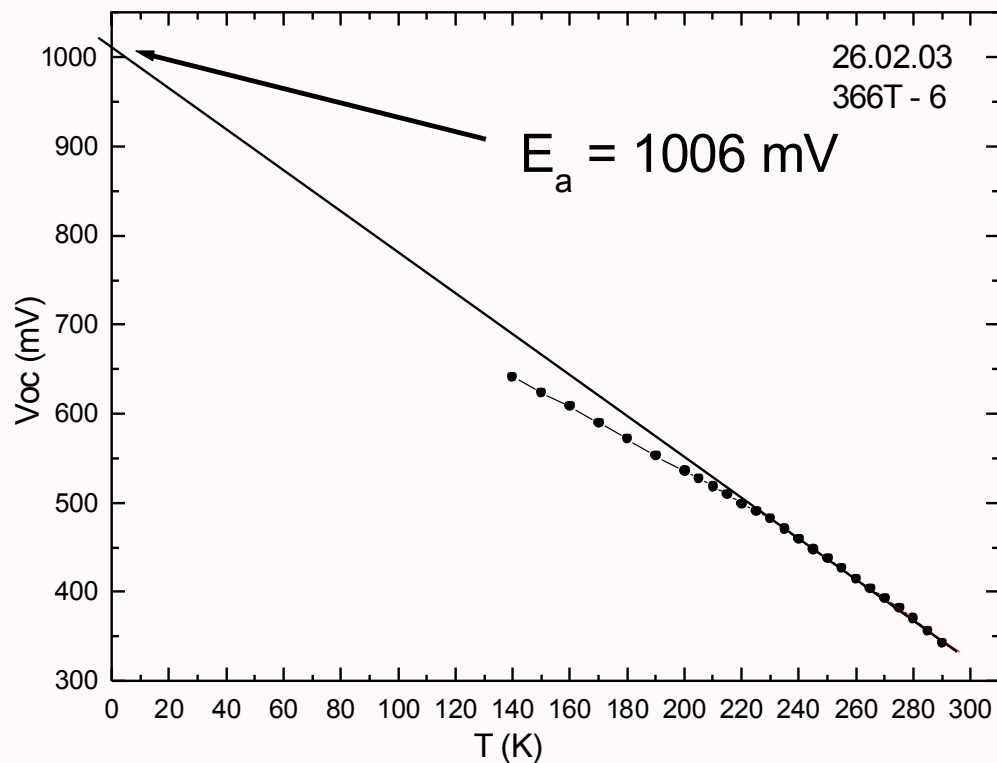
Teoriast:

$$V_{oc} = \frac{E_a}{q} - \frac{AkT}{q} \ln\left(\frac{j_{00}}{j_{sc}}\right)$$

$E_a = E_g$ - rekombinatsioonilised kaod ruumis

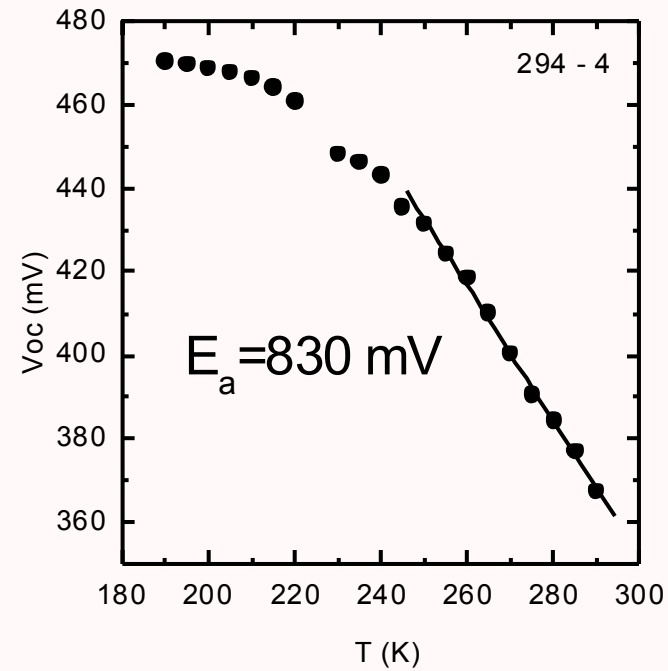
$E_a < E_g$ - interface recombination

V_{oc} vs T mõõtmised



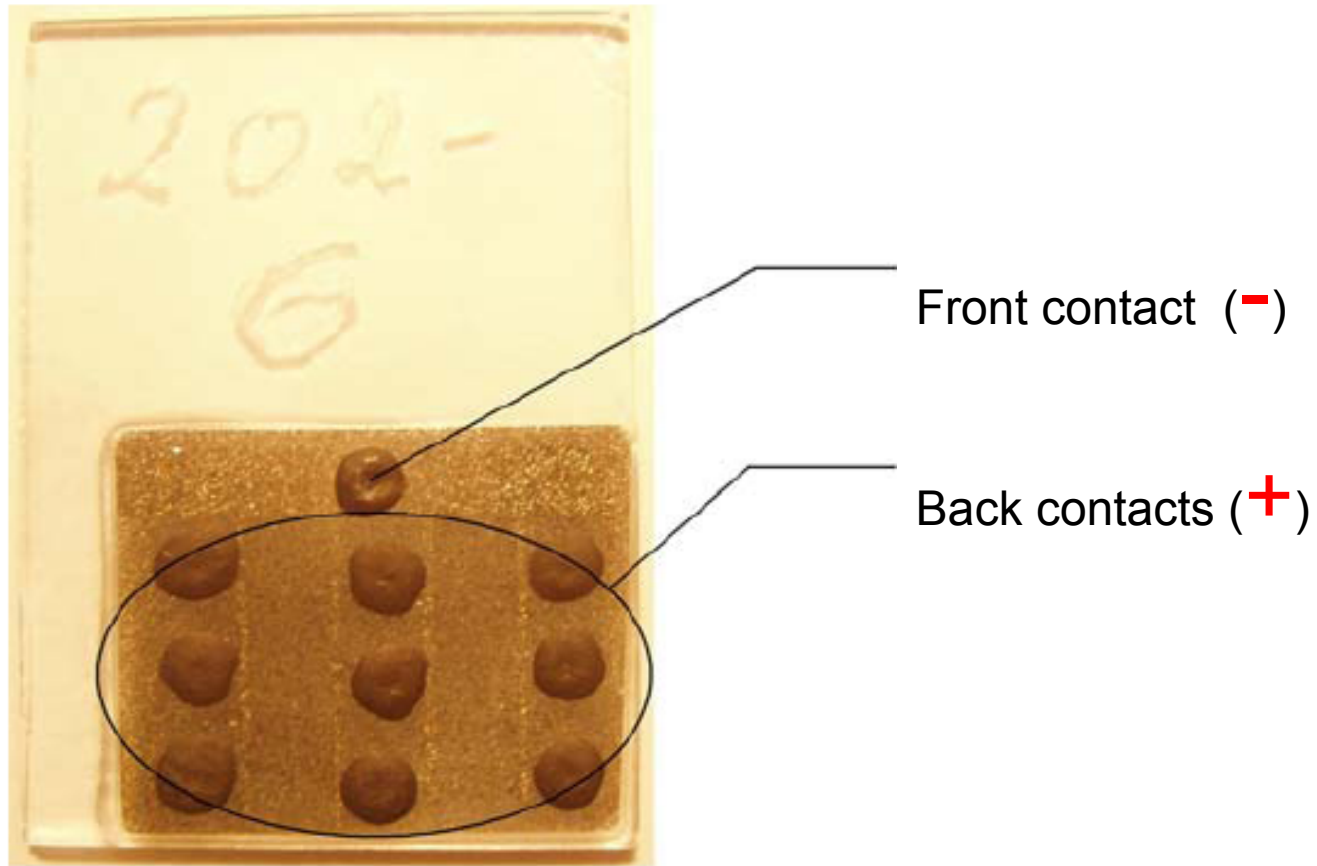
$E_a = E_{gg}$ - rekombinatsioonilised kaod ruumis

V_{oc} vs T mõõtmised



$E_a < E_g$ - interface
recombination

Monoteriline päikesepatarei

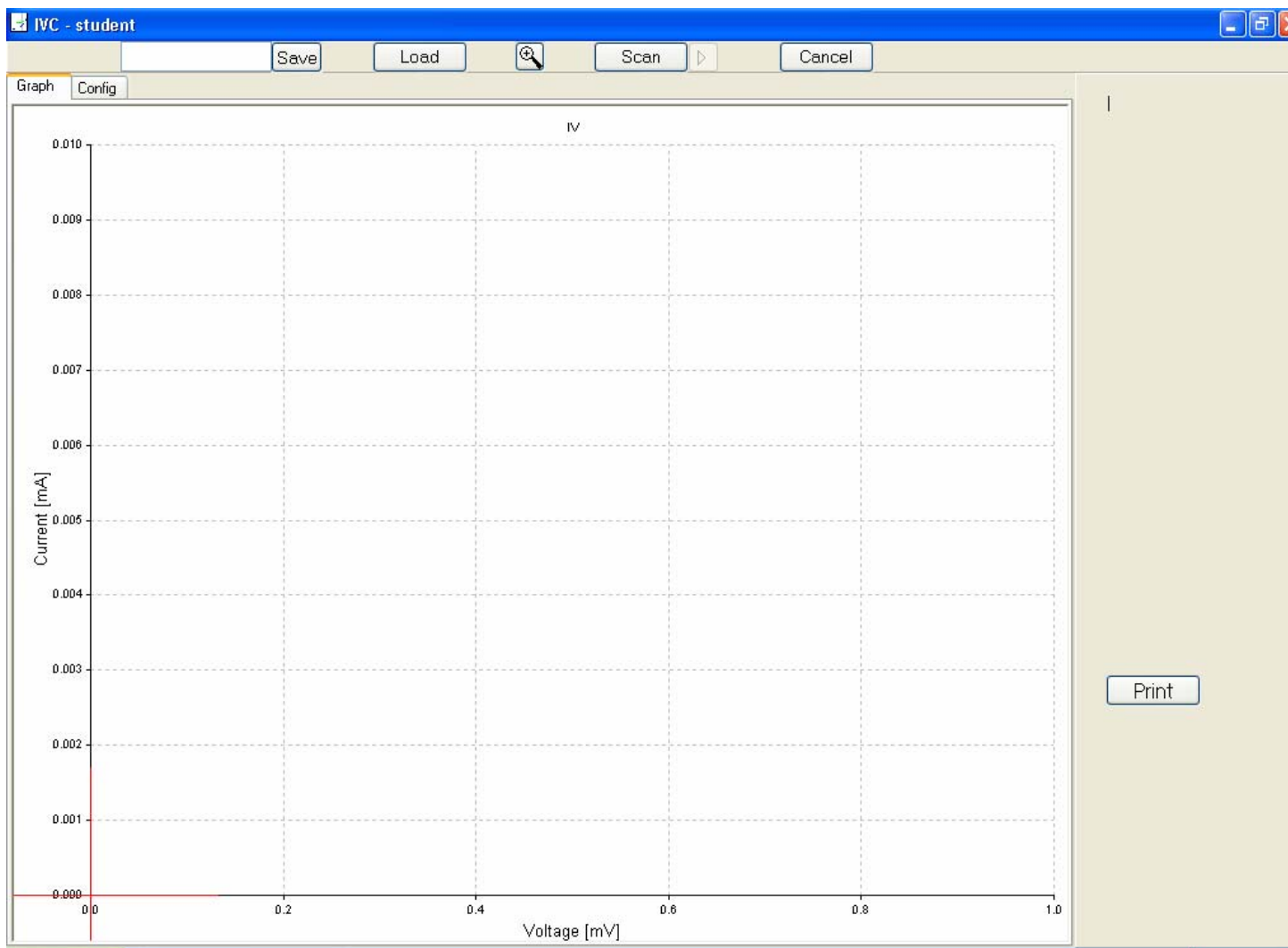


Mõõteaparatuur I-V kõverate mõõtmiseks

Keythley source meter 2400



I-V kõverate mõõtmise programm *IVC-student*





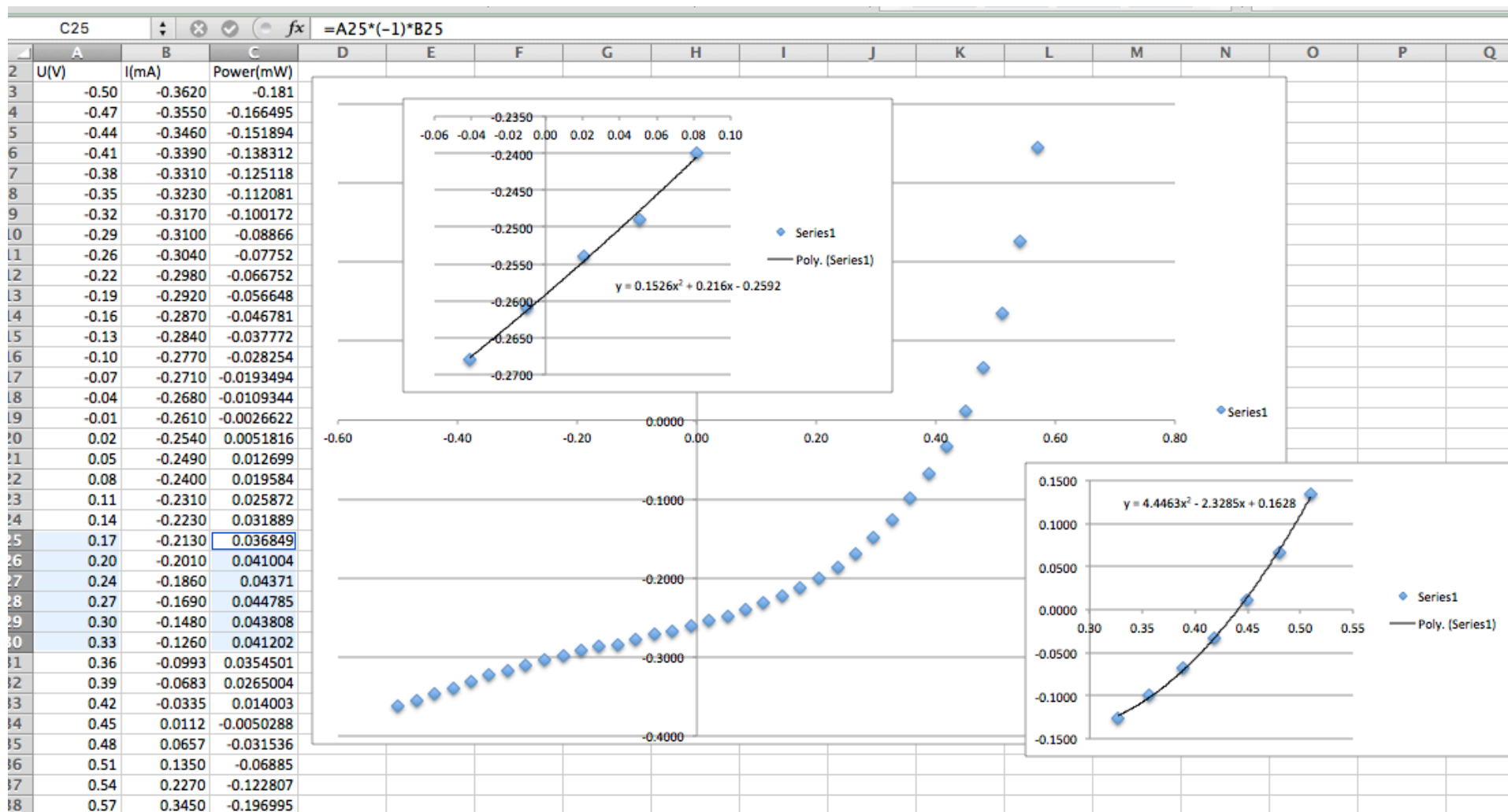
I-V kõverate mõõtmine

- Mõõta pime- ja valgekõverad igale täpile
- Mõõta iga täpi pindala
- Arvutada maksimaalse võimsuse punkt MPP
- Arvutada FF, I_{sc}, V_{oc}
- Leida iga täpi all oleva päikesepatarei efektiivsus.

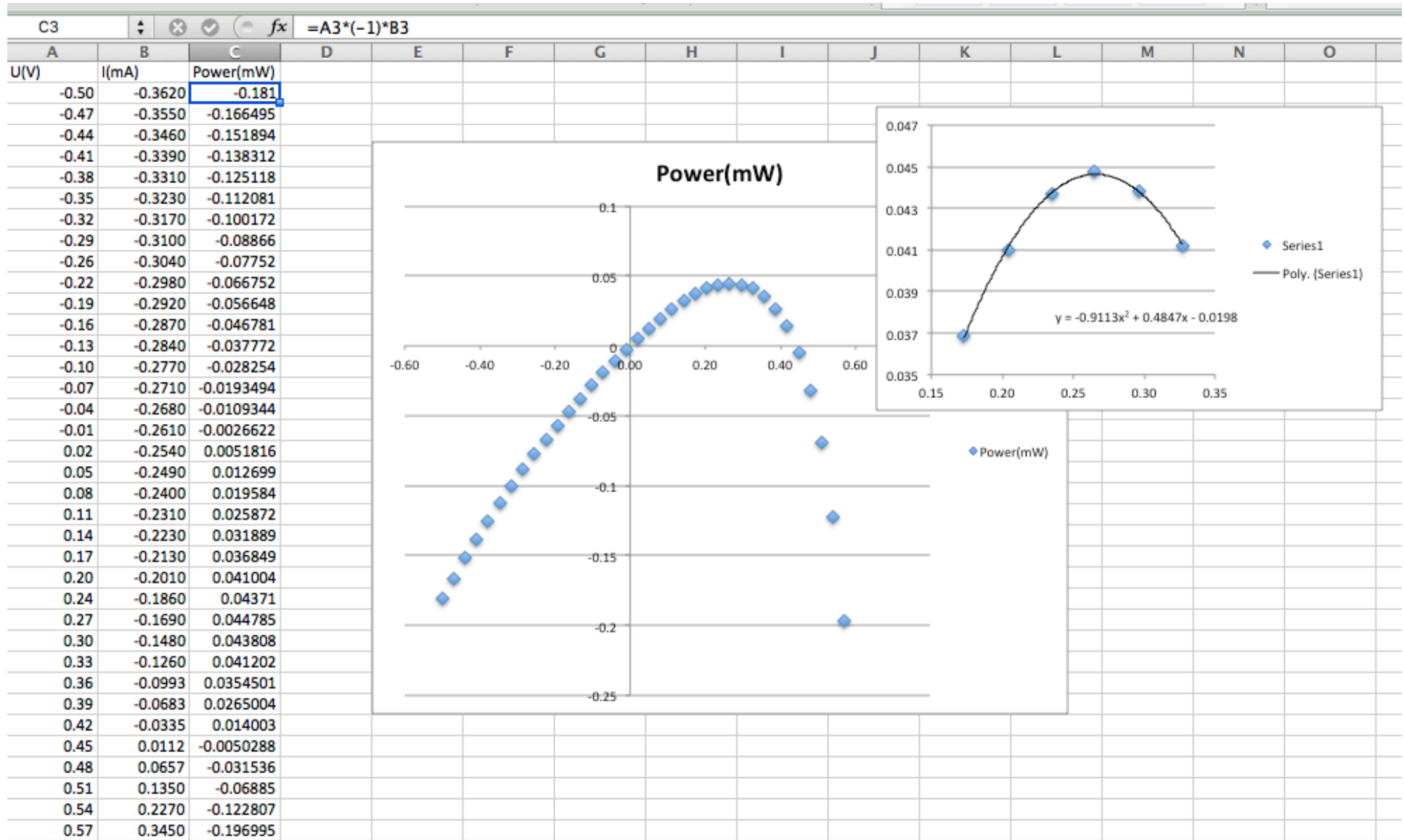


Parameetrite leidmine I-V kõveratelt

- V_{oc} , I_{sc} ja MPP leidmiseks tuleks kasutada teist järku polünoomi
- Excel'is “**Trendline**”



Vältige graafikutel ja tabelites Exceli nn. scientific formaati 1.2E-3 (amprite asemel võib ju teisendada volud milliampriteks)



Andmete esitamine tabelis

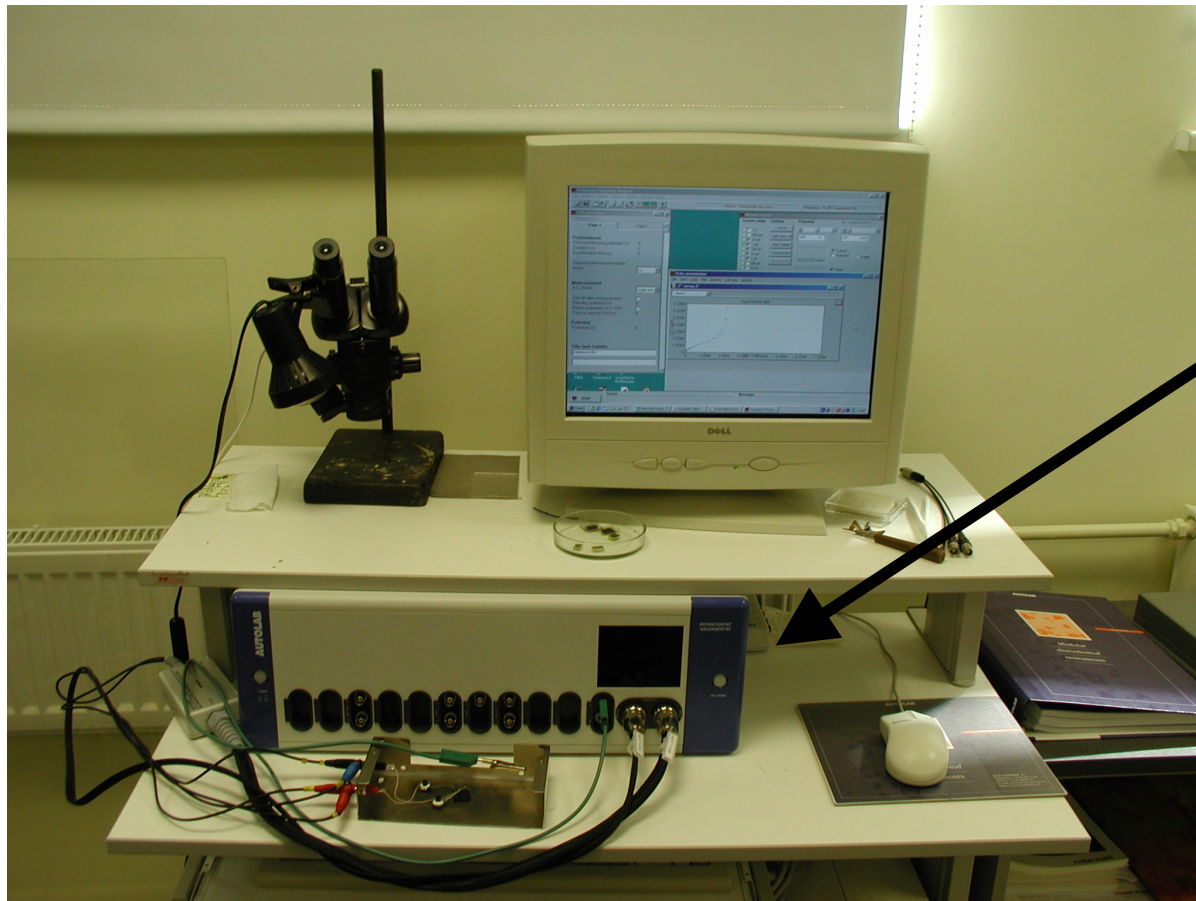
Tabel 1.

Objekti tähis: 202-19											
Kontakt	Kontakti läbimõõt cm	Kontakti pindala cm ²	Avatud pindala S cm ²	I_{mp} mA	V_{mp} mV	P_{MPP} mW	I_{sc} mA	V_{oc} mV	P_{light} mW	FF %	η %
1	0.12	0.045	0.027	0.33	320	0.105	0.41	442	2.7	58	3.9
...

↑
Avatud pindala
ei ole vaja arvutada

Andmete esitamisel
täpsusega mitte
üle pingutada

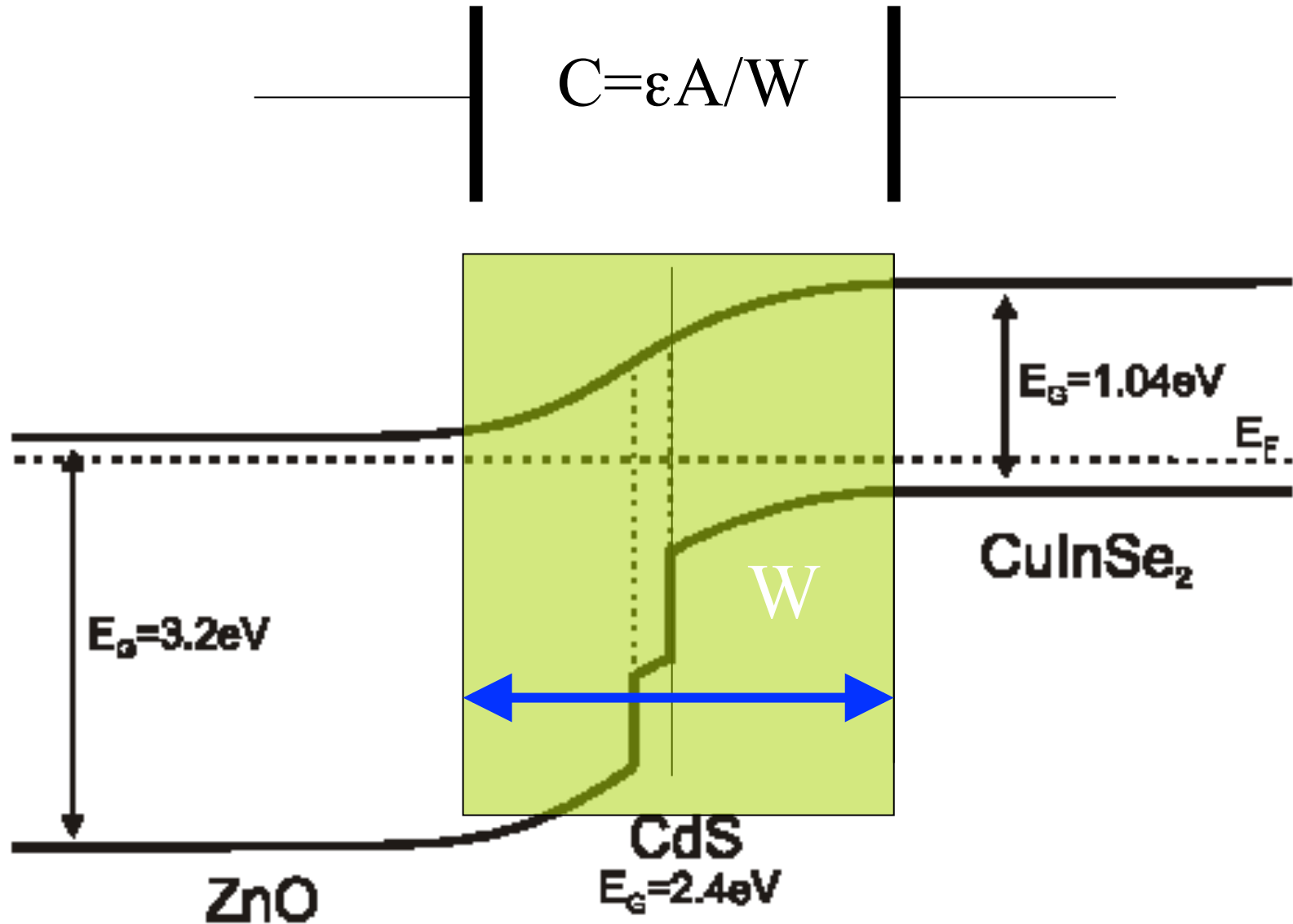
C-V kõverate analüüs



Autolab
PGSTAT 30

$f_{\max} = 1\text{MHz}$

C-V kõverate analüüs



C-V kõverate analüüs

Põhivalem

$$C^{-2} = 2(V_{bi} - V) / A^2 q \epsilon N_A$$

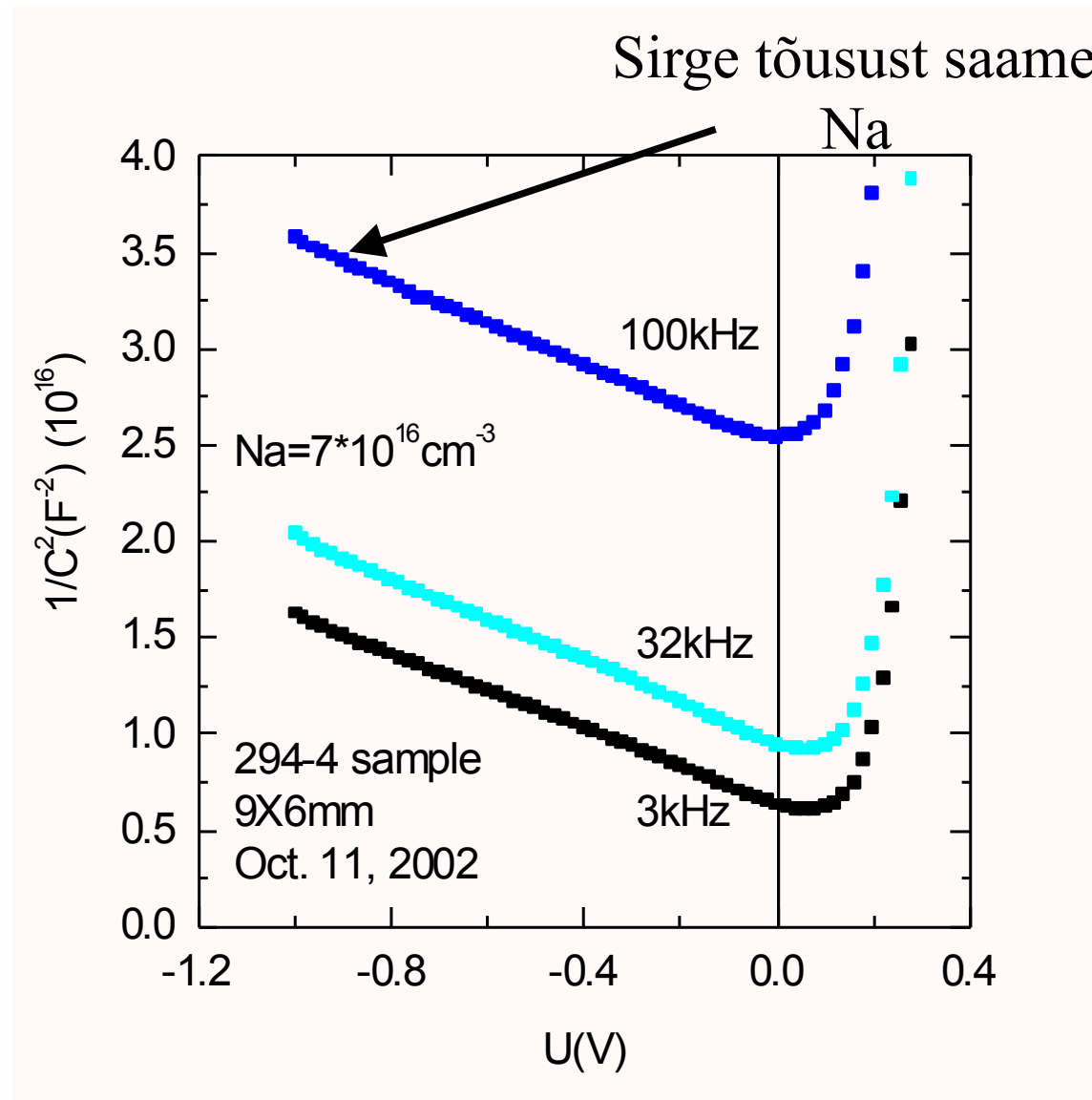
Barjääri kõrgus

Barjääri mahtuvus

Ülemineku pindala

Laengukandjate kontsentratsioon
NB! Peab olema nn. ühepoolne siire!

C-V kõverate analüüs



Praktikumi juhendid

- Need leiata staff.ttu.ee/~krustok

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Prof. Jüri Krustok

Home Research Publications CV Teaching

Professor Jüri Krustok
Chair of Semiconductor Materials Technology
Chair of Applied Physics
Tallinn University of Technology
Ehitajate tee 5, Tallinn
19086 ESTONIA

room U06-156
tel: +(372) 6203364
fax: +(372) 6203367
GSM: +(372) 5236945

E-mail: juri.krustok@ttu.ee



Praktikumi juhendid:

**Päikesepatarei volt-amper karakteristiku
mõõtmine**

Mahtuvus-pinge sõltuvuste mõõtmine
koostanud Mati Danilson



Kogunemine:

VI-korpuse I korruse lõpus
ruum U06-156