

Associazione delle Olimpiadi  
Scientifiche Svizzere

# SwissPhO 2011 Swiss Physics Olympiad



## Olimpiadi Svizzere di Fisica



Aarau, 2/3 aprile 2011

### Esperimento 1

### Cella fotovoltaica

Nome ..... Punti.....

**Durata: 90 Minuti**

**Valutazione : 16 Punti**

**Materiale autorizzato:**

**Calcolatrice tascabile senza raccolta di dati.**

**Materiale per scrivere e disegnare**

Supported by:

|   |   |
|---|---|
|  | Alpiq AG  |
|  | Staatssekretariat für Bildung und Forschung       |
|  | BASF (Basel)                                      |
|  | Deutschschweizerische Physikkommission VSMP / DPK |
|  | Materials Science & Technology                    |
|  | École Polytechnique Fédérale de Lausanne          |
|  | ETH Zurich Department of Physics                  |
|  | Fondation Claude & Giuliana                       |
|  | Ernst Göhner Stiftung, Zug                        |
|  | Hasler Stiftung Bern                              |
|  | Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG (KKG)             |
|  | Merck Serono S.A. (Genf)                          |
|  | Metrohm Stiftung, Herisau                         |
|  | Novartis International AG (Basel)                 |
|  | F. Hoffmann-La Roche AG (Basel)                   |
|  | Schnelli Thermographie, Schaffhausen              |
|  | Swiss Academy of Engineering Sciences SATW        |
|  | Swiss Academy of Sciences                         |
|  | Swiss Physical Society                            |
|  | Syngenta AG                                       |
|  | Universität Bern FB Physik/Astronomie             |
|  | Universität Zürich FB Physik Mathematik           |

## Buona fortuna!

# Cella fotovoltaica

## 1 Scopi dell' esperimento

In questo esperimento una cella fotovoltaica viene irraggiata con una lampada. Il comportamento della cella fotovoltaica deve venire studiato al variare della resistenza di carico e devono essere fatti collegamenti con la teoria.

## 2 Simboli elettrici

Qui sotto vengono raffigurati alcuni simboli elettrici secondo lo standard ISO:

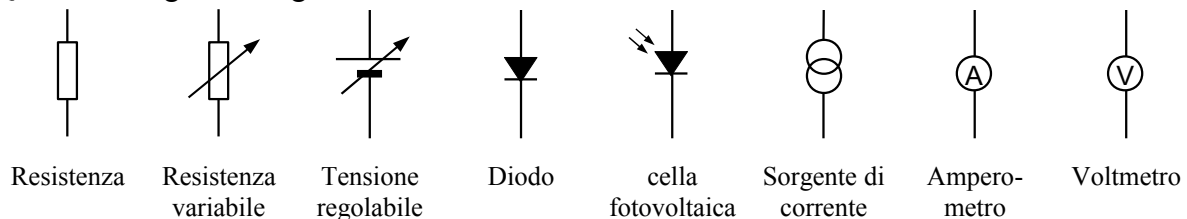


Figura 1: Simboli elettrici secondo la norma ISO.

## 3 Teoria

Una cella fotovoltaica trasforma luce in elettricità. La maggioranza delle celle in commercio consiste di silicio e viene costruita come un diodo: perciò il simbolo che corrisponde al diodo viene esteso con l'aggiunta di due frecce che simboleggiano la luce (vedi sopra).

### 3.1 Il diodo

Quando una tensione fra 0.4 V e 0.6 V viene applicata al diodo, la corrente  $I_D$  che vi scorre dipende esponenzialmente dalla tensione  $U$ :

$$I_D = I_0 \cdot \left( e^{\frac{eU}{NkT}} - 1 \right) \quad (1)$$

Qui sopra  $I_0$  è la corrente di saturazione,  $e$  la carica elementare,  $N$  il fattore di non-idealità e  $k$  la costante di Boltzmann. Il fattore di non-idealità dà informazioni sulla purezza del silicio ed è uguale ad 1 nel caso ideale; per celle buone fra 1 ed 1.01, ma può anche essere molto più grande. Al di fuori dell'intervallo di tensione sopracitato vige un altro comportamento.

### 3.2 La corrente fotoelettrica

Il sole può venire approssimato come un corpo nero con una temperatura di 5700K. Le celle fotovoltaiche convenzionali non assorbono tutti i fotoni ma solo quelli al di sopra di una certa energia  $E_{ph,min}$  (dipendente dal materiale). Per le celle fotovoltaiche buone, si ha una corrente fotoelettrica  $I_{ph}$  di circa  $I_{ph} = 400 \text{ A}$  per  $\text{m}^2$  di superficie in condizioni di irraggiamento ottimali.

### 3.3 La cella fotovoltaica

Una cella fotovoltaica è un diodo nel quale viene generata corrente elettrica per l'azione di fotoni che vi incidono. Il suo comportamento può venire ben descritto in prima approssimazione da questo modello:

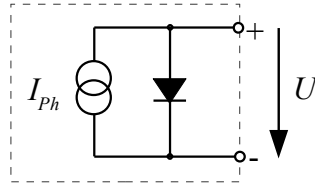


Figura 2: la corrente fotoelettrica viene rappresentata come un generatore di corrente che viene connesso in parallelo con il diodo.

Al contrario di una batteria, la cella fotovoltaica può venire cortocircuitata senza danni. In tal caso, circola la cosiddetta corrente di cortocircuito ("short circuit current")  $I_{SC}$ , la quale è correlata con il numero di fotoni incidenti. Nel caso ideale, ogni fotone assorbito genera un elettrone al polo negativo. Per buone celle, tuttavia, questo avviene per il 95% dei fotoni. Quindi vale:

$$I_{SC} = I_{Ph}$$

Se la cella fotovoltaica viene messa in funzione a contatti aperti, cosicché non scorre corrente, si ha ai contatti la tensione a circuito aperto ("open circuit voltage")  $U_{OC}$ . Questa dipende dall'energia minima dei fotoni  $E_{Ph,min}$ :

$$U_{OC} = \frac{E_{Ph,min}}{e} - 0.5 \text{ V}$$

Qui sopra  $e$  è la carica dell'elettrone e gli 0.5 V un valore empirico per buone celle al silicio.

Se la resistenza viene variata, si variano anche la corrente  $I$  e la tensione  $U$  della cella fotovoltaica. Come si vede dalla figura 2 e dall'equazione (1), la dipendenza della corrente  $I$  della cella fotovoltaica dalla tensione  $U$ , nell'intervallo fra 0.4 V e 0.6 V, è data dalla seguente relazione:

$$I = I_{SC} - I_D = I_{SC} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{eU}{NkT}} - 1 \right) \quad (2)$$

$$I \approx I_{SC} - I_0 \cdot e^{\frac{eU}{NkT}} \quad (3)$$

La potenza prodotta è tuttavia zero, sia in cortocircuito che a contatti aperti. Una cella fotovoltaica dovrebbe venire usata in condizioni tali da fornire la potenza massima: perciò è necessario installare una resistenza opportuna.

## 4 Svolgimento dell'esperimento

### 4.1 Materiale

- Cella fotovoltaica da 7.2 cm<sup>2</sup> di superficie, 0.5 V, 0.2 A
- resistenze di 47Ω/11W, 470Ω/4W e 4.7kΩ/0.5W
- Resistenza variabile 10Ω
- Sorgente di tensione regolabile da 2 x 0-15V/5A
- 2 Tester
- Cavi
- Carta millimetrata
- Panno nero

## 4.2 Esercizi

Eseguite i seguenti esercizi su un foglio separato.

### Esercizio 1:

Spiegate brevemente perché la potenza prodotta in cortocircuito o a contatti aperti è nulla. (1 P)

### Esercizio 2: linee caratteristiche al buio

Cella fotovoltaica come diodo (senza illuminazione, ovvero  $I_{ph} = 0A$ ; mettete la cella fotovoltaica sotto al panno nero a faccia in giù):

- Costruite un circuito con la cella fotovoltaica come dissipatore (diodo), collegato alla fonte di tensione regolabile. Il circuito deve essere protetto da una resistenza in serie per evitare che la corrente attraverso la cella superi i 450mA. Il circuito contiene anche gli strumenti di misura. (1 P)  
Suggerimento: la resistenza di protezione può venire cambiata durante la misura. La sorgente di tensione è regolabile. La resistenza interna del voltmetro può essere considerata infinita; quella dell'ampmetro però non è trascurabile e può dipendere dalla scala di valori scelta.
- Misurate la curva caratteristica corrente - tensione. Questa viene chiamata "curva di buio". Suggerimento: usate il Voltcraft VC 220 verde per misurare la tensione e l'altro strumento per la corrente. L'errore di misura dell'ampmetro è 5  $\mu A$  nella scala più piccola. (2 P)

### Esercizio 3: Linea caratteristica di irraggiamento

Cella fotovoltaica come sorgente di energia elettrica:

- Costruite un circuito per misurare la corrente e la tensione della cella fotovoltaica per varie resistenze di carico. Il circuito contiene gli strumenti di misura. (1 P)
- Stimate la distanza  $l$  fra la cella fotovoltaica e la lampada in modo tale che la corrente di cortocircuito  $I_{SC}$  all'incirca abbia il valore di 200mA. Annotate entrambi i valori. (0.5 P)
- Misurate la curva caratteristica corrente - tensione con illuminazione, la cosiddetta linea caratteristica di irraggiamento. (1.5 P)

### Esercizio 4: Analisi dei dati

- Sotto quali condizioni si può usare l'approssimazione (3) invece che l'equazione (2)? Valgono tali condizioni per le vostre misure? (1 P)
- Stimate i parametri  $I_0$  e  $\frac{e}{NkT}$  dell'equazione (2) dalla curva caratteristica di buio (da disegnare in un grafico). (4 P)  
Suggerimento: ponete nell'equazione (3)  $I_{SC} = 0$  e riformulatela in modo tale da poter calcolare il parametro cercato dalla pendenza e dall'intercetta di una retta. Fate attenzione che tale formula vale soltanto per tensioni nell'intervallo fra 0.4 V e 0.6 V, dove i valori misurati dovrebbero cadere su di una retta.
- Stimate il fattore di non-idealità  $N$  della cella dai risultati dell'esercizio b) ed anche la temperatura.  $e = 1.60217653 \cdot 10^{-19}C$ ,  $k = 1.3806505 \cdot 10^{-23}J/K$ . (1 P)
- Disegnate le linee caratteristiche potenza-tensione e corrente - tensione e determinate per il punto di potenza massima ("maximum power point") la corrente  $I_{MPP}$ , la tensione  $U_{MPP}$ , la resistenza  $R_{MPP}$  e la potenza  $P_{MPP}$ . (2 P)
- Stimate dall'equazione (2) e dai parametri che avete calcolato negli esercizi 3b) e 4b) la tensione  $U_{MPP}$ . (1 P)