

STUDIUM SOLÁRNÍHO ČLÁNKU

Měřicí potřeby

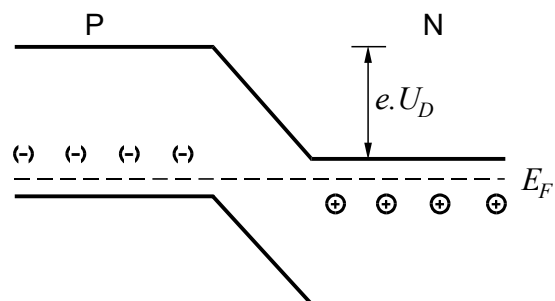
- 1) solární baterie
- 2) termoelektrická baterie
- 3) univerzální měřicí zesilovač
- 4) reostat $330\ \Omega$, 1A
- 5) žárovka 220 V / 120 W s reflektorem
- 6) 2 digitální multimetry

Obecná část

Solární články slouží k přímé přeměně energie světelného záření na elektrickou energii. Nejvýznamnějším materiálem, který se při jejich výrobě používá, je čistý křemík.

Čtyřmocný křemík je dopován atomy trojmocného prvku, čímž vznikne polovodič typu P (akceptorový) s děrovou vodivostí. Pokud dopujeme křemík atomy pětímocného prvku, vznikne polovodič typu N (donorový) s vodivostí elektronovou.

Uvedeme-li do kontaktu polovodič P s polovodičem N, vytvoří se rovnovážný stav, jenž je charakterizován tím, že se v obou částech vyrovnají Fermiho hladiny (obr. 1). Z důvodu vyšší koncentrace přecházejí nejdříve elektrony převážně z polovodiče N do polovodiče P, u děr je tomu naopak. Polovodič N se proto nabíjí kladně a polovodič P záporně tak dlouho, až je vytvořen rozdíl potenciálů, který



Obr. 1 Pásová struktura PN přechodu

dalšímu přecházení nosičů náboje zabrání. Vzhledem k tomu, že přechod nosičů se děje na základě koncentračního spádu, tj. v důsledku difúze, nazývá se vzniklý rozdíl potenciálů často difúzním potenciálem U_D . V rovnovážném stavu jsou proudy způsobené difúzí kompenzovány proudy způsobenými vzniklým elektrickým polem.

Difúzní potenciál PN přechodu závisí na koncentraci příměsí. Pro křemík je difúzní potenciál $U_D = 0,5$ až $0,7$ V. Šířka zakázaného pásu křemíku při pokojové teplotě je $1,1$ eV.

Jestliže je v oblasti PN přechodu, na který není připojeno vnější napětí, absorbováno záření o dostatečné energii fotonů, vznikají tam páry elektron–díra, které jsou vlivem difúzního potenciálu separovány. Elektrony jsou přitahovány do polovodiče N a díry do polovodiče P. Pokud článek bude zapojen naprázdno (bez zátěže), vznikne určitý rozdíl potenciálů, a pokud bude ve vnějším okruhu vodivé spojení, začne téci proud. Vzniká tzv. fotovoltaický jev.

Páry nemusí být generovány přímo v oblasti přechodu, volné nosiče se mohou do této oblasti dostat difúzí, jestliže jsou vytvořeny ve vrstvě, která s přechodem sousedí a má tloušťku menší než je difúzní délka pro příslušné nosiče. V našem případě (viz obr.2) záření dopadá na vrstvu P, proto musí být splněna podmínka $t \ll L_n$, kde t je tloušťka vrstvy P a L_n je difúzní délka pro elektrony.

Totéž platí i pro L_p . Voltampérová charakteristika osvětleného PN přechodu (fotočlánek) má tvar:

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] - eg(L_n + L_p)S, \quad (1)$$

kde I je proud fotočlánekem a U je napětí na svorkách fotočlánek, (orientace proudu a napětí podle obr. 4), I_s je velikost nasyceného proudu PN přechodem, e je velikost elementárního náboje, k Boltzmanova konstanta, T teplota PN přechodu v [K], g je rychlost generace párů působením světla v jednotce objemu, L_n a L_p jsou difúzní délky pro elektrony a díry a S plocha fotočlánek. Výraz $eg(L_n + L_p)S$ je při konstantní teplotě přímo úměrný intenzitě dopadajícího světla. Se vzrůstající teplotou se g mírně zvyšuje (méně než 0,01 %/K). Je-li osvětlení nulové, chová se fotočlánek jako běžná dioda. Při chodu nakrátko ($U = 0$) je proud:

$$I = I_f = -eg(L_n + L_p)S. \quad (2)$$

Užitím vztahů (1) a (2) získáme napětí naprázdno ($I = 0$) na osvětleném PN přechodu:

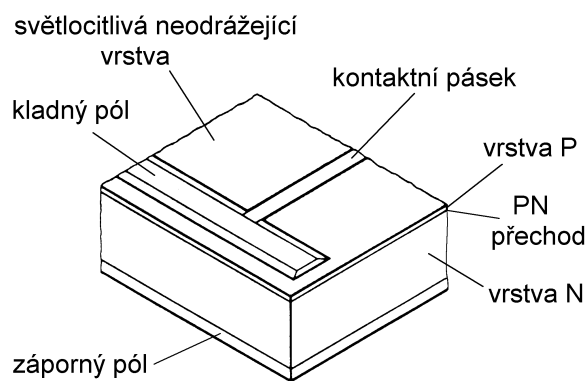
$$U_0 = \frac{kT}{e} \ln\left(1 + \frac{I_f}{I_s}\right) \quad (3)$$

Protože se I_s s teplotou zvyšuje, klesá napětí naprázdno o cca 2,3 mV/K. Při snížení teploty za chodu naprázdno je možno dosáhnout napětí, které je stejné jako difúzní potenciál, ale nikdy ne vyšší.

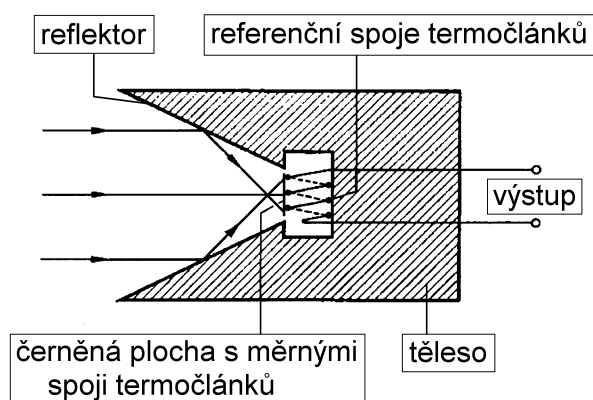
Měření

Nejprve změříme intenzitu ozáření E [Wm⁻²] v závislosti na vzdálenosti od světelného zdroje. Intenzitou ozáření E rozumíme podíl zářivého toku dopadajícího na element povrchu a velikosti plochy tohoto elementu. Měření provedeme pomocí termoelektrické baterie.

Tento přístroj slouží jako senzor záření v široké oblasti vlnových délek od 150 nm do 15 μm. Obr. 3 ukazuje schématický podélný řez termoelektrickou baterií. Černěná plocha detektoru obsahuje měřicí spoje termočláneků spojených do série,



Obr. 2 Konstrukce křemíkového solárního článku



Obr. 3 Řez termoelektrickou baterií

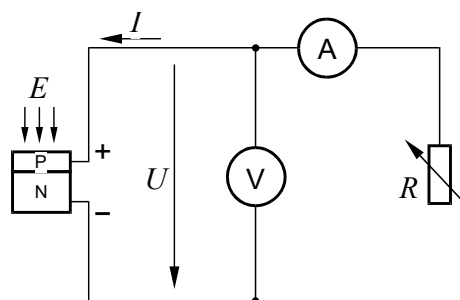
jejichž referenční spoje jsou tepelně zabudovány do masivního kovového tělesa. Kuželový reflektor zajišťuje dopad svazku záření na plochu s termočlánky. Termoelektrická baterie je mimořádně citlivý detektor záření v široké oblasti vlnových délek. Proto pokud chceme měřit intenzitu záření (např. žárovky) pouze ve viditelné oblasti spektra, je nutno opatřit vstupní otvor ochranným skleněným okénkem, které potlačí infračervené tepelné vyzařování zdroje záření.

Výstupní zdířky termoelektrické baterie spojíme se vstupními zdířkami zesilovače. Přepínač zesilovače přepneme do polohy LOW DRIFT a zesílení (AMPLIFICATION) nastavíme na hodnotu 10^1 . Výstupní zdířky zesilovače připojíme k napěťovým zdířkám digitálního multimetru. Po zapnutí zesilovače nastavíme potenciometrem při zhasnuté lampě nulové výstupní napětí. Dále budeme měřit závislost výstupního napětí (které je úměrné osvětlení) na vzdálenosti mezi termoelektrickou baterií a světelným zdrojem. Při každé změně vzdálenosti je třeba vyčkat asi 5 s před čtením naměřených hodnot, aby byla na ploše čidla termoelektrické baterie dosažena tepelná rovnováha. Minimální vzdálenost mezi lampou a termoelektrickou baterií by měla být alespoň 50 cm. Při určování intenzity světla se předpokládá, že všechno světlo vstupující do otvoru termoelektrické baterie dopadne na měřící plochu s termočlánky. Výrobce udává citlivost pro intenzitu dopadajícího záření $48,4 \mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$.

Dále budeme měřit proud nakrátko a napětí naprázdno solární baterie při různých vzdálenostech od světelného zdroje tj. pro různá ozáření. Solární baterie se skládá ze čtyř solárních článků, zapojených do série, které jsou vyrobeny z polykrytalického křemíku. Články jsou chráněny před mechanickým poškozením průhledným krytem. Proud nakrátko (napětí naprázdno) měříme tak, že spojíme zdířky na solární baterii nejprve s proudovými a následně s napěťovými zdířkami na digitálním multimetru a zjišťujeme změnu proudu (napětí) v závislosti na vzdálenosti od světelného zdroje. Napětí naprázdno a proud nakrátko solárního článku závisí na teplotě, proto musí být mezi solární baterií a světelným zdrojem dodržena minimální vzdálenost alespoň 50 cm, aby se neohříval sáláním. Použitím naměřených hodnot z první části měření získáme vztah mezi intenzitou ozáření a proudem nakrátko (napětím naprázdno) měřeným při různých vzdálenostech od světelného zdroje.

K měření voltampérových charakteristik solární baterie použijeme schéma zapojení podle obr. 4. Nejprve reostatem rychle měníme zatěžovací odpor od minimální do maximální hodnoty a sledujeme hodnoty napětí a proudu, abychom

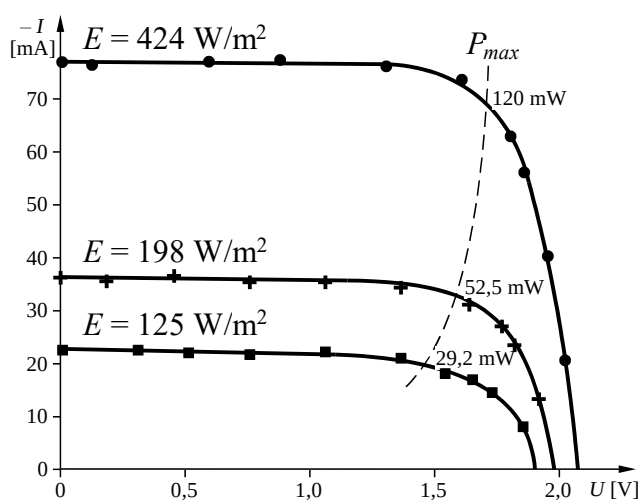
věděli, kde je vodorovná lineární část voltampérové charakteristiky, kde je její šikmá lineární část a kde je koleno mezi nimi (viz obr. 5). V lineárních částech stačí změřit 3 hodnoty a v kolenu pak 6 hodnot. Při vlastním měření pak měníme pomalu reostatem zatěžovací odpor, odečítáme hodnoty napětí a proudu a zapisujeme do tabulky. Naměřené hodnoty znázorníme graficky.



Obr. 4

Pracovní úkol

- 1) Proměřte termoelektrickou baterií závislost intenzity ozáření E na vzdálenosti a od světelného zdroje. Vzdálenost měňte v rozmezí $50 \div 100$ cm po 5 cm. Hodnoty zapisujte do tab. 1. Naměřená napětí a jim odpovídající hodnoty ozáření vynesete do grafu jako funkci vzdálenosti a .
- 2) Změřte závislost proudu nakrátko I_f a napětí naprázdno U_0 solární baterie při různých vzdálenostech od světelného zdroje. Vzdálenost opět měňte v rozmezí $50 \div 100$ cm po 5 cm. Použitím hodnot z předchozí části měření určete závislost I_f a U_0 na intenzitě ozáření a graficky znázorněte. Z grafu určete pomocí lineární regrese konstantu C ve vztahu $I_f = C \cdot E$ mezi proudem nakrátko a intenzitou ozáření.
- 3) Změřte voltampérovou charakteristiku solární baterie pro tři různé intenzity ozáření. Naměřené hodnoty zapisujte do analogických tabulek, jako je uvedena pod č. 2. Závislost znázorněte graficky jako funkci $I = f(U)$. Určete maximální výstupní výkon solární baterie pro každé ozáření (obr. 5).
- 4) Spočítejte účinnost solární baterie porovnáním maximálního výstupního výkonu s dopadajícím výkonem na čtyři články (každý s rozměrem $2,5\text{cm} \times 5\text{cm}$).



Obr. 5

Tabulka 1

a [cm]	U [mV]	E [Wm^{-2}]	U_0 [V]	I_f [mA]

Tabulka 2

$E =$ [Wm^{-2}]		
U [V]	I [mA]	P [mW]