15. STUDIUM VLIVU ZÁŘENÍ NA POLOVODIČE

Měřicí potřeby

1) zařízení složené ze zdroje světla, fotorezistoru, fotodiody a sady sítek
2) luxmetr
3) plochá baterie
4) miliampérmetr
5) voltmetr
6) potenciometr
7) galvanoměr DG 20

Obecná část

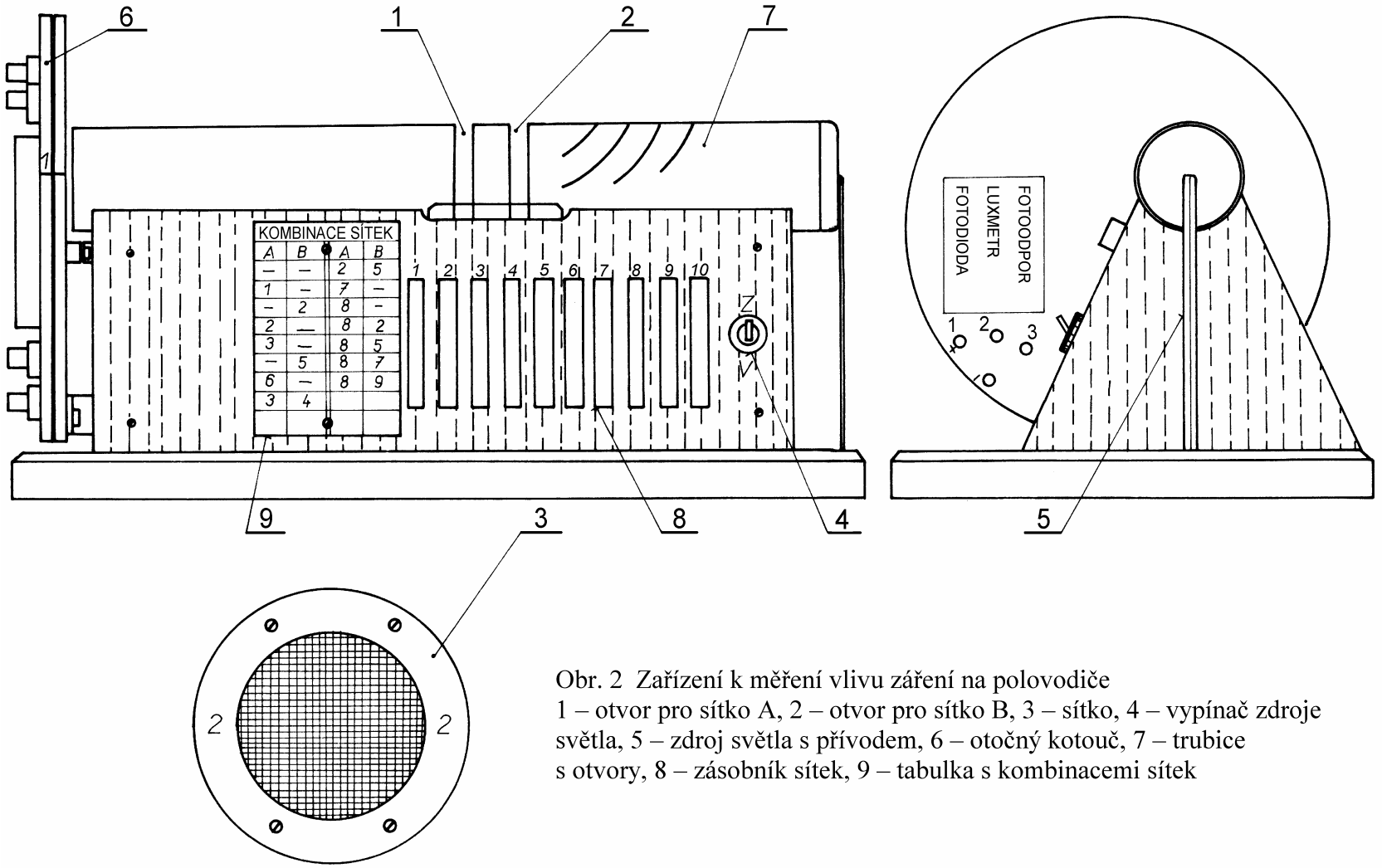
U izolovaného atomu elektron nabývá pouze určitých hodnot energií (tzv. energetické hladiny) navzájem oddělených oblastmi energií, kterých nemůže nabýt. Energetické spektrum elektronů vázaných v atomu má proto diskrétní charakter. V pevných látkách v důsledku vzájemné interakce atomů v krystalové mřížce dochází k rozštěpení původních hladin na celé pásy tvořené hustou, prakticky spojitou řadou dovolených hodnot energie. Tyto pásy povolených energií jsou odděleny oblastmi energií, kterých elektrony nabýt nemohou – tzv. *zakázanými pásy*. Z hlediska elektrické vodivosti látek hraje rozhodující roli vzájemná poloha nejvyššího zcela obsazeného (tzv. valenčního) a nejnižšího neúplně obsazeného (tzv. vodivostního) pásu. Rozlišujeme tyto tři případy:

a) vodiče: vodivostní pás je zaplněn do poloviny (alkalické kovy, jednomocné kovy Cu, Ag, Au, …), nebo se dovolené pásy překrývají (dvojmocné kovy)
b) izolanty: valenční a vodivostní pás jsou odděleny relativně širokým zakázaným pásem o šířce $\Delta W \geq 3$ eV, vodivostní pás je prakticky neobsazen
c) polovodiče: zakázaný pás je relativně úzký $\Delta W \cong 1$ eV, při nízkých teplotách se chovají jako izolanty, obsazení vodivostního pásu se zvyšuje s rostoucí teplotou.

Charakteristickou vlastností polovodičů je závislost koncentrace volných nosičů náboje na teplotě (viz úloha „Závislost odporu vodičů a polovodičů na teplotě“). Koncentraci volných nosičů lze však také zvětšit působením záření. Při osvětlení polovodiče může dojít buď k *vnějšímu* fotoelektrickému jevu (projevuje se emisí elektronů do vakua), nebo k *vnitřnímu* fotoelektrickému jevu, při němž energie fotonu nestačí k uvolnění elektronu mimo krystal polovodiče.

Vnitřní fotoelektrický jev se dále dělí na dva druhy:

a) *Fotovodivost*. Dodáme-li elektronu dostatečnou energii, překoná elektron zakázaný pás a přejde z valenčního do vodivostního pásu. Osvětlíme-li tedy polovodič světlem, jehož fotony mají energii větší než je šířka zakázaného pásu, generují se v polovodiči nové páry nosičů elektrického proudu, což má za následek zvýšení vodivosti polovodiče (musí být ovšem splněny ještě další podmínky, které neuvádíme). Fotovodivost se využívá u fotorezistorů.



Obr. 2 Zařízení k měření vlivu záření na polovodiče
1 – otvor pro sítko A, 2 – otvor pro sítko B, 3 – sítko, 4 – vypínač zdroje světla, 5 – zdroj světla s přívodem, 6 – otočný kotouč, 7 – trubice s otvory, 8 – zásobník sítek, 9 – tabulka s kombinacemi sítek

Nejstarším známým materiálem pro fotorezistory je selen. Zmiňuje se o něm již v r. 1877 anglický telegrafní inženýr W. Smith. Zajímavostí je, že Alexander Graham Bell použil selen v r. 1880 ke konstrukci fototelefonu využívajícího sluneční paprsky. Dnes se používají pro fotorezistory také sirníky thalia, stříbra, vizmutu, olova, apod.

b) *Fotovoltaický jev* (nazývaný též *hradlový*). Při tomto jevu se spotřebuje energie dopadajících kvant na přechod elektronů (nacházejících se ve vodivostním pásu) přes potenciálovou bariéru přechodu PN dvou polovodičů. Na přívodech k polovodičům pak vznikne elektrické napětí, úměrné velikosti osvětlení přechodu. Tohoto jevu využívá hradlový fotoelektrický článek a fotodioda (též nazývaná polovodičová fotonka). Fotoelektrický hradlový článek může být zdrojem elektrické energie (solární články). Poměrně známý je selenový článek, který bývá často použit v luxmetrech a ve starších typech expozimetrů.

Při měření elektrického proudu osvětlené fotodiody zatížené zanedbatelně malým odporem zjistíme, že závislost tohoto proudu na osvětlení je lineární. Je-li v obvodu zařazen odpor vyšší, je charakteristika již značně nelineární. Pokud na fotodiodu vložíme vnější napětí v závěrném směru, pak při osvětlení opět protéká proud. V tomto případě má však fotodioda mnohem rychlejší odezvu na časovou změnu osvětlení.

Měření

V této úloze budeme zjišťovat závislost odporu fotoorezistoru na osvětlení a závislost proudu fotodiody na osvětlení.

K měření použijeme jednoduché zařízení (obr. 2) složené z trubky, na jejímž jednom konci je zdroj světla a na opačném konci otočný kotouč s fotorezistorem, fotodiodou a pouzdrem pro vložení sondy luxmetru. Trubka má uprostřed dvě drážky pro vkládání sítek různé hustoty, jejichž kombinací lze nastavit různou velikost světelného toku. Otočný kotouč, na němž jsou připevněny fotoprvky, natočíme vždy tak, aby byly rysky v zákrytu. Číslo u kryjící se rysky na kotouči označuje prvek, který je připraven k měření (1 – fotodioda, 2 – luxmetr, 3 – fotorezistor). Pro měření fotodiody je k dispozici ještě rezistor přiložený u úlohy. Osvětlení měříme přístrojem zvaným luxmetr, což je vlastně fotočlánek spojený s citlivým měřidlem, cejchovaným v jednotkách osvětlení.

Pro úplnost dodejme, že *osvětlení* je definováno jako světelný tok dopadající na jednotkovou plochu:

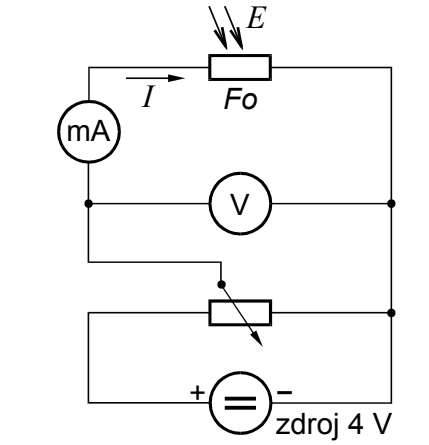
$$E = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}S} \qquad [\mathrm{lx};\ \mathrm{lm},\ \mathrm{m}^2]$$

Jednotkou je lux (lx), což je osvětlení při kterém na plochu 1 m^2 dopadá světelný tok 1 lumen (lm) rovnoměrně po ní rozložený. Takže lux = lumen/m^2.

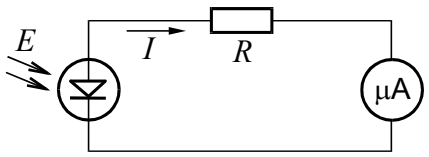
Pracovní úkol

1) Proměřte pro všechny uvedené kombinace sítek v tab. 1 osvětlení luxmetrem. Naměřené hodnoty zapisujte do druhého sloupce tabulky.

2) Proměřte u fotorezistoru WK65037 1k5 závislost proudu na osvětlení pro dvě různé hodnoty napětí. Obvod zapojte podle schématu na obr. 1a. Napětí na fotorezistoru udržujte při měření konstantní! Pro zápis použijte opět tabulku 1.
3) Pro obě hodnoty napětí vypočtěte odpor fotorezistoru a graficky znázorněte jeho závislost na osvětlení $R = f(E)$.
4) Změřte závislost proudu fotodiody na dopadajícím světelném toku pro dvě různé hodnoty zatěžovacího odporu. V prvním případě zatěžujte diodu pouze vnitřním odporem ampérmetru (ten musíte zjistit), ve druhém případě zapojte ještě navíc do série rezistor R, jenž je přiložen u úlohy (obr. 1b). Hodnoty zaznamenávejte opět do tabulky 1.
5) Graficky znázorněte pro oba odpory závislost fotoproudu diody na osvětlení.



a) fotoodporu



b) fotodiody

Obr. 1 Schéma zapojení pro měření fotoodporu a fotodiody

Tabulka 1

komb. sítek		osvětlení	fotoodpor		fotodioda	
			U_1 =	U_2 =	R_1 =	R_2 =
A	B	E [lx]	I [mA]	I [mA]	I [μA]	I [μA]
0	0					
1	0					
0	2					
2	0					
3	0					
0	5					
6	0					
3	4					
2	5					
7	0					
8	0					
8	2					
8	5					
8	7					
8	9					
tma						