

LED a laser

Josef Hubeňák, Univerzita Hradec Králové

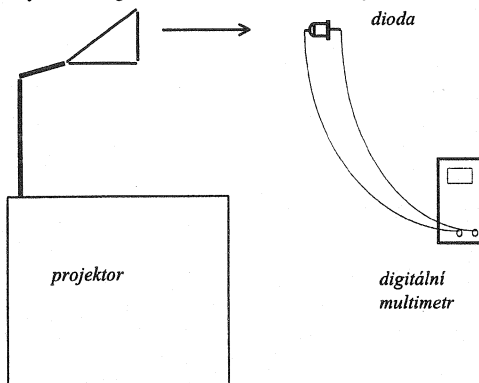
Laserové ukazovátko je dostupnou pomůckou a jeho paprsek obsahuje fotony s vlnovou délkou v intervalu 630 až 680 nm. V katalogu dodavatelů najdeme střední hodnotu (= 655 nm a cenu laserové diody přibližně 500 Kč, na tržističích jsou nabízeny lasery-hračky za 210 Kč i méně. Nekupte to!

Světlo emitující diody jsou z těžé rodiny polovodičových součástek a studenti je znají z celé řady přístrojů v laboratoři i ze spotřební elektroniky. V poslední době tolik žádané alternativní zdroje energie mají zde také svého zástupce: fotočlánky jsou také jen polovodičové diody. Tady se nabízí, když nemáte sluneční panel, jednoduché spojení: „polovodičová dioda + světlo = zdroj elektrické energie“.

Podmínkou ovšem je, že světlo pronikne do diody. Starší germaniové hrotové diody (GA 201 až 205) byly zapouzdřeny ve skleněné trubičce, dále křemíkové Zenerovy diody 1NZ70 až 8NZ70 mají sice kovové pouzdro, ale anoda je vyvedena skleněnou průchodkou, a konečně všechny LEDky jsou průhledné nebo aspoň průsvitné.

K prvnímu pokusu použijeme zdroj světla – zpětný projektor, METEX 3850 nebo jiný digitální multimetr a sadu diod.

Když diody přiblížíme ke středu objektivu, dostaneme docela zajímavá napětí. Vzhledem k vysokému vstupnímu odporu voltmetru (12 MΩ) je lze považovat za napětí elektromotorická.

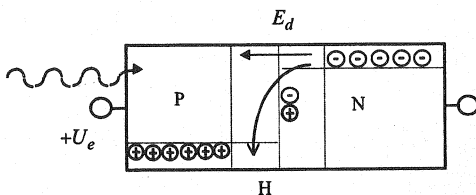


Tabulka 1: Elektromotorická napětí diod

Značka diody	typ diody	U_e [mV]
GA205	germaniová hrotová	57
6NZ70	křemíková plošná	330
LQ1102	LED červená 660 nm	1290
LQ1412	LED žlutá 587 nm	1506
LQ1711	LED zelená 565 nm	1602

Při vzdalování diody od objektivu napětí klesá a naopak. Může být libovolně velké, nebo je fyzikálně omezeno na určitou hodnotu? Proč různé diody dávají rozdílná elektromotorická napětí? Odpovědi najdeme v mechanismu vzniku tohoto napětí.

V neosvětleném PN přechodu vznikne difúzí elektronů z oblasti N do P hradlová vrstva H bez volných nábojů a současně difúzní elektrické pole s intenzitou E_d . Absorbovaný foton vytvoří pár elektron-díra a difúzní pole jej rozdělí: díra je odsunuta vlevo, elektron vpravo.



Pole, které vytvoří takto přesunuté náboje, má opačnou polaritu vzhledem k poli difúznímu. Proto nemůže být elektromotorické napětí fotočlánku větší, než šířka zakázaného pásu použitého polovodiče.

Měření je ovšem ovlivněno barvou plastového pouzdra diod řady LQ. Vyloučit toto zkreslení lze měřením na LED v čířm a takřka bezbarvém pouzdře. Tuto podmínku splňují následující diody.

Tabulka 2: Vliv měřicího přístroje a barvy plastového pouzdra LED

Typ	U_e (V) ME- TEX 3850 12 M Ω	U_e (V) MIT 390 >1000 M Ω	I_F (μ A) MIT 390	I_0 (nA) při $U_{ak} = -5$ V MIT390
L-538SRC/E červená	1,57	1,57	600	0
L-HLMP3850 žlutá	1,58	1,58	80	0
L-HLMP3950 zelená	1,66	1,63	20	0
L-53MBDL modrá	0,02	0,9	0	2

U modré diody bychom očekávali největší elektromotorické napětí, které však METEXem nenaměříme. Proč tomu tak je, lze kvalitativně vysvětlit.

V tabulce jsou uvedena elektromotorická napětí měřená multimetrem MIT 390, který má vstupní odpor na daném rozsahu větší než 1 G Ω . Tady i modrá dioda poskytne $U_e = 0,8$ V, což je ovšem méně, než očekáváme.

Závislost U_e na osvětlení je dána tím, že ve hře jsou ještě minoritní nosiče nábojů – elektrony v polovodiči P a díry v N. Teoreticky je elektromotorické napětí dáno rovnicí

$$U_e = \frac{k \cdot T}{e} \ln \left(1 + \frac{j_f}{j_s} \right),$$

kde k je Boltzmannova konstanta, T termodynamická teplota, e náboj elektronu, j_f hustota proudu, tvořeného rozdělenými páry elektron-díra po absorpci fotonů a j_s hustota nasyceného proudu minoritních nosičů. Poslední z proudů se objevuje jako závěrný proud každé polovodičové diody. (Viz Šalimovová, K. V.: Fyzika polovodičův, ALFA, Bratislava 1978)

Fotoproud diod (měřeno pomocí MIT 390) je velmi malý a u modré dokonce neměřitelný. Zato závěrný proud modré diody je podstatně vyšší než u předchozích a to je příčinou velmi malého elektromotorického napětí.

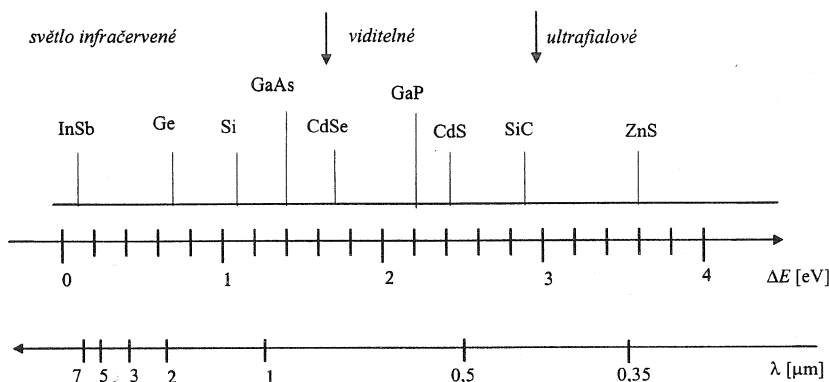
Místo zpětného projektoru posvítíme na PN přechod laserem. Dosažená elektromotorická napětí budou u diody germaniové, křemíkové a červené ledky menší, než v předchozím experimentu. Pro žlutou a zelenou ledku bude výsledek takřka nulový, ačkoliv světlo laseru zřetelně dopadá na krystalek v diodě. Příčina je v energii fotonů a kvantových přechodech elektronů v krystalu polovodiče. Foton při absorpci v polovodiči může vytvořit pár elektron-díra až tehdy, je-li jeho energie větší než šířka zakázaného pásu (neuvažujeme příměsové hladiny, poruchy a další interakce). Musí platit $h \cdot f \geq \Delta E$.

Tabulka 3: Elektromotorická napětí LED při osvětlení laserem

Typ	U_e (V) METEX 3850
L-538SRC/E červená	1,54
L-HLMP3850 žlutá	0,015
L-HLMP3950 zelená	0,006
L-53MBDL modrá	0,000

Veletrh nápadů učitelů fyziky

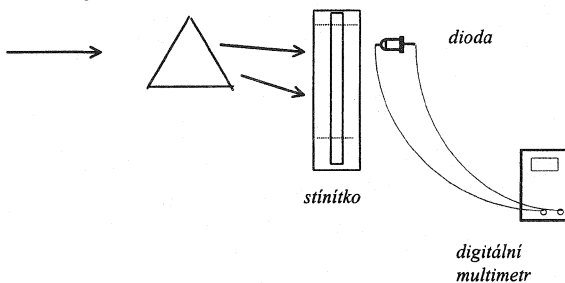
Šířky zakázaných pásů v elektronvoltech polovodičů používaných na výrobu diod a těmito energiím odpovídající vlnové délky jsou uvedeny v následujícím grafu:



Z grafu je zřejmé, že foton s vlnovou délkou 655 nm bude úspěšně vytvářet nosiče nábojů v červené LED-diodě, ale ve žluté a zelené je jeho energie nedostatečná. Pro každou diodu existuje *dlouhovlnná mez*, za kterou již nevzniká fotoproud a elektromotorické napětí.

Tuto mez lze najít alespoň kvalitativně v následujícím pokusu:

Na stínítku vytvoříme obvyklým způsobem spojité spektrum. Spektrum dopadá výřezem ve stínítku na diodu připojenou k voltmetru a pohybem od fialového konce spektra k červenému zjistíme, kde elektromotorické napětí zaniká.



Doporučená literatura:

- [1] Eckertová L.: Fyzikální elektronika pevných látek UK Praha 1992