

Obsah

1. Úvod.....	8
1.1 Ciele práce.....	8
2. Vplyv žiarenia na polovodiče.....	9
2.1 Fotovoltaický jav.....	9
2.2 Proces fotoelektrickej premeny.....	10
3. Organické materiály pre fotovoltaicke prvky.....	11
3.1 Vývoj organických solárnych článkov.....	12
3.2 Organické materiály používané v súčasnosti.....	13
3.3 Vodivosť organických látok.....	13
4. Driftový a difúzny prúd.....	15
5. Fotovodivosť.....	16
6. Štruktúra organických solárnych článkov.....	17
6.1 Jednovrstvové solárne články.....	17
6.2 Solárne články so zmesou polymérov.....	18
6.3 Dvojvrstvové solárne články.....	18
6.4 Vrstvené solárne články.....	18
7. Praktická časť.....	19
7.1 Meranie Volt-Ampérovej charakteristiky.....	19
7.1.1 Meranie fotovoltaických vlastností.....	19
7.1.2 Meranie luminiscenčných vlastností.....	19
7.2 Meranie spektrálnej charakteristiky.....	20
7.3 LabView.....	20
7.4 Všeobecné pokyny.....	20
8 Vytvorené programy pre meranie.....	21
8.1 Program pre meranie Volt-Ampérovej charakteristiky.....	22
8.1.1 Rozsah vstupných hodnôt.....	23
8.1.2 Vzorové meranie fotovoltaických vlastností.....	24
8.2 Program pre merania Volt-Ampérovej charakteristiky pri určenej vlnovej dĺžke.....	25
8.2.1 Rozsah vstupných hodnôt.....	26
8.3 Program pre meranie spektrálnej charakteristiky.....	27
8.3.1 Rozsah vstupných hodnôt.....	28
9. Záver.....	28

1. Úvod

Táto práca je rozdelená do dvoch častí, kde prvá časť práce obsahuje teoretické poznatky o polovodičoch a fyzikálno-chemických dejoch v týchto polovodičoch. Zaoberá sa tiež stručnou históriou, používanými materiálmi a štruktúrou organických polovodičov, ktoré boli predovšetkým cieľom týchto meraní.

V druhej, praktickej časti, sa venujem opisu postupu prevádzaných meraní, kde uvádzam vzorové merania a schému zapojenia meracích prístrojov. No hlavnou súčasťou sú vytvorené aplikácie pre jednotlivé merania v prostredí LabView a jednotlivá užívateľská dokumentácia k týmto programom.

1.1 Ciele práce

1. Zoznámiť sa s organickými polovodičmi, vplyvom žiarenia na polovodiče a prebiehajúcimi dejmi v týchto polovodičoch.
2. Oboznámiť sa s funkčnosťou meracích prístrojov a grafickým programovým prostredím LabView
3. Navrhnuť usporiadanie zariadení pre meranie spektrálnych charakteristík luminiscencie a volt-ampérových charakteristík v prostredí LabView a zostaviť riadiaci program pre dané merania v tomto prostredí.
4. Overiť funkčnosť zostaveného pracoviska a vytvorených programov tejto zostavy

2. Vplyv žiarenia na polovodiče

Proces priamej premeny slnečného žiarenia na elektrickú energiu je založený na využití fotoelektrického javu. Jeho základom je generácia potencialového gradientu v sústave spojených polovodičov typu P a N pri fotoefekte vyvolanom dopadajúcim slnečným žiarením.

2.1 Fotovoltaický jav

Predstavu o svetelných kvantách [1], ako o zvláštnych časticiach – fotónoch, ktoré majú energiu

$$E = h \cdot \nu \quad (1)$$

a hybnosť

$$p = \frac{h \cdot \nu}{c_0} \quad (2)$$

a zároveň nulovú kludovú hmotnosť, zaviedol A. Einstein v roku 1917. Fotovoltaický jav je známy od roku 1839, kedy bol pozorovaný A. E. Becquerelom. Jedná sa o jav, kedy dochádza ku generácii voľných nosičov náboja expozíciou tuhej látky elektromagnetickým zariadením s vhodnou vlnovou dĺžkou a zvyšuje sa tak vodivosť skúmanej látky. Bolo zistené, že počet vyradených elektrónov fotónmi je úmerný intenzite dopadajúceho svetla a kinetická energia vylietajúcich elektrónov nezávisí na intenzite dopadajúceho svetla, ale na jeho frekvencií. Fotoefekt nastane iba pri ožiarení svetlom s frekvenciou $f \leq f_0$ kde f_0 je prahová frekvencia (charakteristická veličina pre danú látku).

Vonkajší fotoefekt (fotoemisía) je fotoelektrický jav, pri ňom elektróny vystupujú z látky.

Vnútorý fotoefekt (fotovodivosť) nastane, pokiaľ elektróny prejdú na vyššiu energetickú hladinu a generujú sa voľné nosiče náboja – elektróny vo vodivostnom pásme a diery vo valenčnom pásme.

2.2 Proces fotoelektrickej premeny

Základom fotoelektrickej premeny [1] je interakcia svetelného žiarenia s elektrónmi látok, v ktorých je prítomný určitý počet voľných nosičov náboja – elektrónu a dier. Ich koncentrácia sa mení podľa druhu materiálu.

Voľné i viazane elektróny majú určitú energiu. V jednotlivých atómoch sú elektrónové hladiny obsadené elektrónmi podľa Pauliho vylučovacieho princípu a ich energia tvorí radu diskretných hladín. V kryštalickej látke sú jednotlivé elektrónové hladiny vo vzájomnej interakcii a energetické hladiny jednotlivých atómov v mriežke sa štiepia na toľko diskretných energetických podhladín, koľko je atómov v kryštále. Hladiny vytvárajú tzv. pásy povolených energií, ktorých je práve toľko, koľko je v atóme izolovaných hladín. Koľko je v kryštále atómov, toľko je v jednotlivých pásoch podhladín.

Pás s najväčšou energiou, ktorý je naplnený pri teplote 0K, sa nazýva valenčný pás. Pás ležiaci nad ním sa nazýva vodivostný pás. Tieto pásy povolených energií sú od seba oddelené tzv. zakázaným pásmom, v ktorom sa elektróny nemôžu nachádzať, ktorého šírka závisí na druhu atómu v kryštalickej mriežke a čiastočne charakterizuje základné vlastnosti polovodičov.

Počet dovolených energetických stavov v kryštále je omnoho väčší ako počet elektrónov, ktoré ich môžu obsadiť. Elektróny sa snažia obsadzovať čo najnižšie hladiny. Pravdepodobnosť obsadenia energetického stavu E je daná Fermiho funkciou.

$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_F}{k \cdot T}\right) + 1} \quad (3)$$

kde E_F je energia Fermiho hladiny, k je Boltzmanova konštanta a T je absolútna teplota. Fermiho hladina E_F je energetický stav, pre ktorý $f(E)=0,5$. Fermiho hladina ostáva spojitá pri styku dvoch rôznych materiálov.

Aby bolo možné získať elektrickú energiu zo slnečného žiarenia je treba splniť základné podmienky.

1. Fotón dopadajúceho žiarenia musí byť absorbovaný a súčasne excitovať elektrón absorpčného média do vyššieho vodivostného pásu. Fotón musí mať dostatočnú energiu pre vykonanie výstupnej práce a na prekonanie zakázaného pásu, $hf \geq E_g$, kde E_g je šírka zakázaného pásu.
2. Generovaná dvojica elektrón - diera musí byť včas oddelená, aby nedošlo k ich zániku rekombináciou. To je zaistené pomocou PN prechodu, ktorý spôsobí pohyb fotoelektrónu k N polovodiča a pohyb diery k polovodiču P. Dôležitá vlastnosť PN prechodu je vyrovnanie Fermiho energetickej hladiny v oboch materiáloch, v polovodiči typu N je táto hladina blízko hornej hranice zakázaného pásu a v materiále typu P je v blízkosti jeho spodnej hranice. Vyrovnaním Fermiho hladiny sa v prechode PN vytvorí elektrické pole, ktoré od seba separuje svetlom generovaný pár elektrón - diera.
3. Separované náboje musia byť odvedené skôr, ako dôjde k ich rekombinácií a stratia tak svoju potenciálnu energiu.

3. Organické materiály pre fotovoltaicke prvky

Na rozdiel od anorganických polovodičov [2], kde štruktúra materiálu je určovaná prevažne silnými kovalentnými alebo iontovými väzbami medzi atómami v kryštálovej mriežke, sú v organických molekulárnych kryštáloch, ktoré sú tvorené väčšinou atómami uhlíka, vodíka, dusíka a kyslíka, medzimolekulové interakcie ovplyvňované relatívne slabými van der Waalsovými a Londonovými silami alebo asociáciami prostredníctvom vodíkových väzieb. Medzimolekulové vzdialenosti sú veľké v porovnaní s vzdialenosťami medzi atómami alebo iontami anorganických materiálov, takže prekryv molekulových orbitálov je slabý a medzimolekulová elektrónová výmena je malá. Malá je tiež energia mriežky, a teda nízky bod topenia a sublimácie. Šírka zakázanej oblasti je veľká a pohyblivosť nosičov náboja nízka.

Existuje veľa dôvodov, prečo použiť pre konštrukciu solárnych článkov organické materiály, majú veľa zvláštnych výhod. Spojujú v sebe elektrické vlastnosti polovodičov s materiálovými vlastnosťami polyméru. Ich spracovanie je značne energeticky výhodnejšie než spracovanie anorganických materiálov, sú rozpustné v bežných rozpúšťadlách a ich výroba nevyžaduje vysoké teploty.

Na podložku sa nanáša metódou rotačného liatia (spin coating) alebo metódou vákuového naparovania. Spotreba materiálu pri výrobe je nízka (100 – 200 nm tenkej vrstvy) a veľkovýroba je jednoduchšia než výroba anorganických materiálov pre fotovoltaické aplikácie. Organické materiály tiež ponúkajú veľké množstvo rôznych chemických štruktúr a ich funkcií (polyméry, oligoméry, farby, farbivá, pigmenty, tekuté kryštály,...).

3.1 Vývoj organických solárnych článkov

Jedne z prvých organických článkov [3] boli tvorené malými molekulami (donory a akceptory). Prvá heteroštruktúrna dvojvrstva bola tvorená tenkou vrstvou Cu-ftalocyaninu a derivátom perylenu medzi elektródou ITO (oxid indiu a cínu) a striebornou elektródou. Zo závislosti prúdu na napätí (volt-ampérové charakteristiky) tohto článku bola zaistená vysoká hodnota plniaceho faktoru a účinnosti fotovoltaickej premeny okolo 1%.

Ďalší krok vo vývoji štruktúr organických solárnych článkov vychádzal z existencie pohyblivých fotoindukovaných nosičov náboja v polyméroch. Kombinácie konjugovaného systému (polyméru) s molekulou akceptoru spôsobuje pri fotoexcitácii elektrónu väčšiu pohyblivosť nosičov náboja a väčšiu konverznú účinnosť, ako v samotnom konjugovanom systéme. Prvé fotovoltaické články tohto typu boli tvorené dvoma vrstvami. Používal sa poly (fenylenvinylen) – PPV a jeho deriváty a ako akceptor prevažne molekuly fullerenu (C_{60}), ktoré sú schopné prijať až šesť elektrónov. Prídavkom fullerenu k polyméru došlo k silnému poklesu luminiscencie a posunu absorpcie ku kratším vlnovým dĺžkam, účinnosť premeny dosiahla 2,5% až 4,5%.

Výskum sa zaoberal tiež riešením mnohých problémov týchto heteroštruktúrnych solárnych článkov. Napríklad nedostatočná absorpcia vo viditeľnej časti spektra, elektrické vlastnosti kontaktov alebo vlastnosti transportu oboch typov nosičov náboja. Diery sa pohybujú procesom difúzie pozdĺž reťazca a procesom hopping (preskok) medzi jednotlivými reťazcami, zatiaľ čo elektróny sa pohybujú iba procesom hopping medzi molekulami akceptoru. Nevyvážené vlastnosti transportu viedli k tomu, že bol použitý polymer ako donor a ako akceptor elektrónov v heteroštruktúre. Pri kombinácii MEH-PPV (akceptor) bola dosiahnutá účinnosť fotovoltickej premeny 4,8%.

3.2 Organické materiály používané v súčasnosti

Veľa organických materiálov sa dnes používa pre rôzne elektronické aplikácie. Napríklad materiály pre elektroluminiscenčné diódy, alebo pre kopírovacie stroje (xerografické materiály) sú bežne dostupné. Niektoré z nich sú použiteľné i ako fotovoltickej materiály. Fulleren (C_{60}) a jeho deriváty sú dobrými akceptormi a majú značnú elektrónovú pohyblivosť. Pigment perylen je akceptor s väčšou absorpciou v blízkosti infračervenej oblasti. Ftalocyanin, porfyriny a príbuzné molekuly, sú dobrými donormi s dobrou elektrónovou pohyblivosťou. Všetky tieto molekuly môžu byť dopované inými látkami a tým zvýšená rýchlosť transportu nosičov náboja. Napríklad prídavok polyméru MEH-PPV v molekule C_{60} výrazne zvyšuje pohyblivosť elektrónov. [4]

3.3 Vodivosť organických látok

Pokiaľ pevná látka obsahuje voľné nosiče náboja, môže dôjsť v elektrickom poli k ich pohybu a vzniká tak elektrický prúd. Pokiaľ je pole homogénne, teda intenzita elektrického poľa E je konštantná

$$E = \frac{U}{l} = \text{konšt.} \quad (4)$$

kde U je napätie priložené na vzorku a l je hrúbka vzorku medzi elektródami, potom je prúdová hustota úmerná intenzite poľa

$$j = \sigma \cdot E \quad (5)$$

kde σ je elektrická vodivosť (konduktivita). Hodnotu konduktivity je možné pre vzorok o priereze S a hrúbky l určiť zo vzťahu

$$\sigma = \frac{I \cdot l}{U \cdot S} = G \cdot \frac{L}{S} \quad (6)$$

kde I je elektrický prúd prechádzajúci vzorkom v ampéroch a G je konduktancia.

Prevrátenou hodnotou konduktancie je odpor R a prevrátenou hodnotou konduktivity je rezistivita. Rýchlosť nosičov náboja v je úmerná intenzite poľa E podľa vzťahu

$$v = \mu \cdot E \quad (7)$$

kde μ je pohyblivosť. Je to rýchlosť náboja o jednotkovej intenzite.

Potenciálnym zdrojom voľných nosičov náboja v organických molekulách sú π -elektróny, ktoré sa môžu voľne pohybovať po konjugovanej časti molekuly. Čím je konjugovaný systém rozsiahlejší, tým je prenos delokalizovaných π -elektrónov jednoduchší. Elektrická vodivosť rastie s predlžovaním priemernej dĺžky elektrónového konjugovaného skeletu a môže byť obmedzená mnohými faktormi:

- dĺžky jednoduchých a dvojitých väzieb nie sú rovnaké a ich striedanie síce stabilizuje polymér, ale obmedzuje elektrónovú delokalizáciu;
- konjugáciou môže rušiť rotácie reťazcov;
- pohyblivosť nosiča náboja obmedzuje bariéry medzi reťazcami.

Samotná konjugácia preto často nestačí k vytvoreniu dobre vodivého organického materiálu. Vysoká vodivosť závisí tiež na silných medzimolekulových interakciách iontových štruktúr, ktoré vznikajú v π -elektrónových donor (D) - akceptorových (A) systémoch. V nich dochádza k prenosu náboja z donoru na akceptor podľa rovnice $D + A \rightarrow D^{+\delta} + A^{-\delta}$, kde δ je prenesený náboj. Pokiaľ vykazuje jedna molekula afinitu k elektrónu a má dostatočne nízky molekulový orbital, existuje pravdepodobnosť prechodu jedného π -elektrónu z donorovej molekuly s nezmenenou orientáciou spinu na molekulárny orbital akceptoru. Tým dôjde k vytvoreniu väzby prechodového typu medzi väzbou kovalentnou a iontovou.

4. Driftový a difúzny prúd

V polovodičoch existujú dve príčiny vzniku elektrického prúdu, a to vonkajšie elektrické pole \Rightarrow driftový prúd alebo spád koncentrácie nosičov náboja \Rightarrow difúzny prúd. [5] Driftový prúd je pohyb voľných nosičov náboja v polovodiči vyvolaný vonkajším elektrickým poľom. K tepelnému pohybu elektrónov a dier je pridaná zložka pohybu v smere poľa (u elektrónu proti nemu), tzv. driftová rýchlosť.

Hustota driftového prúdu je daná vzťahom

$$j_E = q \cdot n \cdot v \quad (8)$$

kde q je náboj nosiča, n je koncentrácia nosičov, v je driftová rýchlosť a index E je intenzita elektrického poľa.

Hustota driftového prúdu je určená súčtom hustôt prúdu elektrónov a dier

$$j_E = j_n + j_p = q_n \cdot n \cdot v_n + q_p \cdot n \cdot v_p = e \cdot (n \cdot \mu + p \cdot \mu) \cdot E = \sigma \cdot E \quad (9)$$

kde μ je pohyblivosť nosiča náboja, n je koncentrácia elektrónov a p je koncentrácia dier.

Difúzia je samovoľný proces, ktorým sa častice pohybujú z oblasti s vyššou koncentráciou častíc do oblasti s nižšou koncentráciou. Difúzia súvisí s časticami, ktoré tepelne kmitajú, navzájom do seba vrážajú a rozptyľujú sa tak v smere nižšej hustoty. Difúzny tok častíc je definovaný prvým Fickovým zákonom:

$$j_D = -D \operatorname{grad} c \quad (10)$$

kde D je difúzna konštanta a c je koncentrácia častíc.

Hustota difúzneho prúdu pre elektróny a diery v polovodiči je

$$j_{Dn} = e D_n \operatorname{grad} n \quad (11)$$

$$j_{Dp} = e D_p \operatorname{grad} p \quad (12)$$

Celkový prúd prechádzajúci polovodičom je daný súčtom driftových a difúzných prúdov. Prúd je nesený prostredníctvom elektrónov a dier v ktoromkoľvek mieste polovodiča, ktoré plynú vplyvom elektrického poľa alebo difundujú a potom platí

$$j = j_E + j_D \quad (13)$$

5. Fotovodivosť

Fotoelektrická vodivosť je zmena elektrickej vodivosti látky za svetla a za tmy [5]. Pri absorpcii žiarenia polovodičom sa môžu tvoriť buď voľné nosiče náboja, čo sa prejaví zvýšením elektrickej vodivosti alebo absorbovaná energia zvýši teplotu látky a môže tak zvýšiť vodivosť.

$$\Delta\sigma = \sigma_s - \sigma_t \quad (14)$$

Množstvo fotoelektricky uvoľnených nosičov sa zisťuje meraním fotoelektrického prúdu ΔI , ktorý prechádza, akonáhle je priložené vonkajšie napätie U , takže pôsobí elektrické pole E v kryštále. Pre fotoelektrický prúd homogénneho kryštálu s prierezom A platí

$$\Delta I = A \cdot \Delta\sigma \cdot |E| \quad (15)$$

Prírastok vodivosti $\Delta\sigma$ závisí na toku absorbovaných fotónov, ďalej na kvantovej účinnosti η a na dobe života nosičov podľa vzťahu

$$\Delta\sigma = e(\mu_n + \mu_p) \cdot \tau \cdot \eta \cdot K \cdot Q \quad (16)$$

kde Q je počet dopadajúcich fotónov, K je absorbovaná časť svetla. Z tejto rovnice vyplýva, že fotoelektrický prúd je úmerný intenzite elektrického poľa, teda priloženému napätiu.

Pokiaľ sú v kryštále polovodiča prítomné nehomogenity, spôsobujú vznik vnútorného elektrického poľa, takže pri osvetlení vzniká fotoelektromotorická sila, ktorá sa prejaví merateľným napätím, resp. Prúdom vo vonkajšom obvode. Nehomogenita môže byť buď pôvodná, tj. vytvorením v inak homogénnom kryštále rôznym miestnym rozložením koncentrácie nosičov prúdu pod vplyvom napr. rozdielnej pohyblivosti elektrónov a dier, alebo generovaním nosičov následkom väčšej absorpcie na povrchy a iné.

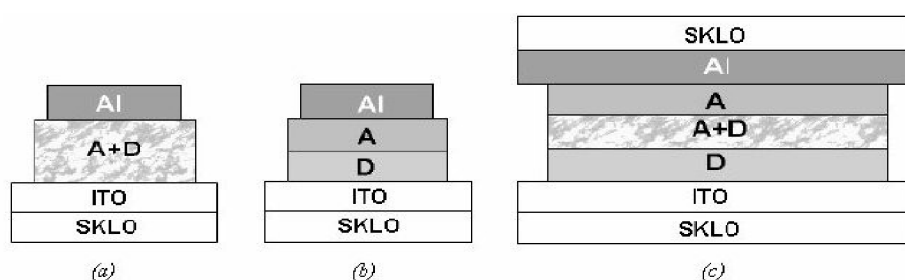
Vnútorné elektrické pole nastáva napríklad u prechodu PN alebo na povrchovo hradlovej vrstve, kde sa na mieste styku kov-polovodič vytvorí Schottkyho bariéra, pokiaľ existuje rozdiel Fermiho energie medzi oboma látkami.

Zmena elektrickej vodivosti polovodiča vplyvom elektromagnetického žiarenia má časový charakter. Po prerušení žiarenia sa vodivosť vracia späť k hodnote pred ožiarením. U niektorých polovodičov dôjde k návratu do pôvodného stavu za niekoľko μs , u iných to trvá minúty i hodiny[6].

6. Štruktúra organických solárnych článkov

Transport excitonov a náboja v organických materiáloch prebieha preskokom medzi jednotlivými molekulami. Z toho vyplýva, že pokiaľ sú molekuly blízko seba, znižuje sa šírka medzimolekulárnej bariéry, a tiež sa zvyšuje absorpčný koeficient. Tiež je známe, že tzv. ploché molekulárne štruktúry majú obecné lepšie vodivé vlastnosti ako objemné 3D štruktúry. Aby mohlo dôjsť k účinnej premene fotónu na voľné nosiče náboja a zároveň boli splnené štruktúrne požiadavky, bola vyvinutá rada rôznych usporiadaní materiálov v organických solárnych článkoch.

Na obr. 1 sú rôzne typy usporiadania solárnych článkov obsahujúcich dva organické materiály, elektronový donor (D) a elektronový akceptor (A). Medzi nimi dochádza k separácii náboja. V ideálnom prípade by donorový materiál bol iba kontaktný s materiálom elektródy s vyššou výstupnou prácou (ITO) a akceptorový materiál s elektródou s nižšou výstupnou prácou. [7]



Obr. 1 Príklad usporiadania D/A polymérov v organických solárnych článkoch, a) zmes polymérov, b) dve vrstvy, c) polyméry v niekoľkých vrstvách.

6.1 Jednovrstvové solárne články

Jednovrstvové solárne články sú vyrobené iba z jedného typu polovodiča a sú často označované tiež ako Schottkyho diódy. K separácii náboja totiž dochádza na rozhraní polovodič/elektróda, kde vzniká Schottkyho bariéra. Povrch druhej elektródy má ohmický charakter (antihradlová vrstva). Štruktúra takého článku je jednoduchá, ale pre pokrytie celej viditeľnej oblasti žiarenia je užitie jediného typu molekuly vzácné. Tiež fotoaktívna oblasť je veľmi tenká a pri použití rovnakého materiálu pre transport oboch nosičov náboja (elektrónov a dier) dochádza k značným strátam rekombináciou nábojov.

6.2 Solárne články so zmesou polymérov

Výhoda týchto typov organických solárnych článkov je veľká oblasť rozhrania. Pokiaľ zmes molekúl bude taká, že bude dochádzať k dobrému kontaktu medzi podobnými molekulami, väčšina excitonov dosiahne D/A rozhranie. Toho je však možné dosiahnuť iba čiastočne, z dôvodu prítomnosti rôznych defektov, napríklad kontaktu s elektródami.

6.3 Dvojvrstvové solárne články

Táto skupina má výhodu v oddelených vrstvách donorovej a akceptorovej látky. Tým je zaistené prepojenie polovodiča so správnou elektródou. Oddelené nosiče náboja nemajú skoro žiadnu šancu rekombinovať. Nevýhodou je malé rozhranie, ktoré umožní len málo excitonom ich disociáciu na voľné náboje.

6.4 Vrstvené solárne články

Tento relatívne nedávno skonštruovaný typ organických solárnych článkov reprezentuje úspešný pokus zjednotiť výhody dvoch predchádzajúcich štruktúr. K separácii náboja dochádza vo vrstve uprostred článku (zmes polymérov), ktorá je medzi dvoma vrstvami rôzneho polyméru. Transport náboja môže prebiehať iba v správnom smere, cez správnu polymérnu vrstvu. Tato štruktúra tiež umožňuje zaoberať sa jednotlivými vrstvami oddelene (napr. dopovanie, úprava, fyzikálne-chemických vlastností). Nevýhodou tohto usporiadania sú mechanické vlastnosti prostrednej, zmiešanej vrstvy.

7. Praktická časť

Zostavené meracie pracovisko sa nachádza na Chemickej fakulte. Toto pracovisko pozostáva z počítača s programom LabView, pomocou ktorého sú dane merania automatizované, meracieho prístroja Keithley 6487, čo je multifunkčný merací prístroj a zdroj napätia zároveň. Keithley 485 ako pikoampérmetr, monochromátor LOT MSH101 za pomoci ktorého je umožnený rozklad svetla na jednotlivé vlnové dĺžky, lampy s 600W žiarovkou, kryostatu do ktorého sú umiestňované merané články a rôznych optických šošoviek.

7.1 Meranie Volt-Ampérovej charakteristiky

Na tomto pracovisku sa prevádza niekoľko druhov meraní. Prvé meranie je sa prevádza na organických polovodičových článkoch, za účelom zistenia fotovoltaiických vlastností a to druhé spočíva v meraní luminiscenčných vlastností organických diód.

7.1.1 Meranie fotovoltaiických vlastností

Je to vlastne klasické meranie volt-ampérovej charakteristiky na dodaných vzorkách organických polovodičových fotovoltaiických článkov. Kde na tieto články sa privádzali postupne požadované hodnoty napätia a ampérmetrom sa odčítaval prúd tečúci meraným vzorkom. Toto meranie sa prevádzalo za tmy a za svetla, za účelom zistenia fotovoltaiických vlastností týchto vzorkou.

7.1.2 Meranie luminiscenčných vlastností

Princíp merania je podobný ako v prvom prípade, s tým rozdielom že organická fotodióda sa neosvetľuje, ale sama začne pri určitej hodnote napätia vyžarovať svetelné žiarenie. Toto žiarenie sa za pomoci fotonásobiča sníma a vytvára sa tak druhá Volt-ampérová charakteristika, ktorá je závislá na intenzite osvetlenia vyžarovaného fotodiódou.

7.2 Meranie spektrálnej charakteristiky

Meranie je založené na vplyve jednotlivých vlnových dĺžok na fotovodivosť meraných článkov. Meraný článok je napájaný konštantným napätím, pomocou žiarovky a monochromátora sa osvecuje postupne zadanými vlnovými dĺžkami, z čoho sa určí aké vlnové dĺžky majú najväčší vplyv na meraný článok.

7.3 LabView

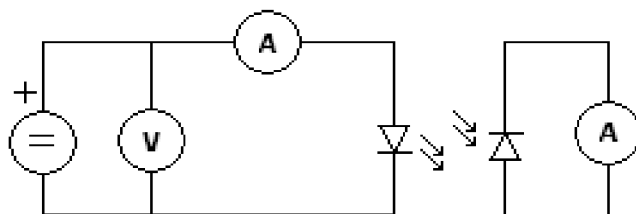
LabView je vývojové grafické prostredie. Toto prostredie je zamerané na vývoj aplikácií, pomocou ktorých sú ovládané meracie prístroje, zber dát z týchto prístrojov ich analýza a spracovanie. Ide o program firmy National Instruments, ktorý platí vo svete meracej a riadiacej techniky za štandard, s ktorým sú zrovnávané ostatné programy. Mnoho svetových výrobcov meracej a riadiacej techniky vydáva k svojim prístrojom knižnice pomocou ktorých je uľahčená práca vytvárania aplikácií pre ich výrobky. Aplikácie vytvorené v LabView sa nazývajú Virtual Instruments (Vis) (virtuálne prístroje) pretože ich vzhľad a činnosť pripomínajú skutočné prístroje. Výrobca National Instruments tvrdí [8], že ich program je jediným grafickým programovým prostredím, ktoré generuje optimalizovaný kód, ktorého rýchlosť vykonania je zrovnateľná s rýchlosťou skompilovaných programov v jazyku C.

7.4 Všeobecné pokyny

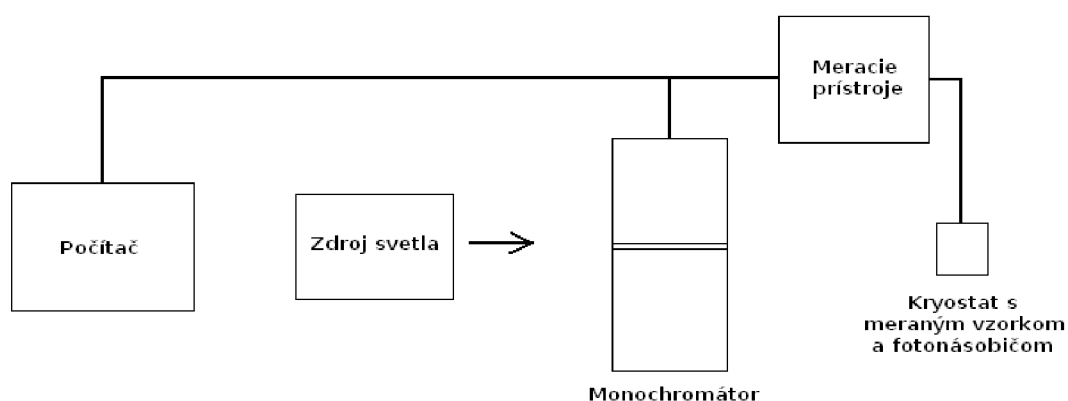
Pozor, je dôležité mať pri meraní zapnuté všetky prístroje s ktorými program komunikuje, inak sa program stále snaží naviazať spojenie s meracím prístrojom, ktorý je vypnutý a meranie tak trvá dlhšiu dobu.

Merací prístroj Keithley 6487 slúži ako zdroj jednosmerného napätia, ktoré má svorky na zadnom panele označené ako **V-source output**. Tu je dôležité upozorniť na merania s vyšším napätím ako je 10V, kedy musí byť na zadnom paneli pripojená koncovka **interlock** so spojenými pinmi 1 a 2. Na ľavej strane zadného panelu sa nachádza koncovka pre pripojenie koaxiálneho kabele označená ako **INPUT**, ktorá slúži na meranie vstupnej veličiny, v našom prípade prúdu.

Na meranie prúdu fotonásobičom používame merací prístroj Keithley 485, ktorý sa do obvodu pripojí pomocou koaxiálneho kabeľu a merací rozsah sa nastaví stlačením klávesy AUTO, čo zabezpečí automatické prepínanie rozsahu.



Obr. 2 Schéma zapojenia.



Obr. 3 Bloková schéma zapojenia.

8 Vytvorené programy pre meranie

Ako už bolo povedané jedna sa o program, zhotovený v prostredí LabView, ktorý bol na záver skompilovaný do spúšťacej aplikácie určenej pre operačné systémy Windows. Program používa niektoré externé ovládače pre meracie prístroje od firmy Keithley, ktoré sú v tejto aplikácii pribalené. Výstupom po ukončení merania je súbor (.lvm) ktorý obsahuje iba namerané hodnoty a jeho prevedenie je dosť neprehľadné. Z toho dôvodu sa zaviedol export nameraných hodnôt do šablóny programu excel do ktorej sa výsledne merania automaticky vložia. Tieto šablóny musia byť uložené na disku v adresári C:\mereni\ a sú uvedené ako príloha na CD nosiči (sablonLAMBDA.xlt a sablonVA.xlt). A taktiež dva grafy ktoré nám umožnia sledovať priebeh merania v aktuálnom čase a po skončení môžu byť uložené ako bitmap (.bmp) obrázky.

8.1 Program pre meranie Volt-Ampérovej charakteristiky

Po spustení programu, na obrazovke vidíme aplikáciu kde v ľavom hornom rohu sú vstupné veličiny ktorých funkciu objasním v nasledujúcich riadkoch.

Umin ktoré predstavuje minimálnu hodnotu od ktorej sa naše meranie bude odvíjať,

Umax je hodnota po ktorú budeme meranie uskutočňovať

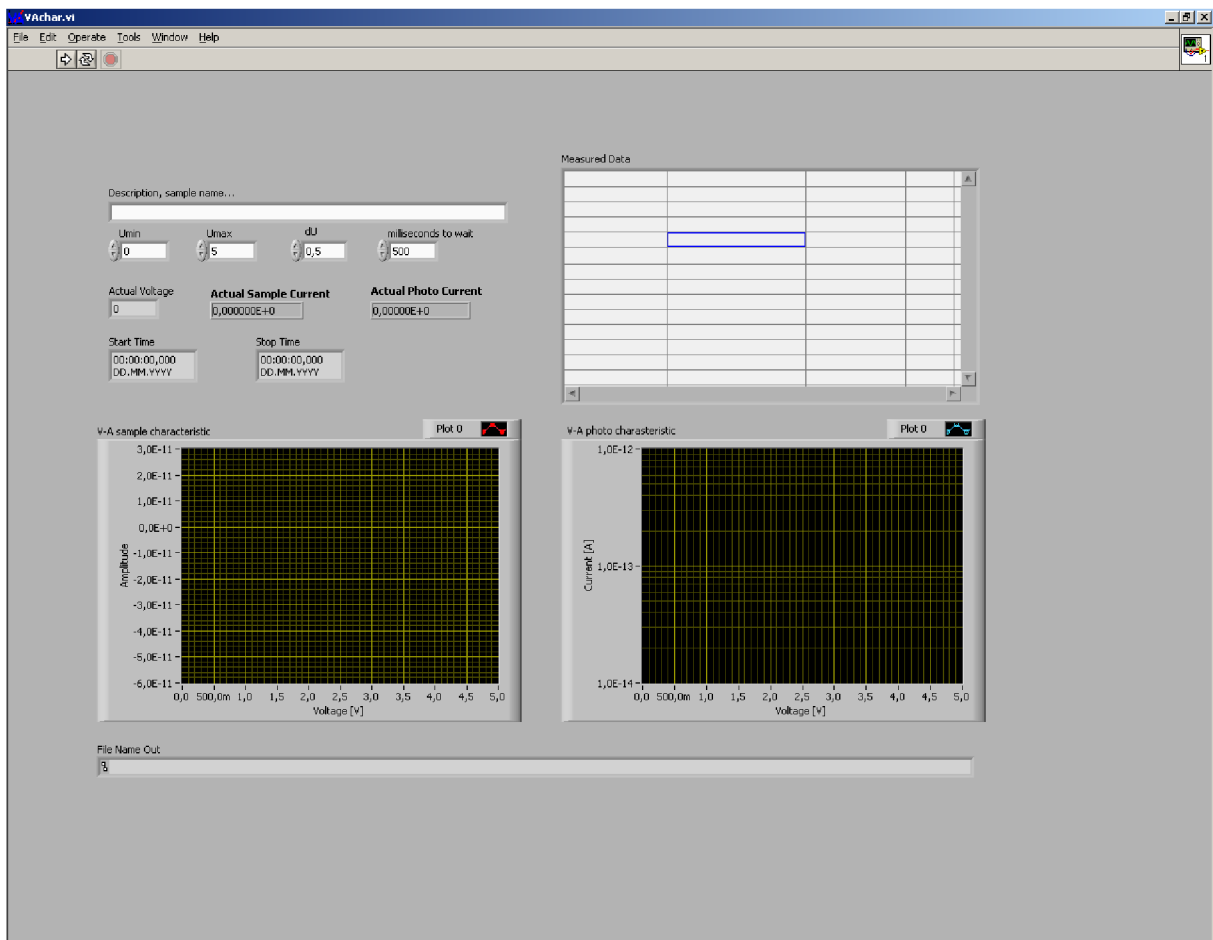
dU znamená delta U čiže krok napätia ktorým sa bude hodnota Umin inkrementovať až po hodnotu Umax. A ako posledná dôležitá vstupná veličina je časová pauza,

milliseconds to wait je posledná dôležitá vstupná veličina ktorá uskutoční časovú pauzu počas merania medzi nastavením napätia a zmeraním príslušného prúdu.

Description, nepovinný vstup, čo je vlastne popis, ktorý bude vložený do šablóny automaticky vygenerovaného súboru merania v exeli.

Po nastavení všetkých vstupov sa samotné meranie spúšťa tlačítkom označeným bielou šípkou, umiestneným v ľavo hore pod hlavným menu. Alebo tiež pomocou hlavného menu a to cez položku Operate a Run.

Pri skončení merania sa program dotáže na miesto a názov súboru, kde má výsledné hodnoty uložiť. Po uložení sa táto cesta ku súboru zobrazí v okienku označeným ako **File name out**.



Obr. 4 Program merania Volt-Ampérovej charakteristiky.

8.1.1 Rozsah vstupných hodnôt

- Umin od -50V do 50V
- Umax od -50V do 50V
- dU od 0V do 5V
- milliseconds to wait od 500ms to 5000ms

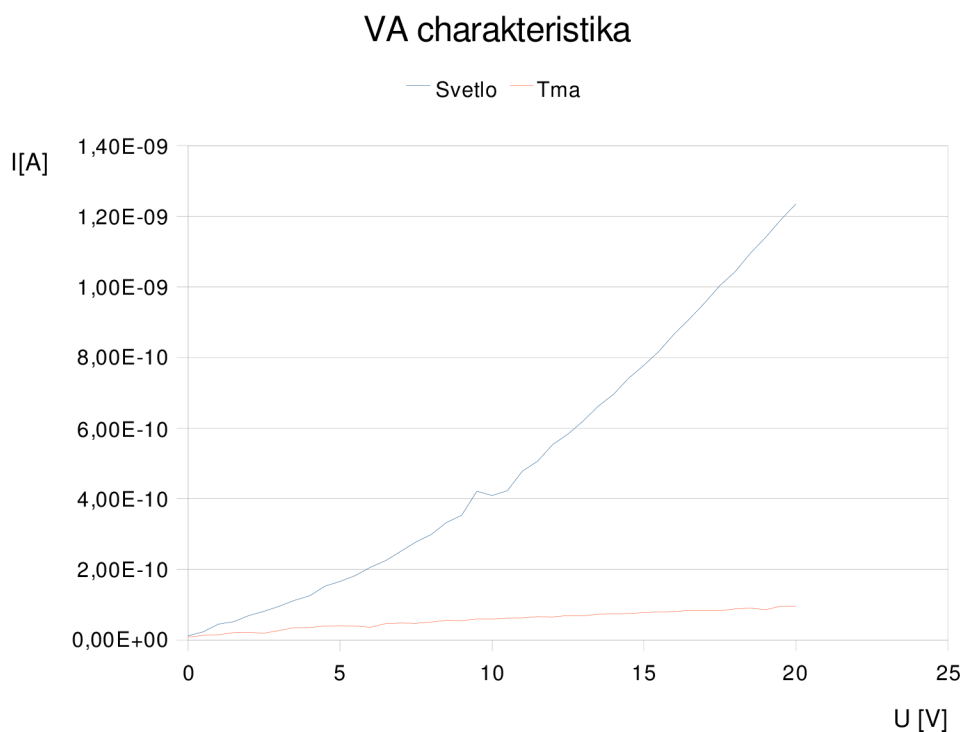
8.1.2 Vzorové meranie fotovoltaiických vlastností

Pri $U_{min} = 0V$; $U_{max} = 20V$; $dU = 0,5V$; milliseconds to wait = 500ms

U[V]	I [A] Svetlo	I [A] Tma
0	1,18E-11	7,97E-12
0,5	2,28E-11	1,35E-11
1	4,49E-11	1,47E-11
1,5	5,19E-11	2,12E-11
2	6,93E-11	2,20E-11
2,5	8,14E-11	1,90E-11
3	9,58E-11	2,70E-11
3,5	1,13E-10	3,54E-11
4	1,25E-10	3,50E-11
4,5	1,52E-10	3,97E-11
5	1,66E-10	4,02E-11
5,5	1,82E-10	3,95E-11
6	2,06E-10	3,61E-11
6,5	2,25E-10	4,68E-11
7	2,51E-10	4,82E-11
7,5	2,78E-10	4,70E-11
8	2,99E-10	5,13E-11
8,5	3,33E-10	5,53E-11
9	3,53E-10	5,52E-11
9,5	4,21E-10	5,92E-11
10	4,09E-10	5,92E-11
10,5	4,23E-10	6,21E-11
11	4,79E-10	6,23E-11
11,5	5,06E-10	6,65E-11
12	5,53E-10	6,51E-11
12,5	5,83E-10	6,94E-11
13	6,20E-10	6,83E-11
13,5	6,62E-10	7,29E-11
14	6,96E-10	7,36E-11
14,5	7,42E-10	7,55E-11
15	7,78E-10	7,76E-11
15,5	8,18E-10	7,95E-11
16	8,67E-10	8,03E-11
16,5	9,09E-10	8,34E-11
17	9,54E-10	8,25E-11
17,5	1,00E-09	8,30E-11
18	1,04E-09	8,82E-11
18,5	1,09E-09	9,00E-11
19	1,14E-09	8,61E-11
19,5	1,19E-09	9,55E-11
20	1,24E-09	9,62E-11

Tab. 1 Namerané hodnoty VA charakteristiky.

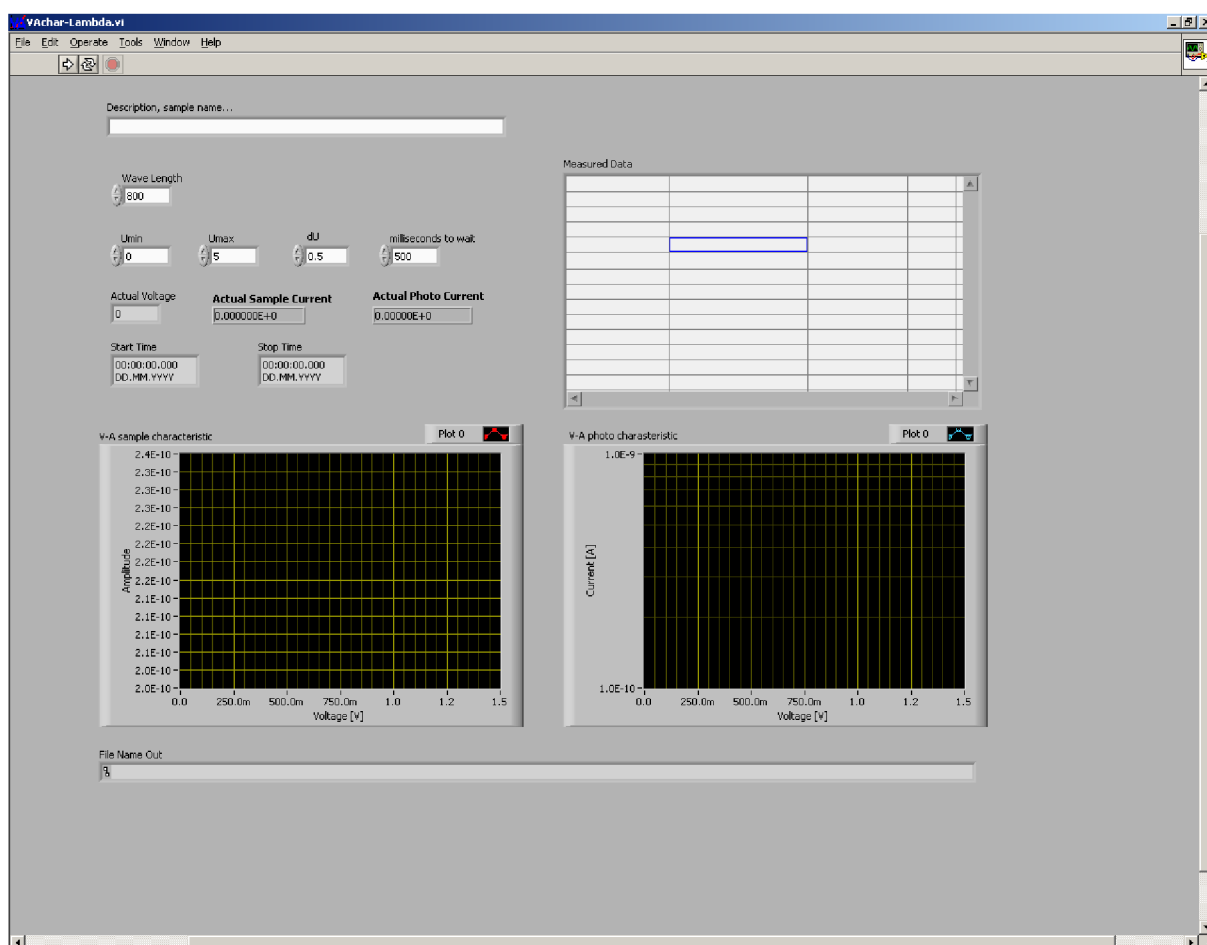
Graf nameraných hodnôt



Obr. 5 Graf závislosti VA charakteristiky.

8.2 Program pre merania Volt-Ampérovej charakteristiky pri určenej vlnovej dĺžke

Jedná sa o rozšírenie vyššie uvedeného programu, o možnosť nastavenia vlnovej dĺžky, pri ktorej sa daná Volt-Ampérová charakteristika bude merať a to pomocou vstupu označeného ako **Wave Length**. Tento rozklad svetla na jednotlivé zložky zabezpečí monochromátor, ktorý je umiestnený medzi žiarovkou a meraným vzorkom.



Obr. 6 Program merania VA charakteristiky pri zadanej vlnovej dĺžke.

8.2.1 Rozsah vstupných hodnôt

Wave Length	od 0nm do 1600nm
Umin	od -50V do 50V
Umax	od -50V do 50V
dU	od 0V do 5V
milliseconds to wait	od 500ms to 5000ms

8.3 Program pre meranie spektrálnej charakteristiky

Tento program je graficky navrhnutý podobne ako predošle dva programy, vďaka čomu sa užívateľ rýchlo zorientuje.

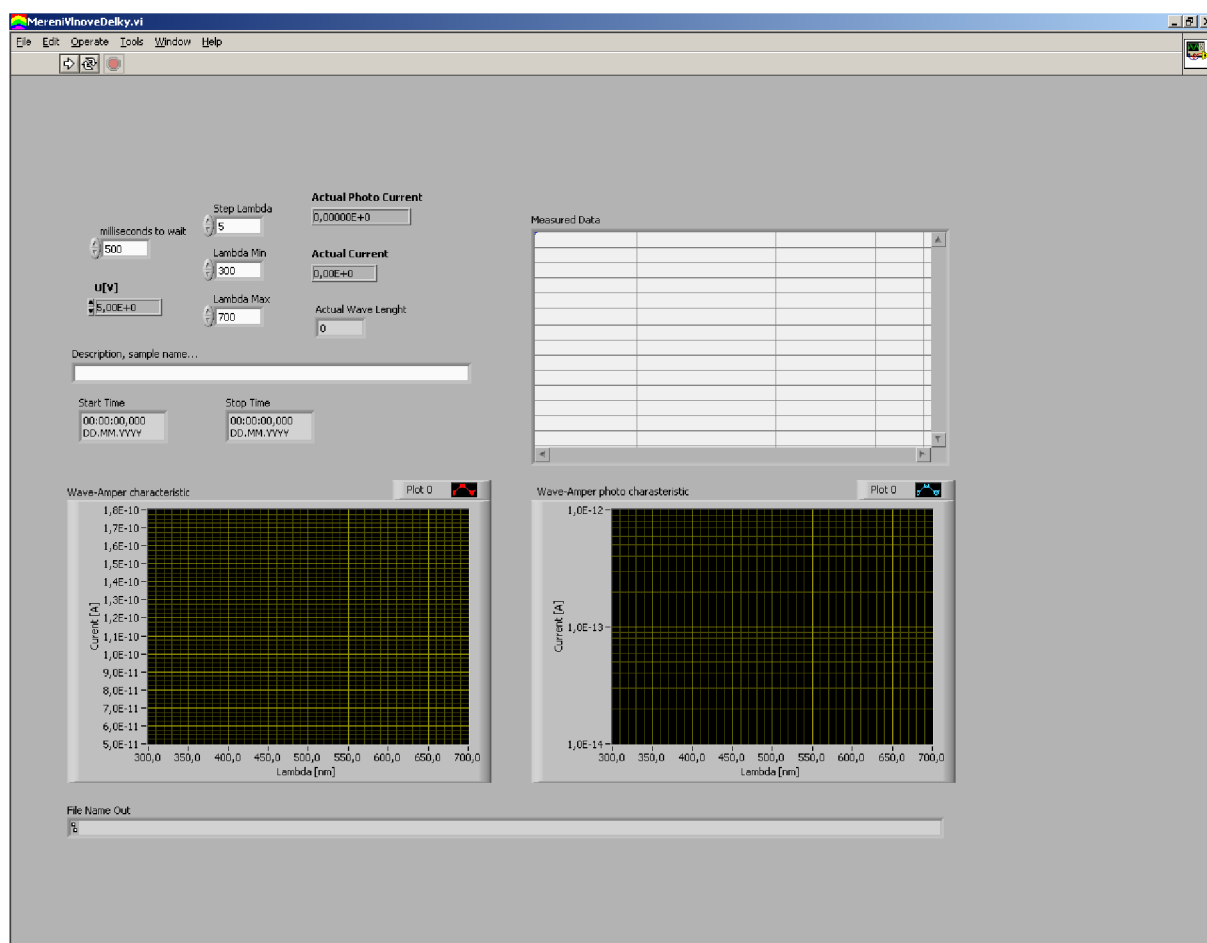
milliseconds to wait je tento krát časová pauza medzi nastavením vlnovej dĺžky a zmeraním príslušného prúdu.

U[V] napätie pri ktorom sa bude spektrálna charakteristika merať.

LambdaMin určuje od akej vlnovej dĺžky začneme merať.

LambdaMax predstavuje najvyššiu, maximálnu hodnotu po ktorú sa bude meranie prevádzať.

Step Lambda krok ktorým budeme zväčšovať vlnovú dĺžku.



Obr. 7 Program merania spektrálnych charakteristík.

8.3.1 Rozsah vstupných hodnôt

U[V]	od -50V do 50V
LambdaMin	od 0nm do 1599nm
LambdaMax	od 1nm do 1600nm
Step Lambda	od 1nm do 100nm
milliseconds to wait	od 500ms do 5000ms

9. Záver

Zhotovené programy sú dostupné na priloženom CD nosiči ako vo forme spúšťacích aplikácií tak vo forme inštalačných balíkov, včítne potrebných šablón a ovládačov (ovládače sú po vytvorení užívateľského účtu prístupné aj na stránkach National Instruments www.ni.com).

Spúšťacie aplikácie – je rýchla možnosť spustenia meracieho programu bez jeho inštalovania. Táto možnosť je ale obmedzená pre užívateľov ktorý majú na svojom PC nainštalovaný program LabView a príslušné ovládače.

Na CD nosiči sa nachádzajú v adresári /programs/

Inštalačný balíček – je najvhodnejšou voľbou pre počítač kde LabView nainštalované nieje, alebo z nejakého dôvodu ani byť nemôže.

Na CD nosiči sa nachádzajú v adresári /install/

Tu je nutné nainštalovať ovládač pre merací prístroj Keithley 6487 ktorý sa nachádza v adresári /drivers/

Šablóny – pre export výsledkov merania je nutné skopírovať na pevný disk do adresára [C:\mereni](#) inak export do exelu nebude možný.

Na CD nosiči sa nachádzajú v adresári /templates/

Zdrojové súbory – sú súbory pomocou ktorých sa dajú už vytvorené programy upravovať a doladovať pomocou prostredia LabView.

Na CD nosiči sa nachádzajú v adresári /source/

Použitá literatura:

- [1] Čeppan M., Lapčík L., Pelikán P.: *Fotochemické procesy*. 1.vyd. Bratislava: Alfa, 1989. 424 s. ISBN 80-05-00049-9
- [2] Baker W. O.: *J. Polymer Sci*, C4 1963
- [3] Schauer F.: *Possibilities and perspective of photovoltaic conversion in polymeric materials*, 2002
- [4] Nunzi J. M.: *Organic photovoltaic materials and device*, C. R. Phusique 3 (2002) 523-542
- [5] Frank H. Šnejdar V.: *Principy a vlastnosti polovodičových součástek*. 1. vyd. 488 s. SNTL 1976, Typové číslo L26-B3-IV-41/52169
- [6] Borg J., Musil V. *Elektronika*, VUT Brno, 1988, ISBN 55-620/1-88
- [7] Petrisch K.: *Organic Solar Cell Architectures*, PhD Thesis, University of Cambridge, 2000
- [8] National Instruments, [online], National Instruments Corporation
URL: <http://www.ni.com>

