



# Óbudai Egyetem

## Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar

### Mikroelektronikai és Technológia Intézet

#### Passzív áramkörök Laboratóriumi gyakorlatok

#### Mérési útmutató

# Világítódiódák vizsgálata

Kiadás dátuma: 2018. 02. 26.

## 1. Áttekintés

A foglalkozás során különböző világítódiódák elektromos és foto-elektromos jellemzőit mérjük, majd a mérési adatok felhasználásával meghatározzuk az egyes eszközök félvezető-anyagának tiltott sáv értékét és ennek alapján az aktív réteg anyagi összetételét.

A számítások bemenő adatai: a méréssel meghatározott, nyitóirányú áram-feszültség karakterisztika, valamint egy megfelelően kiválasztott munkapontban a kibocsájtott fénysugárzás spektrális intenzitás-eloszlás görbéje. Az előbbieket segítségével meghatározott tiltott sáv érték és irodalmi adatok alapján fogjuk a diódák anyagösszetételét kiszámítani.

### 1.1. pn dióda nyitóirányú áram-feszültség karakterisztikája

A pn átmeneten átfolyó áram feszültséget ejt a valós – teljes – eszközszerkezet soros ellenállásán ( $R_s$ ). Így a diódán mérhető feszültség megoszlik a pn átmenet és a soros ellenállás között. A dióda nagyáramú tartományában – ahol az áram-feszültség függvény már lényegében lineáris kapcsolatot mutat – a mért áram és feszültség adatokból a soros ellenállás az  $U(I)$  függvény meredekségeként meghatározható.

A soros ellenállás ismeretében, azt állandó értékűnek tekintve, a pn átmenet áram-feszültség karakterisztikája meghatározható:  $U_{pn} = U_{mért} - R_s I_{dióda}$  lineáris összefüggés szerint.

Az ideális dióda egyenlete szerint, ha a nyitóirányú diódaáram ( $I_{dióda}$  [A]) jelentősen meghaladja a pn átmenet záróáramának ( $I_0$  [A]) értékét,  $I_{dióda} \gg I_0$ , a diódaegyenlet az  $I_{dióda} = I_0 \exp\left(\frac{qU_{pn}}{kT}\right)$  formára egyszerűsödik ( $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  [As] az elemi töltés,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  [VAs/K] a Boltzman állandó,  $T$ [K] az abszolút hőmérséklet).

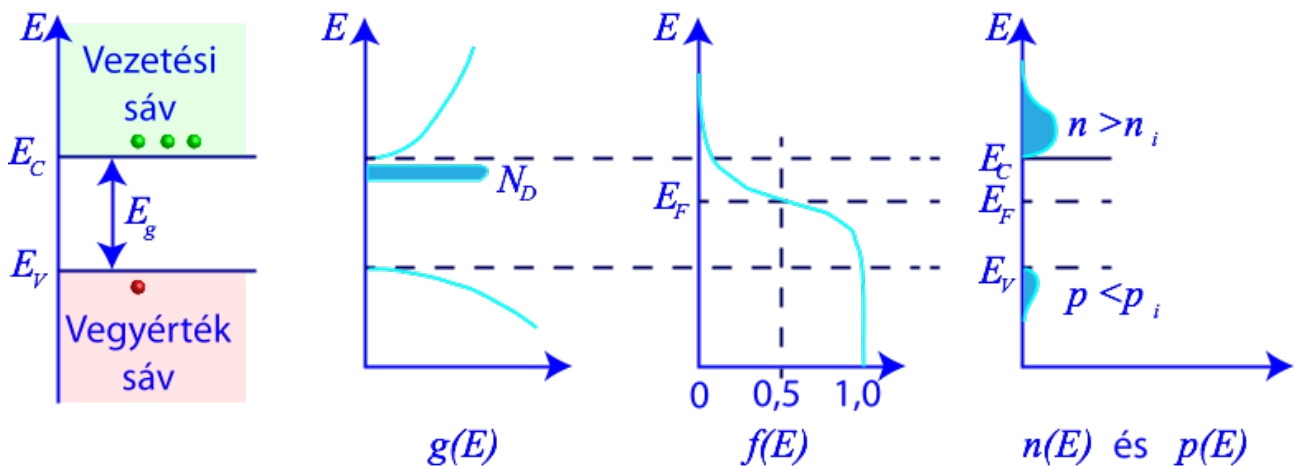
Figyelembe véve a záróirányú áramnak a tiltott sáv ( $E_g$  [eV]) értékétől való függését:  $I_0 = I'_0 \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right)$ , a pn átmenet és így a dióda árama  $I_{dióda} = I'_0 \exp\left(\frac{qU_{pn} - E_g}{kT}\right)$  formában fejezhető ki ( $I'_0$  egy áramdimenziójú, hőmérsékletfüggő paraméter). Az utóbbi kifejezés jelentősége, hogy azt  $U_{pn}(I_{dióda})$  formára hozva lehetőséget ad a tiltott sáv energiaértékének becslésére.

A egyenlet logaritmikus formáját  $U_{pn} = U_T \ln(I_{dióda}) - U_T \ln(I'_0) + \frac{E_g}{q}$  megvizsgálva láthatjuk, hogy a feszültségtengelyen a tiltott sáv feszültségben kifejezett értékét metszi ki, feltéve, hogy az  $U_T \ln(I'_0)$  érték megfelelően kicsiny ( $U_T = \frac{kT}{q}$  a jól ismert termikus feszültség, ez megközelítőleg 26 mV szobahőmérsékleten).

## 1.2. A világitódióda fényének spektrális eloszlása

A világitódiódák anyaga úgynevezett direkt sávú félvezető anyag. Az ilyen félvezetőanyagokat az jellemzi, hogy a vezetési sávjukban levő elektronok közvetlenül, az atomráccsal való ütközés nélkül, képesek a vegyértéksávban tartózkodó lyukakkal rekombinálnodni. Ebből következik, hogy a rekombináció során leadandó energia sugárzás – megfelelő tiltott sáv szélesség esetén fénysugárzás – formájában távozik az anyagból.

A kisugárzott fény hullámhosszát a rekombináció során keletkezett foton energiája határozza meg az Einstein-féle összefüggésnek megfelelően:  $\lambda = hc/E_{foton}$ , ahol  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  [m<sup>2</sup>kg/s] a Planck állandót,  $c = 3 \cdot 10^9$  [m/s] a fénysebességet jelöli. Az állandók értékeit behelyettesítve az összefüggés a következő formára egyszerűsödik:  $\lambda$  [nm] = 1240/ $E_{foton}$  [eV].

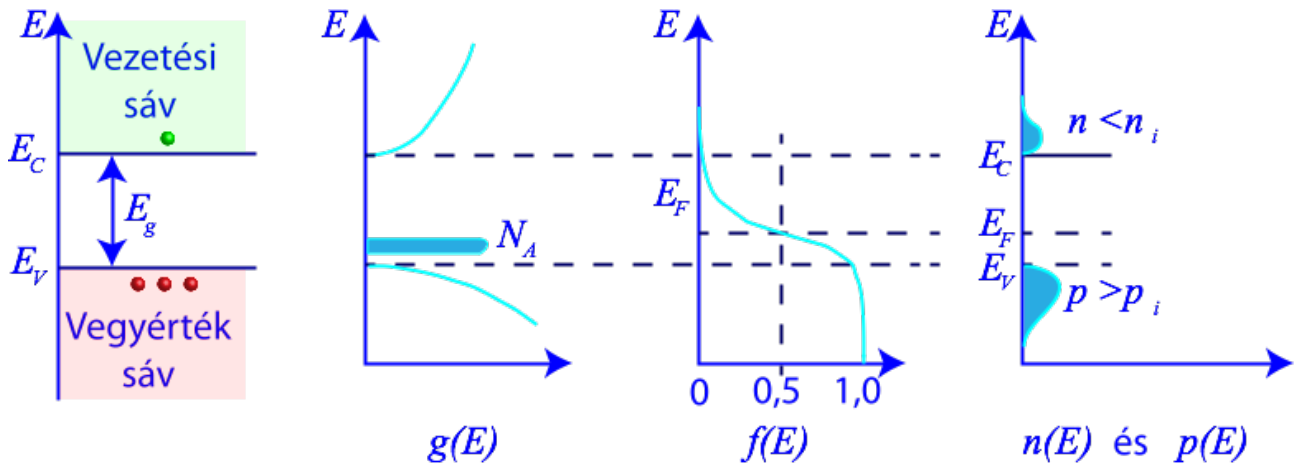


1. ábra n-típusú félvezető sáv szerkezete, állapotsűrűsége, az elektronok betöltési valószínűsége és a töltéshordozók energia szerinti eloszlása

A félvezető anyagban a mozgóképes elektronok energiája a vezetési sáv minimuma felett van egy kevéssel – lásd 1. ábra – (a legtöbb elektron az  $E_{vezetési\ sáv} + \eta \frac{qU_T}{2}$  energia körüli értékkel

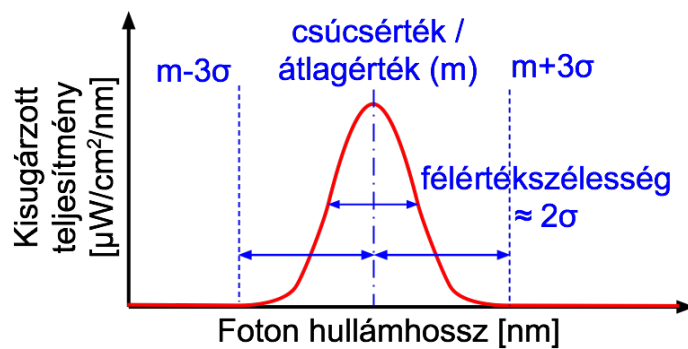
rendelkezik, ahol  $U_T = \frac{kT}{q}$  a jól ismert termikus feszültség, ez megközelítőleg 26 mV szobahőmérsékleten,  $\eta$  az anyagtól függő szorzó).

Hasonlóképpen, a lyukak energia szerint eloszlása a  $E_{vegyérték\ sáv} - \eta \frac{qU_T}{2}$  értéknél mutat maximumot – lásd 2. ábra –.



2. ábra p-típusú félvezető sávszerkezete, állapotsűrűsége, az elektronok betöltési valószínűsége és a töltéshordozók energia szerinti eloszlása

Ebből következik, hogy a kilépő fotonok energiája  $E_{foton} = E_g + \eta q U_T$  érték körül fog szórni. ( $E_g$  a tiltott sáv energiája,  $q$  az elemi töltés.) Ez okozza, hogy a dióda által sugárzott fény nem egy adott hullámhosszal bír, hanem mérhető spektrális eloszlása van. A spektrális eloszlás maximuma az  $E_g + \eta q U_T$  értéket, félértékszélessége a  $\eta q U_T$  értéket adja meg.



3. ábra Kisugárzott teljesítmény spektrális eloszlása

A rendelkezésre álló spektrofotométerrel a sugárzási teljesítmény frekvencia szerinti eloszlását tudjuk meghatározni. Felmerül a kérdés, az így nyert spektrális eloszlás segítségével hogyan lehet a tiltott sáv értékét meghatározni.

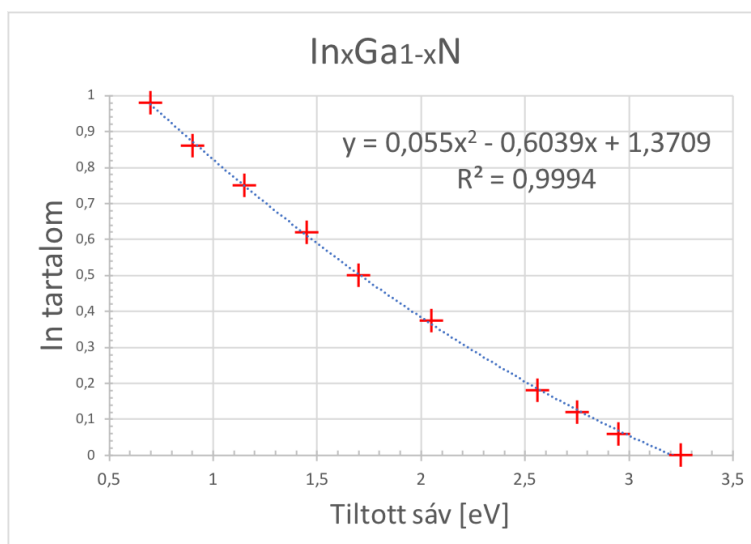
Tegyük fel, hogy a spektrális eloszlás megfelel a normális vagy másképpen Gauss-eloszlásnak (lásd 3. ábra). Ekkor a spektrum csúcsértékét az eloszlás középértékének, a félértékszélességet a szórás ( $\sigma$ ) kétszeresének tekinthetjük. Így megállapítható, hogy a kisugárzott energia 99%-a  $\lambda_{max} =$

$m + 3\sigma$  hullámhossznál rövidebb hullámhosszon távozik. Így a  $\lambda_{max}$  frekvenciából számolható foton energia jól közelíti a tiltott sáv energiaértékét:  $\frac{1240}{\lambda_{max}[\text{nm}]} \cong E_g [\text{eV}]$ .

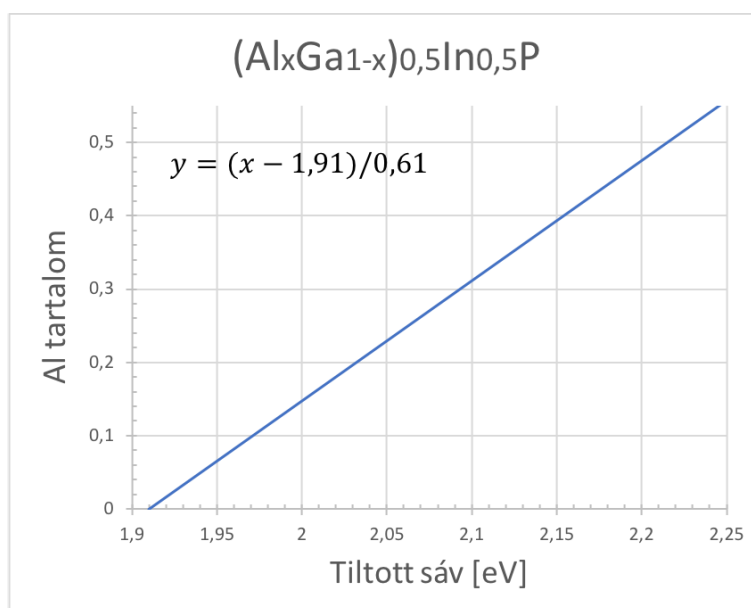
Amennyiben aszimmetrikus eloszlással van dolgunk, felmerülhet, hogy a félértékszélesség helyett a csúcsérték és a felső félérték frekvenciájának különbségét tekintjük a szórás értékének.

### 1.3. Az anyagösszetétel és a tiltott sáv értékének kapcsolata

A tiltott sáv értéke jellemző az anyagokra. A következőkben megadjuk néhány összetett vegyületfélvezető összetétel-tiltott sáv függvényét. Ezek az összefüggések számos kísérleti munka eredményei, mindig csak a megadott anyagrendszerre és összetétel tartományra érvényesek.

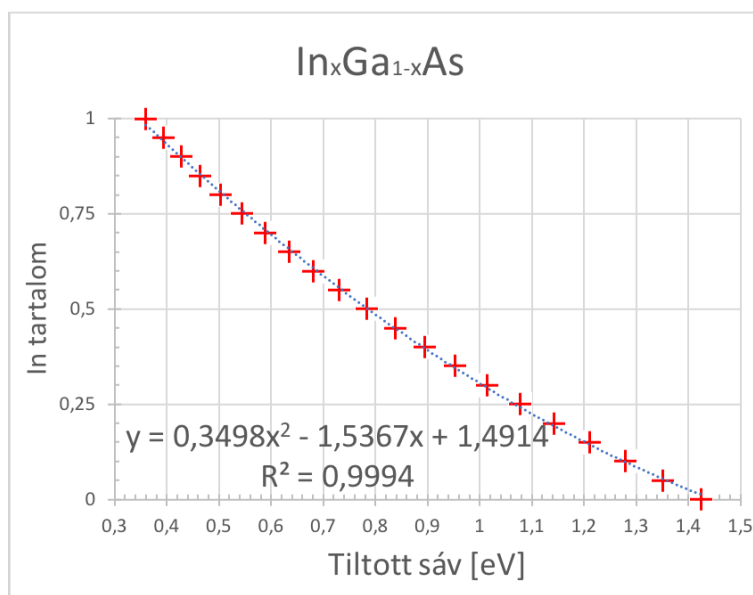


4. ábra „Kék” fényű diódák



5. ábra „Sárgás” fényű diódák





6. ábra Távoli vörös és infra diódák

A grafikonokon feltüntetett egyenletekben „x” áll a tiltott sáv értékének helyén, míg „y” a keresett anyagtartalmat jelzi. Az ennek megfelelően kiszámított tizedestört érték kerül az anyag leíró képletében szereplő „x” helyére.

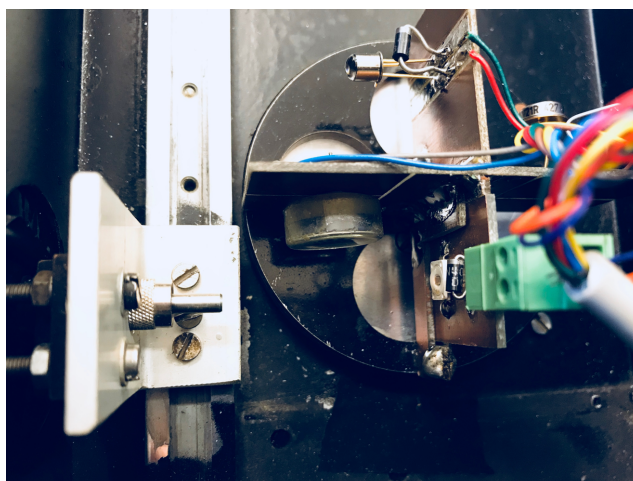
## 2. A mérési összeállítások bemutatása

### 2.1. Az optikai mérőberendezés és a mintabefogó

A világítódiodák befogója, a spektrofotométer és optikai mérőkábele, együttesen egy felújított Spektromom 203 típusú készülék részegységeit alkotják. Ezt a berendezést egészíti ki a beépített PC, amellyel az AvaSpec-ULS2084 spektrofotométert vezéreljük.



7. ábra A Spektromom 203-as berendezés, valamint a mérés során alkalmazott további műszerek



8. ábra A forgatható mintatartó és egy bekötött világitódióda

A vizsgálandó világitódiódákat a forgatható mintatartó üresen álló foglatába kell becsúsztatni és a felszerelt csatlakozó segítségével a berendezés előlapjára kivezetni. A kivezetett csatlakozók kiosztása látható a 7. ábra inzertjén. A mintatartó forgatása a hozzá tartozó rúd megfelelő helyre húzásával/tolásával valósítható meg. Ennek a rúdnak 4 állása van; 1: üres, ekkor az USB spektrométer látja a SPEKTROMOM vizsgálójelét vagy a spektrométer felé néző világitódióda, ekkor a spektrométer a világitódióda jelét látja; 2: fotoellenállás; 3: fototranzisztor; 4: fotodióda.

**Ügyeljünk arra, hogy a mintaváltó rudat egyik végálláson se húzzuk túl!**

## 2.2. A Spektrofotométer bekapcsolása

A világitódióda cseréjének időtartamára a berendezés mintaváltóját állítsuk a 2 pozícióba.

A berendezés tápegysége táplálja a beépített PC- is. Így a következő lépés a tápegység bekapcsolása.



9. ábra A mérőrendszer tápegysége

Ezt követően a fényforrás-választó kapcsolót állítsuk a "0" állásba, mivel a mérés során nem használjuk a beépített fényforrásokat.

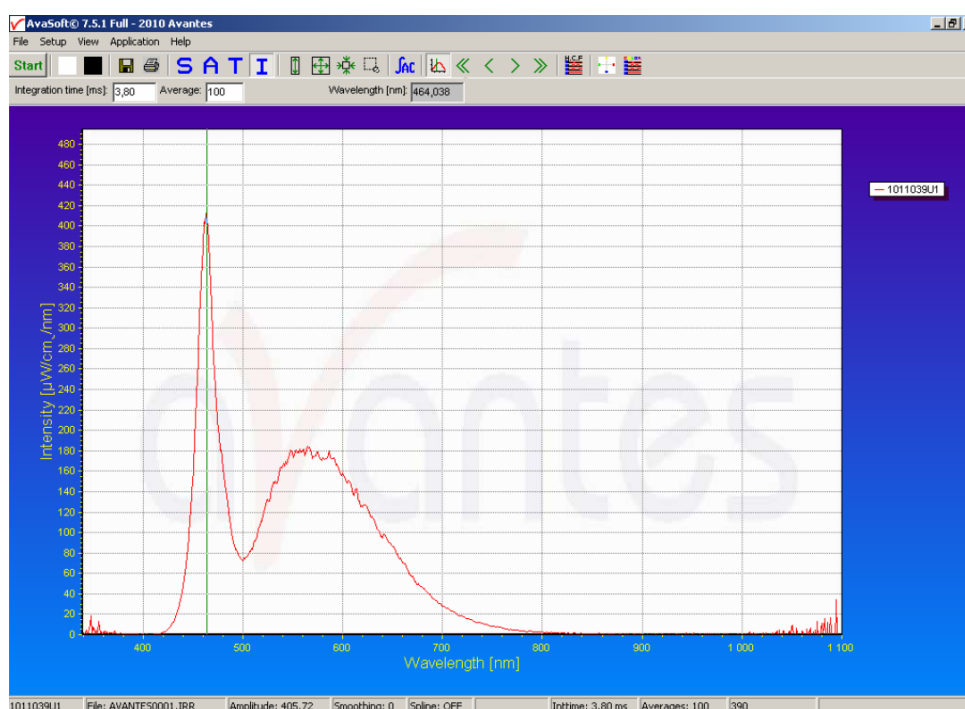
## 2.3. A spektrométer kezelése

Az AvaSpec-ULS2084 spektrofotométer segítségével megmérhetjük az egyes fényforrások spektrális eloszlását. A spektrofotométer kezeléséhez az „AvaSoft 7.5 for USB” programot el kell indítani a PC-n.

Kalibrált állapotban a besugárzott teljesítmény spektrális eloszlását adja meg  $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$  mértékegységben. Ezt az **I** (Irradiance) üzemmódban kapjuk meg. **S** (Scope) módban a függőleges tengelyen csak az érzékelő jele (Count) található; ez azonban kalibrálatlan mérési mód. Ebből kifolyólag a mérés során az **Irradiance** módot használjuk.

A programban a mérést a Start gombra (bal felül) kattintva kezdetjük el. Ez alatt található az integrálási idő (Integration time) beállítása és az átlagolás (Average) beállítása. Az integrálási idő csökkentésével "érzékenyebb" lesz az eszköz. Ezt többnyire a mérés során nem szükséges változtatni, legfeljebb, ha nagyon kis értékeket mérünk. Az átlagolás funkció a zajokat szűri ki, működését ki is próbálhatjuk (ha átírjuk az értékét, utána kattintsunk pl. a másik számra, vagy indítsuk újra a mérést, hogy a hatás látszódjon).

Ezek mellett találhatóak az „**S A T I**” ikonok, amelyekkel a különböző, részben már említett üzemmódok érhetőek el. Az **I** ikontól jobbra lévő ikonnal a függőleges skálát automatikusan beállítja, ezt célszerű használni. Ettől öttel jobbra megtaláljuk a **Cursor** ikont, ezzel egy mérőkurzort tudunk bekapcsolni, amit egérrel mozgathatunk balra-jobbra. A kurzor aktuális hullámhosszát felül a Wavelength [nm] mellett olvashatjuk le, a hozzá tartozó amplitúdót alul pedig az Amplitude mellett (természetesen  $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ -ben).



10. ábra Hidegfehér LED spektruma a kurzorral

Az **Irradiance** mód első indításánál kéri a sötétáram (**Dark Current**) beállítását. Ennek érdekében ki kell kapcsolni a világítódioda táplálását, biztosítva ezzel a teljes sötétet a detektor számára.

A **Start** gomb megnyomását követően kattintsunk a fekete négyzetre (**Save Dark Current**), ezzel lényegében ofszeteljük a detektort.

## 2.4. A mért spektrum Excell fájlba mentése

Az AvaSpec-ULS2084 spektrofotométer segítségével felvett spektrumot az elvégzett mérés után a:

File

Save

Experiment

parancs-szekvenciával lehet az PC asztalára menteni. Az elmentett fájl megnevezése \*.IRR lesz.

Az így mentett mérési adatsort (adatsorokat) EXCELL formátumba konvertálja a program a:

File

Convert graph

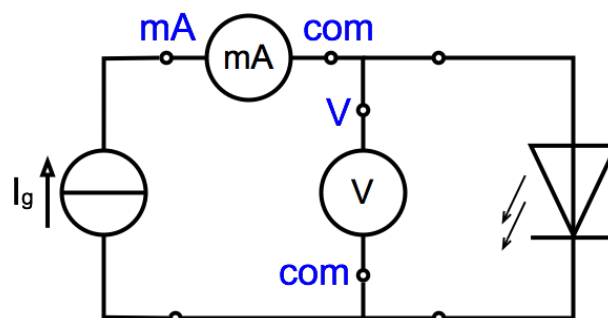
To Excell

Tallózás az elmentett \*.IRR fájlok között.

parancs-szekvenciával.

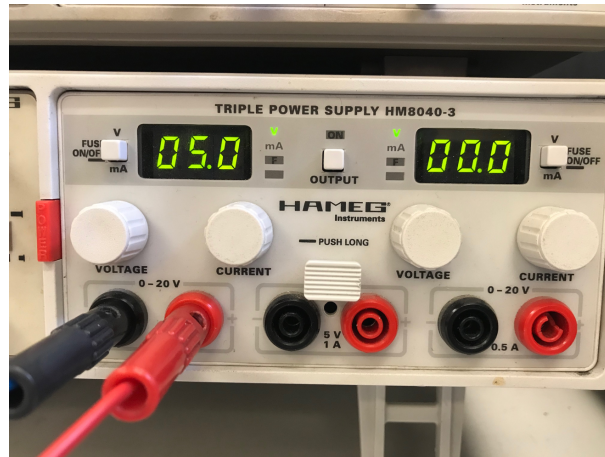
## 2.5. Világítódiodák áram-feszültség karakterisztikájának mérése

A Spektromom berendezés mintatartójában elhelyezett és az ismertetett módon kivezetett világítódioda áram-feszültség karakterisztikáját a 11. ábrán bemutatott kapcsolás szerint mérjük.



11. ábra Világítódioda mérési elrendezése

Az áramgenerátoros mérés megvalósításához állítsuk a tápegység tápfeszültségét 5 V-ra, majd kizárólag az áramkorlát szabályozásával állítsuk be a mérőáramot. A „CURRENT” szabályozó a 12. ábrán látható.



12. ábra A tápegység alkalmazása áramgenerátoros beállításban

A diódafeszültség mérésére célszerű a TRUE RMS multimétert használni. Amennyiben a multiméter kijelzője lekapcsol, a műszert „HOLD” gomb kétszeri megnyomásával lehet újra aktív állapotba hozni.

A mérés során célszerű a legnagyobb áramértéktől indulva csökkenő áramértékek mellett meghatározni a dióda feszültségét. Tanácsos a mért adatokat azonnal Excell fájlban menteni, így jelentős időt lehet megtakarítani.

### 3. Mérési feladatok

A mérés során 6 eltérő világítódioda vizsgálatát kell elvégezni. Az mérések és kiértékelések az egyes diódákon tapasztaltak összehasonlításával fejeződnek be.

#### 3.1. Áram-feszültség karakterisztika

- A 2.1. fejezetnek megfelelően illessze helyére a vizsgált diódát!
- Állítsa a mérésváltót 2 pozícióba!
- A 6. ábrának megfelelően kösse össze a mérést!
- Mérje meg az áram feszültség karakterisztikát,
  - az 1 -5 diódák estén 5, 10, 15, 25, 30, 50, 80, 100, 150, 200, 250, 300 mA mérőárammal,
  - a 6 dióda esetén 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40 mA mérőárammal.
- Határozza meg a dióda soros ellenállását az 1.1. fejezetben leírtak szerint!
- Számítsa ki a pn átmenet feszültség-áram karakterisztikáját!
- Határozza meg a tiltott sáv feszültségértékét!

#### 3.2. Spektrális eloszlás felvétele

- A bekötött világítódioda tápellátását kapcsolja ki!
- Amennyiben még nem tette meg, indítsa el az „AvaSoft 7.5 for USB” programot!
- Állítsa a mintaváltót 1 állásba!
- Indítsa el a spektrum-mérést a „Start” „gombbal”! Mentse el a sötétárami spektrumot!
- Fokozatosan növelje a mérőáramot addig, amíg a spektrum maximuma eléri 1500  $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$  értéket!
- Mentse el és konvertálja EXCELL formátumba a kapott eredményt! (2.4. fejezet)
- Határozza meg a  $\lambda_{max}$  értékét, majd ennek felhasználásával a tiltott sáv energiaértékét!
- Hasonlítsa össze az eredményt az áram-feszültség karakterisztikából származtatott eredménnyel!

#### 3.3. Anyagösszetétel meghatározása

- A spektrális eloszlás alapján meghatározott tiltott sáv értékek és a 1.3. fejezetben közölt összefüggések segítségével határozza meg a diódák anyagösszetételét!
- Vizsgálja meg, van-e kapcsolat az anyagrendszerek és a spektrumok lefutása között!

## 4. Műszerek és kellékek

- Spektromom 203 és spektrofotométer (AvaSpec-ULS2084)
- Hármastápegység (Hameg HM8040)
- 2 db Digitális multiméter (Hameg HM8012, True RMS Meter)
- 6 db banándugós mérővezeték

## 5. Mérési jegyzőkönyv

A mérési jegyzőkönyvet e-mailben kell benyújtani a mérést követő két héten belül (ha az oktató szóban másképp nem kéri).

A jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell:

- A mérést végzők nevét, a mérés helyét, idejét, tárgyát.
- Nyilatkozatot arról, hogy a mérést a nevezett személyek saját maguk végezték és az eredményeket maguk értékelték ki.
- A műszerek jegyzékét.
- Mérési feladatonként külön-külön a mért adatokat, az azokból kiértékelt adatokat, és a karakterisztikák grafikus megjelenítését.
- Mérési feladatonként külön-külön az eredmények értékelését.

**KERÜLJÉK a jegyzőkönyvek másolását! Azonos vagy nagyon hasonló jegyzőkönyvek NEM FOGADHATÓK EL!**

A jegyzőkönyvek meg kell, hogy feleljenek az intézeti honlapon megadott általános követelményeknek.

A mérési eredményeket ne pendrive-on, illetve egyéb adathordozón vigyék haza a mérés befejeztével, hanem e-mailben küldjék el maguknak!