

Polikristályos, monokristályos és festékérzékenyített napelem cellák üresjárási feszültségeinek kísérleti vizsgálata a beeső fény hullámhosszának függvényében

Hörömpöli Balázs¹, Dr. Rácz Ervin²

¹ Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, (villamosmérnök M.Sc. hallgató) 1034 Budapest, Bécsi út 96/A, balazs.horompoli@gmail.com

² Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Villamosenergetikai Intézet, 1034 Budapest, Bécsi út 96/A, racz.ervin@kvk.uni-obuda.hu

Célul tűztük ki, hogy kísérletileg megvizsgáljuk az Óbudai Egyetem Villamosenergetikai Intézetében rendelkezésre álló polikristályos, monokristályos és festékérzékenyített (Dye Sensitized Solar Cell; továbbiakban DSSC) típusú napelem cellák üresjárási feszültségét, egyszerű, könnyen reprodukálható módon, a besugárzó fény spektrumának függvényében. A kísérletekhez a jól definiált hullámhosszú fények előállítására Czerny-Turner elrendezésű monokromátort használtunk. A színes fény útjába céltárgyként napelemet helyeztünk, míg a napelemen eső üresjárási feszültség detektálásához egy digitális multimétert alkalmaztunk. A kísérlet folytatásaként a mérést egy a fény útjába helyezett színszűrővel kiegészítve végeztük el újra, ezzel modellezve és vizsgálva a napelemet bevonó védőanyag hatását.

Kulcsszavak: napelem, monokromátor, üresjárási feszültség, fény spektrum

1 Bevezető

Alexandre Edmond Becquerel francia fizikus 1839-ben demonstrálta először a fotovoltaiikus hatást. Ezt követően csak az 1860-as években foglalkoztak komolyabban a témával, amikor is Willoughby Smith egy véletlen folytán észrevette, hogy az általa használt kristályos szelén fényben másképp viselkedik, mint sötétben. Willoughby kísérleteit valamint publikációját követően, az 1870-es években William Grylls Adams és Richard Evans Day bizonyították be a fényrel megvilágított szilárd anyagban létrejövő elektromos áram áramlását, kizárva minden egyéb (hőmérsékleti, mechanikai, stb.) tényezőt. Ezt a jelenséget fotovoltaiikus elektromosságnak hívták. [1-4]

Az első modern értelemben vett működő napelemet 1883-ban Charles Fritts készítette el. 1905-ben Albert Einstein a Napból érkező energiacsomagokról írt amivel a fotovillamos jelenséget magyarázta. Einstein a fényelektromos hatását kapott Nobel-díjat. Ennek ellenére a napelemek fejlődése mégsem indult meg, mivel egyrészt előállítási költsége irreálisan magas lett volna, másrészt a világháború kitörése hátráltatta a kutatásokat ezen a területen. [1][5]

Einstein magyarázatát követően csak 1946-ban került bejegyzésre az első félvezető alapú napelem Russel Ohl révén. 1954. április 25-én a Bell Laboratories kutatói Daryl Chapin, Calvin Souther Fuller és Gerald Pearson bemutatták az első hatékony, kb. 5-6%-os hatásfokkal rendelkező félvezető napelemet. [2]

A napelemek csak 1958-ban kerültek igazán előtérbe, amikor is az Amerikai Egyesült Államok Haditengerészete felhasználta azokat a Vanguard-1 műhold megépítéséhez. Az 1960-as években a félvezetőipar fejlődésével a napelem előállítási költsége egyre alacsonyabb lett. 1975-re már 1 watt ([W]) villamos teljesítmény előállítása körülbelül 100 USA dollárra csökkent. Az olcsóbb, de kisebb hatásfokú napelemek fejlesztésének igényét tovább erősítette az 1973-as olajválság is. [6]

1970-1980 között sok nagyvállalat úgy döntött, hogy saját napenergia fejlesztésekkel foglalkozó részleget indít, valamint a korábban már említett 1973-as olajválság után számos olajipari vállalat is csatlakozott (napenergiái cégek felvásárlásával foglalkozó vállalkozók felvásárlásával). [2]

2015-re az 1975-ös kb. 100 dollár/W-os napelem árak kicsivel több, mint 1 dollár/W-ra csökkentek [7] [6]. Ennek megfelelően a telepített fotovoltaikus (lásd később PV) rendszerek beépített teljesítménye meghaladta az 50 GW-ot [8]. Az 1980-as évektől számos fajtájú, típusú, struktúrájú – többek között: festékrézkenyített napelem cella (Dye-Sensitized Solar Cell későbbiekben DSSC), vékonyréteg, polimer, többréteges Multy-Quantum-Well (későbbiekben MQW) [9] stb. – napelem jelent meg különböző hatásfokkal, ám széles körben mégis csak a szilícium alapú, kb. 15-17%-os hatásfokkal rendelkező napelemek terjedtek el. Ennek oka a korábban már említett előállítási költségre vezethető vissza.

Több év kísérletezés után 2014-ben a Fraunhofer-Institut ISE, a Soitec, és CEA-Leti az általuk fejlesztett (Concentrator Photovoltaic) CPV MQW típusú napelemen laboratóriumi körülmények között sikeresen mértek egy hatásfok csúcserőtelket, azaz 46%-ot. A cella nagyon nagy hátránya, hogy az előállítása rendkívül költségigényes, ezért elterjedése a közeljövőben nem várható. [10] [11]

A ma ismert és használt napelemek típustól és anyagi tulajdonságaiktól függően a földfelszín éró közvetlen napsugárzás spektrumának csak egy részét képesek elnyelni, hasznosítani. Mindezt jelentősen befolyásolja a cellákat bevonó transzparens színű védőanyag is. Mindezek miatt a napelemek villamos mennyiségei függést mutatnak a megvilágító fény hullámhosszával. Azt is tudjuk, hogy a napelemek villamos termelését a szerkezeti felépítésük is meghatározza.

Ezért célul tűztük ki, hogy egyszerű, könnyen reprodukálható módon Az Óbudai Egyetem Alternatív Energiaforrások Tudásközpont egyik laboratóriumában kísérleti módszerrel megvizsgáljuk az Óbudai Egyetem Villamosenergetikai Intézetében rendelkezésre álló polikristályos, monokristályos és festékérzékenyített (Dye Sensitized Solar Cell; továbbiakban DSSC) típusú napelem cellák üresjárású feszültségét, a besugárzó fény spektrumának függvényében.



A napelem üresjárású feszültség - fényspektrum mérésének bemutatása

1.1 A mérés során használt eszközök

A mérések elvégzéséhez az Óbudai Egyetem Alternatív Energiaforrások Tudásközpontban rendelkezésre álló szilícium alapú mono-, és polikristályos, valamint DSSC típusú napelemeket használtuk fel. A napelemcellák alapparamétereit – amelyek a gyártói csomagoláson megtalálhatóak – valamint fizikai megjelenését, az 1. táblázat tartalmazza. A festékérzékenyített cella adatait a gyártó nem bocsátotta a rendelkezésünkre, így azok ismerete és ez által ismertetése nem lehetséges.

1. táblázat

A monokristályos és polikristályos napelem cellák főbb villamos jellemzői

Napelem típusa:	Monokristályos	Polikristályos
Névleges feszültség [V]:	0.5	5
Névleges áram [mA]:	800	81
Névleges teljesítmény [mW]:	400	405
		

E paraméterek alapján, az üresjárási feszültséget választottuk, hogy megvizsgáljuk a különböző hullámhosszaktól való függését, egyszerűen könnyen reprodukálható módon.

A kísérletekhez egy jól definiált hullámhosszú fény előállítására képes eszközre volt szükség, amely esetünkben az Alternatív Energiaforrások Tudásközpont Spektrális Sugárzó Laboratóriumában rendelkezésre álló Czerny-Turner elrendezésű monokromátor volt, egy széles spektrális tartományú fény előállítására képes xenon fényforrással, valamint a monokromátor vezérlését végző számítógéppel.

Ezen felül a feszültség detektálásához egy MAXWELL MX-25301 típusú digitális multimétert használtunk.

A második mérési sorozat elvégzéséhez egy lila színű optikai szűrővel egészítettük ki a kísérletet, ezzel modellezve és vizsgálva a napelemet bevonó védőanyag hatását.

1.2 A mérések menete

A különböző típusú napelemek üresjárási feszültség–fény spektrum függésének méréséhez az 1. ábrán látható mérési elrendezést használtuk, amelyen az egyes számokkal jelölt elemek a korábban bemutatásra került eszközöket jelölik. Az egyes számú a digitális multiméter, a kettes a fény útjába helyezett napelem helye, a hármas a Czerny-Turner elrendezésű monokromátor, a négyes a széles spektrális tartományú fény előállítására képes xenon fényforrás, és végül az ötös a monokromátor vezérlését, azaz a megadott hullámhossz beállítását vezérlő és végző számítógép.



1.ábra A mérési elrendezés [12]

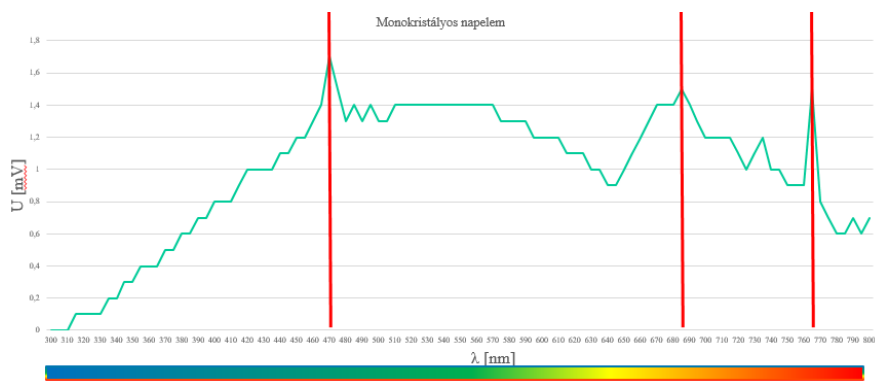
Az első mérési sorozat alatt a monokromátor által előállított, ellenőrzött hullámhosszú fény útjába helyeztük a napelemet. Az egyes napelemek üresjárási feszültségét mértük a digitális multiméterrel, a beeső fény hullámhosszát 300 nm-től 800 nm-ig, 5 nm-es bontásában változtatva. A mért feszültség értékeket Microsoft Excel táblázatba gyűjtöttük. A kísérlet során a monokromátor hullámhosszán kívül semmilyen más paramétert nem változtattunk meg (azaz például a fény intenzitását a mérések ideje alatt állandó értéken tartottuk).

A második mérési sorozatot a korábbival teljesen analóg módon végeztük el annyi módosítással, hogy a napelemcella és a monokromátor közé egy lila színű optikai szűrőt helyeztünk. Így vizsgálva, hogy milyen hatással van a szűrő anyaga a napelem üresjárási feszültség–fényspektrum karakterisztikájára.

2 Mérési eredmények

2.1 Az első mérés eredményei

A fent leírt módon elvégzett mérések eredményeiből képzett diagramok – a monokristályos, polikristályos, és a festékképzékenyített napelem cellákra külön-külön – az alábbi (2. 3. 4.) ábrákon láthatóak rendre egymást követve. A függőleges tengelyről az üresjárási feszültség olvasható le mV-ban kifejezve, míg a vízszintes tengelyen a fényspektrum hullámhossza látható nm-ben. Az ábrákon megfigyelhető az egyes napelem típusok jellegzetes feszültség–fényspektrum karakterisztikái.



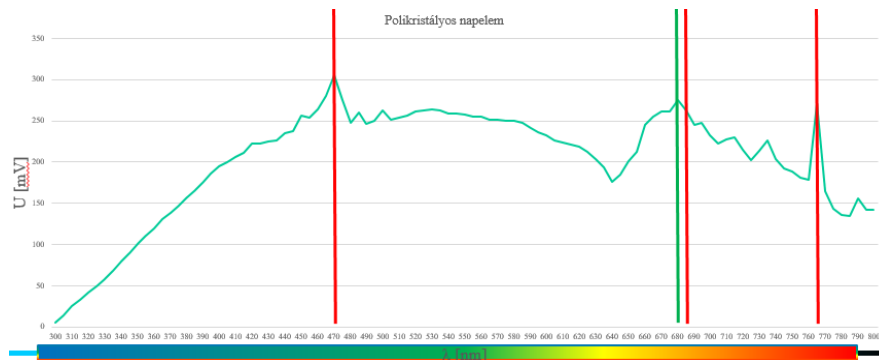
2. ábra Monokristályos napelem üresjárási feszültség–spektrum karakterisztikája

A monokristályos napelem karakterisztikáján (2.ábra) jól megfigyelhető három feszültség csúcs, amelyekre egy egy pirossal jelölt függőleges egyenest

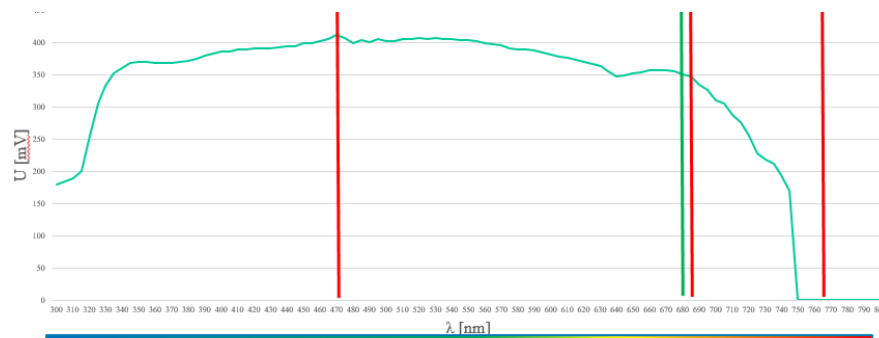
illesztettünk a jobb szemléltetés, illetve a további vizsgálatok érdekében (~470 nm-nél, ~685 nm-nél és 765 nm körül).

Amint az a 3. ábrán látható a megjelölt helyek közül kettő a polikristályos napelem esetén is azonos hullámhosszú helyen, a 470 nm és a 765 nm-nél, megjelenik. Megjegyzendő, hogy a polikristályos napelemnél mért harmadik, azaz 680 nm-nél lévő spektrális csúcs is csak 5nm-el van lejjebb a monokristályos cella esetén megjelölt 685 nm-es maximumnál.

A két szilícium alapú napelemmel szemben a DSSC cella feszültség-spektrum karakterisztikája eltérő, élesebb spektrális csúcsoktól mentes, és a felfutása sokkal meredekebb, amint az a 2. és 3. ábrán látható spektrális éleké. Érdekes viszont, hogy a korábban említett csúcsok közül a 470 nm-nél található maximum itt is megjelenik.



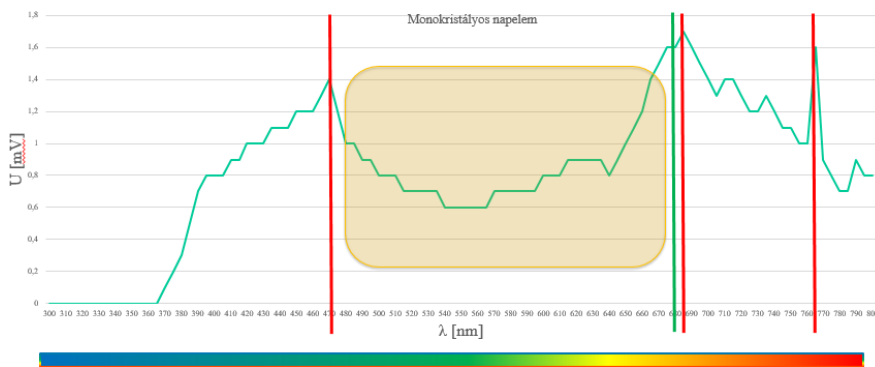
3. ábra Polikristályos napelem üresjárási feszültség-spektrum karakterisztikája



4. ábra A DSSC napelem üresjárási feszültség-spektrum karakterisztikája

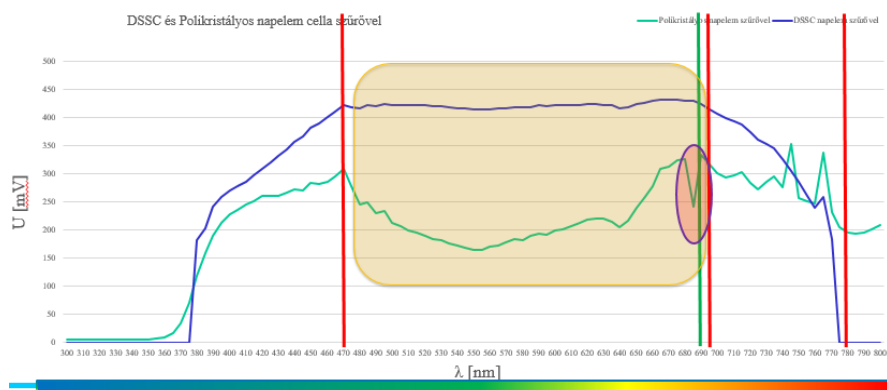
2.2 A második mérés eredményei

A második mérési sorozat alatt csak a mérési elrendezés módosult a korábban bemutatott módon, az optikai szűrő beiktatásával. Minden más beállítás változatlan maradt. Mindez más szavakkal fogalmazva azt jelenti, hogy 300 nm-től 800 nm-ig 5 nm-ként változtattuk a fény spektrumot a monokromátor kimenetén és a cella üresjárású feszültségét Microsoft Excel táblázatokba gyűjtöttük. Az eredményekből a korábbiakkal azonos módon képeztük a napelemcellák üresjárású feszültség–spektrum karakterisztikáját.



5. ábra Monokristályos napelem üresjárású feszültség–spektrum karakterisztikája az optikai szűrővel

Az 5. ábra alapján elmondható, hogy a monokristályos napelem cella üresjárású feszültség–spektrum karakterisztikájának lefutásában a szűrő hatása megfigyelhető és jelentős változást, visszaesést okoz a kb. 480-660 nm-es tartományon (bekeretezett, színnel jelölt tartomány az 5. ábrán). A korábban megfigyelt csúcsok viszont ugyanott megjelennek, mint a szűrő nélküli vizsgálat elvégzésekor, amint azt jelöltük és egyenesekkel kiemeltük (lásd piros függőleges egyenesek az 5. ábrán).



6.ábra A polikristályos és DSSC napelemcellák üresjárási feszültség–spektrum karakterisztikája az optikai szűrővel szűrt fényrel mérve

Az 6. ábrán a polikristályos és DSSC napelem cellák üresjárási feszültség–spektrum karakterisztikája látható. A görbék együttes ábrázolása a szűrő által keltett feszültség visszaesések arányát hivatott reprezentálni, hangsúlyozni. Amint az az alapadatokból és a mérési eredményekből is látható, a monokristályos cella feszültség értékei nagyságrendekkel kisebbek mint a polikristályos és DSSC cellákéi, ezért a három görbe egy diagrammon történő ábrázolása nem releváns.

Az 6. ábra alapján elmondható, hogy a polikristályos napelem esetén – monokristályoshoz hasonlóan – a színszűrő jelentős feszültség visszaesést, csökkenést eredményez a 480-660 nm-es tartományban. Mindemellett a feszültségcsúcs helyek is változatlanok maradtak. A DSSC cella esetén a szűrő hatására ekkora mértékű feszültség csökkenés nem jelentkezett a fenti tartományban.

Mind a három cella esetén megfigyelhető, a ~ 300-365 nm-es tartományban jelentkező erőteljes, tartós visszaesés, aminek a hatása főleg a DSSC cella esetén jelentős, mivel a ~300-365 nm hullámhossz-tartományon a DSSC üresjárási feszültség értékeinek felfutása sokkal markánsabb, erőteljesebb volt.

3. Mérési eredmények összefoglalása, következtetések levonása

A kísérleteink során mért adatok alapján elkészített diagramokról elmondható, hogy a monokristályos és polikristályos napelem karakterisztikák jellege nagyon hasonló azzal az elhanyagolással, hogy a feszültség értékek közötti nagyságrendbeli különbséget figyelmen kívül hagyjuk, és csak a karakterisztikák lefutását vizsgáljuk. Ezzel szemben a DSSC cellán mért adatok alapján rajzolt

karakterisztika sokkal egyenletesebb, egységesebb, spektrális csúcsoktól mentes. A monokristályos cella mérési eredményei alapján meghatározott három üresjárású feszültség csúcserték helye a polikristályos cella esetén egy kivétellel ugyanoda esstek. A három mért üresjárású feszültségi csúcsertékből egy csúcserték helye a DSSC cella esetén is megjelent. Ezen csúcserték helyek a második mérési sorozat esetén is jelen voltak. A jelenség pontos okának meghatározása a későbbiekben tervezett további méréseket és vizsgálatokat igényel.

A két fajta mérés eredményeit egy-egy napelem típusra vizsgálva megállapíthatóvá vált az optikai szűrő hatása, amely a korábbiakban bemutatott hullámhossz-tartományokon jelentős feszültség csökkenést okozott. A DSSC cella esetén e visszaesés nem volt annyira jelentős és jellegzetes, mint a két szilícium alapú napelemnél. E kapott eredmény okának felderítése további vizsgálatok, kísérletek elvégzését igényli.

Érdeemes megfigyelni a feszültség értékek közötti különbséget az egyes napelem fajtáknál. A monokristályos cella esetén az alacsony feszültség érték a konstrukció mivolta miatt várható volt (áramra kihegyezett konstrukció). A polikristályos cella feszültség adatai is a vártak megfelelően alakultak, ugyanakkor ezen értékek összehasonlítva a DSSC-vel jóval alacsonyabbak lettek. Ez a tény azért érdekes, mert a festékérzékenyített napelem cella kisebb, mint 1 cm^2 nagyságú.

4 Kitekintés

A kísérlet folytatása és pontosítása érdekében a mérőrendszer továbbfejlesztése elengedhetetlen. Értve ezalatt egy, a mérés elvégzéséhez megfelelő méretű sötétkamra, valamint egy, a céltárgy és a szűrő beállítását segítő és megvalósító állványzattal megépítését és alkalmazását. Az állványzatnak köszönhetően a céltárgy és a monokromátor kimenetének távolsága pontosabban állíthatóvá válna.

A mérési eredmények pontossága érdekében tervezett megvalósítandó feladatok a jövőben: a céltárgy helyén, a különböző hullámhosszú fény intenzitásának vizsgálata, a színszűrő szűrt hullámhosszainak pontos kimérése egy spektrométer segítségével.

A fenti módosítások elvégzése után végső célunk a kísérletsorozatokat megismételve és nagyobb mintaszámon elvégezve vizsgálni a mérési eredmények alakulását.

5 Irodalomjegyzék

- [1] http://napelemek.blog.hu/2009/11/28/napelem_tortenelem_1_resz
- [2] <http://www.alternativenergia.hu/a-napelem-tortenetenek-attekintese/74541>
- [3] http://www.historycommons.org/entity.jsp?entity=william_grylls_adams_1
- [4] <http://atlantic-cable.com/CablePioneers/Smith/index.htm>
- [5] <http://people.chem.ucsb.edu/feldwinn/darby/greenworks/Readings/space-earth-ch1.pdf>
- [6] https://books.google.hu/books?id=ICFQkM2i_4C&pg=PA128&lpg=PA128&dq=fritts+1%25+effective+1883&source=bl&ots=xfodrJrZGd&sig=ID06FBpFHpUOK40yH7zg3hWeKx0&hl=hu&sa=X&ved=0CEsQ6AEwBmoVChMII9O6_froxgIVwpUsCh2pcAOJ#v=onepage&q&f=false
- [7] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/solar-pv-prices-to-fall-below-1.00-per-watt-by-2020>
- [8] <http://www.pv-tech.org/news/global-solar-installations-to-surpass-60gw-in-2016-with-asia-dominating-sol>
- [9] Nemcsics Ákos fizikai szemle 2006/9 szám 293-299 oldal
- [10] <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-and-media/press-releases/press-releases-2014/new-world-record-for-solar-cell-efficiency-at-46-percent>
- [11] <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.2573/full#pip2573-note-0049>
- [12] Libor János: Szakdolgozat (Napelem cella rövidzárási áramának mérése a megvilágítás hullámhossz-változásának függvényében), 2014. május, Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Villamosenergetikai Intézet