

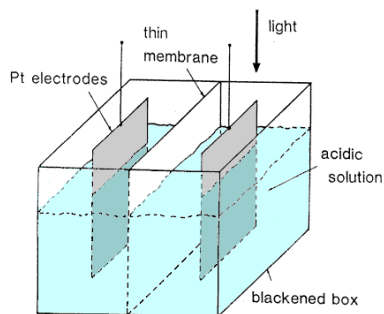
# NAPELEMEK

2010

## A NAPELEMEK FELFEDEZÉSÉNEK RÖVID TÖRTÉNETE

A fejezet főként (1) és (2) alapján készült, ha nem jeleztem máshogy.

A *fotovoltaikus* anyagok fényszerű energiából elektromos áramot állítanak elő. A jelenséget először *Edmond Becquerel* ismertette 1839-ben, mindössze 19 éves korában, amikor rájött, hogy bizonyos anyagokban elektromos töltésáramlás indul meg fény hatására. (3) A legjobb eredményeket ultraibolya és kék fény használata mellett érte el AgCl illetve AgBr bevonatú platina elektródák használatával. (4)



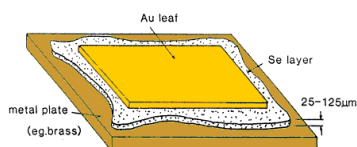
Becquerel kísérleti elrendezése

Az 1860-as években *Willoughby Smith* tengeralatti felhasználására készülő kábeleken, kristályos szelénrel való kísérletei közben figyelt fel arra, hogy a szelén máshogy vezeti az áramot világosban, mint sötétben, ez a fotokonduktivitás jelensége.

Az 1870-es években *Heinrich Hertz* kísérletezett a szelénrel, és az általa készített fotovoltaiikus cellák, nagyjából 1-2%-os hatásfokkal működtek. Az első igazi napelemet *Charles Fritts* készítette, aki egy táblára finom rétegben szelént vitt fel, amit aranyfilmmel vont be. 1885-öt írtak ekkor. Ez már folyamatosan tudott áramot termelni.

*Albert Einstein* 1905-ben tudományos körökben meglepetés keltő tanulmányában tisztázta a jelenség fizikai hátterét. A napelemek elterjedésére azonban még várni kellett, ugyanis a szelén mellett, hogy kis hatásfokot tett csak lehetővé, meglehetősen drága volt, ráadásul gyorsan veszített is teljesítményéből. (1)

Hosszabb kihagyás után 1954-ben a *Bell Laboratories* mérnökei az 1940-ben Jan Czochralski által kikísérletezett tömb szilícium előállításí módszerre támaszkodva állítottak elő olyan napelemeket, amik már 6%-os hatásfokkal üzemeltek. (3)



A Charles Fritts-féle napelem

Elsőként szilícium alapú tranzisztorokkal végzett kísérletek során *Calvin Fuller* és *Gerald Pearson* figyeltek fel arra, hogy galliummal valamint lítiummal szennyezett szilícium találkozásakor állandó elektromos mező jön létre. Ez ösztönözte a cégnél párhuzamos kutatást végző *Darryl Chapint* arra, hogy az addigi szelén alapú napelem kísérleteit szilícium alapokra helyezze. Ezzel az addigi 0.5%-os hatásfokú elektromos energiatermelést már első próbálkozásra is 2% fölé tudta tornászni. Később azonban a szilícium fényvisszaverő tulajdonsága egy időre megakasztotta a kutatásokat, míg nem Fuller sietett segítségére. A szilíciumot arzénal és bórral kezelve sikerült a fényvisszaverődést annyira lecsökkenteni, hogy egy közel 6%-os hatásfokú cellát is elő tudtak állítani. (1)

Napjainkban a szilícium alapú napelemek 20% körüli hatásfokon üzemelnek, de elméleti hatékonyságuk 29%. 2010 októberében egy háromrétegű gallium-arzenid alapú cellával sikerült elérni a 42,3%-es hatékonyságot. A legújabb kutatásokról várják a 60%-os küszöb átlépését. (5) Újfajta anyagokkal pl. szerves félvezetőkkel végzett kutatásokról várják a napelemek felhasználási területeinek kiszélesítését.

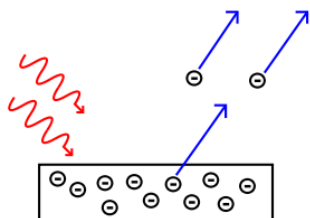
## A JELENSÉG MAGYARÁZATA

A *fotoelektromos hatás* (*fotoeffektus*, *fényelektromos jelenség*) egy küszöbszintnél nagyobb frekvenciájú elektromágneses sugárzás (például látható fény vagy ultraibolya sugárzás) által egy anyag (főleg fém) felszínéből elektronok kiválása. (6) A XIX.

század tudósai hosszan töprengtek a jelenség fölött, ezt azonban csak Albert Einsteinnek sikerült megmagyaráznia, a fent már említett 1905-ös tanulmányában. (7)

Mindaddig a fény viselkedését a hullámokéhoz hasonlóan képzték el. A fotoelektromos hatás azonban sehogy sem illeszkedett ebbe a rendszerbe. Ugyanis:

1. A fénnel megvilágított fémlemezről kisugárzott elektronok száma függ a megvilágító fény erősségétől (minél erősebb fényt használunk, annál nagyobb).
2. A kibocsátott elektronok sebessége (energiája) annál nagyobb, minél nagyobb a fény frekvenciája. Ez nem függ a fény intenzitásától.
3. A fény frekvenciájának el kell érnie egy küszöböt, az alatt a jelenség nem indul be, a fényintenzitástól függetlenül.



Fotoelektromos hatás, a fotonok energiájukat elektronoknak adják át, azok pedig kiszakadnak az anyagból.

Ha a fény valóban hullámként viselkedne, akkor nemcsak a kibocsátott elektronok száma, hanem energiája is függene a megvilágító fény intenzitásától. Az elvárások tehát nem estek egybe a megfigyelésekkel, gyanítható volt, hogy itt valami új dolog van a háttérben.

Einstein javaslata az volt, hogy a fényre, mint részecskék folyamára gondoljanak. (Ma ezeket a „részecskéket” fotonoknak nevezzük). A fotonok a fémbe levő elektronoknak átadják energiájukat, így azok kiszakadhatnak az anyagból.

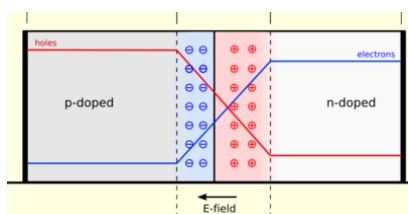
Az azóta jól ismert képlet szerint a fotonok energiája, a fény frekvenciájával arányos, ahol az arányossági tényező, a Planck-állandó:  $E = h\nu$

A fény intenzitásának növelésével csak a fotonok száma nő, energiájuk nem változik, így a kilépő elektronok energiája sem kell, hogy nagyobb legyen. A nagyobb frekvenciájú fényben levő fotonoknak viszont az energiája is nagyobb, így több energiát adnak a gerjesztett elektronoknak. Ez a két megállapítás magyarázza a jelenség első két pontját. A harmadik pont pedig azt jelenti, hogy a kötött elektronnak bizonyos minimális energiára van szüksége ahhoz, hogy szabaddá válhasson. Mivel az elektron az atomban nem vehet fel tetszőleges energiaszintet, a szabaddá válásához egy elég nagy energiájú fotonról kell energiát kapnia, nem gyűjtögetheti össze tetszőlegesen kicsi adagokban több fotonról.

Egész pontosan a  $h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2}mv^2$  képlet alapján úgy okoskodhatunk, hogy a belépő foton energiája egyrészt az elektron felszabadítására fordítódik, a maradék pedig az elektron mozgási energiája lesz. A képletben  $\nu_0$  az a bizonyos határfrekvencia, ami a jelenség beindulásához szükséges (6).

Einstein 1921-ben felfedezésért és a jelenség matematikai tisztázásáért Nobel-díjat is kapott.

A félvezetők a fotoelektromos hatásra épülve mutatják a *fotovoltaikus* jelenséget. A fotonok a félvezető atomjainak vegyértékelektronjait gerjesztik úgy, hogy azok átlépjenek a vegyértéksávból a vezetési sávba. A gerjesztéshez szükséges energia az anyagra jellemző tiltott sáv energiájával egyenlő. Azután, hogy egy elektron a vezetési sávba kerül, már részt vehet elektromos áram vezetésében, de ettől még nem alakul ki áram, mert a gerjesztett elektronok haladási iránya véletlenszerű, irányítanunk kell őket valahogy. Ráadásul nagyon hamar befoghatja őket egy olyan pozitív töltésű lyuk, ami egy másik elektron gerjesztésével jött létre (recombination). Az írá-



A p-n átmenet határán kialakuló villamos mező.

nyításra több megoldás is lehetséges, megtehetjük, hogy a félvezetőt villamos erőterbe helyezzük, ezzel hajtva az elektronokat a kívánt irányba. A Fuller és Pearson kapcsán ismertetett különböző módon szennyezett félvezetők párosítása viszont olyan *p-n átmenetet* hoz létre az anyagban, ami önmagában is biztosítja a szükséges villamos mezőt. Napjainkban a napelemek többnyire a p-n átmenetre épülve készülnek.

## FOTOVOLTAIKUS JELENSÉG KICSIBEN

A fotovoltaikus jelenség otthoni körülmények között is előidézhető, mérhető. Réz és réz-oxid fotovoltaikus tulajdonságairól L. O. Grondhal publikált cikket 1932-ben, mi is ezt a jelenséget fogjuk megvizsgálni (8) alapján.

A kísérlethez szükségünk van egy multiméterre, sós vízre és bádogosnál kapható rézlemezre.

A rézlemez két kb. 8x15 cm-es darabra vágjuk, majd az egyiket hevítéssel réz(I)-oxid ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) réteget alakítunk ki. A hevítéshez egy 1500W teljesítményű fűtőszkört (rezsó) használunk. A hevítés során, a lemezen réz(II)-oxid ( $\text{CuO}$ ) bevonat is keletkezik, ezt lassú hűtés után könnyen letörölhetjük.

A két lemezt sós vizes elektrolitos oldatba merítjük, és a Napra tesszük. Multiméterrel mérjük a lemezek közötti feszültséget, illetve áramerősséget.

Összességében négy különböző alkalommal, és több elrendezésben is sikerült reprodukálni a jelenséget, és minden alkalommal nagyon szépen látszott, ahogy a berendezést letakarva csökken a feszültség, ill. az áramerősség. Azonban a konkrét számértékekkel gondjaim voltak.

Elsősorban az volt zavaró, hogy már a tiszta víz két pontja között is tudtam valamikor feszültséget mérni. Ezt talán a vízben kavargó ionoknak lehet betudni.

Próbáltam a vizet kicserélni, kevesebb sóval, só nélkül, több sóval, stb. de ettől a kis feszültségtől nem tudtam teljesen megszabadulni. Próbáltam desztillált vizet venni, de nem találtam 3 benzinkúton sem, végül egy olyan desztillált vízzel egyenértékűnek nevezett, kémiailag teljesen só-mentesített víz mellett döntöttem, aminek a vezetése papíron  $20\mu\text{S}$ -nél kisebb volt. (Bár azt nem adták meg, hogy ezt pontosan hogyan lehetne kimutatni, én ennél jóval nagyobbát mértem.) Sajnos ez a víz is produkálta a mérhető feszültséget már akkor is, amikor tiszta pohárba öntöttem és a feszültségmérőt közvetlenül a víz két pontjára helyeztem.

Végül, mindent nulláról újrakezdve, most már számokkal is alá tudom támasztani az eredményeket.

Az első elrendezésben két rézlemez használtam a vízhez háromkanálnyi sót adagolva. Ezután az egyik lemezt  $\text{Cu}_2\text{O}$ -vá alakítottam és visszahelyeztem az oldatba.

	feszültség	áramerősség
CU-CU elektródák	<10mV	-0.017mA
CU- $\text{Cu}_2\text{O}$ Napon	40,6mV	0,22mA
CU- $\text{Cu}_2\text{O}$ sötétben	0,86mV	0,035mA



A hevítés és hűtés utáni állapot. A sötét réz(II)-oxid alatt itt-ott látszik a réz(I)-oxid is.



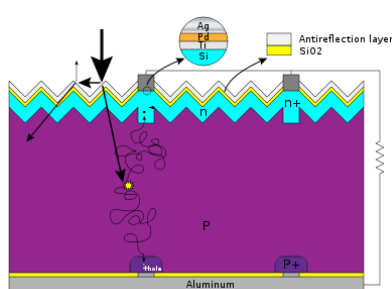
Kísérleti elrendezés: a negatív pólus kapcsolódik a réz(I)-oxid lemezre.



Czochralski-eljárással készült szilícium tömb



Olvasztással és hűtéssel készített multikristályos szilícium tömb



Egy szilícium napelem cella rétegréndeje, felülről lefelé: negatív érintkezők, antireflexiós réteg, elektron emissziós n-réteg, elektron donor p-réteg, alumínium réteg (pozitív érintkező).

*Megjegyzés:* az áramerősséget és a feszültséget nem tudtam azonos időpillanatban mérni. Az áramerősség méréséhez még sorba kötöttem a műszert egy  $1\Omega$  ellenállással is a biztonság kedvéért.

A számokból is látszik, hogy valóban nagy a változás a Napra helyezett és a sötétben történt mérés között, valamint a Napon jobb értékeket mérünk, mint a két rézlemez elrendezésben. Mindezek alátámasztják a jelenség létezését.

Mindössze kb.  $9\mu W$  teljesítményt tudtam kisajtolni a dologból, ami nem nevezhető soknak. Egy izzólámpát sem lehet vele felvillantani.

## NAPELEM KÉSZÍTÉSÉRE HASZNÁLT ANYAGOK

Ahol nem jeleztem külön ott (5)-et használtam referenciának.

### SZILÍCIUM

Mindmáig a legelterjedtebb anyag. Több formáját is használják: gyakran a Czochralski-eljárással készített *egykristályos* szilíciumot, amit különböző adalékokkal szennyezhetnek is. Nagyjából 180-240 mikrométer vastag szeletet (*wafer*) vágnak ki belőle. Sajnos az így kapott szilícium keresztmetszete nem szögletes, így nem jól fedi le a négyzetes napelem cellát.

Olvasztott szilíciumot megfelelő ütemezéssel lehűtve, megszilárdítva *multikristályos* anyagot kapunk, aminek az előállítása olcsóbb, viszont napelemek készítésére kevésbé hatékony a szemcsehatárok ugyanis helyi rekombinációs régiókat hoznak létre, blokkolják az elektronok haladási útját. A kisebb anyagvesztés miatt megéri az olvasztott szilíciumot előbb film vastagságúra kinyújtani, és így megszilárdítani, az így kapott szalagnak (*ribbon*) azonban még kisebb a hatékonysága.

Napelem gyártásakor az általában p-típusú (pl. bórral szennyezett) nyers szilícium lemezt n-típusú atomokat (pl. foszfor) tartalmazó légkörben hevítve a szilícium felületén n-típusú réteg alakul ki, ahogy a foszfor beépül a kristályrácsba (Solid state diffusion) (9). Ez további feldolgozás során úgy alakítják át, hogy a lemez aljára fémbevonat kerül, ez a p-szilíciumhoz kapcsolódik, a tetején található egy vékony n-réteg, amire csíkokban fémet visznek fel. A lemez alján és tetején levő fém lesz a napelem cella pozitív és negatív kivezetése.

### VÉKONY FILMEK

#### CADMIUM TELLURID

*Cadmium-tellurid* (CdTe) filmet is használnak napelemek készítésére. Ennek a tiltott sávja (1.5 eV), jól illeszkedik a Napból érkező fotonok frekvencia eloszlásához, és így ár-érték arányban a szilícium versenytársa lett az utóbbi időben. A kadmium használata azonban aggályokat kelt *toxikus* hatása miatt, de normál körülmények között nem szabadul ki a cellából, sőt egy négyzetméter CdTe filmben csak nagyjából annyi a kadmium, mint egy nikkel-kadmium elemben.

#### CIGS

Réz, indium, gallium és szelénből álló vegyület félvezetők, tiltott sávja 1.0eV és 1.7eV közé állítható be a gallium arányának módosításával. Csaknem 20%-os hatásfokot értek el segítségével. Vákuumtechnikai eljárással készül, azonban az

IBM és a Nanosolar a költségek csökkentésének érdekében nem vákuumtechnológiai módszerek kifejlesztésén dolgozik.

### **GALLIUM-ARZENID**

*Gallium-arzenid* az alapja a ma használatos leghatékonyabb megoldásoknak. Gyakran több rétegű (*multijunction*) megoldásokban használják. Ennek lényege, hogy több rétegben visznek fel egymásra olyan félvezetőket, amik a különböző tiltott sávok alapján a Napból érkező fény spektrumának más-más részére reagálnak, így nagyobb részt hasznosítanak belőle. Egy háromrétegű megoldás használhat pl. Gallium-arzenidet (GaAs), Germániumot és Gallium-Indium-foszfidot (GaInP<sub>2</sub>).

Egyrétegű GaAs félvezetővel 25,8%-os hatásfokot sikerült elérni 2008-ban a holland Radboud University Nijmegenben.

Többrétegű GaAs alapú megoldások akár 40%-nál nagyobb hatásfokot is el tudnak érni, de előállításuk nagyon drága, emiatt először az űrtechnikában jelentek meg.

### **SZERVES POLIMER FÉLVEZETŐK**

A viszonylag új technológia organikus polimerek és kisebb organikus molekulák fotovoltaiikus hatásaira épül. Ezek előállítási költsége nagy mennyiségben alacsony, jól alakíthatók, nem károsítják a környezetet, cserébe viszont élettartamuk rövidebb, és kevésbé hatékonyak, mint a nem organikus megoldások.

A polimerekben a fotonok hatására erősen kötött elektron-lyuk párok, *excitonok* jönnek létre. Az excitonok a donorfelület határán szétválhatnak, ahol az elektron a fogadó felület alacsonyabb energiájú vezetési sávjába áramolhat. (10)

## **NAPJAINK KUTATÁSI TERÜLETEI**

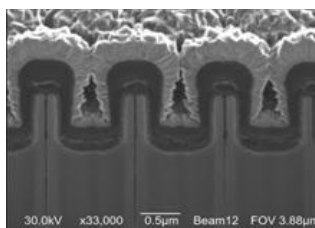
A [www.techreview.com](http://www.techreview.com) cikkei szerint a napenergia munkára fogása napjainkban nagyon népszerű, egyre-másra jelennek meg a kis startup cégek, a napelem technológia fejlesztésére vonatkozó ötleteikkel.

Ezek egy része a mai napelemek tökéletesítésén, a gyártási költségek csökkentésén dolgozik, más cégek/egyetemek viszont egészen új jelenségek segítségével próbálják felpörgetni az ipart.

Olyan egyszerű megoldások is születnek, amik a kereskedelemben kapható napelemek hatékonyságát próbálják javítani azzal, hogy különböző anyagokkal vonják be a napelem felületét ezzel csökkentve pl. a felület tükröződését. 2010 (11)

Mások, szintén a felület módosításával olyan cellákat készítenek, amik ahelyett, hogy délben adnák le a legnagyobb teljesítményt, inkább akkor működnek jól, amikor a fény laposabb szögben érkezik, így naponta kétszer is csúcsra tudják járatni a napelemeket. 2007 (12)

A Caltech kutatói metaanyagokkal kísérleteznek, hogy olyan antireflexiós felületet hozzanak létre, ami képes a több irányból érkező napfényt a napelem aktív területére vezetni. 2010 (13)



*Nanotűskék mikroszkóp felvételen.  
A tűskék magja fém, erre kerül egy amorf szilícium réteg, és egy átlátszó vezető réteg.*

A korábbi Mars expedíciókra kidolgozott technológia megtisztítja a napelemeket a lerakódott homoktól. A módszerben olyan elektromos mezőt hoznak létre, ami megmozgatja az elektromosan töltött porszemcséket. 2010 (14)

Az olcsó, de kevésbé hatékony vékonyfilm napelemek hatékonyságát úgy igyekeznek növelni, hogy a negatív elektróda nanoméretű tűskékkel az anyagba mélyed, így azoknak az elektronoknak egy része, amik eddig energiájukat hő formájában elvesztve visszakerültek a vegyértéksávba, esetleg kijuthatnak a fémes vezetőbe. 2010 (15)

A Lawrence Berkley National Laboratory munkatársai olyan félvezetőkkal kísérleteznek, amikben a vegyérték sáv és a vezetési sáv között egy harmadik sáv is húzódik. Ha sikerrel járnak, ez a sáv mintegy ugródeszkaként funkcionálhat: azok a fotonok is részt vehetnek a folyamatban, amik eddig alacsony energiájuk folytán nem tudták az elektronokat a vezetési sávba juttatni. 2006 (16)

2009-ben a Boston College kutatói nagyon vékony 15 nm vastag napelemet készítettek, ami reményeik szerint arra lesz jó, hogy a magasabb energiájú fotonok által felszabadított elektronok (forró elektronok) még azelőtt elhagyják a félvezetőt, hogy energiájuk nagy részét hőként kisugározzák, majd ismét kötötté válnak. (17)

Érdekes kutatások folynak abban az irányban, hogy hogyan lehetne nagy energiájú fotonokat rábírní arra, hogy több elektront is kiszakítsanak az anyagból. Egy 2009-es cikk (18) szerint vékony (egy DNS molekula átmérőjével összemérhető) grafén csövet villamos erőterbe helyezve, majd a megvilágítva a jelenség kimutatható. Ha a fotonok energiája kétszerese az elektron kiszakításhoz szükséges energiájának, akkor képesek két elektront is kiszakítani az anyagból.

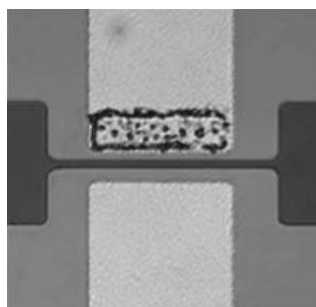
Nanoméretű szilícium kristályok (quantum dots) használatával is sikerült előidézni a jelenséget a National Renewable Energy Laboratory munkatársainak (18), (19). Bár a fent hivatkozott 2009-es cikk szerint ezzel napelemeket egyelőre még nem sikerült készíteni, az elektronok „rövid élete miatt” az idén megjelent (19) már arról ad számot, hogy a University of Wyoming munkatársainak a nanokristályok felületének módosításával sikerült elérni, hogy a felszabadult elektronok kikerüljenek a félvezetőből.

A nagy energiájú fotonok munkára fogásától remélik a 40%-os hatásfok meghaladását, ami már önmagában is eléri, ha nem körözi le a mai legjobb rendszereket. Ráadásul a hagyományos teljesítményfokozó megoldásokkal kombinálva (a fény fókuszlása, csapdába ejtése) a hatékonyság akár 60% fölé mehet.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az elmúlt csaknem kétszáz év alatt sikerült eljutnunk a jelenség felismerésétől és megértésétől az energiatermelésre használható berendezésekig, ezek az űrtechnológiából mára már a háztartásokba is beszivárogtak. Egyre olcsóbb és egyre hatékonyabb eszközök kaphatók, és a fejlesztések nem állnak meg.

A ma még túlsúlyban levő szilícium alapú megoldásokkal más, vegyület alapú napelemek kelnek versenyre, feljövőben vannak az organikus polimereket használó



*Középen grafén cső, elektródákhoz csatolva.*



rendszerek is, a grafén csöves valamint quantum dot alapú kísérletek pedig további távlatokat nyitnak meg előttünk.

Reményem szerint a fejlődés abba az irányba mutat, hogy a napelemek megtérülési költsége a mai 10-15 évnél lényegesen rövidebb lesz, így vonzóbb lehetőség lesz a megújuló energiafelhasználás számára. Sok helyen, így hazánkban is a napenergiát elsősorban napkollektoros hőtermelésre, melegvíz előállításra használják, a jövőben talán ez is elmozdulhat a villamosenergia termelés felé.

## FORRÁSOK

1. A napelem története - 1. rész. *Napelemek blog*. [Online] 2009.  
[http://napelemek.blog.hu/2009/11/28/napelem\\_tortenelem\\_1\\_resz](http://napelemek.blog.hu/2009/11/28/napelem_tortenelem_1_resz).
2. A napelem története - 2. rész. *Napelemek blog*. [Online] 2010.  
[http://napelemek.blog.hu/2010/01/23/napelem\\_tortenelem\\_2\\_resz](http://napelemek.blog.hu/2010/01/23/napelem_tortenelem_2_resz).
3. **Bellis, Mary**. Sun Energy - Photovoltaics and Photovoltaic Systems. [Online]  
<http://inventors.about.com/od/pstartinventions/a/Photovoltaics.htm>.
4. **Christiana Honsberg, Stuart Bowden**. First Photovoltaic Devices. [Online]  
<http://www.pveducation.org/pvcdrom/manufacturing/first-photovoltaic-devices>.
5. Solar cell. *Wikipedia*. [Online] [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell).
6. Fényelektromos jelenség. *Wikipedia*. [Online]  
<http://hu.wikipedia.org/wiki/Fotoeffektus>.
7. **Thomas Haberkern, N Deepak**. Einstein Demystifies Photoelectric Effect. *Grains of Mystique*. [Online] 2002. <http://www.faqs.org/docs/qp/chap03.html#fn2>.
8. Make a solar cell in your kitchen . *World Watts* . [Online]  
[http://worldwatts.com/homemade\\_solar\\_cell/homemade\\_solar\\_cell.html](http://worldwatts.com/homemade_solar_cell/homemade_solar_cell.html) .
9. **Christiana Honsberg, Stuart Bowden**. Solid State Diffusion. [Online]  
<http://www.pveducation.org/pvcdrom/manufacturing/solid-state-diffusion>.
10. Organic Solar Cell. *Wikipedia*. [Online]  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Organic\\_solar\\_cell](http://en.wikipedia.org/wiki/Organic_solar_cell).
11. **Bullis, Kevin**. A Sticker Makes Solar Panels Work Better. *Technology Review*. [Online] 2010. <http://www.technologyreview.com/energy/25963/?mod=related>.
12. **Talbot, David**. Solar Cells That Work All Day. *Technology Review*. [Online] 2007.  
<http://www.technologyreview.com/energy/18539/>.
13. **Bourzac, Katherine**. Solar Metamaterials. *Technology Review*. [Online] 2010.  
<http://www.technologyreview.com/energy/25199/>.
14. **Bullis, Kevin**. Self-Cleaning Solar Panels. *Technology Review*. [Online] 2010.  
<http://www.technologyreview.com/energy/26116/?mod=related>.
15. **Bourzac, Katherine**. Nanopillars Boost Solar Efficiency. *Technology Review*. [Online] 2010. <http://www.technologyreview.com/energy/24547/>.



16. **Patel, Prachi.** More Efficient Solar Cells. *Technology Review*. [Online] 2006. <http://www.technologyreview.com/energy/17577/>.
17. **Bullis, Kevin.** Hot Electrons Could Double Solar Power. *Technology Review*. [Online] 2009. <http://www.technologyreview.com/energy/24240/page1/>.
18. **Bourzac, Katherine.** Superefficient Solar from Nanotubes. *Technology Review*. [Online] 2009. <http://www.technologyreview.com/computing/23471/page1/>.
19. **Bullis, Kevin.** Upping the Limit on Solar Cell Efficiency. *Technology Review*. [Online] 2010. <http://www.technologyreview.com/energy/26405/?mod=related>.