

18. Ljetna škola mladih fizičara, Korčula 2002.

FOTOVOLTAIČNE ČELIJE I MALE SOLARNE TEHNOLOGIJE

Dr.sc.Božidar Etlinger

Institut "Ruđer Bošković", Zagreb, Bijenička 54

etlinger@rudjer.irb.hr

Fotovoltaična ćelija je poluvodički element koji vidljivi dio energetskog spektra direktno pretvara u električnu energiju.

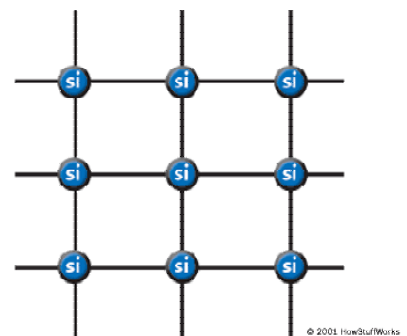
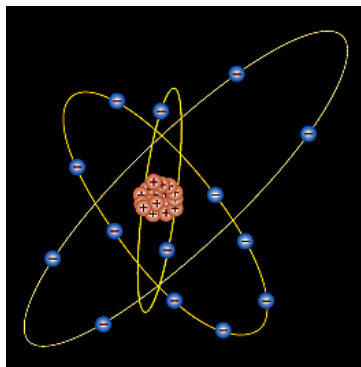
Da bi se pojasnilo kako "radi" fotovoltaična ćelija potrebno je nešto reći o poluvodičima.

Što je to poluvodič?

Materijali se po svojstvu električne provodljivosti dijele na vodiče (uglavnom metali), poluvodiče (Si, Ge, GaAs, GaP...) i izolatore. Poluvodiči su izolatori na temperaturi apsolutne nule, a s porastom temperature eksponencijalno se povećava broj nosilaca naboja koji mogu provoditi električnu struju.

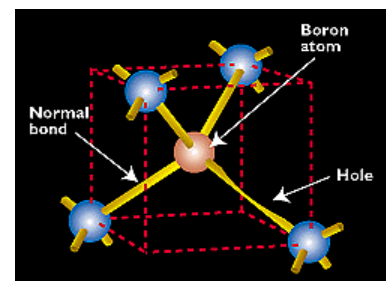
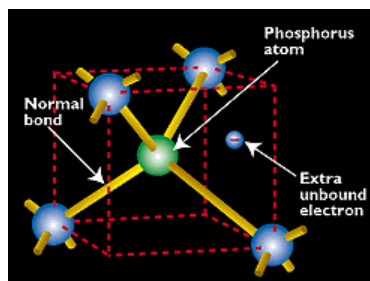
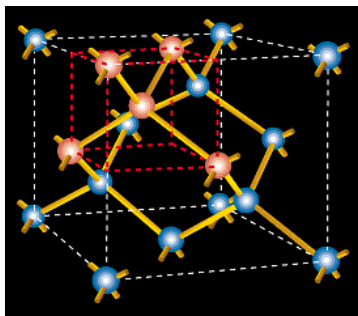
5 B Boron 2.34	6 C Carbon 2.62	7 N Nitrogen 1.251
13 Al Aluminum 2.70	14 Si Silicon 2.33	15 P Phosphorus 1.82
31 Ga Gallium 5.91	32 Ge Germanium 5.32	33 As Arsenic 5.72

©2001 HowStuffWorks



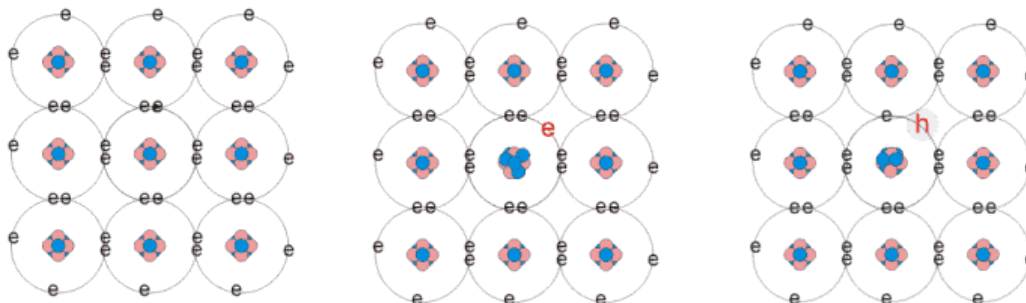
Poluvodiči se s obzirom na vrstu električne provodljivosti dijele u dva tipa: **n** – tip s elektronima i **p** – tip s tzv "šupljinama" (engl."hole") kao osnovnim nosiocima naboja. Najvažniji i najznačajniji poluvodički materijal je silicij (**Si**) i iz njega je proizvedeno daleko najviše (>95%) elektroničkih komponenti: dioda, tranzistora i integriranih krugova ("chip"-ova).

Na primjeru silicija pojasniti ćemo kako se dobiva **n** odnosno **p** – tip poluvodiča. U kristalu



silicija atomi su učvršćeni kovalentnom vezom. Si je element iz IV skupine i u zadnjoj vanjskoj ljusci ima četiri elektrona. Ta četiri elektrona zajedno sa četiri elektrona svojih susjeda, kod kovalentne kemijske veze, čini okruženje od 8 elektrona, a što je uvjet za stabilnu vezu između atoma. Ukoliko se u kristal Si ugradi mala količina (10^{16} do 10^{19} atoma/cm³) nekog od elemenata

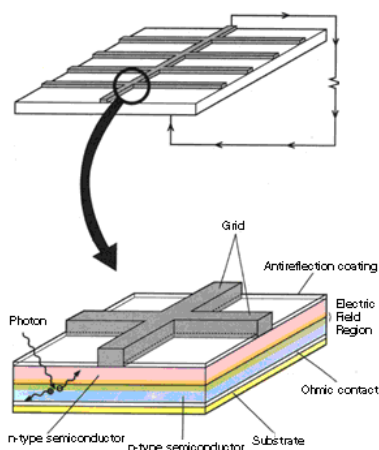
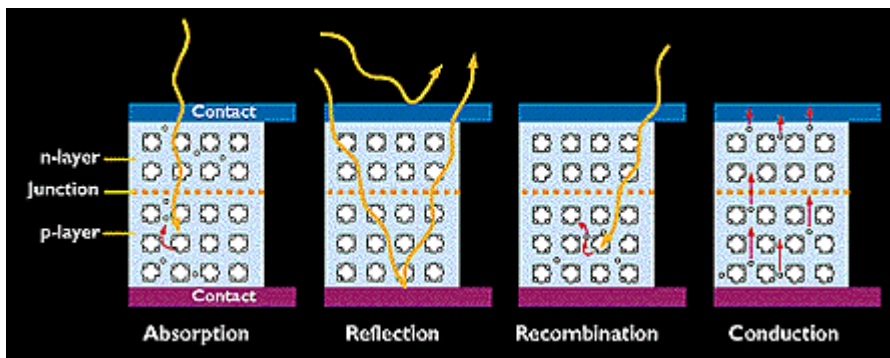
iz V skupine elemenata (na pr. **P** ili **As**) kristalna struktura (cca 10^{23} atoma/cm³) ostaje sačuvana. Atomi iz V skupine se ugrađuju na mjesta Si atoma, ali pritom moraju “otpuštiti” svoj peti elektron



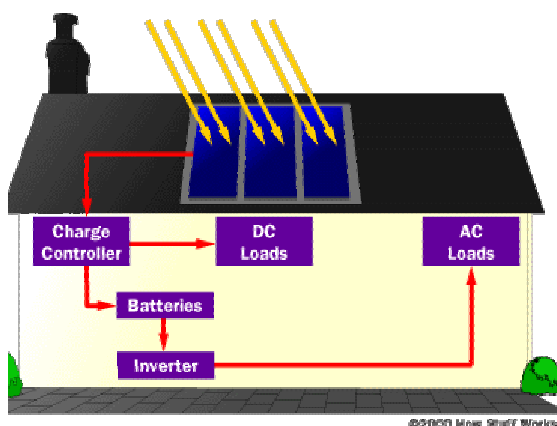
kako bi ostao okružen s 8 atoma (kovalentna veza). Taj otpušteni elektron postaje slobodni nosilac naboja i budući je negativan takav poluvodič se naziva **n – tip**. Isto tako ako se u kristal **Si** ugradi mala količina nekog od elemenata iz II skupine (na pr. **B**), taj se atom ugrađuje na mjesto na mjestu Si atoma. Pri tom mu za konfiguraciju 8 elektrona u okruženju nedostaje jedan elektron, on ga “traži” i ponaša se kao pozitivna čestica. Takva “pozitivna čestica” naziva se “šupljina”, a poluvodič gdje su pozitivne šupljine osnovni nosioci naboja naziva se **p – tip**.

Spoj **p** i **n** poluvodiča predstavlja **diodu**, elektronički element koji propušta struju samo u jednom smjeru i čije je svojstvo osnova svih elektroničkih poluvodičkih sklopova. Posebno iskonstruiran i dizajniran oblik **p – n** spoja, koji omogućuje prostorno padanje svjetla na što veću njegovu površinu, pri čemu svjetlost (fotoni) ulaskom u materijal **p – n** spoja prijenosom svoje energije “oslobađaju” slobodne nosioce naboja elektrone i šupljine, naziva se **fotovoltaična ćelija**. Napon na stranama **p – n** spoja (tzv. fotovoltaični napon) može se povezati s potrošačima pri čemu će se stvarati naboj i teći struja (tzv. fotostruja) sve dok postoji upadni fluks svjetlosti. Efikasnost (η) fotovoltaične ćelije je omjer dobivene i upadne energije.

Fotovoltaični efekt prvi je 1839. opisao francuski fizičar Becquerel. On je našao da određeni materijali daju male električne struje kad se izlože svjetlu. 1870 Hertz je proučavajući selen (Se) uspio ostvariti pretvorbu svjetla u elektricitet sa 1% do 2%. Prve veće



efikasnosti započele su tek nakon 1950. kad je Czochralski uspio proizvesti čisti (>99,99%) silicij, koji postaje i ostaje glavni i najznačajniji poluvodički materijal. Prve praktične ćelija



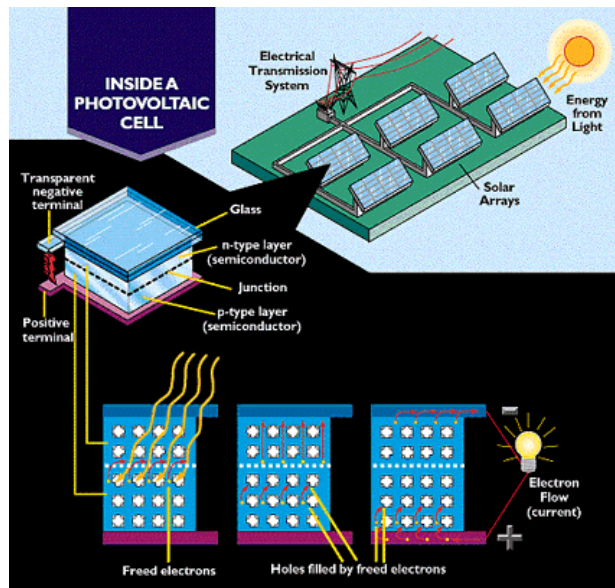
razvijene su 1954. u Bell laboratoriju.

Po načinu izrade fotovoltaične ćelije se dijele na:

- monokristalinične (najčešće Si, η oko 18 %),
- polikristalinične (najčešće Si , η oko 14 %),
- amorfne (silicij, η 4 do 6%),
- tanko slojne (film CuInSe_2 , η oko 16%).

Osnovni napon koji se dobije po pojedinoj ćeliji ovisi o vrsti materijala i načinu izrade i obično iznosi oko 1V. Povezivanjem više fotovoltaičnih (solarnih) ćelija i njihovim kombinacijama proizvode se fotovoltaični paneli s uobičajnim radnim naponima od 12 ili 24V istosmjernog napona (DC). Snaga takvih panela direktno ovisi o ukupnoj površini svih ćelija. Tipičan solarni panel snage 80 – 100W i napona 12V DC ima dimenzije 100cm x 50 cm.

Cijena električne energije iz fotovoltaičnih panela je zbog upotrebe “čistih” materijala i



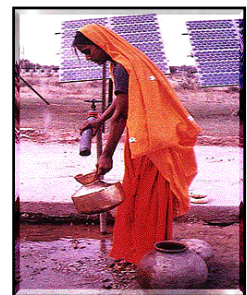
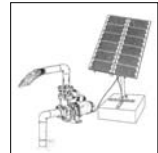
visoke tehnologije izrade dosta veća (gotovo faktor 2x) od cijene iz konvencionalnih izvora, ali zato je to vrlo čisti oblik i vrlo rasprostranjen oblik energije te vrlo isplativ u područjima gdje nema klasične električne infrastrukture. Nadalje, fotovoltaični izvori struje ne zagađuju okolinu, ne stvaraju stakleničke plinove, nisu radioaktivni i nemaju pokretnih dijelova (ne stvaraju buku) te nisu opasni za rukovanje. U priloženoj tablici dan je odnos stvaranja stakleničkih plinova za pojedine oblike izvora energije. U račun je uzeto i zagađenje koje se stvara za proizvodnju poluvodičkog materijala.

IZVOR ENERGIJE	SO (g/kWh)	NO (g/kWh)	C u CO2 (g/kWh)
ugljen	3.400	1.80	322.8
lož ulje - nafta	1.700	0.88	258.5
prirodni plin	0.001	0.90	178.0
nuklearna elektrana	0.030	0.003	7.800
fotovoltaične ćelije	0.020	0.007	5.300

tablica 1.

Fotovoltaične ćelije se i dalje istražuju i razvijaju. Želi im se povećati efikasnost, a smanjiti cijena izrade. No i na ovom sadašnjem stupnju, fotovoltaične ćelije vrlo uspješno sudjeluju u čitavom nizu tehnologija koje koriste energiju sunca (tzv solarne tehnologije) kao što su:

- svemirska istraživanja (svi sateliti dobivaju energije od solarnih panela),
- mikro i mini paneli za pokretanje malih potrošača (đepna računala, satovi...),
- komunikacijski releji,
- mobilne radio i televizijske stanice,
- osiguranje pružnih prijelaza,
- napajanje svjetionika i oznaka upozorenja na moru,
- napajanje saobraćajnih znakova upozorenja i opasnosti,
- sustavi za naplatu parkiranja,
- napajanje malih brodica i jahti,
- rasvjeta i pogon vozila i brodova u nacionalnim parkovima,
- opskrba pitkom vodom izvlačenjem iz dubokih bunara,
- sistemi za navodnjavanje,
- električne ograde za stoku,
- sustavi nadgledanja za protupožarnu zaštitu šuma,
- elektrifikacija individualnih objekata (planinarski domovi, vikendice),

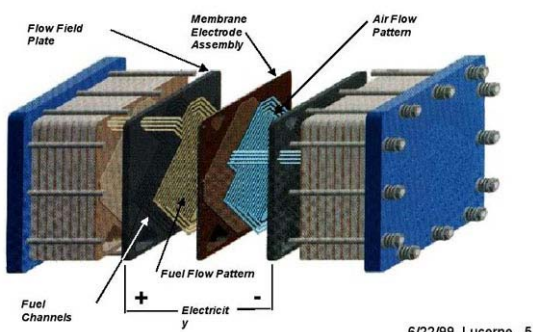


Tamo gdje električnu energiju treba isporučivati tijekom noći ili u razdoblju s niskim intenzitetom sunčeva zračenja, potrebno je uskladištiti proizvedenu energiju. U objektima koji su povezani s klasičnim električnom mrežom (50 Hz, 220V) moguće je proizvedenu struju, koja se ne troši, putem pretvarača (12VDC/220VAC) ubaciti u mrežni sustav. Uvjet je određena pravna regulativa (u SAD od 1980.) koja dozvoljava da se za “ubačenu” struju dobiva protuvrijednost odnosno mogućnost korištenja struje tokom noći.

Također se proizvedena električna energija može uskladištiti:



Conventional Fuel Cells



Energy Related Devices

6/22/99 Lucerne 5

- u akumulatorskim baterijama gdje se uz određene regulatore kontrolira punjenje i pražnjenje ,
- u novim tzv. sustavima s “gorivim ćelijama” gdje višak struje elektrolizom stvara **vodik**, koji se skladišti te po potrebi propušta kroz “gorive ćelije” gdje se direktno pretvara u električnu

energiju.

Fotonaponski sustavi mogu se povezati i sa drugim alternativnim (rezervnim) izvorima energije kao što su vjetroturbine, hidrogeneratori, plinski ili diesel agregati. Kod rješenja koja koriste plinske i diesel agregate, fotonaponski sustav se dimenzionira tako da se agregati koriste malo sati u



godini, čime se štedi gorivo, smanjuju troškovi održavanja i produžuje vijek trajanja.

Iz svega navedenog vidljivo je da je već sada upotreba fotovoltaičnih ćelija velika. U budućnosti zbog nestajanja i rasta cijene fosilnih goriva, sprečavanja ispuštanja stakleničkih plinova (Kyoto deklaracija 1995.) te zbog smanjenje cijene i povećanja efikasnosti doći će do sve veće upotrebe fotovoltaičnih ćelija.

Europska unija planira da do kraja 2010. godine udio obnovljivih izvora energije bude 12%. Želi li Hrvatska ući u Europu, već danas mora početi znatnije koristiti i iskorištavati energiju sunca tim više što smo jedna od rijetkih zemalja koja ima i vlastitu proizvodnju fotovoltaičnih ćelija smještenu u Splitu.

Daljnji razvoj fotovoltaičnih ćelija u svjetskim razmjerima vidljiv je iz priloženih grafikona porasta proizvodnje i isporuke fotovoltaičnih panela, a time i električne energije kako u bliskoj prošlosti tako i u nedalekoj budućnosti. Vidljivo je da će svijet 2010. proizvoditi oko 4,5 GW/godišnje, dok će samo SAD u 2020. proizvoditi 7,2 GW /god električne energije koristeći fotovoltaične ćelije za iskorištavanja energije sunca. **Budućnost je u suncu.**

