

Optimizacija dizajna solarnih ćelija

S obzirom na to da su obnovljivi izvori energije ekološki pogodniji od fosilnih goriva i nisu količinski ograničeni kao neobnovljivi izvori energije, potrebno je dodatno istražiti mogućnosti njihovog korišćenja. Jedan od oblika obnovljivih izvora energije je solarna energija tj. energija Sunca. Energija Sunca može se konvertovati u električnu energiju korišćenjem solarnih ćelija, te je njihovo proučavanje vrlo važan zadatak.

U ovom radu je predložena geometrija solarne ćelije koja je optimizovana tako da konvertuje u električnu energiju najveći procenat apsorbovane svetlosti. Model solarne ćelije koji je korišćen ima četiri sloja (Wang *et al.* 2013; Yu *et al.* 2014). Prvi, odnosno površinski sloj je homogen samo duž ose normalne na površinu solarne ćelije. Duž ostale dve ose u ravni solarne ćelije je nehomogen, u nekim delovima se nalazi vazduh, a u nekim galijum fosfid. Površinski sloj je periodičan i jedinična ćelija ima širinu i dužinu od 600 nm. Drugi i četvrti sloj čini galijum fosfid i homogeni su duž sve tri ose. Za aktivni, tj. treći sloj, koji je homogen duž sve tri ose, je korišćen P3HT:PCBM (poly(3-hexylthiophene): phenyl-C61-butiric acid methyl ester). U ovom radu je izabrana debljina aktivnog sloja solarnih ćelija od 10 nm kako bi se ispitalo da li su solarne ćelije sa aktivnim slojem te debljine efikasnije od tipičnih solarnih ćelija kod kojih aktivni sloj ima od 3 do 10 puta veću debljinu, u pogledu korišćene mase aktivnog sloja.

Radene su dve optimizacije, od kojih se rezultat druge optimizacije pod određenim uslovima pokazao kao bolji od rezultata za efikasnost solarnih ćelija iz uporedivih radova (Abu-Zahra 2014; Koster *et al.* 2006; Li *et al.* 2005). U prvoj optimizaciji je optimizovan površinski sloj solarne ćelije, tako da apsorpcija cele ćelije bude što veća na talasnoj dužini od 400 nm. Druga optimizacija je fokusirana da maksimizuje iradijansu samo u aktivnom sloju, i to za opseg talasnih dužina od 300 nm do 700 nm. U prvom slučaju je jedinična ćelija površinskog sloja predstavljena matricom 32×32 . Svako polje matrice sadrži informaciju o tome koji se materijal nalazi u tom delu jedinične ćelije. Tokom optimizacije je vari-

rana raspodela galijum fosfida u površinskom sloju. Apsorpcija pojedinih ćelija je računata pomoću RCWA (Rigorous coupled-wave analysis) algoritma. Optimizacija je urađena pomoću genetskog algoritma. Najpre je optimizovana apsorpcija cele solarne ćelije za talasnu dužinu od 400 nm. Nakon 300 iteracija genetskog algoritma, dobijena je raspodela galijum fosfida, pomoću koje cela ćelija apsorbuje 98% upadne svetlosti talasne dužine 400 nm. Ovaj rezultat je dobijen razlaganjem talasa svetlosti apsorbovanog u ćeliji na 15 harmonika. Rezultat od 98% je samo gruba aproksimacija. Da bi se došlo do tačnije vrednosti potrebno je koristiti veću numeričku tačnost, tj. razložiti svetlost na više harmonika.

Dalje utvrđivanje zavisnosti apsorpcije optimizovane solarne ćelije od broja harmonika zahteva povećanje matrice koja predstavlja površinski sloj na matricu sa 1024 redova i kolona. Utvrđeno je da za razlaganje svetlosti na između 17 i 59 korišćenih harmonika apsorpcija nije konstantna, već opada sa povećanjem broja korišćenih harmonika. Smanjenje apsorpcije sa povećanjem broja korišćenih harmonika se najbolje fituje eksponencijalnom funkcijom, i iz fita se može izračunati vrednost apsorpcije koja bi se dobila korišćenjem beskonačnog broja harmonika. Za ovu ćeliju asimptotska vrednost apsorpcije cele ćelije iznosi 95%. Međutim, za proizvodnju električne energije jedino je bitna apsorpcija u aktivnom sloju, koja ovde iznosi samo 0.01%. Stoga je cilj druge optimizacije izmenjen u odnosu na prvu.

U drugoj optimizaciji maksimizovana je upravo iradijansa aktivnog sloja za opseg talasnih dužina od 300 nm do 700 nm. Za talasne dužine

Jovan Dimitrijević (2000), Surdulica, Novice Dojčinovića 69, učenik 3. razreda Tehničke škole „Nikola Tesla“ u Surdulici

MENTORI:

Nikola Maksić, student Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Daniel Silađi, student École normale supérieure de Lyon, Francuska

Petar Bojović, Ludwig Maximilians Universität München, Nemačka

svetlosti ispod 300 nm intenzitet sunčevog zračenja je zanemarljiv, a za fotone talasne dužine iznad 700 nm ne postoji mogućnost njihovog konvertovanja u električnu energiju jer nemaju dovoljno energije. Pomoću genetskog algoritma je nakon 75 generacija dobijena optimalna raspodela galijum fosfida u površinskom sloju. Istim postupkom kao kod prve optimizacije zaključeno je da iradijansa sa povećanjem broja korišćenih harmonika teži 10.5 W/m^2 . Dobijena vrednost je manja (3 do 10 puta) od vrednosti koje mogu da dostignu solarne ćelije istog tipa (Abu-Zahra 2014; Koster *et al.* 2006; Li *et al.* 2005), ali je solarna ćelija dobijena u ovom radu u pogledu korišćene zapremine aktivnog sloja bolja od ostalih. Optimizovana ćelija apsorbuje 1.05 W/mm^3 , dok najveći broj ćelija istog tipa (*ibid.*) apsorbuje manje od 0.95 W/mm^3 . Drugim rečima, solarna ćelija iz ovog rada je pogodnija od ostalih kada je količina aktivnog sloja ograničena, a površina koju će zauzeti solarne ćelije velika.

Literatura

Abu-Zahra N. 2014. Enhancing Power Conversion Efficiency of P3HT/PCBM Polymer Solar Cells. *International Journal of Chemical, Nuclear, Metallurgical and Materials Engineering*, **8** (4): 248.

Koster L., Mihailtchi V., Blom P. 2006. Ultimate efficiency of polymer/fullerene bulk heterojunction solar cells. *Applied Physics Letters*, **88** (9): 093511.

Li G., Shrotriya V., Yao Y., Yang Y. 2005. Investigation of annealing effects and film thickness dependence of polymer solar cells based on poly(3-hexylthiophene). *Journal of Applied Physics*, **98** (4): 043704.

Wang C., Yu S., Chen W., Sun C. 2013. Highly Efficient Light-Trapping Structure Design Inspired By Natural Evolution. *Scientific Reports*, **3** (1): 1025

Yu S., Wang C., Sun C., Chen W. 2014. Topology optimization for light-trapping. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, **50** (3): 367.

Solar Cells Design Optimization

Considering that renewable energy sources are more environmentally friendly and are not as limited as non-renewable ones, it is necessary to research the possibilities of their usage. One form of renewable sources is solar energy. The

energy of the Sun can be converted to electrical by using solar cells, so researching them is a very important task.

In this paper, the geometry of the solar cell which is optimized to convert most of the absorbed light to electrical energy is suggested. The used solar cell model has four layers (Wang *et al.* 2013; Yu *et al.* 2014). The distribution of gallium phosphide in the surface layer was varied during the optimization, which was represented with a matrix with 32 rows and columns. Every cell of that matrix contains information on whether air or gallium phosphide is present in that part of the surface layer. For the active layer P3HT:PCBM (poly(3-hexylthiophene): phenyl-C61-butyric acid methyl ester) was used. The thickness of the active layer in this paper was 10 nm. Absorption of an individual cell was calculated with the RCWA (Rigorous coupled-wave analysis) algorithm. The optimization was done using a genetic algorithm. Firstly, the absorption of the whole cell was optimized at a wavelength of 400 nm. After 300 iterations of the genetic algorithm, the cell which absorbs 98% of incident light was obtained. That is the result of the decomposition of the absorbed light wave to 15 harmonics. After using more harmonics it was observed that absorption is asymptotically getting closer to 95% if the number of used harmonics is close to infinity. However, absorption in the active layer in this case is only 0.01%. Thus, a new method of optimization was chosen. In the second type of optimization, the absorption of the active layer was maximized for a range of wavelengths from 300 to 700 nm. The effect of wavelength of light on spectral irradiance was taken into account.

The result of 75 generations of the genetic algorithm was a solar cell that has an irradiance of 10.5 W/m^2 in the active layer. This is also the result of fitting the dependence of absorbed power per area of the number of used harmonics. The given value is 3 to 10 times smaller than values achieved by other solar cells of the same type (Abu-Zahra 2014; Koster *et al.* 2006; Li *et al.* 2005), but the solar cell from this paper is better than others concerning the used volume of the active layer. It absorbs 1.05 W/mm^3 , while other cells absorb less than 0.95 W/mm^3 . In other words, the solar cell from this work is more suitable than others when the amount of the active layer is limited and the surface area taken by solar cells is large.