

Nanotehnološka izboljšava infrardečih detektorjev s plazmnsko resonanco v nanodelcih transparentnega prevodnega oksida

Zoran Jakšić^{1,*} – Momčilo Milinović² – Danijela Randjelović¹

¹ Univerza v Beogradu, Institut za kemijo, tehnologijo in metalurgijo, Srbija

² Univerza v Beogradu, Fakulteta za strojništvo, Srbija

Izboljšava odzivnosti in specifične občutljivosti srednje- in dolgovalovnih polprevodniških infrardečih (IR) fotodetektorjev brez kriogenega hlajenja je cilj intenzivnih raziskav v skupnosti, ki se ukvarja z razvojem IR-tehnologij. Polprevodniški IR-detektorji običajno zagotavljajo najvišjo hitrost odziva in so prva izbira za vojaške sisteme. Cilj članka je predstavitev možne nanotehnološke rešitve za visokoobčutljive in cenovno ugodne infrardeče polprevodniške detektorje, ki bodo uporabni za različne namene, vključno z najzahtevnejšimi vojaškimi aplikacijami.

Obravnavane so možnosti uporabe plazmnske nanotehnologije za izboljšano upravljanje s svetlobo v polprevodniških IR-fotodetektorjih. Povečanje kvantne učinkovitosti, odzivnosti in specifične občutljivosti je doseženo z uporabo transparentnih nanodelcev prevodnega oksida (TCO). Predmet študije so bile nehlajene fotoprevodne naprave iz živosrebrovega kadmijevega telurida (HgCdTe), izdelane s strjevanjem iz parne faze. Enak postopek je uporabljen tudi za kriogeno hlajene naprave, vključno s tistimi fotonapetostnega tipa.

Glavni mehanizem za izboljšavo je koncentracija svetlobe, dosežena z lokalizirano plazmnsko resonanco nanodelcev TCO in z izboljšanim sipanjem, želeno območje valovnih dolžin pa je doseženo z dodatnim rdečim premikom, ki izhaja iz prilagoditve lastnosti nanodelcev. Za izboljšanje vzorčnih detektorjev so bili obravnavani nanodelci cinkovega oksida, dopirani z aluminijem, ter delci kositrovega oksida, izdelani po nevodnem postopku.

Obravnavanih je bilo tudi več konfiguracij za izboljšavo fotodetektorjev z nanodelci iz transparentnega prevodnega oksida ter polnimi oksidnimi plasti. Cilj je bil optimizacija območja delovnih valovnih dolžin z rdečim premikom optičnih lastnosti nanodelcev. Plazmnska frekvenca TCO je v primerjavi s kovinskimi nanodelci že sama po sebi rdeče premaknjena, z dopiranjem pa jo je mogoče še dodatno prilagoditi. Obravnavana je bila tudi strategija doseganja rdečega premika z vdolavo plazmnskih nanodelcev TCO v medij z vrednostjo lomnega količnika, ki presega njegovo vrednost pri nanodelcih. Druga metoda za prilagoditev položaja vrha prereza sipanja je bila z vplivanjem na gostoto nanodelcev, t. j. z vplivanjem na razdaljo med njimi. Obravnavani so tudi tehnološki postopki za implementacijo predlagane izboljšave pri obstoječih vrstah IR-detektorjev HgCdTe.

Ugotovljeno je bilo, da predlagana strategija izboljšuje upravljanje s svetlobo in s tem tudi značilnosti detektorja. Analiza realnih nehlajenih fotoprevodnikov HgCdTe izkazuje izboljšanje specifične občutljivosti za faktor 2 do 2,5, ki je močno odvisno od dejanske debeline kadmijevega dela epitaksialne plasti z najmanjšo molsko maso. Prednost TCO je ta, da so absorpcijske izgube manjše kot pri standardnih plazmnskih kovinah kot so zlato, srebro itd. Uporaba TCO ponuja še dodatno svobodo pri snovanju fotodetektorjev, kar prispeva k enostavnosti in stroškovni učinkovitosti.

Prihodnje raziskave morajo biti usmerjene v uporabo nanodelcev TCO na obstoječih vrstah infrardečih fotodetektorjev, zlasti nehlajenih. Za optimizacijo naprav je treba preučiti različne materiale TCO in različne tehnološke parametre, vključno z ravnmi dopiranja.

Avtorjem niso znani prejšnji poskusi plazmnske izboljšave s transparentnimi prevodnimi oksidi pri srednje- in dolgovalovnih infrardečih detektorjih. Izboljšano upravljanje s svetlobo je zelo pomembno pri tankoslojnih fotodetektorjih in predlagani pristop bi lahko postal uporabna alternativa za najrazličnejše aplikacije, celo najzahtevnejše kot so naprave za sledenje pri pametnih izstrelkih.

Ključne besede: nanotehnologija, plazmonika, samovodena glava, infrardeči detektorji, plazmnska izboljšava, transparentni kovinski oksidi, nanodelci, transparentni prevodni oksidi