

Կ.Գ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ս.Խ. ԽՈՒԴԱՎԵՐԴՅԱՆ

ՍԵՎ ՍԻԼԻՑԻՈՒՄԻՑ ՀԱԿԱԱՆԴՐԱԴԱՐՁՆՈՂ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ

Սև սիլիցիումը համարվում է արևային էլեմենտների հալկաանդրադարձնող մակերևույթների համար հեռանկարային նոր նյութ: Ժամանակային տիրույթի վերջավոր տարբերության մեթոդով հետազոտվել է սև սիլիցիումի երկրաչափական պարամետրերի և օպտիկական բնութագրերի միջև առկա կապը: Սև սիլիցիումը մոդելավորվել է որպես եռաչափ համակարգ՝ կազմված տարբեր բարձրությամբ, տրամագծով և պարբերականությամբ տեղաբաշխված կոնաձև ելուստներից:

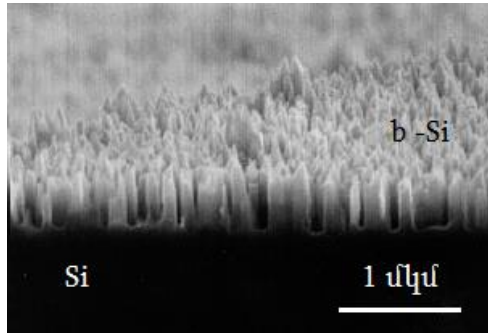
Առանցքային բառեր. արևային էլեմենտ, սև սիլիցիում, մոդելավորում, անդրադարձման գործակից:

Ներածություն: Արևային էներգիայի անմիջական փոխարկումը էլեկտրական էներգիայի կատարվում է կիսահաղորդչային արևային էլեմենտների (ԱԷ) միջոցով, որոնց օգտակար գործողության գործակից (օ.գ.գ.) մեծացման կոնստրուկտորա-տեխնոլոգիական հայտնի մեթոդները և եղանակներն ուղղված են դրանցում լուսային և էլեկտրական կորուստների փոքրացմանը: Այդպիսի մեթոդներից է նաև հալկաանդրադարձնող ծածկույթների և մակերևույթների ձևավորումը, մասնավորապես, մակերևույթների տեքստուրավորման եղանակով [1, 2]:

Սիլիցիումային ԱԷ-ների տեքստուրավորված մակերևույթների ստացման համար կիրառում են թթվային կամ հիմնային խաճատումը, էլեկտրաքիմիական անոդացումը, անոդային օքսիդացումը, ռեակտիվ իոնային խաճատումը, պլազմաքիմիական խաճատումը, մեխանիկական և լազերային փորագրումը և այլն [3,4,5]: Տեխնոլոգիական մշակումների արդյունքում ստացվում են մակերևութային անկանոն կամ կանոնավոր տեղաբաշխված փոսիկներ, ակոսներ, ասեղիկներ կամ բուրգեր, որոնց երկրաչափական չափերը, տեսքը, խտությունը, բաշխվածությունը կախված են ինչպես մշակման ռեժիմից, այնպես էլ սիլիցիումային հարթակի կառուցվածքից, բյուրեղագիտական կողմնորոշումից և մակերևութի վիճակից:

Վերջին տարիներին ակտիվ հետազոտական աշխատանքներ են իրականացվում, այսպես կոչված, “սև սիլիցիումից” ԱԷ-ների հալկաանդրադարձնող մակերևույթների ստացման ուղղությամբ [6,7,8,9]: Սև սիլիցիումը միաբյուրեղային սիլիցիում է, որի մակերևույթը պատված է խիտ ասեղնաձև տեքստուրայով (նկ. 1): Ասեղիկների բարձրությունը կարող է կազմել մինչև մի քանի մկմ, իսկ տրամագիծը՝ մի քանի հարյուր նմ: Մակերևութային այդպիսի կառուցվածքը սիլիցիումին տալիս է սև երանգավորում, ինչից էլ այն ստացել է իր անվանումը՝ “սև սիլիցիում” (Black Silicon) և

տեխնիկական նշանակումը՝ b-Si: Գրականության մեջ կիրառվում է նաև այլ տերմին՝ “սիլիցիումային խոտ” (Si Grass) [10, 11]:



Նկ. 1. Սև սիլիցիումի SEM ֆոտոպատկերը [15]

Սև սիլիցիումի ստացման հիմնական տեխնոլոգիական եղանակները ռեակտիվ իոնային խաճատումն է և ֆեմտոսեկունդային լազերային իմպուլսներով ճառագայթումը: Այս տեխնոլոգիական գործընթացները ընթանում են առանց լիտոգրաֆիական դիմակների կիրառության (maskless lithography) [12], քանի որ սև սիլիցիումի ձևավորումը տեղի է ունենում, այսպես կոչված, “ինքնադիմակավորման” ռեժիմում և կախված չէ սիլիցիումային հարթակների կառուցվածքից և բյուրեղագիտական կողմնորոշումից:

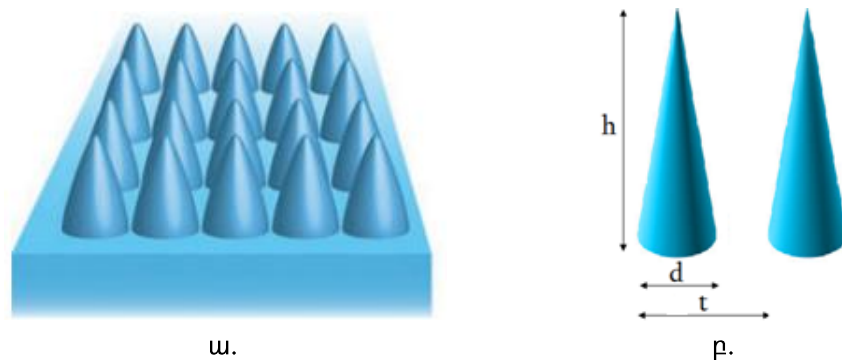
Ներկայումս մշակված են մեխանիկական և երկրաչափական կայուն պարամետրերով սև սիլիցիումի ստացման տեխնոլոգիական ռեժիմները, հետազոտված են նրա օպտիկական բնութագրերը, մասնավորապես, հակաանդրադարձման գործակիցի սպեկտրային կախվածությունը: Սակայն դեռևս միանշանակ պարզ չեն սև սիլիցիումի երկրաչափական պարամետրերի և հակաանդրադարձման գործակիցի միջև եղած կապը և օրինաչափությունները, որոնք թույլ կտան հնարավորինս մեծացնել այդ նյութից հակաանդրադարձնող մակերևույթների կիրառման արդյունավետությունը:

Ելնելով վերը նշվածից, կարևորվում է սև սիլիցիումի մակերևույթի մոդելավորումը և օպտիկական բնութագրերի լավարկման համար օպտիմալ երկրաչափական պարամետրերի որոշումը:

Մոդելավորման մեթոդը: Սև սիլիցիումի կառուցվածքը կարելի է մոտարկել որպես եռաչափ պարբերական համակարգ (Նկ. 2, ա), որի միավոր բջիջը կոն է հետևյալ բնութագրիչ պարամետրերով՝ h-բարձրություն, d-տրամագիծ, t- պարբերականություն (Նկ. 2, բ):

Այսպիսի համակարգը նպատակահարմար է մոդելավորել ֆոտոնային բյուրեղների նկարագրման որևէ հայտնի մեթոդով, այդ թվում՝ ժամանակային տիրույթի վերջավոր տարբերության (Finite Difference Time Domain - FDTD), վերջավոր տարրե-

րի (Finite Element Method), հարթ ալիքների (Plane Wave Method), ուժեղ կապված ալիքների (Rigorous Coupled Wave Method) և այլ մեթոդներով [13]: Այս և նմանատիպ մեթոդների հիման վրա ներկայումս մշակված են համակարգչային ծրագրեր, որոնք թույլ են տալիս համակողմանի հետազոտել պարբերական համակարգի օպտիկական բնութագրերը՝ կախված միավոր բջջի ձևից, չափերից, համակարգի պարբերականությունից և այլն:



Նկ. 2. Կոններով կազմված եռաչափ պարբերական համակարգը (ա) և նրա բնութագրիչ պարամետրերը (բ)

Մեր կողմից կիրառվել է Lumerical Solutions, Inc ֆիրմայի կոմերցիոն FDTD Solutions ծրագրային փաթեթը, որը մշակվել է հատուկ ԱԷ-ների համար [14]: Ծրագրի հիմքում ընկած է Մաքսվելի հավասարումներով $E(r, \lambda)$, $H(r, \lambda)$ էլեկտրամագնիսական դաշտում միկրոռելիեֆային կառուցվածքների (Moth-eye Structures) անդրադարձման և կլանման հատկությունների թվային նկարագրությունը և համապատասխան 2D, 3D գրաֆիկական արտապատկերումը: Ծրագրային փաթեթը հնարավորություն է ստեղծում փոփոխել բջջի պարամետրերը, ալիքի երկարությունը և անկման անկյունը:

Բացի այդ, հաշվարկվում և 2D արտապատկերվում է նաև $E(r, \lambda)$ էլեկտրական դաշտի բաշխվածությունը օդ-սիլիցիում համակարգում, որը թույլ է տալիս մոդելավորել ԱԷ-ների համար այնպիսի կարևորագույն բնութագիր, ինչպիսին է կիսահաղորդչի մակերեսից z հեռավորության վրա էլեկտրոն-խոռոչ զույգերի գեներացման արագությունը:

$$G(\lambda, z) = a(\lambda)F(\lambda)[1 - R(\lambda)] \exp[-a(\lambda)z],$$

որտեղ $a(\lambda)$ -ն կլանման գործակիցն է, $F(\lambda)$ -ն՝ ընկնող ֆոտոնների խտությունը միավոր սպեկտրային միջակայքում, $R(\lambda)$ -ն՝ անդրադարձման գործակիցը:

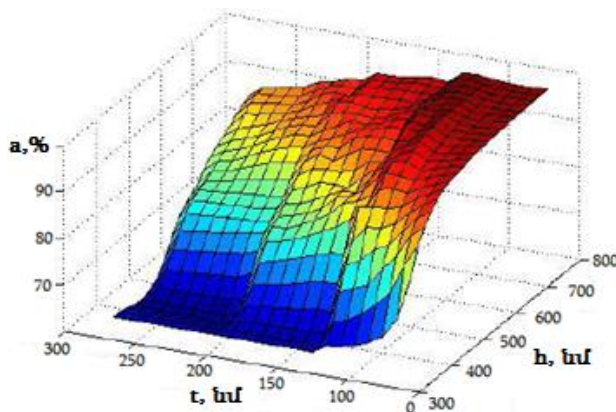
Գեներացման արագության հիման վրա ելակետային սիլիցիումի և p-n անցման ընտրված պարամետրերի դեպքում կարելի է հաշվարկել ԱԷ-ների ինչպես օպ-

տիկական (սպեկտրային ֆոտոպատասխանը և զգայնությունը, քվանտային արդյունավետությունը), այնպես էլ էլեկտրական բնութագրերը (պարապ ընթացքի լարումը, կարճ միացման հոսանքը, աշխատանքային և առավելագույն հզորությունները, օ.գ.գ.-ն և լցման գործակիցը): Էլեկտրական բնութագրերը որոշվում են Lumerical Solutions, Inc ֆիրմայի DEVICE ծրագրային փաթեթով [14]:

Ներկայացված աշխատանքում մոդելավորումն իրականացվել է $\lambda=400\dots1000$ նմ սպեկտրային միջակայքի համար և միավոր բջիջի պարամետրերի սև սիլիցիումին բնորոշ հետևյալ թվային արժեքների դեպքում՝ $h=350\dots900$ նմ, $d=50\dots300$ նմ, $t=100\dots350$ նմ:

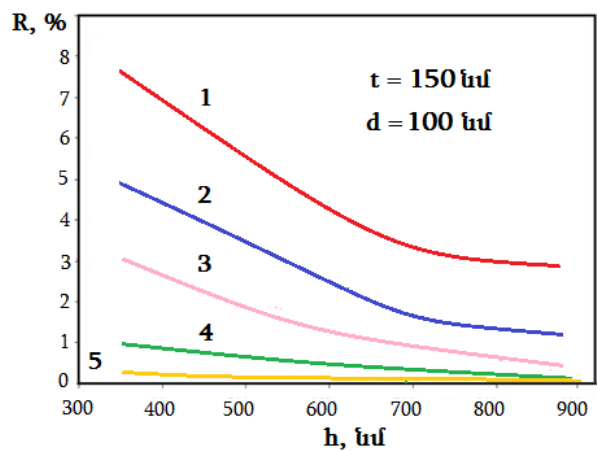
Մոդելավորման արդյունքները: Նկ. 3-ում բերված է դիտարկված համակարգի a կլանման գործակցի 3D կախվածությունը նրա t պարբերականությունից և h բարձրությունից լուսային ալիքի $\lambda=500$ նմ երկարության դեպքում:

Հիմնական օրինաչափությունները հետևյալն են: Կոնի բարձրության մեծացումը և համակարգի պարբերականության փոքրացումը հանգեցնում է կլանման գործակցի մեծացմանը, ընդ որում՝ զգալի փոփոխություն նկատվում է մինչև $h=700$ նմ բարձրությունների դեպքում:

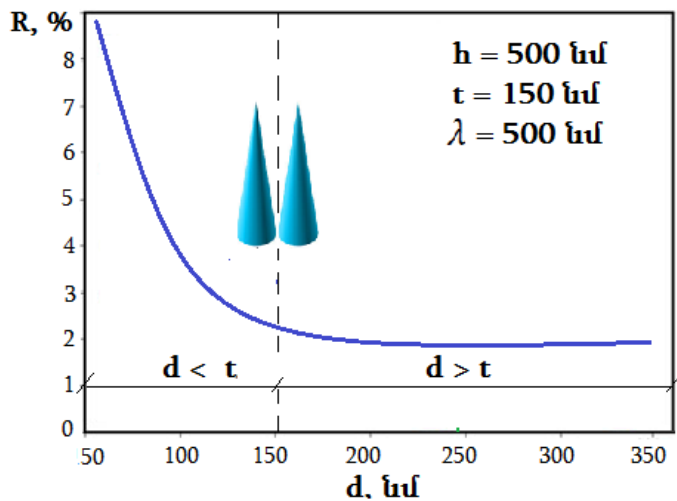


Նկ. 3. Համակարգի a կլանման գործակցի 3D կախվածությունը h բարձրությունից և t պարբերականությունից

R անդրադարձման գործակցի 2D կախվածությունները կոնի h բարձրությունից և d տրամագծից համապատասխանաբար պատկերված են նկ. 4-ում և նկ. 5-ում: Կոնի բարձրությունից կախվածությունը մոդելավորվել է լուսային ալիքի տարբեր երկարությունների համար, իսկ տրամագծից՝ $\lambda=500$ նմ երկարության դեպքում:



Նկ. 4. R անդրադարձման գործակցի կախվածությունները կոնի h բարձրությունից լուսային ալիքի տարբեր երկարությունների դեպքում.
 1 - $\lambda=400$ նմ; 2 - 500 նմ; 3 - 700 նմ; 4 - 800 նմ; 5 - 1000 նմ



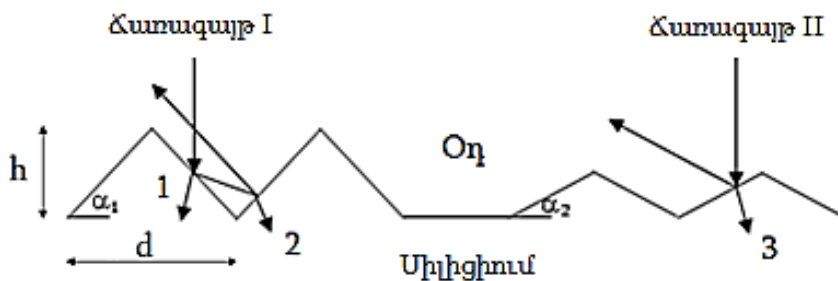
Նկ. 5. R անդրադարձման գործակցի կախվածությունը կոնի d տրամագծից

Անդրադարձման գործակիցը համաչափորեն նվազում է կոնի բարձրության մեծացմանը զուգընթաց, որը ավելի ցայտուն է արտահայտվում հատկապես ալիքի փոքր երկարությունների դեպքում: Ինչպես և կլանման գործակցի դեպքում (նկ. 3), անդրադարձման գործակցի զգալի փոփոխություն նկատվում է մինչև $h=700$ նմ բարձրությունների դեպքում: Ինֆրակարմիր ալիքների տիրույթում ($\lambda=800$ և 1000 նմ) սև սիլիցիումն ունի նվազագույն անդրադարձման գործակից, իսկ փոփոխությունը, կախված կոնի բարձրությունից, աննշան է:

Հաստատուն պարբերականության դեպքում կոնի տրամագծի մեծացումը հանգեցնում է սև սիլիցիումի անդրադարձման գործակցի նվազմանը: Սկսած այն կետից, երբ կոնի տրամագիծը հավասարվում է համակարգի պարբերականությանը ($t = d$), նկատվում է անդրադարձման գործակցի կտրուկ նվազում, իսկ այնուհետև, երբ $d > t$, նվազումն աննշան է:

Ստացված արդյունքները ամբողջովին կարելի է բացատրել՝ հաշվի առնելով կոների մակերևույթի մակերեսի, հարթ տիրույթների մակերեսի. հարակից կոներից անդրադարձումների հնարավոր թվաքանակի և կոնի բնութագրիչ պարամետրերի միջև եղած կապը: Բնականաբար, մեծացնելով կոնի բարձրությունը, փոքրացնելով նրա տրամագիծը և համակարգի պարբերականությունը՝ մեծանում է լուսաընդունիչ տեքստուրավորված մակերևույթի մակերեսը, հետևաբար՝ նաև փոքրանում է անդրադարձման գործակիցը:

Անդրադարձումների թվաքանակը կախված է կոնի հիմքին առնթեր α անկյան մեծությունից, հետևաբար՝ կոնի բարձրության և տրամագծի h/d հարաբերությունից: Մասնավորապես, երբ $d=t$, ինչպես հետևում է նկ. 6-ից, $\alpha > 30^\circ$ ($2h/d > 1/\sqrt{3}$) մակերևույթային անկյունների դեպքում (1 տիրույթ, ճառագայթ I) լույսը կարող է անդրադառնալ և ընկնել հարակից կոնի մակերևույթին: Արդյունքում՝ այդ ճառագայթի կլանման հավանականությունը կարող է մեծանալ մոտ երկու անգամ, քանի որ նրա ներթափանցումը սիլիցիումի ծավալ հնարավոր է տեղի ունենալ երկու կետերից (1 և 2 տիրույթներ, ճառագայթ I):

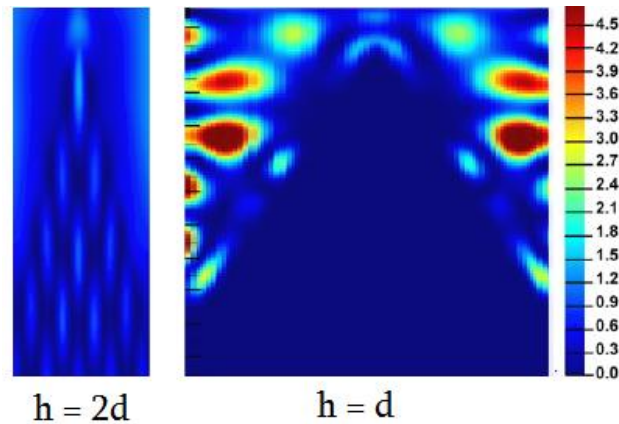


Նկ. 6. Ճառագայթների օպտիկական ընթացքը կոնաձև համակարգում

Երբ կոնի մակերևույթը շեղված է 30° -ից փոքր անկյան տակ ($2h/d < 1/\sqrt{3}$), ապա կրկնակի անդրադարձում տեղի չի ունենա (3 տիրույթ, ճառագայթ II): Եթե մակերևույթային անկյունը մեծ է 60° -ից ($2h/d > \sqrt{3}$), տեղի է ունենում առնվազն եռակի անդրադարձում: 45° -ից մինչև 60° մակերևույթային անկյունների դեպքում ($1 < 2h/d < \sqrt{3}$) անդրադարձումը երկբեկումային է, և նրա հավանականությունը նվազում է անկյան փոքրացմանը զուգընթաց:

Որպես ասվածին վկայություն, նկ. 7-ում ցուցադրված են $E(r, \lambda)$ էլեկտրական դաշտի նորմավորված 2D բաշխվածությունները $h=2d$ և $h=d$ պարամետրերով

կոների համար: Երևում է, որ վերջին դեպքում կոնի մակերևույթից անդրադարձված ալիքները ունեն ավելի մեծ ինտենսիվություն:

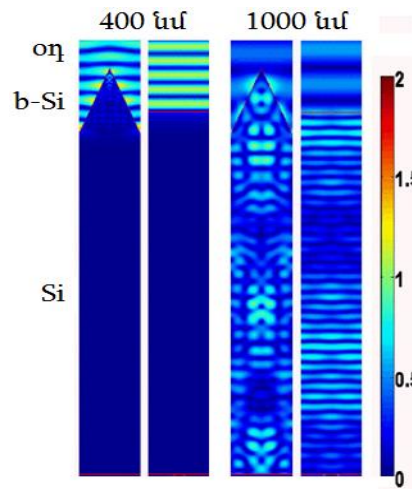


Նկ. 7. Էլեկտրական դաշտի նորմավորված 2D բաշխվածությունները $h=2d$ և $h=d$ պարամետրերով կոների համար

Նկ. 8-ում բերված են էլեկտրոն-խոռոչ զույգերի գեներացման արագության նորմավորված 2D բաշխվածությունները սև սիլիցիումից մակերևույթով հարթակում լուսային ալիքի երկու երկարությունների դեպքում $\lambda=400$ նմ և 1000 նմ: Համեմատության համար պատկերված են նույն բաշխվածությունները ոչ տեքստուրավորված (առանց սև սիլիցիումից մակերևույթային շերտի) հարթակում:

Կարճ ալիքների դեպքում էլեկտրոն-խոռոչ զույգերի գեներացումը հիմնականում տեղի է ունենում կոնը ընդգրկող մերձմակերևույթային շերտում: Երկար ալիքների դեպքում գեներացումն իրականացվում է սիլիցիումի ամբողջ ծավալում: Սև սիլիցիումի առկայությունը հանգեցնում է հոսանքակիրների գեներացման արագության նկատելի մեծացմանը:

Բերված արդյունքները վերաբերում են լուսային ճառագայթների նորմալ անկմանը, երբ ճառագայթն ընկնում է հարթակի մակերևույթին ուղղահայաց՝ նորմալին զուգահեռ: Իրականում ԱԷ-ները Արևի նկատմամբ օրվա ընթացքում անընդհատ փոխում են իրենց դիրքը, և ճառագայթները կարող են ընկնել հարթակի լուսազգայուն մակերևույթին տարբեր անկյունների տակ: Հետևաբար, գործնական տեսակետից կարևորվում է նաև օպտիկական պարամետրերի մոդելավորումը՝ կախված ընկնող ճառագայթի և լուսազգայուն մակերևույթի նորմալի միջև կազմված անկյունից:



Նկ. 8. Էլեկտրոն-խոռոչ զույգերի գեներացման արագության նորմավորված 2D բաշխվածությունները

Անդրադարձման գործակցի կախվածությունը ընկնող ճառագայթի և լուսազգայուն մակերևութի նորմալի միջև կազմված անկյունից որոշվում է Ֆրենելի հայտնի բանաձևերով [15].

- լույսի S-բևեռացված ճառագայթի դեպքում, երբ էլեկտրամագնիսական ալիքի էլեկտրական դաշտի լարվածության վեկտորը ուղղահայաց է անկման մակերևույթին՝

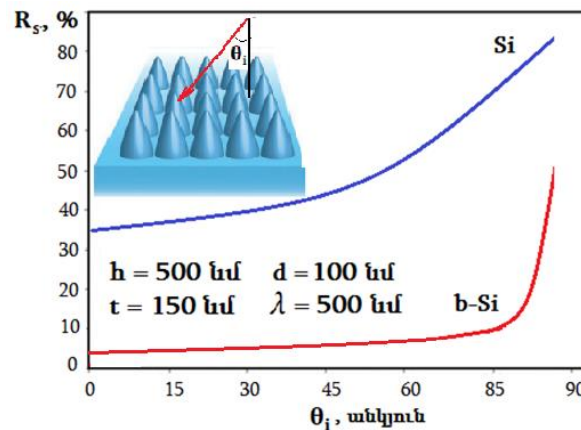
$$R_s = \left(\frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_t}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \cos \theta_t} \right)^2 = \left[\frac{n_1 \cos \theta_i - n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right)^2}}{n_1 \cos \theta_i + n_2 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right)^2}} \right]^2 ;$$

- լույսի P- բևեռացված ճառագայթի դեպքում. երբ էլեկտրամագնիսական ալիքի էլեկտրական դաշտի լարվածության վեկտորը գտնվում է անկման մակերևույթում՝

$$R_p = \left(\frac{n_1 \cos \theta_t - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \cos \theta_t + n_2 \cos \theta_i} \right)^2 = \left[\frac{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right)^2} - n_2 \cos \theta_i}{n_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_i \right)^2} + n_2 \cos \theta_i} \right]^2 ,$$

որտեղ θ_i -ն և θ_t -ն նորմալի նկատմամբ համապատասխանաբար ընկնող և կլանվող (բեկվող) ճառագայթների կազմած անկյուններն են, n_1 -ը և n_2 -ը՝ համապատասխանաբար օդի և սիլիցիումի բեկման ցուցիչները:

Նկ. 9-ում բերված են լույսի S-բևեռացված ճառագայթի անդրադարձման R_s գործակցի մոդելավորման կորերը՝ կախված ընկնող ճառագայթի θ_i անկյունից, սև սիլիցիումից (b-Si) և միաբյուրեղային սիլիցիումից (Si) մակերևույթների համար:



Նկ. 9. R_s անդրադարձման գործակցի կախվածությունները ճառագայթի θ_i անկյունից, սև սիլիցիումից (b-Si) և միաբյուրեղային սիլիցիումից (Si) մակերևույթների համար

Երևում է, որ սև սիլիցիումը նպաստում է, որպեսզի անդրադարձման գործակցի փոփոխվությունը լինի աննշան ճառագայթի θ_i անկյան լայն տիրույթում ($\theta_i < 50^\circ$): Այս գործոնը շատ կարևոր է հատկապես առանց արևին հետևելու սկզբունքով աշխատող արևային կայանների դեպքում, որը կհանգեցնի դրանց շահագործման արդյունավետության մեծացմանը [16, 17]:

Եզրակացություն: Ժամանակային տիրույթի վերջավոր տարբերության մեթոդով մոդելավորումը ցույց տվեց, որ սև սիլիցիումից հակաանդրադարձնող մակերևույթի օպտիկական բնութագրերը, մասնավորապես անդրադարձման գործակիցը, կախված են սև սիլիցիումի երկրաչափական պարամետրերից՝ բարձրությունից, տրամագծից և տեղաբաշխման պարբերականությունից: Այդ կապը և օրինաչափությունները անհրաժեշտ է հաշվի առնել ԱԷ-ների սև սիլիցիումից հակաանդրադարձնող մակերևույթների պատրաստման ժամանակ, որը թույլ կտա մեծացնել դրանց օ.գ.գ.-ն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Koroteenkov G., Cho B.K.** Silicon Porosification: State of the Art// Solid State Mat. Sci. – 2010.-35.- P. 153-260.
2. **Boden S.A., Bagnall D.M.** Optimization of Moth-eye Antireflection Schemes for Silicon Solar Cells// Prog. Photovolt: Res. Appl. -2010.- 18.- P. 195–203.

3. **Moreno M., Daineka D., Cabarrocas P.R.** Plasma Texturing for Silicon Solar Cells: From Pyramids to Inverted Pyramids-like Structures// *Solar Energy Materials & Solar Cells*. – 2010.- 94.- P. 733–737.
4. **Aroutiounian V.M., Martirosyan Kh., Soukiassian P.** Almost Zero Reflectance of a Silicon Oxynitride/Porous Silicon Double Layer Antireflection Coating for Silicon Photovoltaic Cells// *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 2006.- 39. – P. 1623.
5. Laser Surface Treatment of Multicrystalline Silicon for Enhancing Optical Properties /**L.A. Dobrzaski, A. Dryga, K. Gombek et al** // *J. of Materials Proces. Techn.*- 2008. – P. 296.
6. Nanostructured Black Silicon and the Optical Reflectance of Graded-density Surfaces / **H.M. Branz, V.E. Yost, S. Ward et al** // *Appl. Phys. Lett.* – 2009.- 94.- P. 231121-3.
7. Black Silicon: Microfabrication Techniques and Characterization for Solar Cells Applications / **A. Deraoui, A. Balhamri, M. Rattal, Y. Bahou et al** // *Int.J. of Energy Science*. – 2013.- 3(6).- P. 403-407.
8. **Jansen V., Unnikrishnan S., Louwerse M.C., Elwenspoek M.C.** Black Silicon Method// *J. of Micromech. and Microeng.*- 2009.-19.- P. 3.
9. **Ավագյան Կ.Գ., Բարսեղյան Ա.Ռ., Ավագյան Ա.Գ.** Սև սիլիցիումից հալկաանդրադարձող մակերևույթներ արևային էլեմենտների համար// *ՀՀԱ Լրաբեր.*- 2010.- Հ.7, N2.- էջ 347-350:
10. **Jansen H, Boer M de, Legtenberg R, Elwenspoek M.** The Black Silicon Method: A Universal Method for Determining the Parameter Setting of a Fluorine-based Reactive Ion Etcher in Deep Silicon Trench Etching with Profile Control// *J. of Micromechanics and Microengineering.*- 1995.- 5 (2).- P. 115-120.
11. **Talian I., Mogensen K., Orinak A., Kaniansky D.; Hübner J.** Surface-enhanced Raman Spectroscopy on Novel Black Silicon-based Nanostructured Surfaces // *J. of Raman Spectroscopy.*- 2009.- 40 (8).- P. 982-986.
12. **Zhang X., Di Q., Zhu F., Sun G., Zhang H.** Wideband Anti-reflective Micro/nano Dual-scale Structures: Fabrication and Optical Properties// *Micro & Nano Letters.*- 2011. – 6 (11).- P. 947–950.
13. **Han K., Chih-Hung Chang.** Numerical Modeling of Sub-Wavelength Anti-Reflective Structures for Solar Module Applications// *Nanomaterials.*- 2014.- 4.- P. 87-128
14. Lumerical Solutions Inc., Canada ([http:// www. Lumerical.com](http://www.Lumerical.com)).
15. **Колоколов А.А.** Формулы Френеля и принцип причинности// *УФН.*- 1999.- Т.169. - С. 1025.
16. **Айвазян К.Г., Барсегян А.Р.** Повышение эффективности солнечных фотовольтаических станций с применением систем отслеживания за Солнцем // *Сб. научных статей Международной научно-практической конференции “Актуальные научно-технические проблемы сохранения среды обитания”*. - Беларусь, Брест, 2014. – Ч. IV.- С. 3-7.
17. **Ayvazyan K.G., Khudaverdyan S. Kh.** Investigation of the Partially Shaded PV system Performance// *Proceedings of SEUA. Series “Information Technologies, Electronics, Radio Engineering”*. – 2012.- 15, 2.- P. 47-52.

К.Г. АЙВАЗЯН, С.Х. ХУДАВЕРДЯН

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТИОТРАЖАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИЗ ЧЕРНОГО КРЕМНИЯ

Черный кремний является перспективным новым материалом для формирования антиотражающих поверхностей солнечных элементов. Методом конечных разностей во временной области (FDTD) исследована связь геометрических параметров черного кремния с оптическими характеристиками поверхности. Смоделирована 3D структура, состоящая из конусов с различными параметрами: высотой, диаметром и периодичностью расположения.

Ключевые слова: солнечный элемент, черный кремний, моделирование, коэффициент отражения.

K.G. AYVAZYAN, S.KH. KHUDAVERDYAN

MODELING THE BLACK SILICON ANTIREFLECTION SURFACES

Black silicon is a new perspective material for forming antireflection surfaces of solar cells. The relation of geometric parameters of black silicon with optical characteristics of the surface by the Finite Difference Time Domain method (FDTD) is investigated. A 3D structure consisting of cones of different heights, diameters and in-plane periodicities is simulated.

Keywords: solar cell, black silicon, modeling, reflection index.

ՀՏԴ 629.052.3

Հ.Հ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Մ.Ջ. ՀՈՎԱՏՓՅԱՆ, Ա.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՀԱՍԱՐԱԿԱԿԱՆ ՏՐԱՆՍՊՈՐՏԻ ԵՐԹՈՒՂԻՆԵՐԻ ՄՈՆԻԹՈՐԻՆԳԻ GPS/GSM ՌԱԴԻՈԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՈԴԵԼՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

Հետազոտված է GPS/GSM ռադիոկառավարման համակարգ, որը կծառայի որպես հասարակական տրանսպորտի երթուղիների տեղեկատու՝ թե ծառայությունը մատուցող կազմակերպության կարգավորիչների և թե ուղևոր քաղաքացիների համար: LabVIEW միջավայրում մշակվել են հասարակական տրանսպորտի մոնիթորինգի և կառավարման վիրտուալ և սիմուլյացիոն մոդելներ:

Առանցքային բառեր. ռադիոկառավարման համակարգ, GPS, GSM, LabVIEW, մոդել:

Ներածություն: Երևանի համար վաղուց քրոնիկ հիվանդություն է դարձել տրանսպորտային բոլոր միջոցների ծանրաբեռնվածությունը փողոցներում: Դա պայմանավորված է քաղաքում տրանսպորտի գերհագեցվածությամբ, ուղևորափոխադրամիջոցների միջև միջակայքերի խախտմամբ, ըստ չվացուցակի անկանոն աշխատանքով և այլ գործոններով: Այս և նմանատիպ խնդիրների հետևանքով տրանսպորտի վերահսկողությունը և կառավարումը դարձել է գրեթե անհնար: Նշենք նաև, որ տնտեսական զարգացմանը նպաստելու համար տրանսպորտը պետք է գործի արդյունավետ և անվտանգ կերպով: Այն նաև պետք է նպաստի սոցիալական և բնապահպանական նպատակների իրականացմանը: