

M.S. AZOYAN

ENGINEERING CALCULATION OF A PARAMETRIC SHF DIVIDER

It is known that at calculating the parametric SHF divider, it is necessary to determine the Fourier components for nonlinear functions of charge $q(u)$ and current $i(u)$, approximating the charge-voltage and volt-ampere characteristics. In this case, the calculation of integrals, defining these components, even under the influence of a two-frequency signal on the nonlinear element is associated with certain difficulties. From an engineering point of view, the calculation of the SHF parametric system is carried out by the classical method. The comparison of the results of this method with those of the method proposed by us reveals an error of about 5% which is completely admissible from the practical standpoint. Based on the investigation results of the energetic characteristics of the parametric SHF divider, conditions for the system start – up are recommended.

Keywords: approximation, parametric divider, subharmonic, volt-ampere, charge- voltage, characteristics.

ՀՏԴ 621.382

Գ.Ե. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Կ.Գ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ս.Խ. ԽՈՒԴԱՎԵՐԴՅԱՆ

ՍԵՎ ՍԻԼԻՑԻՈՒՄԻ ՄՏԱՑՈՒՄԸ ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ռեակտիվ իոնային խաճատման մեթոդով հետազոտվել է SF₆-ի և O₂-ի գազային խառնուրդում սիլիցիումի մակերևույթին և սիլիցիումի ստացման գործընթացը: Ցույց է տրվել, որ և սիլիցիումի ասեղիկների խտությունը և բարձրությունը զգալիորեն կախված են նրա ձևավորման տեխնոլոգիական ռեժիմից, մասնավորապես՝ գազային խառնուրդի հոսքից և խաճատման տևողությունից:

Առանցքային բառեր. և սիլիցիում, խաճատում, ասեղիկներ, խտություն, բարձրություն, արևային էլեմենտ:

Ներածություն: Արևային էլեմենտների (ԱԷ) օպտիկական կորուստների փոքրացման արդյունավետ մեթոդներից է հակաանդրադարձնող մակերևույթների կիրառումը: Դրանք ներկայացնում են մակերևութային կանոնավոր կամ անկանոն տեղաբաշխված ծակոտիներ, ակոսներ, ասեղիկներ, բուրգեր, փոսիկներ, որոնք հանգեցնում են ընկնող լուսային ճառագայթների անդրադարձման գործակցի փոքրացմանը:

Վերջին տասնամյակում ակտիվ հետազոտական աշխատանքներ են իրականացվում, այսպես կոչված, “և սիլիցիումից” հակաանդրադարձնող մակերևութի ստացման և կիրառման ուղղությամբ [1-3]: Այն կազմված է մեծ խտությամբ սիլիցիումային բարակ ասեղիկներից, որոնց առկայությունը սիլիցիումին տալիս է ևս

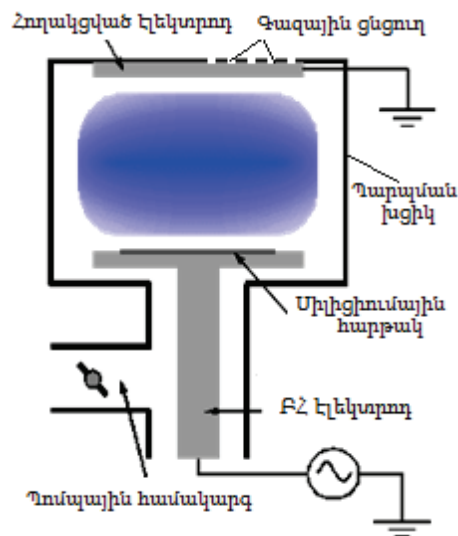
երանգավորում: Այստեղից էլ այս նյութը ստացել է իր անվանումը՝ “սև սիլիցիում” (black silicon):

ԱԷ-երի համար սև սիլիցիումից հալկաանդրադարձնող մակերևույթի կիրառման նպատակահարմարությունը պայմանավորված է նրա բարձր կլանման հատկությամբ, քանի որ հարակից ասեղիկներից տեղի են ունենում լուսային ճառագայթի բազմաթիվ անդրադարձումներ: Բացի այդ, սև սիլիցիումի ձևավորումը չի պահանջում ֆոտոլիտոգրաֆիական դիմակների կիրառություն, ունի ավտոմատացման հնարավորություն և խաժատման մեծ համասեռություն:

Չնայած սև սիլիցիումի առավելություններին, գործնականում առկա են ԱԷ-երի պատրաստման գործընթացի հետ համատեղման տեխնոլոգիական էական դժվարություններ և սահմանափակումներ: Խնդրի լուծումը պահանջում է սև սիլիցիումի ձևավորման այնպիսի տեխնոլոգիական ռեժիմների մշակում, որոնց դեպքում կապահովվեն ԱԷ-ների համար հալկաանդրադարձման տեսակետից նախընտրելի սև սիլիցիումի կառուցվածքային պարամետրերի արժեքները [4]:

Սև սիլիցիումի ստացումը: Սև սիլիցիումի ձևավորումն իրականացվել է ռեակտիվ իոնային խաժատման մեթոդով գործարանային արտադրության “Плазма 150” մակնիշի վերափոխված սարքավորման վրա, որը նախատեսված էր ֆոտոռեգիստի պլազմաքիմիական խաժատման համար:

Սարքավորման սկզբունքային սխեման պատկերված է նկ. 1-ում: Սիլիցիումային թիթեղը տեղակայվում է ներքևի էլեկտրոդի վրա, որին տրվում է բարձրհաճախականային (ԲՀ) լարում, իսկ մյուս էլեկտրոդը և պարպման խցիկը հողակցվում են:



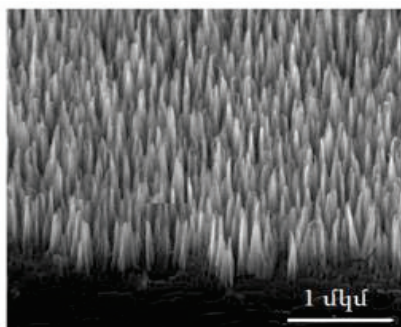
Նկ. 1. Ռեակտիվ իոնային խաժատման սարքավորման սկզբունքային սխեման

Դեպի խցիկ գազային խառնուրդ տրվում է գազային ցնցուղի միջով: Պոմպային համակարգով ստեղծելով որոշակի ճնշում և էլեկտրոդների միջև առաջացնելով պարպում, գազային խառնուրդը տրոհվում է քիմիապես ակտիվ ատոմների, էլեկտրոնների և ռադիկալների: Սիլիցիումային թիթեղի խաժատումը տեղի է ունենում ինչպես առաջացած մասնիկների հետ սիլիցիումի մակերևույթի քիմիական ռեակցիաների, այնպես էլ այդ մասնիկներով մակերևույթի ռմբակոծման ճանապարհով:

Որպես ելակետային կիրառվել են. երկկողմանի ողորկված սիլիցիումային թիթեղները հետևյալ պարամետրերով. հաստությունը՝ 300 մկմ, տրամագիծը՝ 76 մմ, տեսակարար դիմադրությունը՝ 2...3 Օմ•սմ, ոչ հիմնական լիցքակիրների կյանքի տևողությունը՝ > 30 մկվրկ: Թիթեղները ք-տիպի են և աճեցվել են Չոխրալսկու մեթոդով (100) բյուրեղագիտական կողմնորոշմամբ: Մինչև ռեակտիվ իոնային խաժատումը թիթեղները 10 րոպե մաքրվել են երկմեթիլ ֆորմամիդի և ագետոնի լուծույթով, այնուհետև լվացվել էթանոլի լուծույթում:

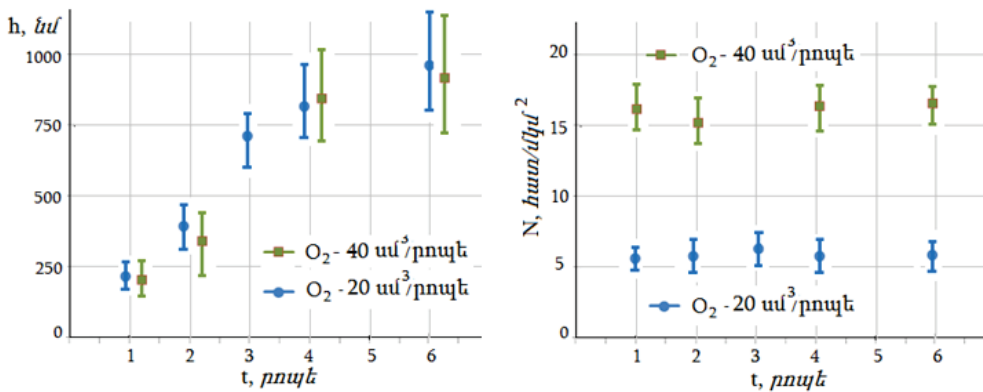
Խաժատումն իրականացվել է SF₆-ի (ծծմբի հեքսաֆտորիդ) և O₂-ի գազային խառնուրդի միջավայրում: Խաժատման ռեժիմն ընտրվել է՝ ելնելով գրականության տվյալների վերլուծությունից և իրականացված բազմաթիվ փորձերի հիման վրա. ճնշումը խցիկում՝ 50 մՏոր, SF₆-ի հոսքը՝ 75 սմ³/րոպե, շեղման լարումը՝ 100 Վ, ջերմաստիճանը խցիկում՝ 50°C, թիթեղի ջերմաստիճանը՝ 30°C: Ռեակտիվ իոնային խաժատման ընթացքում նշված ռեժիմները պահպանվել են հաստատուն, փոփոխվել է միայն O₂-ի հոսքը՝ 20 և 40 սմ³/րոպե, ինչպես նաև խաժատման տևողությունը՝ 1...6 րոպե:

Սև սիլիցիումի ասեղիկների բարձրությունը և խտությունը չափվել են SEMXL 40 Philips տեսաձրող էլեկտրոնային մանրադիտակով ստացվող SEM միկրոֆոտոպատկերների հիման վրա (նկ. 2): Որպես ասեղիկների խտություն ընդունվել է նրանց թվաքանակը 1 մկմ² մակերեսի վրա: Ասեղիկների բարձրությունը հաշվարկվել է 30° թեքությամբ լայնական հատույթների վրա:



Նկ. 2. Սև սիլիցիումի SEM միկրոֆոտոպատկերը

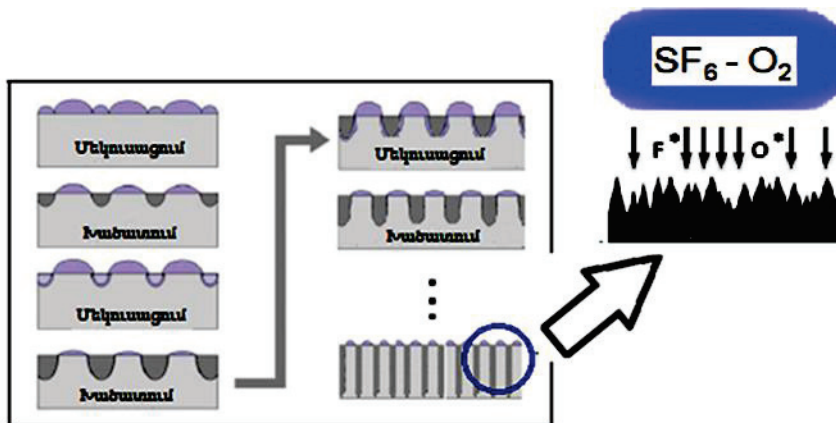
Հետազոտության արդյունքները: Սև սիլիցիումի ասեղիկների բարձրության (h) և խտության (N) արժեքները, կախված խաճատման տևողությունից (t), բերված են նկ. 3-ում:



Նկ. 3. Ասեղիկների բարձրության (ծախ նկար) և խտության (աջ նկար) արժեքները՝ կախված խաճատման տևողությունից

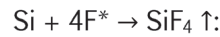
Ինչպես հետևում է նկ. 3-ից, ասեղիկների բարձրությունը մեծանում է խաճատման տևողության մեծացմանը զուգընթաց: SF₆/O₂ հոսքերի հարաբերությունն էական ազդեցություն չունի ասեղիկների բարձրության վրա, սակայն ասեղիկների խտության տեսակետից համարվում է գերակշռող գործոն: Թթվածնի հոսքի մեծացումը հանգեցնում է խտության մեծացմանը:

Դիտարկված օրինաչափությունները բացատրվում են սև սիլիցիումի ձևավորման մեխանիզմով (նկ. 4):

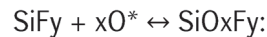


Նկ. 4. Սև սիլիցիումի ձևավորման մեխանիզմը

Ռեակտիվ իոնային խաճատման ընթացքում SF_6 -ի տրոհումից առաջանում են ֆտորի F^* ռադիկալներ, որոնք ռեակցիայի մեջ մտնելով սիլիցիումի հետ, առաջացնում են ցնդող SF_4 -ի միացություններ.



Թթվածնից իր հերթին առաջանում են թթվածնի O^* ռադիկալներ, որոնք, միանալով սիլիցիումի հետ, ստեղծում են մեկուսացնող մակերևութային SiO_xF_y թաղանթներ.



Վերջիններիս խաճատումը կատարվում է SF_6 -ի միջոցով՝ SO_xF_y ցնդող միացությունների առաջացմամբ:

Այսպիսով, կախված SF_6 -ի և O_2 -ի հոսքերի հարաբերությունից՝ կարող են գերակշռել կամ սիլիցիումի խաճատման (F^* -ի միջոցով), կամ էլ նրա մակերևութի մեկուսացման գործողությունները (O^* -ի միջոցով): Քանի որ առկա է իոնային հոսքի ֆլուկտուացիա, իսկ սիլիցիումի թիթեղի մակերևութն օժտված է ֆիզիկական անհամաչափությամբ (պատված է բնական օքսիդի տիրույթներով և այլ նմանատիպ “պաշտպանիչ” արատներով), ապա կիրառվող գազային խառնուրդի որոշակի բաղադրության դեպքում “չպաշտպանված” տիրույթներում գերակայում է սիլիցիումի խաճատման գործողությունը, իսկ “պաշտպանված” կետերում՝ մեկուսացմանը: Այլ խոսքով, տեղի է ունենում ինքնադիմակավորում և անհավասարաչափ խաճատում ասեղիկների առաջացմամբ: Մեծացնելով թթվածնի հոսքը՝ մեծանում է “պաշտպանված” կետերի թվաքանակը, հետևաբար՝ նաև ասեղիկների խտությունը: Սակայն այն չի ազդում խաճատման տևողության, հետևաբար՝ նաև ասեղիկների բարձրության վրա, որը հիմնականում պայմանավորված է խաճատող գազի (SF_6) հոսքով: Մյուս կողմից՝ թթվածնի O^* ռադիկալների խտության զգալի մեծացումը կարող է պատճառ դառնալ SiO_xF_y -ից հոծ դիմակի առաջացման, որը ամբողջովին կարգելակի սիլիցիումի խաճատումը:

Վերջում նշենք, որ ելնելով ստացված արդյունքներից՝ մշակված տեխնոլոգիայով [5] պատրաստվել են սև սիլիցիումից հակաանդրադարձնող մակերևութով ԱԷ-երի փորձանմուշներ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Torres R., Vervisch V.** Femtosecond Laser Texturization for Improvement of PV Cells: Black silicon // J. of Optoelectr. and Advanced Mater. – 2010.- V. 12 (3).- P. 621.
2. **Այվազյան Գ.Ե., Այվազյան Կ.Գ., Բարսեղյան Ռ.Ն.** Սև սիլիցիումից հակաանդրադարձնող մակերևութներ արևային էլեմենտների համար // ՀՃԱ-ի Լրաբեր. – 2010.- Հ. 7, № 2.- էջ 347-350:

3. Svetoslav K., Martins B., Stutzmann S. Black Nonreflecting Silicon Surfaces for Solar Cells // Appl. Phys. Lett. - 2012.- V. 100.- P.19-25.
4. Այվազյան Կ.Գ., Խուդավերդյան Ս.Խ. Սև սիլիցիումից հակաանդրադարձող մակերևույթի մոդելավորումը // ՀՊՃՀ Լրաբեր.- 2015.- Մաս 1.- էջ 278-288:
5. ՀՀ Գյուտի արտոնագիր 2916A. Սև սիլիցիումից հակաանդրադարձող մակերևույթով կիսահաղորդչային արևային էլեմենտի պատրաստման եղանակ / Կ.Գ. Այվազյան. – 2014:

Г.Е. АЙВАЗЯН, К.Г. АЙВАЗЯН, С.Х. ХУДАВЕРДЯН

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЧЕРНОГО КРЕМНИЯ

Исследован процесс получения черного кремния методом ионного реактивного травления в газовой смеси SF_6/O_2 . Показано, что плотность и высота иголок черного кремния существенным образом зависят от технологических режимов формирования, в частности, от потоков газовой смеси и времени травления.

Ключевые слова: черный кремний, травление, иголки, плотность, высота, солнечные элементы.

G.Y. AYVAZYAN, K.G. AYVAZYAN, S.KH. KHUDAVERDYAN

FORMATION AND INVESTIGATION OF BLACK SILICON

The formation of black silicon (b-Si) on the silicon surface by Plasma Reactive Ion Etching using an SF_6/O_2 gas mixture is studied. It is shown that the density and the height of the needles strongly depend on the formation conditions of b-Si, in particular, the gas flow rates and the etching time.

Keywords: black silicon, etching, needles, density, height, solar cells.

ՀՏԴ 621.396.962

Լ.Ն. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ

ԵՐԿԱԹՈՒՂԱՅԻՆ ՌԱԴԻՈԿԱԴԻ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ GSM-R ԹՎԱՅԻՆ ՍՏԱՆԴԱՐԾԻ ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ

Մշակված է երկաթուղային ռադիոկապի համակարգ Երևան-Այրում երկաթուղային տեղամասի համար: Համակարգի կիրառումը թույլ կտա վերացնել կապի համակարգերում առկա խանգարումներն ու աղմուկները և բարձրացնել երկաթուղային տեղամասը սպասարկող ընկերության աշխատանքի արդյունավետությունը:

Առանցքային բառեր. ռադիոկապի համակարգ, GSM-R, էրլանգ, Օկամուրա-Խատայի մոդել, տեխնոլոգիական ռադիոկապ:

Ներածություն: Ներկայում երկաթուղային տրանսպորտում հիմնականում օգտագործվում են հեկտամետրական տիրույթի (2 $U<g$) գծային, և մետրային տիրույթի (160 $U<g$) գոտիային, սիմպլեքս ցանցեր: Այս անալոգային ցանցերը հիմնականում նախատեսված են ծայնային ազդանշանի հաղորդման համար, որոնց բնորոշ են հետևյալ թերությունները՝ ռադիոկապի վրա խանգարումների նշանակալից ազ-