

Ս.Գ. ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ն.Վ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Օ.Գ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԸՆԴԵՐՔՈՒՄ ԱԾԽԱԲԵՐ
ԱՌԱՋԱՑՈՒՄՆԵՐԻ ՀՐԱՔԱՅՔԱՅՈՒՄՈՎ ՍՏԱՑՎԱԾ՝ ՄԻԼԻՑԻՈՒՄԻ
ԿԱՐԲԻՂԻ ԵՎ ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ՏԱՐՐԵՐԻ ՀԻՄՔՈՎ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ
ԲԱՂԱՂԱՆՑՈՒԹԵՐ**

Էլեկտրատեխնիկական և կիսահաղորդչային սարքերի ժամանակակից արտադրությունը պահանջում է լայն գործառական հատկություններով նյութերի կիրառություն: Այս համատեքստում առանձնահատուկ հետաքրքրություն են ներկայացնում կիսահաղորդչային՝ ածխածնային, սիլիցիումային տարրերի և դրանց միացությունների հիմքով քիմիական կառույցները, որոնք խթանում են արդի տեխնիկայի պահանջներին համապատասխան նոր ֆերմագնիսական և ֆերիմագնիսական նյութերի մշակումը և ստացման առաջադեմ տեխնոլոգիաների զարգացումը: Ավանդական արտադրական եղանակները բնութագրվում են բարձր էներգասպառմամբ և թանկարժեք հումքի օգտագործմամբ, որի հետևանքով էապես բարձրանում է արտադրանքի ինքնարժեքը:

Սույն կիրառական հետազոտության շրջանակներում ուսումնասիրվում է Հայաստանի ածխաբեր առաջացումների՝ որպես հումքի օգտագործման տեխնիկական հնարավորությունը: Այդ նպատակով կիրառվում է բարձրջերմաստիճանային հրաքայքայման եղանակը, որը նպատակաուղղված է տեղական ածխածնային հումքի տեխնոլոգիական վերամշակմանը: Հրաքայքայման արդյունքում ձևավորվում են կիսահաղորդչային՝ խորանարդային կառուցվածքով սիլիցիումի կարբիդի (Moissanite 3C), 3R տեսակի գրաֆիտի ու Fe_5Si_3 կազմով ֆերոսիլիցիումի հիմքով համակցված նյութեր, որոնք ցուցաբերում են էլեկտրամագնիսական հատկություններ:

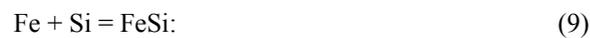
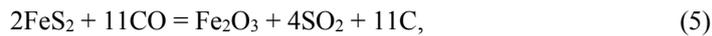
Առանցքային բաներ. ածխաբեր առաջացումներ, հումք, էլեկտրամագնիսական բաղադրանյութեր, կիսահաղորդչային տարրեր, համակցված նյութեր:

Ներածություն: Ժամանակակից գիտության և տեխնիկայի բնագավառներում բարձր տեխնոլոգիաների առաջընթացը պայմանավորված է երկրում նյութագիտության ոլորտի ինստիտուտների զարգացածության մակարդակով: Այս տեսակետից մեծ է պահանջարկը հատկապես բարձր ջերմա-, էլեկտրահաղորդականության ու առաձգականության մոդուլով՝ ագրեսիվ միջավայրում օքսիդակայուն, ընդ որում՝ տեսակարար կշռով մետաղներից թեթև, լայն գործառական նշանակությամբ նյութերի նկատմամբ, քանի որ դրանք հնարավոր է կիրառել ծայրահեղ պայմաններում շահագործվող առանցքակալների, պաշտպանիչ ծածկերի, էլեկտրական կոնտակտների, ջերմափոխանակիչների և այլ արտադրական գործընթաց-

ներում: Որպես առաջադեմ այդ նյութերի շարքում հարկ է կարևորել ֆերի- և ֆերոմագնիսական հատկություններով բաղադրանյութերի դերը, որոնք կիրառվում են հիշող և շեղող օպտիկական սարքերում, մագնիսական դաշտի սենսորներում, դրանով իսկ կարևոր նախադրյալներ ստեղծելով նորագույն սարքեր նախագծելու համար [1-4]: Նույն համատեքստում հնարավոր է ավելացնել տարբեր մետաղների խառնուրդներով նոսրացված կամ ոչ համասեռ մագնիսական կիսահաղորդիչները: Օրինակ, մատրիցի գործառնությամբ՝ քիմիական տարրերի պարբերական աղյուսակի III-V (III-Al, Ga, In; V-P, As, Sb) և II-IV (II-Zn, Cd; IV-Si, Ge, Pb, Sn) խմբերի կիսահաղորդիչները պարունակում են TiO_2 , ZnO և Fe , Co Ni և այլ մագնիսական միացություններ և մասնիկներ: Նշված երկնշանակությամբ արտադրանքները ստանալու գործընթացներում կիրառվում է էլանյութերի առանձնահատկությունները մեկտեղելու տեխնիկական սկզբունքը՝ դրա համար օգտագործելով հումքի տաք մամլման, եռակալման, էլեկտրական պլազմային պարպման և ինքնաբոցավառման բարձրջերմաստիճանային սինթեզի (ԻԲՄ) տեխնոլոգիաները: Հայտնի է նաև, որ այդ նպատակով գործող տեխնոլոգիաների արդյունքում ստացվում են բարձր ինքնարժեքով արտադրանքներ, ինչը պայմանավորված է դրանցում կիրառվող թանկարժեք հումքով, սարքավորումներով, էլեկտրական էներգիայի բարձր ծախսով և այլն:

Այս աշխատանքները նվիրված են վերոհիշյալ տեխնիկական խնդիրների լուծմանը, որի այս փուլում նպատակը C և Si կիսահաղորդչային տարրերի հիմքով, ընդ որում՝ երկաթի և այլ մետաղների պարունակությամբ, էլեկտրամագնիսական բաղադրանյութերի ստացման ժամանակակից տեխնոլոգիայի մշակումն է:

Խնդրի դրվածքը, հումքի փորձարկման եղանակի հիմնավորումը: Կիսահաղորդչային ածխածնի և սիլիցիումի տարրերի և դրանց միացությունների հիմքով մագնիսական բաղադրանյութերի ստացման նպատակով սույն հետազոտությունում որպես հումք փորձ է արվել՝ օգտագործելու Հայաստանի Հանրապետության ընդերքում տարածված մետաղակիր ածխաբեր առաջացումները [5]: Նման որոշումը հիմնվում է աշխատանքի նպատակային տեսանկյունից հումքի նպաստավոր քիմիական կազմի և տնտեսական նպատակահարմարության վրա: Հայաստանի ընդերքում տարածված ածխաբեր առաջացումների (ՀԱԱ) տեխնոլոգիական փորձարկումների համար նպատակահարմար է եղել կիրառել բարձրջերմաստիճանային, նոսր մթնոլորտային օդի պայմաններում հրաքայքայման եղանակը: Նախընտրած հետազոտական եղանակի տեխնիկական իրատեսությունը որոշելու համար օգտագործվել է գործընթացում հնարավոր փոխազդեցությունների հավասարակշռության թերմոդինամիկական գործոնները հաշվարկելու [6] եղանակը: Տեխնոլոգիական նկատառումներով կարևոր փոխազդեցությունների հավասարումները ներկայացված են ստորև՝



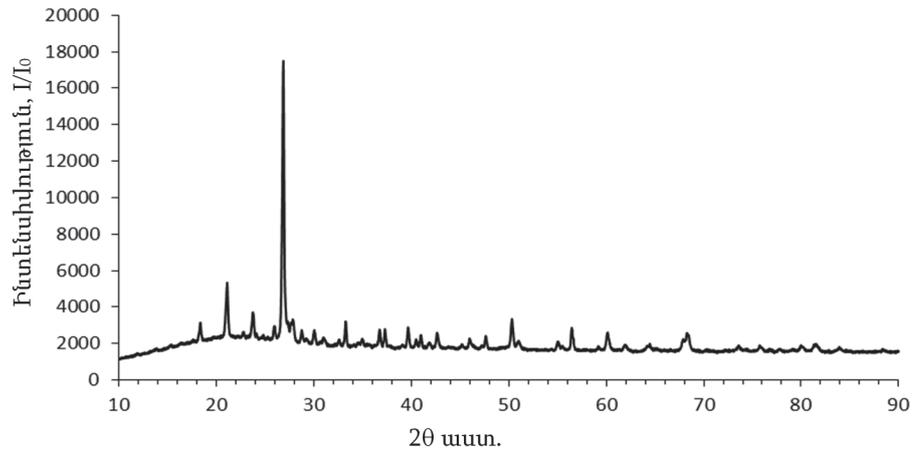
Այդ վերլուծությունները ցույց են տալիս, որ մինչև 1000...1100°C ջերմաստիճաններում ՀԱԱ հրաքայքայելիս ընթանում են դրանց մեջ պարունակվող բարդ քիմիական միացությունների քայքայման փոխազդեցությունները: Դրանց արդյունքում գոյացած սիլիցիումի և մետաղների օքսիդային և սուլֆիդային միացություններն այնուհետև հայտնվում են բնութագրերով վերականգնիչ ածխածնաթթվային ու ածխածնաջրածնային զագերի միջավայրում, որտեղ մոտավորապես 1100°C և բարձր ջերմաստիճաններում առաջանում են արժեքավոր արգասիքներ՝ C, Si կիսահաղորդչային տարրերը և SiC, FeSi միացությունները:

Հետազոտության արգասիքների ֆազային վերլուծությունները կատարվել են ՀԱԱ Ա.Բ. Նալբանդյանի անվան քիմիական ֆիզիկայի ինստիտուտում՝ ճապոնական արտադրության Rigaku MiniFlex 600 մակնիշի ռենտգենային դիֆրակտորի միջոցով՝ CuK α -ճառագայթների պայմաններում, իսկ ամբողջական վերլուծությունը կայանում է Ռիտվելդի ֆազային բաժնեմասերի և ցանցերի հաշվառման եղանակի հիման վրա: Հարկ է վերջում հավելել, որ բնական վիճակով հումքի և դրանց մշակումներով նախապատրաստված փորձնմուշների հրաքայքայման արգասիքների ծավալային օհմային դիմադրությունը որոշվել է VC 9808 վոլտամպերաչափով, տեսակարար էլեկտրական դիմադրությունը՝ քառամիասնային եղանակով [7], իսկ մագնիսական հատկությունները՝ 2 Տլ ինդուկտիվության մագնիսի միջոցով՝ ուսումնասիրելով փոխազդեցության ինտենսիվությունը:

Հետազոտության նկարագրությունը և արդյունքները: Ածխածնի, սիլիցիումի ու դրանց միացությունների հիմքով մագնիսական բաղադրանյութերի ստացման համար որպես հումք օգտագործվել են Հայաստանի Հանրապետության ածխաբեր առաջացումները, որոնց քիմիական կազմը ներկայացված է աղ. 1-ում, ֆազային վերլուծության ռենտգենագիրը՝ նկ. 1-ում, իսկ արդյունքները՝ աղ. 2-ում:

Հայաստանի Հանրապետության ընդերքում ածխաբեր առաջացումների քիմիական կազմը, կշռ. %

C	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	CrO	S,N,O,H` այրման կորուստը	Ընդամենը
43,4	31,6	8,3	4,2	2,4	0,7	0,3	0,2	0,1	8,8	100,0



Նկ. 1. Հայաստանի Հանրապետության ընդերքում ածխաբեր առաջացումների ֆազային վերլուծության ռենտգենագիրը

Հայաստանի Հանրապետության ընդերքում ածխաբեր առաջացումների ֆազային վերլուծության արդյունքները

Քիմիական կառույցի անվանումը	Քիմիական բանաձևը	Չանգվածային մասնաբաժինը, %
Սիլիցիումի երկօքսիդ	SiO ₂	70,9
Պիրիտ	FeS ₂	7,1
Երկօքսիդ, Fe+2-բետոնիդ	Ca (Mg ^{0.69} Fe ^{0.31}) (Si ₂ O ₆)	7,1
Ածխածին	C	8,5
Քրոմի օքսիդ	CrO ₃	0,6
Երկաթ (II), երկաթ (III), մագնետիտ	Fe ₃ O ₄	2,3
Սիլիմանիտ	Al ₂ SiO ₅	3,5

ՀԱԱ-ի քիմիական կազմի վերաբերյալ աղ. 2-ի տվյալներին պետք է հավելել, դրանց այրման ընդհանուր կորուստը, որը կազմում է 51,4%: Վերջինիս մեջ հիմնական օրգանական բաղադրիչ հանդիսացող ածխածնի պարունակությունը կազմում է մոտավորապես 42,5%, ծծմբինը՝ 3,0%, թթվածնինը՝ 2,0%, իսկ ջրածնինը՝

ագոտի հետ՝ 3,8%: Նույն աղյուսակի տվյալները, մյուս կողմից՝ ցույց են տալիս, որ ՀԱԱ -ի մեջ սիլիցիումը հանդես է գալիս սիլիկահողի և սիլիմանիտի, երկաթը՝ տարբեր օքսիդների, ինչպես նաև պիրիտի և քիմիական փոխազդեցությունների նկատմամբ դիմակայուն ավելի բարդ միացությունների տեսքով, իսկ ածխածինը հիմնականում գտնվում է ամորֆ կամ ոչ բյուրեղային վիճակում, քանի որ ածխածնի տարրերը կազմում են հումքում ընդհանուր պարունակության միայն 20%-ը:

ՀԱԱ-ի՝ ջարդոնի տեսքով փորձանմուշների, ինչպես նաև դրանց մանրացումներով ստացված համասեռ մանրազանգվածի ու վերջինիս փոշեմամլված հաբերի հրաքայքայումը կատարվել է գրաֆիտային հնոցով՝ փոխազդեցության տարածքում վակուում ստեղծելու ունակությամբ ինդուկցիոն վառարանում: Կատարված փորձերի տեխնիկական տվյալների ու արգասիքների վերաբերյալ տվյալները բերված են աղ. 3-ում:

Աղյուսակ 3

Փորձերի արգասիքների զանգվածը՝ կախված ածխաբեր առաջացումների տեսակից և հրաքայքայման գործընթացի պայմաններից

Փ.Փ. ը/հ	Ածխաբեր առաջացումների տեսքը	Չանգվածը, գ	Խտությունը, գ/սմ ³	Հումքի հրաքայքայման պայմանները, °C/րոպե	Հրաքայքայման արգասիքները, գ
1	Ջարդոն	5	1,67	(25 ... 1045) / 30 +	2,30
2				+ (1045 ... 1200) / 40 +	2,40
3	Մանրազանգված	5	0,73	+ (1200 ... 1270) / 90	0,30
4					0,32
5	Փոշեմամլված հաբեր	2,0	1,54	(25 ... 1045) / 30 +	0,75
6		1,50		+ (1045 ... 1200) / 40 +	
				+ (1200 ... 1270) / 90	
				(25...1045) / 30 +	0,60
				+ (1045 ... 1270) / 50 +	
				+ 1270 / 80	

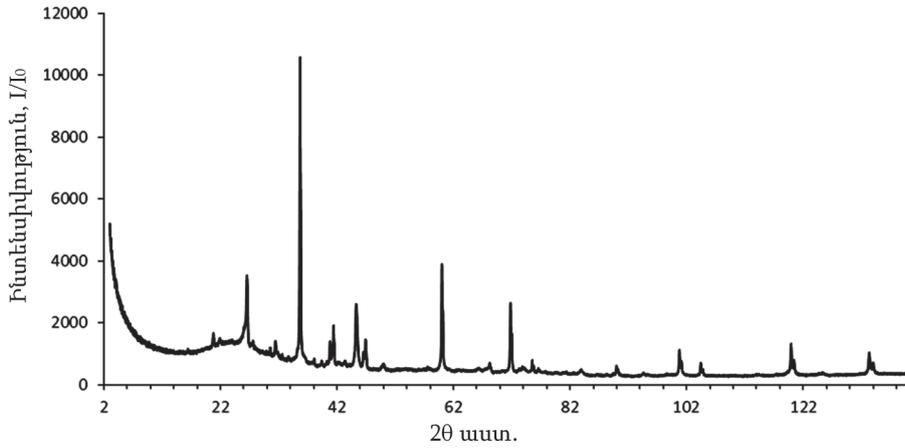
Աղ. 3-ի տվյալները լրամշակելու նպատակով անհրաժեշտ է հավելել, որ ՀԱԱ-ի հրաքայքայումը կատարվել է -680 մմ.սս-ը համապատասխան նոսրությամբ մթնոլորտային օդի պայմաններում, ընդ որում՝ 1,2 փորձերում հումքը 4...10 մմ չափերով ջարդոնն է, 3 և 4-ում՝ մինչև 100 մկմ հատիկային չափերով մանրազանգվածը, իսկ 5 և 6-ում՝ վերջիններիս՝ 5000 կգ/սմ³ ճնշման տակ փոշե-մամլումով ստացված 12 մմ տրամագծով և 8...11 մմ բարձրությամբ հաբերը: Նույն աղյուսակում բերված տվյալները ցույց են տալիս, որ փորձերի արգասիքների զանգվածը, հրաքայքայման գործընթացի պայմաններից բացի, ուղղակիորեն կապված են հումքի տեսակարար խտությունից: Նշված ցուցանիշներով պայմանավորված 1,2 և 5,6 փորձերի արդյունքում ստացված արգասիքները համապատասխանաբար

կազմում են հումքի զանգվածի 46% և 36,0...39,0%, իսկ 3 և 4-ում՝ մինչև 6,4%-ը: Փաստորեն ներկայացված փորձերի շարքում որպես առավել արդյունավետ պետք է ընդունել 5 և 6 փորձերի արդյունքները, որոնցում ստացված արգասիքների ծավալային դիմադրությունը տատանվում է 16...50 *Օւ* տիրույթում, իսկ տեսակարար դիմադրությունը կազմում է շուրջ 150 *Օւ.սւ*, բացի դրանցից, համեմատաբար ակտիվորեն են փոխազդում 2*Տլ* ինդուկտիվության մագնիսի հետ (նկ. 2): Վերջինիս առնչությամբ հարկ է հավելել, որ 1 և 2 փորձերում ստացված ջարդոնի տեսքով 0,2 *գ* սևեռված արգասիքը ունակ է օդում կախված վիճակում պահելու զանգվածով իրենից տասնյակ անգամներ ծանր մագնիսը: Մնում է հաղորդել, որ փորձերի արգասիքների տեսակարար կշիռը, որպես կանոն, ցածր է հումքից մոտավորապես երկու անգամ. այսպես, օրինակ՝ հրաքայքայումից հետո 5,6 փորձերի ելման հաբերի տեսակարար կշիռը կազմում է 1,54 *գ/սւ*³, իսկ արգասիքինը՝ շուրջ 1,0 *գ/սւ*³:

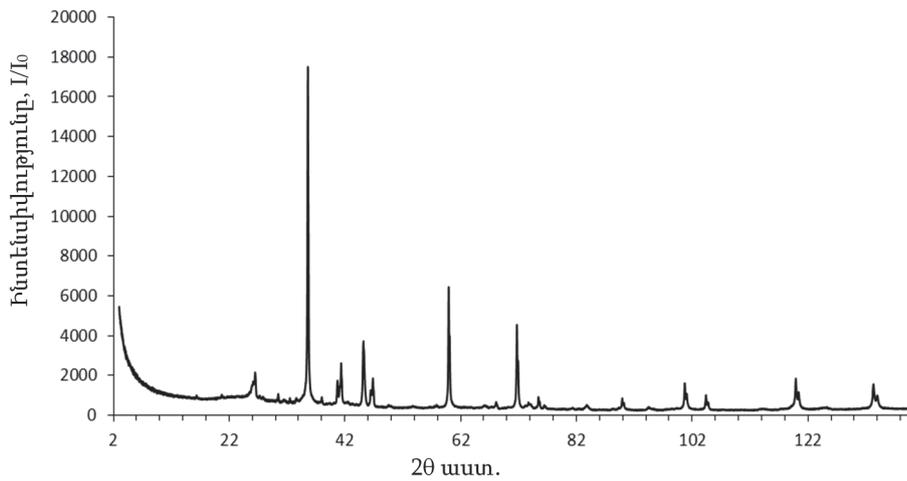


Նկ. 2. Փորձ 2. ածխաբեր առաջացումների հրաքայքայված ջարդոնի 2Տլ ինդուկտիվությամբ մագնիսի հետ փոխազդեցության պատկերը

Ֆազային հետազոտությունների նպատակով հարմար է եղել օգտագործել առավել արդյունավետ համարվող փորձերի արգասիքները: Այս առնչությամբ նկ. 3 և 4-ում ներկայացված են 1 և 6 փորձերի արգասիքների ֆազային վերլուծության ռենտգենագրերը, իսկ աղ. 4-ում՝ 1, 5 և 6 փորձերի արդյունքները՝ ըստ վերից վար հաջորդականության:



Նկ. 3. Փորձ 1: Չարդոնի տեսքով ածխաբեր առաջացումների հրաքայքայման արգասիքի ֆազային վերլուծության ռենտգենագիրը



Նկ. 4. Փորձ 6: Հաբերի տեսքով ածխաբեր առաջացումների հրաքայքայման արգասիքի ֆազային վերլուծության ռենտգենագիրը

Հետազոտության արդյունքների ամփոփումը: Մույն հետազոտությունում ստացված տվյալները (աղ. 4) ցույց են տալիս, որ հումքի նախապատրաստման փուլում ածխաբեր առաջացումները նպատակահարմար է մանրացնել մինչև 100 մկմ հատիկային չափերի, իսկ դրանից հետո ստացված համասեռ բովախառնուրդի փոշեմամլումը կատարել՝ 4000...5000 կգ/սմ² ճնշման պայմաններում:

Հայաստանի Հանրապետության ընդերքում ածխաբեր առաջացումների հրաքայքայման արգասիքների ֆազային վերլուծության արդյունքները

Քիմիական կառույցի անվանումը	Քիմիական բանաձևը	Զանգվածային մասնաբաժինը, %
Մոիսանիտ (Moissanite 3C, cubic)	SiC	38,7
Երկաթի սիլիցիդ, խիֆենզիտ	FeSi ₃	12,2
Միլիկահող (a-SiO ₂ , quartz a)	SiO ₂	13,8
Ալյումին նիկել	AlNi	3,49
Մանգան	Mn	1,58
Քառաերկաթ մանգանի եռասիլիցիդ	Fe ₄ MnSi ₃	0,15
Երկաթ	Fe	0,47
Ածխածին	C	1,64
Ածխածին	C	28,0
Ֆուլերիտ	C	0,0000067
Մոիսանիտ (Moissanite 3C, cubic)	SiC	49,0
Երկաթի սիլիցիդ, խիֆենզիտ	FeSi ₃	12,0
Ածխածին	C	39,0
Մոիսանիտ (Moissanite 3C, cubic)	SiC	57,40
Երկաթի սիլիցիդ, խիֆենզիտ	FeSi ₃	12, 51
Գրաֆիտ(3R)	C	30,10

ՀԱԱ-ի հրաքայքայման գործընթացներում համեմատաբար արդյունավետ են հումքի նախնական մշակումներով նախապատրաստված, հաբերի տեսքով բովախառնուրդի՝ (25...1045)⁰C / 30 րոպե + (1045...1270)⁰C / 50 րոպե + 1270⁰C / 80 րոպե եռակլաման պայմանները, երբ հումքում պարունակվող սիլիկահողը և ածխածինը իրացվում են ամբողջությամբ: Նշված ջերմային պայմաններում ստացվել են 3C, խորանարդային կառուցվածքով սիլիցիումի կարբիդ, 3R տեսակի գրաֆիտ և FeSi₃ քիմիական բանաձևով երկաթի սիլիցիդ, որոնց միջին պարունակությունները համապատասխանաբար կազմում են 53,2%, 34,5% և 12,3%: Անհրաժեշտ է վերջում ընդգծել, որ, ի տարբերություն գործնականորեն էլեկտրական հոսանքի մեկուսիչ հանդիսացող ՀԱԱ-ի, որի ծավալային դիմադրությունը կազմում է մոտավորապես 99900 Օմ, իսկ տեսակարար դիմադրությունը՝ 376629 Օմ.սմ, փաստորեն հրաքայքայված ՀԱԱ-ն ցուցաբերում են էլեկտրամագնիսական նյութերին բնորոշ հատկություններ, քանի որ դրանց ծավալային դիմադրությունը տատանվում է 16-50 Օմ տիրույթում, իսկ տեսակարար դիմադրությունը կազմում է շուրջ 150 Օմ.սմ:

Հետազոտության արդյունքները, ըստ էության, ուշագրավ են ինչպես տեսական, այնպես էլ և գիտատեխնիկական կիրառական նկատառումով, քանի որ ցույց են տալիս.

1. Կիսահաղորդչային սիլիցիումի կարբիդի և ածխածնային տարրերի հիմքով էլեկտրամագնիսական բաղադրանյութեր ստանալու ՀԱԱ հրաքայքայման եղանակի տեխնիկա-տեխնոլոգիական իրատեսությունը;

2. Հայաստանի Հանրապետությունում հանքակուտակ ածխաբեր առաջացումների՝ որպես սիլիցիումի կարբիդի և ածխածնային տարրերի հիմքով էլեկտրամագնիսական բաղադրանյութերի ստացման տնտեսական նպատակահարմար հումքի կիրառելիությունը:

Ակներն է նաև, որ աշխատանքում ստացված էլեկտրամագնիսական բաղադրանյութի կազմում արժեքավոր կիսահաղորդչային սիլիցիումի կարբիդի, ածխածնային տարրերի ու երկաթի սիլիցիդի առաջացումը պայմանավորված է ածխաբեր առաջացումների հրաքայքայման ժամանակ ընթացող կատալիզային փոխազդեցություններով: Այսպիսի հետևության հիմնավորումը հնարավոր է սույն հետազոտության և [8-11] աղբյուրների տեխնոլոգիական ցուցանիշների համեմատության միջոցով:

Դժվար չէ նկատել նաև, որ հետազոտության արգասիքը կառուցվածքով համընկնում է $M_{n+1}AX_n$ քիմիական բանաձևով Max ֆազային միացություններին [12, 13], որոնցում M անցումային d շարքի մետաղը երկաթն է (Fe), A տարրը՝ սիլիցիումը (Si), իսկ X՝ ածխածինը (C): Փաստորեն, այս հետազոտության արդյունքում ստացվածը՝ Fe-Si-C, քիմիական տարրերի համակարգին դասվող բազմաֆազային միացություն է, որի մեջ ածխածնի պարունակությունը կազմում է 47,4%, սիլիցիումը՝ 43,0%, իսկ երկաթը՝ 9,6%: Այստեղից իր հերթին հետևում է, որ որպես վերջնանյութ նշված քիմիական միացության մեջ մեկ ատոմ երկաթին միացված են 4,5 ատոմ սիլիցիում և 5,0՝ ածխածին ($Fe + 4,5Si + 5C$):

Եզրակացություն. Առաջարկվում է երկաթ պարունակող կիսահաղորդչային գրաֆիտի տարրերի և սիլիցիումի կարբիդի հիմքով (C+SiC), բնութագրերով էլեկտրամագնիսական բաղադրանյութերի ստացման գույակցված՝ փոշեհրամետալուրգիական տեխնոլոգիական ուրվագիծ, ընդ որում՝ նաև գործընթացի լավարկված ցուցանիշները: Համաձայն աշխատանքում բերված տեսական աղբյուրների տեղեկությունների՝ ստացված բաղադրանյութը հնարավոր է կիրառել տեխնիկայի տարբեր ոլորտներում՝ էլեկտրական շարժիչների ստատորների ու ռոտորների, տրանսֆորմատորների միջուկների, բարձրահաճախական կոճերի պատրաստման նպատակներով: Մյուս կողմից՝ ակներև է հետազոտությունում ստացված արտադրանքի բնութագրերը մանրամասնելու անհրաժեշտությունը, որոնց շարքում առաջնահերթը էլեկտրամագնիսական հատկություններն են:

Հետազոտությունը կատարվել է ՀԱՊՀ «Միկրո- և նանոէլեկտրոնիկա» բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայի գիտական ծրագրերի շրջանակում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Патент RU 2400850 C1. Магнитный полупроводниковый материал / **Т.И. Конешова, Э.А. Тищенко.** - Оpubл. 27.09.2010.
2. **Макарова Т.Л.** Магнитные свойства углеродных структур // Физика и техника полупроводников. - 2004. - Том 38, вып. 6. - С. 641-664.
3. Патент RU 2392680 C2. Полупроводниковый ферромагнитный материал / **Г.Д. Нипан, В.А. Кецко, Т.Н. Кольцова и др.** - Оpubл. 20.06.2010.
4. Патент RU 2794652 C1. Магнитомягкий аморфный материал на основе Fe-Ni в виде ленты/ **Д.А. Мильков, Э.Н. Занаева, А.И. Базлов и др.** - Оpubл. 24.04.2023.
5. **Алоян П.Г., Алоян Г.П.** Металлоносность черносланцевых (терригенно-углеродистых) комплексов Армении // Изв. НАН РА. Науки о Земле.- 2003. - № 3. - С. 8 - 13.
6. **Մարտիրոսյան Վ.Հ., Աղբալյան Ս.Գ.** Մետալուրգիական գործընթացների հավասարակշռության թերմոդինամիկա: Ուսումնական ձեռնարկ. – Եր.: Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարան, 1999. - 51 էջ:
7. **Ботавин В.В., Концевой Ю.А., Федорович Ю.В.** Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. - М.: Радио и связь, 1985. - 264 с.
8. [http://www.google.com /search?sca-esv=...=](http://www.google.com/search?sca-esv=...=) модификации + графит.
9. А.с. СССР № 276926. Способ получения карборунда / **В.И. Родин.** - Оpubл. 15.10.1970.
10. ru. Wikipedia. Org / Wiki / Силицид-железа. Патент RU 2383493 C1. Способ карботермического восстановления кремния / **Л.В. Черняковский, Ю.Т. Анатольевич, И.В. Янчевский, А.А. Тороев.** - Оpubл. 10.03.2010.
11. **Саенко Н.С., Зиятдинов А.М.** Ферромагнитные наноккомпозиты на основе многослойных углеродных нанотрубок, полученные каталитическим пиролизом метана // Химия и химическая технология. - 2015. - Том 58, вып. 5. - С. 10-13.
12. **Афанасьев Н.И., Лепакова О.К.** Синтез композиционных материалов на основе МАХ-фазы Ti_3SiC_2 , содержащей бориды // Новые материалы и технологии в космической технике / Томский научный центр СО РАН. - 2018. - Том 2, №4(26). - С. 225-228.
13. **Сметкин А.А., Каченюк М.Н.** Механосинтез и характеристики порошковых композиций Ti-Si и Ti-SiC-C // Керамика и композиционные материалы: Тез. докл. V Всерос. конф. – Сыктывкар, 2004. - С. 115.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 03.06.2025:

С.Г. АЙРАПЕТЯН, Н.В. МАРТИРОСЯН, О.Г. ГЕВОРГЯН

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ
И УГЛЕРОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПИРОЛИЗОМ УГЛИСТЫХ
ОБРАЗОВАНИЙ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ**

Современное производство электротехнических и полупроводниковых приборов требует использования материалов, которые наделены широким спектром функциональных свойств. Особый интерес в этом контексте представляют полупроводниковые элементы углерод и кремний и химические структуры на их основе, которые способствуют разработке ряда новых ферромагнитных и ферримагнитных материалов, отвечающих требованиям современной техники, а также прогрессу технологий их производства. Традиционные методы производства характеризуются высокой энергоемкостью и использованием дорогостоящего сырья, что существенно увеличивает себестоимость продукции.

В рамках данного прикладного исследования изучается техническая возможность использования угленосных формаций Армении в качестве сырья для вышеуказанных целей. Для этого используется метод высокотемпературного пиролиза, направленный на технологическую переработку местного углеродного сырья. В результате процесса пиролиза формируются композиционные материалы на основе полупроводниковых фаз - карбида кремния с кубической структурой (муассанит 3С), графита типа 3R и ферросилиция состава Fe_5Si_3 .

Ключевые слова: углеродные образования, сырье, электромагнитные композиты, полупроводниковые элементы, композиционные материалы.

S.G. HAYRAPETYAN, N.V. MARTIROSYAN, O.G. GEVORGYAN

**ELECTROMAGNETIC MATERIALS BASED ON SILICON CARBIDE AND
CARBON ELEMENTS OBTAINED BY PYROLYSIS OF CARBON FORMATIONS
OF REPUBLIC OF ARMENIA**

Modern production of electrical and semiconductor devices requires the use of materials that have a wide range of functional properties. Of particular interest in this context are the semiconductor elements carbon and silicon and chemical structures based on their compounds, which favour the development of a number of ferromagnetic and ferromagnetic materials, at meeting the requirements of modern technology, as well as the progress of their production technologies. Traditional production methods are characterized by high energy intensity and the use of expensive raw materials, which significantly increases the cost of production.

Within the framework of this applied research, the technical feasibility of using coal-bearing formations of Armenia as raw materials for the above-mentioned purposes is studied. For this purpose, the high-temperature pyrolysis method is used, aimed at technological processing of local carbon raw materials. As a result of the pyrolysis process, composite materials are formed based on semiconductor phases - silicon carbide with a cubic structure (moissanite 3C), graphite type 3R and ferrosilicon of the composition Fe_5Si_3 .

Keywords: carbon formations, raw materials, electromagnetic composites, semiconductor elements, composite materials.