

ՀԱՍՏԱՏՈՒՄ ԵՄ

ՀՀ ԳԱԱ Մ.Գ. Մանվելյանի անվան ընդհանուր և անօրգանական քիմիայի ինստիտուտի տնօրեն, տ.գ.թ.

Կ.Գ. Գրիգորյան

« 06 » փետրվարի 2026թ.

Կ Ա Ր Ծ Ի Ք

ԱՌԱՋԱՏԱՐ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՈՒԹՅԱՆ

«Երկաթով և սիլիցիումով լեգիրված MAX-ֆազային կառուցվածքով համաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը» թեմայով արենախոսական աշխատանքի վերաբերյալ, որը Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանին առընթեր գործող ՀՀ ԲԿԳԿ-ի «Մետալուրգիա և նյութագիտություն» մասնագիտական խորհրդին (դասիչ 031) ներկայացրել է հայցորդ Նինա Գազիկի Սահակյանը՝ «Մետալուրգիա» մասնագիտությամբ (դասիչ Ե.16.02) տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար

Քննարկումը կատարվել է Հայաստանի Հանրապետության Գիտությունների Ազգային Ակադեմիայի Մ.Գ. Մանվելյանի անվան «Ընդհանուր և անօրգանական քիմիա»-ի ինստիտուտի գիտական խորհրդի 2026թ. փետրվարի 06-ի նիստում (արձանագրություն թիվ 03, 06.02.2026թ.):

Քննարկմանը ներկա էին ինստիտուտի գիտական խորհրդի ներքոհիշյալ անդամները՝ խորհրդի նախագահ, տ.գ.թ. Կ.Գ. Գրիգորյանը, ինստիտուտի փոխտնօրեն, տ.գ.դ., պրոֆեսոր Ն.Բ. Կնյազյանը, գիտական քարտուղար, տ.գ.թ. Գ.Գ. Մանուկյանը, տ.գ.թ. Ա. Կոստանյանը, «Հազվագյուտ և ցրված մետաղներ»-ի գիտական խմբի ղեկավար, տ.գ.դ., Կ.Հ. Դավիթյանը, նույն խմբի աշխատակիցներ՝ տ.գ.թ. Ս.Ա. Հարությունյանը, գիտական աշխատողներ Ա.Կ. Դավիդյանը, Տ.Գ. Պասկևիչյանը, Ա.Պ. Հակոբյանը և ուրիշներ: Հրավիրված էին՝ Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Լեռնամետալուրգիա և քիմիական տեխնոլոգիաներ» ինստիտուտի տնօրեն, տ.գ.թ. Բ.Վ. Մովսիսյանը, ՀԱՊՀ «Մետալուրգիա և նյութագիտություն» ամբիոնի վարիչ, տ.գ.դ., պրոֆեսոր Ա.Մ. Հովհաննիսյանը, «Քիմիական տեխնոլոգիաներ, բնապահպանություն և կենսագործունեության անվտանգություն» ամբիոնի դոցենտ, տ.գ.թ. Մ.Է. Սասունցյանը, ինչպես նաև նույն համալսարանի «Նյութագիտություն և մետալուրգիա» բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայի ավագ գիտական աշխատող, տ.գ.թ., դոցենտ Գ.Ա. Վասիլյանը:

Լսեցին՝ Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի «Լեռնամետալուրգիա և քիմիական տեխնոլոգիաներ» ինստիտուտի «Մետալուրգիա և նյութագիտություն» ամբիոնի հայցորդ Նինա Գագիկի Սահակյանի կողմից ներկայացված **«Երկաթով և սիլիցիումով լեգիրված MAX-ֆազային կառուցվածքով համաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիայի մշակումը» թեմայով** թեկնածուականատենախոսության վերաբերյալ զեկուցումը «Մետալուրգիա» մասնագիտությամբ (դասիչ Ե.16.02)՝ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար:

Հարցեր տվեցին՝ տ.գ.դ., պրոֆեսոր Ն.Բ. Կնյազյանը, տ.գ.դ. Կ.Հ. Դավիթյանը, տ.գ.դ., պրոֆեսոր Ա.Մ. Հովհաննիսյանը, տ.գ.թ. Գ.Գ. Մանուկյանը և տ.գ.թ. Կ.Գ. Գրիգորյանը, որոնց հայցորդ Նինա Գագիկի Սահակյանը տվեց սպառիչ և բավարար պատասխաններ:

Ելույթ ունեցան՝ տ.գ.դ., պրոֆեսոր Ն.Բ. Կնյազյանը, տ.գ.դ. Կ.Հ. Դավիթյանը, տ.գ.դ., պրոֆեսոր Ա.Մ. Հովհաննիսյանը, ովքեր նշելով թեմայի արդիականությունը և կարևորությունը, դրական գնահատեցին կատարված աշխատանքը և առաջարկեցին տալ դրական կարծիք՝ երաշխավորելով այն պաշտպանության ՀԱՊՀ-ին առընթեր գործող ՀՀ ԲԿԳԿ-ի «Մետալուրգիա և նյութագիտություն» մասնագիտական խորհրդի (դասիչ 031) «Մետալուրգիա» ենթախորհրդում (դասիչ Ե.16.02)՝ «Մետալուրգիա» մասնագիտությամբ (դասիչ Ե. 16.02):

Քվեարկությունը կայացել է բաց: Տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի աստիճանաշնորհման համար դրական երաշխավորման առաջարկությունն ընդունվել է միաձայն՝ դեմ և ձեռնպահ չեն եղել:

Ատենախոսության նպատակը և ծավալը

Ատենախոսական աշխատանքի նպատակն է մշակել երկաթով և սիլիցիումով լեգիրված MAX-ֆազային կառուցվածքով համաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիա, բացահայտել հիմնական օրինաչափությունները և ստացված $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ MAX-ֆազի ձևավորման և զարգացման գործընթացի մեխանիզմը:

Ատենախոսությունը Նինա Գագիկի Սահակյանի կողմից կատարած գիտա-

փորձերի, հետազոտությունների և հրատարակված գիտական աշխատանքների ընդհանուր շարադրանքն է: Այն բաղկացած է ներածությունից, հինգ գլուխներից, ընդհանուր եզրակացություններից և 157 անուն օգտագործված գրականության ցանկից: Ատենախոսությունը շարադրված է 145 էջ համակարգչային տպագիր էջերի վրա, ներառում է 43 նկար և 18 աղյուսակ:

Ատենախոսության արդիականությունը և հրապարակությունը

Ժամանակակից տեխնիկայում՝ հատկապես միկրոէլեկտրոնիկայում, մեծ հետաքրքրություն է նկատվում նոր տիպի միացությունների՝ MAX-ֆազերի նկատմամբ, որոնք դասվում են դժվարահալ նյութերի դասին և նկարագրվում են հետևյալ բանաձևով՝ $M_{n+1}AX_n$, որտեղ M-ը անցումային d-մետաղ է (օրինակ՝ Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni), A-ն պարբերական համակարգի IIIA կամ IVA ենթախմբի տարր է (օրինակ՝ Al, Si, Ge, S, Sn), իսկ X-ը ածխածին կամ ազոտ: MAX-ֆազերն ունեն շերտավոր հեքսագոնալ բյուրեղային կառուցվածք, որի մեջ կարբիդային կամ նիտրիդային խմբերը օկտաեդրում խիտ դասավորված են $[M_6X]$ ձևով և բաժանված մոնոշերտ A-ի ատոմներով: Շերտավոր կառուցվածքը նման է լամինատային, որտեղ առկա են մի քանի տասնյակ նանոմետրային MAX-ֆազի հատիկների շերտեր: Այս կառուցվածքի շնորհիվ MAX-ֆազերը ցուցաբերում են մետաղների և կոմպոզիտների համակցված հատկություններ՝ մի կողմից բարձր էլեկտրական և մագնիսական հատկություններ, մյուս կողմից՝ ցածր տեսակարար կշիռ, բարձր ամրություն և առաձգականության մոդուլ, ցածր ջերմային ընդարձակման գործակից, կայունություն օքսիդացման և ջերմային հարվածների նկատմամբ:

Սակայն MAX-ֆազերի արտադրությունը պահանջում է կատարելագործում, հատկապես օգտագործվող փոշիների ռեակցիոն ունակությունների բարձրացման ուղղությամբ՝ մեխանաքիմիական ակտիվացման միջոցով: Մեխանաքիմիական ակտիվացումը նպաստում է բովախառնուրդի բաղադրիչների քիմիական ակտիվացման մեծացմանը և MAX-ֆազերի ձևավորման գործընթացի ընթանալուն ավելի ցածր ջերմաստիճաններում, ինչն էլ բարելավում է ստացված նյութի ֆիզիկամեխանիկական և գործառնական հատկությունները:

Ելնելով վերոհիշյալից՝ $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ MAX-ֆազերի սինթեզը և ձևավորումը՝ հատկապես բովախառնուրդի դիսպերս մանրացման և մեխանաքիմիական ակտիվացման միջոցով, խիստ արդիական է և պայմանավորված է արդյունաբերության պահանջներով: Այս մոտեցումը հնարավորություն է տալիս մշակել MAX-ֆազերի արտադրության նոր տեխնոլոգիա՝ բացահայտելով հիմնական օրինաչափությունները, միջֆազային փոխակերպումների մեխանիզմը և սինթեզի գործընթացի էներգետիկ ու կառուցվածքային հիմքերը:

Սրացված արդյունքների և եզրակացությունների նորությունը

Ձևակերպված գիտական չորս դրույթները հիմնավորված են հետազոտվող գործընթացների տեսական վերլուծությամբ և գիտափորձնական հետազոտություններով: Օգտագործվել է ժամանակակից վերլուծական միջոցներ, որոնք հեղինակին հնարավորություն են տվել հաջողությամբ իրագործել հետազոտությունների ծրագիրն ու նպատակը և ստանալ գիտափորձերի հավաստի արդյունքներ:

Կատարած հետազոտությունների արդյունքում հեղինակը ցույց է տվել, որ երկաթով և սիլիցիումով լեգիրված MAX-ֆազային կառուցվածքներ ստանալը բավականին բարդ և բազմափուլային գործընթաց է, որի հաջող ընթացքը մեծապես պայմանավորված է միջֆազային փոխակերպումներով, մասնավորապես՝ Fe-Si համակարգում կայուն և ֆերոմագնիսական հատկություններով օժտված սիլիցիդների գոյությամբ: Այս նպատակով որպես հիմնական մեթոդ ընտրվել է բարձր ջերմաստիճանային ինքնատարաձվող սինթեզի (ԲԻՍ) ալյումինաթերմային մեթոդը, որն իրականացվել է մեխանաքիմիական ակտիվացմամբ՝ փոշեխառնուրդների քիմիական և ֆիզիկական ակտիվացման ապահովման համար:

Թերմոդինամիկական հաշվարկների վերլուծությամբ և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքների համադրմամբ հաստատվել է, որ բարձր ջերմաստիճանային ինքնատարաձվող սինթեզի եղանակով, կիրառելով ալյումինաթերմային մեթոդը, հնարավոր է ստանալ $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ բաղադրությամբ MAX-ֆազեր՝ նախապես օգտագործելով համապատասխան չափաբաժիններով փոշեխառնուրդներ:

Բացահայտվել է, որ մեխանաակտիվացման գործընթացը էական ազդեցություն է թողնում բարձր ջերմաստիճանային ինքնատարաձվող սինթեզի արդյունավետության

վրա: Այն ապահովում է դիսպերս մետաղափոշիների ստացում, մակերևութային շերտի ակտիվացում և բյուրեղացման բազմակենտրոն ընթացք՝ ցածրջերմաստիճանային պայմաններում: Ստացված $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ ֆազը ներկայացնում է վեցանկյուն կառուցվածքով նյութ, որի մեջ Ti և Fe ատոմները տեղակայված են մետաղա-կարբիդային շերտում՝ կառուցվածքում ունենալով հավասարազոր դիրքեր: Վերջինիս մանրացման ճանապարհով ստացվում է MAX-ֆազային դիսպերս փոշեզանգված, որը կարող է օգտագործվել փոշեմետալուրգիայում՝ որպես երկաթով հարուստ սիլիցիդների պարունակությամբ մագնիսական MAX-ֆազեր: Բացի այդ, պարզվել է, որ սիլիցիումով լեգիրումը բարելավում է Ti-Al-C համաձուլվածքների մեխանիկական, կառուցվածքային և գործառնական հատկությունները՝ համեմատած երկաթի հետ: Si-ը հանդիսանում է արդյունավետ լեգիրող տարր կայուն MAX-ֆազային կոմպոզիտներ մշակելու համար, որոնք բնութագրվում են բարձր ջերմակայունությամբ և ուղղորդված ամրությամբ: Երկաթը, չնայած կարծրության տեղայնացված աճ ապահովելու կարողությանը, առաջացնում է միկրոկառուցվածքային խաթարում և նվազեցնում առաձգականությունը, ինչը սահմանափակում է դրա օգտագործումը որոշ կիրառություններում:

Ֆերոսիլիցիումի առկայությունը նպաստում է ստացված կոմպոզիտային նյութում ֆերոմագնիսական հատկությունների դրսևորմանը, բացելով հեռանկարներ՝ օգտագործելու այն ֆերոմագնիսական մաշակայուն նյութերի և կոնստրուկցիոն նշանակությամբ կոմպոզիտների արտադրության համար:

Համալիր հետազոտությունների արդյունքում մշակվել է երկաթով և սիլիցիումով լեգիրված MAX-ֆազի կառուցվածքով համաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիա: Ստացված համաձուլվածքները ներկայացնում են բազմաֆազ նյութեր և պարունակում են մինչև 93 % $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ MAX-ֆազ, ինչպես նաև բյուրեղային տեսքով երկաթի սիլիցիդներ (Fe_3Si_3 , Fe_3Si , FeSi)՝ 5 % և փոքր քանակությամբ՝ 1 % Ti_3Si_3 և 1 % TiC ֆազեր: Տնտեսական հաշվարկներով ապացուցվել է, որ 10 տոննա տարեկան արտադրության դեպքում հնարավոր է ապահովել բարձր շահութաբերություն՝ մոտ 1.5 անգամ:

Ընդհանուր առմամբ հայցորդ Ն.Գ. Սահակյանի կողմից կատարված է մեծ ծավալի գիտահետազոտական աշխատանքներ, որոնց արդյունքները նորություն են

մետալուրգիայի ոլորտում: Հայցորդի կողմից հրատարակված 14 գիտական աշխատանքները համապատասխանում են ատենախոսության բովանդակությանը, որն իր հերթին համապատասխանում է «Մետալուրգիա» մասնագիտությանը (թվանիշ Ե.16.02):

Արդյունքների նշանակությունը գիտության և արտադրության ոլորտներում

Երկաթով և սիլիցիումով լեգիրված $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ MAX-ֆազային կառուցվածքով մշակված համաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիան նորույթ է բարձր տեսակարար ամրությամբ նյութերի և փոշեմետալուրգիայի ոլորտում: Այն կարող է լայն կիրառություն գտնել բարձր ջերմակայունությամբ, ամրությամբ և ֆերոմագնիսական հատկություններով օժտված նյութերի արտադրության մեջ: Տեխնոլոգիայի առավելությունը կայանում է նրանում, որ այն թույլ է տալիս միաժամանակ ստանալ MAX-ֆազային նյութեր, որոնք պարունակում են մինչև 93 % $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$, ինչպես նաև մագնիսական Fe_5Si_3 , Fe_3Si և FeSi միջմետաղական ֆազեր՝ մեծացնելով արտադրանքի գործառական բազմազանությունը:

Հետազոտությունների գիտական հիմքը պայմանավորված է MAX-ֆազերի ձևավորման մեխանիզմների, միջֆազային փոխակերպումների և բյուրեղային կառուցվածքի վերահսկման ժամանակակից մեթոդների և փորձարարական արդյունքների համադրմամբ: Տեսական հաշվարկների, թերմոդինամիկ և մեխանաակտիվացման ազդեցությունների գնահատման միջոցով ստացված եզրահանգումները հիմնավորված են ժամանակակից նյութագիտության և մետալուրգիայի գիտական հայեցակարգերով:

Ներդրման տեսանկյունից առաջարկվող տեխնոլոգիան հեշտությամբ կարող է իրականացվել գործող փոշեմետալուրգիական գործարաններում, չի պահանջում լրացուցիչ բարդ սարքավորումներ, ապահովում է բարձր արտադրողականություն և էներգախնայողություն: Արդյունքում հնարավոր է ստանալ կայուն MAX-ֆազային կոմպոզիտներ՝ բարձր ջերմակայունությամբ, ֆերոմագնիսական հատկություններով և բարձր տեսակարար ամրությամբ, որոնք կիրառելի են տարբեր արդյունաբերական ոլորտներում, այդ թվում՝ բարձր ջերմաստիճանների պայմաններում աշխատող սարքավորումներում, ինչպես նաև ֆերոմագնիսական և կոմպոզիտային նյութերում:

Ներկայումս միկրոէլեկտրոնիկայի ժամանակակից ճյուղերից է համարվում սպինտրոնիկան, որտեղ MAX-ֆազերի հայտնի ընդհանրական հատկությունները համալրվում են ֆերոմագնիսական հատկություններով: Այդպիսի կարգի ու որակով նյութերը կարող են օգտագործվել տեղեկատվության պահպանմանը ծառայող գերփոքր սարքերում, ինչպես նաև տաքացուցիչներում, բարձր ջերմաստիճաններում և վտանգավոր պայմաններում աշխատող ջեռուցման սարքերում, էլեկտրական կոնտակտների ծածկույթներում, ատոմային արդյունաբերության տարբեր սարքավորումներում և մեխանիզմներում:

Հետազոտությունների հիմնավորման աստիճանը պայմանավորված է մետալուրգիական գործընթացների ժամանակակից մեթոդների, չափման և հսկման եղանակների ու ժամանակակից վերլուծության միջոցներով հետազոտության արդյունքների համեմատությամբ ու ֆոտոփաստացի նյութերով: Տեսական հետազոտությունների արդյունքները և եզրահանգումները հիմնավորված են մետալուրգիական գործընթացների ժամանակակից ու դասական տեսություններով:

Աշխատանքի գործնական կարևորությունը

Մշակվել է երկաթով և սիլիցիումով լեգիրված MAX-ֆազի կառուցվածքով համաձուլվածքների ստացման տեխնոլոգիա: Ստացված համաձուլվածքները ներկայացնում են բազմաֆազ նյութեր և պարունակում են մինչև 93 % $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ MAX-ֆազ, ինչպես նաև բյուրեղային տեսքով երկաթի սիլիցիդներ (Fe_3Si_3 , Fe_3Si , FeSi)՝ 5 % և փոքր քանակությամբ՝ 1 % Ti_3Si_3 և 1 % TiC ֆազեր: Մշակված տեխնոլոգիան հեռանկարային և գիտականորեն հիմնավորված է: Այն կարող է ներդրվել հանրապետությունում գործող փոշեմետալուրգիական ձեռնարկություններում և մասնավոր ընկերություններում՝ ապահովելով բարձր արտադրողականություն, էներգախնայողություն և մեծ տնտեսական շահույթ:

Արենախոսության վերաբերյալ առկա են հետևյալ դիփոդությունները

1. Ցանկալի կլինեն մշակված տեխնոլոգիան համեմատվել ավանդական հումքային նյութերից, ինչպիսիք են Ti-ի, Fe-ի, Al-ի և C-ի փոշիները, MAX-ֆազերի ստացման

հայտնի տեխնոլոգիայի հետ, հաշվի առնելով արտադրողականությունը, էներգախնայողությունը և վերջնական ֆազային կառուցվածքն ու մաքրությունը:

2. Աշխատանքից պարզ չէ, թե ինչպես է իրականացվում բաղադրիչների ընտրողական բաշխումն ու առանձին միջմետաղական ֆազերի կառուցվածքադրժան գործընթացի վերահսկումը, ինչը կարող է ազդել ստացված $(\text{Fe,Ti})_3(\text{Al,Si})\text{C}_2$ MAX-ֆազի բյուրեղային կառուցվածքի ու մագնիսական հատկությունների վրա:

3. Ցանկալի կլիներ աշխատանքում ուշադրություն դարձվեր շրջակա միջավայրի պաշտպանության խնդիրներին՝ հատկապես երկաթի սիլիցիդների և այլ թափոնների օգտագործման հետ կապված ռիսկերի նվազեցմանը, ինչը կնպաստեր տեխնոլոգիայի առավել անվտանգ ու կայուն կիրառմանը:

Նշված դիտողությունները չեն նվազեցնում ատենախոսության գիտական և գործնական արժեքը: Այն ձևակերպված է բարձր մակարդակով, առաջադրված խնդիրները հեղինակի կողմից լուծված են լիարժեք, իսկ նշված թերությունները ոչնչով չեն նվազեցնում քննարկվող աշխատանքի գիտական արժանիքները: Ստացված արդյունքները, մշակված տեխնոլոգիան և տեսական հիմնավորումները մեծ առաջընթաց են ապահովում մետալուրգիայի բնագավառում: Հրատարակված 10 գիտական հոդվածները և ՀՀ գյուտի 4 արտոնագրերն ամբողջությամբ համապատասխանում են թեմայի ուղղվածությանը և գիտական դրույթների բացահայտմանը:

Աշխատանքն արդիականությամբ, գիտական նորույթով և գործնական նշանակությամբ լիովին համապատասխանում է ՀՀ ԲԿԳԿ-ի կանոնակարգի պահանջներին, իսկ հեղինակը՝ Նինա Գագիկի Սահակյանն արժանի է տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը «Մետալուրգիա» մասնագիտությամբ (դասիչ Ե.16.02):

ՀՀ ԳԱԱ Մ.Գ. Մանվելյանի անվան ընդհանուր և
անօրգանական քիմիայի ինստիտուտի
«Հազվագյուտ և ցրված մետաղներ»-ի գիտական խմբի
ղեկավար, տ.գ.դ.,

Կ. Դավիթյան

Կ.Ը. Դավիթյան

ՀՀ ԳԱԱ Մ.Գ. Մանվելյանի անվան «ԸԱՔԻ»
գիտ. քարտուղար, տ.գ.թ.

Պ. Պետրոսյան

Գ.Գ. Մանուկյան

