

Քիմիա

УДК 544.4:[546.882+546.17–124]

ՖԱԶԱԳՈՅԱՑՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱՆ ՆԻՈՔԻՈՒՄԻ ԲԱՐՁՐՁԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ
ԱԶՈՏԱՑՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍՈՒՄ

Ծ. Ա. ԱՂԱՄՅԱՆ *

ԵՊՀ անօրգանական քիմիայի ամբիոն, Հայաստան

Բանալի բառեր. նիոբիում, նիտրիդ, կինետիկա, իզոթերմ, ոչ իզոթերմ, ֆազագոյացում:

Ներածություն: Անցումային մետաղների նիտրիդներն ունեն բազմազան կիրառման բնագավառներ, որը պայմանավորված է դրանց ֆիզիկաքիմիական ու մեխանիկական հատկություններով: Այդ նիտրիդներն ամուր են, մաշակայուն, ունեն բարձր հալման ջերմաստիճան, ինչպես նաև առանձնանում են քիմիական իներտությամբ: Դրանք արդյունաբերական նշանակության կարևոր նյութեր են և կիրառվում են կտրող ու ծակող գործիքների, մաշակայուն ծածկույթների, կիսահաղորդիչների և այլնի պատրաստման համար: Նիոբիումի նիտրիդներն օգտագործվում են կերմետների ու հատուկ ապակիների արտադրության մեջ, իսկ նիոբիումի մոնոնիտրիդը (NbN)՝ նուրբ և գերնուրբ գերհաղորդիչ թաղանթների ստացման համար և այլն:

Անցումային մետաղների նիտրիդների սինթեզն իրականացվում է բարձր ջերմաստիճաններում ($1000\text{--}1500^{\circ}\text{C}$) վառարանային եղանակով, կամ տեխնոլոգիական առումով առավել շահավետ և վերջին տասնամյակներում լայն տարածում ստացած բարձրջերմաստիճանային ինքնատարածվող սինթեզի (ԲԻՍ) եղանակով [1–3]: ԲԻՍ-պրոցեսի դեպքում քիմիական ռեակցիայի մեծ ջերմանջատման շնորհիվ սինթեզն ընթանում է ոչ միայն բարձր ջերմաստիճաններում ($1500\text{--}4000^{\circ}\text{C}$), այլև ելանյութի ինքնատաքացման մեծ արագությունների պայմաններում ($103\text{--}105^{\circ}\text{C}$ աստ/վ): Մասնավորապես, նիոբիումի նիտրիդների դեպքում սինթեզի ջերմաստիճանները կախված պայմաններից (ճնշում, նոսրացուցչի քանակ, նախնական տաքացման ջերմաստիճան և այլն), գտնվում են $2000\text{--}2500^{\circ}\text{C}$ տիրույթում, իսկ տաքացման արագությունները՝ $10000\text{--}15000^{\circ}\text{C}$ աստ/վ տիրույթում [4, 5]:

Նիոբիումի ազոտացման պրոցեսի կինետիկայի, դիֆուզիայի և ֆազագոյացման օրինաչափությունների ուսումնասիրության վերաբերյալ աշխատանքները քիչ են [6–10]:

Նշենք, որ բոլոր այս աշխատանքներում հետազոտություններն իրականացվել են բարձր ջերմաստիճաններում, իզոթերմ պայմաններում և հիմնականում

* E-mail: tsovinaradamyam@ysu.am

ագոտի բարձր ճնշման տակ: Այսպես, [6] աշխատանքում հետազոտություններն իրականացվել են $1600\text{--}2400^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճաններում և 1 մթն. ճնշման պայմաններում [7]-ում՝ $1100\text{--}1400^{\circ}\text{C}$, [8]-ում՝ $1400\text{--}1800^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճաններում և ագոտի 1–30 մթն ճնշման պայմաններում [9, 10]-ում՝ ագոտի 1 մթն ճնշման պայմաններում համապատասխանաբար $1510\text{--}1930^{\circ}\text{C}$ և $1405\text{--}2035^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանային տիրույթներում: Նշված բոլոր աշխատանքներում ուսումնասիրված ճնշումների, ջերմաստիճանների և ժամանակների միջակայքերում դիտվել է նիտրիդային երկֆազ դիֆուզիոն գոնայի առաջացում: Հարկ է նշել, որ թվարկված աշխատանքներում առաջին չափումները կատարվել են փոխազդեցության սկզբնական պահից բավական ժամանակ անց (երբեմն ժամեր) [7, 8]: [8] աշխատանքն արժեքավոր է նրանով, որ այնտեղ բերված է նաև Nb-N_2 համակարգի վիճակի ֆազային դիագրամի ճշգրտված տարբերակը: Բերված տվյալներից հետևում է, որ գրականության մեջ բացակայում են ուղղակի կինետիկական տվյալներ նիտրիդի բարձրջերմաստիճանային ագոտացման սկզբնական փուլերի և այդ պայմաններում նիտրիդային ֆազերի առաջացման դինամիկայի մասին: Վերջինս կարևոր է այդ նիտրիդների ԲԻՄ եղանակով ստացման պրոցեսի ղեկավարման և օպտիմալ պայմանների ընտրության առումով:

Մույն աշխատանքում խնդիր է դրվել հետազոտել և պարզել նիտրիդի նիտրիդների ֆազագոյացման դինամիկական այրման ռեժիմում՝ նիտրիդի նիտրիդների սինթեզի ջերմաստիճանա-ժամանակային տիրույթին մոտ պայմաններում: Հետազոտություններն իրականացվել են ինչպես իզոթերմ, այնպես էլ ոչ իզոթերմ ջերմային ռեժիմներում՝ ագոտի 20–300 *Տորր* ճնշման տակ:

Նյութեր և մեթոդիկա: Նիտրիդի ագոտացման կինետիկական հետազոտվել է էլեկտրաթերմազրաֆիակական եղանակով [11]՝ տեսաձրող էլեկտրաթերմազրական սարքավորման օգտագործմամբ: Ելային փորձանմուշներ են հանդիսացել 100 *մկմ* տրամագծով և 8,5 *սմ* երկարությամբ բարձր մաքրության նիտրիդի մետաղալարերը (“ESPI Metals” մականիշի, մաքրությունը 3 N (99,9%)), որոնք տաքացվել են նախօրոք տրված ջերմաստիճանային ռեժիմով գազային ագոտի (մաքրությունը՝ 99,98%) միջավայրում՝ անմիջական էլեկտրական հոսանքի միջոցով: Համակարգչային ղեկավարման շնորհիվ հնարավոր է եղել փորձերն իրականացնել հաստատուն և գծային ռեժիմով տաքացման պայմաններում, ինչպես նաև ապահովել փորձի ընթացքում անընդհատ չափվող պարամետրերի (մետաղալարի ջերմաստիճան, էլեկտրադիմա-դրություն, անջատված հզորություն և այլն) ավտոմատ կերպով գրանցումն ու մշակումը:

Մետաղալարի ջերմաստիճանի անընդհատ չափումներն իրականացվել են ջերմահաստատուն սիլիցիումային արևային ֆոտոէլեմենտների օգնությամբ (10^{-5} *վ* ժամանակային հաստատունով)՝ օգտագործելով ԻԿ ֆիլտրեր: Ֆոտոէլեմենտների աստիճանավորման համար օգտագործվել է վոլֆրամի լարի էլեկտրադիմադրության համար հայտնի ջերմաստիճանային կախվածությունը [12]: Ջերմաստիճանի չափման սխալը չի գերազանցել 1,5%:

Իզոթերմ փորձերն իրականացվել են 2100°C ջերմաստիճանում, իսկ ոչ իզոթերմ փոխազդեցության փորձերը՝ $1200\text{--}2100^{\circ}\text{C}$: Գազային ագոտի ճնշումը փոփոխվել է 20–300 *Տորր* միջակայքում: Իզոթերմ փորձերում մետաղալարը շատ արագ ($t \leq 0,005$ *վ*) տաքացվել է մինչև տրված ջերմաստիճանը և այնուհետև ավտոմատ կերպով պահվել է հաստատուն: Ոչ իզոթերմ տաքացման ժամանակ

նմուշները նախ՝ թոփչաձև տաքացվել են մինչև 1200°C , ապա տաքացումը շարունակվել է գծային օրենքով (տաքացման արագությունը կազմել է 100°C աստ/վ) մինչև 2100°C , որն այնուհետև պահվել է հաստատուն:

Փոխազդեցության տարբեր փուլերում փորձերն ընդհատվել են և նմուշներն ենթարկվել են զանգվածաչափական, մետաղաբանական, էլեկտրոնամանրադիտակային և ռենտգենաֆազային հետազոտությունների:

Չանգվածաչափական վերլուծության իրականացման համար կիրառվել է BLP-20r. տիպի անալիտիկ կշեռք՝ 10^{-5}g ճշտությամբ (կշռվող լարերի $\sim 10^{-2}\text{g}$ զանգվածի դեպքում): Առաջացած արգասիքների (նիտրիդային ֆազեր և ազոտի պինդ լուծույթ մետաղում) միկրոկառուցվածքն ուսումնասիրվել է օպտիկական (Jenavert, Carl Zeiss Jena, խոշորացումը մինչև 1000 անգամ) և լուսածրային էլեկտրոնային (BS-300, Tesla, մինչև 10000 անգամ խոշորացման տակ) մանրադիտակների օգնությամբ: Ֆազերի նույնականացումն իրականացվել է ռենտգենաֆազային վերլուծությունով (Դրոն 3.0 տիպի դիֆրակտոմետրով):

Չանգվածաչափական և մետաղաբանական, միմյանցից անկախ կինետիկական հետազոտությունների արդյունքում, հնարավոր է եղել բացահայտել ֆազագոյացման առանձնահատկությունները դիտարկվող համակարգում ընթացող հետերոգեն փոխազդեցության ժամանակ:

Արդյունքներն ու դրանց քննարկումը: Նիոբիում-ազոտ համակարգում՝ համաձայն վիճակի ֆազային դիագրամի [13], հնարավոր է մետաղում ազոտի պինդ լուծույթի և տարբեր բաղադրությամբ մի քանի նիտրիդային ֆազերի առաջացում: Nb_2N նիտրիդային ֆազն ունի հոմոգենության լայն տիրույթ՝ մոտավորապես 29,5–33,8 ատ.% ազոտի պարունակությամբ: NbN ֆազը բնութագրվում է բավական նեղ հոմոգենության տիրույթով (մոտավորապես 48,6–50,5 ատ.% ազոտ) և կայուն է մինչև 1360°C : Ազոտը, լուծվելով նիոբիումի մեջ (առավելագույնը 11,7 ատ.%), իջեցնում է վերջինի հալման ջերմաստիճանը $2469^{\circ}\text{--}2350^{\circ}\text{C}$: Մակայն հետազայում [13]-ում բերված դիագրամում Լենգաուերի և համահեղինակների կողմից [8] կատարվել են ուղղումներ, որոնց արդյունքում ճշգրտվել են որոշ ֆազերի հոմոգենության տիրույթները և կայունության սահմանները: Մասնավորապես, հայտնաբերվել է, որ գոյություն ունի $\delta\text{-NbN}$ մոդիֆիկացիան, որը կայուն է մինչև 2200°C , իսկ $\gamma\text{-Nb}_4\text{N}_3$ մետաստաբիլ ֆազն իրականում կայուն է մինչև 1100°C , որից մեծ արժեքների դեպքում ֆազային անցման շնորհիվ վերածվում է բարձր ջերմաստիճանային $\delta\text{-NbN}$ մոդիֆիկացիային:

Իզոթերմ պայմաններում ելային և փոխազդեցության տարբեր փուլերում ստացված նմուշների ընդլայնական հատույթի՝ լուսածրային էլեկտրոնային մանրադիտակով (ԼԷՄ) ստացված պատկերները, ինչպես նաև համապատասխան նմուշների ռենտգենագրամները բերված են նկ. 1 և 2-ում:

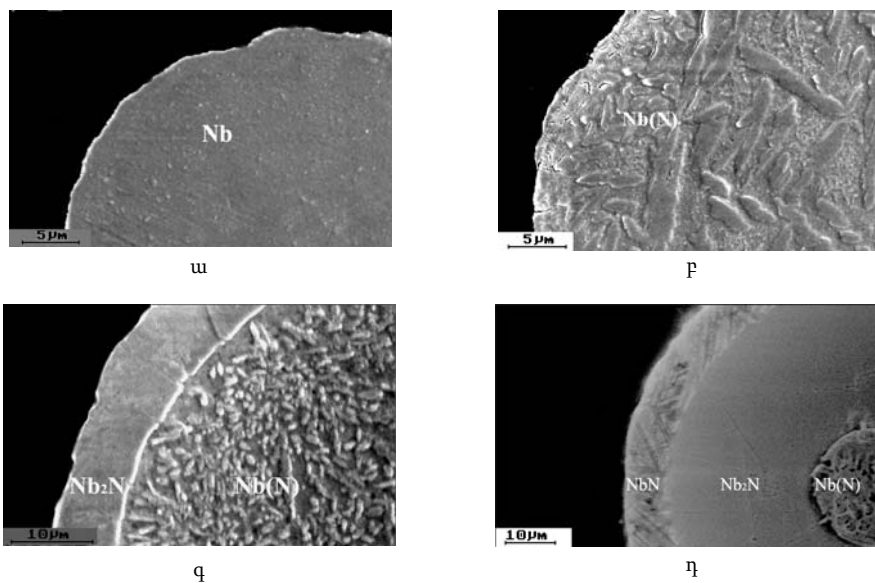
Փոխազդեցության տարբեր պահերին ընդհատված նմուշների ԼԷՄ և ռենտգենաֆազային հետազոտություններից պարզվել է, որ ազոտի ճնշումից կախված, կարող են դիտվել նիոբիումի ազոտացման տարբեր ռեժիմներ, մասնավորապես.

✚ 20 Տորր ճնշման պայմաններում փոխազդեցությունը սահմանափակվում է միայն ազոտի լուծման պրոցեսով, նիտրիդային ֆազերի առաջացում չի գրանցվում (նկ. 1, բ);

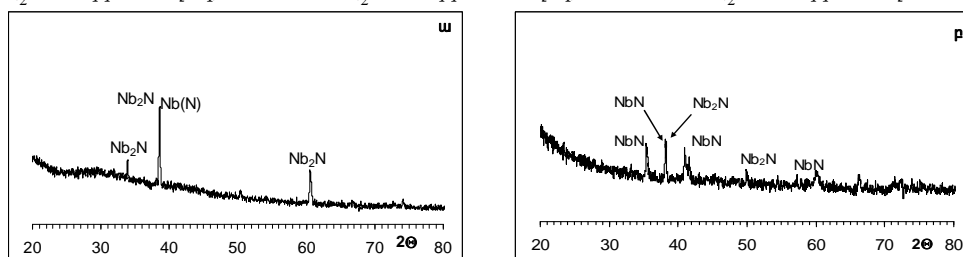
✚ 100 Տորր ազոտի ճնշման դեպքում ազոտի լուծմանը հաջորդում է ազոտով աղքատ նիտրիդի՝ Nb_2N առաջացումը (նկ. 1, գ և 2, ա): Բացի այդ, ինչպես երևում է

նկ. 1, գ-ում, պինդ լուծույթի զոնայում նկատվում է լավ արտահայտված բյուրեղների առաջացում: Դրանք, ամենայն հավանականությամբ, 2100°C -ում առաջացած պինդ լուծույթի՝ մինչև սենյակային ջերմաստիճան սառեցման դեպքում, գերհագեցման արդյունքում անջատված Nb_2N -ի բյուրեղներ են: Դա՝ նիոբիումում ազոտի լուծելիության ջերմաստիճանային ուժեղ կախվածության հետևանք է [13]:

300 Տորր ճնշման դեպքում մետաղում ազոտի լուծման հետ միաժամանակ տեղի է ունենում Nb_2N նիտրիդային ֆազի առաջացում, որին հաջորդում է տվյալ ջերմաստիճանում վիճակի դիագրամին համապատասխանող մյուս հավասարակշռական նիտրիդային ֆազի՝ NbN առաջացումը (նկ. 1, դ և 2, բ):



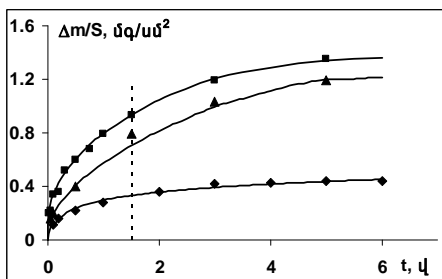
Նկ. 1: Նիոբիումի լարի ընդլայնական հատույթի ԼԷՍ-պատկերները. ա) էլային լար; բ) $T = 2100^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{N}_2} = 20$ Տորր, $t = 4$ ւ: գ) $T = 2100^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{N}_2} = 100$ Տորր, $t = 0,5$ ւ; դ) $T = 2100^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{N}_2} = 300$ Տորր, $t = 5$ ւ:



Նկ. 2: Տարբեր պայմաններում ազոտացված նիոբիումի լարի ռենտգենագրամը. $T = 2100^{\circ}\text{C}$; ա) $P_{\text{N}_2} = 100$ Տորր, $t = 0,5$ ւ; բ) $P_{\text{N}_2} = 300$ Տորր, $t = 5$ ւ:

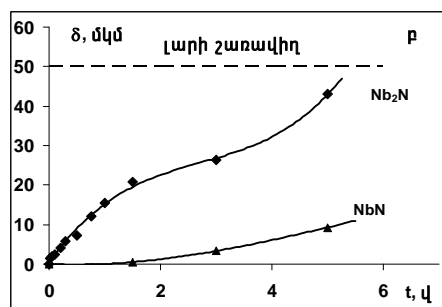
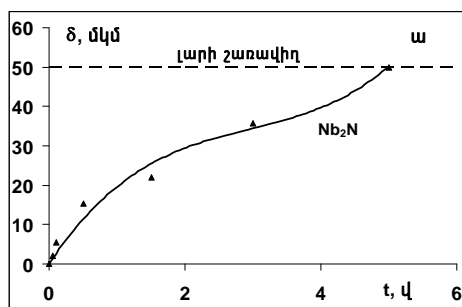
Չանգվածաչափական վերլուծության արդյունքներից երևում է (նկ. 3), որ ազոտի ճնշման մեծացմանը զուգընթաց տեղի է ունենում պրոցեսի արագության զգալի աճ: Ընդ որում, ճնշման ազդեցությունն ավելի զգալի է մինչև 100 Տորր տիրույթում:

Ձևավորված դիֆուզիոն զոնայի կառուցվածքն ու նրանում ֆազերի բաշխվածությունն ուսումնասիրվել է մետաղաբանական վերլուծությամբ:



Նկ.3. Նիոբիումի լարի զանգվածի փոփոխությունը տարբեր ճնշման պայմաններում: $T=2100^{\circ}C$; $P_{N_2} = \blacklozenge - 20, \blacktriangle - 100, \blacksquare - 300$ Տորր

կլանվել է տվյալ ճնշման ու ջերմաստիճանի պայմաններում հնարավոր ընդհանուր ազոտի քանակության կեսից ավելին (նկ. 3 կետագծով նշված է NbN-ի առաջացմանը համապատասխանող ժամանակը $P=300$ Տորր ճնշման դեպքում):



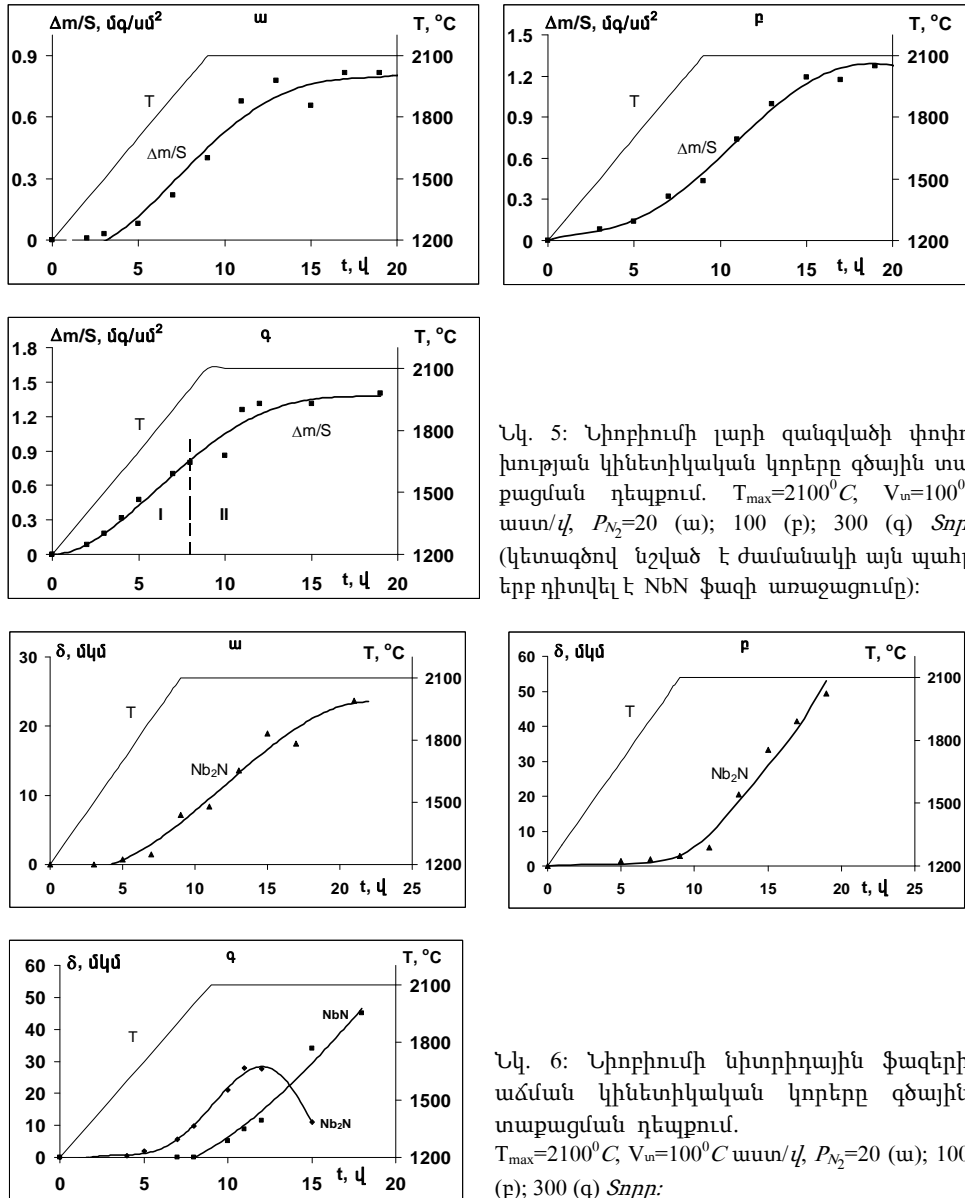
Նկ. 4: Նիոբիումի նիտրիդային շերտերի աճման կինետիկական կորերը. $T=2100^{\circ}C$, ա) $P_{N_2} = 100$ Տորր; բ) $P_{N_2} = 300$ Տորր:

Ինչպես երևում է նկ. 4-ից, թե՛ 100, թե՛ 300 Տորր ճնշման պայմաններում Nb₂N շերտի աճի համար դիտվում է որակապես նույն պատկերը: Մինչև որոշակի հաստություն (~15–20 մկմ) Nb₂N շերտի աճն ընթանում է գրեթե հաստատուն արագությամբ, ինչը վկայում է դիֆուզիոն պրոցեսի համար 2-րդ կարգի սահմանային պայմանի իրագործման մասին: Ավելի խորը փոխարկումների դեպքում շերտի աճն ընթանում է արագացմամբ, որը կապված է մետաղալարի զլանային համաչափության ազդեցության հետ:

Ոչ իզոթերմ պայմաններում նիոբիումի ազոտացման պրոցեսի հետազոտություններն իրականացվել են 100^oC աստ/վ արագությամբ ($V_{տ}$) գծային տաքացման պայմաններում 1200^oC–2100^oC առավելագույն ջերմաստիճանի և ազոտի ճնշման 20, 100 և 300 Տորր արժեքների դեպքում:

Նկ. 5-ում բերված են նիոբիումի լարի զանգվածի փոփոխության կորերը համապատասխան տաքացման ջերմագրերի հետ միասին՝ տարբեր ճնշման պայմաններում: Մետաղալարի զանգվածի աճը նկարագրվում է S-աձև կախվածությամբ, որում կարելի է առանձնացնել սկզբնական արագացող ու հետագա դանդաղող տիրությունները: Սա երկու մրցակցող գործոնների հետևանքն է. այն է՝ պրոցեսի ջերմային արագացման և դիֆուզիոն ինքնարգելակման միաժամանակյա ազդեցության:

Նկ. 4-ում ներկայացված են նիտրիդային շերտերի աճման կինետիկական կորերը ազոտի ճնշման 100 և 300 Տորր պայմաններում: Շերտերի հերթական առաջացումը 300 Տորր ճնշման տակ վկայում է ազոտի տրման արագության սահմանափակ լինելու մասին: Չանգվածաչափական և մետաղաբանական հետազոտությունների համեմատությունից (նկ. 3 և նկ. 4, բ) հետևում է, որ մոնոնիտրիդի առաջացումը տեղի է ունենում այն ժամանակ, երբ նմուշի կողմից արդեն



Նկ. 5: Նիոբիումի լարի զանգվածի փոփոխության կինետիկական կորերը գծային տաքացման դեպքում. $T_{\text{max}}=2100^\circ\text{C}$, $V_w=100^\circ\text{C}$ աստ/վ, $P_{N_2}=20$ (ա); 100 (բ); 300 (գ) Տորր (կետագծով նշված է ժամանակի այն պահը, երբ դիտվել է NbN ֆազի առաջացումը):

Նկ. 6: Նիոբիումի նիտրիդային ֆազերի աճման կինետիկական կորերը գծային տաքացման դեպքում. $T_{\text{max}}=2100^\circ\text{C}$, $V_w=100^\circ\text{C}$ աստ/վ, $P_{N_2}=20$ (ա); 100 (բ); 300 (գ) Տորր:

Մետաղաբանական հետազոտությունների համաձայն (նկ. 6), առաջացող դիֆուզիոն զոնան, կախված ճնշումից, բնութագրվում է ֆազային բաղադրության ու աճման տարբեր կինետիկական օրինաչափություններով: 20 Տորր ազոտի ճնշման դեպքում տեղի է ունենում միայն նիոբիումում ազոտի պինդ լուծույթի և Nb_2N նիտրիդի առաջացում: Ընդ որում վերջինն առաջանում է փոխազդեցության սկզբից որոշ ժամանակ անց (նկ. 6, ա): Նիտրիդային շերտի աճն այս դեպքում զանգվածի աճման կորին համանման նկարագրվում է S-աձև կախվածությամբ: Մակայն ավելի խոր փոխարկումների դեպքում նկատվում է և՛ կլանված ազոտի քանակի, և՛ նիտրիդային շերտի հաստության նվազման միտում, ինչը ցածր ճնշման տակ Nb_2N -ի դիսոլյուցիայի հետևանք է [6, 10]:

Ազոտի թե՛ 100 Տորր, թե՛ 20 Տորր ճնշումների դեպքում դիտվում է նույն ֆազային բաղադրությունը: Սակայն, ի տարբերություն, վերը նշված դրսևորման, շերտի մեծ հաստությունների դեպքում աճման կորն ունի արագացող տիրույթ (նկ. 6, բ): Սա հետևանք է այն բանի, որ նիտրիդային շերտի հաստացման հետ սկսում է ի հայտ գալ մետաղալարի գլանաձև համաչափության ազդեցությունը, որը փոխարկման աստիճանի մեծացմանը զուգընթաց ավելի զգալի է դառնում: Այս երևույթը դիտվել է նաև իզոթերմ փոխազդեցության ժամանակ:

300 Տորր ճնշման պայմաններում դիտվում է երկշերտ նիտրիդային դիֆուզիոն զոնայի առաջացում, ընդ որում NbN ֆազն առաջանում է Nb₂N-ի առաջացումից զգալիորեն ավելի ուշ (նկ. 6, գ): Դա վկայում է այն մասին, որ պրոցեսն ընթանում է գազային ռեագենտի սահմանափակ տրման պայմաններում, այսինքն՝ երկրորդ կարգի սահմանային պայմանով (պրոցեսի արագությունը կախված է գազային ռեագենտի ճնշումից), և դիֆուզիոն զոնայում նիտրիդային շերտերն առաջանում են ոչ թե միաժամանակ, այլ հաջորդաբար: Ուշադրության է արժանի այն փաստը, որ Nb₂N շերտն աճելով հասնում է մինչև որոշակի հաստության (տվյալ դեպքում մինչև ~30 մկմ) և այնուհետև դիտվում է նրա հաստության նվազում: Վերջինս պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ Nb₂N շերտի ներքին սահմանը հասնում է մետաղալարի կենտրոնին (շերտերի հաստությունների գումարը հավասարվում է մետաղալարի շառավղին) և առաջացած երկրորդ նիտրիդային շերտն արդեն աճում է առաջինի հաշվին: Պրոցեսն ավարտվում է, երբ ամբողջ մետաղը փոխարկվում է NbN մոնոնիտրիդի:

Եզրակացություն:

✚ Բացահայտվել են ֆազագոյացման օրինաչափությունները նիտրիդի բարձրջերմաստիճանային իզոթերմ և ոչ իզոթերմ ազոտացման պայմաններում ազոտի ճնշման 20–300 Տորր միջակայքում:

✚ Ցույց է տրվել, որ ազոտի ճնշումը որոշիչ դեր ունի ինչպես արգասիքների ֆազային բաղադրության, այնպես էլ ֆազագոյացման մեխանիզմի վրա:

Ստացվել է 17.02.2012

Գ Ր Ա Կ Ա Ն ՈՒ Թ Յ ՈՒ Ն

1. Merzhanov A.G. // Ceramics International, 1995, v. 21, p. 371.
2. Borovinskaya I.P. // Pure and Appl. Chem., 1992, v. 64, № 7, p. 919.
3. Мержанов А.Г., Боровинская И.П. // Доклады АН СССР, 1972, т. 204, с. 366.
4. Buscaglia V., Caracciolo F., Ferretti M., Minguzzi M., Musenich R. // J. of Alloys and Compounds, 1998, v. 266, p. 201.
5. Yeh C.L., Chuang H.C. // Ceramics Intern., 2004, v. 30, p. 733.
6. Вадченко С.Г., Григорьев Ю.М. // Металлы, 1979, № 1, с. 187.
7. Lengauer W., Bohn M., Wollein B., Lisak K. // Acta Materialia, 2000, v. 48, p. 2633.
8. Joguet M., Lengauer W., Bohn M., Bauer J. // J. of Alloys and Compounds, 1998, v. 269, p. 233.
9. Портной К.И., Салибеков С.Е., Левинский Ю.В. и др. Сб. Химия и физика нитридов. Киев: Наукова думка, 1968, с. 69.
10. Кипарисов С.С., Левинский Ю.В. Азотирование тугоплавких металлов. М.: Металлургия, 1972, с. 160.

11. Kharatyan S.L., Chatilyan H.A., Arakelyan L.H. // Mater. Res. Bull., 2008, v. 43, iss. 4, p. 897.
12. Таблицы физических величин. Справочник (под ред. акад. И.К. Кикоина). М.: Атомиздат, 1976, 1008 с.
13. Phase diagram database TAPP 2.2.

Ц. А. АДАМЯН

ДИНАМИКА ФАЗООБРАЗОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО АЗОТИРОВАНИЯ НИОБИЯ

Резюме

В данной работе исследован процесс азотирования ниобия в температурном интервале 1200–2100⁰C и при давлениях газообразного азота 20–300 Torr. За динамикой азотирования ниобия следили как в изотермических, так и в неизотермических условиях. Выявлено влияние давления азота на фазовый состав продуктов и механизм фазообразования.

Ts. A. ADAMYAN

DYNAMICS OF PHASE FORMATION AT HIGH TEMPERATURE
NITRIDATION OF NIOBIUM

Summary

In this work the nitridation process of niobium within the temperature range 1200–2100⁰C and the pressure of gaseous nitrogen 20–300 Torr was investigated. Dynamics of the niobium nitridation was explored both under isothermal and non-isothermal conditions. The influence of nitrogen pressure on the phase composition of products and phase formation mechanism was revealed.