

ՊԱՇՏՈՆԱԿԱՆ ԸՆԴԴԻՄԱԽՈՍԻ ԿԱՐԾԻՔ

Միքայել Սերյոժայի Ալեքսանյանի՝ «Հեռանկարային գազային սենսորներ՝ մետաղօքսիդային նանոկոմպոզիտների հիման վրա» թեմայով Ա.04.10 - «Կիսահաղորդիչների ֆիզիկա» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության վերաբերյալ:

Ատենախոսությունը նվիրված է մետաղօքսիդային նանոկոմպոզիտների հիման վրա կիսահաղորդչային ռեզիստիվ սենսորների պատրաստմանը և դրանց բնութագրերի հետազոտմանը: Ատենախոսության շրջանակներում պատրաստվել են բարձր արդյունավետության նանոկառուցվածքային սենսորներ ջրածնի, բութանի, հեղուկացված նավթային գազի, էթանոլի, ացետոնի, ամոնիակի և տարբեր քիմիական ազդանյութերի հայտնաբերման համար:

Մետաղօքսիդային նանոկառուցվածքները և դրանց հիման վրա պատրաստված նանոկոմպոզիտային նյութերը վերջին տասնամյակներում բավական լայն կիրառություն ունեն գիտության և նանոտեխնոլոգիաների ամենտարբեր ասպարեզներում: Դեռ 60-ականների կեսերից մետաղօքսիդային նյութերը փորձել են կիրառել ռեզիստիվ գազային սենսորներում որպես գազազգայուն տարրեր, սակայն դրանց կարևորագույն պարամետրերը, ինչպիսիք են զգայունությունը, կայունությունը և ընտրողունակությունը եղել են բավական ցածր և սրանց հիման վրա պատրաստված սենսորները գործնական կիրառում չեն գտել: Տեխնոլոգիաների զարգացմանը զուգընթաց այս տիպի սենսորների պարամետրերը գնալով լավարկվել են փոփոխելով զգայուն շերտի միկրոկառուցվածքը, խառնուրդային նյութերի տեսակը և քնակը ինչպես նաև զգայուն մակերևույթին կատալիզային հատիկների բաշխվածությունը և դրանց չափերը: Չնայած այս ոլորտի զարգացման բուռն ընթացքին, ներկայումս որոշակի կարևորության խնդիրներ դեռևս պահանջում են իրենց լուծումները: Այսպես՝ օրինակ սենսորի որևէ պարամետր չափից ավել լավարկելը բերում է մեկ այլ կարևորագույն պարամետրի նվազման, ուստի անհրաժեշտ է գտնել բնութագրերի այնպիսի հարաբերակցություն, որի դեպքում սենսորը կլինի գործնականում կիրառելի: Այսօր, նմանատիպ խնդիրների լուծման

համար մեծ ծավալի աշխատանքներ են կատարվում և, այդ առումով, ատենախոսության շրջանակում լուծված խնդիրները խիստ արդիական են:

Ներկայիս ռեզիստիվ գազային սենսորների բնութագրերը կախված են բազմաթիվ գործոններից և այսօր արդի պահանջներին ամբողջությամբ բավարարող սենսորներ գրեթե չկան: Դա հիմնավոր արտացոլումն է գտել գրականության վերլուծությունում: Այս առումով, խիստ կարևորվում է նանոկառուցվածքային սենսորների պատրաստմանը և հետազոտմանը միտված գիտական և կիրառական կարևորություն ունեցող տեխնոլոգիաների մշակումը:

Ատենախոսությունը կազմված է ներածությունից, 5 գլուխներից, 260 անուն գրականության ցանկից և եզրակացություններից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը կազմում է 260 էջ և ներառում է 176 նկար ու 18 աղյուսակ:

Ներածություն մեջ հիմնավորված է թեմայի արդիականությունը, բերված են աշխատանքի նպատակները, ստացված արդյունքների գիտական նորույթը և կիրառական նշանակությունը, պաշտպանությանը ներկայացվող հիմնական դրույթները և ատենախոսության կառուցվածքը:

Առաջին գլուխում ամփոփ նկարագարվում են այժմ առկա գազային տվիչների տեսակները, դրանց առավելություններն ու թերությունները և այն հիմնական պարամետրերը, որոնք փոփոխվում են թիրախային գազից կախված: Այդտեղ մատնանշվում են հատկապես կիսահաղորդչային ռեզիստիվ սենսորների բնութագրերը, դրանց վրա ազդող հնարավոր գործոնները և դրանցում օգտագործվող նանոկառուցվածքների գազազգայունության պարամետրերի լավրակման հնարավոր ուղիները: Մանրամասը քննարկվել են սենսորի աշխատունակության պարամետրերի վրա զգայուն թաղանթների հաստության և նրանցում հատիկների չափերի ազդեցությանը վերաբերող խնդիրներ: Նմանատիպ սենսորների թաղանթները հիմնականում ունեն հատիկային կառուցվածք և այստեղ հատիկների չափերը որոշվում են թաղանթի ստացման տեխնոլոգիական եղանակներով և ռեժիմներով: Հիմնականում հատիկների չափերի և թաղանթի հաստության նվազումը բերում է զգայունության էական աճի: Բերված գրականության ակնարկը, որը վերաբերվում է ներկայումս զարգացող գազային սենսորներին, բավական ընդգրկուն

է և, կարելի է եզրակացնել, որ առկա գրեթե բոլոր սենսորներն ունեն պարամետրիկ լավարկման կարիք և ամբողջությամբ չեն բավարարում ներկայացվող պահանջներին:

Երկրորդ գլխում հեղինակը ներկայացնում է ատենախոսության շրջանակներում պատրաստված գազային տվիչների պարամետրերի չափման արդյունքները: ~~Ռոմբ~~ Հիմնականում դիտարկվել են ջրածնի, հզորությանի և հեղուկացված նավթային գազի սենսորներ: Այդտեղ առավել հատկանշական է այն, որ պատրաստված $Fe_2O_3:ZnO$ նանոկառուցվածքային սենսորը նույնիսկ $50\text{ }^\circ\text{C}$ աշխատանքային ջերմաստիճանում ցուցաբերել է զգայունություն, իսկ $150\text{ }^\circ\text{C}$ -ում 2000 ppm ջրածնի նկատմամբ սենսորի դիմադրությունը փոխվել է ավելի քան 5000 անգամ: Բավական պարզ մեթոդով պատրաստվել են նաև ջրածնի նկատմամբ զգայուն ճկուն սենսորներ՝ պոլիմիդե տակդիրի վրա: Այդտեղ օգտագործվող ածխածնային նանոխողովակների բարձր ճկունությունը թույլ են տվել դրանք հաջողությամբ օգտագործել որպես ճկուն սենսորների գազազգայուն տարրեր: Պինդֆազային սինթեզման եղանակով ստացվել է նաև $SnO_2<Nb>$ թիրախ և բարձրհաճախային մագնետրոնային նստեցման մեթոդով հեղուկացված նավթային գազի համար պատրաստվել ռեզիստիվ սենսոր: Առավել հետաքրքրական է այդ գազի նկատմամբ $In_2O_3:Ga_2O_3$ սենսորի բնութագրերի հետազոտման մեթոդը, որտեղ փոխելով գեներատորի հզորությունը հնարավոր է եղել փոխել հատիկների չափերը և գտնել առավելագույն զգայունությանը համապատասխանող միկրոկառուցվածք:

Երրորդ գլխում հեղինակը ներկայացնում է հիմնականում էթանոլի, ացետոնի և ամոնիակի նկատմամբ զգայուն սենսորների բնութագրերը: Այդտեղ առավել մեծ տեղ են զբաղեցնում էթանոլի նկատմամբ զգայուն սենսորների չափման արդյունքները: Էթանոլի նկատմամբ բավական խոստումնալից արդյունքներ են գրանցել $\alpha\text{-}Fe_2O_3/FAU$ (բազմապատ ածխածնի նանոխողովակներ) հիման վրա պատրաստված սենսորները, որտեղ ածխածնի նանոխողովակների և երկաթիի օքսիդի էֆեկտիվ հարաբերակցության շնորհիվ սենսորը բավականին արագ է արձագանքում էթանոլի ցածր կոնցենտրացիաներին: Ավելին, $SnO_2<Co>$ հիման վրա պատրաստված էթանոլի սենսորի աշխատանքային ջերմաստիճանը և

արագագործությունը բավական բարելավվել են սենսորի մակերևույթին ուլտրամանուշակագույն ճառագայթների կիրառմամբ: Որպես էթանոլի ծայրահեղ ցածր կոնցենտրացիաներ (0.7 ppm) հայտնաբերող սենսոր բավական մանրակրկիտ ուսումնասիրվել է ZnO<La> կառուցվածքը: Կատարվել է թաղանթի միկրոկառուցվածքի հետազոտում (SEM, SE, BSE), տարրային անալիզ (EDX) և հանվել է թաղանթի "FTIR" սպեկտրը: Կատարվել է սենսորի պարամետրերի համեմատում գրականությունում առկա այլ սենսորների հետ: Դիտարկվել են նաև Fe₂O₃:Sn և Fe₂O₃:ZnO սենսորների պարամետրերի չափման արդյունքները, որոնք զգայունություն են ցուցաբերել համապատասխանաբար ացետոնի և ամոնիակի նկատմամբ:

Չորրորդ գլուխն ամբողջությամբ նվիրված է ջրածնի պերօքսիդի գոլորշիների սենսորներին: Տարբեր մետաղօքսիդային նանոկառուցվածքների և կոմպոզիտ նյութերի (SnO₂, ZnO, SnO₂/(FALH) և այլն) հիման վրա պատրաստվել են ջրածնի պերօքսիդի գոլորշիների ռեզիստիվ սենսորներ: Որպես ավելի ընդգրկուն հետազոտություն, բացի չափման ռեզիստիվ եղանակից, դիտարկվել են նաև սենսորների ունակային հետազոտման մեթոդներ: Դիտարկվել են ջրածնի պերօքսիդի սենսորների ունակահաճախային, վոլտապերային և վոլտֆարատային բնութագրերի շեղումները՝ թիրախային գազի առկայությամբ: Բոլոր դեպքերում ցույց է տրվել ուլտրամանուշակագույն ճառագայթների դրական ազդեցությունը գազազգայունության վրա: Ուշագրավ է նաև այն, որ SnO₂<Co> սենսորը զգայունություն է ցուցաբերել այդ գազի նկատմամբ սենյակային ջերմաստիճանում, իսկ արդեն 150 °C-ում այն հայտնաբերել է ջրածնի պերօքսիդի քրծ կարգի կոնցենտրացիաներ: Գրականությունում ջրածնի պերօքսիդի զգայունության մեխանիզմները բավական քիչ են ուսումնասիրված: Այդ բացը որոշակի լրացվում է սույն գլխում ներկայացված պերօքսիդի մոլեկուլների և կիսահաղորդչի միջև տեղի ունեցող հնարավոր քիմիական ռեակցիաների և դրանց ընթացքի վերլուծություններով:

Հինգերորդ գլխում բերված են տարբեր քիմիական ազդանյութերի սենսորների բնութագրերը, որոնց հիման վրա ստացվել են արտոնագրեր: Չեխիայում գտնվող "NATO"-ի ռազմական բազայում կատարվել են զգայունության չափումներ ծայրահեղ

վտանգավոր ռազմական գազերի՝ իպրիտի և զարինի նկատմամբ: $\text{SnO}_2\langle\text{Co}\rangle$ սենսորը արձագանքել է այդ գազերի նկատմամբ սկսած 200°C աշխատանքային ջերմաստիճանից՝ կոնցենտրացիաների 12-ից 25 ppm տիրույթում: Այստեղ տեղ են գտել նաև մագնետրոնային փոշեցրման նորագույն սարքավորման միջոցով ածխածնային նանոկառուցվածքների աճեցման նկարագրությունը, որը միաժամանակ ունի հաստատուն (DC) և փոփոխական (RF) դաշտերով փոշեցրման գլխիկներ: Սա թույլ է տվել միևնույն վակուումային միջավայրում հաստատուն դաշտով փոշեցրմամբ ստանալ կատալիզային նանոհատիկներ՝ որոնց շուրջն էլ փոփոխական դաշտերով փոշեցրմամբ աճել են ածխածնային նանոխողովակները: Որպես ատենախոսության վերջին և ամփոփիչ գլուխ, այստեղ առավել մանրակրկիտ բերված են նաև բազմակոմպոնենտ թիրախների պինդֆազային սինթեզման եղանակի առանձնահատկությունները և այն բոլոր թիրախները, որոնք պատրաստվել են այս տարիների ընթացքում:

Եզրակացությունում ամփոփված են աշխատանքում ստացված հիմնական արդյունքները:

Այսպիսով, աշխատանքում համապարփակ և մանրամասն ներկայացված են՝

- նանոկառուցվածքային սենսորների պատրաստման ընթացքը,
- սինթեզված նյութերի կազմաբանական և կառուցվածքային առանձնահատկությունները,
- դրանց հնարավոր ազդեցությունը գազազգայունության պարամետրերի վրա
- և դրանց բաղադրության վերաբերյալ ստացված արդյունքները:

Սինթեզված նյութերի բնութագրերը չափվել են արտասահմանում և ՀՀ-ում գտնվող արդի և լուրջ կայանքների միջոցով, իսկ գազազգայունության բնութագրերը՝ մի քանի համակարգերի միջոցով, այդ թվում նորագույն չափիչ համակարգով, որը ներառում է գազերի հոսքերը ճշգրիտ կառավարող հոսքաչափեր և խոնավության ու ջերմաստիճանի սենսորներ: Աշխատանքում պարբերաբար բերվել են նաև պատրաստված սենսորների պարամետրերի համեմատման աղյուսակներ՝ ժամանակակից այլ սենսորների պարամետրերի հետ,

ինչը կարևոր տեղեկատվություն է: Այնուամենայնիվ, աշխատանքը զերծ չէ նաև թերություններից, որոնցից առանձնացրել են հետևյալը՝

1. Երրորդ գլխում բավական մանրամասն բերված են ցնդող օրգանական միացություններից էթանոլի և ամոնիակի զգայունության մեխանիզմները՝ ներառած նաև համապատասխան քիմիական ռեակցիաները: Ցանկալի կլիներ այս գլխում ներկայացվել նաև ացետոնի զգայունության մեխանիզմը, քանի որ պատրաստվել և հետազոտվել են նաև ացետոնի սենսորներ:
2. Չորրորդ գլխում, երբ ներկայացվում են SnO_2/FALH (75:25 wt.%) սենսորի գազազգայունության արդյունքները, ցանկալի կլիներ պատրաստել առանձին մաքուր SnO_2 -ի և FALH -ի հիման վրա սենսորներ և համեմատել դրանց արդյունքները՝ SnO_2/FALH սենսորի հետ: Այդ դեպքում տվյալ կոմպոզիտ կառուցվածքի օգտագործումն ավելի արդարացված կլիներ:
3. Հինգերորդ գլխի *“Կերամիկական թիրախների սրացման տեխնոլոգիան”* ենթաբաժնի Աղյուսակ 5.1-ում ցանկալի կլիներ նշել, թե որ թիրախը ինչ գազի համար է սինթեզվել:
4. Ցանկալի կլիներ սինթեզել ընդհանրական մոտեցում բոլոր գազերի նկատմամբ տվիչների պարամետրերի լավարկման ուղղությամբ:

Նշված թերությունները, այնուամենայնիվ, ամենևին չեն նսեմացնում կատարված ծավալուն գիտական աշխատանքի արժեքը և նշանակությունը:

Աշխատանքը արդիական է, ունի բարձր գիտական ու կիրառական նշանակություն, կատարված է հուսալի ու ճշգրիտ մեթոդներով և արդի սարքավորումներով: Ստացված արդյունքները հիմնավորված են և դրանց հավաստիությունը կասկած չի հարուցում:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրված են տեղական և միջազգային 28 գիտական ամսագրերում, 17 գիտաժողովներում և ձեռք են բերվել 5 արտոնագրեր:

Սեղմագիրը լիովին համապատասխանում է ատենախոսությանը և արտացոլում է դրա հիմնական բովանդակությունը:

Գտնում եմ, որ ներակայացված ատենախոսությունը ավարտուն գիտահետազոտական աշխատանք է և զգալի ներդրում նյութագիտության, սենսորիկայի և նանոտեխնոլոգիաների բնագավառում: Աշխատանքը լիովին բավարարում է ՀՀ ԲՈԿ-ի կողմից գիտությունների դոկտորի ատենախոսությանը ներկայացվող պահանջներին, իսկ ատենախոսության հեղինակ Մ. Ալեքսանյանը արժանի է Ա.04.10 - «Կիսահաղորդիչների ֆիզիկա» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի շնորհման:

Պաշտոնական ընդդիմախոս.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի
Կապի համակարգերի ամբիոնի վարիչ.

տ.գ.դ., պրոֆեսոր

Ս.Խ. Խուդավերդյան

Ս.Խ. Խուդավերդյանի ստորագրությունը հաստատում եմ՝

ՀԱՊՀ գիտական քարտուղար

Ծ.Ս. Հովհաննիսյան

10.05.2023թ.

