

ԲԱԺԻՆ 2. ՈՒՍՈՒՑՈՒՄ ԵՎ ԴԱՍՏԻԱՐԱԿՈՒԹՅՈՒՆ
РАЗДЕЛ 2: ОБУЧЕНИЕ И ВОСПИТАНИЕ
SECTION 2: TEACHING AND UPBRINGING

UDC 37.016

DOI 10.46991/educ-21st-century.v6.i1.056

**ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ ՆԱՆՈԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ԳԱԶԱՅԻՆ ՍԵՆՍՈՐՆԵՐԻ
ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՈՒՍՈՒՑՄԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ
ԲՈՒՀԵՐՈՒՄ**

Ալեքսանյան Միքայել
տեխ. գիտ. դոկտոր, դոցենտ
Երևանի պետական համալսարան,
Հայաստանի Հանրապետություն
maleksanyan@ysu.am
<https://orcid.org/0009-0002-7397-7480>

Ամփոփում

Հոդվածը նվիրված է բուհերում նանոկառուցվածքային գազային սենսորների ուսուցման առանձնահատկություններին և առկա խնդիրներին: Ուսումնասիրվել է այս թեմայի վերաբերյալ մասնագիտական գրականություն, ներկայացվել են սենսորների կիրառման կարևորությունը տարբեր համակարգերում և հիմնավորվել գազային սենսորների վերաբերյալ դասընթացների անհրաժեշտությունը ժամանակակից բուհերում: Ներկայացվել են դասընթացի հիմնական ենթաբաժինները, դրանցում ներառված կարևորագույն դրույթները և դրանց ուսուցման մեթոդները: Նանոկառուցվածքային գազային սենսորների ուսուցումը բուհերում պահանջում է ժամանակակից մեթոդների կիրառում՝ ներառած և՛ փորձարարական, և՛ տեսական գիտելիքներ: Առարկայի ուսուցումն անհրաժեշտ է իրականացնել փորձարարական աշխատանքների կիրառումով և արդի չափիչ ու տեխնոլոգիական սարքավորումներով: Նանոկառուցվածքային գազային սենսորների վերաբերյալ դասընթացների լավ յուրացման և գիտելիքի դյուրին փոխանցման համար ուսանողներին անհրաժեշտ են նախնական գիտելիքներ կիսահաղորդիչների ֆիզիկայի, նյութագիտության, քիմիայի և հարակից այլ ոլորտներից:

Բանալի բառեր՝ *նանոկառուցվածքային գազային սենսորներ, բարձր տեխնոլոգիաների ուսուցում, ուսուցման առանձնահատկությունները բուհերում, փորձարարական գիտելիքի ստացում, ուսանողներ:*

Համառոտ ներածություն: Ներկայումս աշխարհում սըընթաց աճում են գիտատեխնոլոգիական գրեթե բոլոր ուղղությունները, որոնցում անհրաժեշտ են արդի պահանջներին բավարարող սարքավորումներ: Մասնավորապես բավական լայն պահանջարկ ունեն ամենատարբեր տեսակի գազային սենսորները, որոնք կիրառվում են գործարաններում, տրանսպորտային միջոցներում, բնակելի տարածքներում, ռոբոտաշինության մեջ, բժշկական սարքավորումներում և այլուր: Այսպիսի համակարգերի պատրաստման առանձնահատկությունների ուսումնասիրումն ու դրանց պարամետրերի լավարկումը խիստ արդիական խնդիրներ են: Այս տեսանկյունից բավական ուշագրավ են բուհերում նանոկառուցվածքային գազային սենսորներին վերաբերող դասընթացների

ուսուցման մեթոդները և այս ոլորտում գիտելիքի փոխանցման առանձնահատկությունները [6, 8]:

Հիմնախնդիր: Արդի նանոկառուցվածքային գազային սենսորներին առնչվող առարկաների շրջանակում ուսանողին տրվող տեղեկատվությունը բավական հագեցած է և բարդ, և միայն տեսական գիտելիքների փոխանցումը դժվարվում է դարձնում ուսուցանվող նյութը: Նանոկառուցվածքային գազային սենսորներին վերաբերող դասընթացների ուսուցումը անհրաժեշտ է իրականացնել փորձարարական աշխատանքների կիրառմամբ ու արդի չափիչ և տեխնոլոգիական սարքավորումներով՝ միաժամանակ կիրառելով գննական մեթոդներ: Դասընթացի գործնական մասին առնչվող խիստ դժվար է համապատասխան չափիչ ու հետազոտող սարքավորումների սակավ կիրառումը:

Հիմնախնդրի շրջանակում իրականացվող հետազոտության նպատակը: Մույն հետազոտության նպատակն է վեր հանել նանոկառուցվածքային գազային սենսորներին վերաբերող դասընթացների ուսուցման մեթոդների առանձնահատկությունները ուսանողի համար դրանք ավելի մատչելի և հետաքրքիր դարձնելու նպատակով: Խնդիր է դրվել առավել հանգամանակից ներկայացնելու այս դասընթացներին վերաբերող տեսական, խոսքային, գննական և գործնական մեթոդների ուսուցման առանձնահատկությունները և դրանց փոխկապակցվածության աստիճանը, որը կնպաստի հարակից ոլորտի մասնագետներին ավելի արդյունավետ դասավանդման համար:

Գիտական նորություն: Նորովի են ներկայացվում սենսորիկայի ոլորտին առնչվող դասընթացների ուսուցման մեթոդները՝ վեր հանելով այստեղ առկա խնդիրներն ու առանձնահատկությունները: Առաջարկվել են տվյալ դասընթացի ուսուցման նորարարական ու արդի մեթոդներ՝ հագեցած փորձարարական աշխատանքների կիրառմամբ և ժամանակակից չափիչ ու տեխնոլոգիական սարքավորումների միջոցով:

Հետազոտության տեսական նշանակությունն այն է, որ հետազոտվել և ներկայացվել են կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքային սենսորներին առնչվող դասընթացների հիմնական թեմաները, որոնք պետք է ուսանողին մատուցել ժամանակակից մեթոդներով ու հմտություններով:

Գործնական նշանակությունը: Հիմնախնդրի վերլուծությունն ու առաջարկությունները կարող են հետաքրքրել «Սենսորիկա», «Նանոտեխնոլոգիաներ», «Նյութագիտություն», «Կիսահաղորդիչների ֆիզիկա» և հարակից այլ դասընթացներ դասավանդող երիտասարդ մասնագետներին՝ առարկայական նյութերն ուսանողին առավել արդյունավետ ու հետաքրքիր ներկայացնելու համար:

Հիմնական նյութի շարադրանքը: Ինչպես գիտենք, ներկայումս ծավալների և զարգացման աննախադեպ աճ է դիտվում համաշխարհային արդյունաբերության ու բարձր տեխնոլոգիաների գրեթե բոլոր ուղղություններում, ինչը հրամայական է դարձել այստեղ կիրառվող սարքավորումների պարամետրերի լավարկման համար: Այս և հարակից ոլորտներում անհրաժեշտություն է լինում ճշգրիտ կառավարելու տարբեր պրոցեսներ, վերահսկելու ամենատարբեր տեսակի գազերի արտահոսքերը և մշտադիտարկելու շրջակա օդի որակը: Այս նպատակով օգտագործվող հիմնական սարքավորումները սենսորներն են, որոնց կառուցվածքի, աշխատանքի սկզբունքի և պատրաստման առանձնահատկությունների մասին գիտելիքների ճիշտ փոխանցումը ուսանողին կարևորագույն խնդիր է: Նանոկառուցվածքային գազային սենսորներին վերաբերող դասընթացները՝ հագեցած ժամանակակից գննական և գործնական մեթոդներով, կնպաս-

տի ապագայում ավելի բարձր մակարդակի այնպիսի մասնագետների պատրաստմանը, որոնք հաջողությամբ կծառայեն ոլորտի զարգացմանը [11, 13]:

Գիտատեխնոլոգիական ոլորտին վերաբերող առարկաների դասավանդումը բուհերում ներկայումս կատարվում են ոչ համակարգված, և ուսուցման որակը հիմնականում պայմանավորված է դասավանդողի անհատական մոտեցումներով ու հմտություններով: Խնդիրն այն, որ այս ոլորտում գիտելիքի փոխանցումը պետք է իրականացվի խիստ պլանավորված՝ հազեցած խոսքային, տեսական, զննական ու գործնական մեթոդների կիրառման բարձր հմտություններով: Ոլորտին առնչվող, դասավանդվող առարկաները ուսանողի կողմից լավ ըմբռնելու և պատկերացում կազմելու համար հիմնականում պահանջվում են ոչ միայն տեսական գիտելիքներ, այլ նաև պրակտիկ, խիստ կիրառական պարապմունքներ: Մյուս կողմից, ՀՀ-ում գործող ոչ բոլոր բուհերում են առկա տեխնոլոգիական և չափիչ համապատասխան սարքավորումներ, ինչի պատճառով ուսանողին փոխանցված տեսական գիտելիքներն այնքան էլ ամբողջական չեն լինում: Արտասահմանյան առաջատար բուհերի բարձր կուրսերում սովորող ուսանողները սենսորիկայի ոլորտի դասընթացների պրակտիկ մասը սովորաբար անցկացնում են հարակից ոլորտներում արտադրություն իրականացնող ընկերություններում, որտեղ ուսանողը ոչ միայն պասիվ դիտում, այլ նաև մասնակցում է սենսորների արտադրման պրոցեսին [14]: Այս առումով ՀՀ բուհերում նանոկառուցվածքային սենսորների նախագծմանն ու պատրաստմանը նվիրված տեսական դասընթացները պետք է ներկայացվեն առավել քան մանրակրկիտ, մատչելի և ժամանակակից մեթոդներով հազեցած (սահիկների ներկայացում, տեսահոլովակների դիտում և այլն):

Գազային սենսորիկային նվիրված դասընթացները կարելի է բաժանել չորս հիմնական ենթաբաժինների [1]՝

1. **Գազային սենսորների տեսակներ և կառուցվածք,**
2. **Գազային սենսորների աշխատունակության պարամետրեր,**
3. **Գազային սենսորների զգայունության մեխանիզմներ,**
4. **Գազային սենսորների պարամետրերի չափման մեթոդներ:**

Ներկայացված ենթաբաժինների նյութերը դիտարկելիս յուրաքանչյուր համար անհրաժեշտ է, որ ուսանողը տիրապետի ժամանակակից կիսահաղորդչային ֆիզիկայի և կիսահաղորդչային նանոտեխնոլոգիաների առանձնահատկություններին: Ցանկալի են նաև բազային գիտելիքներ ինտեգրալ սխեմաների նախագծման և արտադրման, ինչպես նաև ինժեներական գիտելիքներ էլեկտրական սխեմաների նախագծման ու տպասալերի պատրաստման ոլորտներում [12]:

Գազային սենսորների տեսակները և կառուցվածքը նկարագրելիս կարևորագույն խնդիր է նախևառաջ ուսանողին առավել հանգամանալից ներկայացնել համապատասխան շուկայում առկա գազագազայուն համակարգերի տեսակները, դրանց կառուցվածքը, այստեղ օգտագործվող հիմնական նանոկառուցվածքային նյութերը, ինչպես նաև դրանց առավելություններն ու թերությունները: Հարկ է նշել, որ ներկայումս աշխարհի տարբեր երկրերում (Չինաստան, Ճապոնիա, Գերմանիա և այլն) առկա են նանոկառուցվածքային գազային սենսորներ արտադրող ընկերություններ: Մրանք հիմնականում շահույթ հետապնդող ընկերություններ են, որոնք առավելապես գիտական պրոցեսներից հեռու են և իրագործում են լաբորատորիաներում մշակված և վերջնական փուլին հասցված (նախատիպի մակարդակի) համակարգերի մասսայական արտադրություն: Քանի որ այսպիսի սենսորներ աշխարհում արդեն իսկ տնական ժամանակ արտադրվում են, ապա ուսուցման պրոցեսում տվյալ դասընթացի կարևորու-

թյունն ու արդիականությունը փաստելուց զատ՝ առավել կարևոր է ուսանողությանը ներկայացնել նաև առկա խնդիրները: Խնդիրն այն է, որ շուկայում առկա սենսորներն այնքան էլ չեն բավարարում ներկայացվող պահանջները, և մեծ ջանքեր են ուղղվում՝ նոր տեսակի նյութերի, նանոկառուցվածքների ու նորարարական մոտեցումների միջոցով լավարկելու այդ պարամետրերը: Այդ իսկ պատճառով դեռևս չեն դադարել այս ոլորտում գիտատեխնոլոգիական փնտրտույքները, և այստեղ կատարվող հետազոտական աշխատանքներն ինքնանպատակ չեն [7]: Դասընթացի տեսական ու խոսքային մատուցման մեջ առավել կարևոր է մատնանշել առկա գազային սենսորների տեսակները, ինչպիսիք են կիսահաղորդչային ռեզիստիվ, դաշտային տրանզիստորների հիման վրա պատրաստված, պիեզոէլեկտրական, օպտիկական, կատալիզային, էլեկտրաքիմիական, ունակային և այլն [4]:

Սովորաբար ուսանողի համար դասընթացն առավել հետաքրքիր է անցնում, երբ տվյալ սարքավորման տեսական բնութագրումից զատ՝ կիրառվում են նաև գննական մեթոդներ (իրական պատկերներ, տեսահոլովակներ, տեսասահիկներ և այլն): Դասընթացն էլ ավելի արդյունավետ է ընթանում, երբ ուսանողին հասանելի է դառնում իրական սարքավորումը: Սենսորների դեպքում սա առավել իրատեսական է, քանզի սրանք չափսերով բավական փոքր են, դյուրակիր և օժտված են տարբեր համակարգերի հետ համակցման մեծ հնարավորությամբ: Այս ամենից զատ՝ այսպիսի սենսորների գինը բավական ցածր է (մի քանի տասնյակ ԱՄՆ դոլար), և դրանց ձեռքբերումը այնքան էլ դժվար չէ: Իրական հետազոտվող առարկայի՝ սենսորի առկայությունն ուսուցման պրոցեսում անհամեմատ մեծացնում է ուսանողի հետաքրքրությունը՝ դասընթացը դարձնելով պրակտիկ գիտելիքի ձեռքբերման լավագույն միջոց: Դասընթացի այս ենթաբաժնում խիստ կարևոր է ուսանողին պարբերաբար ներկայացնել հետազոտվող (մատուցվող) առարկայի՝ կիսահաղորդչային սենսորների առավելությունները, որը դասընթացի նկատմամբ ուսանողի հետաքրքրությունը մեծացնելու լավագույն մեթոդներից է: Ներկայացված տարատեսակ սենսորների շարքում կիսահաղորդչային ռեզիստիվ սենսորներն աչքի են ընկնում մի շարք առավելություններով, ինչպիսիք են բարձր զգայունությունը, արագագործությունը, փոքր չափսերը, քիմիական ու մեխանիկական կայունությունը և այլն: Ռեզիստիվ սենսորների թվարկված առավելությունները բավական խոստումնալից են իրական միջավայրերում կիրառման և երկարատև օգտագործման առումով, սակայն ուսուցման տեսանկյունից առավել նպաստավոր է սրանց չափազանց պարզ կառուցվածքը: Տեխնոլոգիական առարկաների ուսուցման մեթոդաբանության մեջ առավել կարևոր են ներկայացված էլեկտրոնային համակարգի, առանձին սարքավորման կամ որևէ միկրոէլեկտրոնային տարրի կառուցվածքի ամբողջական նկարագրումն ու դրանց առանձին բաղադրիչների մեկառմեկ մեկնաբանումը: Դասընթացի դասավանդման տեսական մեթոդների շրջանակում պետք է մատնանշել, որ ռեզիստիվ գազային սենսորները բաղկացած են դիէլեկտրական որևէ տակդիրից (հիմնականում պատրաստվում է այրումինաօքսիդային նյութից), որի վրա նախապես պատրաստվում են ազնիվ մետաղներից (ոսկի, արծաթ և այլն) սանրածև հպակներ: Տակդիրի հակառակ կողմում կամ զգայուն թաղանթի շուրջը պատրաստվում է նաև տաքացուցիչ՝ սենսորի աշխատանքային ջերմաստիճանը ապահովելու համար: Հպակների ակտիվ տեղամասում նստեցվում է գազազգայուն թաղանթ, և չափվում են օդում ու գազի առկայությամբ թաղանթի դիմադրությունները: Եթե կա դիմադրությունների տարբերություն, նշանակում է, որ սենսորն ունի զգայունություն տվյալ գազի նկատմամբ [2]: Այս ամենը լավագույնս կյուրացվի ուսանողի կողմից, երբ դասընթացի ներկայացման գործնական մե-

թողների շրջանակում նրանց ցուցադրվեն սենսորների վերը ներկայացված բաղադրիչների իրական նախատիպերը: Համեմատած ժամանակակից միկրոէլեկտրոնային ու նանոէլեկտրոնային բարդագույն համակարգերի հետ, սրանք անհամեմատ պարզ են, իսկ ուսուցման և ուսանողի կողմից ընկալման տեսանկյունից՝ բավական դյուրին: Օրինակ, եթե սենսորների կառուցվածքը համեմատենք ժամանակակից ինտեգրալ միկրոսխեմաների հետ, որոնցում փոքրիկ կիսահաղորդչային բյուրեղում (մի քանի սմ² մակերեսով) տեղակայվում են միլիարդավոր կիսահաղորդչային տարրեր՝ իրենց միջմիացումներով, ապա ակնհայտ է, որ ռեզիստիվ սենսորն անհամեմատ պարզ կառուցվածք ունեցող համակարգ է: Չնայած այս ամենին՝ սրանց կառուցվածքային բնութագրերը յուրացնելիս ուսանողին անհրաժեշտ են հարակից այլ գիտելիքներ՝ հատկապես բարակ թաղանթների նստեցման մեթոդների վերաբերյալ: Չիմանալով բարակ մետաղական հալակների և նանոչափային թաղանթների նստեցման (սինթեզման) առանձնահատկությունները՝ ուսանողի համար բավական դժվար կլինի յուրացնել սենսորի պատրաստման տեխնոլոգիան: Հաշվի առնելով, որ նստեցման այս մեթոդները բավական շատ են և բաժանվում են երկու մեծ խմբերի (ֆիզիկական և քիմիական նստեցման եղանակներ), ուսուցման պրոցեսում տվյալ դասընթացից զատ (զուգահեռ կամ նախապես), պետք է ուսուցանել բարակ թաղանթների նստեցման մեթոդները: Հարկ է նշել, որ այս թեման՝ որպես հիմնարար գիտելիք, պահանջվում է ոչ միայն գազային սենսորների բնութագրերի ուսուցման համար, այլ նաև այն հիմքն է բոլոր տեսակի նանոկառուցվածքային համակարգերի ստացման:

Գազային սենսորների պատրաստման համար կարևորագույն խնդիր է գազազգայուն նյութի ճիշտ ընտրությունը, ինչը կհանգեցնի ոչ միայն սենսորի զգայունության, այլ նաև կայունության բարելավման: Գազազգայուն նյութերի տեսակների և դրանց առանձնահատկությունների վերաբերյալ դասընթացների յուրացումն ուսանողի համար այնքան էլ դյուրին չէ, քանզի պահանջվում են բավական խորքային գիտելիքներ նյութագիտության ոլորտից: Ժամանակակից նանոտեխնոլոգիաներում, մասնավորապես սենսորիկայի ոլորտում ինտենսիվ որոնումներ են կատարվում լավարկված պարամետրերով նոր տեսակի նյութերի և միացությունների հայտնաբերման համար: Առկա և զարգացվող գրեթե բոլոր նանոէլեկտրոնային սարքավորումներում ավանդաբար օգտագործվող նյութերն արդեն իրենց սպառել են, և պահանջարկ կա սինթեզելու նոր տեսակի միաչափ և երկչափ նանոկառուցվածքների հիման վրա ստացված կոմպոզիտային նյութեր [3]: Սա նշանակում է, որ նյութագիտության կուրսերի մատուցումն ուսանողին արդեն կարելի է դասել բազային գիտելիքներ փոխանցող առարկաների շարքին, որի յուրացումից հետո միայն հնարավոր կլինի ուսանողին ներկայացնել ժամանակակից սենսորային կառուցվածքներում օգտագործվող նյութերի առանձնահատկությունները: Նյութերի բնութագրերի ուսուցումն առավել դյուրին կյուրացվի ուսանողի կողմից, եթե դրանք ներկայացվեն դասակարգված՝ առանձին խմբերի տեսքով, ինչպիսիք են կիսահաղորդիչները, մետաղօքսիդները և պոլիմերները: Այստեղ առավելապես պետք է ուշադրություն դարձնել նյութերի այնպիսի պարամետրերին, ինչպիսիք են դրանց էլեկտրական հաղորդականությունը, լիցքակիրների շարժունակությունը, քիմիական և մեխանիկական կայունությունը, կատալիզային ակտիվությունը, բյուրեղական կառուցվածքը, հաղորդականության տեսակը և այլն: Որպես գազազգայուն նյութեր հիմնականում օգտագործվում են նանոկառուցվածքային մետաղօքսիդները, որոնք էժան են, ունեն բարձր զգայունություն և՛ վերականգնող, և՛ օքսիդացնող գազերի նկատմամբ, ինչպես նաև սրանց պարամետրերը գրեթե չեն փոփոխվում ժամանակի ընթաց

քում: Ներկայումս կան նյութագիտությանը վերաբերող դասընթացների դասավանդման խիստ ժամանակակից և հետաքրքիր գնական մեթոդներ, որոնց միջոցով կարելի է տեսնել նյութերի բյուրեղական կառուցվածքը, դրանց սինթեզման պրոցեսը և այլն: ՀՀ բուհերում առկա են նաև նյութերի պարամետրերի բնութագրման բազմատեսակ կայանքներ (սպեկտրամետրեր, մանրադիտակներ և այլն), ուստի ցանկալի է գործնական դասընթացներ իրականացնել նաև այսպիսի չափիչ սարքավորումների վրա:

Գազային սենսորների աշխատունակության պարամետրերն այն կարևորագույն ցուցիչներն են, որոնցով բնութագրվում է տվյալ սարքավորման պիտանելիությունն՝ իրական միջավայրերում կիրառման դեպքում: Այս տեսանկյունից սրանց ընդգրկումն ներկայացումը ուսանողին առավել կարևորվում է, հատկապես եթե հնարավորություն կա դասընթացի գործնական (լաբորատոր) պարապմունքների ընթացքում կատարելու պարամետրերի իրական չափումներ: Զարգացած երկրներում նմանատիպ դասընթացները կատարվում են հիմնականում գիտական լաբորատորիաներում, որտեղ առկա են ամենատարբեր չափիչ համակարգեր (հոսանքաչափեր, գեներատորներ, օսցիլոսկոպներ և այլն): ՀՀ բուհերում, հատկապես տեխնոլոգիական և ինժեներական ուղղվածություն ունեցող ստորաբաժանումներում, ևս կարելի է գտնել համապատասխան չափիչ տեխնիկա, որոնցով ներկայումս էլ իրականացվում են նմանատիպ դասընթացներ: Ժամանակակից աշխարհում օգտագործվում են նաև բազմաֆունկցիոնալ լաբորատոր կայանքներ (օրինակ՝ Keithley 4200A-SCS), որտեղ միևնույն համակարգում առկա են տարբեր պարամետրերի չափման հնարավորություններ (վոլտամպերային, վոլտունակային, ունակահաճախային և այլ բնութագրեր): Այս դեպքում տեսական գիտելիքների փոխանցումը հիմնավորվում է փորձնական չափումներով և դրանց գրաֆիկական ներկայացմամբ: Որպես գազային սենսորների կարևորագույն պարամետրեր անհրաժեշտ է անդրադառնալ, զգայունությանը, ընտրողունակությանը, արագագործությանը, կայունությանը, վերարտադրելիությանը և սենսորի ինքնարժեքին [9]: Նանոկառուցվածքային ռեզիստիվ սենսորի զգայունությունն օդում ու թիրախային գազի առկայությամբ սենսորի դիմադրությունների հարաբերություն է, որը կախված է բազմաբնույթ գործոններից, ինչպիսիք են գազազգայուն նյութի տեսակը, դրա կազմաբանությունը, սենսորի երկրաչափական ձևը և այլն: Սա փաստում է այն, որ գազազգայուն նյութերի վերաբերյալ հիմնային գիտելիքների փոխանցումը ուսանողին դասընթացի ներկայացման սկզբնական փուլում արդարացված է: Այստեղ ուսանողի համար առավել կարևոր է նաև հասկանալի ներկայացնել սենսորի զգայունության առկայության կարևորությունը՝ սարքավորման նախագծման առաջին փուլից սկսած: Բանն այն է, որ սենսորի զգայունության բացակայության կամ դրա շատ փոքր լինելու դեպքում մնացած բոլոր պարամետրերի դիտարկումը և դրանց բարելավմանը միտված քայլերը զուր են: Սա նշանակում է, որ ռեզիստիվ սենսորների գազազգայունությունը անհրաժեշտ, բայց ոչ բավարար պայման է տվյալ սարքավորումը իրական միջավայրերում կիրառման համար: Դասընթացի շրջանակում սենսորի զգայունության չափման ցուցադրական և իրական մեթոդների կիրառումը խիստ կարևոր է: Մյուս կարևորագույն պարամետրը ընտրողունակությունն է, որի առկայության դեպքում սենսորը, բացի թիրախային գազից, շրջապատող մյուս գազերի նկատմամբ չպետք է զգայունություն ցուցաբերի, կամ այն պետք է լինի անհամեմատ փոքր, քան թիրախային գազինը: Այս պարամետրի ճշգրիտ ներկայացումն ուսանողին առավել պահանջում է նրանց կողմից հիմնային գիտելիքներ տարբեր գազերի և նյութերի գոլորշիների հատկությունների վերաբերյալ: Այստեղ անհրաժեշտ է ուսանողին ներկայացնել տվյալ գազի կիրառության ոլորտները, պայթու-

նավտանգության աստիճանը և օգտագործման անվտանգության կանոնները: Ինչ վերաբերում է տարբեր քիմիական նյութերին, որոնց գոլորշիները նույնպես հնարավոր է հայտնաբերել կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքային սենսորներով, ապա այստեղ ևս ուսանողին որոշակի գիտելիքներ են անհրաժեշտ տվյալ նյութերի կապի էներգիայի, խտության, մածուծիկության և ֆիզիկական այլ պարամետրերի վերաբերյալ:

Ներկայումս բավական հեռանկարային ուղղություն է մարդու արտաշնչած օդի բաղադրության վերլուծությունը գազային սենսորների միջոցով: Հայտնի է, որ արտաշնչած օդում տվյալ գազի կոնցենտրացիայի ավել կամ պակաս լինելը փաստում է մարդու օրգանիզմում որոշակի հիվանդությունների առկայության մասին: Այս ուղղությամբ բավական մեծ հետազոտություններ են կատարվում, ուստի ժամանակակից ուսանողների համար բավական հետաքրքիր կլինի ներկայացնել սենսորների նմանատիպ՝ այլընտրանքային կիրառությունները [2, 3]: Այստեղ անհրաժեշտ է ուսանողին մատուցել որոշակի գիտելիքներ մարդու օրգանիզմում տեղի ունեցող կենսաբանական պրոցեսների և դրանց հետևանքների մասին: Օրինակ՝ դասընթացի շրջանակում ժամանակակից անիմացիոն մեթոդներով կարելի է ցույց տալ, որ օրգանիզմում թոքային հիվանդությունների առկայության դեպքում թոքերը սկսում են արտադրել ջրածնի պերօքսիդի ավել կոնցենտրացիաներ, որոնք կանխարգելում են թոքերի ախտահարման պրոցեսը: Այս պատճառով արտաշնչած օդում ավելանում է ջրածնի պերօքսիդի կոնցենտրացիան, որը հիմք կարող է հանդիսանալ թոքային հիվանդությունների ոչ ինվազիվ եղանակով հայտնաբերման համար: Այստեղ պետք է մատնանշել սենսորի բարձր ընտրողունակության կարևորությունը, քանզի արտաշնչած օդում գոյություն ունեն բազմաթիվ նյութեր: Նանոկառուցվածքային գազային սենսորներին վերաբերող դասընթացների ուսուցման պրոցեսում խիստ կիրառական և հեռանկարային այսպիսի ուղղությունների պարբերաբար ներկայացումը դասընթացը դարձնում է ավելի հետաքրքիր ու գրավիչ: Այս ամենից զատ՝ ուսանողին պետք է ներկայացնել ժամանակակից սարքավորումների համար խիստ անհրաժեշտ պարամետրի՝ արագագործության կարևորությունը: Սենսորների դեպքում բարձր արագագործությունը խիստ պահանջված է, քանզի պայթյունավտանգ գազերի հայտնաբերման հապաղումը կարող է հանգեցնել լուրջ աղետների: Այստեղ նաև պետք է մատնանշվեն սենսորի ժամանակային կայունությանն առնչվող հարցերը: Վաճառքի ենթակա սենսորը պետք է տևական ժամանակ (ամենաքիչը 2 տարի) անխափան աշխատի՝ առանց աշխատունակության պարամետրերի էական շեղումների: Համապատասխան լաբորատոր կայանքների առկայության դեպքում առարկայի շրջանակում կարելի է պարբերաբար (շաբաթը մեկ անգամ) տվյալ սենսորի վրա կատարել չափումներ և ուսանողին ներկայացնել տվյալ պարամետրի փոփոխման դինամիկան ամիսների ընթացքում: Ուսուցման այս մեթոդը կստիպի շարժել ուսանողի հետաքրքրությունը և հերթական չափման ու արդյունքի գրանցման ակնկալիքով ապահովել ուսանողների մասնակցության բարձր մակարդակ:

Սենսորների լայնամասշտաբ արտադրության ժամանակ կարևոր է պատրաստել միևնույն պարամետրերով բազմաթիվ սենսորներ՝ ապահովելով բարձր վերարտադրելիություն: Ցածր վերարտադրելիությունը կարող է հանդիսանալ լուրջ խնդիր, երբ տվյալ ընկերությունը ցանկանում է մեծ շահույթ հետապնդել [7]: Դասընթացի շրջանակում առաջարկվում է ուսանողին ներկայացնել աղյուսակներ, որոնցում տեղ կգտնեն տարբեր ընկերությունների սենսորների արտադրման ծավալները, դրանց վերարտադրելիության մակարդակը, տեխնիկական բնութագրերն ու գները: Նշված տեղեկությունները բավականին հասանելի են համացանցում, և դրանց թարմացման համար անհրա-

Ժեշտ է պարբերաբար կատարել որոշակի ուսումնասիրություններ: Այստեղ ուսանողին պետք է ներկայացնել նաև ժամանակակից էլեկտրոնային սարքավորումների գնագոյացման առանձնահատկություններ, քանզի նմանատիպ կառուցվածքների գինը արդեն իսկ դարձել է առաջնային պարամետր: Սովորաբար նանոկառուցվածքային գազային սենսորների գինը ձևավորվում է այստեղ օգտագործվող նյութերի և պատրաստման ծառայությունների համար անհրաժեշտ գումարներով, որը կարելի է բավականին ճկուն կառավարել: Դասընթացի տեսական պարապմունքների շրջանակում առաջարկվում է կիրառել գնագոյացման հաշվարկման բանաձևեր և տեսականորեն գնահատել տվյալ պարամետրերով սենսորի ինքնարժեքը:

Գազային սենսորների զգայունության մեխանիզմները ներառում են հնարավոր բոլոր ֆիզիկաքիմիական պրոցեսները, որոնց արդյունքում դիտվում է սենսորի դիմադրության փոփոխություն, այսինքն՝ զգայունություն: Այս առումով տվյալ ենթաբաժնի ներկայացումը ուսանողին պետք է ներառի ոչ միայն գիտելիքներ կիսահաղորդիչների, այլ նաև բարակ թաղանթների ֆիզիկայի և քիմիայի ոլորտներից: Անհրաժեշտ է նախապես ուսանողին տեսականորեն ներկայացնել գազային փուլում գտնվող նյութերի ադսորբցիոն ու դեսորբցիոն հատկությունները և պինդմարմնային նյութի մակերևույթին դրանց կլանման հնարավորությունները: Գազային մոլեկուլները կիսահաղորդչային նանոկառուցվածքի մակերևույթին սկզբում ադսորբվում են, այնուհետև, կախված ջերմաստիճանից, ֆիզորբվում կամ քիմսորբվում: Գազային սենսորների դեպքում կարևոր է քիմսորբցիոն պրոցեսի գրանցումը, ինչի արդյունքում թիրախային գազի ու զգայուն նյութի միջև տեղի է ունենում էլեկտրոնների փոխանակում: Դասընթացի տվյալ ենթաբաժնի գործնական պարապմունքները կարելի է անցկացնել լաբորատորիաներում, որտեղ առկա են գազային քրոմատոգրաֆներ, սպեկտրասկոպիկ անալիզ իրականացնող սարքավորումներ և մանրադիտակներ [10]: Սրանք թույլ կտան ուսանողին անմիջապես հետևել գազ/կիսահաղորդիչ փոխազդեցությանը և տեսնել այստեղ տեղի ունեցող կինետիկական երևույթները: Այսօր առկա են նաև գազ/կիսահաղորդիչ փոխազդեցությունները ներկայացնող անիմացիոն տեսահոլովակներ, որոնցում լավագույնս մեկնաբանվում է վերը թվարկած կինետիկական երևույթների էությունը: Հարկ է նշել, որ գազային սենսորների հատկություններն ուսումնասիրող գիտական ուղղություններում բավական սաղմնային վիճակում են գտնվում տեսական մեկնաբանությունները, քանզի դրանք կախված են բազմաթիվ գործոններից: Այս առումով դասընթացում անհրաժեշտ է ներառել գազազգայունության մեխանիզմները նկարագրող տեսական բնույթի գիտելիքներ և խնդիրների լուծում: Ներկայումս առկա են մոդելավորման տարբեր եղանակներ, որոնցով մեծ հաջողությամբ կարելի է մոդելավորել տվյալ գազային սենսորը և դրա վրա կատարել փորձարկումներ: Մոդելավորման այս մեթոդները բավական ընդունված են ժամանակակից բուհերում դասավանդվող նմանատիպ կուրսերում, որոնք իրականացվում են անվճար՝ համացանցում հասանելի ծրագրային միջոցներով: Ավելի բարդ համակարգերի մոդելավորման համար անհրաժեշտ է գնել ծրագրերից օգտվելու ժամանակավոր հասանելիություն:

Գազային սենսորների պարամետրերի չափման մեթոդները բազմազան են, և օգտագործվող սարքավորումները բավական թանկ են և երբեմն ոչ հասանելի ուսումնական հաստատությունների համար: Սրանք ներառում են գազազգայունությունը չափող հատուկ համակարգեր, տարատեսակ չափիչ կայանքներ (հոսանքաչափեր, գեներատորներ և այլն), սենսորի զգայուն թաղանթի բաղադրությունը որոշող կայանքներ, տարատեսակ մանրադիտակներ (օպտիկական, ատոմաուժային, տեսածրող էլեկտրո-

նային և այլն), սպեկտրասկոպներ և այլն: Գազագալայությունները չափող հատուկ համակարգեր կարելի է պատրաստել լաբորատորիայում և՛ ուսումնական, և՛ գիտական նպատակներով: Մա բավական հեշտ իրագործվող համակարգ է, սակայն ուսումնական գործընթացներում կիրառման համար պետք է այն նախագծել՝ անվտանգության կանոնները առավելագույնս հաշվի առնելով [5]: Այս համակարգի նախագծումը կարելի է նաև ներառել դասընթացի գործնական մեթոդներում, ինչը թույլ կտա ուսանողին ձևավորել առավել խորքային գիտելիքների ինժեներական ուղղությամբ: Չափման համակարգը հիմնականում բաղկացած է չափիչ խցիկից, որտեղ տեղակայվում է հետազոտվող սենսորը: Չափման խցիկին միացվում են թիրախային գազի բալոնը և սենսորի գազագալայության պարամետրերը գրանցող բաղադրիչների հաղորդալարերը, որոնք ինֆորմացիան փոխանցում են համակարգչին: Ուսանողին անհրաժեշտ է հնարավորինս մատչելի լեզվով ներկայացնել չափման համակարգի աշխատանքի սկզբունքը և այստեղ կիրառվող մեթոդները: Չափման պրոցեսին ուսանողի ներգրավվածությունը լուծում է մի քանի կարևորագույն խնդիրներ: Առաջին հերթին ուսանողն անմիջապես մասնակցում է փորձարարական աշխատանքներին, կարողանում է գրանցել որևէ ֆիզիկական պարամետր և տեսնել դրա փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում: Մա միանշանակ բարելավում է ուսանողի փորձարարական հմտությունները և սարքավորումների հետ աշխատելու կարողությունները: Մյուս կողմից՝ տվյալ ֆիզիկական պրոցեսի դիտումը իրական փորձարկումներում ուսանողների համար կլինի բավական տպավորիչ, իսկ գիտելիքի փոխանցումը՝ չափազանց արդյունավետ: Փորձարարական այս գործընթացներին ուսանողության ներգրավվածությունը զարգացնում է նաև նրանց լաբորատորիայում աշխատելու մշակույթը՝ ծանոթացնելով այստեղ գործող կանոններին: Չափման մյուս կայանքների ուսումնասիրումը և դրանց հիման վրա փորձարկումները նախընտրելի են ոչ միայն սենսորների գազագալայուն կառուցվածքների ուսումնասիրման, այլ նաև ավելի լայն տիրույթի՝ նյութագիտության ոլորտում կատարվող աշխատանքների համար: Հարկ է նշել, որ այստեղ առկա որոշ գերթանկարժեք սարքավորումների հետ աշխատելը բավական դժվար է (մասնավորապես՝ ատոմաուժային ու էլեկտրոնային տեսածրող մանրադիտակների հետ), որն հիմնականում իրականացնում են ոլորտի նեղ մասնագետները: Այս պատճառով ուսանողին սովորաբար չի վստահվում այսպիսի փորձարկումներ, ուստի դրանք արվում են նախապես, այնուհետև՝ ցուցադրվում դասընթացի շրջանակում:

Եզրակացություն: Այսպիսով՝ նանոկառուցվածքային գազային սենսորների առանձնահատկությունների ուսուցումը բուհերում պետք է իրականացվի նորագույն գննական ու գործնական մեթոդներով՝ ներառելով և՛ տեսական, և՛ փորձարարական գիտելիքներ: Տվյալ դասընթացներին վերաբերող գրեթե բոլոր ենթաբաժինների ուսուցումը անհրաժեշտ է իրականացնել փորձարարական աշխատանքների կիրառմամբ և ժամանակակից չափիչ ու տեխնոլոգիական սարքավորումների միջոցով: Նշված առարկայի լավ յուրացման ու գիտելիքի դյուրին փոխանցման համար անհրաժեշտ են նախնական գիտելիքներ կիսահաղորդիչների ֆիզիկայի, նյութագիտության, բարակ թաղանթների ստացման, քիմիայի և հարակից այլ ոլորտներից:

FEATURES OF TEACHING THE CHARACTERISTICS OF THE MODERN NANOSTRUCTURED GAS SENSORS IN UNIVERSITIES

Aleksanyan Mikayel

Doctor of Science (Engineering), Associate Professor

Yerevan State University,

Republic of Armenia

maleksanyan@ysu.am

Summary

The article is devoted to the peculiarities of the teaching nanostructured gas sensors in universities and the problems existing here. The professional literature on this topic was studied, the necessity of using gas sensors in various systems was presented, and the need for courses on gas sensors in the modern universities was justified. The main subsections of the course, the most important provisions included in them, and their teaching methods are presented. Teaching a course on nanostructured gas sensors in universities requires the use of modern methods, including both the experimental and the theoretical knowledge. It is necessary to teach the subject using experimental works with modern measuring and technological equipment. For the good assimilation and the easy knowledge transfer of courses on the nanostructured gas sensors, students need prior knowledge of semiconductor physics, materials science, chemistry, and other related fields.

Keywords: *nanostructured gas sensors, high-tech teaching, teaching characteristics in universities, obtaining experimental knowledge, students.*

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ КУРСА О ХАРАКТЕРИСТИКАХ СОВРЕМЕННЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ В ВУЗАХ

Александр Микаел

Доктор технических наук, доцент

Ереванский государственный университет,

Республика Армения

maleksanyan@ysu.am

Аннотация

Статья посвящена изучению особенностей преподавания курса о характеристиках наноструктурных газовых сенсоров в вузах и существующим в этой области проблемам. Исследована специальная литература по данной теме. Представлена и обоснована необходимость применения сенсоров в различных системах и преподавания курса по газовым сенсорам в современных вузах. Представлены основные разделы курса, включенные в них важнейшие положения, а также методика их преподавания. Преподавание курса по наноструктурным газовым сенсорам в вузах требует применения современных методов, включая и экспериментальные, и теоретические знания. Преподавание предмета должно сопровождаться экспериментальными работами на основе современного измерительного и технологического оборудования. Для передачи знаний в наиболее доступной форме и для лучшего усвоения курса по наноструктурным газовым сенсорам студентам необходимо приобрести предварительные знания в области физики полупроводников, материаловедения, химии и других смежных областей.

Ключевые слова: *наноструктурные газовые сенсоры, преподавание высоких технологий, особенности преподавания в вузах, получение экспериментальных знаний, студенты.*

Օգտագործված գրականության ցանկ

1. Ալեքսանյան Մ., Կիսահաղորդչային գազային սենսորների առանձնահատկությունները (ուսումնասիրողական ձեռնարկ), ԵՊՀ հրատարակչություն, Երևան, 52 էջ (2020):

2. Aleksanyan M. et al., Room Temperature Detection of Hydrogen Peroxide Vapor by Fe₂O₃:ZnO Nanograins, Nanomaterials, Vol. 13, 2022, p.120.

3. Aleksanyan M. et al., Detection of hydrogen peroxide vapor using flexible gas sensor based on SnO₂ nanoparticles decorated with multi-walled carbon nanotubes. Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology, Vol. 14, 2023, p. 025001.

4. Capone S. et al., Solid state gas sensors: state of the art and future activities, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, Vol. 5, 2003, pp. 1335-1348.

5. Fusnik L. et al., A Review of Gas Measurement Set-Ups, *Sensors*, Vol. 22, 2022, p. 2557.
6. Gupta A. and Verma G., *Book of Nanostructured Gas Sensors (Fundamentals, Devices, and Applications)*, New York, Jenny Stanford Publishing, 2023, 184 pp.
7. Korotchenkov G., Metal oxides for solid-state gas sensors: What determines our choice?, *Materials Science and Engineering: B*, Vol. 139, 2007, pp. 1-23.
8. Krishna K. et al., Nanostructured metal oxide semiconductor-based gas sensors: A comprehensive review, *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 341, 2022, p. 113578.
9. Leask R. et al., The impact of practical experience on theoretical knowledge at different cognitive levels, *J S Afr Vet Assoc.*, Vol. 91, 2020, p. 2042.
10. Sparkman D. et al., *Gas Chromatography and Mass Spectrometry: A Practical Guide*, Academic Press, Elsevier Inc., (978-0-12-373628-4), 2011, pp. 589-611.
11. Wetchakun K. et al., Semiconducting metal oxides as sensors for environmentally hazardous gases, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 160, 2011, pp. 580-591.
12. Wilson R. et. al., Innovative Teaching of IC Design and Manufacture Using the Superchip Platform, *IEEE Transactions on Education IEEE*, Vol. 53, 2010, pp. 297-305.
13. Yun J. et al., A review of nanostructure-based gas sensors in a power consumption perspective, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 372, p. 132612.
14. Zhong Y. et al., Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review, *Engineering*, Vol. 3, 2017, pp. 616-630

Получено: 30.03.2024

Рассмотрено: 08.04.2024

Принято: 06.05.2024

Received: 30.03.2024

Reviewed: 08.04.2024

Accepted: 06.05.2024



© The Author(s) 2024

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License