

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Լևոն Օդաբաշյան Արամի

**ՄԻԿՐՈԱԼԻՔԱՅԻՆ ՄՈՏԱԿԱ ԴԱՇՏԵՐԻ ԲԱՇԽՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ
ՀԵՂՈՒԿ և ԿՈՄՊՈԶԻՏԻՏԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐՈՒՄ**

Ա.04.03 – «Ռադիոֆիզիկա» մասնագիտությամբ
Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ – 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА РЕСПУБЛИКИ
АРМЕНИЯ

ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Левон Одабашьян Арамович

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ МИКРОВОЛНОВЫХ БЛИЖНИХ ПОЛЕЙ
В ЖИДКИХ И КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.03 – “Радиофизика”

ЕРЕВАН – 2022

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում:

Գիտական ղեկավար՝ ֆ.մ.գ.դ., պրոֆեսոր **Ա. Ժ. Բաբաջանյան**

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ տ.գ.դ., պրոֆեսոր **Մ. Յ. Այվազյան**
տ.գ.դ., պրոֆեսոր **Վ. Հ. Ավետիսյան**

Առաջատար կազմակերպություն՝ **ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի
ինստիտուտ**

Պաշտպանությունը կայանալու է 2022թ դեկտեմբերի 10-ին ժամը 12:00-ին Երևանի պետական համալսարանում գործող ԲՈԿ-ի 049 ֆիզիկայի մասնագիտական խորհրդի նիստում: Հասցե՝ Ա. Մանուկյան 1, Երևան 0025:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2022 թ. նոյեմբերի 1-ին:

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝

ֆ.մ.գ.թ., դոցենտ
Վ. Պ. Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете.

Научный руководитель: д.ф.м.н., профессор **А. Ж. Бабаджанян**

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор **М. Ц. Айвазян**
д.т.н., профессор **В. Г. Аветисян**

Ведущая организация: **Институт Радиофизики и электроники НАН РА**

Защита диссертации состоится 10 декабря 2022 г. в 12:00 часов, на заседании специализированного совета ВАК 049 по физике при Ереванском государственном университете. Адрес: А. Манукиан 1, Ереван 0025.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 1 ноября 2022 г.

Ученый секретарь
специализированного совета:

к.ф.м.н., доцент
В. П. Калантарян

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Աշխատանքի արդիականությունը

Գիտության զարգացման ժամանակակից տենդենցները հանգեցնում նոր ու կենսական նշանակություն ունեցող առանց ներթափանցման (non-invasive) հետազոտման մեթոդների անհրաժեշտության: Էլեկտրամագնիսական ալիքների կիրառումը և միկրոալիքային տիրույթում գործող ռեզոնատորների մշակումը նպաստում են առանց ներթափանցման, իրական ժամանակում սենսորների զարգացմանը: Անհրաժեշտություն է դարձել ունենալ մեծ լուծունակությամբ անվնաս դիտարկման համակարգեր, որոնք կկիրառվեն այնպիսի ոլորտներում, ինչպիսիք են բժշկությունը, սննդի արդյունաբերությունը և այլն [1]:

Տարբեր երկրաչափական կառուցվածքներով միկրոալիքային ռեզոնատորները կարող են հիմք հանդիսանալ բժշկական սենսորների մշակման համար: Այս տեսակի սենսորները կարող են ծառայել որպես անհպում գյուլկոմետրեր, և դրանք կարևոր նշանակություն ունեն շաքարախտով հիվանդների համար: Երբ միկրոալիքային ռեզոնատորները օգտագործվում են որպես սենսորներ, փորձարկվող նյութը, որը պետք է չափվի, շփվում է ռեզոնատորի զգայական գոտու հետ և, հետևաբար, ռեզոնանսային հաճախության տեղաշարժը և համակարգի փոխանցման և անրադարձման պարամետրերը փոխվում են՝ կախված նմուշի հատկությունների փոփոխությունից:

Աշխատանքում առաջարկվել են ռեզոնատորներ, որոնք ունեն առաջին կարգի Հիլբերտյան կորով, քառակուսային, կրկնակի քառակուսային և պարուրածև երկրաչափական կառուցվածքներ: Առաջարկվող միկրոալիքային ռեզոնատորները օպտիմիզացվել են կենսաբանական լուծույթում գյուլկոգայի խտության չափումներում բարձր զգայունություն ստանալու համար: Արդյունքները ցույց են տալիս, որ այս տեսակի ռեզոնատորները և կիրառվող մեթոդները կարող են նպաստել առանց ներթափանցման գյուլկոմետրերի զարգացմանը, իսկ բժշկության մեջ ներկայիս գյուլկոմետրերը կարող են փոխարինվել իրական ժամանակում չափումներ կատարող անհպում և ավելի հարմար գյուլկոմետրերով:

Իրական ժամանակում էլեկտրամագնիսական (ԷՄ) դաշտերի գրանցման առանց ներթափանցման ջերմաստիճանական օպտիկական ինդիկատորով մանրադիտակը (ՋԱՕԻՄ) հնարավորություն է տալիս ուսումնասիրել և արտապատկերել մի շարք կարևոր նշանակություն ունեցող նյութերի և կառուցվածքների փոխադեցությունը էլեկտրամագնիսական դաշտերի հետ, միկրոալիքային տիրույթում: ՋԱՕԻՄ-ի առանձնահատկություններից մեկն այն է, որ համակարգը հնարավորություն է տալիս իրականացնել անհպում զոնդավորում հաճախությունների լայն տիրույթում, ինչն էլ իր հերթին ապահովում է նանոկառուցվածքների վարքի ավելի մանրակրկիտ ուսումնասիրություն: Նման

հետազոտություններում ստացված արդյունքների հիման վրա հնարավոր է ընտրել տվյալ նանոկառուցվածքների համար մանրադիտման ամենաարդյունավետ հաճախությունը:

Այս աշխատանքում մասնավորապես հետազոտվել են ածխածնային մանրաթելերով կոմպոզիտային նյութի անիզոտրոպիան, գրաֆիտե պարբերական համակարգ ունեցող նյութի և տարբեր կտրվածքներ ունեցող ինդիում-անագ օքսիդի (ԻԱՕ՝ ITO) բարակ թաղանթներում էՄ դաշտի բաշխվածությունները: Հատկապես ածխածնային մանրաթելերից կոմպոզիտային նյութը ներկայացնում է հետաքրքրությունների լայն շրջանակ՝ կապված դրա անիզոտրոպ էլեկտրական և մեխանիկական հատկությունների հետ: Փորձարարական և մոդելավորման արդյունքների հիման վրա հաստատվել է, որ միկրոալիքային դաշտի բաշխման մեխանիզմը մեծապես կախված է ածխածնային մանրաթելերի անկյունային կողմնորոշումից, և, հետևաբար, կոմպոզիտային նյութը միկրոալիքային տիրույթում գործում է որպես էՄ բևեռացուցիչ կամ էկրանացում: էՄ դաշտի միջոցով նյութի հատկությունները վերահսկելու ունակությունը թույլ է տալիս մշակել ղեկավարվող պարամետրերով սարքեր, ինչպիսիք են միկրոալիքային ֆիլտրերերը, որոնցում սարքերի աշխատանքային պարամետրերը կարգավորելի են՝ կիրառված ղեկավարվող արտաքին մագնիսական դաշտի միջոցով: Ի շնորհիվ մեծ լուծունակության և բարձր զգայունության ՋԱՕԻՄ-ը նաև մեծ ներուժ է ցուցաբերում գրաֆիտե պարբերական կառուցվածքային նյութերի միկրոալիքային կլանման մեխանիզմների բացահայտման խնդիրներում համար: Գրաֆիտի պարբերական կառուցվածքը կարող է ծառայել որպես լավ միկրոալիքային կլանիչ ռազմական կիրառություններում, որտեղ ռադարների կլանող նյութերը (ՌԿՆ՝ RAM) սովորաբար օգտագործվում օբյեկտը ռադարների հայտնաբերումից թաքցնելու համար: Ջերմության և էՄ դաշտի բաշխումը ըստ փորձարարական արդյունքների, միկրոալիքային տիրույթում խիստ փոփոխվում է՝ կախված ԻԱՕ-ի կտրվածքների առանձնահատկություններից:

Ուշադրության են արժանի նաև մետաղական նանոմասնիկները, որոնք իրենց քիմիական միացությունների հետ միասին ունեն կարևոր դեր մարդու օրգանիզմում: Արդի բժշկությունում իրականացվում են բազմաթիվ հետազոտություններ տարբեր մետաղների նանոմասնիկներով լուծույթների բուժիչ հատկությունների վերաբերյալ, մասնավորապես արծաթի նանոմասնիկների ճիշտ խտությամբ ջրային լուծույթը ունի բուժիչ և ախտահանիչ հատկություն: Արծաթի նանոմասնիկներով ջրային լուծույթը արագացնում է մարդու մարմնի վրա վերքերի բուժման պրոցեսը: Նման հատկությունները մեծ հետաքրքրություն են առաջացնում արծաթի նանոկառուցվածքներով ջրային լուծույթների ուսումնասիրման նկատմամբ: Երկաթի և ցինկի նանոմասնիկները նույնպես մեծ նշանակություն ունեն ջրի

մաքրման գործում: Իրենց եզակի առանձնահատկությունների պատճառով երկաթի նանոմասնիկները լայնորեն կիրառվում են ջրում ծանր մետաղների հեռացման համար: Բազմաթիվ ուսումնասիրություններ ցույց են տվել, որ ցինկի նանոմասնիկների հակաբակտերիալ ակտիվությունը պոտենցիալ կիրառություն ունի ջրի մաքրման գործում՝ բարելավելով կեղտաջրերի որակը: Վերոհիշյալ Zn , Fe և Ag նանոմասնիկները ունեն ընդհանուր կիրառություն՝ կապված ջրային լուծույթի հետ, և, հետևաբար, կարևոր խնդիր կա ճշգրիտ որոշելու դրանց խտությունները ջրային լուծույթներում անհպում մեթոդներով:

Մետաղական նանոմասնիկներով լուծույթի փոխազդեցությունը EU դաշտերի հետ հնարավոր է ուսումնասիրել միկրոալիքային ռեզոնատորների և $ՋԱՕԻՄ$ -ի միջոցով [3]: Օգտատարածված գործիքակազմը հնարավորություն է տալիս արտապատկերել ջրային լուծույթներում մետաղական նանոմասնիկների խտության փոփոխությամբ պայմանավորված EU դաշտի ինտենսիվության փոփոխությունը, ինչպես նաև խթանում է իրական ժամանակում անհպում սենսորների ստեղծմանը որոնք կարող են որոշել մետաղական նանոմասնիկների խտությունը ջրային լուծույթներում:

Ատենախոսության մեջ ներկայացված են տարբեր նանոկառուցվածքների՝ բարդ կենսահեղուկների, նանոմասնիկների ջրային լուծույթների և բաղադրյալ կոմպոզիտային նյութերի հետ միկրոալիքային տիրույթի EU դաշտերի փոխազդեցության ուսումնասիրությունը: Հետազոտության հիմնական գործիք է հանդիսացել մեծ լուծունակությամբ և հաճախությունների լայն տիրույթում աշխատող $ՋԱՕԻՄ$ համակարգը, ինչպես նաև հետազոտության ընթացքում կիրառվել են միկրոալիքային ռեզոնատորներով միկրոշերտավոր սենսորներ, որոնցով իրականացվել են կենսաբանական համակարգերի առանց ներթափանցման զոնդավորում:

Ատենախոսության նպատակը

Ատենախոսության նպատակն է մշակել տարբեր երկրաչափությամբ միկրոալիքային արդյունավետ ռեզոնատորներ ջրում լուծված նյութերի (գլյուկոզ, կերակրի աղ և այլն) և մետաղական նանոմասնիկների (Ag , Fe , Zn) առանց ներթափանցման ուսումնասիրության համար: Ցույց տալ դրանց արդյունավետությունը որպես մեծ լուծունակությամբ առանց ներթափանցման, իրական ժամանակում ֆիզիկական և կենսաբանական տվիչներ:

Հետազոտել կոմպոզիտային նյութերի անիզոտրոպ հատկությունները ջերմաառածական օպտիկական մանրադիտակով և պարզել դրանց կիրառելիությունը գիտության և տեխնիկայի մի շարք բնագավառներում:

Ուսումնասիրել մետաղական նանոմասնիկներով հարստացված հեղուկների նանոկառուցվածքային հատկությունները $ՋԱՕԻՄ$ և միկրոալիքային ռեզոնատորի

օգնությամբ՝ ցույց տալով կիրառված մեթոդների արդյունավետությունը որպես մեծ լուծունակությամբ առանց ներթափանցման զոնդավորող համակարգեր:

Գիտական նորույթը

Մեր կողմից մշակված միկրոալիքային միկրոշերտային ռեզոնատորների կիրառմամբ իրականացվել է ջրային լուծույթներում գլյուկոզի խտության առանց ներթափանցման մոտակա-դաշտային դիտարկում: Օգտագործելով նմուշի փոխազդեցությունը էլեկտրամագնիսական դաշտերի հետ, հետազոտվել են ջրային լուծույթում գլյուկոզի խտություններից կախված ընդհանուր լուծույթի էՄ հատկությունները: Ստացված արդյունքները հավաստում են կիրառված մեթոդի արդյունավետությունը որպես գլյուկոզի մեծ լուծունակությամբ և հաճախությունների լայն տիրույթում մշտադիտարկման համակարգեր: Համակարգչային նմանակմամբ ևս հիմնավորվել է տվյալ սենսորների արդյունավետությունը և կիրառելիությունը:

Մեր կողմից նախագծված ԶԱՕԻՄ-ի միջոցով հետազոտվել են բաղադրյալ նյութերի և էՄ դաշտերի փոխազդեցության առանձնահատկությունները: Մասնավորապես հետազոտվել է ածխածնի մանրաթելերով բաղադրյալ նյութի ջերմային և էլեկտրական հաղորդունակությունների անիզոտրոպ հատկությունները: Ըստ փորձարարական և մոդելավորման արդյունքների, միկրոալիքային դաշտի բաշխման մեխանիզմը մեծապես կախված է ածխածնային մանրաթելերի անկյունային կողմնորոշումից: Այսպիսով, բաղադրյալ նյութը գործում է որպես էՄ դաշտի բևեռացուցիչ կամ էկրան, միկրոալիքային տիրույթում: Գրաֆիտե պարբերական կառուցվածքի միկրոալիքային կլանումը արտապատկերվել է անհպում եղանակով՝ կիրառելով ԶԱՕԻՄ-ը: Ըստ փորձարարական արդյունքների՝ միկրոալիքային կլանման ինտենսիվությունը խիստ փոփոխվում է՝ կախված գրաֆիտի պարբերական կառուցվածքի և ճառագայթման աղբյուրի հեռավորությունից և կողմնորոշումից: Այս տեխնիկան կարող է կարևոր գործիք լինել հեռահաղորդականության, տեղորոշման և հայտնաբերման խնդիրներում:

ԶԱՕԻՄ-ի և միկրոալիքային միկրոշերտային ռեզոնատորների կիրառմամբ իրական ժամանակում և առանց ներթափանցման իրականացվել են մետաղական նանոմասիվներով հարստացված ջրային լուծույթների և էՄ դաշտի փոխազդեցության ուսումնասիրություններ: Ստացված արդյունքներն հաստատում են կիրառվող մեթոդների արդյունավետությունը բարձր լուծունակությամբ և հաճախականության լայն տիրույթում մետաղական նանոմասնիկների խտության որոշման խնդիրներում: Փորձարարական մեթոդների ճշգրտությունը հավաստվել են նաև կատարված համակարգչային նմանակումներով:

Գործնական արժեքը

Ատենախոսության մեջ ներկայացված խնդիրներն ունեն մեծ կիրառական նշանակություն և պահանջարկ տարբեր ոլորտներում: Մասնավորապես առաջին գլխում քննարկված ջրային լուծույթներում և կենդանի օրգանիզմներում գլյուկոզի մեծ լուծունակությամբ միկրոալիքային զոնդավորման մեթոդները հնարավորություն են տալիս առանց վնասման հետազոտել տվյալ կենսաբանական նշանակության կենդանի օրգանիզմները և ջրային լուծույթները միկրոալիքային հաճախությունների լայն տիրույթում: Ինչպես նաև իրականացվել է կենդանի օրգանիզմում գլյուկոզի խտության որոշման չափումներ: Ստացված արդյունքներն վկայում են տվյալ մեթոդների կիրառելիության պոտենցիալի մասին, օրինակ, բժշկական ոլորտում:

Կիրառական տեսանկյունից հետաքրքիր են նաև ածխածնային մանրաթելերով կառուցվածքի և գրաֆիտի պարբերական համակարգի՝ միկրոալիքային էՄ դաշտի հետ փոխազդեցության խնդիրները: Տվյալ նմուշները իրենց կառուցվածքային առանձնահատկությունով պայմանավորված դրսևորում են նոր էՄ հատկություններ, ինչնեղ մեծացնում է նրանց դերը և կիրառելիության ոլորտը: Ասյպես, գրաֆիտե պարբերական համակարգով նյութերը կարող են կիրառվել որպես միկրոալիքային կլանիչներ, ֆիլտրեր, իսկ ածխածնային մանրաթելերով բաղադրյալ նյութերը կարող են հանդիսանալ որպես փուլային կարգավորող համակարգեր և էՄ բևեռացուցիչներ կամ էկրան:

Քննարկված մետաղական նանոմասնիկներով հարստացված ջրային լուծույթները իրենց յուրահատուկ քիմիա-ֆիզիկական հատկությունների շնորհիվ ունեն կարևոր կիրառություններ կենդանիների և մարդու օրգանիզմում: Արդի բժշկությունում իրականացվում են բազմաթիվ հետազոտություններ տարբեր մետաղների նանոմասնիկներով լուծույթների բուժիչ և ախտահանիչ հատկությունների վերաբերյալ, նաև՝ ջրի մաքրման գործում: Հետևաբար, կարևոր խնդիր է դրանց խտությանների անհպում մեթոդներով որոշումը ջրային լուծույթներում: Առաջարկված է երկու մեթոդներն էլ հաջողությամբ կիրառվել են ջրային լուծույթներում մետաղական նանոմասնիկների խտությունը որոշելու համար:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթներ

1. Առաջարկվել է տարբեր երկրաչափությամբ միկրոալիքային միկրոշերտային ռեզոնատորներ բաղադրյալ հեղուկ միջավայրի հատկությունները հետազոտելու համար: Հիլբերտյան կորի տեսքով միկրոշերտավոր ռեզոնատորների միջոցով չափվել է գլյուկոզի խտությունը 0-250 մգ/դլ տիրույթում 1.92 մգ/դլ նվազագույն հայտնաբերվող խտությամբ: Կրկնակի ուղղանկյան տեսքով միկրոշերտավոր ռեզոնատորների միջոցով իրականացվել է արծաթի և երկաթի նանոմասնիկների ջրային լուծույթի հետազոտություն: Արծաթի և երկաթի

նանոմասնիկների նվազագույն չափելի խտությունները՝ համապատասխանաբար մոտ 1 մկգ/լ և 1.4 մկգ/լ, 2 մլ ծավալով նմուշի համար:

2. Միկրոալիքային կրկնակի պարույրային տեսքով միկրոշերտավոր ռեզոնատորը ցուցաբերում է բավարար զգայնություն կենդանի օրգանիզմում (in-vivo) գլյուկոզի խտության որոշման փորձերում առանց ներթափանցման (non-invasive) մոտակա դաշտի միկրոալիքային ներգործության միջոցով: Գլյուկոզի նվազագույն հայտնաբերվող խտությունը եղել է 10 մգ/դլ:
3. Միկրալիքային տիրույթում ջերմաառաձգական մանրադիտակի կիրառմամբ հետազոտվել ածխածնային բաղադրյալ նյութում մոտակա դաշտի բաշխվածությունը: Ջերմահաղորդունակությունը մանրաթելերի ուղղությամբ մոտ 4.6 անգամ գերազանցել է դրանց ուղղահայաց ուղղությամբ ջերմահաղորդունակությանը: Միկրոալիքային դաշտի բաշխման մեխանիզմը մեծապես կախված է ածխածնային մանրաթելերի անկյունային կողմնորոշման փոփոխությունից, և կոմպոզիտային նյութը գործում է որպես էՄ դաշտի քնեռացուցիչ:
4. Ջերմաառաձգական մանրադիտակի կիրառմամբ առանց ներթափանցման, միկրոալիքային հաճախությունների լայն տիրույթում (8-14 ԳՀց) հետազոտված արծաթի, երկաթի և ցինիկի նանոմասնիկներով հարստացված ջրային լուծույթի էՄ հատկությունները խստորեն կախված են լուծույթում այդ նյութերի խտությունից: Չափված նվազագույն հայտնաբերվող խտությունը, որը հիմնված է որոշման գործակիցի վրա (R^2), Fe, Zn և Ag նանոմասնիկների համար համապատասխանաբար եղել են մոտավորապես 1 մկգ/լ, 0.7 մկգ/լ և 0.6 մկգ/լ:

Աշխատանքի ներկայացումը

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները զեկուցվել են Երևանի պետական համալսարանի Կիրառական էլեկտրադինամիկայի և մոդելավորման ամբիոնի, Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ամբիոնի, Սեուլի Սոգանգ համալսարանի ֆիզիկայի ֆակուլտետի առկա և հեռավար սեմինարներում:

Տրապարակումները

Ատենախոսության թեմայով տպագրվել են 13 գիտական աշխատանքներ, որից 8-ը՝ միջազգային գիտական հանդեսներում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք գլուխներից, եզրակացությունից, հապավումների և 121 անուն պարունակող գրականության ցանկերից: Աշխատանքում առկա են 49 գրաֆիկ/նկար և 4 աղյուսակ, իսկ ընդհանուր ծավալը կազմում է 101 էջ:

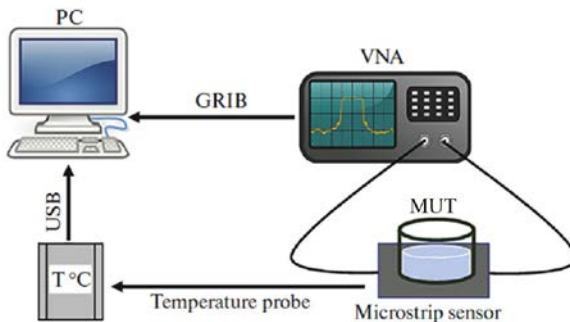
ԱՏԵՆԱԿՆՈՍՈՒԹՅԱՆ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածությունում ներկայացված է կատարված աշխատանքի արդիականությունը, նպատակներն ու խնդիրները, պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները, ստացված արդյունքների գիտական նորույթը և գործնական արժեքները:

Առաջին գլխում ուսումնասիրվել են ջրային լուծույթներում և կենդանի օրգանիզմներում գյուլկոզի առանց ներթափանցման միկրոալիքային զոնդավորման մեծ լուծունակությամբ մեթոդները, որոնք հնարավորություն են տալիս առանց վնասման հետազոտել տվյալ կենսաբանական նշանակության կենդանի օրգանիզմները և ջրային լուծույթները միկրոալիքային հաճախությունների լայն տիրույթում [1-5]:

1.1 պարագրաֆում ներկայացված է ներածական ակնարկ միկրոալիքային տիրույթում էՄ դաշտի կիրառությունների մասին:

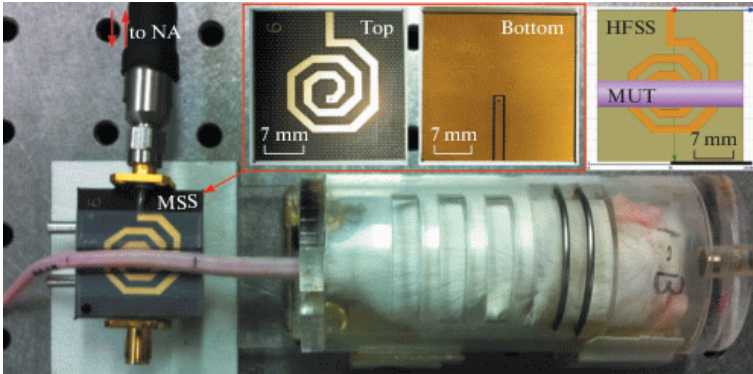
1.2 պարագրաֆում նկարագրվում է գյուլկոզի տարբեր խտություններով ջրային լուծույթների համար նախատեսված փորձարարական սխեման և օգտագործված գործիքակազմը (Նկ. 1):



Նկ. 1: Փորձարարական սարքավորման կառուցվածքային կոնֆիգուրացիան:

Գյուլկոզի խտության փոփոխմանը զուգընթաց, փոխվում ջրային լուծույթի կոմպլեքս դիէլեկտրի թափանցելիությունը, որը իր հերթին բերում է համակարգի միկրոալիքային արձագանքի փոփոխության: VNA (Vector Network Analyzer) -ի միջոցով արձանագրվում է համակարգի անրադարձման S_{11} և անցման S_{21} միկրոալիքային պարամետրերը: Համակարգի միկրոալիքային արձագանքը ցույց է տվել կախվածություն նաև նմուշի ծավալից և ջերմաստիճանից:

1.3 պարագրաֆում նկարագրվում է կենդանի օրգանիզմում գյուլկոզի խտության գնահատման նպատակով նախագծված փորձարարական սխեման և օգտագործված գործիքակազմը (Նկ. 2):



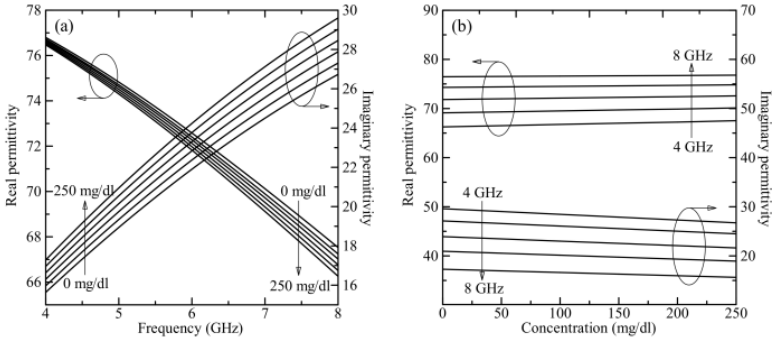
Նկ. 2: Փորձարարական կոնֆիգուրացիայի ընդհանուր տեսքը (մկան պոչը): Աջ ներդիրը ցույց է տալիս համակարգչային նմանակման մոդելը, այնպես ինչպես այն արտապատկերվում է HP HFSS-ի պատուհանում

Նկար 2-ի ներդիրում պատկերված է մշակված միկրոալիքային պարույրաձև ռեզոնատորը և համակարգչային մոդելավորման նկարը: Փորձում նմուշ է հանդիսացել փորձարարական մկան պոչը: Համակարգի միկրոալիքային արձագանքը փոխվում է կախված մկանը ներարկված գլյուկոզի չափաքանակից: Առաջարկված ռեզոնատորը ցույց է տվել բավարար զգայունությունը՝ 10 մգ/դլ, օրգանիզմում գլիկեմիայի մակարդակը գնահատելու համար:

1.4 պարագրաֆում տեսկանոթեն բնութագրված է միկրոակիքային տիրույթում նյութի կոմպլեքս դիէլեկտրական թափանցելիության և համակարգի միկրոալիքային պարամետրերի միջև կապը: Բանաձև (1) ում ներկայացված է ջրային լուծույթի կոմպլեքս դիէլեկտրական թափանցելիության կախվածությունը լուծված նյութի խտությունից

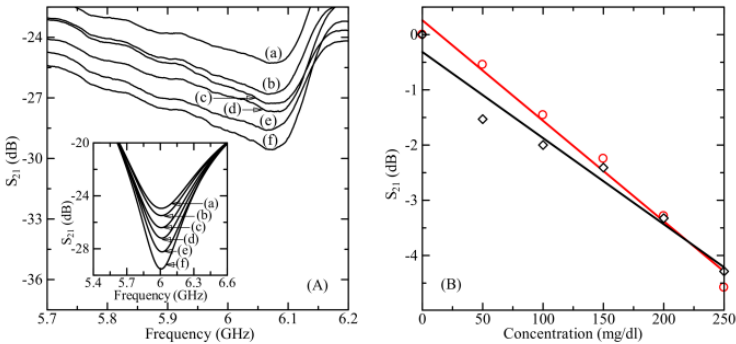
$$\varepsilon_s(\omega) = (\varepsilon'_0 + c\delta') - j(\varepsilon''_0 + c\delta'') = (\varepsilon'_0 - j\varepsilon''_0) + c(\delta' - j\delta''), \quad (1)$$

որտեղ, ε_s -ն Նմուշի կոմպլեքս հարաբերական դիէլեկտրկ թափանցելիություն է, c -ն լուծված նյութի խտությունն է, $\delta = \delta' - j\delta''$ -ն դիէլեկտրական թափանցելիության աճն է, երբ լուծույթի խտությունը աճում է 1 միավորով: Գլյուկոզի համար՝ $\delta'_G = 0.00577 \text{ mg/dl}^{-1}$, $\delta''_G = 0.00015 \text{ mg/dl}^{-1}$, իսկ կերակրի աղի համար՝ $\delta'_N = 0.00695 \text{ mg/dl}^{-1}$, $\delta''_N = 0.00019 \text{ (mg/dl)}^{-1}$: Նկար 3-ում բերված է գնահատված կոմպլեքս դիէլեկտրական թափանցելիության հաճախային վարքը և գլյուկոզի խտությունից կախվածությունները:



Նկ. 3: a) Հաշվարկված կոմպլեքս դիէլեկտրական թափանցելիության իրական (ձախ առանք) և կեղծ (աջ առանք) մասերի հաճախային վարքը: (b) Իրական և կեղծ դիէլեկտրական թափանցելիության կախվածությունները գյուլկոզի խտությունից:

1.5 պարագրաֆում բերված են Հիլբերտյան կորի տեսքով միկրոալիքային միկրոշերտավոր ռեզոնատորով չափված գյուլկոզի խտությունները ջրային լուծույթներում և կենդանի օրգանիզմում: Այս պարագրաֆում ներկայացված են նաև համակարգչային մոդելավորման արդյունքները:



Նկ. 4: (a) Միկրոալիքային անցման S_{21} գործակցի փորձի արդյունքները ջրի և գյուլկոզի ջրային լուծույթի համար 50–250 մգ/դլ խտությունների տիրույթում, (ներդիրում մոդելավորման արդյունքներն են): (b) Չափված և մոդելավորված միկրոալիքային արձագանքի կախվածությունը գյուլկոզի խտությունից 6 GHz ռեզոնանսային հաճախության դեպքում:

Նկար 4(a) ում պատկերված է միկրոալիքային անցման S_{21} գործակցի փորձարարական և մոդելավորման: Ե՛վ փորձարարական, և՛ մոդելավորված կորերն ունեն S_{21} -ի նվազագույն արժեքը 6 ԳՀց ռեզոնանսային հաճախությունում համար (6,07 ԳՀց ընդդեմ 6,01 ԳՀց-ի): Անցման S_{21} պարամետրը ցույց է տալիս

նվազող վարքագիծ, երբ գլյուկոզի խտություննը աճում է: S_{21} պարամետրերի առավելագույն տարբերությունը ջրի և 250 մգ/դլ գլյուկոզի խտությամբ լուծույթի դեպքում եղել է մոտ 4.3 դԲ, 6.07 ԳՀց փորձի և 4.6 դԲ, 6.01 ԳՀց՝ համակարգչային նմանակման դեպքում: S_{21} -ի և գլյուկոզի խտության միջև կապը գծային է խտությունների այս տիրույթում, ինչը կարևոր է լուծույթում գլյուկոզի խտության ճշգրիտ վերլուծության համար: Այս դեպքում նվազագույն հայտնաբերվող խտությունը՝ C_{min} կարելի է որոշել՝ (2) հավասարման միջոցով

$$C_{min} = \frac{S^R}{\Delta S_{21}/\Delta c}, \quad (2)$$

որտեղ Δc -ը խտությունների տարբերությունն է, ΔS_{21} -ը՝ Δc -ով պայմանավորված S_{21} -ի փոփոխությունը, իսկ $S^R=0.,03$ դԲ՝ փորձարարական համակարգի լուծունակությունը: Գլյուկոզի նվազագույն հայտնաբերվող խտություննը գնահատվել է 1.92 մգ/դլ և 165 մգ/դլ է համապատասխանաբար փորձի և մոդելավորման համար (տվյալներն ամփոփված են աղյուսակ 1 ում):

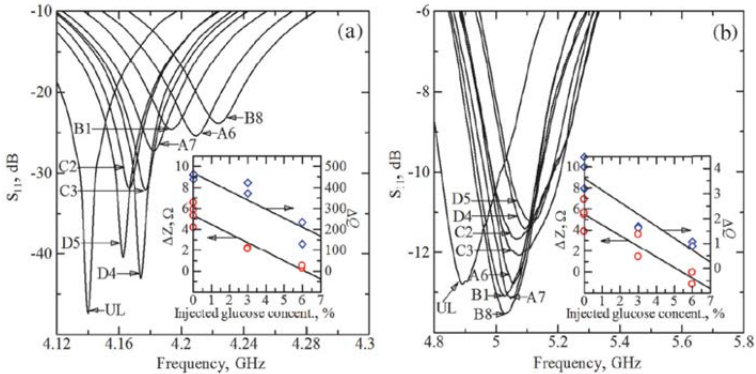
Աղյուսակ 1: Փորձնական և մոդելավորման արդյունքների համեմատությունը:

Sensor Parameter	Measurement	Simulation
Dynamic range for S_{21}	4.3 dB	4.6 dB
Resonant frequency	6.07 GHz	6.01 GHz
Sensitivity for S_{21}	0.0156 dB/(mg/dL)	0.0182 dB/(mg/dL)
Minimum detectable concentration	1.92 mg/dL	1.65 mg/dL

Սենսորի միկրոալիքային արձագանքը կախված է նաև լուծույթի ծավալից և ջերմաստիճանից: Լուծույթի ծավալի աճին զուգնթաց, համակարգի միկրոալիքային անցման գործակիցը նվազում է մինչև 500 մկլ և հետո աճում է: Քանի որ չափման զգայունությունն ամենաբարձրն է 500 մկլ ծավալով նմուշի դեպքում այդ իսկ պատճառով բոլոր չափումները կատարվել հենց այդ ծավալի դեպքում: Լուծույթի ջերմաստիճանի աճին զուգնթաց համակարգի S_{21} -ը աճել է մինչև 35 °C: Այս կախվածության գծային թեքությունը 50 մգ/դլ գլյուկոզի խտության դեպքում 0.22 դԲ/°C՝ և 0,006 դԲ/ °C-է՝ ,համապատասխանաբար բարձր և ցածր ջերմաստիճանների դեպքում:

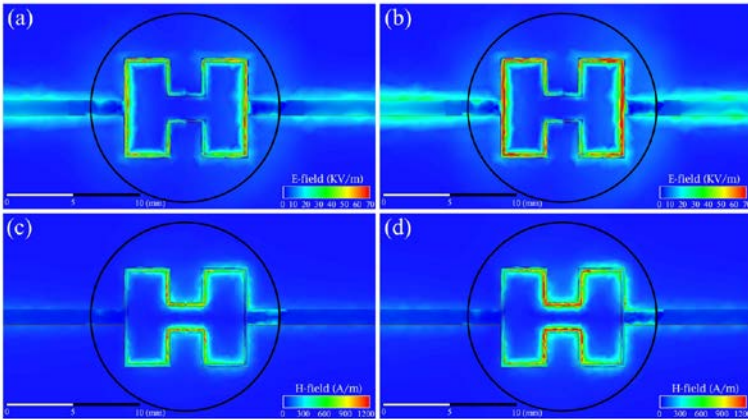
Նկար 6-ում բերված է բնական պայմաններում կենդանի օրգանիզմում գլյուկոզի խտության փոփոխության միկրոալիքային պարույրածև ռեզոնատորով զոնդավորման արդյունքերը: Նկար 6-ը ցույց է տալիս չափված S_{11} միկրոալիքային անդրադարձման կորերի հաճախային տեսքերը 8 կենդանու համար: Գլյուկոզի խտությունից անդրադարձման գործակցի գծային կախվածության դիքությունը՝ $\Delta S_{11}/\Delta c \cong -0.11$ dB/(մգ/դլ) 4.14 ԳՀց-ի դեպքում և (0.01 դԲ/(մգ/դլ) 4.89 ԳՀց-ի

դեպքում կամ $\Delta S_{11}/\Delta c \cong -3 \times 10^{-4} 1/(\Delta q/\eta)$, 4.14 ԳՀց-ի դեպքում և $3 \times 10^{-4} 1/(\Delta q/\eta)$ 4.89 ԳՀց-ի դեպքում՝ գծային մասշտաբով: Չափված միջին քառակուսային վիճակագրական աղմուկների մակարդակը S_{11} -ի համար կազմել է մոտ 10^{-5} գծային սանդղակով [10]: Չափված ազդանշան-աղմուկ հարաբերակցությունը (ԱԱՀ) եղել է $SNR = 20 \log(3 \times 10^{-4}/10^{-5}) \approx 30$ դԲ: Խտության ամենափոքր չափելի փոփոխությունը ըստ $SNR=30$ դԲ գնահատվել է մոտ 10 մգ/դլ:

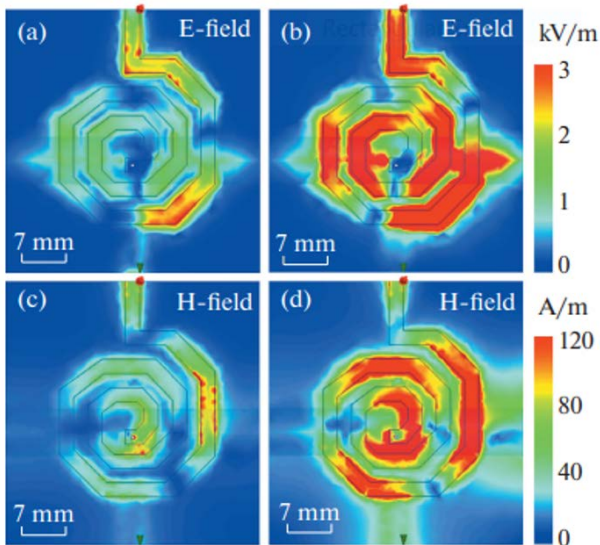


Նկ. 5: Միկրոալիքային անդրադարձման S_{11} գործակցի հաճախային տեսքերը 8 մկների համար (a) 4.12–4.3 ԳՀց և (b) 4.8–5.8 ԳՀց միջակայքում: Ներդիրը ցույց է տալիս բնութագրական դիմադրության՝ ΔZ (ծախ առանցք) և ռեզոնատորի բարորակության փոփոխությունը ΔQ (աջ առանցք)՝ կախվածությունը ներմուծված գլյուկոզի խտությունից՝ (a) 4.14 ԳՀց և (b) 4.89 ԳՀց հաճախությունների դեպքում (մոտ 7 Օհմ տեղաշարժով): Հոծ գծերը գծային մոտարկման վարքերն են:

Համակարգչային մոդելավորման միջոցով ներկայացվել է էՄ դաշտի փոխազդեցությունը միկրոալիքային սենսորների և տարբեր խտությաբ գլյուկոզի ջրային լուծույթների միջև: Նկար 6-ը ցույց է տալիս էլեկտրամագնիսական փոխազդեցության բաշխման մոդելավորված պատկերները ռեզոնատորի և նմուշի միջև (a), (b) էլեկտրական և (c), (d) մագնիսական դաշտերի համար: Գլյուկոզի խտությունը (a), (c) -ում 0 մգ/դլ է, և (և (b), (d)-ում 250 մգ/դլ է: Սև շրջանակը ցույց է տալիս նմուշի դիրքը: Երբ գլյուկոզի խտությունը աճում է, և՛ էլեկտրական, և՛ մագնիսական դաշտերի ինտենսիվությունները աճում են: Էլեկտրամագնիսական դաշտի բաշխման փոփոխությունները պայմանավորված են գլյուկոզի խտության փոփոխության հետ լուծույթի ընդհանուր դիէլեկտրական թափանցելիության փոփոխությամբ: Նշենք, որ լուծույթի էլեկտրահաղորդունակության փոփոխությունը 0.6 Ս/մ կարգի է 0-ից մինչև 250 մգ/դլ գլյուկոզի խտության փոփոխության դեպքում:



Նկ. 6: Համակարգային մոդելավորման արդյունքները. (a), (b) էլեկտրական և (c), (d) մագնիսական դաշտերի բաշխվածությունը նմուշի և տվիչի համան հարթությունում: Գլուկոզի խտությունը եղել է (a), (c) 0 մգ/դլ (թորած ջուր) և (b), (d) 250 մգ/դլ:



Նկ. 7: HFSS միջավայրում նմանակված (a), (b) էլեկտրական և (c), (d) մագնիսական դաշտի բաշխվածությունները 4.89 ԳՀց հաճախության դեպքում՝ (a), (b) ջրի և (c), (d) 300 մգ/դլ խտությամբ գլուկոզի ջրային լուծույթի համար:

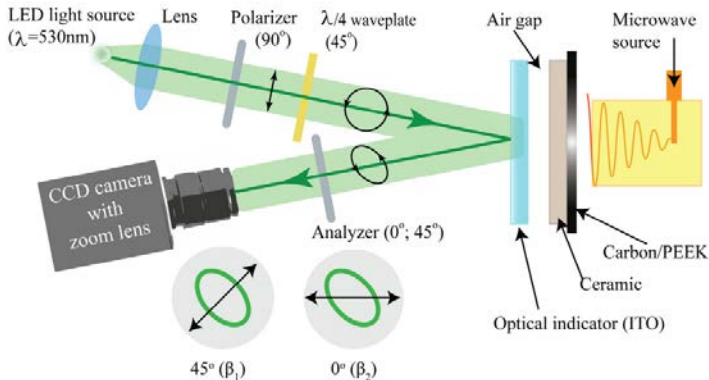
Նկար 7-ը ցույց է տալիս (a), (b) էլեկտրական և (c), (d) մագնիսական դաշտի բաշխումները (a), (c) ջրի և (b), (d) 300 մգ/դլ գլուկոզի խտությամբ ջրային լուծույթի դեպքում 4.89 ԳՀց ռեզոնանսային հաճախություն համար: Երբ գլուկոզի

խտությունը 0-ից ավելացել է մինչև 300 մգ/դլ, նմուշի իրական դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը մեծացել է 0.174-ով, իսկ էլեկտրական դաշտի ինտենսիվությունը՝ 15 ԿՎ/մ-ից մինչև 29 ԿՎ/մ առավելագույնը, այսինքն՝ մոտ 1.9 անգամ: Միևնույն ժամանակ մագնիսական դաշտի ինտենսիվությունը 68 Ա/մ-ից աճել է մինչև 117 Ա/մ առավելագույնը, այսինքն՝ մոտ 1.7 անգամ:

1.6 պարագրաֆում ամփոփվել է առաջին գլխում ներկայացված գյուլոզի տարբեր խտություններով ջրային լուծույթների և կենդանի օրգանիզմների թեսթավորման հիմնական արդյունքները:

Երկրորդ գլխում ուսումնասիրված է գրաֆիտային հիմքով կոմպոզիտային նյութերի և էՄ դաշտի փոխազդեցությունը: Փորձարկումները իրականացվել է ՋԱՕԻՄ համակարգի-ի միջոցով ինչպես նաև կատարվել է համակարգչային մոդելավորում [6-8]:

2.1 պարագրաֆում ներկայացված է ՋԱՕԻՄ-ի աշխատանքային սկզբունքը և փորձարարական համակարգը: Այս պարագրաֆում ներկայացված են նաև որորշակի կիրառական արդյունքները:

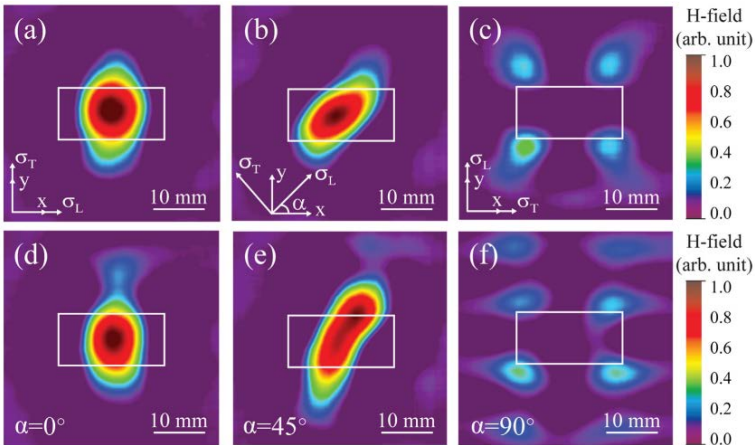


Նկ. 10: ՋԱՕԻՄ-ի կառուցվածքային կոնֆիգուրացիան: Կանաչ գծերը ցույց են տալիս լույսի տարածման ուղին, իսկ էլիպսները ցույց են տալիս լույսի շրջանաձև և էլիպսային բևեռացումները: Լույսի աղբյուրի համար օգտագործվել է լուսաճառագայթային դիոդ (LED, $\lambda = 530$ նմ):

Օպտիկական ինդիկատորը (ՕԻ) իրենից ներկայացնում է ապակի, որի վրա նստեցված է նանոմետրական հաստություն ունեցող էՄ ճառագայթումը կլանող շերտ: Ընկնող լույսը սկզբում գծային բևեռացվում է հարթ բևեռացուցիչով, ապա $\lambda/4$ թիթեղով մոդուլացվում է աջ կամ ձախ շրջանային բևեռացված ալիքի: Ինդիկատորով անցնելուց հետո կլանիչ շերտից հատկությունների փոփոխության հետևանքով ալիքը փոխում է իր բևեռացումը շրջանայինից էլիպտիկի: Այդ

փոփոխությունը գրանցվում է CCD տեսախցիկի միջոցով ի շնորհիվ ընկնող լույսի ինտենսիվության փոփոխության:

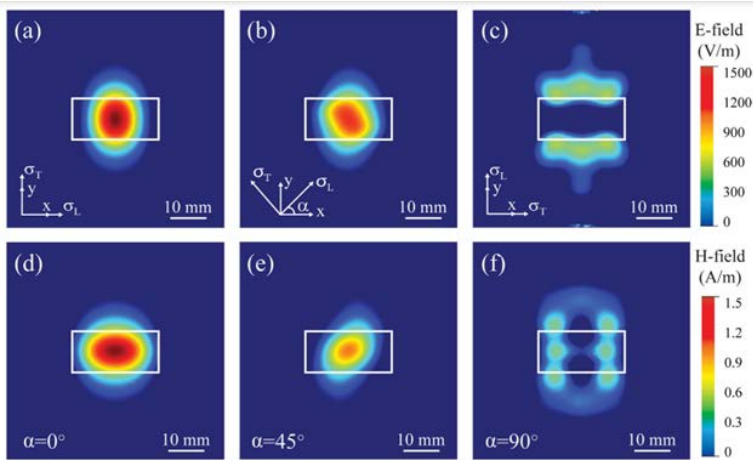
2.2 պարագրաֆում նկարագրվում է ՋԱՕԻՄ համակարգով չափման մեթոդի ղեկավարման անխաճանային մանրաթելերով բաղադրյալ նյութի համար: Ինչպես նաև ներկայացված է ամբողջ գիտափորձի համակարգչային մոդելավորումը: Փորձերը կատարվել են նմուշի տարբեր անկյունների դեպքում (0° – 90°) 15° քայլով: Նկար 11 (a–c) ցույց են տալ փորձնականորեն արտապատկերված մագնիսկան դաշտի բաշխումները 11 ԳՀց հաճախության դեպքում, իսկ Նկ. 11 (d–f)՝ 14 ԳՀց հաճախության դեպքում: $\alpha=0^\circ$ -ում էլեկտրական դաշտի բևեռացումը ուղղահայաց է ածխածնային մանրաթելերին (Նկ. 11 (a), (d)) և տատանվում է y առանցքի երկայնքով: ԷՄ ալիքների մեծ մասն անցնում է անիզոտրոպ նմուշի միջով, քանի որ բաղադրյալ նյութը էլեկտրական դաշտի բևեռացմանի ուղղությամբ շատ ցածր էլեկտրահաղորդունակություն ունի: Մագնիսկան դաշտի բաշխումն ունի ամենաբարձր ինտենսիվությունը այս կողմնորոշման դեպքում:



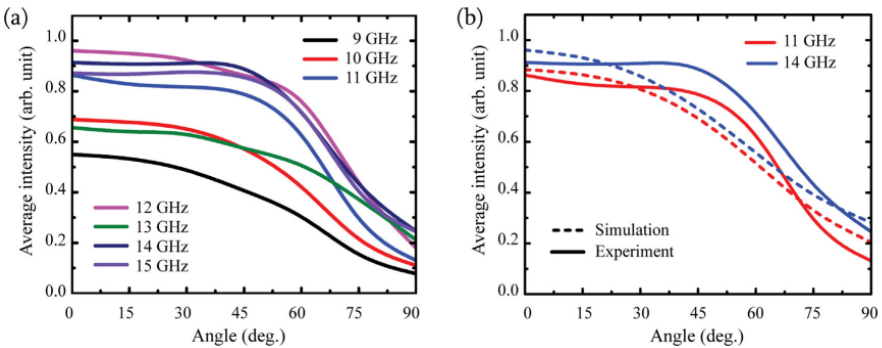
Նկ.11: Նմուշում մագնիսկան դաշտի բաշխվածությունը երբ ածխածնային մանրաթելերի կողմնորոշման անկյունները (a), (d) $\alpha=0^\circ$, (b), (e) $\alpha=45^\circ$, (c), (f) $\alpha=90^\circ$ (a-c) 11 ԳՀց և (d-f)՝ 14 ԳՀց համար: Սպիտակ ուղղանկյունը ցույց է տալիս ալիքատարի դիրքը:

Այս դեպքում մագնիսկան դաշտի y բաղադրիչը զրո է, իսկ մագնիսկան դաշտի բևեռացումը գտնվում է xz հարթությունում: Մագնիսկան դաշտի կողմից առաջացած հոսանքը աննշան է, քանի որ էլեկտրական հաղորդունակությունը շատ փոքր է y ուղղությամբ: Հետևաբար, Նմուշը տաքանում է ուղղահայաց բևեռացված էլեկտրական դաշտի պատճառով, որն ուղղահայաց է մանրաթելերին: Կոմպոզիտային կառուցվածքը էկրանավորվում է բևեռացված էլեկտրական դաշտը և ստեղծում է մրրկային հոսանքներ y առանցքի երկայնքով: Մինչդեռ ՕԻ-ն

հիմնականում էկրանավորում է մագնիսական դաշտը, իսկ ջերմության տեղաբաշխումը հիմնականում պայմանավորված էգալիս է ITO շերտի մակերևութային հոսանքներով: Նկար 12-ը ցույց է տալիս էՄ դաշտերի բաշխման մոդելավորման արդյունքները 14 ԳՀց դեպքում: Հիմնվելով այս արդյունքների վրա, կարելի է ասել, որ էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի բաշխման օրինաչափությունը նման են $\alpha=0^\circ$ և $\alpha=45^\circ$ ի դեպքում, իսկ $\alpha=90^\circ$ -ի դեպքում էլեկտրական և մագնիսական դաշտերը զգալիորեն տարբերվում են:



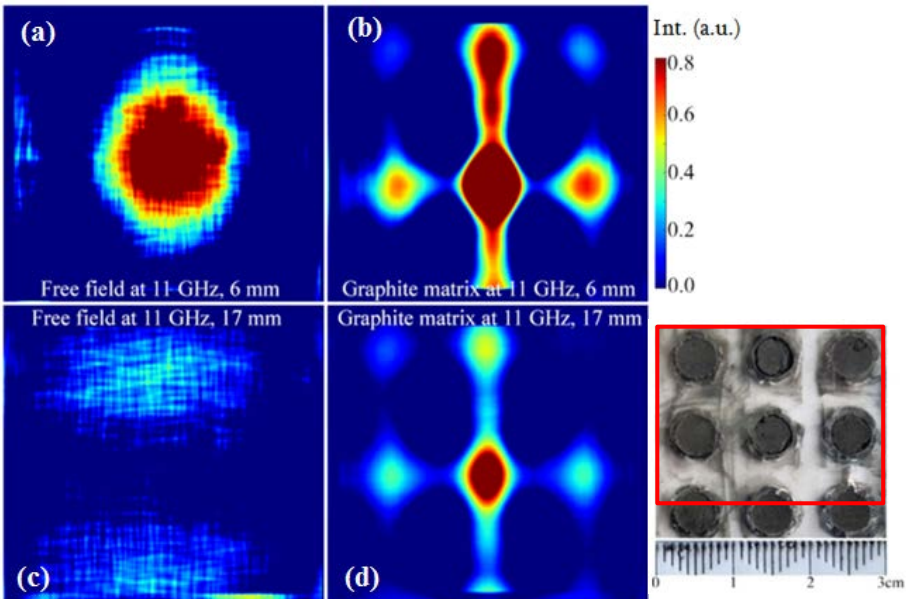
Նկ.12: Համակարգչային մոդելավորմամբ ստացված էլեկտրական դաշտի բաշխվածությունը նմուշում 14 GHz-ի դեպքում, երբ ածխածնային մանրաթելերի կողնորոշման անկյունները (a) $\alpha=0^\circ$, (b) $\alpha=45^\circ$ և (c) $\alpha=90^\circ$ են, և մագնիսական դաշտի բաշխվածությունը նմուշում երբ ածխածնային մանրաթելերի կողնորոշման անկյուններն են (d) $\alpha=0^\circ$, (e) $\alpha=45^\circ$, (f) $\alpha=90^\circ$:



Նկ.13: (a) Չափված մագնիսական դաշտի միջինացված ինտենսիվության կախումը նմուշում մանրաթելերի կողմնորոշման անկյունից՝ 9-15 ԳՀց տիրույթում: (b) 11 ԳՀց և 14 ԳՀց միջինացված ինտենսիվությունների համեմատություն:

Նկար 13.(a)-ի կորերը չափված բոլոր հաճախությունների դեպքում ունեն նույն վարքագիծը: Ստացված փորձարարական և մոդելավորման արդյունքները լավ համընկնում են (Նկ. 13. (բ)): Այսպիսով, ածխածնի մանրաթելի պտույտը փոխում է էլեկտրամագնիսական դաշտի և կոմպոզիտային նյութի փոխազդեցության մեխանիզմը, մեծապես կախված է ածխածնային մանրաթելերի անկյունային կողմնորոշման փոփոխությունից, և կոմպոզիտային նյութը հանդես է գալիս որպես էՄ ն դաշտի բևեռացուցիչ միկրոալիքային իրոյթում:

2.3 ապարագրաֆում ՋԱՕԻՄ-ի կիրառմամբ հետազոտվել է գրաֆիտե պարբերական համակարգի և էՄ դաշտի փոխազդեցության առանձնահատկությունները, կատարվել է նաև համակարգչային նմանակում: Միկրոալիքային կլանման ինտենսիվությունը խստորեն փոխվում է՝ կախված գրաֆիտի պարբերական կառուցվածքի և ճառագայթման աղբյուրի հեռավորությունից՝ պայմանավորված կառուցվածքի պարամետրերից:



Նկ. 14: Մագնիսական դաշտի բաշխվածությունը (a), (c) առանց նմուշ և (b), (d) նմուշով 11 GHz ում: Աջ նկարում բերվախ է նմուշի կառուցվածքային տեսքը:

2.4 պարագրաֆում ՋԱՕԻՄ-ի կիրառմամբ ուսումնասիրվել է տարբեր երկրաչափական ձևի ITO ՕԻ-ի (Indium-tin-oxide) և էՄ դաշտի փոխազդեցությունը: Ստացվաց արդյունքները վկայում են որ, էՄ դաշտի բաշխվածությունը խիստ կախված է ՕԻ-ի հաղորդիչ շերտի երկրաչափական ձևաչափից:

Երրորդ գլխում ներկայացված են տարբեր մետաղական նանոմասնիկներով լուծույթների վարքը միկրոալիքային դաշտերի ազդեցության տակ: Այսպիսի

փոխազդեթյունը հնարավոր է ուսումնասիրել միկրոալիքային ռեզոնատորների և ՋԱՕԻՄ-ի միջոցով: Օգտատարածված գործիքակազմը հնարավորություն է տալիս արտապատկերել ջրային լուծույթներում մետաղական նանոմասնիկների խտության փոփոխությամբ պայմանավորված էՄ դաշտի ինտենսիվության փոփոխությունները, ինչպես նաև կարող է հիմք հանդիսանալ իրական ժամանակում անհպում սենսորների ստեղծմանը [9-11]:

3.1 պարագրաֆում, որպես ներածուական մաս, նկարագրված են մետաղների նանոմասնիկների կարևոր դերը կենդանի օրգանիզմներում: Ներկայացված են դրանց մի քանի կարևոր կիրառություններ, մասնավորապես արդի բժշկության մեջ տարբեր մետաղների նանոմասնիկներով լուծույթների ախտահանիչ և բուժիչ հատկությունների վերաբերյալ, մասնավորապես արծաթի նանոմասնիկների ճիշտ խտությամբ ջրային լուծույթը ունի բուժիչ և ախտահանիչ հատկություն: Երկաթի և ցինկի նանոմասնիկները նույնպես մեծ նշանակություն ունեն հատկապես ջրի մաքրման գործում: Իրենց եզակի առանձնահատկությունների պատճառով երկաթի նանոմասնիկները լայնորեն կիրառվում են ջրում ծանր մետաղների հեռացման խնդիրներում: Բազմաթիվ ուսումնասիրություններ ցույց են տվել, որ ցինկի նանոմասնիկների հակաբակտերիական ակտիվությունը պոտենցիալ կիրառություն ունի ջրի մաքրման գործում՝ բարելավելով կեղտաջրերի որակը: Վերոհիշյալ Zn , Fe և Ag նանոմասնիկները ունեն ընդհանուր կիրառություն ջրային լուծույթներում և, հետևաբար, կարևոր խնդիր կա անհպում մեթոդներով որոշելու դրանց խտությունները լուծույթում:

Մաքսվել – Գարնետի մոդելը նկարագրում է հաղորդիչ մասնիկներ պարունակող դիէլեկտրական միջավայրի արդյունարար դիէլեկտրական թափանցելիությունը: Դիէլեկտրիկ միջավայրում ներմուծված գնդաձև մետաղական նանոմասնիկների համար մոդելի պարզեցված ձևն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_w + \frac{3f(\varepsilon_{Ag} - \varepsilon_w)}{\varepsilon_{Ag} + 2\varepsilon_w}, \quad (3)$$

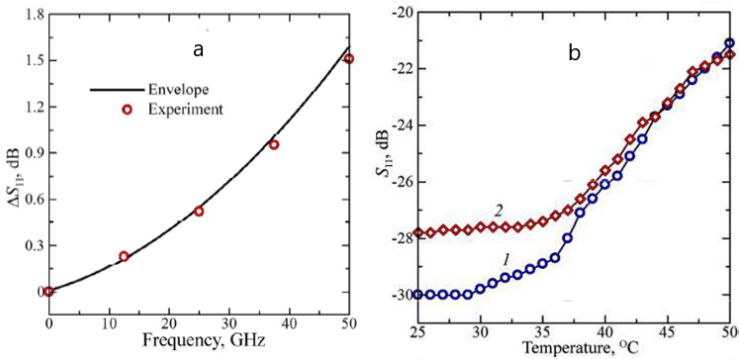
որտեղ ε_w -ը ջրի հարաբերական թափանցելիությունն է, ε_{Ag} -ը արծաթի հարաբերական կոմպլեքս թափանցելիությունն է, իսկ f -ը՝ Ag նանոմասնիկների ծավալային բաժինը լուծույթում: Արծաթի կոմպլեքս հարաբերական դիէլեկտրական թափանցելիությունը նկարագրվում է որպես՝

$$\varepsilon_{Ag}(\omega) = \varepsilon'_{Ag} - j\varepsilon''_{Ag} = \varepsilon'_{Ag} - j \frac{\sigma_{Ag}}{\omega \varepsilon_0}, \quad (4)$$

որտեղ ε'_{Ag} և ε''_{Ag} արծաթի կոմպլեքս դիէլեկտրական թափանցելիության իրական և կեղծ մասերն են, σ_{Ag} -ը արծաթի հաղորդակությունն է, ε_0 -ը վակուումի դիէլեկտրական թափանցելիությունն է, իսկ ω -ն՝ աշխատանքային հաճախությունը:

3.2 պարագրաֆում ներկայացված են մետաղական նանոմասնիկներով ջրի հարստացման պրոցեսը, որը իրականացվել է լազերային աբիլիացիայի միջոցով և փորձարարական համակազերը որոնց միջոցով ուսումնասիրվել են էՄ դաշտի և մետաղական նանոմասնիկներով հարստացված ջրային լուծույթների փոխազդեթությունները:

3.3 պարագրաֆում ներկայացված արծաթի (Ag), երկաթի (Fe), և զինկի (Zn), նանոմասնիկներով հարստացված ջրային լուծույթների և էՄ դաշտի փոխազդեթությամբ առանձնահատկությունները: Նկար 19 (a)-ում բերված է չափված միկրոալիքային անդրադարձման գործակցի կախվածությունը Ag նանոմասնիկների խտությունից մոտ 2 ԳՀց ռեզոնանսային հաճախության դեպքում: Ag նանոմասնիկների խտությունների եղել են 0 մկգ/լ, 12.5 մկգ/լ, 25 մկգ/լ, 37.5 մկգ/լ, 50 մկգ/լ: S_{11} անդրադարձման գործակցի գծային կախվածության դիքությունը նանոմասնիկների խտության փոփոխության համար կազմում է 0.03 դԲ/(մկգ/լ): Համակարգի չափված զգայնությունը 0.03 դԲ է, նվազագույն հայտնաբերելի խտությունը՝ 1 մկգ/լ: Նկ. 19 (b)-ում պատկերված է չափված միկրոալիքային անդրադարձման գործակցի նվազագույն արժեքների կախվածությունը նմուշի ջերմաստիճանից մոտ 2 ԳՀց ռեզոնանսային հաճախության դեպքում (1) ջրի և (2) 50 մկգ/լ խտությամբ արծաթի նանոմասնիկների լուծույթի համար:

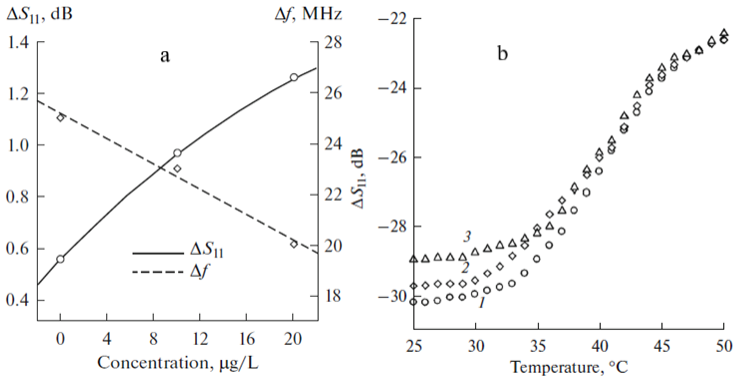


Նկ. 19: Չափված միկրոալիքային անդրադարձման գործակցի կախվածությունը (a) Ag նանոմասնիկների խտությունից և (b) նմուշի ջերմաստիճանից մոտ 2 ԳՀց դեպքում:

Նկ. 20 (a)-ում ներկայացված է չափված միկրոալիքային անդրադարձման S_{11} գործակցի և ռեզոնանսային հաճախության կախվածությունը լուծույթում Fe նանոմասնիկների խտությունից: S_{11} արձագանքի գծային կախվածության դիքությունը նանոմասնիկների խտության փոփոխության համար կազմում է 0.0352

դԲ/(մկգ/լ): Համակարգի չափված զգայնությունը 0.05 դԲ է, նվազագույն հայտնաբերելի խտությունը՝ 1.4 մկգ/լ:

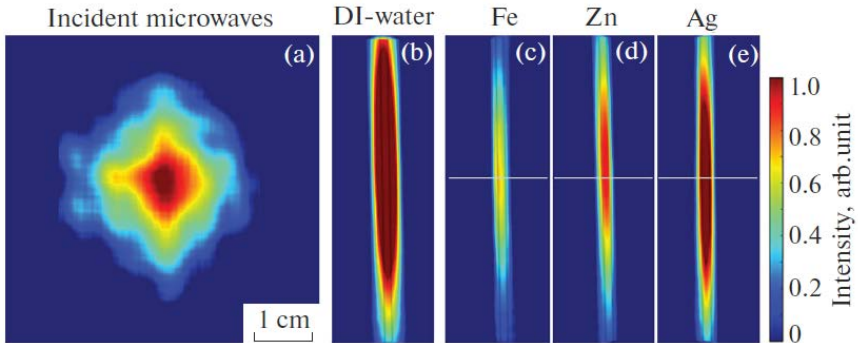
Արձաթի և երկաթի նանոմասնիկների ջրային լուծույթների համար ռեզոնատորի անդրադարձման S_{11} գործակիցը կախված է նաև լուծույթերի ծավալից և ջերմաստիճանից (Նկ. 20 (b)): Չափումները կատարվել են 2 մլ ծավալով նմուշի համար, քանի որ այս դեպքում ռեզոնատորի զգայնությունը ամենամեծն է:



Նկ. 20: (a) Չափված միկրոալիքային անդրադարձման գործակիցի և ռեզոնանսային հաճախության կախվածությունը երկաթի նանոմասնիկների խտությունից մոտ 1.7 ԳՀց ռեզոնանսային հաճախության դեպքում: (b) Չափված միկրոալիքային անդրադարձման գործակիցի արժեքների կախվածությունը նմուշի ջերմաստիճանից մոտ 1.7 ԳՀց ռեզոնանսային հաճախության դեպքում՝ (1) ջրի, (2) 10 մկգ/լ և (3) 20 մկգ/լ երկաթի նանոմասնիկների խտությամբ լուծույթի համար:

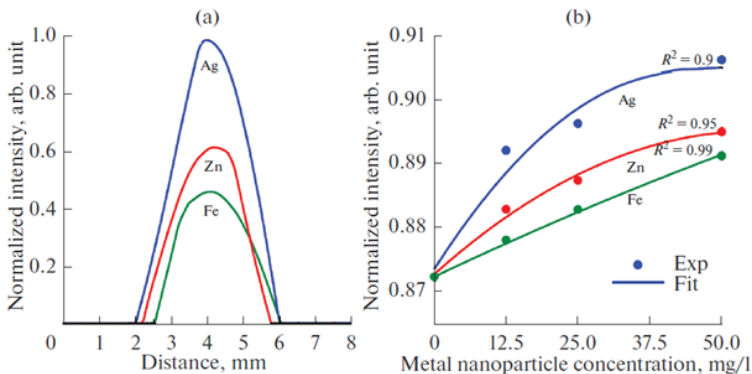
Ինչպես երևում է Նկ. 19 (b)-ից և 20-(b)-ից, համեմատաբար բարձր ջերմաստիճաններում (>36°C) մետաղական նանոմասնիկներով կազմված կառուցվածքները կազմաքանդվում են և դրանցով պայմանավարված կառուցվածքային առանձնահատկությունը վերանում են: Այդ իսկ պատճառով բարձր ջերմաստիճաններում մետաղական նանոմասնիկներով ջրի և մաքուր ջրի ջերմաստիճանային վարքագծերը գրեթե համընկնում են:

Մագնիսկան դաշտի և մետաղական նանոմասնիկներով հարստացված ջրային լուծույթների փոխազդեցությունը արտապատկերվել է ՋԱՕԻՄ ի միջոցով: Նկար 21 (a)-ում պատկերված է 11 ԳՀց հաճախությամբ միկրոալիքային աղբյուրի առաջցրած դաշտը առանց նմուշի և տարբեր նմուշներով՝ (b-e): Աղբյուրի և նմուշի միջև հեռավորությունը եղել է 1 մմ: Սպիտակ գծի երկյանքով մագնիսական դաշտի լայնական հատույթի կտրվածքները բերված են Նկ. 22 (a)-ում:



Նկ. 21: (a) Նորմավորված մագնիսական դաշտի բաշխվածությունը առանց նմուշի, և նմուշով՝ (b) ջրով, (c) Fe, (d) Zn, (e) Ag նանոմասնիկներով հարստացված ջրային լուծույթ: Ճառագայթման աղբյուրի հաճախությունը եղել է 11 ԳՀg:

Նանոմասնիկների հաղորդունակության մեծացման հետ մեկտեղ (Fe՝ 9.9 ՄՍ/մ, Zn՝ 16.8 ՄՍ/մ, Ag՝ 61.4 ՄՍ/մ), մագնիսական դաշտի ինտենսիվությունը աճում է (մոտ 2.1 անգամ Fe-ից Ag): Ինչպես երևում է Նկ. 22 (բ)-ից, մագնիսական դաշտի միջին ինտենսիվությունը ցույց է տվել աճող վարքագիծ, երբ լուծույթում նանոմասնիկների խտությունն աճել է, բայց յուրաքանչյուր մետաղի համար տարբեր արագությամբ՝ $0.0333 \text{ (մկգ/լ)}^{-1}$, $0.0381 \text{ (մկգ/լ)}^{-1}$, $0.0547 \text{ (մկգ/լ)}^{-1}$, համապատասխանաբար Fe, Zn, Ag համար: Չափված նվազագույն հայտնաբերվող խտությունն, որը հիմնված է որոշման գործակիցի վրա (R^2) եղել է մոտ 0.6 մկգ/լ, 0.7 մկգ/լ և 1.0 մկգ/լ համապատասխանաբար Fe, Zn և Ag-ի համար:



Նկ. 22: (a) մագնիսական դաշտի լայնական հատույթի կտրվածքները տարբեր նանոմասնիկների դեպքում: (b) Մագնիսական դաշտի միջինացված ինտենսիվության կախումը մետաղական նանոմասնիկների խտությունից, տարբեր մետաղների համար 11 ԳՀg հաճախություն դեպքում:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

Տարբեր երկրաչափական կառուցվածքներով նախագծված և օպտիմիզացված միկրոալիքային միկրոշերտավոր ռեզոնատորները կարող են հաջողությամբ ծառայել որպես ֆիզիկական և կենսաբանական սենսորներ՝ նյութերի էՄ հատկությունները անհպում եղանակով բնութագրելու համար: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ առաջարկված միկրոալիքային ռեզոնատորները ունեն մեծ զգայունություն և կարող են հիմք հանդիսանալ անհպում և առանց ներթափանցման կենսաբանական չափից սարքերի (գյուլկոմետր) համար:

ԶԱՕԻՄ-ի կիրառմամբ ուսումնասիրված ածխածնային կոմպոզիտային կառուցվածքների միկրոալիքային դաշտի հետ փոխազդեցության արդյունքները ցույց են տալիս որ, էՄ դաշտի բաշխման մեխանիզմը մեծապես կախված է ածխածնային մանրաթելերի անկյունային կողմնորոշման փոփոխությունից և կառուցվածքային առանձնահատկություններից: Միկրոալիքային կլանման ինտենսիվությունը խիստ փոխվում է՝ կախված կոմպոզիտային նյութով պարբերական կառուցվածքի և ճառագայթման աղբյուրի հեռավորությունից: Այս մեթոդը կարող է կարևոր գործիք լինել միկրոալիքային կլանիչների և ֆիլտրերի նախագծման աշխատանքներում:

ԶԱՕԻՄ-ի և միկրոալիքային միկրոշերտային ռեզոնատորների կիրառմամբ իրականացված մետաղական նանոմասնիկներով հարստացված ջրային լուծույթների առանց ներթափանցման մոտակա-դաշտային փոխազդեցության արդյունքները հավաստում են կիրառված մեթոդների արդյունավետությունը որպես մետաղական նանոմասնիկների ջրային լուծույթներում մեծ լուծունակությամբ և հաճախությունների լայն տիրույթում մշտադիտարկման համակարգեր:

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

1. *L. Odabashyan, A. Babajanyan b, Zh. Baghdasaryan, B. Friedman c, K. Lee, “Glucose Aqueous Solution Sensing by Modified Hilbert Shaped Microwave Sensor”, **Armenian Journal of Physics** (Proceedings of the Int. Conference on “Microwave and THz Technologies and Wireless comm.”), 2018, vol. 11, issue 4, pp. 214-222.*
2. *L. Odabashyan, A. Babajanyan, Zh. Baghdasaryan, S. Kim, J. Kim, B. Friedman, J. H. Lee, K. Lee, “Real-Time Noninvasive Measurement of Glucose Concentration Using a Modified Hilbert Shaped Microwave Sensor”, **Sensors**, 2019, vol. 19, issue 24, pp. 5525.*
3. *B. Hovhanisyan, D. Hambaryan, L. Odabashyan, A. Babajanyan “Real-Time Sensing The Glucose Concentration by Quadratic-Shaped Microwave Sensor”, **Proceedings of The YSU: Physical and Mathematical Sciences**, 2019, vol. 53, issue 2, pp. 132–137.*
4. *B. J. Minasyan , L. A. Odabashyan , Zh. A. Baghdasaryan , A. Zh. Babajanyan , K. Lee, “Computer Modeling of Microwave Stripline Resonator for Non-Invasive Sensing”*

- Proceedings of The YSU: Physical and Mathematical Sciences**, 2019 , vol. 53, issue 1, pp. 60–64.
5. A. Babajanyana, B. Minasyana, *L. Odabashyan*, S. Kim, J. Kim, J.-H. Lee, B. Friedman, and K. Lee. “Noninvasive in Vivo Evaluation of Mouse-Blood Glycemia with a Microwave Spiral Sensor”, **Journal of Contemporary Physics** (Armenian Academy of Sciences), 2021, vol. 56, issue. 1, pp. 47–54.
 6. Zh. Baghdasaryan, A. Babajanyan, *L. Odabashyan*, Sh. Arakelyan, H. Lee, G. Berthiau, B. Friedman, K. Lee, “Thermal distribution in unidirectional carbon composite material due to the direct heating and microwave influence visualized by a thermo-elastic optical indicator microscope”, **Measurement**, 2020, Vol. 151, pp. 107189.
 7. *L. Odabashyan*, “Visualization of microwave absorption of the graphite periodical structure with a thermoelastic optical microscope”, **Proceedings of The YSU: Physical and Mathematical Sciences**, 2020, Vol. 54, Issue 3, pp. 172–178.
 8. Zh. Baghdasaryan, A. Babajanyan, *L. Odabashyan*, H. Lee, B. Friedman, K. Lee, “Visualization of Microwave Heating for mesh-Patterned Indium-tin-Oxide by a Thermo-Elastic Optical Indicator Microscope”, **Armenian Journal of Physics** (Proceedings of the Int. Conference on “ Microwave and THz Technologies and Wireless comm.”), 2018, vol. 11, issue 4, pp.175-179.
 9. T. Abrahamyan, R. Khachatryan, D. Hambaryan, B. Hovhanisyan, B. Minasyan, *L. Odabashyan*, A. Babajanyan. “Investigation of Ag Nanoparticles/Water Solutions by Microwave Stripline Sensor”, **Journal of Contemporary Physics** (Armenian Academy of Sciences), 2019, vol. 54, issue 2, pp. 196-202.
 10. G. Ohanyan, N. Margaryan, M. Manvelyan, *L. Odabashyan*, B. Minasyan, A. Movsisyan, R. Khachatryan, and A. Babajanyan, “Characterization of Metal Nanoparticles Aqueous Solution by a Thermoelastic Optical Indicator Microscope” **Journal of Contemporary Physics** (Armenian Academy of Sciences), 2022, Vol. 57, No. 2, pp. 187–191.
 11. *L. Odabashyan*, N. Margaryan, G. Ohanyan, M. Manvelyan, D. Hambaryan, T. Abrahamyan, R. Khachatryan, A. Babajanyan, “Detection of Iron Nanoparticles in Aqueous Solutions by Microwave Sensor”, **Journal of Contemporary Physics** (Armenian Academy of Sciences), 2020, vol. 55, issue 2, pp. 251-258.
 12. Zh. Baghdasaryan, A. Babajanyan, *L. Odabashyan*, J. H. Lee, B. Friedman, K. Lee, “Visualization of microwave near-field distribution in sodium chloride and glucose aqueous solutions by a thermo-elastic optical indicator microscope”, **Scientific Reports**, 2021, vol. 11, issue 1, pp. 2589.
 13. J. Hwang, D. Kim, M. Kim, *L. Odabashyan*, Zh. Baghdasaryan, A. Babajanyan, S. Kim, J. Kim, H. Lee, K. Lee, D. Cha, “Effect of pentacene deposition rate on OTFT”, **New Physics: Sae Mulli**, vol. 68, issue 11, November 2018, pp. 1192-1195.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ МИКРОВОЛНОВЫХ БЛИЖНИХ ПОЛЕЙ
В ЖИДКИХ И КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

АННОТАЦИЯ

Современные тенденции в мире порождают потребность в новых жизненно важных не инвазивных методах исследования. В частности, существует большой интерес не только в новых не инвазивных методах зондирования наноструктур, но в то же время и в новых методах для точного исследования наноструктур. Возникла необходимость иметь не инвазивные системы мониторинга с высоким разрешением, которые будут использоваться в таких областях, как медицина, пищевая промышленность и др. Наноструктуры являются важными компонентами человеческого организма, поэтому их точное изучение является жизненно важным. В различных растворах и в композитных материалах наночастицы взаимодействуют с электромагнитными (ЭМ) полями, и регистрация именно этого взаимодействия и его анализ позволяют изучать их. В режиме реального времени не инвазивного регистрацию распределения ЭМ полей можно изучать с помощью микроволновых резонаторов и термоупругого оптического индикаторного микроскопа (ТУОИМ).

В нашем исследовании мы предлагаем микроволновые резонаторы на основе различных геометрических форм. Предлагаемые микроволновые резонаторы оптимизированы для получения высокой чувствительности к концентрации глюкозы в биологическом растворе. Результаты показывают, что этот тип резонатора и применяемые методы могут способствовать развитию неинвазивных глюкометров, а в медицине коммерческие глюкометры могут быть заменены неинвазивными и более удобными глюкометрами реального времени. Разработанные резонаторы имея малые размеры с различными геометрическими формами обеспечивают эффективное не инвазивное зондирование в широком диапазоне частот. Для демонстрации эффективности резонаторов было выполнено компьютерное моделирование, а также измерения с помощью прототипа в реальных условиях. С помощью прототипа изучались не только растворы, но и было выполнено не инвазивное измерение изменения концентрации глюкозы в живых организмах.

Исследование анизотропии композиционных материалов, таких как углерод и исследование микроволновое поглощение периодической структуры графита, может

оказать большое влияние на науку. В частности, композитный материал из углеродного волокна представляет широкую область интересов в отношении исследования его анизотропных электрических и механических свойств. Возможность управлять свойствами материалов с помощью физических процессов позволяет разрабатывать настраиваемые устройства, такие как типы микроволновых фильтров, в которых устройства настраиваются путем приложения контролируемого внешнего магнитного поля. Графитовая периодическая структура может служить хорошим поглотителем в телекоммуникационных приложениях, где радиопоглощающие материалы обычно используются в невидимых технологиях, чтобы скрыть объект от обнаружения радаром. ТУОИМ был использован для исследования анизотропии углеродного композитного материала и микроволнового поглощения периодической графитовой структуры. На основании результатов экспериментов и моделирования было замечено, что механизм распределения микроволнового поля сильно зависит от изменения угловой ориентации углеродных волокон, и, таким образом, композитный материал действует как ЭМ-поляризатор в микроволновом диапазоне. Интенсивность микроволнового поглощения сильно меняется в зависимости от расстояния между графитовой периодической структурой и источником излучения.

Заслуживают внимания также наночастицы металлов, которые вместе с их химическими соединениями играют важную роль в организме человека. В современной медицине проводятся обширные исследования лечебных свойств растворов с различными наночастицами металлов. Такие свойства вызывают большой интерес к изучению водных растворов с наноструктурами серебра. Взаимодействие раствора с наночастицами металлов (Fe, Zn, Ag) с ЭМ полями исследовались с помощью микроволновых резонаторов и техники ТУОИМ.

INVESTIGATION OF THE MICROWAVE NEAR-FIELDS DISTRIBUTIONS IN LIQUID
AND COMPOSITE MATERIALS

ANNOTATION

Modern development trends in science lead to the need for new and vital non-invasive research methods. The application of the electromagnetic (EM) waves and the development of miniaturized devices operating in the microwave ranges are promoting to development of non-invasive sensing techniques. Nowadays, non-invasive microwave sensing is a promising technique. It is used in plural applications such as environmental monitoring, healthcare industry, food industry, etc. Important benefit of noninvasive sensing technique lies in its real-time, non-destructive and safe character, particularly, in the healthcare industry.

The microwave resonators with various types of geometric structures can serve as a prototype for the development of biosensors. This type of biosensor can be used as non-invasive glucometers, and they are helpful for diabetic patients. When the microwave resonator is acted as a sensor, the material under test (MUT) to be measured is brought into contact with the sensing zone in the resonator and, therefore the resonant frequency shift and transmission and reflection parameters of system change depending on the complex relative permittivity of the MUT (for nonmagnetic materials). These parameters can be easily measured using a commercial vector network analyzer.

In our study we propose microwave resonators which based on different geometrical structures. The proposed microwave resonators are optimized to obtain high sensitivity to the glucose concentration in a biological solution. The results show that this type of resonator and the applied methods can contribute to the development of non-invasive glucometers, and in medicine, commercial glucometers can be replaced by non-invasive and more convenient real-time glucometers.

The investigation anisotropy of the composite materials such as a carbon and microwave absorption of graphite periodical structure can be great impact in science. Especially carbon fiber composite material represents a wide area of interests regarding the investigation of its anisotropic electric and mechanical properties. The ability to control material properties through physical processes allows the development of tunable devices, such as microwave filter types, in which the devices are tunable by applying a controlled external magnetic field. The graphite periodic structure can be served as a good absorber in telecommunication applications where

radar absorbing materials (RAM) are commonly used in viewless technology to hide an object from radar detection.

The thermos-elastic optical indicator microscope (TEOIM) visualization technique was used to investigate the anisotropy of thermal and electrical conductivity of a unidirectional carbon/PEEK composite material and the microwave absorption of the graphite periodic structure. Based on the experimental and simulation results it was observed that the microwave field distribution mechanism strongly depends on the variation of the angular orientation of the carbon fibers and thus, the composite material acts as an EM polarizer in the microwave region. The microwave absorption intensity is strongly changed depending on the distance of the graphite periodic structure and radiation source.

Metal nanoparticles (NPs) also deserve attention, which, together with their chemical compounds, play an important role in the human body. In modern medicine, many studies are being carried out on the medicinal properties of solutions with nanoparticles of various metals. Such properties are of great interest for studying aqueous solutions with metal nanostructures. The interaction of a solution with metal nanoparticles (Fe, Zn, and Ag) with EM fields was investigated using microwave resonators and TEOIM visualization system.