

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,
ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Մինասյան Բիլլի Ժան-Լուիի

**ՆԱՆՈԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐՈՒՄ ԱԼԻՔԱՅԻՆ ԴԱՇՏԵՐԻ ԱՐՏԱՊԱՏԿԵՐՈՒՄԸ
ՋԵՐՄԱՌՈՒՋՊԱԿԱՆ ԻՆԴԻԿԱՏՈՐՈՎ ՄԱՆՐԱԴԻՏԱԿՈՎ**

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

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ – 2022թ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ, КУЛЬТУРЫ И СПОРТА
РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Минасян Билли Жан-Луиевич

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ В НАНОСТРУКТУРАХ С ПОМОЩЬЮ
ТЕРМОУПРУГОГО ИНДИКАТОРНОГО МИКРОСКОПА**

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՝ ֆ.մ.գ.դ., պրոֆեսոր **Ա. Ա. Հախումյան**
ֆ.մ.գ.թ., պրոֆեսոր **Հ. Վ. Բաղդասարյան**

Առաջատար կազմակերպություն՝ Հայ-ռուսական համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2022թ մայիսի 7-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. մարտի 25-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.ф.м.н., профессор **А. А. Ахумян**
к.ф.м.н., профессор **О. В. Багдасарян**

Ведущая организация: Российско-армянский университет

Защита диссертации состоится 7 мая 2022г. в 12:00 часов, на заседании специализированного совета ВАК 049 по физике при Ереванском государственном университете. Адрес: А. Манукяна 1, Ереван 0025.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 25 марта 2022 г.

Ученый секретарь
специализированного совета:



к.ф.м.н., доцент
В. П. Калантарян

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Աշխատանքի արդիականությունը

Աշխարհի ներկայիս զարգացման տենդենցները առաջ են բերում նոր ու կենսական նշանակություն ունեցող առանց ներթափանցման (non-invasive) հետազոտման մեթոդների անհրաժեշտություն: Մասնավորապես առաջանում է նանոկառուցվածքների առանց ներթափանցման, բայց միևնույն ժամանակ ճշգրիտ ուսումնասիրության համար նոր զոնդավորման մեթոդների մեծ պահանջարկ: Անհրաժեշտություն է դարձել ունենալ մեծ լուծունակությամբ անվնաս դիտարկման համակարգեր, որոնք կկիրառվեն այնպիսի ոլորտներում, ինչպիսիք են բժշկությունը, սննդի արդյունաբերությունը և այլն [1]:

Նանոկառուցվածքները հանդիսանում են մարդու օրգանիզմի կարևոր գործառույթ իրականացնող բաղադրիչներ և հետևաբար դրանց ճշգրիտ հետազոտությունը ունի կենսական նշանակություն: Տարբեր լուծույթներում և խառնուրդներում նանոմասնիկները փոխազդում են էլեկտրամագնիսական դաշտերի հետ և այդ փոխազդեցության գրանցումն ու վերլուծությունն էլ հնարավոր են դարձնում իրականացնել դրանց հետազոտությունները: Իրական ժամանակում էլեկտրամագնիսական (ԷՄ) դաշտերի գրանցման առանց ներթափանցման ջերմաառաձգական օպտիկական ինդիկատորով մանրադիտակը (ՋԱՕԻՄ) հնարավորություն է տալիս ուսումնասիրել մարդու օրգանիզմի համար կենսական նշանակություն ունեցող այնպիսի կենսաբանական բարդ լուծույթները, ինչպիսիք են արյան մեջ գլյուկոզի և նատրիումի քլորիդի խառնուրդները [2]: ՋԱՕԻՄ-ի առանձնահատկություններից մեկն այն է, որ համակարգը թույլ է տալիս իրականացնել առանց ներթափանցման զոնդավորում հաճախությունների լայն տիրույթում, ինչն էլ իր հերթին ապահովում է նանոկառուցվածքների վարքի ավելի մանրակրկիտ ուսումնասիրություն: Նման հետազոտությունները թույլ են տալիս հետազայում ստացված արդյունքների հիման վրա ընտրել տվյալ նանոկառուցվածքների համար մանրադիտման ամենաարդյունավետ հաճախությունը:

ՋԱՕԻՄ-ի միջոցով նմուշի և ԷՄ դաշտի փոխազդեցության ուսումնասիրությունների արդյունքում հնարավոր է դարձել մշակել միկրոալիքային ռեզոնատորներ, որոնք ունենալով փոքր չափեր, միևնույն ժամանակ իրականացնում են արդյունավետ առանց ներթափանցման զոնդավորում հաճախությունների լայն տիրույթում: Ռեզոնատորների արդյունավետությունը ցույց տալու համար իրականացվել է դրանց համակարգչային նմանակում, ինչպես նաև նախատիպի միջոցով իրական պայմաններում չափումներ: Նախատիպի միջոցով իրականացվել են ոչ միայն խառնուրդային լուծույթներում այլ նաև իրական

այսմաններում կենդանի օրգանիզմում գլյուկոզի խտության փոփոխության առանց ներթափանցման չափումներ:

Ուշադրության են արժանի նաև մետաղների 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: Մետաղական նանոմասնիկներով լուծույթի փոխազդեցությունը էՄ դաշտերի հետ հնարավոր է ուսումնասիրել միկրոալիքային ռեզոնատորների միջոցով [3]:

Հետազոտության մեկ այլ հետաքրքիր ուղղություն է հանդիսանում մետանյութի տարրերի ուսումնասիրությունը: Մետանյութերը արհեստականորեն հայտնագործված նյութեր են, որոնք ցուցաբերում են այնպիսի հատկություններ, որոնք չեն հայտնաբերվում բնական նյութերում: Սրանք այն նյութերն են, որոնց էՄ հատկությունները պայմանավորված են իրենց կառուցվածքային առանձնահատկություններով, այլ ոչ թե՛ նյութի տեսակով [4]: Մետանյութերը իրենցից ներկայացնում են մետանյութի տարրի կանոնակարգված կառուցվածք, ինչը տվյալ նյութին տալիս է նոր հատկություններ, մասնավորապես նոր (բացասական) դիէլեկտրական և մագնիսական թափանցելիության արժեքներ: Թե՛ մետանյութի տարրի, և՛ թե՛ մետանյութի էՄ հատկությունների ուսումնասիրությունը և դրանց հատկությունների բացահայտումը մեծ հետաքրքրություն են առաջացրել վերջին տասնամյակներում: ԶԱՕԻՄ-ի ճկունությունը հնարավորություն է տալիս ուսումնասիրել մետանյութի տարրերը հաճախությունների լայն տիրույթում և արտապատկերել դրանց՝ էլեկտրամագնիսական դաշտերը մոտակա-դաշտային տիրույթում:

Հետազոտության համար հետաքրքիր ուղղություն է հանդիսանում նաև նանոկառուցվածքների վրա հիմնված օրգանական դաշտային տրանզիստորների (ՕԴՏ) մշակումը: ՕԴՏ-ները համարվում են ավանդական անօրգանական բարակ թաղանթային տրանզիստորների բարելավված այլընտրանք: Բարակ թաղանթային ՕԴԹ-ների համար ստացված արդյունքները թույլ են տալիս ենթադրել, որ դրանք կարող են մրցունակ լինել տարբեր կիրառություններում, որտեղ առկա է կառուցվածքային ճկունության անհրաժեշտություն, ցածր ջերմաստիճաններում աշխատելու կարողություն, մեծ ինտեգրման հնարավորություն և ցածր ինքնարժեք [5]: Պենտագենային ՕԴՏ-ները հանդիսանում են օրգանական տրանզիստորների

տարատեսակ, և իրենց արդյունավետության և բարելավված բնութագրերի շնորհիվ գտնվում են շատ հետազոտողների ուշադրության կենտրոնում:

Ատենախոսության մեջ ներկայացված են տարբեր նանոկառուցվածքների՝ բարդ կենսահեղուկների, նանոմասնիկների ջրային լուծույթների և մետատարրերի հետ միկրոալիքային տիրույթի էՄ դաշտերի փոխազդեցության ուսումնասիրությունը: Հետազոտության հիմնական գործիք է հանդիսացել մեծ լուծունակությամբ և հաճախությունների լայն տիրույթում աշխատող ԶԱՕԻՄ համակարգը, ինչպես նաև հետազոտության ընթացքում կիրառվել են միկրոալիքային առանց ներթափանցման զոնդավորման այլ մեթոդներ:

Ատենախոսության նպատակը

Ատենախոսության նպատակն է կիրառելով ԶԱՕԻՄ-ը ուսումնասիրել տարբեր նանոկառուցվածքների փոխազդեցությունը էՄ դաշտերի հետ: Ստացված արդյունքների հիման վրա դուրս բերել նանոկառուցվածքների հաճախային վարքը միկրոալիքային տիրույթում:

Մոդելավորել և մշակել միկրոալիքային առանց ներթափանցման արդյունավետ ռեզոնատորներ նանոկառուցվածքների ուսումնասիրության համար: Ցույց տալ դրանց արդյունավետությունը որպես մեծ լուծունակությամբ առանց ներթափանցման զոնդավորող համակարգեր:

Բարելավել նանոկառուցվածքների վրա հիմնված պենտացենային բարակ թաղանթային ՕԴՏ-ների սարքային բնութագրերը՝ պատրաստման պարամետրերի օպտիմիզացմամբ: Բարձրացնել դրանց արդյունավետությունը և մրցունակությունը առկա անօրգանական դաշտային տրանզիտորների նկատմամբ:

Գիտական նորույթը

ԶԱՕԻՄ-ի և միկրոալիքային միկրոշերտային ռեզոնատորների կիրառմամբ իրականացվել է գլյուկոզի, նատրիումի քլորիդի և արծաթի նանոմասնիկներով ջրային լուծույթների առանց ներթափանցման մոտակա-դաշտային դիտարկում: Օգտագործելով այս նանոկառուցվածքների ջրային լուծույթների փոխազդեցությունը էլեկտրամագնիսական դաշտերի հետ, հետազոտվել են ջրային լուծույթում դրանց խտություններից կախված ընդհանուր լուծույթի էՄ հատկությունները: Ստացված արդյունքները հավաստում են կիրառված մեթոդների արդյունավետությունը որպես գլյուկոզի, նատրիումի քլորիդի և արծաթի նանոկառուցվածքների մեծ լուծունակությամբ և հաճախությունների լայն տիրույթում մշտադիտարկման համակարգեր: Համակարգչային նմանակմամբ ևս հիմնավորվել է տվյալ տվիչների արդյունավետությունը և կիրառելիությունը:

Հետազոտվել է մետանյութի տարրը հանդիսացող գրաֆիտի միկրոշերտի և էՄ դաշտի փոխազդեցությունը: Տարբեր հաղորդականությամբ գրաֆիտի

միկրոշերտերի ԷՄ դաշտի հետ փոխազդեցության արդյունքում առաջացել են տեղայնացման կետեր: Միկրոշերտի դիմադրության փոքրացմանը զուգընթաց տեղայնացման գոտիների ինտենսիվությունը ավելացել է միկրոշերտի եզրերին, մինևույն ժամանակ փոքրանալով միկրոշերտի ներսում: Միկրոշերտի հաղորդականության փոփոխության արդյունքում ստացված արդյունքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ նմուշից ցրված ալիքի փուլային շեղումը աճել է: Ինչը ցույց է տալիս, որ ստացված կարգավորվող հաղորդականությամբ տարրից պատրաստված մետանյութերը կարող են ծառայել որպես ճառագայթման վերահսկման փուլային կառավարման համակարգ:

Ուսումնասիրվել է պենտացենային նանոկառուցվածքների վրա հիմնված ՕԴՏ-ների բնութագրերը: Փորձնական ճանապարհով ստացվել է, որ օքսիդային տակդիրի փոփոխությունը հիդրոֆիլից հիդրոֆոբի հանգեցնում է տրանզիստորի կապուղում լիցքակիրների շարժունակության բարելավման: Միջանկյալ Օքտադեցիլտրիքլորսիլան (OSU) ինքնակազմակերպվող բազմաշերտը (ԻԲ) վերացնում է պենտացենային ՕԴՏ-ի հիսթերեզիսային վարքը, ի շնորհիվ խորը ռեկոմբինացիոն կենտրոնների կյանքի տևողության նվազեցման: Տարբեր ջերմային մշակման պայմաններում պատրաստված նմուշների ուսումնասիրությամբ ցույց են տրվել յուրաքանչյուր նմուշի բնութագրերի բարելավումը և աշխատանքի արդյունավետության բարձրացումը:

Փորձնական արժեքը

Առենախոսության մեջ ներկայացված խնդիրներն ունեն կիրառական նշանակություն և մեծ պահանջարկ տարբեր ոլորտներում: Մասնավորապես առաջին գլխում քննարկված գլյուկոզի, նատրիումի քլորիդի և արծաթի նանոկառուցվածքներով լուծույթների առանց ներթափանցման միկրոալիքային զոնդավորման մեծ լուծունակությամբ մեթոդները, որոնք հնարավորություն են տալիս առանց վնասման հետազոտել տվյալ կենսաբանական նշանակության ջրային լուծույթները միկրոալիքային հաճախությունների լայն տիրույթում: Կատարված փորձերի համար իրականացվել է նաև համակարգչային նմանակում իրական պայմաններում և իրական ժամանակում կատարված փորձի տվյալները վերահաստատելու համար: Ինչպես նաև մեթոդներից մեկով իրականացվել է կենդանի օրգանիզմում գլյուկոզի խտության որոշման չափումներ: Ստացված արդյունքներն ցույց են տվել տվյալ մեթոդների կիրառելիությունը մասնավորապես բժշկության ոլորտում:

Ցույց է տրված նաև մետանյութի տարր հանդիսացող գրաֆիտային հիմքով միկրոշերտի փոխազդեցությունը ԷՄ դաշտի հետ: Մետանյութերը իրենց կառուցվածքային առանձնահատկությունով պայմանավորված ստանում են նոր ԷՄ

հատկություններ, ինչնել մեծացնում է նրանց դերը և կիրառելիության ոլորտը: Այս նոր հատկությունների շնորհիվ մետանյութերը կարող են կիրառվել որպես միկրոալիքային կլանիչներ, ֆիլտրեր, փուլային կարգավորող համակարգեր և այլն: Տվյալ դեպքում մետանյութի տարրի հաղորդականության փոփոխության արդյունքում ստացված տվյալները ցույց են տալիս դրանից կառուցված մետանյութի արդյունավետությունը որպես միկրոալիքային ճառագայթման փուլային վերահսկման հուսալի գործիք:

Քննարկված է պենտացենային ՕԴՏ-ի էլեկտրոնային հատկությունների բարելավման խնդիրները: Այս տրանզիստորները համարվում են անօրգանական դաշտային տրանզիստորների հուսալի այլընտրանք: Օրգանական տրանզիստորի հիդրոֆիլությունը և հիդրոֆոբությունը ստուգելու համար չափվել են ջրի կաթիլի շփման անկյունները: Նմուշներից մեկի մոտ դիտարկվել է հիսթերեզիսի ամբողջական անհետացում ԻԲ առավել հիդրոֆոբ հատկության պատճառով: Սա թույլ է տալիս դիտարկել տվյալ պենտացենային ՕԴՏ-ների կիրառելիությունը այնպիսի խնդիրներում, որոնք պահանջում են աշխատանքային ցածր ջերմաստիճան, մեծ մակերես ծածկելու անհրաժեշտություն և ցածր ինքնաթեք ունենալու անհրաժեշտություն:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթներ

1. ԶԱՕԻՄ-ի կիրառմամբ առանց ներթափանցման, միկրոալիքային հաճախությունների լայն տիրույթում (8-14 ԳՀց) հետազոտվել են գլյուկոզի, նատրիումի քլորիդի և դրանց խառնուրդների ջրային լուծույթների էՄ հատկությունները՝ լուծույթում այդ նյութերի խտությունից կախված: Նատրիումի քլորիդի 0-2.5% խտությամբ լուծույթների համար ստացվել է $-0.111\%^{-1}$ չափման զգայունություն, իսկ գլյուկոզի 0-10% խտությամբ լուծույթների համար՝ $-0.013\%^{-1}$ չափման զգայունություն: Այսինքն՝ համակարգը մոտ 8.5 անգամ զգայուն է իոնական լուծույթների համար:
2. Միկրոալիքային կրկնակի ուղղանկյան տեսքով միկրոշերտավոր ռեզոնատորների միջոցով իրականացվել է արծաթի նանոմասնիկների ջրային լուծույթի հետազոտություն: Հետազոտության արդյունքում միկրոալիքային տվիչի չափված զգայունությունը (միկրոալիքային արձագանքի և արծաթի նանոմասնիկների խտության հարաբերակցությունը) կազմել է 0.03 դԲ/(մկգ/լ) մոտ 2 ԳՀց հաճախության դեպքում, արծաթի նանոմասնիկների նվազագույն չափելի խտությունը՝ մոտ 1 մկգ/լ է 2 մլ նմուշի համար:
3. Միկրոալիքային կրկնակի ուղղանկյան տեսքով միկրոշերտավոր ռեզոնատորը ցուցաբերում է բավարար զգայունություն կենդանի օրգանիզմում (in-vivo)

գլյուկոզի խտության որոշման փորձերում առանց ներթափանցման (non-invasive) մոտակա դաշտի միկրոալիքային ներգործության միջոցով: Մկների վրա կիրառելիս ազդանշանի նվազագույն մակարդակը եղել է 0.012 դԲ/(մգ/դլ): Գլյուկոզի նվազագույն հայտնաբերվող խտությունը եղել է 10 մգ/դլ:

- Ցույց է տրվել, որ գրաֆիտի հիմքով միկրոշերտը որպես մետատարր հանդիսանում է կառավարվող հաղորդականությամբ փուլի ղեկավարման արդյունավետ համակարգ: $\varepsilon_i \ll \varepsilon_r$, միկրոալիքային մագնիսական մոտակա դաշտը (ՄՄՄԴ) հիմնականում տեղայնացված է միկրոշերտի կենտրոնում, իսկ ε_i ($\varepsilon_i \rightarrow \varepsilon_r$) մեծացնելով ՄՄՄԴ-ն կենտրոնանում է միկրոշերտի եզրերի մոտ: Դաշտի բաշխման փոփոխությունը հիմնականում պայմանավորված է ցրված միկրոալիքային դաշտի փուլի զգալի փոփոխությամբ, այսինքն՝ միկրոշերտի հաղորդականության փոփոխությամբ կարելի է վերահսկել արձագանքման փուլի շեղումը:
- Պենտացենային օրգանական բարակ թաղանթային տրանզիստորը, որը պատրաստված է ինքնակազմակերպվող բազմաշերտով տակդիրի վրա, ցուցաբերում է էապես բարելավված պարամետրեր տակդիրի հիդրոֆիլից հիդրոֆոբ անցման ժամանակ՝ լիցքակիրների դաշտային շարժունակության աճ 4 անգամ, արագագործության աճ 70 անգամ: Ըստ զանգվածի 0.5% OSU ԻԲ-ով ՕԴՏ-ն ցույց է տվել լավագույն արդյունքները և հիսթերեզիսի գրեթե ամբողջական անհետացում:

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:

Հրապարակումները

Ատենախոսության թեմայով տպագրվել են 6 գիտական աշխատանքներ, որից 4-ը միջազգային գիտական հանդեսներում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք գլուխներից, եզրակացությունից, հապավումների և 114 անուն պարունակող գրականության ցանկերից: Աշխատանքում առկա են 31 նկար/գրաֆիկ և 2 աղյուսակ, իսկ ընդհանուր ծավալը կազմում է 104 էջ:

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԲՈՎԱՆԴԱՎՈՒԹՅՈՒՆԸ

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

Առաջին գլխում ուսումնասիրվել են տարբեր նանոկառուցվածքներով ջրային լուծույթները կիրառելով առանց ներթափանցման ՋԱՕԻՄ և միկրոալիքային ռեզոնատորների մեթոդները:

1.1 պարագրաֆում ներկայացված է գյուլոգի և նատրիումի քլորիդի ջրային լուծույթների առանց ներթափանցման մեծ լուծունակությամբ զոնդավորող համակարգերի անհրաժեշտությունը, կարևորությունը և կիրառելիությունը:

1.2 պարագրաֆում նկարագրվում է հետազոտման ժամանակ հիմնական գործիք հանդիսացող ՋԱՕԻՄ համակարգի աշխատանքի սկզբունքը և դրա բաղկացուցիչ մասերը [6]:

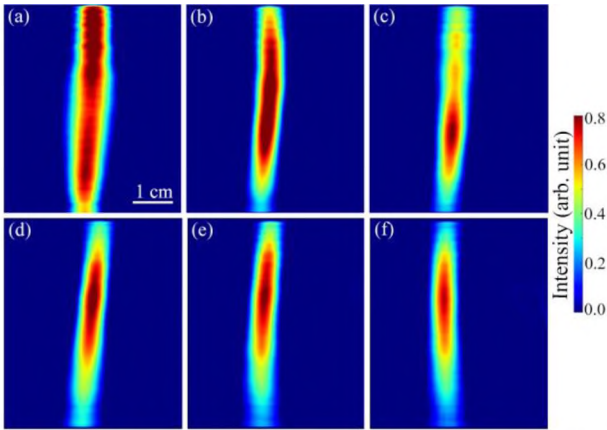
1.3 պարագրաֆում ներկայացվում է գյուլոգի և նատրիումի քլորիդի ջրային լուծույթների ՋԱՕԻՄ-ով ուսումնասիրման մեթոդոլոգիան:

1.4 պարագրաֆում բերված են ՋԱՕԻՄ ի միջոցով գյուլոգի և նատրիումի քլորիդի տարբեր խտություններով լուծույթների զոնդավորման արդյունքները:

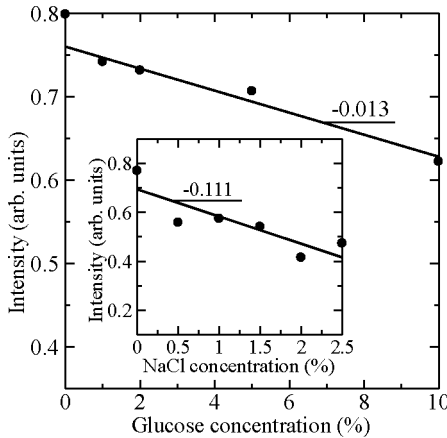
ՋԱՕԻՄ եղանակով արտապատկերվել է նմուշների միկրոալիքային մոտակա-դաշտի բաշխվածությունը 11 ԳՀց հաճախության դեպքում: Նկ. 1-ը ցույց է տալիս միկրոալիքային մոտակա-դաշտի բաշխվածությունը (a) դե-իոնիզացված (ԴԻ) ջրի և նատրիումի քլորիդի և գյուլոգի խառնուրդի ջրային լուծույթների համար: Նատրիումի քլորիդի խտությունը հաստատուն է՝ 0.9%, իսկ գյուլոգի խտությունը խառնուրդային լուծույթներում փոփոխվել է 0-10% տիրույթում: Ինչպես երևում է նկ. 1-ից, գյուլոգի խտության մեծացմանը զուգընթաց, խողովակի կենտրոնական մասում միկրոալիքային մոտակա-դաշտի ինտենսիվությունը նվազել է: Ինտենսիվության այս փոփոխությունը պայմանավորված է լուծույթում ազատ դիպոլների քանակի նվազմամբ՝ գյուլոգի խտության ավելացմամբ պայմանավորված: Խտության փոփոխությունը հանգեցնում է լուծույթի էՄ պարամետրերի փոփոխության, մասնավորապես, կոմպլեքս դիէլեկտրական թափանցելիության փոփոխության: Լուծված նյութի խտության մեծացմանը զուգընթաց, ազդանշանը գրեթե գծայինորեն նվազում է ինչպես գյուլոգի, այնպես էլ նատրիումի քլորիդի դեպքում:

Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ ինտենսիվության նվազումը՝ կապված նատրիումի քլորիդի լուծույթի խտության փոփոխության հետ, ավելի մեծ է, քան գյուլոգի դեպքում՝ $-0.111\%^{-1}$ և $-0.013\%^{-1}$, կամ մոտ 8.5 անգամ: Այս

երևոյթը բացատրվում է նրանով, որ գլյուկոզը և նատրիումի քլորիդն ունեն հեղուկում տարրալուծման տարբեր մեխանիզմներ:



Նկ. 1: Մոտակա դաշտում միկրոալիքային բաշխումը (a) ԴԻ ջրով և նատրիումի քլորիդի և գլյուկոզի խառնուրդի ջրային լուծույթով լցված նմուշի համար 11 ԳՀց հաճախության դեպքում: Նատրիումի քլորիդի խտությունը հաստատուն է՝ 0.9%, իսկ գլյուկոզի խտությունը փոփոխվել է (b) 0%, (c) 1%, (d) 2%, (e) 5% և (f) 10%: Յուրաքանչյուր պատկերի չափսը՝ 4×5.5 սմ² է:

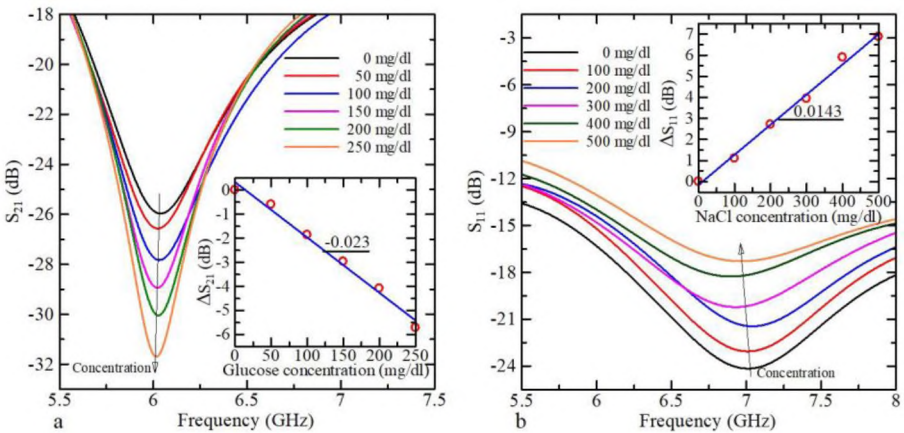


Նկ. 2: Միկրոալիքային մոտակա-դաշտի միջին ինտենսիվության կախվածությունը ջրային լուծույթներում գլյուկոզի խտությունից 0-10% միջակայքում 11 ԳՀց հաճախության դեպքում: Ներդիրը ցույց է տալիս միկրոալիքային մոտակա-դաշտի ինտենսիվության միջին արժեքի կախվածությունը նատրիումի քլորիդի խտությունից ջրային լուծույթներում 0-2.5% միջակայքում 11 ԳՀց հաճախության դեպքում: Հոծ գիծը պատկերում է փորձարարական տվյալների գծային մոտարկումը:

Նատրիումի քլորիդի ջրային լուծույթն ունի ավելի բարձր էլեկտրական հաղորդունակություն (այսինքն՝ կոմպլեքս դիէլեկտրական թափանցելիության ավելի մեծ կեղծ մաս), քան գլյուկոզի ջրային լուծույթը. հետևաբար, ավելի ուժեղ փոխազդեցություն ընկնող միկրոալիքների հետ, ինչպես երևում է նաև նկ. 2-ից:

1.5 պարագրաֆում նկարագրվում է առանց ներթափանցման զոնդավորման միկրոալիքային ռեզոնատորի համակարգչային մոդելավորման առանձնահատկությունները:

1.6 պարագրաֆում ցույց է տրված միկրոալիքային ռեզոնատորների համակարգչային մոդելավորման և դրանց միջոցով փորձարկված գլյուկոզի և նատրիումի քլորիդի տարբեր խտություններով լուծույթների համար ստացված արդյունքները:



Նկ. 3: (a) Միկրոալիքային անցման S_{21} գործակցի (մեկ ուղղանկյուն ռեզոնատոր) մոդելավորված արդյունքները ԴԻ ջրի և գլյուկոզի ջրային լուծույթի համար 50–250 մգ/դլ խտությունների համար, (b) միկրոալիքային անդրադարձման S_{11} գործակցի (կրկնակի ուղղանկյուն ռեզոնատոր) մոդելավորված արդյունքները ԴԻ ջրի և նատրիումի քլորիդի ջրային լուծույթի համար՝ 100–500 մգ/դլ խտությունների համար:

Մոդելավորման ժամանակ ուղղանկյունաձև ռեզոնատորը բեռնված էր տարբեր խտությամբ (0–250 մգ/դլ) գլյուկոզի ջրային լուծույթներով, իսկ կրկնակի ուղղանկյունաձև ռեզոնատորը բեռնված էր տարբեր խտությամբ (0–500 մգ/դլ) նատրիումի քլորիդի ջրային լուծույթներով, համապատասխանաբար 50 մգ/դլ և 100 մգ/դլ փոփոխման քայլերով (նկ. 3):

Փորձանմուշով (ՓՆ) ռեզոնատորների բեռնումը առաջացրել է համակարգի ընդհանուր կոմպլեքս դիմադրության և S պարամետրի փոփոխություններ՝ կապված

ՓՆ-ի կոմպլեքս դիէլեկտրական թափանցելիության փոփոխության հետ՝ կախված ջրային լուծույթում գլյուկոզի կամ նատրիումի քլորիդի խտություններից:

1.7 պարագրաֆում ներկայացվում է մոդելավորված ռեզոնատորների արդյունավետությունը իրական պայմաններում ցույց տալու համար պատրաստված կրկնակի ուղղանկյան տեսքով միկրոալիքային ռեզոնատորով տարբեր խտություններով արծաթի նանոմասնիկներով ջրային լուծույթի ուսումնասիրությունը:

Մաքսվել – Գարնետի մոդելը [7] նկարագրում է հաղորդիչ մասնիկներ պարունակող դիէլեկտրական միջավայրի արդյունարար դիէլեկտրական թափանցելիությունը: Դիէլեկտրիկ միջավայրում ներմուծված գնդաձև մետաղական նանոմասնիկների համար մոդելի պարզեցված ձևն ունի հետևյալ տեսքը [8]

$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_w + \frac{3f(\varepsilon_{Ag} - \varepsilon_w)}{\varepsilon_{Ag} + 2\varepsilon_w}, \quad (1)$$

որտեղ ε_w -ը Դի 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՝ [9]

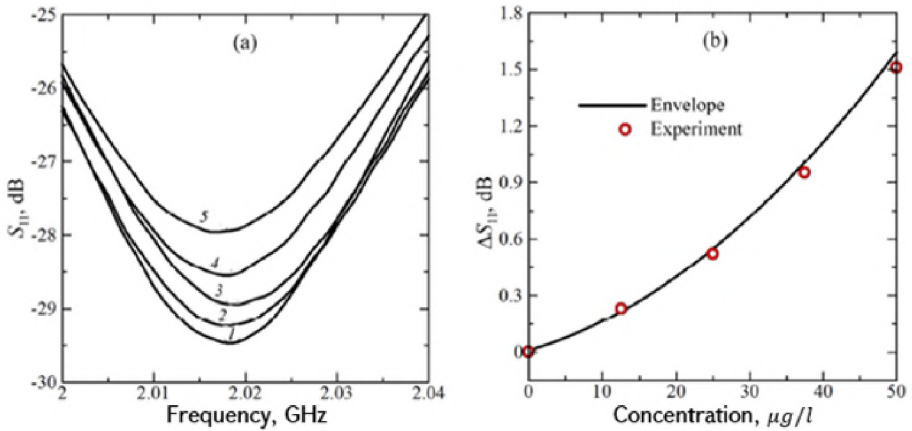
$$\varepsilon_{Ag}(\omega) = \varepsilon'_{Ag} - j\varepsilon''_{Ag} = \varepsilon'_{Ag} - j \frac{\sigma_{Ag}}{\omega \varepsilon_0}, \quad (2)$$

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

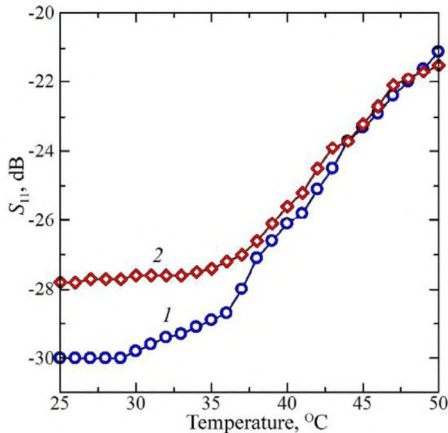
1.8 պարագրաֆում բերված է կրկնակի ուղղանկյան տոսքով միկրոալիքային ռեզոնատորով արծաթի նանոմասնիկներով ջրային լուծույթի զոնդավորման արդյունքները:

Նկ. 4 (a)-ում ցուցադրված է չափված միկրոալիքային անդրադարձման S_{11} գործակցի հաճախային տեսքերը լուծույթում Ag նանոմասնիկների տարբեր խտությունների համար. (1) 0 մկգ/լ, (2) 12.5 մկգ/լ, (3) 25 մկգ/լ, (4) 37.5 մկգ/լ, (5) 50 մկգ/լ: S_{11} արձագանքի գծային կախվածության դիքրությունը նանոմասնիկների խտության փոփոխության համար կազմում է 0.03դԲ/(մկգ/լ): Համակարգի չափված զգայնությունը 0.03 դԲ է, նվազագույն հայտնաբերելի խտությունը՝ 1 մկգ/լ:

Արծաթի նանոմասնիկների ջրային լուծույթի համար տվիչի անդրադարձման S_{11} գործակիցը կախված է նաև լուծույթի ծավալից և ջերմաստիճանից: Չափումները կատարվել են 2 մլ ծավալով ՓՆ-ի համար, քանի որ այս դեպքում տվիչի զգայնությունը ստացվել է ամենամեծը:



Նկ. 4: (a) Չափված միկրոալիքային անդրադարձման S_{11} գործակցի հաճախային տեսքը 2 մլ ծավալով ԴԻ ջրի և տարբեր խտություններով Ag նանոմասնիկների ջրային լուծույթի համար: b) Չափված միկրոալիքային անդրադարձման գործակցի կախվածությունը Ag նանոմասնիկների խտությունից 2 ԳՀց ռեզոնանսային հաճախության դեպքում:

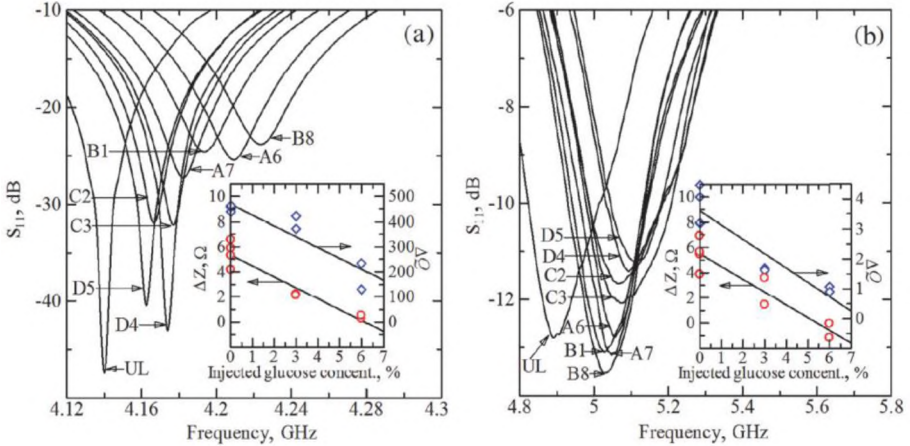


Նկ. 5: (1) Չափված միկրոալիքային անդրադարձման գործակցի նվազագույն արժեքի կախվածությունը նմուշի ջերմաստիճանից 2 ԳՀց ռեզոնանսային հաճախության դեպքում (1) ԴԻ ջրի և (2) 50 մկգ/լ արծաթի նանոմասնիկների խտությամբ լուծույթի համար:

1.9 պարագրաֆում նկարագրվում է միկրոալիքային պարույրաձև տվիչով (ՄՊՏ) գլյուկոզի, նատրիումի քլորիդի և այլ նանոկառուցվածքներով ջրային լուծույթների զոդդավորման համակազմի աշխատանքային սկզբունքը:

1.10 պարագրաֆում ներկայացվում է իրական պայամաններում կենդանի օրգանիզմում գլյուկոզի խտության փոփոխման զոնդավորումը ՄՊՏ-ի միջոցով:

1.11 պարագրաֆում բերված է բնական պայամաններում կենդանի օրգանիզմում գլյուկոզի խտության փոփոխության ՄՊՏ-ով զոնդավորման արդյունքերը:



Նկ. 6: Միկրոալիքային անդրադարձման S_{11} գործակցի հաճախային տեսքերը ԲԲ-ի և 8 մկնների համար (a) 4.12–4.3 ԳՀց և (b) 4.8–5.8 ԳՀց միջակայքում: Ներդիրը ցույց է տալիս սեփական բնութագրական դիմադրության՝ ΔZ (ծախ առանցք) և ՄՊՏ-ի բարորակության փոփոխությունը՝ ΔQ (աջ առանցք) կախվածությունը ներմուծված գլյուկոզի խտությունից՝ (a) 4.14 ԳՀց և (b) 4.89 ԳՀց հաճախությունների դեպքում (մոտ 7 օմ տեղաշարժով): Հոծ գծերը գծային մոտարկման վարքերն են:

Նկ. 6-ը ցույց է տալիս չափված S_{11} միկրոալիքային անդրադարձման կորերի հաճախային տեսքերը 8 կենդանիների 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/(մգ/դլ), 4.14 ԳՀց-ի դեպքում և 3×10^{-4} , 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:

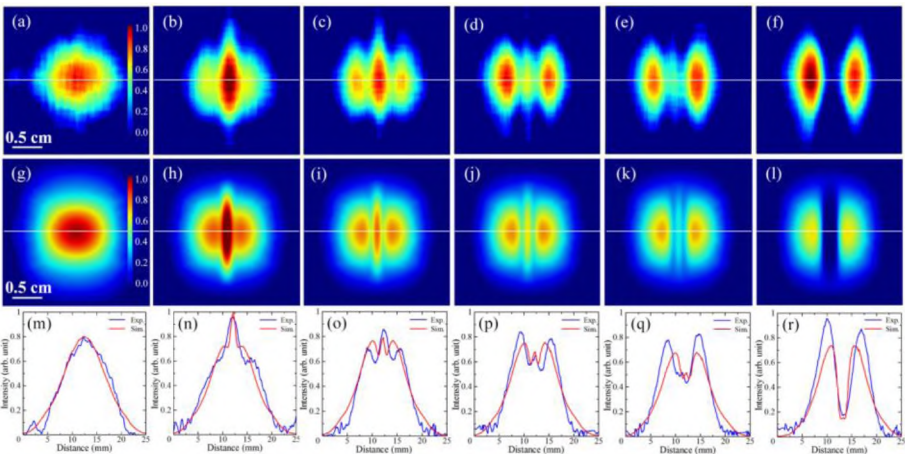
1.12 պարագրաֆում ամփոփվել է առաջին գլխում ներկայացված գլյուկոզի, նատրիումի քլորիդի և արծաթի նանոմասնիկներով ջրային լուծույթների զոնդավորման հիմնական արդյունքները:

Երկրորդ գլխում ուսումնասիրված է գրաֆիտային հիմքով մետանյութի տարրի վրա միկրոալիքային դաշտի ազդեցությունները 8-12 ԳՀց տիրույթում: Իրականացվել է մետանյութի տարրի զոնդավորում ԶԱՕԻՄ-ի միջոցով ինչպես նաև փորձի համակարգչային մոդելավորում:

2.1 պարագրաֆում ներկայացված է մետանյութերի կառուցվածքային առանձնահատկություններով պայմանավորված նոր հատկությունները և դրանց կիրառման ոլորտները [11]: Մետանյութի տարրի ֆիզիկական հատկությունները, որն էլ ձևավորում է հենց մետանյութը իր նոր ԷՄ հատկություններով [12]:

2.2 պարագրաֆում նկարագրվում է ԶԱՕԻՄ համակարգի կոնֆիգուրացիան և չափման մեթոդոլոգիան գրաֆիտային հիմքով մետանյութի տարրի զոնդավորման և դրա էլեկտրամագնիսական դաշտի արտապատկերման համար: Ինչպես նաև նկարագրված է մետանյութի տարրի հանդիսացող գրաֆիտի միկրոշերտի պատրաստման գործընթացը և ամբողջ գիտափորձի համակարգչային մոդելավորումը:

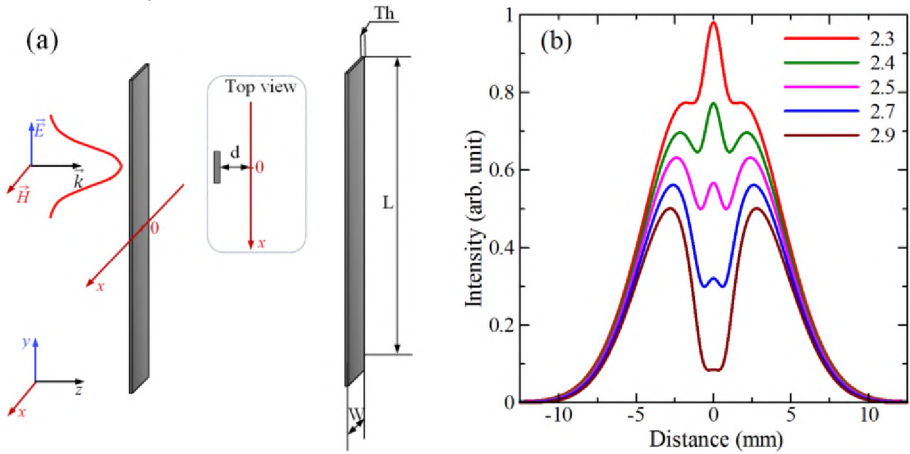
2.3 պարագրաֆում բերված է էլեկտրամագնիսական դաշտի արտապատկերման արդյունքները և դրանց համեմատումը համակարգչային մոդելավորման միջոցով ստացված արդյունքների հետ:



Նկ. 7: (a) Չափված և (g) մոդելավորված 11 ԳՀց հաճախությամբ ընկնող զծային բևեռացված միկրոալիքի բաշխվածությունը: (b–f) չափված և (h–l) մոդելավորված ՄՄՄԴ-ի տանգենցիալ բաղադրիչի բաշխվածությունը գրաֆիտի միկրոշերտի շուրջ ՓՆ-ից 1 մմ հեռավորության վրա՝ տարբեր դիմադրությունների (փորձ)՝ (b) 3.0 կՕհմ, (c) 1.3 կՕհմ, (d) 1.0 կՕհմ, (e) 0.8 կՕհմ, (f) 0.6 կՕհմ և հաղորդականությունների (մոդելավորում)՝ (h) 10 Սիմ/մ, (i) 60 Սիմ/մ, (j) 80 Սիմ/մ, (k) 120 Սիմ/մ, (l) 250 Սիմ/մ համար: (m–r) Չափված և մոդելավորված ՄՄՄԴ պատկերներում հոծ զծերի երկայնքով լայնական հատույթների համեմատումը փորձի և մոդելավորման համար:

11 ԳՀց հաճախականության դեպքում միկրոալիքային մագնիսական մոտակա դաշտի (ՄՄԴ) արտապատկերված բաշխվածությունը ցույց է տրված նկ. 7 (a) և (g)-ում՝ համապատասխանաբար փորձի և մոդելավորման համար: ՄՄԴ-ի տանգենցիալ բաղադրիչի բաշխվածությունը գրանցվել է ՓՆ-ից 1 մմ հեռավորության վրա: Որպես ՓՆ-եր, օգտագործվել են դիելեկտրական տակդիրի վրա նստեցված գրաֆիտի միկրոշերտերը՝ տարբեր դիմադրություններով՝ 3.0 կՕհմ, 1.3 կՕհմ, 1.0 կՕհմ, 0.8 կՕհմ և 0.6 կՕհմ: Չափումների արդյունքները ներկայացված են նկ. 7 (b-f), մինչդեռ համապատասխան մոդելավորման արդյունքները ներկայացված են նկ. 7 (h-l) համապատասխանաբար 10 Սիմ/մ, 60 Սիմ/մ, 80 Սիմ/մ, 120 Սիմ/մ և 250 Սիմ/մ հաղորդունակությամբ միկրոշերտի համար:

2.4 պարագրաֆում մաթեմատիկական մեթոդների կիրառմամբ վերլուծվել են չափված արդյունքները և նկարագրվել է միկրոալիքային արձագանքի փուլի շեղման երևույթը:



Նկ. 8: (a) Միկրոշերտի և արտաքին ԷՄ դաշտի փոխազդեցության սխեմատիկ ներկայացում: Ընկնող ԷՄ դաշտը գծային բևեռացված է y -առանցքի երկայնքով (միկրոշերտի երկայնքով), տարածվում է z -առանցքի երկայնքով և ունի գառայան բաշխում xy հարթությունում, աշխատանքային հաճախությունը՝ $f = 11$ ԳՀց ($\lambda = 2.7$ սմ): Հաղորդիչ շերտի երկրաչափական բնութագրերը տրված են հետևյալ կերպ՝ $L = 2$ սմ, $W = 2$ մմ և $Th = 20$ մկմ: (բ) ՄՄԴ-ի դաշտային բաշխումը x -առանցքի երկայնքով $\alpha = 10^{-3}$ մմ $^{-2}$ $\beta = 1$ և $\phi = 2.3; 2.4; 2.5; 2.7; 2.9$ ռադիան փուլային շեղմամբ:

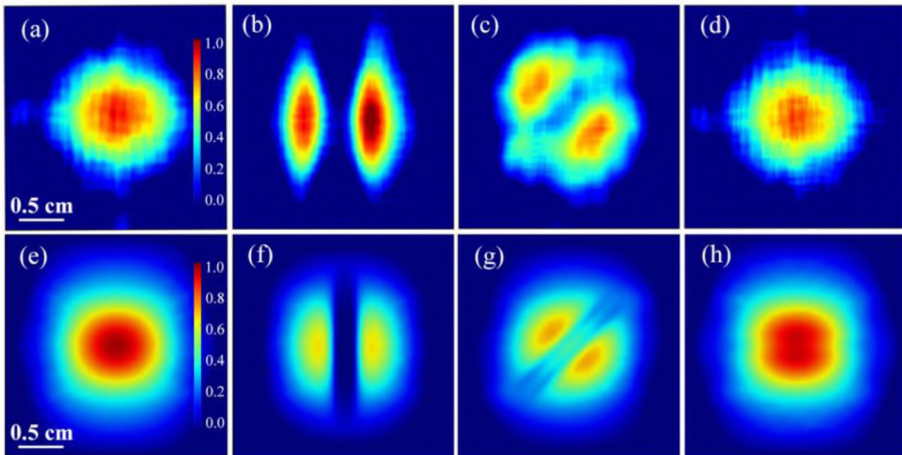
x առանցքի երկայնքով մագնիսական դաշտի տեսքը նկարագրվում է հետևյալ արտահայտությունով.

$$Y(x) = \left| \frac{H_I + H_S}{H_0} \right|^2 = \left| e^{-\alpha x^2} + \beta e^{i\Phi} G(x) \right|^2 \quad (3)$$

Նկատի ունենանք, որ քննարկվող դեպքում $Th \ll W \ll L$ (նկ. 8 (a)): նկ. 8 (b)-ն ցույց է տալիս մագնիսական դաշտի բաշխումը ըստ $Y(x)$ ֆունկցիայի տարբեր փուլային շեղման համար 2.3–2.9 ռադիան միջակայքում: Այս կորերի նմանությունը նկ. 7 (n–r) կորերի հետ ակնհայտ է: Այս փաստը թույլ է տալիս պնդել, որ միկրոշերտի հաղորդականության փոփոխությունը հնարավորություն է տալիս վերահսկել դրա պատասխանի փուլային շեղումը:

2.5 պարագրաֆում բերված է ՋՍՕԻՄ համակարգով չափված և մոդելավորված միկրոալիքային ճառագայթման հաճախային վարքագիծը: Տարբեր դիմադրությամբ (0.6–3.0 կՕհմ) ՓՆ-ի պատկերները ցույց են տվել, որ ՓՆ-ն ինտենսիվ փոխազդում է միկրոալիքային ճառագայթման հետ և կլանում է էներգիայի մի մասը հաճախությունների այս միջակայքում:

2.6 պարագրաֆում ներկայացված է մետանյութի տարր հանդիսացող գրաֆիտի միկրոշերտի բևեռացման կառավարման և էկրանավորման հատկությունները ցուցադրող փորձերի և համակարգչային մոդելավորման արդյունքները:



Նկ. 9: (a) Չափված և (e) մոդելավորված 11 ԳՀց հաճախությամբ ընկնող գծային բևեռացված միկրոալիքների բաշխվածությունը: (b–d) Չափված և (f–h) մոդելավորված ՄՄՄԴ-ի տանգենցիալ բաղադրիչների բաշխվածությունները գրաֆիտի միկրոշերտի շուրջը ՓՆ-ից 1 մմ հեռավորության վրա՝ ընկնող ալիքի բևեռացման և միկրոշերտի միջև տարբեր կողմնորոշման դեպքում. (b) և (f) 0°, (c) և (g) 45°, (d) և (h) 90°: Միկրոալիքային աղբյուրի և ՕԻ-ի միջև հեռավորությունը բոլոր դեպքերի համար պահպել է 5 մմ:

Նկ. 9-ում ցուցադրված է 11 ԳՀց հաճախությամբ ՄՄՄԴ-ի բաշխումների արտապատկերումը միկրոշերտի տարբեր անկյունային (0° – 90°) կողմնորոշման դեպքում՝ կապված ընկնող միկրոալիքային ճառագայթման բևեռացման հետ, որոնք ստացվել են (b–d) փորձարարական և (f–h) մոդելավորման մեթոդներով: Գրաֆիտի միկրոշերտի դիմադրությունը փորձարկման ժամանակ կազմել է 0.6 ԿՕհմ, իսկ գրաֆիտի միկրոշերտի հաղորդականությունը մոդելավորման ժամանակ ընտրված է 250 Սիմ/մ:

2.7 պարագրաֆում ամփոփվել են այս գլխում մետանյութի տարրի համար ստացված արդյունքները, դրա հատկությունները և հնարավոր կիրառությունները:

Երրորդ գլխում ներկայացված է նանոկառուցվածքային ՕԴՏ-ի ուսումնասիրությունը: Հետազոտվել են պենտացենային բարակ թաղանթային ՕԴՏ-ի աշխատանքի արդյունավետությունը և բարելավման հնարավորությունները:

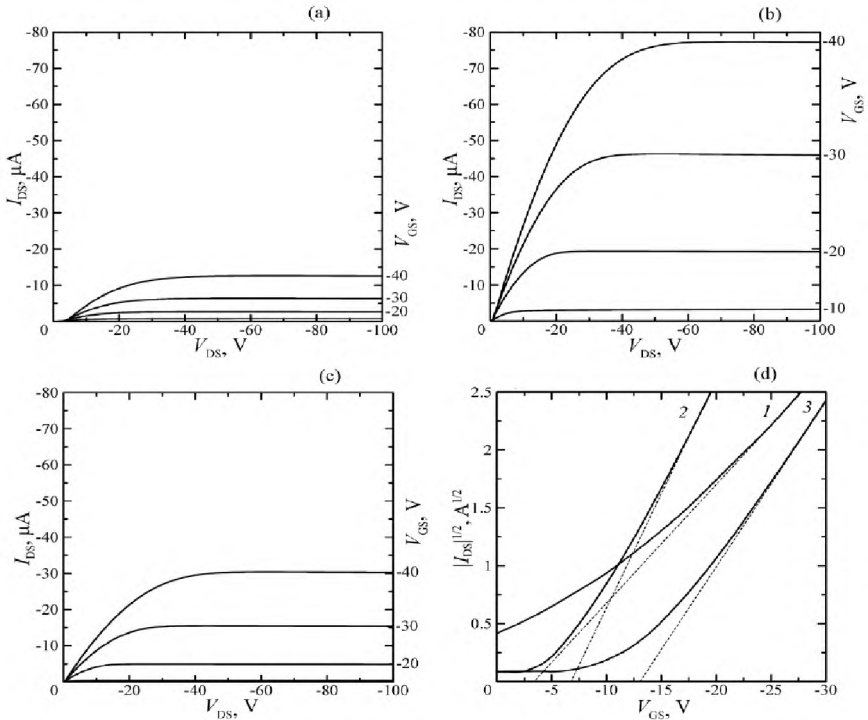
3.1 պարագրաֆում, որպես ներածություն նկարագրվում է ՕԴՏ-ի կառուցվածքը, ինչպես նաև դրանց արդյունավետությունը, որպես դասական բարակ թաղանթային կիսահաղորդչային տրանզիստորների այլընտրանք:

Ենթադրվում է, որ առանց H_2 շերտով SiO_2 տակդիրով պենտացենային ՕԴՏ-ի աշխատանքում հիսթերեզիսը գոյություն ունի ի շնորհիվ խորքային ռեկոմբինացիոն կենտրոնների կյանքի երկար տևողության [13]: Պենտացենային ՕԴՏ-ի որոշ գործառնական պարամետրեր բարելավվում են ինքնակազմակերպվող շերտի ավելացման ճանապարհով, օրինակ՝ SiO_2 փականի (Gate) դիէլեկտրիկի և պենտացենի ակտիվ շերտի միջև [14]:

3.2 պարագրաֆում բերված է պենտացենային ՕԴՏ-ի համար ստացված բարակ թաղանթների ուսումնասիրության նպատակով կիրառված տեսաձրող էլեկտրոնային մանրադիտակով և ատոմա-ուժային մանրադիտակով ստացված արդյունքները:

3.3 պարագրաֆում ներկայացված է պենտացենային ՕԴՏ-ի համար ստացված բնութագրերի վերլուծությունը:

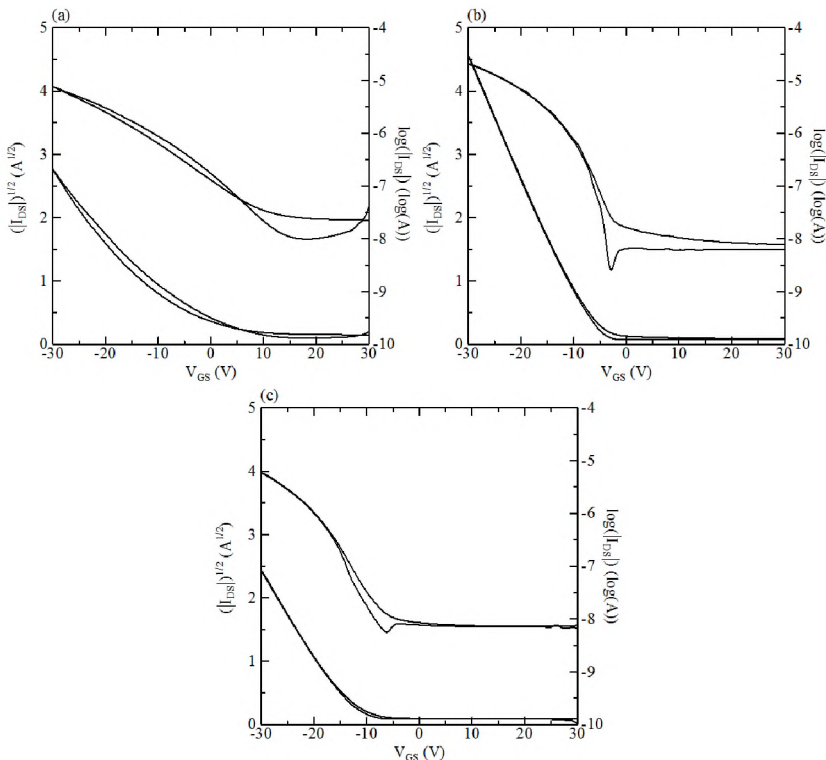
Նկ. 10-ում համեմատված են SiO_2 տակդիրի վրա պատրաստված պենտացենային ՕԴՏ-ի ելքային վոլտ-ամպերային ($I - V$) բնութագծերը (a) առանց OSU H_2 -ի և OSU H_2 -ով՝ (b) ըստ զանգվածի 0.5%, (c) ըստ զանգվածի 1.0%: Նկ. 10 d-ում ցուցադրված է SiO_2 -ի վրա պատրաստված պենտացենային ՕԴՏ-ի փոխանցման բնութագրերը $V_{DS} = -40$ Վ-ի դեպքում (1) առանց OSU H_2 -ի և OSU H_2 -ով՝ (2) ըստ զանգվածի 0.5%, (3) ըստ զանգվածի 1.0% խտություններով:



Նկ. 10: SiO_2 -ի վրա պատրաստված պենտացենային ՕԴՏ-ի ելքային բնութագրերը (a) առանց OSU իԲ-ի և OSU իԲ-ով՝ (b) ըստ զանգվածի 0.5%, (c) ըստ զանգվածի 1.0% խտություններով: (d) SiO_2 -ի տակդիրի վրա պատրաստված պենտացենային ՕԴՏ-ի փոխանցման բնութագրերը $V_{DS} = -40$ Վ-ի դեպքում (1) առանց OSU իԲ-ի և OSU իԲ-ով՝ (2) ըստ զանգվածի 0.5%, (3) ըստ զանգվածի 1.0% խտություններով:

Նկ. 11-ում ցուցադրված է SiO_2 -ի վրա պատրաստված պենտացենային ՕԴՏ-ի փոխանցման բնութագրերը երկու ուղղությամբ՝ -30 Վ-ից +30 Վ տիրույթում փոփոխման արդյունքում, երբ $V_{DS} = -40$ Վ (a) առանց OSU իԲ-ի և OSU իԲ-ով՝ (b) ըստ զանգվածի 0.5%, (c) ըստ զանգվածի 1.0% խտություններով:

Հաստատվել է, որ ՕԴՏ-ում նկատված մեծ հիսթերեզիսը խիստ կապված է ալոլմերային դիէլեկտրիկների մեջ գոյություն ունեցող հիդրոքսիլ խմբերի հետ և կարող է կրճատվել OH-ի իջեցմամբ:



Նկ. 11: SiO_2 -ի տակդիրի վրա պատրաստված պենտացենի ՕԴՏ-ի փոխանցման բնութագրերը (a) առանց ՕՏՍ իԲ-ի և ՕՏՍ իԲ-ով՝ (b) ըստ զանգվածի 0.5%, (c) ըստ զանգվածի 1.0% խտություններով V_{GS} -ի երկու ուղղություններով փոփոխման դեպքում՝ ֆիքսված $V_{DS} = -40$ Վ-ի համար:

3.4 պարագրաֆում ամփոփվել են հետազոտության ընթացքում պենտացենային ՕԴՏ-ի համար ստացված արդյունքները և կիրառության հնարավորությունները:

ԵՐԱՎԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

ՋԱՕԻՄ-ը հնարավորություն է ընձեռում միկրոալիքային հաճախությունների լայն տիրույթում իրականացնել գլյուկոզի և նատրիումի քլորիդի ջրային լուծույթների առանց ներթափանցման մեծ զգայունությամբ մանրադիտում: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս տարբեր ջրային լուծույթներում գլյուկոզի և նատրիումի քլորիդի խտությունների փոփոխության դիտարկման և որոշման հնարավորությունը:

Միկրոալիքային ռեզոնատորները ունենալով փոքր չափեր այնուհանդերձ իրականացնում են արձաթի նանոմասնիկներով ջրային լուծույթների առանց

ներթափանցման զոնդավորում, ինչպես նաև կենդանի օրգանիզմում գլյուկոզի խտության առանց ներթափանցման որոշում: Կենդանիների վրա իրականացված հետազոտությունների արդյունքները վկայում են, որ ռեզոնատորը կարող է նաև օգտագործվել գլիկեմիայով հիվանդ մարդկանց մոտ գլյուկոզի մակարդակը առանց ներթափանցման և վնասման չափելու համար:

Գրաֆիտի միկրոշերտային մետատարրի հաղորդականության փոփոխությամբ փոփոխվում են նաև վերադրված ԷՄ դաշտի տեղայնացման կետերը: Հաղորդականության մեծացմանը զուգընթաց աճում է տեղայնացման տիրույթի ինտենսիվությունը միկրոշերտի եզրերին, զուգահեռաբար նվազելով գրաֆիտի միկրոշերտի ներսում: Տվյալ երևույթը ցույց է տալիս, որ մետատարրի վրա ընկած միկրոալիքային դաշտը ցրվելիս ունի փուլի հավելյալ շեղում: Արդյունքը հնարավոր է դարձնում ղեկավարել տվյալ մետատարրերից բաղկացած մետամակերևույթին ընկնող ԷՄ դաշտի փուլային հատկությունները մետատարրի հաղորդականության փոփոխման ճանապարհով:

ԻԿ բազմաշերտով նանոկառուցվածքների ներդրմամբ հնարավոր է էականորեն բարելավել պենտացենային ՕՂՏ-ի աշխատանքային բնութագրերը: Այսպիսի կառուցվածքներով դաշտային տրանզիստորները իրենց մի շարք առավելություններով՝ լայն աշխատանքային ջերմաստիճանային տիրույթ, ցածր ինքնաթեք, պատրաստման դյուրինություն և այլն, հիմնավորում են իրենց կարևորությունը և անհրաժեշտությունը տարբեր սարքերում լայն կիրառություն գտնելու գործում:

Հղված գրականություն

- [1] Hamsoongnoen S., Wanthong A., Charoen-In U., Siritaratiwat A., Planar microwave sensor for detection and discrimination of aqueous organic and inorganic solutions. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2018, Vol. 271, pp. 300–305.
- [2] Baghdasaryan Zh., Babajanyan A., Odabashyan L., Lee J. H., Friedman B., Lee K., 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, 2589, pp. 1-11.
- [3] Parsamyan H.A., Babajanyan A.Zh., Arakelyan Sh.Kh., Lee K., Determination of Glucose Concentration in Aqueous Solution by Using Modified Hilbert Shaped Microwave Metamaterial Sensor, *Proceedings of the YSU. Physical and Mathematical Sciences*, 2018, Vol. 52, No. 2, pp. 144–148.
- [4] Gurwinder S. , Rajni, Anupma M. (2015) A Review of Metamaterials and its Applications, *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, Vol 19, pp. 305-310.
- [5] Dimitrakopoulos C. D. and Mascaro D. J. (2001) Organic thin-film transistors: A review of recent advances, *IBM J. RES. & DEV.*, Vol. 45, No. 1, pp. 11-27.
- [6] Lee H., Arakelyan Sh., Friedman B., Lee K. (2016) Temperature and microwave near field imaging by thermo-elastic optical indicator microscopy, *Sci. Rep.*, Vol. 6, 39696.

- [7] Markel A.V. (2016) Maxwell Garnett approximation (advanced topics): tutorial, *Journal of the Optical Society of Armenia*, Vol. 33(7), pp. 1244-1256.
- [8] Landau L.D., Lifshitz E.M. (1960) Electrodynamics of Continuous Media, *London: Pergamon Press*, pp. 47 and pp. 303-304.
- [9] Koledintseva M., Rawa P., Dubroff R., Drewniak J., Rozanov K., and Archambeault B. (2005) Engineering of Composite Media for Shields at Microwave Frequencies, *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 1, pp. 169-174.
- [10] Kim J., Babajanyan A., Hovsepyan A., Lee K., Friedman B., Microwave dielectric resonator biosensor for aqueous glucose solution, *Review of Scientific Instruments*, 2008, Vol. 79(8), 086107.
- [11] Shaltout A.M, Shalaev V.M., Brongersma M.L. (2019) Spatiotemporal light control with active metasurfaces, *Science*, Vol. 364 (6441) eaat3100.
- [12] Hou-Tong Ch., Taylor A.J., Yu N. (2016) A review of metasurfaces: physics and applications, *Reports on Progress in Physics*, Vol. 79, 076401.
- [13] Gu G., Kane M.G., Doty J.E., Firester A.H. (2005) Electron traps and hysteresis in pentacene-based organic thin-film transistors, *Applied Physics Letters*, Vol. 87, 243512.
- [14] Jackson T.N., Lin Y.Y., Gundlach D.J., Klauk H. (1998) Organic thin-film transistors for organic light-emitting flat-panel display backplanes, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol. 4(1), pp. 100-104.

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

Հոդվածներ

- [1] Minasyan B., Odabashyan L., Baghdasaryan Zh., Babajanyan A., Lee K., (2019), Computer modeling of microwave stripline resonators for non-invasive sensing, *Proceedings of the YSU A: Physical and Mathematical sciences*, Vol. 53(1 (248)), pp. 60–64.
- [2] Abrahamyan T., Khachatryan R., Hambaryan D., Hovhannisyan B., Minasyan B., Odabashyan L., Babajanyan A., (2019), Investigation of Ag Nanoparticles/Water Solutions by Microwave Stripline Sensor, *Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences)*, Vol. 54(2), pp. 196–202.
- [3] Babajanyan A., Minasyan B., Odabashyan L., Kim S., Kim J., Lee J.-H., Friedman B., Lee K., (2021), Noninvasive in Vivo Evaluation of Mouse-Blood Glycemia with a Microwave Spiral Sensor, *Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences)*, Vol. 56(1), pp. 47–54.
- [4] Minasyan B., (2021), Sensing of sodium chloride and glucose mixed aqueous solution by using a thermoelastic optical indicator microscope, *Proceedings of the YSU A: Physical and Mathematical sciences*, Vol. 55(3 (256)), 174–181.
- [5] Babajanyan A., Minasyan B., Movsisyan A., Friedman B., Lee K., (2021), Performance of Pentacene Based Organic Thin Film Transistor with an Octadecyltrichlorosilane Self-Assembled Monolayer Interface, *Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences)*, Vol. 56(3), pp. 208–213.
- [6] Babajanyan A., Abrahamyan T., Haroyan H., Minasyan B., Yezekyan T., Lee K., Friedman B., Nerkararyan Kh., (2022), Microwave response phase control of a graphite microstrip, *Carbon*, Vol. 193, pp. 151-156.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ В НАНОСТРУКТУРАХ С ПОМОЩЬЮ
ТЕРМОУПРУГОГО ИНДИКАТОРНОГО МИКРОСКОПА

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 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 смесях наночастицы взаимодействуют с электромагнитными (ЭМ) полями, и регистрация именно этого взаимодействия и его анализ позволяют изучать их. В режиме реального времени не инвазивная регистрация распределения ЭМ полей с помощью термоупругого оптического индикаторного микроскопа (ТУОИМ) позволяет изучать сложные биологические растворы, жизненно важные для организма человека, такие как смеси глюкозы и хлорида натрия в крови. Одной из особенностей ТУОИМ является то, что система позволяет проводить не инвазивное сканирование в широком диапазоне частот, что в свою очередь обеспечивает более детальное изучение поведения наноструктур. Такие исследования позволяют в будущем на основе полученных результатов выбрать наиболее эффективную частоту микроскопии этих наноструктур.

Изучение взаимодействия ЭМ поля и образца с помощью ТУОИМ позволило разработать микроволновые резонаторы. Разработанные резонаторы имея малые размеры, в то же время 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 в реальных условиях.

Заслуживают внимания 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, в частности, водный раствор с правильной концентрацией наночастиц серебра обладает лечебными и дезинфицирующими свойствами. Водный раствор с наночастицами серебра ускоряет процесс заживления ран на теле человека. Такие свойства вызывают большой интерес к изучению водных растворов с наноструктурами серебра. Взаимодействие раствора с ЭМ полями позволяет исследовать его с помощью микроволновых резонаторов.

Еще одна интересная область исследований - изучение элементов метаматериала. Метаматериалы - это искусственно материалы, обладающие свойствами, отсутствующими в природных материалах. Это материалы, ЭМ свойства которых обусловлены их структурными свойствами, а не типом материала. Метаматериалы представляют собой регламентированную структуру метаматериального элемента, что придает материалу новые свойства, в частности новые значения диэлектрической и магнитной проницаемости. Открытие и изучение как метаматериального элемента, так и ЭМ свойства метаматериала, вызвало большой интерес в последние десятилетия. Гибкость ТУОИМ позволяет исследовать элементы метаматериала в широком диапазоне частот и визуализировать их в ближнем поле, преобразованные при взаимодействии с ЭМ полем.

Интересным направлением исследований является разработка органических полевых транзисторов (ОПТ) основанных на наноструктурах. ОПТ считаются улучшенной альтернативой традиционным неорганическим тонкопленочным транзисторам. Результаты, полученные для ОПТ, показывают, что они могут быть конкурентоспособными в различных приложениях, где требуется структурная гибкость, работоспособность в низких температурах, высокая интеграционная способность и низкая стоимость. Пентаценовые ОПТ представляют собой разновидность органических транзисторов, из-за их характеристик и эффективности они находятся в центре внимания многих исследователей.

В диссертации представлены исследования взаимодействия различных наноструктур: био-растворов, наночастицы в водных растворах, метаэлементов с ЭМ полями. Основным инструментом исследования была система ТУОИМ, работающая в широком диапазоне частот с высоким пространственным разрешением, а также в ходе исследований использовались другие не инвазивные методы микроволнового сканирования.

VISUALIZATION OF WAVE FIELDS IN NANOSTRUCTURES USING A
THERMOELASTIC INDICATOR MICROSCOPE

ANNOTATION

The current trends in the world give rise to the need for new and vital non-invasive research methods. In particular, there is a great need for new non-invasive methods for probing nanostructures, but at the same time for accurate research. There was a need to have high-resolution non-invasive monitoring systems that would be used in areas such as medicine, food processing, etc.

Nanostructures are essential components of the human body, so their precise study is vital. In various solutions and mixtures, nanoparticles interact with electromagnetic fields, and the registration of this interaction and its analysis make it possible to study them. Real-time, non-invasive recording of electromagnetic (EM) fields using a thermoelastic optical indicator microscope (TEOIM) makes it possible to study complex biological solutions that are vital for the human body, such as mixtures of glucose and sodium chloride in the blood. One of the features of TEOIM is that the system allows non-invasive probing in a wide frequency range, which in turn provides a more detailed study of the behavior of nanostructures. Such studies make it possible in the future to choose the most efficient operating frequency for these nanostructures based on the obtained results.

Studying the interaction between an electromagnetic field and a sample using the TEOIM allowed the development of microwave resonators. The developed resonators, having small dimensions, at the same time provide efficient non-invasive probing in a wide frequency range. To demonstrate the effectiveness of the resonators, computer simulations were performed, as well as measurements using a prototype in real conditions. With the help of the prototype, not only solutions were studied, but also a non-invasive measurement of changes in the concentration of glucose in a living organism in real conditions was performed.

Noteworthy are metal nanoparticles, which, together with their chemical compounds, play an important role in the human body. In modern medicine, extensive research is being carried out on the medical properties of solutions with various metal nanoparticles, in particular, an aqueous solution with the correct concentration of silver nanoparticles has healing and disinfecting properties. An aqueous solution with silver nanoparticles accelerates the healing process of wounds on the human body. Such properties are of great interest to the study of aqueous solutions with silver nanostructures. The interaction of the solution with electromagnetic fields makes it possible to study it with the help of microwave resonators.

Another interesting area of research is the study of the metamaterial element. Metamaterials are artificially discovered materials that have properties that are not found in natural materials. These are materials whose EM properties are determined by their structural properties, and not by the type of material. Metamaterials are a regulated structure of a metamaterial element, which gives the material new properties, in particular, new values of dielectric and magnetic permeability. The discovery and study of both a metamaterial element

and the EM property of a metamaterial has generated great interest in recent decades. The flexibility of TEOIM makes it possible to study metamaterial elements in a wide frequency range and visualize their productive near fields transformed upon interaction with an EM field.

An interesting area of research is the development of organic field-effect transistors (OFET) based on nanostructures. OFET's are considered an improved alternative to traditional inorganic thin-film transistors. The results obtained for OFET show that they can be competitive in various applications where structural flexibility, low temperature performance, high integration capability, and low cost are required. Pentacene OFET are a kind of organic transistors, because of their characteristics and efficiency, they are the focus of many researchers.

The dissertation presents research on the interaction of various nanostructures, complex bio-solutions, nanoparticles aqueous solutions, meta-elements with EM fields. The main instrument of the study was the TEOIM system operating in a wide frequency range with high spatial resolution, and other non-invasive methods of microwave sensing were also used in the course of the studies.