

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Արսեն Ժորայի Բաբաջանյան

ՄՈՏԱԿԱ ԴԱՇՏԻ ՏԵՄԱԾՐՈՂ ՆԱԿՈՒՄՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՄԲ
ՄԱՆՐԱԴԻՏՈՒՄ ՄԻԿՐՈԱԼԻՔԱՅԻՆ ԵՎ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ՏԻՐՈՒՅԹՆԵՐՈՒՄ

Ա.04.03 – «Ռադիոֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական
գիտությունների դոկտորի զիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ – 2013

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE RA
YEREVAN STATE UNIVERSITY

Arsen Zh. Babajanyan

NANO-RESOLUTION CHARACTERIZATION TECHNIQUES BY NEAR-FILED
SCANNING MICROSCOPY AT MICROWAVES AND OPTICS

ABSTRACT

of the dissertation for competition of scientific degree of
Doctor of Science (D.Sc.) on specialty 01.04.03 – “Radiophysics”

YEREVAN – 2013

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի Պետական Համալսարանում:

Գիտական խորհրդատու՝ ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Խ. Վ. Ներկարարյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Է. Դ. Գազազյան,
ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Ա. Ժ. Մուրադյան,
ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Ե. Բ. Դալյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և
Էլեկտրոնիկայի Ինստիտուտ

Պաշտպանությունը տեղի կունենա 2013 թ. դեկտեմբերի 21-ին ժամը 12.00-ին
Երևանի Պետական Համալսարանի ֆիզիկա 049 մասնագիտական խորհրդի
նիստում: Հասցեն՝ Ա. Մանուկյան 1, 0025 Երևան:

Ատենախոսությունը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:
Մեղմագիրը առաքված է 2013 թ. նոյեմբերի 18-ին:

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝  ֆ.մ.գ.թ., դոցենտ
Վ. Պ. Քալանթարյան

The theme of dissertation approved in the Yerevan State University.

Scientific advisor: Prof. Kh. V. Nerkararyan

Official opponents: Prof. E. D. Gazazyan,
Prof. A. Zh. Muradyan,
Prof. E. B. Dalyan

Leading organization: Institute of Radiophysics & Electronics of NAS RA

The defense of the Dissertation should be held on the 21 December 2013 at 12:00 on the
session of the specialized council physics 049 of the Yerevan State University.
Address: A. Manoogian 1, Yerevan 0025, Armenia.

It is possible to familiarize with the Dissertation in library of YSU
The Abstract is dispatched at 18 November 2013.

Scientific secretary of the Specialized Council  Dr. V. P. Kalantaryan

Ուսումնասիրության արդիականությունը

Մոտակա դաշտի տեսածրող միկրոալիքային մանրադիտակը (ՄԴՏՄՄ) ոչ-կոնտակտային և առանց լրացուցիչ խառնուրդների ավելացմամբ հետազոտման միջոց է, որը թույլ է տալիս ուսումնասիրել նյութերի և սարքերի ֆիզիկական բնութագրերը մեծ զգայունությամբ և նանոմետրական լուծողականությամբ: ՄԴՏՄՄ աշխատանքի սկզբունքը հիմնված է զոնդի և ուսումնասիրվող նմուշի միջև մոտակա-դաշտային փոխազդեցության տեղային էլեկտրամագնիսական դաշտի զգայուն գրանցման, հետագա մշակման և արտապատկերման վրա: Այս մեթոդի օգնությամբ կարելի է նկարագրել նյութերի այնպիսի բնութագրիչներ, ինչպիսիք են էլեկտրական հաղորդականությունը, դիէլեկտրիկ և մագնիսական թափանցելիությունները, լիցքակիրների խտությունը և շարժունակությունը, ինչպես նաև նրանց ծավալային և բարակ թաղանթային վարքագծերը: ՄԴՏՄՄ-ի կառուցվածքը, արտապատկերման հնարավորությունները և հնարավոր կիրառությունների ոլորտը նախապես մանրամասնորեն քնարկվել են տարբեր աշխատանքներում [1-3]: Նյութերի տարբեր բնութագրիչների և որպես հետևանք սեփական իմպեդանսի փոփոխությունները ուսումնասիրվել են՝ չափելով կոմպլեքս միկրոալիքային անրադարձման գործակիցը ($U_{\text{U9}} S_{11}$) և համակարգի ռեզոնանսային հաճախության շեղումը ($\Omega Z C \Delta f / f_0$), որոնք կարելի է ճշգրտորեն չափել գծային վեկտորական վերլուծիչի օգնությամբ:

Վերջերս ՄԴՏՄՄ արտապատկերման տեխնիկան մեծ ուշադրության է արժանացել որպես խոստումնալից այլընտրանքային սենսորային հարթակ՝ պինդ մարմիններում, քիմիական լուծույթներում և կենսաբանական հյուսվածքներում փոփոխությունների հայտնաբերման և վերահսկման համար [4,5]: Միաժամանակ ՄԴՏՄՄ-ն յուրահատուկ փորձարարական գրոծիք է նաև մասշտաբներում ուսումնասիրություններ կատարելու համար, որը թույլ է տալիս մեծ էֆֆեկտիվությամբ բնութագրել և եռաչափ ներկայացնել նյութական բնութագրիչներն ու գործընթացները հաղորդիչներում, կիսահաղորդիչներում, դիէլեկտրիկներում, մագնիսական խառնուրդներում, ինչպես նաև կենսաբանական ինքնակազմավորվող և բարդ դասակարգմամբ կառուցվածքներում (սպիտակուցներ, դեզօքսիդիբոնուկլեինաթթու (ԴՆԹ) և այլն):

ՄԴՏՄՄ մեթոդով ստացված արդյունքները լավ համապատասխանության մեջ են մանրադիտարկման ժամանակակից այլ եղանակների հետ. էլեկտրական դաշտով ինդուկցված երկրորդ հարմոնիկի գեներացիայով (ԵՀԳ) երևակում, տեսածրող էլեկտրոնային մանրադիտակ, ատոմական ուժերով մանրադիտակ, ռենտգենյան դիֆրակցիայի ցրման մեթոդ և այլն: Ի լրումն այս գործիքների, ՄԴՏՄՄ հնարավորություն է տալիս նյութերի մակերեսային և ծավալային բնութագրիչների եռաչափ տեղագրում և քարտեզագրում միկրոալիքային տիրույթում:

Ժամանակակից օպտիկական նանոհամակարգերում հաղորդիչների փոխարեն մանրաթելերի օգտագործումը հնարավորություն է ընձեռում զգալիորեն մեծացնել տեղեկատվության մշակման համակարգերի արագագործությունը: Սակայն, այստեղ հանդես են գալիս մի շարք սկզբունքային դժվարություններ: Օրինակ, հայտնի է, որ դիֆրակցիոն երևույթները խոչընդոտում են լուսային ազդանշանի տեղայնացմանն իր ալիքի երկարության կեսից ավելի փոքր տիրույթում, որը, սակայն, կարելի չըջանցել օգտագործելով մակերևութային պլազմոն պոլյարիտոնների (ՄՊՊ) տարածման առանձնահատկությունները [6]: ՄՊՊ էլեկտրամագնիսական ալիքի և էլեկտրոնային պլազմայի համատեղ տարածվող տատանումներն են, որոնք տեղայնացված են մետաղը դիէլեկտրիկից բաժանող սահմանին: Տեղեկատվության մշակման արագագործությանը միտված հաջորդ սերնդի նանոմետրական չափերով ինտեգրալային սարքերի զարգացման կարևորագույն ուղղություններից մեկը՝ նանոպլազմոնիկան, հանդիսանում է ՄՊՊ-ների հատկությունների հետազոտմանը նվիրված նոր բնագավառ, որը պետք է համատեղի օպտիկական եղանակով ազդանշանների գերարագ մշակման հնարավորությունները և ալիքի երկարությունից փոքր չափեր ունեցող ալիքատարների և ռեզոնատորների առավելությունները:

Մեծ բարորակությամբ և փոքր չափերով ռեզոնատորների հետազոտումը տարատեսակ քվանտային օպտիկական սարքերի ստեղծման հնարավորություն է տալիս: Այդպիսի սարքերի շարքին կարելի է դասել փոքր էներգիա պահանջող արագագործ օպտոէլեկտրոնային ճառագայթիչներն ու ընդունիչները, կոհերենտ ճառագայթման վերահսկումն իրականացնող զգայուն օպտիկական սենսորները: Տրված ազդանշանի գեներացման, կառավարման և ալիքատարային ուղիների փոխկապակցման հնարավորություններով ալիքատարային ռեզոնատորները կարևոր դեր են կատարում ինչպես ռադիո և օպտիկական հաճախությունների տիրույթներում, այնպես էլ SՀց տիրույթում: Այդ պատճառով անհրաժեշտություն է առաջացրել ստեղծել այդ հաճախությունների տիրույթում գործող մեծ բարորակությամբ ռեզոնատորներ:

Ներկայացվող ատենախոսությունը նվիրված է թվարկված արդիական խնդիրներին առնչվող հարցերի լուսաբանմանը:

Աշխատանքի նպատակը

ՄԴՏՄՄ-ի՝ որպես բարձր զգայունությամբ և նանոմետրական լուծողականությամբ միկրոալիքային ունիվերսալ արտապատկերման միջոցի նախագծումն ու պատրաստումը:

Մետաղների, կիսահաղորդիչների և դիէլեկտրիկների ծավալային և բարակ թաղանթային հատկությունների ՄԴՏՄՄ ուսումնասիրությունը:

Լուսազգայուն հետերոսնցումներում և բարակ թաղանթային օրգանական դաշտային տրանզիստորներում (ՕԴՏ) ֆոտոէֆեկտի և ֆոտոգեներացման ՄԴՏՄՄ հոտագոտումը:

Ֆերրումագնիսական խառնուրդներում և բարձր խտությամբ օպտոմագնիսական կառուցվածքներում մագնիսական դոմենների տեղագրումը:

Կենսաբանական համակարգերում (ԴՆԹ, ինքնակազմակերպվող միաշերտեր (ԻԿՄ), ռոդոպսին և այլն) և կենսահեղուկներում (գլյուկոզի, կերակրի աղի ջրիային լուծույթներ, արյուն) տրված պարամետրերի վերահսկումը և մոնիթորինգը:

ՏՀց տիրույթի ցածր էներգիայով, արագագործ քվանտային ճառագայթիչների և ընդունիչների ուսումնասիրումն ու նկարագրությունը:

ՄՊՊ մոդերի համար նանոչափական ալիքատաների և ռեզոնատորների հնարավոր քննարկումը և հիմնավորումը:

Սեպաձև և գլանաձև մետաղական մակերևույթներով սահմանափակված հարթ և գոգավոր նանոմետրական համակարգերում ձևավորվող ՄՊՊ ալիքատարային մոդերի տարածական բաշխվածությունն ու դիսպերսիոն բնութագրի բացահայտումը և նկարագրությունը աղիաբառիկ մոտավորության սահմաններում:

Գիտական նորույթը

Ստեղծվել են ՄԴՏՄՄ լաբորատոր և շարժական նախատիպերը և անհրաժեշտ օժանդակ մոդուլները (ըստ համապատասխան խնդրի):

Առաջարկվել է բազմաշերտ կառուցվածքների կոմպլեքս սեփական իմպլեմենտի մոտարկման մոդելի անալիտիկ նկարագրումը՝ տարածման գծի և խոտորումների տեսությունների սահմաններում:

Որոշվել և համակարգվել են մետաղների, կիսահաղորդիչների, դիէլեկտրիկների, ֆերումագնիսների և օրգանական հաղորդիչների բնութագրիչները միկրոալիքային տիրույթում:

Եռաչափ քարտեզագրվել է ՕԴՏ-ի և օրգանական կիսահաղորդչային դիոդների հիմնական հաղորդիչ հոսքուղում լիցքակիրների շարժունակությունը և հաղորդականությունը:

Եռաչափ արտապատկերվել է համակարգչի կոշտ սկավառակի մագնիսական դոմենների դասավորվածությունը՝ արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցության պայմաններում:

Բարձր զգայունությամբ բնութագրվել են ԴՆԹ և ԻԿՄ մատրիցները՝ օգտագործելով ՄԴՏՄ-ի անալոլոժողական հնարավորությունները:

Ուսումնասիրվել են կանաչ լույսի կլանմամբ չոր պրոտեոռոդոպսինի և միկրոռոդոպսինի լուսահաղորդականությունները արտաքին լուսային ազդակների առկայության դեպքում:

Իրականացվել են կերակրի աղի և գլյուկոզի՝ ջրային լուծույթներում, ինչպես նաև արյան մեջ խտությունների որոշման և իրական ժամանակում վերահսկման մի շարք սխեմաներ:

Ցույց է տրվել ՄՊՊ գերֆոնուսացման հնարավորությունները մետաղական կոնաձև և անհարթ մակերևույթներով տարածվելիս:

Սեպսիս և գլխաձև մետաղական մակերևույթներով սահմանափակված նանոմետրական համակարգերում ադիաբատիկ մոտավորության սահմաններում բացահայտվել են ՄՊՊ ալիքատարային մոդերի տարածական բաշխվածությունն ու դիսպերսիոն բնութագիրը:

Ցույց է տրված, որ օղակաձև V-տիպի ակոսով, գոգավոր տորոնդալ մակերևույթներով սահմանափակված և օղակաձև պլազմոնային ռեզոնատորներում լուսային ազդանշանի լայնական չափերը կարելի է տեղայնացնել նանոմետրական տիրույթում:

Կատարված վերլուծության օգնությամբ, հաճախությունների ԻԿ տիրույթում, բացահայտվել են հաղորդիչ-մեկուսիչ-հաղորդիչ (ՀՄՀ) պարբերական կառուցվածքի օպտիմալ բնութագրիչները, որին բնորոշ բարորակության մեծ արժեքները այս ՄՊՊ ռեզոնատորների կիրառության նոր հնարավորություններ են ստեղծում տարբեր բնագավառներում:

Գործնական արժեքը

Առաջարկվող ՄՂՏՄ յուրօրինակ փորձարարական սարք է, որը թույլ է տալիս հետազոտել նյութերի ամենաբազմազան հատկությունները և երևույթները նանոչափական տիրույթում: Առաջարկվող միկրոալիքային արտապատկերման մեթոդը հնարավորություն է տալիս օգտագործել այն որպես բաձր զգայունությամբ նանոլուծողական մանրադիտակ՝ նյութական բնութագրիչների տարածական և ժամանակային կախվածությունների ստացման և վերահսկման համար:

Քննարկված միկրոալիքային կենսասենսորները հնարավորություն են ընձեռնում կիրառել դրանք իրական ժամանակում չափումներ կատարող, առանց հպման և անցավ գյուկոմետրերում:

Հետազոտվող ՄՊՊ ալիքատարներն ու ռեզոնատորները կարող են ծառայել նոր սերնդի նանոմետրական չափերով ինտեգրալային սարքերի ստեղծմանը, որտեղ համատեղվում են օպտիկական մեթոդներին բնորոշ ազդանշանների գերաբազ մշակման հնարավորությունները և ալիքի երկարությունից փոքր չափեր ունեցող էլեկտրոնային շղթաների առավելությունները:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները

1. Նյութական բնութագրիչները (հաղորդականություն, դիէլեկտրիկ և մագնիսական թափանցելիություններ, օրգանական կիսահաղորդչում լիցքակիրների խտություն, շարժունակություն և այլն) և նրանց փոփոխությունները կարող են միանշանակ բնութագրվել համակարգի չափված կոմպլեքս ՄԱԳ-ի և ՌՀՇ-ի միջոցով:
2. ՕՂՏ-ի հաղորդիչ ուղում հաղորդականության բաշխվածության ՄՂՏՄ արտապատկերը հստակորեն նկարագրում է կիսահաղորդչում հիմնական լիցքակիրների (էլեկտրոններ և խոռոչներ) վերաբաշխումները

աղբատացման և հարստացման գոտիներում՝ պայմանավորված դաշտային էֆֆեկտով և լուսաէֆֆեկտով:

3. Լուսազգայուն հետերոանցումներում ընկնող լույսի ինտենսիվության և ալիքի երկարության փոփոխության հետևանքով լուսահաղորդականության փոփոխությունը հնարավոր է ուղղակիորեն դուրս բերել միկրոալիքային անդրադարձման գործակցի միջոցով՝ տարացման գծի տեսության սահմաններում:
4. Մագնիսական դոմենների բաշխվածությունը արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցության տակ հնարավոր է տեղագրել ՄՂՏՄ օգնությամբ և մոտարկել խոտորումների տեսության շրջանակներում:
5. ԴՆԹ-ի բաղկացուցիչ տարրերի հիբրիդիզացումը և ապահիբրիդիզացումը բերում է նրա դիէլեկտրիկ թափանցելիության փոփոխության, որը կարելի է արտահայտել չափված ՄՂՏՄ բնութագրերով:
6. ԻՂՏ կառուցվածքի ընդհանուր հաստության (այսինքն՝ միշերտերի քանակի) փոփոխությունը բերում է համակարգի ՄԱԳ-ի փոփոխության՝ ի շնորհիվ ՄՂՏՄ զոնդի և ԻՂՏ էլեկտրամագնիսական մոտակա-դաշտային ուժեղ փոխազդեցության:
7. Լուսազգայուն ռոդոպսինի սպիտակուցների դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը առավելագույն արժեք է ընդունում մոնոքրոմատիկ (կանաչ) լույսով ճառագայթելու դեպքում՝ պայմանավորված ֆոտոցիկլի միջանկյալ վիճակի առաջացման հետ, որը բերում է համակարգի ՄԱԳ-ի փոփոխության:
8. Ջրային լուծույթներում և արյան մեջ գլուկոզի (ինչպես նաև կերակրի աղի) խտությունը որոշում է ամբողջ հեղուկի կոմպլեքս դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը, որը հնարավոր է չափել և իրական ժամանակում վերահսկել կենսասենսորներում միկրոալիքային ազդանշանի վերլուծության օգնությամբ:
9. Մետաղական կոնի մակերևույթին տարածվող ՄՊՊ-ի ալիքի երկարությունը անվերջ նվազում է՝ կոնի ծայրին մոտենալիս, որի հետևանքով ՄՊՊ տեղայնանում է տարածության շատ փոքր տիրույթում, իսկ նրա ալիքային դաշտերը անոմալ աճում են՝ $E \sim r^{-3/2}$, $H \sim r^{-1/2}$ օրենքներով:
10. Գոգավոր և հարթ մակերևույթների հպման կետի շրջակայքում ՄՊՊ-ի գերֆոկուսացման երևույթը թույլ է տալիս բացատրել անհարթ մակերևույթներից՝ ոչ գծային օպտիկական արձագանքի ուժեղ աճի պատճառները:
11. Դիէլեկտրիկ միջավայրով բաժանված մետաղական տորոնդալ և հարթ մակերևույթներից բաղկացած ռեզոնանսային համակարգում ձևավորվող ՄՊՊ ալիքային դաշտերի էներգիան հիմնականում կուտակվում է դիէլեկտրիկում՝ մետաղական մակերևույթները բաժանող ճեղքի նվազագույն տարածության շրջակայքում՝ ստեղծելով բարենպաստ

պայմաններ ՄՊՊ ալիքատարային մոդերը նանոմետրական լայնական չափերում տեղայնացնել համար:

12. Օղակաձև V-տիպի ակոսով և տորոիդալ մակերևույթներով սահմանափակված պլազմոնային ռեզոնատորում լուսային ազդանշանի բարորակության ու մոդերի տեղայնացման համար ստացված վերլուծական արտահայտությունները թույլ են տալիս որոշել այդ նանոկառուցվածքի օպտիմալ բնութագրիչները:
13. ՀՄՀ պարբերական կառուցվածքում լուսային էներգիայի բաշխվածության դիսպորսիոն հատկությունները հնարավոր է լայնորեն դեկավարել՝ օգտագործելով մետաղական գլանների երկրաչափական պարամետրերը:

Աշխատանքի ներկայացումը

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները քննարկվել են Երևանի պետական համալսարանի ԳԲՀ ռադիոֆիզիկա ամբիոնի և Մեուլի Սոգանգ համալսարանի Միկրոալիքային ֆոտոնիկա ամբիոնի սեմինարներում և ներկայացվել են հետևյալ միջազգային գիտաժողովներում՝ Conf. on MARM 2013, Dilijan, Armenia, Conf. on IRPhE 2012, Yerevan, Armenia; Conf. on ICONIC 2011, Rouen, France; Conf. on BioTronics 2010, Seoul, Korea; Conf. on IRPhE 2010, Ashtarak-Aghveran, Armenia; Meet. on MPA-4 2010, Braga, Portugal; Workshop on ICBIN 2010, Seoul, Korea; Conf. on ISPM 2009, Madrid, Spain; Conf. on IC ME&D 2009, Seoul, Korea; Conf. on RCIBCC 2009, Yangju, Korea; Conf. on ISPSA 2008, Jeju, Korea; Conf. on ISPM 2008, Seattle, USA; Conf. on ENDE 2008, Seoul, Korea, Symp. on BCHBM 2008, Jeju, Korea; Conf. on ANDE II 2007, Busan, Korea; Conf. on IMARM 2007, Yerevan, Armenia; Conf. on NANOSMAT 2007, Algarve, Portugal; Conf. on ICONIC 2007, St. Louis, USA; Conf. on ISPM 2007, Jeju, Korea; Symp. on ISE 2007, Seoul, Korea; Conf. on SSD 2007, Hammamet, Tunisia, Conf. on ICNME 2006, Kobe, Japan; Cong. on WALT 2006, Lemesos, Cyprus; Conf. on ANDE 2005, Jeju, Korea; Proc. of Conf. on ICONIC 2005, Barcelona, Spain; Conf. on SE 1999, Dilidjan, Armenia; Conf. on Lasers 1999, Quebec, Canada; Conf. on Lasers 1998, Tucson, USA; Conf. on Lasers 1997, Ashtarak, Armenia.

Հրապարակումները

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրված են միջազգային գիտաժողովների նյութերի ժողովածուների 61 գիտական հրապարակումներում և գիտական ամսագրերի 58 հոդվածներում, որոնց ցուցակը ներկայացված է սեղմագրի վերջում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից, եզրակացությունից և 323 անուն պարունակող հղումների ցանկից: Աշխատանքում առկա են 182 նկար և 6 աղյուսակ: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 294 էջ է:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

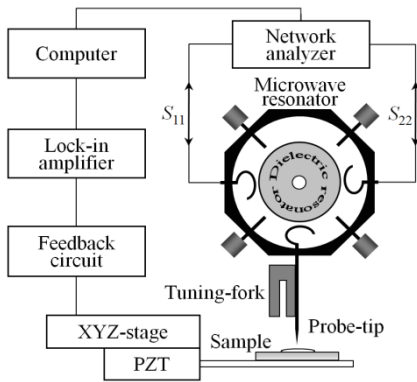
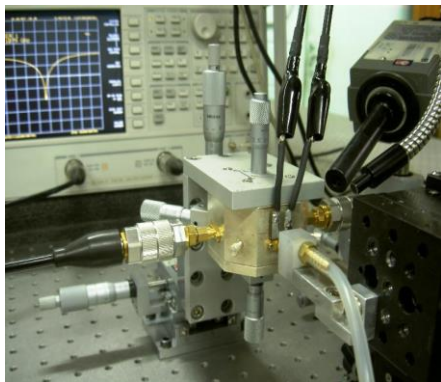
Ներածություն մեջ հիմնավորված է աշխատանքի արդիականությունը, ձևակերպված են նպատակներն ու խնդիրները, ինչպես նաև պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները: Նշված են ստացված արդյունքների գիտական նորույթը և գործնական արժեքը:

Առաջին գլխում դիտարկված են ՄԴՏՄ-ի սկզբունքային կառուցվածքը և աշխատանքի հիմնական սկզբունքները:

1.1 պարագրաֆն ակնարկային է, ուր վերլուծված են միկրոալիքային տիրույթում էլեկտրոմագնիսական ալիքների տարածման առանձնահատկությունները և ատենախոսությունում օգտագործված սահմանումներն ու մեծությունները:

1.2 պարագրաֆում ներկայացված է ՄԴՏՄ փորձարարական սխեման և քննարկված են մանրադիտակի հիմնական հանգույցները: Նախագծում ՄԴՏՄ զոնդը մետաղական սրածայր լար կամ ատոմական-ուժային մանրադիտակի (ԱՌԲՄ) ստանդարտ հաղորդական զոնդ է, որում լարման օսցիլացիաները միկրոալիքային տիրույթի են: Նկար 1-ում ցուցադրված է ՄԴՏՄ-ի կառուցվածքը հիմնական հանգույցներով: Փորձի ժամանակ զոնդը պահվում է նմուշի մակերևույթից հաստատուն 10 նմ հեռավորության վրա: Քանի որ զոնդ-նմուշ փոխազդեցությունը տեղի է ունենում նանոմետրական մասշտաբում, որը շատ փոքր է աշխատանքային ալիքի երկարությունից (մոտ 1 սմ), ուրեմն այն մոտակա-դաշտային է և հետևաբար հնարավոր է դառնում ստանալ միկրոալիքային պատկերներ ենթամիկրոնային լուծողականությամբ: Այսպիսով, տեսածրման լուծողականությունը որոշվում է զոնդի եկրաչափական առանձնահատկություններով, այլ ոչ թե դիֆրակցիոն սահմանով: ՄԴՏՄ-ում որպես զոնդ-նմուշ հեռավորության ղեկավարման համակարգ օգտագործված է համալարվող կվարցե տատանակը, որի տատանման խիստ ռեզոնանսային բնութագիրը (մոտ 32 ԿՀց) կախված է զոնդ-նմուշ փոխազդեցությունից, այսինքն՝ հեռավորությունից: Չոնդի մյուս ծայրը ամրացված է միկրոալիքային ռեզոնատորին, որը բաղկացած է գլանային դիէլեկտրիկ ռեզոնատորից (որի դիրքի փոփոխությունը ուղղահայաց հարթության մեջ որոշում է ՄԴՏՄ ռեզոնանսային բնութագրերը), մուտքի, ելքի և զոնդի տերմինալներից: Չափումները կատարվել են հաճախությունների 2÷5 ԳՀց տիրույթում TE₀₁₁ հիմնական մոդի համար: Agilent 8722ES ցանցի վերլուծիչը օգտագործվել է որպես միկրոալիքային ճառագայթից և ընդունիչ S₁₁ ՄԱԳ-ը չափելու համար: ՄԱԳ-ի փոփոխությունը պայմանավորված է զոնդ-նմուշ փոխազդեցությամբ և հետևաբար այն չափելով կարելի է միանշանակ որոշել նմուշի որևիցե բնութագրի փոփոխություն: Նմուշը ամրացված է եռաչափ հարթակի վրա, որի նվազագույն տեղափոխման քայլը x և y ուղղություններով 100 նմ է (տեսածրման ուղղությունները), իսկ z ուղղությամբ (զոնդ-նմուշ հեռավորություն), որը

լրացուցիչ կարգավորվում է պիեզոտեղափոխիչով՝ 10 նմ: Փորձարարական բոլոր չափումները կատարվել են սենյակային ջերմաստիճանում՝ 25 °C:



Նկ. 1: ՄՐՏՄՄ-ի փորձարարական լաբորատոր և սխեմատիկ պատկերները:

1.3 պարագրաֆում քննարկված են մոտակա-դաշտային փոխազդեցության առանձնահատկությունները: Ճառագայթային մոտակա-դաշտում էլեկտրամագնիսական դաշտի անկյունային բաշխվածությունը կախված է զոնդի հեռավորությունից ոչ այնպես ինչպես հեռակա դաշտում: Կոնական զոնդի համար մոտակա-դաշտային տիրույթի սահմանը որոշվում է $d \ll \lambda/4$ պայմանից, որտեղ d -ն զոնդի և նմուշի միջև հեռավորությունն է, իսկ λ -ն՝ ալիքի երկարությունը:

1.4 պարագրաֆում դիտարկված են զոնդ-նմուշ համակարգի համար դիպոլ-դիպոլ փոխազդեցության առանձնահատկությունները և համապատասխան պատկերային կոնտրաստները երկայնական և լայնական ազդեցությունների դեպքում: Արված է եզրահանգում, ըստ որի տեսածրման պատկերի կոնտրաստը ֆունկցիա է զոնդ-նմուշ հեռավորությունից և զոնդի ծայրի գծային չափից:

1.5 պարագրաֆում բերված են ՄՐՏՄՄ-ի համար օգտագործվող զոնդերի հնարավոր տեսակները և ցույց է տրված, որ ստացված ՄՐՏՄՄ պատկերների ստացման զգայնությունը և տեսածրման լուծողականությունը խստորեն կախված են զոնդի երկրաչափական ձևից և չափից: Ելնելով այս հանգամանքից՝ առաջարկվել է զոնդի հիբրիդային ձևաչափը, որը թույլ է տալիս ստանալ ՄՐՏՄՄ պատկերի բավարար զգայնություն և լուծողականություն:

1.6 պարագրաֆում ներկայացված է զոնդ-նմուշ հեռավորության վերահսկման համակարգը՝ հիմնված վերալարվող տատանակի ռեզոնանսային հատկությունների վրա, որը թույլ է տալիս զոնդ-նմուշ հեռավորությունը հաստատուն պահել մինչև 10 նմ՝ մի քանի նմ ճշտությամբ:

Երկրորդ գլխում քննարկված է ՄԴՏՄՄ տեսական մոդելը՝ տարածման գծային տեսության և խոտորումների տեսության շրջանակներում, ինչպես նաև ներկայացված է ՄԴՏՄՄ համակրգչային նմանական առանձնահատկությունները՝ սահմանափակ տարրերով մոդելավորման (USU) օգնությամբ:

2.1 պարագրաֆում վերլուծված են տարածման գծային տեսության հիմնական դրույթները բազմաշերտ բարակ թաղանթային կառուցվածքների համար: Այսպիսի համակարգի համար ընդհանուր կոմպլեքս իմպեդանսը որոշվում է՝ հաշվի առնելով երկու հարևան շերտերի համար իմպեդանսի հաշվման բանաձևը [3]

$$Z_{in} = Z_n \frac{Z_{n+1} + jZ_n \tan(k_n t_n)}{Z_n + jZ_{n+1} \tan(k_n t_n)}, \quad (1)$$

որտեղ Z_n , k_n և t_n համապատասխանաբար n -րդ շերտի սեփական կոմպլեքս իմպեդանսը, ալիքային թիվը և հաստությունն են: Իսկ համակարգի կոմպլեքս ՄԱԳ-ը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [3]

$$S_{11} = 20 \log \left| \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right|, \quad (2)$$

որտեղ Z_0 -ն զոնդի սեփական իմպեդանսն է և հավասար է 50 օհմ: Դուրս են բերված նաև սեփական իմպեդանսի և ալիքային թվի բանաձևերը հաղորդիչների, կիսահաղորդիչների և դիէլեկտրիկների համար:

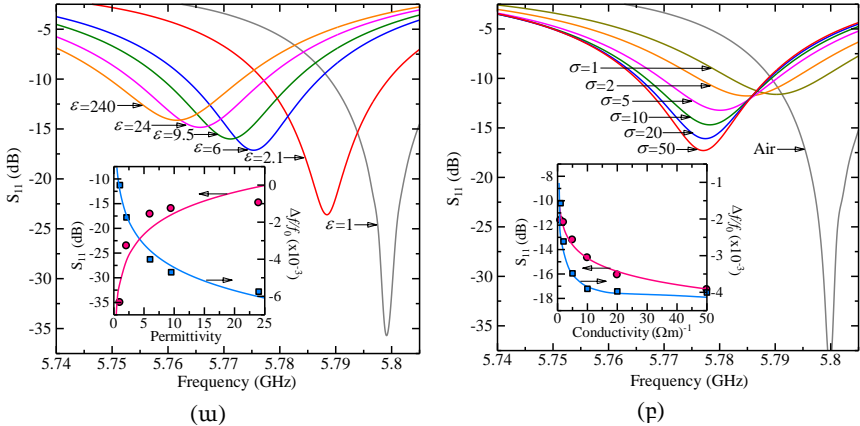
2.2 պարագրաֆը նվիրված է խոտորումների տեսությանը և համակարգի ՌՀՇ-ի որոշմանը՝ նրա նյութական բնութագրիչներից մեկի կամ մի քանիսի փոփոխման պատճառով: Ընդհանուր դեպքում այն տրվում է հետևյալ բանաձևով [3]

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{f - f_0}{f_0} = - \frac{\int_{v_0} \left(\Delta \varepsilon |E_0|^2 + \Delta \mu |H_0|^2 \right) dv}{\int_{v_0} \left(\varepsilon |E_0|^2 + \mu |H_0|^2 \right) dv}, \quad (3)$$

որտեղ ε -ն և μ -ը նյութի համապատասխանաբար դիէլեկտրիկ և մագնիսական թափանցելիություններն են:

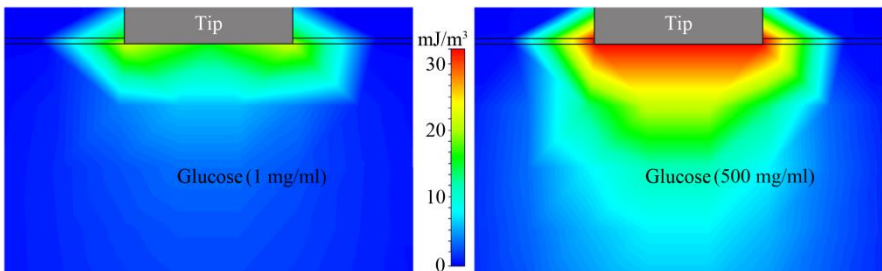
2.3 պարագրաֆում քննարկված է ՄԴՏՄՄ համակարգչային USU նմանակումը և ներկայացված են մի շարք ծրագրերով (COMSOL, CST HFSS և այլն) ստացված փորձի թվային նմանական արդյունքները: Մասնավորապես, Նկ. 2-ում բերված են (ա) տարբեր դիէլեկտրիկ թափանցելիությամբ մեկուսիչ և (բ) տարբեր հաղորդականությամբ մետաղական գլանաձև նմուշների ՄԴՏՄՄ համակարգչային նմանական արդյունքները՝ ստացված COMSOL ծրագրային

փաթեթում: Ինչպես երևում է Նկ. 2-ից ՄԱԳ-ը ուղիղ համեմատական է դիէլեկտրիկ թափանցելիությանը և հակադարձ համեմատական՝ հաղորդականությանը: Իսկ ՌՀՇ-ն երկու դեպքում էլ հակադարձ համեմատական է նյութական բնութագրիչներին՝ հետագա հազեցման վարքագծով:



Նկ. 2: ՄՂՏՄՍ համակարգչային ՄՏՍ նմանակման արդյունքները (ա) դիէլեկտրիկների և (բ) մետաղների համար 5.8 ԳՀց աշխատանքային հաճախության համար:

Նշենք, որ իրական փորձի և համակարգչային նմանակման արդյունքների որոշ տարբերությունները պայմանավորված են փորձի՝ ծրագրում ամբողջական արտապատկերման տեխնիկական սահմանափակումների հետ, որը սակայն չի խանգարում նրա մոդելավորման և կանխատեսելի ֆիզիկական արդյունքների ստացմանը և վերլուծությանը:

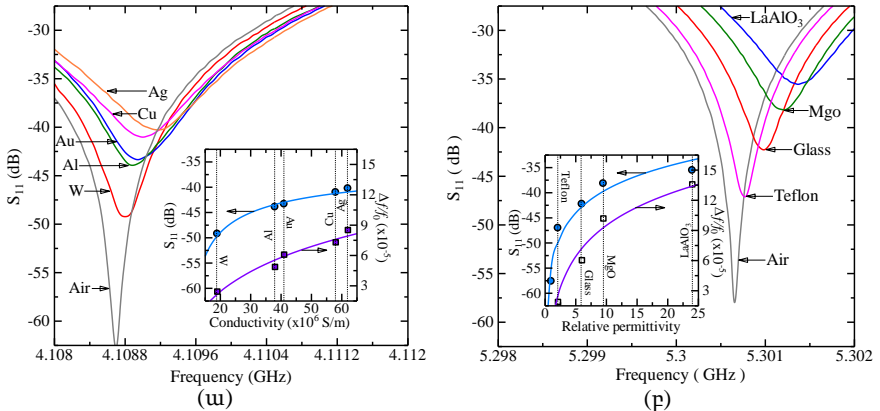


Նկ. 3: Էլեկտրական էներգիայի խտության բաշխվածության համակարգչային նմանակումը CST ծրագրում՝ տարբեր խտություններով գլյուկոզի ջրային լուծույթների համար:

2.4-2.6 պարագրաֆներում բերված են USU եղանակով ստացված ՄՐՏՄՍ պատկերները ատենախոսությունում քննարկված մի շարք խնդիրների համար: Մասնավորապես, Նկ. 3-ում ցուցադրված է էլեկտրական էներգիայի խտության բաշխվածության համակարգչային նմանակման (CST ծրագրում) արդյունքները միկրոսլիքային զոնդի և տարբեր խտություններով ((ա) 1 մգ/մլ և (բ) 500 մգ/մլ) գլյուկոզի ջրային լուծույթների փոխազդեցության համար:

Երրորդ գլխում ներկայացված են ՄՐՏՄՍ դիտարկման փորձարարական արդյունքները և վերլուծությունները գիտական հետաքրքրություն ներկայացնող մի շարք խնդիրների համար:

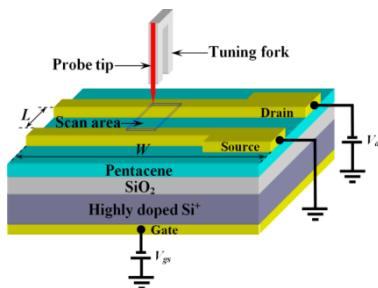
3.1 պարագրաֆում հետազոտված են մի շարք դիէլեկտրիկական և մետաղական նյութերի էլեկտրամագնիսական բնութագրերը: Օրինակ, ՄՐՏՄՍ եղանակով չափվել են լավ հաղորդիչ մետաղների հաղորդականությունը և ցույց է տրվել, որ մետաղի հաղորդականության աճին զուգընթաց աճում է ՄԱԳ-ը և մեծանում է ՌՀՇ-ն (դեպի բարձր հաճախությունների կողմը):



Նկ. 4: Չափված ՄԱԳ-ը (ա) մետաղական և (բ) դիէլեկտրիկական նմուշների համար: Ներդիրներում պատկերված են ՄԱԳ-ի և ՌՀՇ-ի կախվածությունները (ա) մետաղի հաղորդականությունից և (բ) հարաբերական դիէլեկտրիկ թափանցելիությունից:

Չափումների արդյունքները, որոնք բավականին լավ համընկնում են տարածման գծի տեսության շրջանակներում կատարված հաշվարկների հետ, բերված են Նկ. 4 (ա)-ում: ՄՐՏՄՍ չափման արդյունքները դիէլեկտրիկական նմուշների համար բերված են Նկ. 4 (բ)-ում: Նորից, ՄԱԳ-ը և ՌՀՇ-ն ցույց են տալիս աճող վարք նյութի դիէլեկտրիկական թափանցելիության աճի դեպքում: Նշենք, որ չափումների զգայունությունը համեմատաբար մեծ է դիէլեկտրիկ թափանցելիության 10-ից փոքր արժեքների դեպքում և հատկապես փոքրանում է 100-ից մեծ արժեքների դեպքում:

3.2-3.3 պարագրաֆներում հետազոտված են օրգանական կիսահաղորդչային բարակ թաղանթների էլեկտրամագնիսական և ծավալային հատկությունները: Վերջերս բազմաթիվ հետազոտողների ուշադրության կենտրոնում են օրգանական կիսահաղորդչային սարքերը ինչպիսիք են օրգանական բարակ թաղանթային դաշտային տրանզիստրոնները (ՕԴՏ) և օրգանական լուսաճառագայթային դիոդները (ՕԼԴ) [7]: Այդպիսի սարքերում առանցքային երևույթներ են լիցքակիրների ներմուծումը և առանձնացումը մետաղ-կիսահաղորդիչ սահմանին: Այս տեսանկյունից կարևոր են դառնում այդ սահմանին լիցքակիրների բաշխվածության արտապատկերման հնարավորությունները: Մետաղ-կիսահաղորդիչ սահմանին տարածական լիցքերի քանականական բնութագրման եղանակներից է մակերևութային պոտենցիալի չափորոշումը Կելվինի գոնդավորման եղանակով [8], որը սակայն թույլ չի տալիս գաղափար կազմել լիցքակիրների խորքային դասավորվածության մասին: Կիսահաղորդչային սարքում տարբեր գործընթացների (լիցքակիրների ներմուծում, աղբաստացման և հարստացման գոտիների ստեղծում, էլեկտրական դաշտից կախյալ շարժում և այլն) ընթացքում լիցքակիրների ծավալային բաշխվածությունը արտապատկերելու նպատակով օգտագործվել է ՄԴՏՄՄ ոչ կոնտակտային տեղագրման եղանակը: Մասնավորապես, ՄԴՏՄՄ մեթոդով ուսումնասիրվել են Alq_3 , CdS , $CuPc$ և $Pentacene$ կիսահաղորդիչներում լիցքակիրների շարժունակությունը, տարածական բաշխվածությունը ՕԴՏ-ի հաղորդիչ ուղում, հաղորդականությունը և լուսահաղորդականությունը: Ինչպես նաև մի շարք կիսահաղորդչային սարքերի կարևոր հատկությունների բարելավման ինդիկատորները դրանց պատրաստման ընթացքում կիսահաղորդչային շերտերի ջերմային մշակման նպաստավոր պայմանների որոշմամբ: Չափումները նաև լրացուցիչ ստուգվել և հաստատվել են այլ մանրադիտակների և գործիքների միջոցով (տեսաձրող էլեկտրոնային մանրադիտակ, ԱՈԻՄ, մագնիսական ուժային մանրադիտակ (ՄՈԻՄ), ռենտգենյան դիֆրակցիայի և օպտիկական ԵՀԳ-ի մեթոդներ, էլեկտրական 4 գոնդ չափումներ, և այլն):



Նկ. 5: ՕԴՏ-ի սխեմատիկ պատկերը՝ էլեկտրական միացումներով:

Փորձերում օգտագործված ՕՂՏ-ները վերին կոնտակտային են, որի ընդհանուր սխեմատիկ կառուցվածքը բերված է Նկ. 5-ում: Հաղորդող ուղղու երկարությունը և լայնությունը համապատասխանաբար 50 մկմ և 3 մմ են:

Պենտացինը տիպիկ խոռոչային հաղորդականությամբ կիսահաղորդիչ է, որում հոսող հոսանքը կայունացված ռեժիմում ունի հետևյալ տեսքը [9]

$$j(x) = \sigma(x)E(x) = en(x)\mu \frac{V_{ds}}{\sqrt{L(L-x)}} = \text{const}, \quad (4)$$

որտեղ μ -ն, լիցքակիրների շարժունակությունն է, իսկ $\sigma(x)$ -ն, $n(x)$ -ն, և $E(x)$ -ն, համապատասխանաբար հաղորդականությունը, լիցքակիրների խտությունը և էլեկտրական դաշտն է հաղորդող ուղղու կամայական x դիրքում: Կայունացված ռեժիմում պոտենցիալ և էլեկտրական դաշտի բաշխվածությունները որոշվում են հետևյալ բանձներով [9]

$$V(x) = V_{ds} \sqrt{\frac{L-x}{L}} + V_{gs} - V_{ds}, \quad E(x) = \frac{V_{ds}}{2\sqrt{L(L-x)}}, \quad (5)$$

որտեղ L -ը հաղորդող ուղղու երկարությունն է, իսկ V_{gs} -ը և V_{ds} -ը համապատասխանաբար «ակունք-փական» և «արտաբեր-փական» բացասական լարումներն են: Խոռոչների կուտակումը տեղի է ունենում x դիրքում, երբ $V(x) < 0$:

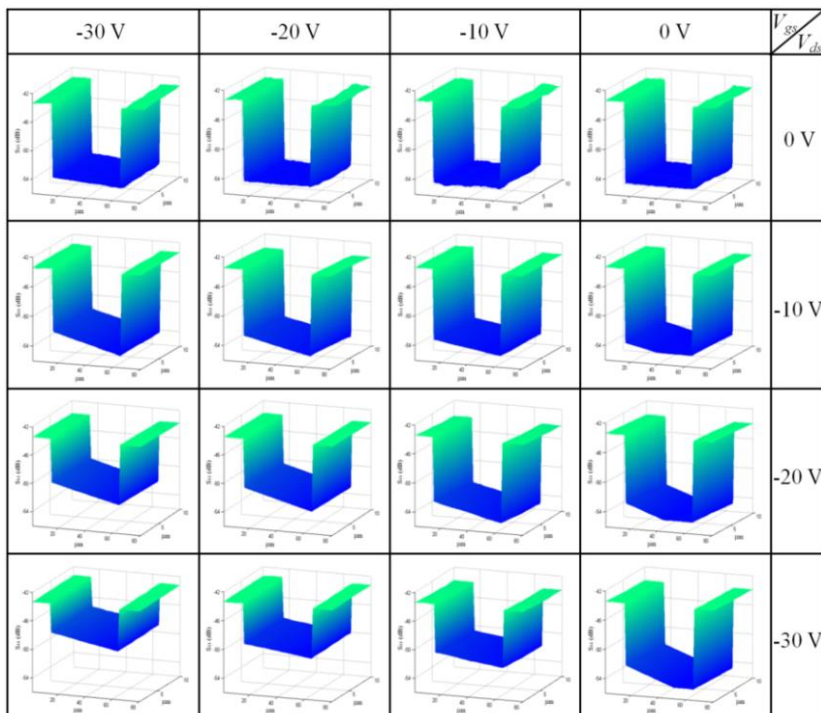
Մյուս կողմից, կուտակումը բացակայում է $x_p \leq x$ տիրույթում: Այստեղ $V(x_p) = 0$ և x_p որոշվում է հետևյալ արտահայտությունից $x_p = (1 - (1 - V_{gs}/V_{ds})^2)L$: ՕՂՏ-ի քառաշերտ համակարգի համար տարածման գծի տեսության վերլուծությունից ՕՂՏ-ի ընդհանուր մուտքային իմպեդանսի համար գտնվել է հետևյալ արտահայտությունը [9]

$$Z_m = Z_a k_a t_{s^*} \left(1 - \sqrt{\frac{\pi \mu_0}{\sigma_{Au}}} \sigma_p t_p \right), \quad (6)$$

որտեղ and σ_p -ն և t_p -ն համապատասխանաբար պենտացինի հաղորդականությունը և շերտի հաստությունն են: Պենտացինային ՕՂՏ-ի էլեկտրական հատկությունները ուսումնասիրվել են չափելով նրա ՄԱԳ-ը, որը կապված է մուտքային իմպեդանսի հետ (2) արտահայտությամբ: Նկար 6-ում ցուցադրված են ՕՂՏ-ի հաղորդող ուղղու ՄՂՏՄՄ պատկերները՝ տարբեր լարումների համար: ՄՂՏՄՄ պատկերների վարքագիծը համընկնում է խոռոչային կիսահաղորդիչների վոլտ-ամպերային բնութագծի (ՎԱԲ) հետ: Մինևույն ժամանակ ՄՂՏՄՄ պատկերները արտապատկերում են հաղորդականության բաշխվածությունները ուղղու երկայնքով, որը պայմանավորված լիցքակիրների տեղաշարժով և կուտակմամբ կարելի է արտահայտել հետևյալ կերպ [9]

$$\sigma = \sigma_0 + \begin{cases} \mu C_g \left[V_{ds} \left(1 - \sqrt{\frac{L-x}{L}} \right) - V_{gs} \right], & 0 \leq x \leq x_p; \\ 0; & x \geq x_p. \end{cases} \quad (7)$$

ՄՐՏՄ չափումներից դուրս բերված հաղորդականության բաշխվածության մեկ օրինակ է բերված Նկ. 7 (ա)-ում:

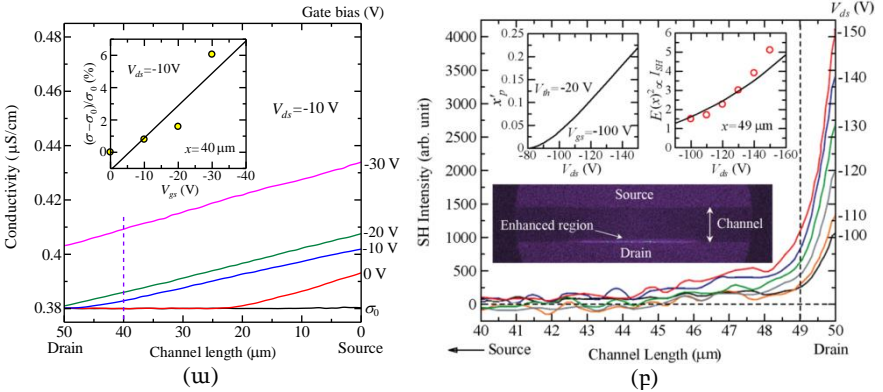


Նկ. 6: ՕՐՏ-ի հաղորդող ուղղու եռաչափ ՄՐՏՄ պատկերները տարբեր բացասական լարումների համար:

Երբ «փականի» բացասական լարումը աճում է, հաղորդականության փոքր արժեք է դիտվում «արտաբերի» մոտ, մինչդեռ «ակունքի» մոտ հաղորդականությունը մեծանում է, որը պայմանավորված է լրացուցիչ լիցքակիրների ներմուծմամբ: Մյուս կողմից $V_{gs} = 0$ դեպքում, x_p կետը համապատասխանում է լիցքակիրների հարստացման և աղքատացման սահմանին:

Բերված արդյունքները հաստատվում և լրացվում են նաև ԵՀԳ չափումներով: Երկրորդ հարմոնիկի զոնդը չափում է ստատիկ էլեկտրական դաշտը $E(x)$ ՕՐՏ-ի

հաղորդող ուղղու կամայական կետում: Բսկ ստատիկ էլեկտրական դաշտի և հաղորդականության միջև կապը որոշվում է (4) արտահայտությամբ: ԵՀԳ չափումների արդյունքները բերված են Նկ. 7 (բ)-ում: Այս դեպքում էլ հասակորեն նկատվում է էլեկտրական դաշտի զգալի մեծացում փոքր հաղորդականությամբ տիրություն, այսինքն «արտաբերի» մոտ: Այսպիսով, ՄԴՏՄՄ-ն և ԵՀԳ մեթոդները փոխլրացնում են միմյանց, և նրանց համակցումը կարող է էֆֆեկտիվ գործիք դառնալ կիսահաղորդիչներում ընթացող գործընթացների ուղղակի բնութագրման համար:

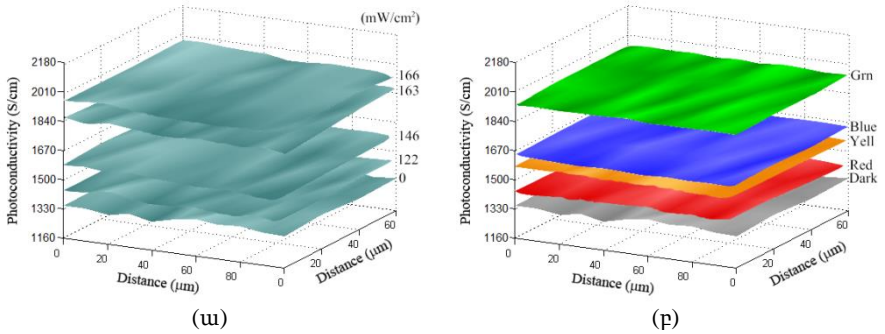


Նկ. 7: ՕԴՏ-ի հաղորդիչ ուղղում (ա) հաղորդականության բաշխվածությունը և (բ) ԵՀԳ ազդանշանի ինտենսիվությունը տարբեր բացասական լարումների դեպքում:

ՕԴՏ-ի էլեկտրական հատկությունների էական բարելավման կարելի է հասնել նաև ՕԴՏ-ի պատրաստման ընթացքում կիսահաղորդչային շերտի ջերմային մշակման արդյունքում: Այսպես, ռուբրենի 200 նմ շերտի նստեցումից հետո 80 °C-ում թրծումից և այնուհետև 40 °C-ում սստեցումից հետո ՕԴՏ-ի հաղորդող ուղղու հաղորդականությունը աճել է մոտ 5 անգամ, իսկ լիցքակիրների շարժունակությունը՝ մոտ 2 անգամ: Միաժամանակ «փականի» շենային լարումը նվազել է 2.5 Վ-ով: Ասվածը հաստատվում է ռուբրենային ՕԴՏ-ի չափված ՎԱԲ-ով:

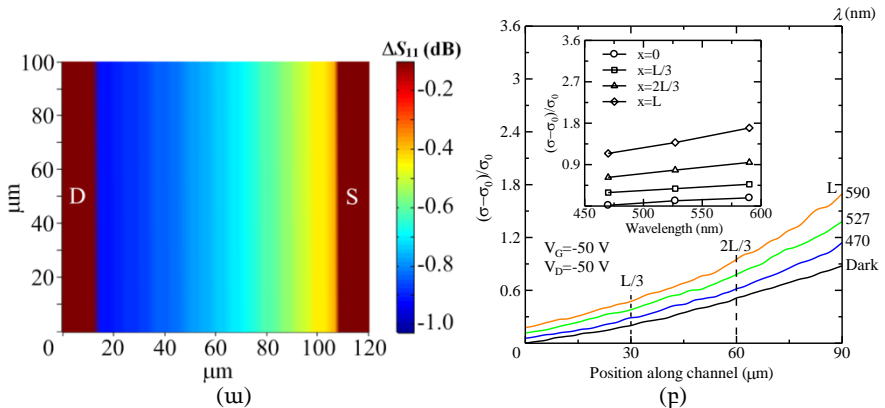
3.4 պարագրաֆում ուսումնասիրված են լուսազգայուն հետերոսոստիկների (արևային տարբեր) և լուսազգայուն կիսահաղորդչային սարքերի (ՕԴՏ, ՕԼԴ) հատկությունները ՄԴՏՄՄ եղանակով: Մասնավորապես, հետազոտվել են սիլիցիումային արևային տարրի լուսահաղորդականության առանձնահատկությունները՝ ընկնող լուսի տարբեր ինտենսիվությունների և ալիքի երկարությունների դեպքում [10]: Ինչպես նաև տեղագրվել են արևային տարրում լուսահաղորդականության տարածական բաշխվածությունները՝ ընկնող լուսի տարբեր պայմաններում, որոնք բերված են Նկ. 8-ում: Ինչպես երևում է Նկ. 8-ից, ընկնող լուսի ինտենսիվության աճի հետ մեծանում է նաև

լուսահաղորդականությունը, իսկ ալիքի երկարությունների փոփոխման դեպքում առավելագույն լուսահաղորդականությունը ստացվում է 526 նմ մոնաքրոմատիկ լույսի դեպքում, որը տիպական է սիլիցիումային արևային տարրերի համար:



Նկ. 8: Արևային տարրի ՄԴՏՄ արտապատկերներից ստացված լուսահաղորդականության եռաչափ բաշխվածությունները ընկնող լույսի տարբեր (ա) ինտենսիվությունների (122÷166 մՎտ/սմ²) և (բ) ալիքի երկարությունների (460÷625 նմ) դեպքում:

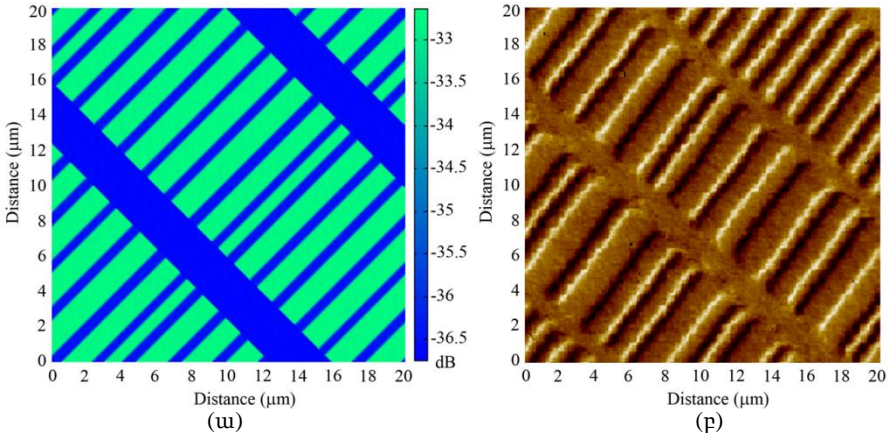
Նկար 9-ում ներկայացված են լուսազգայուն կիսահաղորդչային շերտով պենտացինային ՕԴՏ-ի հաղորդող ուղղու երկայնքով (ա) չափված ՄԱԳ-ի փոփոխության և (բ) հաշվված լուսահաղորդականության բաշխվածությունները ընկնող լույսի տարբեր ալիքի երկարությունների համար:



Նկ. 9: Պենտացինային ՕԴՏ-ի (ա) ՄԴՏՄ պատկերը և (բ) լուսահաղորդականության բաշխվածությունը հաղորդող ուղղու երկայնքով՝ ընկնող լույսի տարբեր ալիքի երկարությունների (470÷590 նմ) դեպքում:

Լուսահաղորդականության առավելագույն արժեքներ ստացվել են ՕՂՏ-ի մակերևույթը 590 նմ ալիքրի երկարությամբ մոնոքրոմատիկ լույսով լուսավորելիս, ընդ որում նույն արտաքին լուսավորության պայմաններում լուսահաղորդականության ավելի մեծ արժեք ստացվել է «ակունքի» մոտ, քանի որ պենտացինը *p*-տիպի կիսահաղորդիչ է: Նշենք նաև, որ պենտացինային ՕՂՏ-ի այս վարքագիծը ճշտորեն համընկնում է պենտացինի օպտիկական կլանման բնութագրի հաստ (ներկայացված է ատենախոսությունում):

3.5 պարագրաֆում հետազոտված է ֆերոմագնիսական բարակ թաղանթային նյութերում մագնիսական դոմենների կառուցվածքը ՄՂՏՄՄ-ի օգնությամբ: Մագնիսական դոմենների կառուցվածքային առանձնահատկությունների (խտություն, դասավորվածություն) մեծ ճշգրտությամբ բնութագրումը կարևոր նշանակություն ունի ժամանակակից օպտո-մագնիսական կրիչների, ինչպիսին է համակարգչային կոշտ սկավառակը (ՀԿՄ), հետագա զարգացման և կատարելագործման համար:

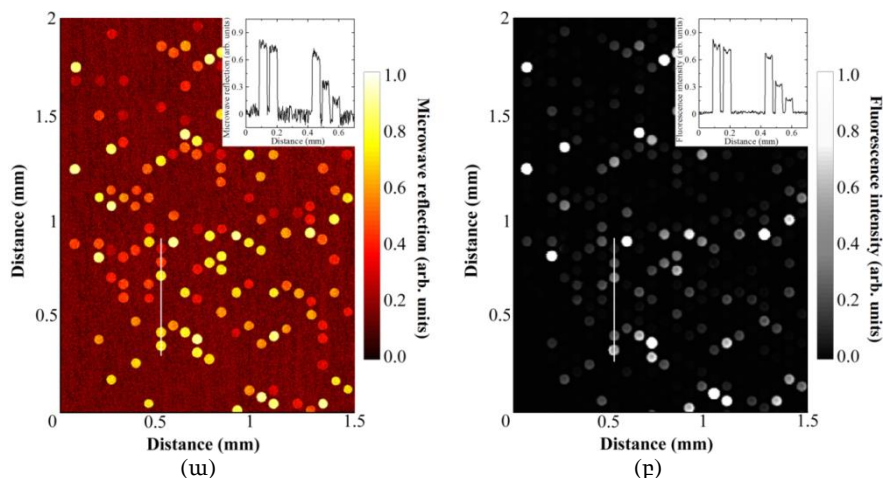


Նկ. 10: ՀԿՄ-ի դոմեններ (ա) ՄՂՏՄՄ և (բ) ՄՈՒՄ պատկերները:

ՄՂՏՄՄ մեթոդը թույլ է տալիս արտապատկերել մագնիսական դոմենների կառուցվածքային բաշխվածությունը ՀԿՄ-ում ենթամիկրոմետրական ճշտությամբ: Փորձում օգտագործված ՀԿՄ-ն հնգաշերտ (Carbon/CoCrPtTa/Ru/CoMo/NiP/Al) սկավառակ է՝ տիպական երկայնական գերխիտ օպտո-մագնիսական կրիչների համար: Նկար 10-ում բերված են նշված ՀԿՄ-ի (ա) ՄՂՏՄՄ և (բ) ՄՈՒՄ պատկերները: Պատկերներում նկատվող որոշակի անհամընկնումների պատճառը ՄՂՏՄՄ գոնդի մագնիսական էկրանացման բացակայությունն է, որը բերում է լրացուցիչ գոնդ-նմուշ պարագիտային ունակության առաջացման և որպես հետևանք՝ չափումների աղավաղման: Այնուամենայնիվ, ՄՂՏՄՄ պատկերը թույլ է տալիս ընդհանուր գաղափար կազմել մագնիսական դոմենների կառուցվածքի մասին:

3.6 պարագրաֆում ներկայացված են կենսաբանական նմուշների ՄԴՏՄ կիրառությունների արդյունքները: Մասնավորապես, ուսումնասիրվել և տեղագրվել են ԴԼԹ, ԻԿՄ և կենսաբանական ռոդոպսինի խմբերի էլեկտրամագնիսական հատկությունները միկրոալիքային տիրույթում: Ինչպես նաև առաջարկվել է ՀՄՀ կառուցվածքը պոտենտոռոդոպսինի լուսազգայունությունը իրական ժամանակում ուսումնասիրման համար:

ԴԼԹ միաշերտերում հիբրիդիզացման աստիճանը գնահատելու նպատակով օգտագործվել է ՄԴՏՄ զոնդը, իսկ ստացված արդյունքները համեմատվել են Agilent ֆլուորոցենտային տեսածրիչով (ՖՏ) ստացված արտապատկերների հետ: ՄԴՏՄ մեթոդը ի տարբերություն ՖՏ-ի թույլ է տալիս տեսածրումը կատարել առանց լրացուցիչ ավելցուկների (label-free) և առանց նմուշի հետ անմիջական հպման (non-contact): Նկ. 11-ում բերված են 1.5×2 մմ² մակերեսով 60-չափանի ԴԼԹ կենսակառուցվածքի ՄԴՏՄ և ՖՏ պատկերները: Ինչպես երևում է Նկ. 11-ից երկու մեթոդների դեպքում էլ պայծառության գրադիենտի վարքագծերը նման են, իսկ տեսածրման լուծողականությունը ՄԴՏՄ դեպքում գործնականում կարելի է հասցնել մինչև 30 նմ-ի՝ ենթակառուցվածքի 60 մկմ տրամագծի դեպքում: Չափումների ճշտության ՄԴՏՄ և ՖՏ կորելացիայի գործակիցը նույնպես բավականին մեծ է՝ 0.9923:



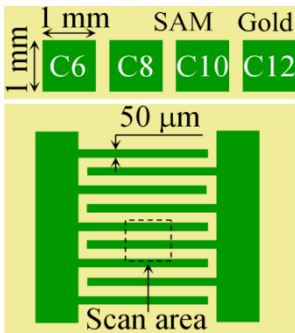
Նկ. 11: 60-չափանի ԴԼԹ կենսակառուցվածքի (ա) ՄԴՏՄ և (բ) ՖՏ երկչափ պատկերները: ԴԼԹ ենթակառուցվածքի մեկ խմբի տրամագիծը մոտ 60 մկմ է:

Օրգանական միաշերտ համակարգերի լավ մոդել է մետաղի շերտին կապված ԻԿՄ թաղանթների օրինակը [11], որոնք ունեն բարձր կողմնորոշվածություն և դասավորվածություն: ՄԴՏՄ-ն թույլ է տալիս տեղագրել այդպիսի միաշերտերը կառուցվածքային առանձնահատկությունները նույնիսկ եթե համակարգում կան կապի շղթայի տարբեր ԻԿՄ մոլեկուլներ (Նկ. 12 (ա)): ԻԿՄ միաշերտի հաստության Δt

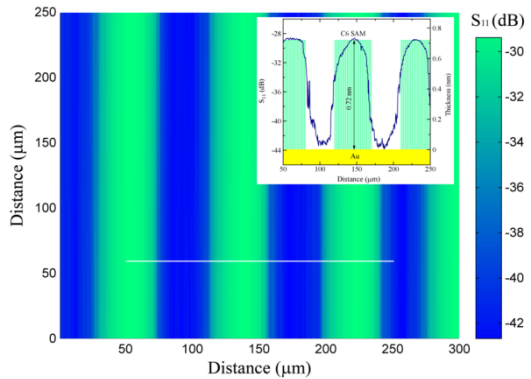
փոփոխության և ՄԱԳ-ի փոփոխության կապը կարելի է պարզորեն ներկայացնել հետևյալ տեսքով [11]

$$\Delta S_{11} = 20 \log \frac{Z_n k_n \Delta t}{2Z_0}, \quad (8)$$

որտեղ Z_n -ը և k_n -ը համապատասխանաբար ԻԿՄ իմպեդանսն ու ալիքային թիվն են: ՄԱԳ-ի արժեքը մեծանում է ԻԿՄ շերտի հաստության աճման հետ: Նկար 12 (բ)-ում պատկերված է 0.72 նմ միաշերտի հաստությամբ C6 (hexanethiol) ԻԿՄ-ի ՄՂՏՄՄ արտապատկերը: Հստակորեն տարանջատված են տարածության այն տիրույթները, որտեղ կան ԻԿՄ-ի մոլեկուլները: Կարելի է պնդել, որ կապի շղթայի տարբեր մոլեկուլներով է (մեթիլ, OH կամ COOH) պայմանավորված ԻԿՄ-ի ընդհանուր դիֆրեկտրիկ թափանցելիությունը միկրոալիքային տիրույթում:



(ա)



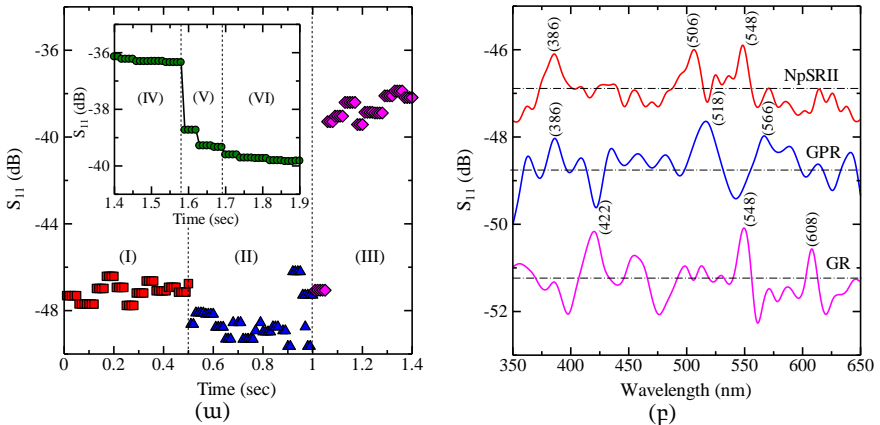
(բ)

Նկ. 12: (ա) Ոսկու մակերևութին կապված ԻԿՄ տարբեր մոլեկուլների սխեմատիկ կառուցվածքը և տեսաձրման տիրույթը: (բ) C6 ԻԿՄ երկչափ ՄՂՏՄՄ արտապատկերը և լայնական հաստույթի մակերեսը:

Միկրոկենսաբանական ռոդոպսինը հայտնի է որպես լուսազգայուն սպիտակուց, որը մտնում է սենսորային ռեցեպտորների (օրինակ աչքի ցանցաթաղանթի) կազմության մեջ: Նրա տարատեսակները բակտերիոռոդոպսինը (BR), կանաչ լույսի կլանմամբ պրոտեոռոդոպսինը (GPR) և գլեոբակտերային ռոդոպսինը (GR) կարող են հանդիսանալ լուսային ֆոտոնների ակտիվ մոլիչներ: Իսկ սենսորային II ռոդոպսինը (NpSRII) ցուցաբերում է ֆունկցիոնալ ակտիվություն կապույտ և կանաչ լույսերի նկատմամբ և հանդիսանում է էներգիային տեղափոխման պարզագույն կենսաբանական սարք: Այն նաև չափազանց կայուն է տարբեր աղերի նկատմամբ: NpSRII-ում լուսային անցման փուլերում օպտո-էլեկտրական վիճակների ճշգրիտ նկարագրման համար օգտագործվել է ՄՂՏՄՄ-ն [12]:

Լուսաանցման փուլում գոյություն ունեն NpSRII-ի երեք վիճակներ՝ G-հիմնական (կանաչ լույսի ուժեղ կլանմամբ՝ առավելագույնը 500 նմ-ի դեպքում), M-միջանկյալ (կապույտ շեղմամբ) և O-միջանկյալ (դեղին շեղմամբ), որից 0.5 վայրկյան հետո համակարգը վերադառնում է G-հիմնական վիճակին:

Նկար 13 (ա)-ում բերված է ՄԱԳ-ի ժամանակային սպեկտրը NpSRII-ի համար՝ լուսային ճառագայթման հետևյալ պայմաններում. (I) ցածր ինտենսիվության սպիտակ լույսի և (II) բացարձակ մթություն և (III) 500 նմ ալիքի երկարությամբ մոնոքրոմատիկ լույս: Ներդիրում ցույց են տրված NpSRII-ի ՄԱԳ-ի ժամանակային սպեկտրը (IV) G-հիմնական, (V) M-միջանկյալ և (VI) O-միջանկյալ վիճակների համար: Չափումները ցույց են տալիս, որ NpSRII-ում լուսը ակտիվորեն կլանվում է 500 նմ ալիքի երկարության շրջակայքում, որը հաստատում են նաև այլ հետազատողներ [13]: Լուսաանցումային փուլերը ամենակարճ՝ 180 մվ տևում է M-միջանկյալ վիճակը: Իսկ ռոդոպսինի նշված տարատեսակներից ամենամեծ միկրոալիքային արձագանք ունի NpSRII-ը՝ 386 նմ, 506 նմ և 548 նմ ալիքի երկարությամբ կլանման մաքսիմումներով՝ G-հիմնական, M-միջանկյալ և O-միջանկյալ վիճակներին համապատասխան (Նկ. 13 (բ)): Այսպիսով, կարելի է պնդել, որ ՄԴՏՄ-ը թույլ է տալիս ուսումնասիրել նաև վիճակային փոփոխությունները սպիտակուցներում և այլ օրգանական միացություններում:



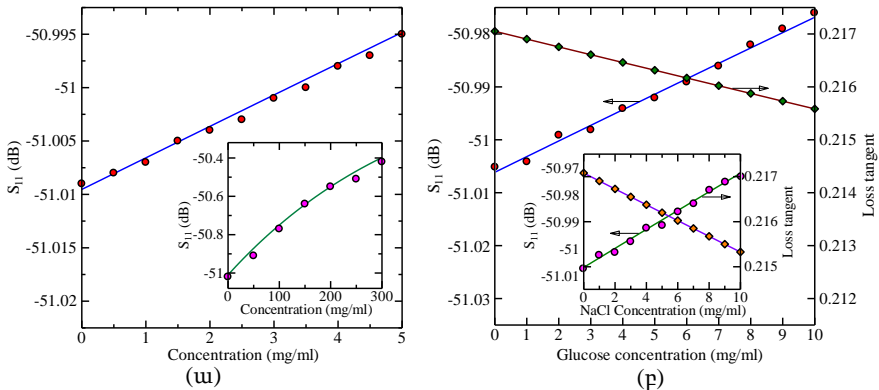
Նկ. 13: (ա) NpSRII-ի ՄԱԳ-ի ժամանակային սպեկտրը (I) ցածր ինտենսիվության սպիտակ լույսի և (II) բացարձակ մթության և (III) 500 նմ ալիքի երկարությամբ մոնոքրոմատիկ լույսի պայմաններում: Ներդիրը ցույց է տալիս NpSRII-ի ՄԱԳ-ի ժամանակային սպեկտրը (IV) G-հիմնական, (V) M-միջանկյալ և (VI) O-միջանկյալ վիճակների համար: (բ) Չափված ՄԱԳ-ի ալիքային սպեկտրը NpSRII-ի, GPR-ի և (c) GR-ի համար:

3.7 պարագրաֆում ներկայացված են ՄԴՏՄ եղանակով կենսաբանական լուծույթների և խառնուրդների բնութագրման արդյունքները: Ջրում լուծելի մի

շարք նյութերի (գլյուկոզ, աղ և այլն) լուծույթները կարևոր դեր են խաղում կենդանի օրգանիզմներում նյութափոխանակման և օգտակար միացությունների միացման և տեղափոխման գործում: Կախված լուծույթում դրանց խտությունից՝ փոխվում են հեղուկի ընդահանուր կենսաբանական և ֆիզիկական հատկությունները: Հետևապես, նրանց լուծույթում խտության որոշման և վերահսկման խնդիրները կարևոր են դառնում ժամանակակից բժշկական, քիմիական և կենսաբանական հետազոտություններում, ինչպես նաև սննդի պատրաստման և որակի վերահսկման բնագավառում:

Չնայած լուծույթում նյութի խտության գոյություն ունեցող մի շարք եղանակներ (ամպերոմետրական [14], օպտո-քիմիական [15] և այլն) բարեհաջող օգտագործվում են այս խնդիրների լուծման նպատակով և լայն ճանաչում են գտել, այնուամենայնիվ, դրանց գործողության տիրույթը սահմանափակված է նմուշի տեսակով և ձևով, ինչպես նաև դրանք ներթափանցող են (invasive), իսկ չափումները ոչ միշտ են կատարվում իրական ժամանակում (real-time):

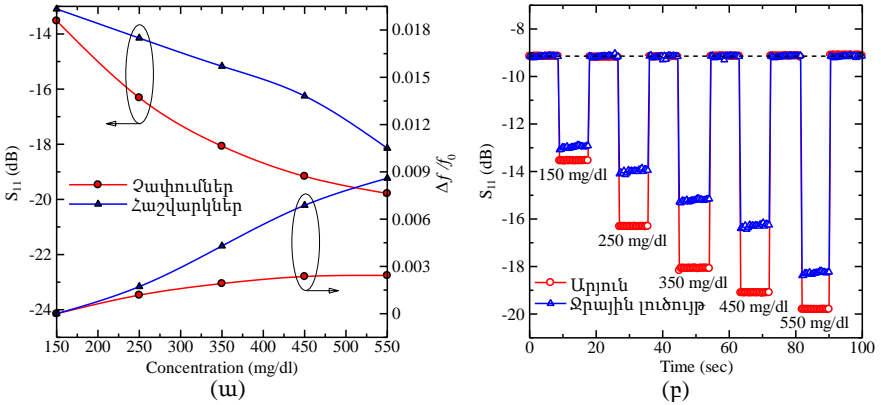
Այս խնդիրներից գերծ է ՄՂՏՄ մեթոդը, որը թույլ է տալիս իրականացնել կենսաբանական մոնիթորինգը իրական ժամանակում, առանց նմուշ ներթափանցման (non-invasive) անհրաժեշտության [16]:



Նկ. 14: (ա) Չափված ՄԱԳ-ը որպես ֆունկցիա լուծույթում գլյուկոզի խտությունից: (բ) Գլյուկոզ և կերակրի աղի խառնուրդային լուծույթում ՄԱԳ-ի և կորուստների տանգենտի կախվածությունը գլյուկոզի խտությունից, երբ աղի խտությունը հաստատուն է (1 մգ/մլ): Ներդիրում բերված են նույն չափումների արդյունքները, երբ գլյուկոզի խտությունն է պահվում հաստատուն (1 մգ/մլ):

Օրինակ՝ գլյուկոզի ջրային լուծույթում գլյուկոզի խտության որոշման չափումների որոշ արդյունքներ ներկայացված են Նկ. 14-ում: Փոքր և մեծ (ներդիր) խտությունների տիրույթում գլյուկոզի ջրային լուծույթի ՄԱԳ-ի կախվածությունը գլյուկոզի խտությունից բերված է Նկ. 14 (ա)-ում: Ինչպես երևում է փոքր խտությունների տիրույթում ՄԱԳ-ը ունի համարյա գծային կախվածություն գլյուկոզի խտությունից: Այսպիսի վարքագիծը բացատրվում է

այն հանգամանքով, որ գլյուկոզի խտությամբ է որոշվում ընդհանուր լուծույթի դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը, որն էլ իր հերթին պայմանավորում է լուծույթի սեփական իմպեդանսը և ուրեմն ՄԱԳ-ը: Ազդանշան-աղմուկ հարաբերությունը այս չափումների դեպքում մոտ 51 դԲ է, իսկ խտության փոքրագույն չափելի փոփոխությունը մոտ 0.5 մգ/մլ: ՄՐՏՄՄ մեթոդը թույլ է տալիս նաև տարբերակել լուծույթում երկու և ավելի լուծված նյութերի խտությունների փոփոխությունները, ինչպես ցույց է տրված Նկ. 14 (բ)-ում, որտեղ բերված են գլյուկոզի և կերակրի աղի (NaCl) խառնուրդային լուծույթում լուծված նյութերից մեկի խտության փոփոխության որոշման ՄՐՏՄՄ արդյունքները, երբ մյուս լուծված նյութի խտությունը մնում է հաստատուն: Նշենք, որ երկու լուծված նյութերի խտությունների փոփոխությունները իրարից անկախ որոշելու համար անհրաժեշտ են լրացուցիչ չափումներ, ասենք կորուստների տանգենսի կամ համակարգի բարորակության համար:



Նկ. 15: (ա) Չափված և հաշվված ՄԱԳ-ի և ՌՇՀ-ի կախվածությունները հեղուկում գլյուկոզի խտությունից: (բ) Իրական ժամանկում ՄԱԳ-ի փոփոխման վարքագիծը գլյուկոզի ջրային լուծույթում և խոզի արյան մեջ գլյուկոզի խտության փոփոխության պայմաններում:

ՄՐՏՄՄ-ն թույլ է տալիս նաև որոշել նյութերի խտությունները ավելի բարդ հեղուկ համակարգերում [16]: Օրինակ, այս մեթոդով հնարավոր է իրական ժամանակում առանց օրգանիզմ ներթափանցման վերահսկել գլյուկոզի խտությունը կենդանիների և մարդու արյան մեջ: Այս նպատակով, չափումների համար նախապես պատրաստվել են խոզի արյան նմուշներ՝ գլյուկոզի 150 մգ/դլ նախնական խտությամբ: Այնուհետև, ստացվել են լրացուցիչ չորս նմուշներ նախնական նմուշին՝ գլյուկոզ ավելացնելու ճանապարհով՝ խտության 150÷550 մգ/դլ տիրույթում: Չափումների և թվային հաշվարկների արդյունքները բերված են Նկ. 15 (ա)-ում:

Գլյուկոզի խտության փոփոխության հետ փոփոխվում է և՛ ՄԱԳ-ը, և՛ ՌՇՀ-ն, միայն թե դրանք ցույց են տալիս հակառակ վարք: Այսպես, գլյուկոզի խտության

աճին զուգընթաց մեծանում է ՌՀՇ, մինչդեռ ՄԱԳ-ը նվազում է, որը պայմանավորված է ՄՂՏՄ ռեզոնատորի կառուցվածքային առանձնահատկություններով: Երակներում արյան շրջապտույտի լաբորատոր նմանակման նպատակով, ստեղծվել է սիլիկոնային խողովակների (5.3 մ տրամագծով) համակարգ, որում արյունը շարժվում է 150 մմ/վ արագությամբ: Այնուհետև խողովակում արյան նմուշները փոխարինվում են հաջորդաբար՝ խտության աճին համեմատ: Վերահսկման նպատակով չափումները կատարվել է նաև գլյուկոզի ջրային լուծույթի համար: Արդյունքները բերված են Նկ 15 (բ)-ում: Ինչպես երևում է, երկու դեպքում էլ ՄՂՏՄ համակարգը հստակորեն արձագանքում է գլյուկոզի խտության փոփոխությանը:

Չորրորդ գլխում դիտարկված են հաճախությունների օպտիկական տիրույթում էլեկտրամագնիսական ալիքներն ուղղորդող և տեղայնացնող ՄՊՊ ալիքատարների ինչպես նաև համեմատաբար մեծ բարորակությամբ, փոքր չափսերով ՄՊՊ ռեզոնատորների կառուցվածքային և որակական առանձնահատկությունները, որոնք հնարավորություն են տալիս ստեղծել տարատեսակ օպտիկական սարքեր, ինչպիսիք են փոքր էներգիա պահանջող արագագործ օպտո-էլեկտրոնային ճառագայթիչներն ու ընդունիչները, և առանձնացված մուլեկուլների կոհերենտ ճառագայթման վերահսկումն ապահովող զգայուն օպտիկական սենսորները:

4.1 պարագրաֆը ներածական է, ուր վերլուծված են ՄՊՊ հիմնական առանձնահատկություններն ու դրանց հետազոտման փորձարարական եղանակները: Ներկայացված են մինչ այժմ հաճախությունների օպտիկական տիրույթում տեսականորեն և փորձնականորեն հետազոտված ՄՊՊ ալիքատարների հիմնական տիպերը, դրանց կառուցվածքային առանձնահատկություններն ու կիրառման հնարավորությունները:

4.2 պարագրաֆներում հետազոտված են ՄՊՊ ալիքատարային մոդերի ձևավորման հնարավորություններն ու հիմնական բնութագրիչների վարքը մետաղական կոնական մակերևույթին [17]: Բացահայտվել է դաշտերի բաշխումը և ալիքային թվի կախվածությունը կոնի ձևից և միջավայրի դիէլեկտրական թափանցելիությունից, որը լայն հնարավորություններ է ստեղծում անհրաժեշտ բնութագրերով մոդերի ձևավորման համար: Մասնավորապես, կոնական կառուցվածքով տարածվելիս տեղի է ունենում ՄՊՊ գերֆոկուսացում: Նրա ալիքային վեկտորն էապես աճում է, համապատասխանաբար փոքրանում է ալիքի երկարությունը, և ստեղծվում են անհրաժեշտ պայմաններ ալիքի ուժեղ տեղայնացման համար և ալիքային դաշտերի անոմալ աճման համար:

Հայտնի է, որ դիֆրակցիան խոչընդոտում է ալիքի տեղայնացմանը ալիքի երկարությունից փոքր տարածության տիրույթում, և էլեկտրամագնիսական ճառագայթման տրված հզորության դեպքում նրա ինտենսիվությունը կարելի է մեծացնել մինչև որոշակի սահման: Այդ պատճառով շատ ոչ-գծային

օպտիկական երևույթներ հնարավոր է դիտարկել հաճախությունների միայն այն տիրույթում, որտեղ կան ճառագայթման բավականին հզոր լազերային աղբյուրներ: Ոչ լազերային ծագման հզոր ալիքային դաշտերի ստեղծման խնդիրները կարող են լուծվել միայն յուրահատուկ պայմաններում, երբ թույլատրել են ալիքի երկարության զգալի փոքրացման հնարավորությունները: Այդպիսի հատկություններով օժտված ալիքներ են ՄՊՊ-ները, որոնց ալիքի երկարությունը ռեզոնանսային հաճախության փոքր շրջակայքում փոփոխվում է լայն տիրույթում [18]: Բացի այդ, ՄՊՊ-ի ալիքի երկարությունը խիստ կախված է կառուցվածքի երկրաչափական ձևից ու չափից: Մասնավորապես, [19] աշխատանքում ցույց է տրված, որ սեպաձև կառուցվածքով տարածվելիս ՄՊՊ ալիքների համար ստեղծվում են բարենպաստ պայմաններ՝ ալիքի ուժեղ տեղայնացման գերֆոկուսացման և էլեկտրական դաշտերի զգալի աճի համար: ՄՊՊ գերֆոկուսացման երևույթը բավականին ունիվերսալ է և կարող է նկատվել նաև այլ կառուցվածքներում: Օրինակ, կոնական կառուցվածքում նույնպես տեղի ունի ՄՊՊ գերֆոկուսացում, որի տեսական մեկնաբանությունը բերված է 4.2 պարագրաֆում: Մասնավորապես, որոշվել են մագնիսական և էլեկտրական դաշտի բաղկացուցիչների արժեքները կոնի ծայրին [17]

$$H_z = \frac{A}{r^{1/2}} I_1(\eta\vartheta) \exp\left\{-i\omega t + i\eta \ln \frac{r}{r_0}\right\}; \quad (9)$$

$$E_r = -\frac{ic}{\omega\varepsilon_2} \frac{\eta A}{r^{3/2}} I_0(\eta\vartheta) \exp\left\{-i\omega t + i\eta \ln \frac{r}{r_0}\right\};$$

$$E_\vartheta = \frac{c}{\omega\varepsilon_2} \left[\eta + \frac{i}{2}\right] \frac{A}{r^{3/2}} I_1(\eta\vartheta) \exp\left\{-i\omega t + i\eta \ln \frac{r}{r_0}\right\},$$

որտեղ 2α -ն կոնի բացվածքի անկյունն է, իսկ ε_2 -ը և ε_1 -ը համապատասխանաբար կոնի և շրջապատող միջավայրի դիէլեկտրիկ թափանցելիություններն են: r_0 պարամետրի արժեքը որոշվում է կառուցվածք ալիքը ներմուծելու եղանակով: Իսկ η -ի արժեքը միարժեքորեն որոշվում է դիսպերսիոն հավասարումից: Ստացված արդյունքները արդարացի են քանի դեռ կիրառելի է դիէլեկտրիկ թափանցելիության հասկացությունը, իսկ ՄՊՊ-ի ալիքի երկարությունը էապես մեծ է բյուրեղական ցանցի հաստատունից: Նշենք, որ կոնի ծայրի գծային չափերը զգալիորեն գերազանցում են բյուրեղական ցանցի հաստատունը: (9) հավասարումից կարելի է եզրակացնել, որ կոնական կառուցվածքով տարածվելիս ՄՊՊ-ն օժտված է հետևյալ սկբունքային հատկություններով: Նախ, կոնի ծայրին մոտենալիս ՄՊՊ-ի ալիքային վեկտորը աճում է η/r օրենքով, և համապատասխանաբար նվազում է նրա ալիքի երկարությունը: Բացի այդ, ալիքային դաշտերը անոմալ աճում են $H_\varphi \sim r^{-1/2}$, E_r , $E_\vartheta \sim r^{-3/2}$ օրենքներով: Ստացված արդյունքների մեկնաբանման նպատակով նշենք, որ պոլյարիտոնը, որպես տարրական գրգիռ, հանդիսանում է ֆոտոնի և պլազմոնի յուրահատուկ հիբրիդ [18]: Ընդ որում, պլազմոնի արագությունը, որպես կանոն, մի քանի կարգով փոքր է ֆոտոնի արագությունից: Կոնի ծայրին մոտենալիս ավելի ու

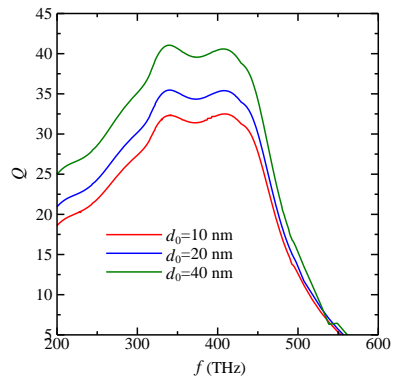
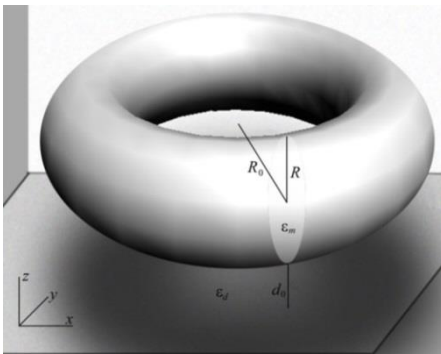
ավելի արտահայտիչ են դառնում պլազմոնային հատկությունները, որի արդյունքում ալիքը դանդաղում է, որը բերում է ՄՊՊ ալիքի երկարության փոքրացման, և առաջանում են գերֆոկուսացման համար անհրաժեշտ պայմաններ:

4.3 պարագրաֆում նմանատիպ խնդիր է լուծված ծայրերով իրար հպվող երկու մետաղական կոնական կառուցվածքների համակարգի համար: Ծայրերի հպման կետում գերֆոկուսացման երևույթը թույլ է տալիս բացատրել մետաղի խորդուբորդ մակերևույթից օպտիկական ոչ-գծային արձագանքի աճի պատճառները: Պարզվում է, որ այդ աճը զգալիորեն կախված է խորդուբորդ մակերևույթի երկրաչափական առանձնահատկություններից: Այսպես, ցույց է տրված, որ մետաղի մակերևույթին ենթամիկրոնային չափերի մետաղական գնդերի առկայության դեպքում ռամանյան ցրման ազդանշանը աճում է 10^6 անգամ [20], իսկ երկրորդ հարմոնիկի գեներացիայի ինտենսիվությունը՝ 10^4 անգամ [21]: Ոչ գծային արձագանքի այսպիսի աճի պատճառները կարող են պայմանավորված լինել գրգռված ՄՊՊ-ի ալիքային դաշտերով, այսինքն, ՄՊՊ գերֆոկուսացմամբ: Բնականաբար, ալիքային դաշտերի աճի գործընթացը չի կարող անվերջ շարունակվել: Էֆֆեկտի ուսումնասիրության ընթացքում մենք սահմանափակվել ենք գծային տեսության շրջանակներով, որը թույլատրելի է քանի դեռ համակարգի ոչ գծային արձագանքը բավականին թույլ է: Ալիքային դաշտերի աճի հետ մեկտեղ ի հայտ են գալիս ոչ գծային երևույթները, որոնք ի վիճակի են համակարգից դուրս հանել էներգիայի մի մասը:

4.4 պարագրաֆում դիտարկված է պլազմոնային ռեզոնատոր, որն իրենից ներկայացնում է հարթ և տորոիդալ մետաղական մակերևույթների միջև ընկած դիէլեկտրական միջավայր (Տկ. 16 (ա)): Այստեղ որպես մետաղական միջավայր ծառայում է ոսկին՝ ϵ_m , դիէլեկտրական թափանցելիությամբ, իսկ ճեղքի դիէլեկտրական թափանցելիությունը ϵ_d է, d_0 -ն ճեղքի նվազագույն հաստությունն է, իսկ կառուցվածքը բնութագրող R և R_0 շառավիղներն էապես ավելի մեծ են ռեզոնատորում ՄՊՊ մոդի ալիքի երկարությունից: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ $d_0 = 10$ նմ և $R, R_0 \geq \lambda_0$ դեպքում ՄՊՊ մոդը տեղայնացվում է $\lambda_0/10$ տիրույթում (λ_0 -ն ռեզոնատորում ՄՊՊ ռեզոնանսային հաճախությանը համապատասխանող ալիքի երկարությունն է ազատ տարածությունում): Ռեզոնատորի ալիքային դաշտի էներգիան հիմնականում կենտրոնացված է մետաղական մակերևույթների միջև ընկած դիէլեկտրիկ ճեղքում: Օղակաձև ռեզոնատորի ռեզոնանսային հաճախությունը փոքրանում է մետաղական տորոիդի երկարության՝ $2\pi R_0$ աճին զուգընթաց, մինևս σ ժամանակ R_0 -ի մեծացման հետ մեծանում է նաև ալիքի երկարությունը և, հետևաբար, մոդի հաստատուն թվերի համար փոքրանում է f_r , ռեզոնանսային հաճախությունը:

Նկար 16 (բ)-ում բերված է ՄՊՊ ռեզոնատորի բարորակության կախվածությունները հաճախությունից: Բարորակության համեմատաբար փոքր արժեքը՝ $Q = 40$, պայմանավորված է մետաղական մակերևույթների միջև ընկած

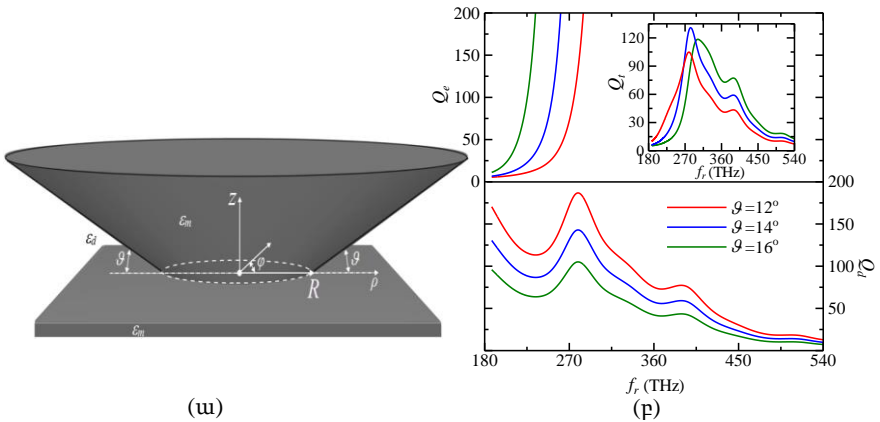
տարածությունում ՄՊՊ ենթաալիքատարային մոդերի ուժեղ տեղայնացմամբ: Այս արդյունքը համապատասխանում է այլ տիպի երկրաչափությամբ ՄՊՊ միկրոռեզոնատորների համար կատարված փորձնական և թվային հաշվարկների արդյունքներին [22]: Թեև ուսումնասիրված ռեզոնատորի բարորակությունն ունի բավականին համեստ արժեք, սակայն մոդի զբաղեցրած փոքր ծավալը Պուրսելի գործակցի մեծացման հետևանքով կարող է նպաստել ինքնակամ ճառագայթման զգալի աճին [23]: այս հանգամանքը թույլ է տալիս կառուցվածքն օգտագործել որպես ռեզոնատոր հաճախությունների լայն տիրույթում: Ռեզոնանսային մոդերի ալիքային էներգիան կարող է կուտակվել կամ ազատ արձակվել էվանեսցենտորեն մտնող և դուրս եկող ճառագայթման ուղղության վերահսկողության հնարավորությամբ, նույն տիպի ալիքատարում ՄՊՊ մոդի հետ համակցմամբ: Ընդհանուր առմամբ, խնդրի բաղադրիչների մեծ քանակությունը դժվարեցնում է թվային հաշվարկների միջոցով ռեզոնատորներում ալիքային էներգիայի պահպանման և տեղայնացման օպտիմալ պայմանների որոնումը: Առաջարկված եղանակը թույլ է տալիս ավելի մանրամասն ուսումնասիրել այդ գործընթացները:



Նկ. 16: (ա) Դիէլեկտրական միջավայրով առանձնացված մետաղական հարթությունից և մետաղական տորոիդից կազմված ՄՊՊ ռեզոնատորի կառուցվածքը և (բ) նրա բարորակության կախվածությունը կառուցվածքի ռեզոնանսային հաճախությունից՝ $R_0 = 3$ մկմ, $R = 1.5$ մկմ և $\epsilon_d = 2.5$ դեպքում:

4.5 պարագրաֆում հետազոտված են V-տիպի ակոսով (Նկ. 17 (ա)) ՄՊՊ միկրոռեզոնատորի առանձնահատկությունները, որում ալիքային էներգիան հիմնականում կենտրոնացված է մետաղական մակերևույթներով սահմանափակված մեկուսիչ ակոսաձև միջավայրում: Ստացված վերլուծական արտահայտությունները թույլ են տալիս որոշել օղակաձև միկրոռեզոնատորի աշխատանքի առավել նպաստավոր պայմանները [24]: Ստացվել են ակոսաձև միկրոռեզոնատորում ընդհանուր բարորակության (Q) և նրա ճառագայթային (Q_e) ու օհմական (Q_d) կորուստներով պայմանավորված բաղադրիչների

կախվածությունները ռեզոնանսային հաճախությունից (Սկ. 17 (բ)): Բարորակության ճառագայթային բաղադրիչը՝ Q_e -ն, արագ աճում է ՄՊՊ ռեզոնանսային հաճախության աճին զուգընթաց, մինչդեռ բարորակության ջերմային կորուստների բաղադրիչը՝ Q_d -ն, նվազում է: Q_d -ն ընդունում է 500-ին մոտ առավելագույն արժեքը 283 ՏՀց-ի դեպքում, իսկ Q_e -ն անվերջ մեծանում է հաճախության մեծացման հետ: Արդյունքում, ընդհանուր բարորակությունը՝ Q_t -ն նույնպես վերջավոր է և իր առավելագույն՝ 131, արժեքն է ընդունում 14° անկյան և 283 ՏՀց հաճախության դեպքում (Սկ. 17 (բ) ներդիր): Բարորակության համեմատաբար բարձր արժեքը, կառուցվածքի համար կիրառման նոր հնարավորություններ է ստեղծում, սկսած հիմնարար օպտիկայի բնագավառից մինչև սարքերի նախագծում:



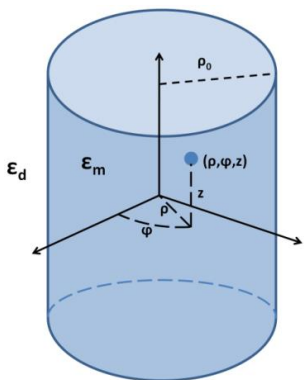
Սկ. 17: (ա) V-տիպի ակոսով ՄՊՊ միկրոռեզոնատորի սխեմատիկ պատկերը: (բ) Ակոսաձև միկրոռեզոնատորում բարորակության (Q_t) և նրա բաղադրիչների (Q_e և Q_d) կախումը ռեզոնանսային հաճախությունից՝ $\vartheta = 12^\circ, 14^\circ, 16^\circ, R = 2$ մկմ և $\varepsilon_m = -57.35 + 0.56i, \varepsilon_d = 2.5$ -ի համար:

4.6 պարագրաֆում հետազոտված են ՄՊՊ ալիքատարային մոդերի ձևավորման հնարավորությունները գլանային միկրոռեզոնատորում (Սկ. 18 (ա)): Ստացված վերլուծական արտահայտությունները հնարավորություն են տալիս որոշել ՄՊՊ ալիքատարային մոդերի հիմնական բնութագրիչները իսկ բարորակության համար ստացվել է հետևյալ արտահայտությունը [25]

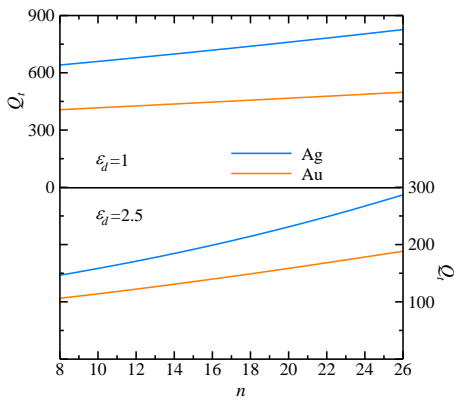
$$Q_t^{-1} = \left\{ \frac{1}{4} \left(\frac{|\varepsilon_m|}{\varepsilon_d} \right) \cdot \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_d} \right) \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_d}{|\varepsilon_m|} \right)^{-2n+1} \right\}^{-1} + \left\{ \frac{|\varepsilon_m|^2}{\varepsilon_m'' \varepsilon_d} \left(1 - \frac{\varepsilon_d}{|\varepsilon_m|} \right) \right\}^{-1}, \quad (10)$$

որտեղ առաջին ձևավոր փակագծի արտահայտությունը իրենից ներկայացնում է բարորակության ճառագայթային Q_e բաղադրիչը, իսկ երկրորդը՝ օհմական Q_d բաղադրիչը:

Նկար 18 (բ)-ում ներկայացված է ՄՊՊ միկրոռեզոնատորի ընդհանուր բարորակության կախվածությունը ռեզոնատորում մոդերի n թվից: Հատկանշական է, որ մոդերի թվի մեծացմանը զուգընթաց համարյա գծային աճում է նաև բարորակությունը: ՄՊՊ-ի էֆֆեկտիվ գրգռման համար անհրաժեշտ է համեմատաբար մեծ բարորակություն և մետաղական ռեզոնատորի շրջակայքում դիէլեկտրիկ նյութի առկայություն ($\epsilon_d > 1$): Այս երկու պայմանները միաժամանակ բավարարվում են, երբ ակտիվ դիէլեկտրիկ միջավայրի հաստությունը էականորեն փոքր է ՄՊՊ ալիքի երկարությունից: Կառուցվածքի հետաքրքիր հատկությունները է նաև ճառագայթող ալիքների զլանային տեսքը, որը պարաբոլիկ հայելիների օգնությամբ հեշտությամբ կարող է ձևափոխվել շրջանային բևեռացված ալիքների, իսկ ռելաքսացիայի կարճ ժամանակը, որ հատուկ է ՄՊՊ ալիքներին, կարող է նպաստել ֆեմտովայրկյանյին լազերային իմպուլսների ստեղծման համար:



(ա)



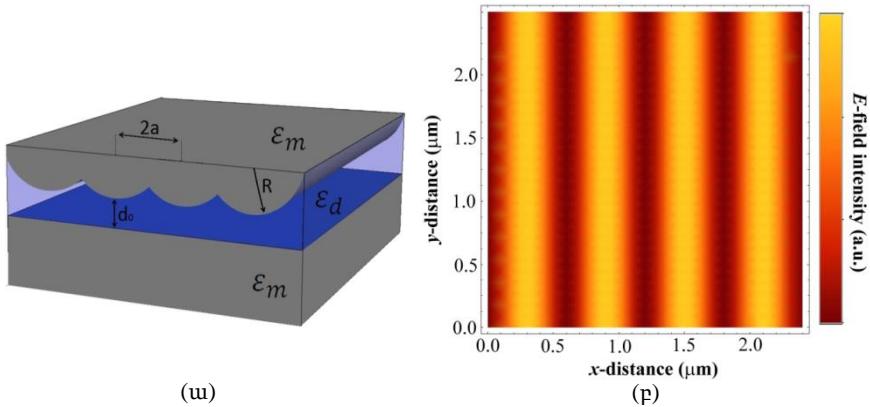
(բ)

Նկ. 18: (ա) ՄՊՊ զլանային միկրոռեզոնատորի սխեմատիկ պատկերը: (բ) Գլանային միկրոռեզոնատորի բարորակության կախվածությունը ռեզոնատորում մոդերի n թվից:

4.7 պարագրաֆում դիտարկված են ՄՊՊ-ի պարբերական ՀՄՀ ալիքատարների և ռեզոնատորների կիրառական և կառուցվածքային առանձնահատկությունները (Նկ. 19 (ա)): ՀՄՀ ալիքատարները հնարավորություն են ընձեռում ապահովել տարածվող ազդանշանի ինչպես անհրաժեշտ տեղայնացում, այնպես էլ անհրաժեշտ տարածման երկարություն [26]:

Տեսական հետազոտությունների արդյունքում ստացվել է, որ այդպիսի ալիքատարներում հնարավոր է փոքր կորուստներով տեղայնացված մոդերի ձևավորումը, որոնց տարածման երկարությունն էապես կախված է դիէլեկտրական ձեղքի նվազագույն հաստությունից՝ d_0 : Այսպիսի կառուցվածքում հնարավոր է գեներացնել հնարավոր մոդերի մի ամբողջ

տիրույթ: Այս տիրույթի լայնությունը կառավարելի է և կարող է փոփոխվել կառուցվածքի պարամետրերին համապատասխան: Նկար 19 (բ)-ում բերված է ՀՄՀ համակարգում էլեկտրական դաշտի բախվածությունը xy հարթության մեջ: Էլեկտրական դաշտի ինտենսիվությունը ուժեղ է մեկուսիչ ձեղքի ամենափոքր հեռավորության շրջակայքում, որտեղ դաշտի ինտենսիվությունը աճում է մոտ 1500 անգամ: Ի տարբերություն V-տիպի ակոսով ռեզոնատորի, այս դեպքում ալիքատարային ուղիների փոխազդեցությունը տեղի է ունենում կառուցվածքի ներսում, հետևաբար բացակայում են ճառագայթային կորուստները: Բացի այդ, ՀՄՀ ռեզոնատորը ունակային կառուցվածք է, որտեղ հեշտ է ստանալ բավականին մեծ ալիքային դաշտեր, ինչը թույլ է տալիս ավելի էֆֆեկտիվ օգտագործել էլեկտրա-օպտիկական երևույթները՝ ՄՊՊ մոդերի ղեկավարման համար: Առաջարկված ՀՄՀ կառուցվածքը յուրահատուկ հնարավորություններ է ստեղծում նանոտիրույթում լույսի էֆֆեկտիվ տեղայնացման և մշակման համար:



Նկ. 19: (ա) Միանման մետաղական զլաններից և մետաղական հարթությունից բաղկացած ՄՊՊ ռեզոնատորի եռաչափ կառուցվածքը: (բ) Էլեկտրական դաշտի երկչափ բաշխվածությունը xy հարթության մեջ:

Ներկայացված ձևակերպված են ատենախոսության արդյունքները.

1. Ստեղծվել է ՄՐՏՄՄ փորձարարական սարք, որը թույլ է տալիս բարձր զգայունությամբ (մինչև -60 դԲ ԱԱՀ) և տեսածրման մեծ լուծողականությամբ (մինչև 30 նմ) ուսումնասիրել նյութերի էլեկտրամագնիսական հատկությունները հաճախությունների միկրոալիքային տիրույթում:
2. Մետաղական և դիէլեկտրիկ շերտերի, ինչպես նաև կիսահաղորդիչ բարակ թաղանթների բնութագրիչները (սեփական ու լուսահաղորդականություններ, մագնիսական ու դիէլեկտրիկական թափանցելիություններ, լիցքակիրների խտություն ու շարժունակություն և այլն) որոշվել են ՄՐՏՄՄ-ի միջոցով՝ չափելով համակարգի ՄԱԳ-ը և ՌՀՇ-ը,

- իսկ նրանց արժեքները համեմատվել և հաստատվել են տարածման գծի և խտությունների տեսությունների շրջանակներում:
3. ՕԴՏ-ի (ռուբրեն, պենտացին, Alq_3 , CdS և այլն) հաղորդիչ ուղում լիցքակիրների փոփոխությամբ (լիցքակիրների ներմուծում, հարստացման և աղքատացման գոտիների առաջացում, լուսազենեքացիա, դաշտային էֆֆեկտներ և այլն) պայմանավորված ընդհանուր հաղորդականության տարածական բաշխվածությունը արտապատկերված է ՄԴԸՄ-օգնությամբ:
 4. ՄԴՏՄՄ-ի միջոցով ստացվել են արտաքին լուսավորության տարբեր պայմանների դեպքում ֆոտոէֆֆեկտի վրա հիմնված աշխատանքի սկզբունքով լուսազգայուն արևային տարրերում լուսահաղորդականության վարքագծերի տարածական արտապատկերները:
 5. Վեժ խտությամբ ֆերոմագնիսական միաշերտերի էլեկտրամագնիսական հատկությունները բնութագրվել են ՄԴՏՄՄ մեթոդով, մասնավորապես, հաստատվել է մագնիսական դոմենների հիստերեզիսային վարքը:
 6. ԴՆԹ-ի հիբրիդիզացմամբ պայմանավորված փոփոխությունները կարելի է նկարագրել ՄԴՏՄՄ-ի միջոցով՝ չափելով կառուցվածքի ՄՄԳ-ը կամ ՌՀՀ-ը: ՄԴՏՄՄ-ն թույլ է տալիս նաև ճշգրտորեն (մոտ 98%) տեղագրել ԴՆԹ կենսամատրիցների ներքին կառուցվածքը:
 7. ԻԿՄ-ի հաստության փոփոխությունը բերում է նրա դիէլեկտրիկական թափանցելիության փոփոխությանը, որը հնարավոր է քանակապես բնութագրել ՄԴՏՄՄ եղանակով:
 8. Բարձր բարորակությամբ ռեզոնատորով միկրոալիքային կենսասենսորը հնարավորություն է տալիս իրական ժամանակում (real-time) որոշել կենսաբանական հեղուկներում լուծված նյութերի խտությունների փոփոխությունները՝ առանց օրգանիզմ ներթափանցման (non-invasive): Օրինակ, կենդանիների արյան մեջ գլյուկոզի կամ կերակրի աղի խտությունները չափվել են $0 \div 500$ մգ/մլ տիրույթում՝ 0.5 մգ/մլ ճշտությամբ:
 9. Կոնական կառուցվածքով տարածվելիս տեղի է ունենում ՄՊՊ գերֆոկուսացում: Նրա ալիքային վեկտորն էապես աճում է, համապատասխանաբար փոքրանում է ալիքի երկարությունը, և ստեղծվում են անհրաժեշտ պայմաններ ալիքի ուժեղ տեղայնացման համար: Արդյունքում մակերևութային պոլյարիտոնի ալիքային դաշտերը անումալ աճում են $H \sim r^{-1/2}$, $E \sim r^{-3/2}$ օրենքով:
 10. Գերֆոկուսացման երևույթը բացահայտվել է նաև երկու հավոդ կոնական կառուցվածքներից բաղկացած համակարգում, որը թույլ է տալիս բացատրել անհարթ մետաղական մակերևույթից ոչ գծային օպտիկական արձագանքի աճի մեխանիզմը:
 11. Տորոիդալ և հարթ մակերևույթներով սահմանափակված ՄՊՊ ռեզոնատորներում լուսային ազդանշանի բարորակության ու մոդերի տեղայնացման համար ստացված վերլուծական արտահայտությունները թույլ են տալիս որոշել այդ նանոկառուցվածքների օպտիմալ բնութագրիչները: Ռեզոնանսային մոդերի ալիքային էներգիան կարող է

կուտակվել կամ ազատ արձակվել էվանեսցենտորեն մտնող և դուրս եկող ճառագայթման ուղղության վերահսկողության հնարավորությամբ՝ նույն տիպի ալիքատարում ՄՊՊ մոդի հետ կցման եղանակով:

12. Ցույց է տրված, որ օդակաձև V-տիպի ակոսով պլազմոնային ռեզոնատորներում լուսային ազդանշանի լայնական չափսերը կարելի է տեղայնացնել նանոմետրական տիրույթում՝ նպաստավոր պայմաններ ստեղծելով նանոլազերներում շեմային պայմանների բարելավման համար: Բարորակության և ծավալի հարաբերությամբ նանոռեզոնատորների որակը բնութագրող ներկայումս ընդունված մեծությունն, այս դեպքում, զգալիորեն աճում է:
13. Հաճախությունների ինֆրակարմիր տիրույթում, որտեղ մետաղի դիէլեկտրիկական թափանցելիության իրական մասի արժեքը շատ ավելի մեծ է քան նրա կեղծ մասի արժեքը և շրջապատող միջավայրի դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը, գլանային մետաղական միկրոռեզոնատորում բարորակությունը հասնում է իր առավելագույն արժեքին, երբ գլանի շառավիղը դառնում է ՄՊՊ ալիքի երկարության կարգի:
14. Պարբերական ՀՄՀ համակարգում հնարավոր են ՄՊՊ մեղերի խմբեր, որնց առաջացման և հետագա գոյության պայմանները խստորեն կախված են կառուվածքի պարամետրերից, որն էլ թույլ է տալիս նախագծել ալիքատարներ ոչ միայն միամող ՄՊՊ ալիքների, այլ այդպիսի մոդերի մեծ խմբի համար հաճախությունների լայն տիրույթում:

Հղված գրականություն

1. B. Knoll, F. Keilmann, A. Kramer, R. Guckenberger, Appl. Phys. Lett. 70 (1997) 2667.
2. J. Kim, S. Kim, K. Lee, J. Lee, D. Cha, B. Friedman, Meas. Sci. Technol. 14 (2003) 7.
3. K. Lee, H. Melikyan, A. Babajanyan, B. Friedman, "Near-Field Microwave Microscopy for Nanoscience and Nanotechnology" *Scanning Probe Microscopy in Nanoscience and Nanotechnology 2* (ed. B. Bhushan) vol. 2, chapter 5, 2011, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 135-172.
4. S. Kalinin, A. Gruverman, *Scanning Probe Microscopy*, Springer, New York (2006).
5. A. Babajanyan, Proc. on BCHBM 2008, Jeju, Korea, pp. 4-6.
6. А. Ж. Бабаджанян, Известия НАН РА, Физика, т. 35, No. 5, 2000, сс. 263-266.
7. S. Sze, *Physics of Semiconductor Devices*, 2nd Ed., John Wiley, New York (1981).
8. Y. Suzue, T. Manaka, M. Iwamoto, Jpn. J. Appl. Phys. 44 (2005) 561.
9. A. Babajanyan, H. Melikyan, J. Kim, K. Lee, M. Iwamoto, B. Friedman, Org. Electron 12 (2011) 263.
10. A. Hovsepyan, A. Babajanyan, T. Sargsyan, H. Melikyan, S. Kim, J. Kim, K. Lee, B. Friedman, J. App. Phys. 106 (2009) 114901.
11. A. Babajanyan, H. Melikyan, T. Sargsyan, S. Kim, J. Kim, K. Lee, B. Friedman, Thin Solid Films 517 (2009) 5597.
12. S. Kim, Y. Yoon, H. Lee, A. R. Choi, K.-H. Jung, A. Babajanyan, T. Abrahamyan, H. Yoo, J.-H. Lee, D. Cha, G. Berthiau, K. Lee, B. Friedman, J. Biophoton. 2 (2013) 163.
13. K. Shimono, M. Iwamoto, M. Sumi, N. Kamo, FEBS Lett. 420 (1997) 54.

14. J. Wang, *Electroanalysis*. 13 (2001) 983.
15. K. Rahmouni, M. Keddou, A. Srhiri, H. Takenouti, *Corros. Sci.* 47 (2005) 3249.
16. H. Melikyan, E. Danielyan, S. Kim, J. Kim, A. Babajanyan, J. Lee, K. Lee, B. Friedman, *Med. Eng. Phys.* 34 (2012) 299.
17. A. Ж. Бабаджанян, *Известия НАН РА, Физика* 35 (2000) 263.
18. V. Agranovich, D. Mills, *Surface Polaritons*, North-Holland, Amsterdam (1982).
19. Kh. Nerkararyan, *Phys. Lett. A* 237 (1997) 103.
20. J. Rowe, C. Shank, D. Zwemer, C. Murray, *Phys. Rev. Lett.* 44 (1980) 1170.
21. M. Moskovits, *Rev. Mod. Phys.* 57 (1985) 783.
22. A. Vardanyan, H. Haroyan, A. Babajanyan, Kh. Nerkararyan, B. Friedman, *Plasmonics* 7 (2012) 1.
23. E. Purcell, *Phys. Rev.* 69 (1946) 681.
24. A. Vardanyan, H. Haroyan, A. Babajanyan, Kh. Nerkararyan, K. Lee, B. Friedman, *J. Appl. Phys.* 111 (2012) 053112.
25. V. Tekkozyan, A. Babajanyan, Kh. Nerkararyan, *Opt. Commun.* 305 (2013) 190.
26. V. Mkhitarian, A. Babajanyan, Kh. Nerkararyan, K. Lee, B. Friedman, *Plasmonics* 8 (2013) 613.

ՀՐԱՏԱՐԱԿՎԱԾ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

1. K. Lee, H. Melikyan, A. Babajanyan, B. Friedman, "*Near-Field Microwave Microscopy for Nanoscience and Nanotechnology*" *Scanning Probe Microscopy in Nanoscience and Nanotechnology 2* (ed. B. Bhushan) vol. 2, chapter 5, 2011, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 135-172.
2. V. Mkhitarian, A. Babajanyan, Kh. Nerkararyan, K. Lee, B. Friedman, "*The Periodically Graded Metal-Insulator-Metal Gap Structure for Plasmonic Waveguides*", *Plasmonics*, vol. 8, No. 2, 2013, pp. 613-618.
3. V. Tekkozyan, A. Babajanyan, Kh. Nerkararyan, "*Analytic description of microcylindrical cavity for surface plasmon polariton*", *Optics Communications*, vol. 305, No. 2, 2013, pp. 190-193.
4. H. Melikyan, Y. Yoon, H. Lee, J. Carnis, A. Babajanyan, K. Lee, B. Friedman, "*Visualization of photovoltaic transport characteristics of a pentacene thin-film transistor at selected wavelengths*", *Thin Solid Films*, vol. 534, No. 5, 2013, pp. 503-507.
5. S. Kim, Y. Yoon, H. Lee, A. R. Choi, K.-H. Jung, A. Babajanyan, T. Abrahamyan, H. Yoo, J.-H. Lee, D. Cha, G. Berthiau, K. Lee, B. Friedman, "*Application of Sensitive Near-Field Microwave Microprobe to Nondestructive Characterize the Microbial Rhodopsin*", *Journal of Biophotonics*, vol. 6, No. 2, 2013, pp. 163-170.
6. K. Lee, A. Babajanyan, H. Melikyan, C. Kim, S. Kim, J. Kim, J. Lee, B. Friedman, R. Levicky, S. Kalachikov, "*Label-Free DNA Microarray Bioassays Using a Near-Feld Scanning Microwave Microscope*", *Biosensors & Bioelectronics*, vol. 42, No. 4, 2013, pp. 326-331.
7. C. Balusek, B. Friedman, D. Luna, B. Oetiker, A. Babajanyan, K. Lee, "*A Three-Dimensional Finite Element Model of Near-Feld Scanning Microwave Microscopy*", *Journal of Applied Physics*, vol. 112, No. 8, 2012, pp. 084318 1-7.
8. S. Kim, H. Melikyan, J. Kim, A. Babajanyan, J. Lee, L. Enkhtur, B. Friedman, K. Lee, "*Noninvasive In Vitro Measurement of Pig-Blood D-Glucose by Using a Microwave*

- Cavity Sensor*”, Diabetes Research and Clinical Practice, vol. 96, No. 3, 2012, pp. 379-384.
9. H. Melikyan, E. Danielyan, S. Kim, J. Kim, A. Babajanyan, J. Lee, K. Lee, B. Friedman, “*Non-Invasive in-Vitro Sensing of D-Glucose in Pig Blood*”, Medical Engineering & Physics, vol. 34, No. 3, 2012, pp. 299-304.
 10. A. Vardanyan, H. Haroyan, A. Babajanyan, Kh. Nerkararyan, K. Lee, B. Friedman, “*Ring-Type V-Groove Surface Plasmon Microresonator: The Modal Structure and Q-Factor*”, Journal of Applied Physics, vol. 111, No. 5, 2012, pp. 053112 1-5.
 11. A. Vardanyan, H. Haroyan, A. Babajanyan, Kh. Nerkararyan, B. Friedman, “*A Surface Plasmon Microcavity Between the Toroidal and Flat Metallic Surfaces*”, Plasmonics, vol. 7, No. 1, 2012, pp. 1-5.
 12. Ա. Ժ. Բաբաջանյան, Վ. Ռ. Թարևոսյան, Հ. Ս. Հարոյան, Ա. Հ. Սակարյան, «*Վիճակագրական Ռադիոֆիզիկա. Հարթրատոր Աշխատանքների Ձեռնարկ*», ԵՊՀ Տպագրություն, Երևան 2012.
 13. A. Vardanyan, H. Haroyan, A. Babajanyan, Kh. Nerkararyan, K. Lee, “*Activity of Surface Plasmon in the Ring-Like Microcavities*”, Proc. SPIE, vol. 8414, 2011, p. 84140J.
 14. H. Lee, Y. Yoon, S. Kim, H. Yoo, H. Melikyan, E. Danielyan, A. Babajanyan, T. Ishibashi, B. Friedman, K. Lee, “*Preparation of Bismuth Substituted Yttrium Iron Garnet Powder and Thin Film by the Metal-Organic Decomposition Method*”, Journal of Crystal Growth, vol. 329, No. 1, 2011, pp. 27-32.
 15. Y. Yoon, S. Kim, H. Lee, T. Kim, A. Babajanyan, K. Lee, B. Friedman, “*Characterization of Rubrene Polycrystalline Thin Film Transistors Fabricated Using Various Heat-Treatment Conditions*”, Thin Solid Films, vol. 519, No. 16, 2011, pp. 5562-5566.
 16. A. Babajanyan, H. Melikyan, J. Carnis, Y. Yoon, H. Lee, H. Yoo, K. Lee, B. Friedman, “*Characterization of the Field-Effect Conductivity Distribution in Pentacene Thin-Film Transistors by a Near-Field Scanning Microwave Microscope*”, Synthetic Metals, vol. 161, No. 11-12, 2011, pp. 931-936.
 17. H. Melikyan, B. E. Khishigbadrakh, A. Babajanyan, K. Lee, A. R. Choi, J. H. Lee, K. H. Jung, B. Friedman, “*Proteorhodopsin Characterization Based on Metal-Insulator-Metal Structure Technique*”, Thin Solid Films, vol. 519, No. 10, 2011, pp. 3425-3429.
 18. A. Babajanyan, H. Melikyan, J. Kim, K. Lee, M. Iwamoto, B. Friedman, “*Direct Imaging of Conductivity in Pentacene Field-Effect Transistors by a Near-Field Scanning Microwave Microprobe*”, Organic Electronics, vol. 12, No. 2, 2011, pp. 263-268.
 19. S. Kim, Y. Jang, S. Kim, T. Kin, H. Melikyan, A. Babajanyan, K. Lee, B. Friedman, “*Detection of DNA-Hybridization Using a Near-Field Scanning Microwave Microscope*”, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, vol. 11, No. 5, 2011, pp. 4222-4226.
 20. A. Babajanyan, H. Melikyan, S. Kim, J. Kim, K. Lee, B. Friedman, “*Real-Time Noninvasive Measurement of Glucose Concentration Using a Microwave Biosensor*”, Journal of Sensors 2010, Article ID 452163, 2010, DOI:10.1155/2010/452163.
 21. H. Melikyan, A. Babajanyan, N. J. Lee, T. H. Kim, H. Lee, K. Lee, B. Friedman, “*Characterization of Magnetoresistance Hysteresis of Permalloy Thin-Film Using Near-Field Microwave Microscope*”, Thin Solid Films, vol. 519, No. 1, 2010, pp. 399-403.

22. A. Babajanyan, L. Enkhtur, B. -E. Khishigbadrakh, H. Melikyan, Y. Yoon, S. Kim, H. Lee, T. Kim, K. Lee, B. Friedman, “*Anisotropic Electric Properties of Copper-(II)-Phthalocyanine Thin Films Characterized by a Near-Field Microwave Microscope*”, *Current Applied Physics*, vol. 11, No. 2, 2010, pp. 1066-1070.
23. H. Lee, T. Kim, S. Kim, Y. Yoon, S. Kim, A. Babajanyan, T. Ishibashi, B. Friedman, K. Lee, “*Magneto-Optical Imaging Using a Garnet Indicator Film Prepared on Glass Substrates*”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 322, No. 18, 2010, pp. 2722-2727.
24. A. Hovsepian, A. Babajanyan, T. Sargsyan, H. Melikyan, S. Kim, J. Kim, K. Lee, B. Friedman, “*Direct Imaging of Photoconductivity of Solar Cells by Using a Near-Field Scanning Microwave Microprobe*”, *Journal of Applied Physics*, vol. 106, No. 10, 2009, pp. 114901 1-6.
25. L. Enkhtur, R. Galbadrakh, T. Sargsyan, K. Balt-Erdene, A. Babajanyan, K. Lee, “*Carrier Mobility in Field Effect Transistors Based on Copper-Phthalocyanine Thin Films with Different Phase Structure*”, *Mongolian National University Scientific Journal: Physics*, vol. 309, No. 15, 2009, pp. 17-22.
26. L. Enkhtur, R. Galbadrakh, T. Sargsyan, H. Melikyan, A. Babajanyan, B. Friedman, K. Lee, “*Noncontact Evaluation of the Conductivity of CuPc Thin Films by Near-Field Microwave Microprobe Method*”, *Mongolian National University Scientific Journal: Physics*, vol. 309, No. 15, 2009, pp. 23-29.
27. L. Enkhtur, R. Galbadrakh, G. Shilagardi, A. Babajanyan, K. Lee, D. Cha, “*Life Time Mobility Product of Injected charge Carriers in Copper II Phthalocyanine Thin Films with Different Phase Structure*”, *Mongolian National University Scientific Journal: Physics*, vol. 309, No. 15, 2009, pp. 30-36.
28. A. Babajanyan, T. Sargsyan, H. Melikyan, S. Kim, J. Kim, K. Lee, “*Investigation of the Photovoltaic Effect in Solar Cells by Using a Near-field Microwave Microscope*”, *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 55, No. 1, 2009, pp. 154-157.
29. H. Melikyan, T. Sargsyan, A. Babajanyan, S. Kim, J. Kim, K. Lee, “*Direct Nano-Spatial Magnetic Domain Imaging with a Near-field Scanning Microwave Microscope Incorporating an AFM Cantilever Probe*”, *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 55, No. 1, 2009, pp. 158-161.
30. A. Babajanyan, H. Melikyan, T. Sargsyan, S. Kim, J. Kim, K. Lee, B. Friedman, “*Characterization of self-assembled monolayers by using a near-field microwave scanning microprobe*”, *Thin Solid Films*, vol. 517, No. 18, 2009, pp. 5597-5600.
31. H. Melikyan, T. Sargsyan, A. Babajanyan, S. Kim, J. Kim, B. Friedman, K. Lee, “*Hard Disk Magnetic Domain Nano-Spatial Resolution Imaging by using a Near-Field Scanning Microwave Microscope with an AFM Probe Tip*”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 321, No. 16, 2009, pp. 2483-2487.
32. J. Kim, A. Babajanyan, T. Sargsyan, H. Melikyan, S. Kim, B. Friedman, K. Lee, “*Investigation of Photoconductivity of Silicon Solar Cells by a Near-Field Scanning Microwave Microscope*”, *Ultramicroscopy*, vol. 109, No. 8, 2009, pp. 958-962.
33. K. Lee, H. Melikyan, A. Babajanyan, T. Sargsyan, J. Kim, S. Kim, B. Friedman, “*Visualization of Magnetic Domains by Near-Field Scanning Microwave Microscope*”, *Ultramicroscopy*, vol. 109, No. 8, 2009, pp. 889-893.
34. S. Kim, J. Kim, A. Babajanyan, K. Lee, B. Friedman, “*Noncontact Characterization of Glucose by a Waveguide Microwave Probe*”, *Current Applied Physics*, vol. 9, No. 4, 2009, pp. 856-860.

35. J. Kim, A. Babajanyan, A. Hovsepyan, K. Lee, B. Friedman, “*Microwave Dielectric Resonator Biosensor for Aqueous Glucose Solution*”, Review of Scientific Instruments vol. 79, No. 1, 2008, pp. 086107 1-3.
36. K. Lee, A. Babajanyan, C. Kim, S. Kim, B. Friedman, “*Glucose Aqueous Solution Sensing by a Near-Field Microwave Microprobe*”, Sensors and Actuators A: Physical, vol. 148, No. 1, 2008, pp. 28-32.
37. A. Babajanyan, T. Sargsyan, L. Lee, D. Cha, “*Investigation of CdS Films Prepared by Using Chemical Bath Deposition*”, Journal of the Korean Physical Society, vol. 53, No. 2, 2008, pp. 680-684.
38. H. Melikyan, A. Hovsepyan, T. Sargsyan, Y. Yoon, H. Yoo, A. Babajanyan, K. Lee, “*Characterization of Magnetic Materials Using a Scanning Microwave Microprobe*”, Ultramicroscopy, vol. 108, No. 10, 2008, pp. 1030-1033.
39. A. Hovsepyan, H. Lee, T. Sargsyan, H. Melikyan, Y. Yoon, A. Babajanyan, B. Friedman, K. Lee, “*Characterization of Alq₃ Thin Films by a Near-Field Microwave Microprobe*”, Ultramicroscopy, vol. 108, No. 10, 2008, pp. 1058-1061.
40. T. Sargsyan, A. Hovsepyan, H. Melikyan, Y. Yoon, H. Lee, A. Babajanyan, M. Kim, D. Cha, K. Lee, “*Investigation of CdS Thin Films by a Near-Field Microwave Microprobe*”, Ultramicroscopy, vol. 108, No. 10, 2008, pp. 1062-1065.
41. E. Lim, T. Manaka, M. Iwamoto, B. Friedman, A. Babajanyan, S. Kim, Y. Yoon, S. Kim, K. Lee, “*Investigation of Space Charge at Pentacene/Au Interface with UV/Ozone Treatment by a Near-Field Microwave Microprobe*”, Thin Solid Films, vol. 516, No. 9, 2008, pp. 2573-2576.
42. A. Babajanyan, K. Lee, R. Khachatryan, Kh. Nerkararyan, “*Sensing of Glucose Concentration by Using a Surface Plasmon Polariton*”, Journal of the Korean Physical Society, vol. 52, No. 2, 2008, pp. 440-443.
43. A. Babajanyan, “*Near-Field Microscopy in Biotechnology*”, Proc. on BCHBM 2008, Jeju, Korea, pp. 4-6.
44. S. Kim, H. Yoo, A. Babajanyan, J. Kim, K. Lee, “*A Study for a Near-Field Microwave Microscope Using a Tuning Fork Distance Control in Liquid Environment*”, Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, vol. 27, No. 4, 2007, pp. 345-353.
45. A. Babajanyan, K. Lee, E. Lim, T. Manaka, M. Iwamoto, B. Friedman, “*Investigation of Space Charge at Pentacene/Metal Interfaces by a Near-Field Scanning Microwave Microprobe*”, Applied Physics Letters, vol. 90, No. 18, 2007, pp. 182104 1-3.
46. S. Kim, Y. Yoon, A. Babajanyan, J. Kim, K. Lee, “*Concentration of Sodium Chloride Solution Sensing by Using a Near-Field Microwave Microprobe*”, Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing, vol. 27, No. 1, 2007, pp. 23-30.
47. A. Babajanyan, J. Kim, S. Kim, K. Lee, B. Friedman, “*Sodium Chloride Sensing by Using a Near-Field Microwave Microprobe*”, Applied Physics Letters, vol. 89, No. 18, 2006, pp. 183504 1-3.
48. S. Yun, H. Yoo, S. Na, A. Babajanyan, B. Friedman, K. Lee, “*Noncontact Characterization of Shit Resistance of Indium-Tin-Oxide Thin Films by Using a Near-Field Microwave Microscope*”, Thin Solid Films, vol. 515, No. 4, 2006, pp. 1354-1357.
49. A. Babajanyan, J. Kim, S. Kim, B. Friedman, K. Lee, “*Glucose Biosensing Using a Near-Field Microwave Microprobe*”, Key Engineering Materials vol. 321-323, P. 2, 2006, pp. 1048-1051.
50. K. Lee, A. Babajanyan, S. Kim, “*Label-free DNA Detection Using a Near-Field Microwave*”, Key Engineering Materials vol. 321-323, P. 2, 2006, pp. 1040-1043.

51. H. Yoo, J. Kim, A. Babajanyan, S. Kim, K. Lee, “*Nondestructive and Non-Contact Characterization Technique for Metal Thin Films Using a Near-Field Microwave Microprobe*”, Key Engineering Materials vol. 321-323, P. 2, 2006, pp. 1457-1460.
52. E. Janunts, A. Babajanyan, N. Margaryan, Kh. Nerkararyan, “*Opto-Chemical Sensor on the Base of Two-Channel Tapered Waveguide*”, Sensors and Actuators A, vol. 116, No. 1, 2004, pp. 91-94.
53. Э. А. Джанунц, А. Ж. Бабаджанян, Р. Ж. Хачатрян, Х. В. Неркарарян, «*Резонансное Возбуждение Поверхностного Плазмон-Поляритона на Коническом Конце Оптического Волокна, Покрытого Слой Золота*», Известия НАН РА, Физика, т. 39, No. 4, 2004, сс. 249-253.
54. A. Babajanyan, N. Margaryan, Kh. Nerkararyan, “*Possibility of Superfocusing of Surface Polaritons in the Conical Structure*”, Journal of Applied Physics, vol. 87, No. 8, 2000, pp. 3785-3788.
55. А. Ж. Бабаджанян, «*Сверхфокусировка Поверхностного Поляритона на Шероховатой Поверхности Металла*», Известия НАН РА, Физика, т. 35, No. 5, 2000, сс. 263-266.
56. A. Babajanyan, S. Haroutyunyan, Kh. Nerkararyan, “*About the Nature of the Enhancement of the Nonlinear Optical Response from Rough Surface of a Metal*”, SPIE Proc.: New Trends in Atomic and Molecular Spectroscopy, vol. 4060, 2000, pp. 142-147.
57. K. Kocharyan, M. Afsar, Y. Avetissian, E. Sarkissian, A. Babajanyan, I. Tkachov, “*A Novel Quasi-Optical Resonator for the Surface Near-Millimeter Waves*”, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 47, No. 1, 1999, pp. 27-33.
58. Ю. О. Аветисян, А. Ж. Бабаджанян, К. Н. Кочарян, Х. В. Неркарарян, «*Черенковский Механизм Излучения Разностной Частоты Оптических Волноводов*», Известия НАН РА, Физика, т. 34, No. 2, 1999, сс. 75-80.

NANO-RESOLUTION CHARACTERIZATION TECHNIQUES BY NEAR-FIELD SCANNING MICROSCOPY AT MICROWAVES AND OPTICS

Annotation

The present dissertation is devoted to the theoretical and experimental investigation of near-field scanning microwave microscopy (NSMM) and the generation and propagation of the surface plasmon polaritons (SPP) in the various space-limited resonant structures with the specified material characteristics.

The NSMM is a noncontact, nondestructive and label-free evaluation tool to obtain material properties with high contrast and high spatial resolution. This NSMM approach is based on nondestructive probing of a local electromagnetic near-field interaction between the probe tip and the materials under test, and can be used in exploring material characteristics such as electrical conductivity, dielectric permittivity, magnetic permeability, volumetric and thin film properties, etc. The design, imaging performance, and applications of NSMM for noninvasive characterization of electrical properties of conducting and dielectric materials have been previously described. The changes in intrinsic impedance and material characteristics of various materials were investigated by NSMM by measuring the microwave reflection coefficient; S_{11} and resonant frequency shift; $\Delta f/f_r$. These parameters can be easily measured using a commercial network analyzer.

A technique that uses microwaves has a number of interesting features. Firstly, there is not much structured electromagnetic parameters in this frequency range so; one is in fact measuring the low frequency properties, which are of considerable practical importance. In addition, “subsurface” information is obtained because microwaves penetrate well into materials, i.e. in good conductors where the skin depth is still of the order of a micron. Finally, in comparison to other frequency regimes, it should be straightforward to obtain quantitative information, because the electromagnetic properties are relatively simple. Indeed, by consideration of frequency shifts, quantitative measurement of the local dielectric constant and electrical conductivity has been done using analytical description based on cavity perturbation theory. Another, perhaps more natural observable in NSMM experiments, is the microwave reflection coefficient S_{11} as a function of frequency (from which, of course, the frequency shift $\Delta f/f_r$ can be obtained) or S_{11} as a function of some sample property for a fixed frequency.

The NSMM detection technique has attracted considerable attention recently as a promising alternative sensor platform for use in solid state, chemical solution, and biological detection methods. Moreover, the near-field technique offers a label-free detection method that overcomes the need for targeting the molecules with fluorescent or radioactive labels. In addition to these important applications in molecular recognition, the NSMM technique is a unique experimental tool for investigating the physical properties at the nano-scale. The nano-scale probing technique using a NSMM means that it interacts in response to extremely small material property changes, such as electromagnetic or volumetric changes, created by molecular structure changes. This nano-scale measurement has a great potential for investigating the surface profiles with high sensitivity.

The results obtained with NSMM could be confirmed by the complementally visualized profile obtained by using an electric field induced optical second harmonic generation, scanning electron microscope, atomic force microscope, and X-ray diffraction technique. The NSMM approach will be shown useful in modeling carrier concentration and accumulated charge exhaustion in organic insulators and semiconductors, the 3D

surface mapping and topography of solids, the point-by-point distribution material characteristics (permittivity, permeability, conductivity, carriers density, etc.) of the inhomogeneous structures, and label-free biosensing of organics and bioassays (DNA, SAM, glucose, NaCl, etc.).

The use of the optical fibers instead to traditional conductors in modern nano-technique provides the opportunities to increase the speed of information processing systems. However, the solution in this direction brings the few fundamental problems. It is well known that diffraction processes hinder localization of a wave within limits smaller than its own wavelength and at the given power of electromagnetic radiation its intensity can only be increased to a certain level. Because of this, many nonlinear optical phenomena can be detected only in those ranges of the spectrum where there exist powerful sources of laser radiation. The problem of creation of gigantic wave fields of non-laser origin can only be solved under specific conditions when substantial shortening of wavelength of the radiation is possible. The SPP appear to be such waves because their dispersion relation allows the wave number to vary in quite a wide range in small vicinity of resonance frequency. The nanoplasmonics is the new direction for the next generation information technology for the nanometric size integral devices and is the new field of research for SPP. These nanometric devices have to combine the capabilities of high-speed signal processing that is typical for the optical methods and the advantages of electronic circuits with the sizes smaller than the wavelength.

The unique properties of SPPs could allow miniaturizing photonic circuits with wavelength-scales that are much smaller than those currently achieved. The features of SPPs such as enhanced and spatially confined electromagnetic fields at metal-dielectric interfaces have been exploited in various fields for example in nanophotonics, biosensing], light generation etc. Despite the great promise of SPP many applications remained impractical due to high losses resulting from the damping of electromagnetic fields in metals. Active plasmonics, which describes the interaction between active medium and SPPs, offers an opportunity to expand SPPs based applications. Furthermore, if the optical gain is high enough to overwhelm the absorption loss, the compact plasmonic lasers may be realizing. Examples of recent advances are microscopic lasers that can reach the diffraction limit, based on photonic crystals, metal-clad cavities, and nanowires. Because of the strong enhancement of the field induced by the excitation of SPPs, and, consequently, the increased optical nonlinearity, SPPs are particularly suited for providing this functionality. With nanoscale patterning and processing technology advancing rapidly, it is becoming increasingly practical to generate optical elements from spatially modulated films. Thus, the resonant periodic waveguide is currently receiving considerable research and development interest. In the modern science and technology the waveguides are used in a wide range of applications: from rectangular metallic waveguides for microwave and terahertz wave to dielectric fibers for optics waves. The SPP waveguides provide the possibility for the transmission of the electromagnetic waves as in optical fiber but in the metallic structures with the size smaller than the wavelength.

БЛИЖНЕПОЛЕВАЯ СКАНИРУЮЩАЯ МИКРОСКОПИЯ С НАНО-РЕЗОЛЮЦИЕЙ В МИКРОВОЛНОВОМ И ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНАХ

Аннотация

Диссертация посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию ближнеполевой сканирующей микроволновой микроскопии (БСММ) а так же выявлению возможностей создания быстродействующих квантовых излучателей и приемников в спектре оптических и терагерцевых частот, путем определения основных параметров и оптимальных структур для поверхностных плазмонных поляритонных (ППП) волноводов и резонаторов.

БСММ бесконтактный, неразрушающий и бесмаркерный инструмент для оценки электромагнитных свойств материала с высоким контрастом и высоким пространственным разрешением. Инструментарий основан на неразрушающего зондирования местного электромагнитных ближнего поля взаимодействие между наконечником зонда и исследуемых материалов, и может быть использован в исследовании характеристик материала, таких как электропроводность, диэлектрическая и магнитная проницаемость, объемный и тонко-пленочных свойств и т.д. Изменения электромагнитных характеристик и соответственно волнового сопротивления в различных материалах были исследованы путем измерения микроволновый коэффициент отражения; S_{11} и сдвига резонансной частоты; $\Delta f/f_0$. Эти параметры могут быть легко измерены с использованием коммерческого сетевого анализатора.

Техника, которая использует микроволны имеет ряд интересных особенностей. Во-первых, не так много структурированных электромагнитных параметров в этом диапазоне частот, так что эти исследования свойства на сравнительно низких частотах, могут иметь большое практическое значение. Кроме того, можно получить «подповерхностную» информацию благодаря тому, что микроволны проникают в материал глубже, даже в хорошие проводники, где глубина проникновения составляет еще порядка микрона. Наконец, по сравнению с другими диапазонами частоты, здесь проще получить количественную информацию, поскольку электромагнитные свойства являются относительно простыми. В самом деле, при рассмотрении сдвигов резонансной частоты для количественного измерения местной диэлектрической постоянной или электропроводности была использовано аналитическое моделирования на основе теории возмущений для резонаторов. Другой, возможно более простой измеряемой параметром в БСММ экспериментах является микроволновый коэффициент отражения как функцию частоты (из которого получена и параметр сдвиг резонансной частоты) на резонансной частоте или на определенной фиксированной частоте.

В последнее время БСММ техника обнаружения привлекла большое внимание в качестве перспективной альтернативной сенсорной платформы для использования в твердотельных материалах, химических растворах, и в биологических шаблонах. Кроме того, БСММ предлагает метод обнаружения без использования меток, что избавляет необходимость ориентации молекул с добавлением люминесцентных или радиоактивных меток. В дополнение к этой важной приложения в молекулярном распознавания, БСММ является уникальной экспериментальной инструментом для исследования физических свойств в наномасштабе, что означает использование взаимодействия микрозонда и образца в ответ на чрезвычайно малые изменения

свойств (электромагнитные или структурные) изменения материала. Эти нано-измерения имеют большой потенциал для высокочувствительного исследования профилей поверхности.

Результаты, полученные с БСММ дополнительно подтверждены с помощью генерации оптической второй гармоники, сканирующего электронного микроскопа, атомно-силового микроскоп, и методом дифракции рентгеновских лучей. БСММ техника будет полезно в моделировании поведения изменения концентрации и мобильности носителей заряда в органических диэлектриках и полупроводниках, 3D отображение и топографии поверхности твердого тела, распределения материальных характеристик в неоднородных структурах, для биоанализа органики и биошаблонов (ДНК, СОМ, глюкозы, NaCl и т.д.).

Использование оптических волокон вместо традиционных проводников в современных нано-технология позволяет увеличить скорость обработки информации. Наноплазмоника является новым направлением для следующего поколения информационных технологий для интегральных устройств с нанометровыми размерами, и является новой областью исследований для ППП. Они должны совместить возможности высокоскоростной обработки сигнала (типичный для оптических методов) и преимущества электронных схем с размерами меньше длины волны. Уникальные свойства ППП может позволить минимизировать фотонные цепи в масштабах длиной волны, что значительно меньше, чем сейчас. Активная плазмоника, которая описывает взаимодействие между активной среды и ППП, предлагает возможности расширения ППП приложений. Кроме того, если оптическое усиление достаточно высока, чтобы уменьшить поглощения, могут быть реализованы компактные плазмонные лазеры. ППП особенно подходят для этих целей, из-за сильного усиления поля, вызванного возбуждением ППП и, следовательно, увеличения оптической нелинейности. ППП волноводы обеспечивают возможность передачи электромагнитной волны, как и в оптическом волокне, но в металлической структуре с размером меньше длины волны.

Показано, что в системе состоящий из металлической тороидальной и плоской поверхности могут формироваться волноводные моды ППП. Зависимость волнового числа и распределения поля этих волн от минимальной дистанции между поверхностями и диэлектрической проницаемости дает широкие возможности для образования мод с необходимыми характеристиками в нанометрических поперечных размерах. Волновая энергия резонансных мод может накапливаться или освобождаться эванесцентно с возможностью направления входящего и высвобождающего излучения способом прикреплению с ППП модой в таком же волноводе.

Показано, что в резонаторах с V-образными щелями или микроцилиндрическими формами возможно локализовать поперечные размеры светового сигнала в нанометрической области, что создаст благоприятные условия для улучшения пороговых условий нанолазеров. При этом, величина, которая является соотношением добротности и объема резонатора и считается показателем характеристик резонатора существенно возрастает.

