

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Վարդանյան Արտաշես Յուրիի

ՊԼԱԶՄՈՆԱՅԻՆ ԱԼԻՔԱՏԱՐՆԵՐ ԵՎ ՌԵԶՈՆԱՏՈՐՆԵՐ ՄԵՏԱՂ-ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿ-
ՄԵՏԱՂ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐՈՒՄ

Ա.04.03 - «Ռադիոֆիզիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ – 2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Варданян Арташес Юрьевич

ПЛАЗМОННЫЕ ВОЛНОВОДЫ И РЕЗОНАТОРЫ В СТРУКТУРАХ МЕТАЛЛ-
ДИЭЛЕКТРИК-МЕТАЛЛ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.03 – "Радиофизика"

ЕРЕВАН – 2013

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝ ֆ.մ.գ.դ., պրոֆեսոր
Խ.Վ.Ներկարարյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ԶԶ ԳԱԱ թղթակից անդամ, ֆ.մ.գ.դ., պրոֆեսոր
Ռ.Բ. Կոստանյան
ֆ.մ.գ.դ., պրոֆեսոր
Լ.Ս.Ասլանյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ԶԶ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի
ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2013թ. մայիսի 25-ին ժամը 11:00-ին
Երևանի պետական համալսարանի 049 ֆիզիկայի մասնագիտական խորհրդի
նիստում (հասցե՝ 0025, Երևան, Ա. Մանուկյան 1):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊԶ գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2013թ. ապրիլի 23-ին:

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝



ֆ.մ.գ.թ., դոցենտ
Վ.Պ. Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете

Научный руководитель: д.ф.м.н., профессор
Х.В. Неркарян

Официальные оппоненты: Член-корреспондент НАН РА, д.ф.м.н., профессор
Р.Б. Костанян
д.ф.м.н., профессор
Л.С. Аслабян

Ведущая организация: Институт радиофизики и электроники НАН РА

Защита диссертации состоится 25-го мая 2013г. в 11:00 часов,
на заседании специализированного совета 049 по физике при Ереванском
государственном университете (адресс: 0025, Ереван, ул. А. Манукяна 1).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.
Автореферат разослан 23-го апреля 2013г.

Ученый секретарь
специализированного совета:



к.ф.м.н., доцент
В.П. Калантарян

Ուսումնասիրության արդիականությունը

Ժամանակակից մանուսիեմաներում հաղորդիչների փոխարեն լուսատարների օգտագործումն ընձեռում է տեղեկատվության մշակման համակարգերի արագագործության մեծացման հնարավորություններ: Սակայն այս խնդրի լուծման ճանապարհին հանդես են գալիս մի շարք սկզբունքային դժվարություններ: Հայտնի է, որ դիֆրակցիոն երևույթները խոչընդոտում են լուսային ազդանշանի տեղայնացմանն իր ալիքի երկարության կեսից ավելի փոքր տիրույթում:

Փոքր չափսերով, սակայն լայն թողարկման շերտով օպտիկական շղթաների ստեղծումը հետազոտողները կապում են մակերևութային պլազմոն պոլյարիտոնների (ՄՊՊ) արտասովոր ֆիզիկական հատկությունների հետ, որոնք էլեկտրամագնիսական ալիքի և էլեկտրոնային պլազմայի համատեղ տարածվող տատանումներն են և տեղայնացված են մետաղը դիէլեկտրիկից բաժանող սահմանին: Ներկայումս արդեն կասկած չի հարուցում ՄՊՊ-ների օգնությամբ դիֆրակցիոն սահմանը շրջանցելու հանգամանքը [1,2]: Տեղեկատվության մշակման արագագործությանը միտված հաջորդ սերնդի նանոմետրական չափսերով ինտեգրալային սարքերի զարգացման կարևորագույն ուղղություններից մեկը՝ մանուպլազմոնիկան, հանդիսանում է ՄՊՊ-ների հատկությունների հետազոտմանը նվիրված նոր բնագավառ: Նանոմետրական չափսերով ինտեգրալային սարքերը պետք է համատեղեն օպտիկական մեթոդներին բնորոշ ազդանշանների գերարագ մշակման հնարավորությունները և ալիքի երկարությունից փոքր չափսեր ունեցող էլեկտրոնային շղթաների առավելությունները:

Էլեկտրամագնիսական ալիքների ուղղորդված տարածման համար ավելի քան հարյուր տարի է, ինչ օգտագործվում են ալիքատարներ: Արդի ժամանակաշրջանում ալիքատարները կիրառվում են էլեկտրամագնիսական ալիքների բավականաչափ լայն տիրույթում՝ սկսած գերբարձր հաճախությունների տիրույթում կիրառվող ուղղանկյուն ալիքատարներից մինչև օպտիկական հաճախությունների տիրույթում լայն տարածում գտած դիէլեկտրական մանրաթելերը: ՄՊՊ ալիքատարները հնարավորություն են

ստեղծում էլեկտրամագնիսական ճառագայթման տարածման համար, ինչպես օպտիկական մանրաթելը, սակայն օգտագործելով մի կարգ փոքր լայնական չափսերով մետաղական կառուցվածքներ:

Մեծ բարորակությամբ և փոքր չափսերով ռեզոնատորների հետազոտումը տարատեսակ քվանտային օպտիկական սարքերի ստեղծման հնարավորություն է տալիս: Այդպիսի սարքերի շարքին կարելի է դասել փոքր էներգիա պահանջող արագագործ օպտոէլեկտրոնային ճառագայթիչներն ու ընդունիչները, առանձնացված մոլեկուլների կոհերենտ ճառագայթման վերահսկումն ապահովող զգայուն օպտիկական սենսորները: Նանոռեզոնատորների որակը բնութագրող ներկայումս ընդունված մեծությունը որոշվում է նրա բարորակության և ծավալի հարաբերությամբ: Նշված մեծության բավականաչափ մեծ արժեքներ են ստացվել ֆոտոնային բյուրեղների և դիէլեկտրական միկրոսկավառակների հիման վրա ստեղծված ռեզոնատորներում՝ դիէլեկտրական ռեզոնատորներում [3]: Սակայն ալիքի երկարության կեսով որոշվող դիֆրակցիոն սահմանը թույլ չի տալիս դիէլեկտրական ռեզոնատորների չափսերի էական փոքրացում: Այս սահմանափակման շրջանցման լավագույն եղանակը ՄՊՊ-ների օգտագործումն է: Պլազմոնային նանոռեզոնատորների ծավալի փոքրացումն ուղեկցվում է կորուստների աճով, որը, սակայն, չի կարող խոչընդոտել դրա արդյունավետության բնութագրիչի աճին:

Տարատեսակ կիրառությունների հնարավորության տեսանկյունից ներկայումս մեծ հետաքրքրություն է ներկայացնում ուղղորդված տերահերցային (ՏՀց) ճառագայթման աղբյուրի ստեղծման հեռանկարը: Ազատ ՏՀց ճառագայթման փունջն առանց աղավաղումների կարող է տարածվել ընդամենը մի քանի տասնյակ սանտիմետր:

Դետևաբար, ալիքատարի միջոցով թողարկման լայն շերտով ուղղորդված ՏՀց ճառագայթման ձևավորումը սկզբունքային նշանակություն ունի:

Պայմանավորված ազդանշանի գեներացման, կառավարման և ալիքատարային ուղիների փոխկապակցման հնարավորություններով, ալիքատարային ռեզոնատորները կարևոր դեր են կատարում ինչպես ռադիո և օպտիկական հաճախությունների տիրույթներում, այնպես էլ ՏՀց տիրույթում:

Միտված լինելով ՏՀց ինտեգրալային սխեմաների ստեղծմանը, ՏՀց ալիքատարային սարքերի առաջընթացն անհրաժեշտություն է առաջացրել

ստեղծել այդ հաճախությունների տիրույթում գործող մեծ բարորակությամբ ռեզոնատորներ:

Ուշագրավ է նաև հաճախությունների ՏՅց տիրույթում մետանյութերի հիման վրա մեծ բարորակությամբ ռեզոնատորի ստեղծման հեռանկարը, որի կարևորագույն առանձնահատկությունն արտասովոր փոքր չափսերն են:

Շնորհիվ հետաքրքիր և անսովոր հատկությունների մետանյութերը գտել և գտնում են բազմաթիվ կիրառություններ: Առավել գրավիչ հատկությունների շարքին կարելի է դասել գերոսպնյակները [4], որոնք կարող են լայնորեն կիրառվել գերբարձր որակի օպտիկական պատկերներ ստանալու նպատակով: Միևնույն ժամանակ, մետանյութերի հիման վրա ստեղծված սարքերը լայնորեն օգտագործվում են միկրոալիքային վառարաններում և պլեհավաքներում [5]:

Ներկայացվող ատենախոսությունը նվիրված է թվարկված արդիական խնդիրներին առնչվող հարցերի լուսաբանմանը:

Աշխատանքի նպատակը

Ատենախոսության նպատակը հաճախությունների օպտիկական և ՏՅց տիրույթներում փոքր էներգիա պահանջող, արագագործ քվանտային ճառագայթիչների և ընդունիչների ստեղծման հնարավորությունների բացահայտումն է՝ այդ սարքերի հիմնական տարրերը հանդիսացող պլազմոնային ալիքատարների ու ռեզոնատորների օպտիմալ կառուցվածքի և հիմնական բնութագրիչների որոշման միջոցով:

Գիտական նորույթը

1. Ադիաբատիկ մոտավորության սահմաններում բացահայտվել են սեպածև և գլանածև մետաղական մակերևույթներով սահմանափակված գոգավոր, նանոմետրական լայնությամբ ճեղքում ձևավորվող ՄՊՊ ալիքատարային մոդերի տարածական բաշխվածությունն ու դիսպերսիոն բնութագիրը, որոնք կարող են արդյունավետ օպտիկական կապ ստեղծել ինտեգրալային նանոսխեմաներում:
2. Ցույց է տրված, որ օղակածև V-տիպի ակոսով և գոգավոր տորոիդալ մակերևույթներով սահմանափակված պլազմոնային ռեզոնատորներում լուսային ազդանշանի լայնական չափսերը կարելի է տեղայնացնել նանոմետրական տիրույթում՝ նպաստավոր պայմաններ ստեղծելով նանոլազերներում շեմային պայմանների բարելավման համար:

3. Կատարված վերլուծության օգնությամբ, հաճախությունների ՏՅց տիրույթում, բացահայտվել են նշաձև լայնական հատույթի բացվածքով տորոհիդալ ռեզոնատորի օպտիմալ բնութագրիչները, որին բնորոշ բարորակության մեծ արժեքները կիրառության նոր հնարավորություններ են ստեղծում տարբեր բնագավառներում, սկսած ֆոտոնիկայի հիմնախնդիրներից մինչև սարքերի նախագծում:
4. Ցույց է տրված, որ մետանյութերի հիման վրա ստեղծված գնդային համաչափությամբ կառուցվածքներում ալիքային էներգիան կարելի է կուտակել ենթաալիքային տիրույթում, որտեղ տեղայնացումն իրականանում է էքսպոնենցիալ օրենքով դաշտերի նվազման պայմաններում:

Գործնական արժեքը

Ատենախոսությունում հետազոտվող պլազմոնային ալիքատարներն ու ռեզոնատորները կարող են ծառայել նոր սերնդի նանոմետրական չափսերով այն ինտեգրալային սարքերի ստեղծմանը, որոնք համատեղում են օպտիկական մեթոդներին բնորոշ ազդանշանների գերարագ մշակման հնարավորություններն ալիքի երկարությունից փոքր չափսեր ունեցող էլեկտրոնային շղթաների առավելությունների հետ:

Պշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները

1. Չհպվող զուգահեռ մետաղական գլանների կամ սեպերի գոգավոր միջակայքում կարող են ձևավորվել ՄՊՊ ալիքատարային մոդեր, որոնց ալիքային թվի և դաշտերի բաշխվածության կախվածությունը ճեղքի նվազագույն լայնությունից և միջավայրի դիէլեկտրական թափանցելիությունից լայն հնարավորություններ է ստեղծում անհրաժեշտ բնութագրերով մոդերի ձևավորման համար: Արդյունքում` ՄՊՊ ալիքատարային մոդերը կարելի է տեղայնացնել նանոմետրական լայնական չափսերում, որն, սակայն, ալիքի երկարության էական նվազման հետ ուղեկցվում է կորուստների աճով:
2. Օղակաձև V-տիպի ակոսով և տորոհիդալ մակերևույթներով սահմանափակված պլազմոնային ռեզոնատորներում լուսային ազդանշանի բարորակության ու մոդերի տեղայնացման համար առաջին

անգամ ստացված վերլուծական արտահայտությունները թույլ են տալիս որոշել այդ նաևնկառուցվածքների օպտիմալ բնութագրիչները:

3. Նշածն լայնական հատույթի բացվածքով տորոիդալ ռեզոնատորում դաշտերի բաշխվածության և բարորակության համար հաճախությունների ՏՅց տիրույթում ստացվել են վերլուծական արտահայտություններ, որոնք կարելի է օգտագործել տարատեսակ սարքերի նախագծման և անհրաժեշտ պարամետրերի արագ գնահատման համար:
4. Մետանյութերի հիման վրա ստեղծված գնդային համաչափությամբ կառուցվածքներում կարող են ձևավորվել նոր տիպի եռաչափ տեղայնացված էլեկտրամագնիսական դաշտեր, որոնց արժեքներն էքսպոնենցիալ օրենքով նվազում են կուտակման տիրույթից հեռանալիս:

Աշխատանքի ներկայացումը

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները զեկուցվել են "International conference on The Technique of Microwave and THz Waves and its Applications in Biomedical and radar Technologies and in Remote Sensing" (Ashtarak-Aghveran, Armenia, 2010), "Photonics and Micro- and Nano-structured Materials" (Yerevan, Armenia, 2011) միջազգային գիտաժողովներում, ինչպես նաև Երևանի պետական համալսարանի Գերբարձր հաճախությունների ռադիոֆիզիկայի և հեռահաղորդակցության ամբիոնի սեմինարներում:

Հրատարակումները

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրվել են 6 գիտական աշխատանքներում, որոնց ցուցակը ներկայացված է սեղմագրի վերջում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք զլխից, եզրակացությունից և 167 անուն պարունակող գրականության ցանկից: Աշխատանքում առկա է 44 նկար: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 102 էջ է:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածության մեջ հիմնավորված է աշխատանքի արդիականությունը, ձևակերպված են նպատակներն ու խնդիրները, ինչպես նաև պաշտպանության

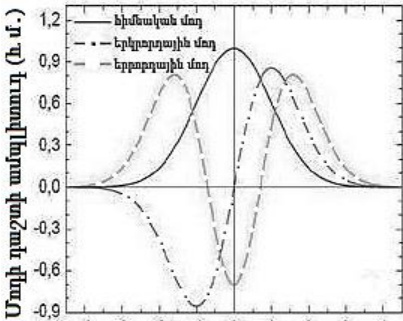
ներկայացվող հիմնական դրույթները: Նշված են ստացված արդյունքների գիտական նորույթը և գործնական արժեքը:

Առաջին գլխում դիտարկված են հաճախությունների օպտիկական տիրույթում էլեկտրամագնիսական ալիքներն ուղղորդող և տեղայնացնող ՄՊՊ ալիքատարների կառուցվածքային և որակական առանձնահատկությունները:

1.1 պարագրաֆն ակնարկային 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 և ֆունկցիոնալ առանձնահատկություններն ու կիրառման հնարավորությունները:

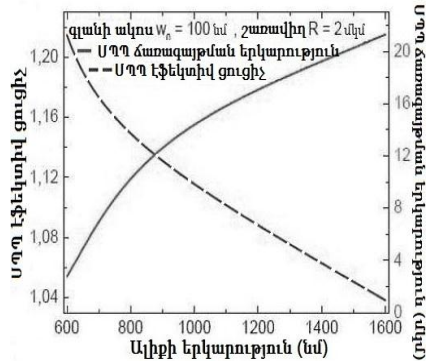
1.2 պարագրաֆում հետազոտված են ՄՊՊ ալիքատարային մոդերի ձևավորման հնարավորություններն ու հիմնական բնութագրիչների վարքը չհավող զուգահեռ գլանների և զուգահեռ սեպերի համակարգում: Բացահայտված դաշտերի բաշխումը և ալիքային թվի կախվածությունը գլանների կամ սեպերի ձևից, փոխադարձ դասավորությունից և միջավայրի դիէլեկտրական թափանցելիությունից լայն հնարավորություններ է ստեղծում անհրաժեշտ բնութագրերով մոդերի ձևավորման համար: Մասնավորապես, գլանների կամ սեպերի միջև հեռավորության փոքրացումը կարող է բերել ՄՊՊ ալիքատարային մոդի ուժեղ տեղայնացման և ալիքային թվի էական աճի, ինչը, սակայն, ուղեկցվում է նաև օհմական կորուստների զգալի աճով:

Ձուգահեռ գլանների դեպքում լայնական հատույթում ալիքային դաշտերի բաշխվածության տեսքն առաջին երեք մոդերի համար բերված է նկ.1-ում: Որպես մետաղ ընտրվել է ոսկին՝ $n = 0.272 + 7.07i$ ($\lambda = 1.033$ մկմ) բեկման ցուցիչով, գլանների միմյանց հավասար շառավիղները $R = 2$ մկմ են, իսկ վակուումով անջատված նրանց մակերևույթների միջև փոքրագույն հեռավորությունը՝ $d_0 = 100$ նմ: Ստացված վերլուծական արտահայտությունները հնարավորություն են տալիս որոշել ՄՊՊ ալիքատարային մոդերի հիմնական բնութագրիչները: Նկար 2-ում պատկերված է ՄՊՊ ալիքատարային հիմնական մոդի տարածման երկարության կախվածությունն ալիքի երկարությունից: Հատկանշական է, որ այս ալիքատարներում մոդերի լայնական չափերը կարելի է տեղայնացնել մի քանի տասնյակ նանոմետրերում: Կիրառական նկատառումներով առավել հարմար է օգտագործել



Լայնության նորմավորված կորագիծատա

Նկ.1 Ձուգահեռ գլաններից կազմված ալիքատարում ՄՊՊ դաշտերի բաշխվածությունը:



Նկ.2 ՄՊՊ հիմնական մոդի արդյունադար բեկման ցուցիչի և տարածման երկարության կախվածությունն ալիքի երկարությունից:

հարթություն-գլան համակարգը, որը սկզբունքորեն չի տարբերվում հետազոտվող դեպքից: Ի տարբերություն ակոսածն ալիքատարների, այստեղ ալիքատարային մոդերը տարածվում են մետաղի մակերևույթով և դժվար չէ լուսային ազդանշանի փոխանցման նպատակով միմյանց կապել տարբեր ալիքատարային ուղիները: Բացի այդ, հետազոտվող համակարգը հնարավորություն է ստեղծում էլեկտրաստատիկական եղանակով լուսային ազդանշանի կառավարման համար:

Համանման արդյունքներ ստացվում են մաս սեպածն մետաղական մակերևույթներով սահմանափակված գոգավոր, նանոմետրական լայնությամբ ճեղքում ձևավորվող ՄՊՊ ալիքատարային մոդերի դեպքում: Հատկանշական է, որ հավող սեպածն մակերևույթների դեպքում ստանում ենք ակոսածն ալիքատարի բնութագրիչների արտահայտությունները [6,7]: Իսկ, երբ փոքրագույն հեռավորությունը ընդունում է գրոյից տարբեր արժեքներ, ալիքային վեկտորը ճեղքվում է երկու՝ սիմետրիկ և անսիմետրիկ լուծումների համապատասխանող արժեքների:

1.3 պարագրաֆում դիտարկված են հիբրիդային պլազմոնային ալիքատարների (ՀՊԱ) կամ հաղորդիչ-դիէլեկտրիկ-կիսահաղորդիչ ալիքատարների կիրառական և կառուցվածքային առանձնահատկությունները: ՀՊԱ ալիքատարները հնարավորություն են ընձեռում ապահովել տարածվող ազդանշանի ինչպես անհրաժեշտ տեղայնացում, այնպես էլ անհրաժեշտ տարածման երկարություն [8-10]: ՀՊԱ ալիքատարները մնան են դիէլեկտրիկով լցված

մետաղական ալիքատարներին, սակայն ունեն կառուցվածքային տարբերություններ, այն է՝ մետաղական շերտն ու բավականաչափ մեծ բեկման ցուցիչով կիսահաղորդիչը բաժանված են փոքր բեկման ցուցիչով մեկուսիչի բարակ շերտով: Տեսական հետազոտությունների արդյունքում ստացվել է, որ այդպիսի ալիքատարների կառուցվածքում ակոսի առկայությունը բերում է փոքր կորուստներով տեղայնացված մոդերի ձևավորմանը, որոնց տարածման երկարությունն էապես կախված է դիէլեկտրական ճեղքի նվազագույն հաստությունից [10]: Ճեղքի չափսերի փոփոխության միջոցով կարելի է ստանալ ինչպես ֆոտոնային, այնպես էլ պլազմոնային մոդեր, դրանով իսկ ստանալով ինչպես ուժեղ տեղայնացման, այնպես էլ անհրաժեշտ տարածման երկարություն: Նման ճանապարհով հաջողվել է ստեղծել նանոմետրական չափսերի պլազմոնային լազերներ [11], որոնք նոր հնարավորություններ են տալիս լույսի և նյութերի միջև նոր տիպի փոխազդեցությունների հետազոտման համար [12] և նոր ուղիներ են ստեղծում ֆոտոնային տեղեկատվական տեխնոլոգիաների բնագավառում: Պլազմոնային լազերները իրականացվել են հիբրիդային պլազմոնային ալիքատարի հիման վրա, որը կազմված է ϵ_m դիէլեկտրական թափանցելիությամբ արծաթե մակերևույթից 5 նմ հաստությամբ՝ ϵ_d դիէլեկտրական թափանցելիությամբ, դիէլեկտրական շերտով բաժանված՝ ϵ_c մեծ դիէլեկտրական թափանցելիությամբ, կադմիումի սուլֆիդի (CdS) կիսահաղորդչային նանոլարից: Ադիաբատիկ մոտավորության սահմաններում, երբ $d \gg \lambda$ -ից (λ -ն ՄՊՊ մոդի ալիքի երկարությունն է), ալիքային թվը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$q_n = \sqrt{k_0^2 - \frac{2\mu\omega^3 h}{c^3} - (2n + 1) \left(\frac{4\mu\omega^3}{c^3 d} \right)^{\frac{1}{2}}}, \quad (1)$$

որտեղ

$$k_0 = \sqrt{\frac{|\epsilon_m| \epsilon_c}{|\epsilon_m| - \epsilon_c} \frac{\omega}{c}}, \quad \mu = \frac{|\epsilon_m| \epsilon_c}{\epsilon_d (|\epsilon_m| - \epsilon_c)^3 (|\epsilon_m| + \epsilon_c)}, \quad n = 0; 1; 3; \dots$$

h-ը մետաղական և կիսահաղորդչային մակերևույթների միջև հեռավորությունն է, d-ն նանոլարի տրամագիծն է, ω -ն ալիքի հաճախությունն է, c-ն՝ լույսի արագությունը վակուումում: Կարելի է եզրակացնել, որ ալիքային թվի աճին

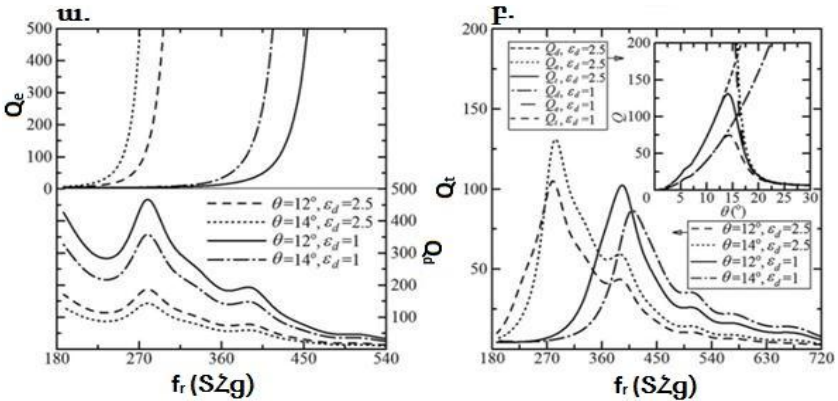
նպաստում են կիսահաղորդչային գլանի մեծ շառավիղը և դիէլեկտրական ճեղքի փոքր հաստությունը:

Երկրորդ գլուխը նվիրված է համեմատաբար մեծ բարորակությամբ, փոքր չափսերով ՄՊՊ ռեզոնատորների հետազոտմանը: Այդ ռեզոնատորները հնարավորություն են տալիս տարատեսակ օպտիկական սարքերի ստեղծման համար, ինչպիսիք են փոքր էներգիա պահանջող արագագործ օպտոէլեկտրոնային ճառագայթիչներն ու ընդունիչները, և առանձնացված մոլեկուլների կոհերենտ ճառագայթման վերահսկումն ապահովող զգայուն օպտիկական սենսորները:

2.1 պարագրաֆում ներկայացված են ՄՊՊ ռեզոնատորների ստեղծման եղանակները և բերված են դրանց արդյունավետության օրինակներ: Ներկայումս նախնական չափսերով ռեզոնատորների որակը բնութագրող ընդունված մեծությունը որոշվում է նրա բարորակության և ծավալի հարաբերությամբ: Ֆոտոնային բյուրեղների և դիէլեկտրական միկրոսկավառակների հիման վրա ստեղծված ռեզոնատորներում [3] հաջողվել է ստանալ մշված մեծության բավականաչափ մեծ արժեքներ: Պլազմոնային նախնականատորների ծավալի փոքրացումն ուղեկցվում է կորուստների աճով, որը, սակայն, չի կարող խոչընդոտել նրա արդյունավետության բնութագրիչի աճին: Կորուստների ճշգրիտ բնութագրումը հնարավոր է կատարել բարորակության տեսական որոշման և փորձնական չափումների միջոցով, որոնց կիրառությամբ կարելի է պարզել կորուստների ծագման պատճառներն ու դրանց նվազեցման ուղիները: Բարձր բարորակությամբ մակերևութային պլազմոնային միկրոռեզոնատորների կիրառման հնարավորությունները բավականին լայն են՝ հիմնարար հետազոտություններից մինչև սարքերի նախագծում:

2.2 պարագրաֆում հետազոտված են V-տիպի ակոսով ՄՊՊ միկրոռեզոնատորի առանձնահատկությունները, որում ալիքային էներգիան հիմնականում կենտրոնացված է մետաղական մակերևութներով սահմանափակված մեկուսիչ ակոսաձև միջավայրում: Ստացված վերլուծական արտահայտությունները թույլ են տալիս որոշել օղակաձև միկրոռեզոնատորի աշխատանքի առավել նպաստավոր պայմանները: Որոշվել է ակոսաձև միկրոռեզոնատորում ՄՊՊ ռեզոնանսային հաճախության կախվածությունը մոդերը բնութագրող թվերից և ակոսի բացվածքի անկյունից: Ստացվել են ակոսաձև

միկրոռեզոնատորում բարորակության (Q_i) և նրա ճառագայթային (Q_e) ու օհմական (Q_d) կորուստներով պայմանավորված բաղադրիչների կախվածությունները ռեզոնանսային հաճախությունից (տես Նկ. 3):



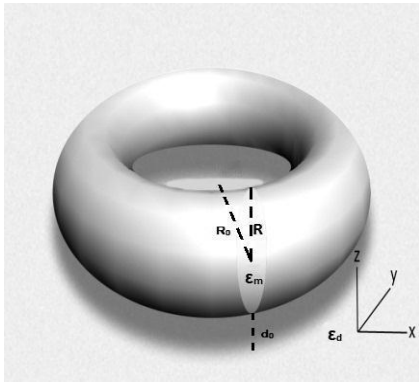
Նկ. 3 Ակոսածև միկրոռեզոնատորում բարորակության և նրա բաղադրիչների կախումը ռեզոնանսային f_r հաճախությունից. ա) Q_e -ճառագայթային կորուստների բաղադրիչ (ծախ առանցք), Q_d -ջերմային կորուստների բաղադրիչ (աջ առանցք), բ) Q_i - ընդհանուր բարորակությունը՝ $\epsilon_d = 1$ և 2.5-ի համար, $\theta = 12^\circ$ և 14° բնութագրական անկյուններով: Կառուցվածքի բնութագրական շառավիղը՝ $R = 2$ մկմ: Մետաղի (Ag, 1060 նմ ալիքի երկարության դեպքում) դիէլեկտրական թափանցելիությունն ունի հետևյալ արժեքը՝ $\epsilon_m = -57.35 + 0.56i$: Ներդիրը ցույց է տալիս Q_i -ի կախումը կառուցվածքի θ բնութագրական անկյունից մոտավորապես 283 ՏՅց-ի համար՝ $\epsilon_d = 1$ և 2.5 դեպքերում:

Բարորակության ճառագայթային բաղադրիչը՝ Q_e -ն, արագ աճում է ՄՊՊ ռեզոնանսային հաճախության աճի ընթացքում: Մինչդեռ բարորակության ջերմային կորուստների բաղադրիչը՝ Q_d -ն, նվազում է ռեզոնանսային հաճախության աճի ընթացքում: Այսպիսով, Q_e -ն ընդունում է 500-ին մոտ առավելագույն արժեքը 283 ՏՅց-ի դեպքում, իսկ Q_e -ն մեծանում է մինչև անսահմանություն՝ հաճախության մեծացմանը զուգընթաց: Նկար 3բ-ում պատկերված է ընդհանուր բարորակության՝ Q_i -ի կախվածությունը ռեզոնանսային հաճախությունից: Արժաթե կառուցվածքի՝ $R = 2$ մկմ, շառավղի դեպքում բարորակության համար ստացվել են հետևյալ առավելագույն արժեքները՝ $Q_i = 105$ ($\theta = 12^\circ$, $\epsilon_d = 2.5$, $f_r = 280.4$ ՏՅց), $Q_i = 131$ ($\theta = 14^\circ$, $\epsilon_d = 2.5$ և $f_r = 283$

S7g), $Q_t = 102$ ($\vartheta = 12^\circ$, $\varepsilon_d = 1$, $f_r = 394.7$ S7g) և $Q_t = 86$ ($\vartheta = 14^\circ$, $\varepsilon_d = 1$, $f_r = 411$ S7g): Միևնույն ժամանակ Q_t -ի կախվածության կորն ակոսաձև միկրոռեզոնատորի անկյունից նույնպես սահմանափակված է և իր առավելագույն՝ 131, արժեքն է ընդունում $\vartheta = 14^\circ$ անկյան դեպքում (տես Նկ. 3բ-ի ներդիրը):

Այս պարագրաֆում ներկայացված տեսական վերլուծությունը կարելի է հեշտությամբ կիրառել որոշակի նպատակի միտված ակոսաձև կառուցվածքով միկրոռեզոնատորի բնութագրական պարամետրերի արագ գնահատման համար: Բարորակության համեմատաբար բարձր արժեքը, որը մոտ է 130-ի, կառուցվածքի համար կիրառման նոր հնարավորություններ է ստեղծում, սկսած հիմնարար օպտիկայի բնագավառից մինչև սարքերի նախագծում:

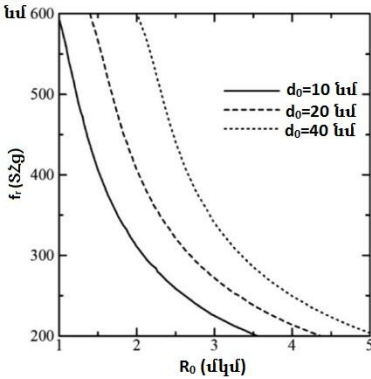
2.3 պարագրաֆում դիտարկված է պլազմոնային ռեզոնատոր, որն իրենից ներկայացնում է հարթ և տորոիդալ մետաղական մակերևույթների միջև ընկած դիէլեկտրական միջավայր (տես Նկ. 4): Ռեզոնատորի ալիքային դաշտի էներգիան հիմնականում կենտրոնացված է մետաղական մակերևույթների միջև ընկած դիէլեկտրական ճեղքում: Այստեղ որպես մետաղական միջավայր ծառայում է ոսկին՝ ε_m , դիէլեկտրական թափանցելիությամբ: Ենդրի դիէլեկտրական թափանցելիությունը ε_d և d_0 -ն ճեղքի նվազագույն



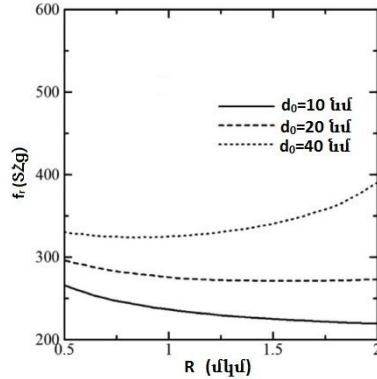
Նկ.4 Դիէլեկտրական միջավայրով առանձնացված հարթ մետաղական շերտից և մետաղական տորոիդից կազմված պլազմոնային ռեզոնատորի կառուցվածքը:

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): Ստացվել են ռեզոնատորի հաճախության կախվածության գրաֆիկական պատկերները տորոիդի R և R_0 բնութագրական շառավիղներից: Նկար 5-ից կարելի է տեսնել, որ օղակաձև ռեզոնատորի ռեզոնանսային հաճախությունը

փոքրանում է մետաղական տորոիդի երկարության՝ $2\pi R_0$, ածին զուգընթաց: R_0 -ի մեծացման հետ միաժամանակ մեծանում է նաև ալիքի երկարությունը և, հետևաբար, մոդի ֆիքսված թվերի համար փոքրանում է f_r ռեզոնանսային հաճախությունը:



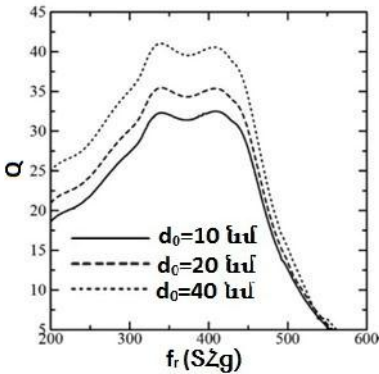
Նկ. 5 Շրջանաձև ռեզոնատորի ռեզոնանսային հաճախության կախվածությունը R_0 արտաքին շառավղից: Օղակի ներքին շառավղին ունի $R=1.5$ մկմ արժեքը: Դիէլեկտրիկ միջավայրի դիէլեկտրական թափանցելիությունն ունի $\epsilon_d=2.5$ արժեք, իսկ մոդի թիվը $m=40$ է:



Նկ. 6 Շրջանաձև ռեզոնատորի ռեզոնանսային հաճախության կախվածությունը R ներքին շառավղից: Օղակի արտաքին շառավղին ունի $R_0=3$ մկմ արժեքը: Դիէլեկտրիկ միջավայրի դիէլեկտրական թափանցելիությունն ունի $\epsilon_d=2.5$ արժեք, իսկ մոդի թիվը $m=40$ է:

Հարկ է նշել, որ ՄՊՊ ռեզոնանսային հաճախությունը ճեղքի հաստության փոքր արժեքների դեպքում՝ $d_0 < 20$ նմ, դրսևորում է թույլ կախվածություն տորոիդի R շառավղից (տես Նկ. 6): Նկար 7-ում պատկերված է ռեզոնատորի բարորակության կախվածության գրաֆիկական տեսքը ՄՊՊ ռեզոնանսային 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 երկրաչափությանը ՄՊՊ միկրո-ռեզոնատորների համար կատարված փորձնական և թվային հաշվարկների արդյունքում ստացված արժեքներին [13,14]: Թեև ուսումնասիրված ռեզոնատորի բարորակությունն ունի բավականին համեստ արժեք, սակայն մոդի զբաղեցրած փոքր ծավալը Պուրսելի գործակցի մեծացման հետևանքով կարող է նպաստել

սպոնտան ճառագայթման զգալի աճին [15]: Այսպիսով, վերլուծական և թվային հաշվարկների միջոցով ստացվել է, որ դիտարկված կառուցվածքում ՄՊՊ մոդերի լայնակի բաշխումը տեղայնացված է նանոմետրական չափսերում՝ $\lambda_0^2/S \approx 103$, որտեղ S-ը լայնական հատույթի մակերեսն է: Սողերի խտությունն



Նկ. 7 Շրջանաձև ռեզոնատորի Q-գործակցի կախումը ռեզոնանսային հաճախությունից: Արտաքին և ներքին շառավիղներն ունեն համապատասխանաբար հետևյալ արժեքները՝ $R_0=3$ մկմ և $R=1.5$ մկմ: Դիէլեկտրիկ միջավայրի դիէլեկտրական թափանցելիությունը՝ $\epsilon_s=2.5$:

էականորեն աճում է ալիքի երկարության նվազմանը զուգընթաց՝ $\lambda \ll \lambda_0$, $R_0 \approx \lambda_0$, $m \gg 1$: Սա 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 կցման եղանակով: Խնդրի բաղադրիչների մեծ քանակը դժվարեցնում է թվային հաշվարկների միջոցով ռեզոնատորներում ալիքային էներգիայի պահպանման և տեղայնացման օպտիմալ պայմանների որոնումը: Տվյալ պարագրաֆում առա-

ջարկված եղանակը թույլ է տալիս ավելի մանրամասն ուսումնասիրել այդ պրոցեսները:

Երրորդ գլուխը նվիրված է էլեկտրամագնիսական ալիքների սպեկտրի ՏՅց տիրույթում մեծ բարորակությամբ օղակաձև ալիքատարային ռեզոնատորի բնութագրիչների անալիտիկ հետազոտմանը և մետամյութերում երեք տարածական չափսերում տեղայնացված բարձր հաճախային դաշտերի ձևավորմանը:

3.1 պարագրաֆն ակնարկային է, որտեղ ներկայացված են ՏՅց ալիքատարների և ռեզոնատորների ստեղծման ուղրոտում վերջին ժամանակներում ձեռք բերված առավել նշանակալից արդյունքներն ու նրանց կիրառման հնարավորությունները: Այստեղ ներկայացված են նաև ՏՅց

տիրույթում գործող մետանյութերի կառուցվածքային առանձնահատկություններն ու նրանց հիման վրա ստացված փորձարարական արդյունքները:

3.2 պարագրաֆում քննարկված է մետանյութերի հիման վրա ստեղծված գնդային կառուցվածքում տեղայնացված էլեկտրամագնիսական դաշտերի ձևավորման հնարավորությունը: Ենթադրենք, որ $\varepsilon_1 < 0$ բացասական դիէլեկտրական թափանցելիությամբ և $\mu_1 > 0$ դրական մագնիսական թափանցելիությամբ R շառավղով գունդը գտնվում է դրական դիէլեկտրական $\varepsilon_2 > 0$ և բացասական մագնիսական $\mu_2 < 0$ թափանցելիություններով միջավայրում: Որոշենք գնդի ներսում և գնդից դուրս դաշտերը: Կորոդիմաստների գնդային համակարգում՝ (r, ϑ, φ) , Մաքսվելի հավասարումներից կարելի է որոշել դաշտերը գնդի ներսում և նրանից դուրս: Գնդի ներսում, երբ՝ $r < R$, $\varepsilon_1 < 0$ և $\mu_1 > 0$ -ից, էլեկտրական \vec{E} և մագնիսական \vec{H} դաշտերի բաղադրիչների համար ստացվում են հետևյալ արտահայտությունները.

$$E_r = \frac{2A}{r^2} \left(\operatorname{ch} k_1 r - \frac{\operatorname{sh} k_1 r}{k_1 r} \right) \frac{(-i)}{\sqrt{|\varepsilon_1|}} \cos \theta e^{i\omega t}, \quad (2)$$

$$E_\theta = \frac{Ak_1}{r} \left(\operatorname{sh} k_1 r - \frac{\operatorname{ch} kr}{k_1 r} + \frac{\operatorname{sh} k_1 r}{(k_1 r)^2} \right) (-\sin \theta) \frac{(-i)}{\sqrt{|\varepsilon_1|}} e^{i\omega t}, \quad (3)$$

$$H_\varphi = \frac{Ak_1}{r} \left(\operatorname{ch} k_1 r - \frac{\operatorname{sh} k_1 r}{k_1 r} \right) (-\sin \theta) \frac{1}{\sqrt{\mu_1}} e^{i\omega t}, \quad (4)$$

$$H_\theta = E_\varphi = H_r = 0, \quad (5)$$

որտեղ $k_1 = \frac{\omega}{c} \sqrt{|\varepsilon_1| \mu_1}$:

Գնդից դուրս, երբ՝ $r > R$, $\varepsilon_2 > 0$ և $\mu_2 < 0$ -ից, \vec{E} և \vec{H} վեկտորների համար կստանանք.

$$E_r = \frac{2B}{r^2} \left(1 + \frac{1}{k_2 r} \right) e^{-k_2 r} \cos \theta \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_2}} e^{i\omega t}, \quad (6)$$

$$E_\theta = \frac{Bk_2}{r} \left(1 + \frac{1}{k_2 r} + \frac{1}{(k_2 r)^2} \right) e^{-k_2 r} \sin \theta \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_2}} e^{i\omega t}, \quad (7)$$

$$H_{\varphi} = \frac{Bk_2}{r} \left(1 + \frac{1}{k_2 r} \right) e^{-k_2 r} (-\sin \theta) \frac{(-i)}{\sqrt{|\mu_2|}} e^{i\omega t}, \quad (8)$$

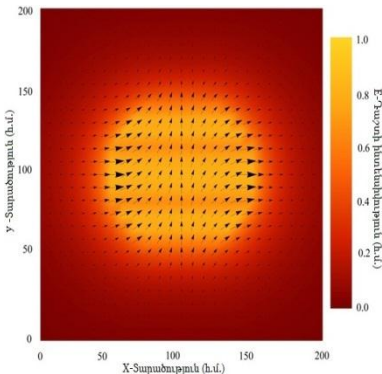
$$E_{\varphi} = H_r = H_{\theta} = 0, \quad (9)$$

որտեղ $k_2 = \frac{\omega}{c} \sqrt{\varepsilon_2 |\mu_2|}$:

Քվազիստատիկ մոտավորության սահմաններում, երբ՝ $k_1 R \ll 1$ և $k_2 R \ll 1$, դիսպերսիոն առնչությունն էականորեն պարզեցվում է, ընդունելով հետևյալ տեսքը.

$$\sqrt{\frac{|\varepsilon_1(\omega)| |\mu_2(\omega)|}{\varepsilon_2(\omega) \mu_1(\omega)}} = 2: \quad (10)$$

Նկար 8-ում բերված է կառուցվածքում տեղայնացված պլազմոնների բնութագրական բաշխվածությունը: Այսպիսով, մետաղյութերում, որտեղ դիէլեկ-

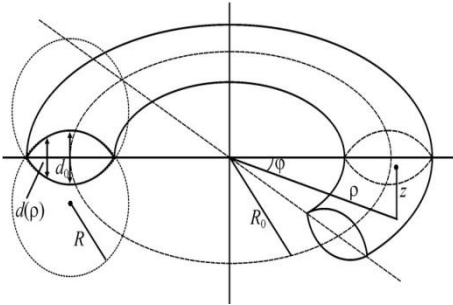


Նկ. 8 Գնդի ներսում և գնդից դուրս էլեկտրական դաշտի բաշխվածության վեկտորական տեսքը:

զուգընթաց դաշտը նվազում է առանձնահատկությունը լավ նախադրյալներ է ստեղծում ղեկավարվող ենթաալիքային համակարգերի ձևավորման համար, որտեղ ալիքային դաշտերն իրենց բնույթով նմանվում են ատոմներում տեղայնացված դաշտերին:

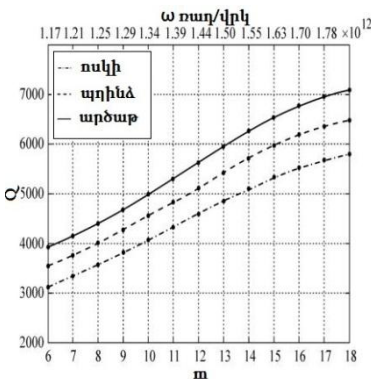
3.3 պարագրաֆում հետազոտված է նշաձև լայնական հատույթով տորոիդալ ալիքատարային ռեզոնատորի սեփական հաճախությունների և բարորակության

կախվածությունը կառուցվածքի երկրաչափական բնութագրիչներից: Տորոիդալ ռեզոնատորի կառուցվածքը բերված է նկ.9-ում: Տորոիդի լայնական հատույթն



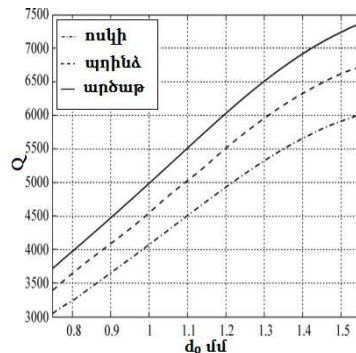
Նկ.9 Տորոիդալ ռեզոնատորի սխեմատիկ պատկեր

ծությունները m , d_0 , R և R_0 -ից երեք մետաղական մակերևույթների համար՝ ոսկու ($\sigma \approx 4 \times 10^{17}$ CGSE), արծաթի ($\sigma \approx 6 \times 10^{17}$ CGSE) և պղնձի ($\sigma \approx 5 \times 10^{17}$ CGSE) (տես Նկ. 10-13): $R_0=4$ մմ, $R=2$ մմ և $d_0=1$ մմ բնութագրիչներով տորոիդների համար ստացվում է, որ սկսած $m=8$ -ից բարորակությունը՝ $Q \sim 10^3$ կարգի է: Բարորակությունը մեծանում է մոդի թվի աճին զուգընթաց (տես Նկ.10): Բարորակությունը մեծանում է նաև d_0 -ի (տես Նկ.11) և R -ի (տես Նկ.12) մեծացման հետ և փոքրանում R_0 -ի մեծացմանը զուգընթաց (տես Նկ.13):

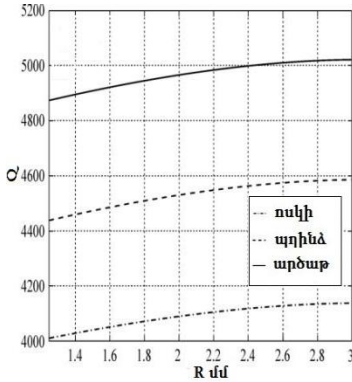


Նկ. 10 Բարորակության կախվածությունը m -ից՝ $R_0=4$ մմ, $R=2$ մմ, $d_0=1$ մմ համար, երեք մետաղական մակերևույթների դեպքում:

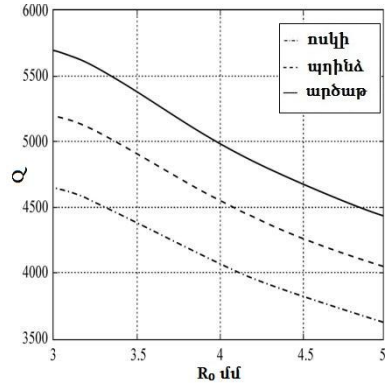
իրենից ներկայացնում է R շառավղով երկու միանման շրջանների հատում, R_0 -ն կորորինատների կենտրոնից մինչև տորոիդի լայնական հատույթի կենտրոնն ընկած հեռավորությունն է, d_0 -ն՝ տորոիդի մետաղական պատերի միջև մաքսիմալ հեռավորությունը: Ստացվել են ռեզոնատորի բարորակության կախված



Նկ. 11 Բարորակության կախվածությունը d_0 -ից՝ $R_0=4$ մմ, $R=2$ մմ, $m=10$ համար, երեք մետաղական մակերևույթների դեպքում:



Նկ.12 Բարորակության կախվածությունը R-ից՝ $R_0=4$ մմ, $d_0=1$ մմ, $m=10$ համար, երեք մետաղական մակերևույթների դեպքում :



Նկ. 13 Բարորակության կախվածությունը R_0 -ից՝ $R=2$ մմ, $d=1$ մմ, $m=10$ համար, երեք մետաղական մակերևույթների դեպքում :

Կիրառված տեսական մոդելը թույլ է տալիս ստանալ վերլուծական արտահայտություններ դաշտերի բաշխման, ռեզոնանսային հաճախության և բարորակության համար ալիքային սպեկտրի մեծ տիրույթի դեպքում: Խնդրում պարամետրերի մեծ քանակը դժվարեցնում է ռեզոնատորում ալիքային էներգիայի տեղայնացման և պահպանման համար թվային մեթոդներով օպտիմալ պայմանների որոշումը: Առաջարկված տեսությունը կարելի է օգտագործել տորոիդային ռեզոնատորի նախագծման և անհրաժեշտ բնութագրական պարամետրերի արագ գնահատման համար: Այդ ռեզոնատորների բարորակության համեմատաբար մեծ արժեքը նրանց կիրառման նոր հնարավորություններ է ընձեռում տարբեր բնագավառներում՝ սկսած ֆոտոնիկայի հիմնարար խնդիրներից մինչև սարքերի նախագծում:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

Ատենախոսությունը նվիրված է հաճախությունների օպտիկական և ՏՀց տիրույթներում փոքր էներգիա պահանջող արագագործ ճառագայթիչների և ընդունիչների ստեղծման հնարավորությունների բացահայտմանը, այդ սարքերի հիմնական տարրերը հանդիսացող պլազմոնային ալիքատարների ու

ռեզոնատորների օպտիմալ կառուցվածքի և հիմնական բնութագրիչների որոշման միջոցով: Ատենախոսությունում հետազոտվող պլազմոնային ալիքատարներն ու ռեզոնատորները կարող են ծառայել նոր սերնդի նանոմետրական չափսերով այն ինտեգրալային սարքերի ստեղծմանը, որոնք համատեղում են օպտիկական մեթոդներին բնորոշ ազդանշանների գերարագ մշակման հնարավորություններն ալիքի երկարությունից փոքր չափսեր ունեցող էլեկտրոնային շղթաների առավելությունների հետ:

1. Ցույց է տրված, որ զուգահեռ մետաղական գլանների կամ սեպերի գոգավոր միջակայքում կարող են ձևավորվել ՄՊՊ ալիքատարային մոդեր, որոնց ալիքային թվի և դաշտերի բաշխվածության կախվածությունը ճեղքի նվազագույն լայնությունից և միջավայրի դիէլեկտրական թափանցելիությունից լայն հնարավորություններ է ստեղծում նանոմետրական լայնական չափսերում անհրաժեշտ բնութագրերով մոդերի ձևավորման համար: Խնդրում պարամետրերի մեծ քանակը դժվարեցնում է ալիքատարում ալիքային էներգիայի տեղայնացման և պահպանման համար թվային մեթոդներով օպտիմալ պայմանների հայտնաբերումը: Առաջարկված տեսությունը կարելի է օգտագործել պլազմոնային ալիքատարների նախագծման և անհրաժեշտ բնութագրական պարամետրերի արագ գնահատման համար:
2. Ցույց է տրված, որ օղակաձև 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 ներկայունս ընդունված մեծությունն այս դեպքում զգալիորեն աճում է:
3. Տրոփիղալ մակերևույթներով սահմանափակված պլազմոնային ռեզոնատորներում լուսային ազդանշանի բարորակության ու մոդերի տեղայնացման համար առաջին անգամ ստացված վերլուծական արտահայտությունները թույլ են տալիս որոշել այդ նանոկառուց-

վածքների 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:

4. Տերահերցային հաճախությունների տիրույթում բացահայտվել են նշածն լայնական հատույթի բացվածքով տորոիդալ ռեզոնատորի օպտիմալ բնութագրիչները, որին բնորոշ բարորակության մեծ արժեքները կիրառության նոր հնարավորություններ են ստեղծում տարբեր բնագավառներում, սկսած ֆոտոնիկայի հիմնախնդիրներից մինչև սարքերի նախագծում:
5. Ցույց է տրված, որ մետանյութերի հիման վրա ստեղծված գնդային համաչափությամբ կառուցվածքներում ալիքային էներգիան կարելի է կուտակել ալիքի երկարությունից զգալիորեն փոքր տիրույթում, որտեղ դաշտերի նվազումը կենտրոնից հեռացմանը զուգընթաց տեղի է ունենում էքսպոնենցիալ օրենքով: Նշված առանձնահատկությունը լավ նախադրյալներ է ստեղծում ղեկավարվող ենթաալիքային համակարգերի ձևավորման համար, որտեղ ալիքային դաշտերն իրենց բնույթով մասնավոր են ատոմներում տեղայնացված դաշտերին:

ՀՂՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Bozhevolniy S., ed., "Plasmonic Nanoguides and Circuits", Pan Stanford Publishing, Singapore (2009)
2. Economou E., "Surface Plasmons in Thin Films", Phys.Rev., 182,539 (1969)
3. Armani A., Kulkarni R., Fraser S., Flagan R., Vahala K., "Label-free, single-molecule detection with optical microcavities", Science, 317, 783 (2007)
4. Pendry J., "Negative refraction makes a perfect lens", Phys. Rev. Lett., 85, 3966 (2000)
5. Caloz C., Itoh T., "Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications", Wiley-IEEE Press (2006)
6. Novikov I., Maradudin A., "Channel Polaritons", Phys.Rev.,B.66(3),035403 (2002)

7. Gramotnev D., Pile D., "Single-mode subwavelength waveguide with channel plasmon-polaritons in triangular grooves on a metal surface", *Appl.Phys.Lett.*,85,6323 (2004)
8. Mock J., Smith D., Schultz S., "Local refractive index dependence of plasmon resonance spectra from individual nanoparticles", *Nano Lett.*, 3, 485 (2003).
9. Underwood S., Mulvaney P., "Effect of the solution refractive index on the color of gold colloids", *Langmuir*, 10, 3427 (1994).
10. Grabar K., Freeman R., Hommer M. & Natan M., "Preparation and characterization of Au colloid monolayers", *Anal. Chem.*, 67, 735 (1995).
11. Kelf T., Sugawara Y., Baumberg, J., Abdelsalam M., Bartlett P., "Plasmonic bandgaps and Trapped Plasmons on Nanostructured Metal Surfaces", *Phys. Rev. Lett.*, 95, 116802 (2005)
12. Sun Y., Xia Y., "Shape-controlled synthesis of gold and silver nanoparticles", *Science*, 298, 2176 (2002).
13. Bozhevolnyi S., Volkov V., Devaux E., Laluet J., Ebbesen T., "Channel plasmon subwavelength waveguide components including interferometers and ring resonators", *Nature*, 440,508 (2006)
14. Dittbacher H., Hohenau A., Wagner D., Kreibig U., Rogers M., Hofer F., Aussenegg F., Krenn J. Silver, "Nanowires as surface plasmon resonators", *Phys.Rev.Lett.*, 95:257403 (2005)
15. Purcell E., "Spontaneous emission probabilities at radio frequencies", *Phys. Rev.*, 69:681 (1946)

ՀՐԱՏԱՐԱԿՎԱԾ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

1. Vardanyan A., Haroyan H., Babajanyan A., Nerkararyan Kh., Lee K., Friedman B., "Ring-type V-groove surface plasmon microresonator: The modal structure and Q-factor", *J.Appl.Phys.*, 111, 053112 (2012)
2. Vardanyan A., Haroyan H., Babajanyan A., Nerkararyan Kh. and Friedman B., " A Surface Plasmon Microcavity Between the Toroidal and Flat Metallic Surfaces", *Plasmonics*,7,1,1-5 (2012)
3. Vardanyan A., Haroyan H., Babajanyan H., Nerkararyan Kh., and Lee K., "Activity of surface plasmon in the ring-like microcavities", *Proc. SPIE*, 8414, 84140J (2011)
4. Վարդանյան Ա., "ՄՊՊ ալիքատարային մոդերը չհավող զուգահեռ գլանների միջակայքում", ԵՊՀ Հոբեյանական գիտական նստաշրջանի հոդվածների ժողովածու, Հատոր 1, 181-186 (2009)

5. Арутюнян Т., Варданыан А., Ахумян А., Неркарарян Х., "Аналитическое описание тороидального резонатора высокой добротности в терагерцовой области частот", Известия национальной академии наук Армении, том 46, 433-441 (2012)
6. Vardanyan A., "Peculiarities of surface localized plasmons in the metamaterials", Proceedings of the Yerevan State University, Physical and Mathematical Sciences, 3, 56-59 (2012)

ПЛАЗМОННЫЕ ВОЛНОВОДЫ И РЕЗОНАТОРЫ В СТРУКТУРАХ МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-МЕТАЛЛ

АННОТАЦИЯ

Диссертация посвящена выявлению возможностей создания быстроресponseрующих квантовых излучателей и приемников в спектре оптических и терагерцовых частот. В частности, путем определения основных параметров и оптимальных структур для плазмонных волноводов и резонаторов, которые являются основными составляющими таких устройств.

Показано, что в вогнутой области параллельных металлических цилиндров или конусов могут формироваться волноводные моды поверхностных плазмонных поляритонов (ППП). Зависимость волнового числа и распределения поля этих волн от минимальной ширины щели и диэлектрической проницаемости дает широкие возможности для образования мод с необходимыми характеристиками в нанометрических поперечных размерах. Большое число параметров задачи усложняет выявление оптимальных условий локализации и хранения энергии в волноводе. Предложенную нами теорию можно использовать для проектирования плазмонных волноводов и для быстрой оценки необходимых характерных параметров.

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

В нанорезонаторах, ограниченных тороидальными поверхностями, впервые полученные аналитические выражения для добротности и локализации модов волнового сигнала дают возможность определить оптимальные характеристики для таких систем. Волновая энергия резонансных мод может накапливаться или высвобождаться эванесцентно с возможностью направления входящего и высвобождающего излучения способом прикрепления с ППП модой в таком же волноводе.

В терагерцовой области частот выявлены оптимальные характеристики тороидального резонатора с миндальнообразным поперечным сечением, типичные значения добротности которого создают новые возможности для применения в различных областях, начиная от основных проблем фотоники, до проблем связанных с проектированием устройств.

Показано, что в структурах со сферической симметрией, созданных на основе метаматериалов, можно накопить волновую энергию в области существенно меньшей длины волны, где убывание полей при отдалении от центра происходит по экспоненциальному закону. Данная особенность дает хорошие предпосылки для формирования контролируемых субволновых систем, где поля волны по своей сущности становятся похожими на локализованные поля в атомах.

METAL-DIELECTRIC-METAL PLASMONIC WAVEGUIDES AND RESONATORS

ANNOTATION

The thesis is devoted to identify the creation opportunities of high-speed quantum emitters and detectors in the range of the optical and terahertz frequencies. Particularly by defining the basic parameters and the optimal structures for the plasmonic waveguides and the resonators which are the basic components of such devices.

We shown that in curved area of parallel metallic cylinders or cones can be formed the waveguide modes of surface plasmon polaritons (SPP). The dependence of the wavenumber and the field distribution of these waves from the minimum gap width and permittivity provides ample opportunities for formation of modes with the necessary characteristics in nanometric transverse dimensions. The large amount of object parameters complicates the detection of optimal conditions for localization and storing of energy in waveguide.

We shown that in resonators with V-shaped gaps is possible localize the the transverse dimensions of light signal in the nanometric area. This effect can create the good conditions for improving the threshold conditions of nano lasers. The division of quality factor to the volume of resonator increases significantly.

In nanoresonators limited by toroidal surfaces in the first time are obtained analytical expressions for the quality factor and the localization of the wave signal mods give possibility to determine the optimal characteristics for such systems. The wave energy of resonant modes can be stored or released evanescently with possibility to control incoming and releasing radiation by attaching with the SPP mode in the waveguide.

In terahertz range of frequencies are detected the optimal characteristics of the toroidal resonator with almond shaped transverse section, typical values of which quality factor creates new opportunities for applications in various areas, ranging from the basic problems of photonics to the designing of devices.

We shown that in structures with the spherical symmetry which are created on the basis of metamaterials is possible to accumulate the wave energy in significantly smaller sizes than the wavelength, where the decrease of fields during the distancing from the center obeys exponentially. This feature provides good conditions for the formation of subwavelength controllable systems where the wave field in essence becomes like a localized fields in atoms.

