

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Մովսիսյան Արտյոմ Սամվելի

ԷԼԵԿՏՐՈՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ԵՎ ՄԵՏԱՏԱՐԻՑ ԲԱՂՎԱՑԱԾ ՄԻԿՐՈ ԵՎ
ՆԱՆՈԿԱՐԻՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ԲԱՐԵԼԱՎՎԱԾ ԿԱԳԱՎՈՐՎՈՂ ՀԱՄԱԿՑՈՒՄ ԵՎ
ՂԵԿՎԱՎՈՐՈՒՄ

Ա. 04.03 – «Ռադիոֆիզիկա» մասնագիտությամբ
Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
Գիտական աստիճանի հայցման աստենախոսության

ՍԵՂՆԱՎԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ – 2026

YEREVAN STATE UNIVERSITY

Artyom S. Movsisyan

TUNABLE INTEGRATION AND CONTROL OF MICRO AND NANOSTRUCTURES
BASED ON ELECTROMAGNETIC WAVES AND METAELEMENTS

ABSTRACT

of the dissertation for competition of scientific degree of Doctor of Philosophy (PhD) on
specialty 01.04.03 - "Radiophysics"

YEREVAN – 2026

ախտության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում

Ֆ.Վ.Գ.Դ., պրոֆեսոր Ա.Մ. Բաբաջանյան

տ.Գ.Դ., պրոֆեսոր Մ.Յ. Այվազյան

Ֆ.Վ.Գ.Թ., Պ.Ն. Մուժիկյան

ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկայի կիրառական
պորբլեմների ինստիտուտ

Պայմանությունը կայանալու է 2026թ հունիսի 6-ին ժամը 12:00-ին Երևանի
սկան համալսարանում գործող 049 ֆիզիկայի մասնագիտական խորհրդի
ում:

են՝ Ա. Մանուկյան 1,0025 Երևան:

ախտությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

ազիրն առաքված է 2026 թ. ապրիլի 22-ին:

ազիտական խորհրդի
կան քարտուղար

Ֆ.Վ.Գ.Թ., դոցենտ
Վ. Պ. Քալանթարյան

eme of dissertation approved in the Yerevan State University.

ific advisor: Prof. Dr. of Sciences (Phys. and Math.), A. J. Babajanyan

il opponents: Prof. Dr. of Sciences (Tech.) M. Ts. Aivazyan

PhD. of Sciences (Phys. and Math.) P. H. Muzhikyan

g organization: Institute of Applied Problems of Physics of NAS RA

efense of the Dissertation should be held on the 6 June 2026 at 12:00 on the session of
pecialized council physics 049 of the Yerevan State University.

ss: A. Manoogian 1, Yerevan 0025, Armenia.

ossible to familiarize with the Dissertation in library of YSU.

stract is dispatched at 22 April 2026.

ific secretary of the Specialized Council

Dr. V. P. Kalantaryan

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Աշխատանքի արդիականությունը

Մետամակերևույթների յուրահատուկ դերը, որպես այդպի կառավարման արդյունավետ համակարգեր, այժմ ամբողջապես հիմնավորված է: Ժամանակակից մետամակերևույթների կիրառությունները, որոնք ծառայում են որպես ավանդական միկրոայլիքային և օպտիկական նյութերի համար այլընտրանքներ, ներառում են փոխանցված կամ անդրադարձած ալիքների հաճախարանտրոդուկ վարքի դեկավարումը, բևեռացման և ալիքային ճակատի մանիպուլացիան, իրեպակական կլանումը [1], կորակորումը, ինչպես նաև մակերևութային ալիքների գեներացիան: Առանձնահատուկ հետաքրքրություն են ներկայացնում նաև Ֆանոյի մոլիտիպետ ռեզոնանսները: Դրանք կարող են լինել ինչեղ ինչպես ռադիոհաճախային տիրույթում [2], այնպես էլ տեսանելի տիրույթում: Բնականաբար, Ֆանոյի մոլիտիպետ ռեզոնանսները տարաբնույթ են: Որոշ դեպքերում երկու ռեզոնանսներից մեկը տեղի է ունենում դաշտի և սովյալ կազմաձևի փոխազդեցության հետևանքով, իսկ երկրորդը արդյունք է բաղադրիչների միջև ուժեղ փոխազդեցությունների: Ինչ վերաբերում է կիրառելիությանը, բանի որ չափումները կատարվում են ազատ տարածության մեջ, ապա այն կարող է օգտագործվել անյար կապի համակարգերում, ի տարբերություն շատ այլ դեպքերի, որտեղ կոաքսիալ պորտը գրգռում է ռեզոնանսային համակարգը կոնտակտային եղանակով: Մասնավորապես Գ-ցային տիրույթում այդպիսի կառուցվածքը կարող է օգտագործվել որպես շերտավոր գտիչ: Հայտնի է, որ այս տեսակի համակարգերը հեռանկարային են նաև օպտիկայում և կարող են աշխատել որպես փոքր հզորությամբ փոխանցատիչ, կամ սենսոր՝ դեկավարելով ռադիոազդանշանի ուշացումը:

Վերջին տարիներին ոսկե նանոսկավառակների մշակումն ու արտադրությունը զգալիորեն առաջնթաց են գրանցել, ինչը լայն հնարավորություններ է բացել օպտիկայի տարբեր նանոչափային սարքերի նախագծման և փորձարկման համար: Առաջին հերթին կարելի է նշել բևեռացուցիչները, որոնց աշխատանքում նկարագրված մետամակերևույթները հիպերլուիկ են և ունեն անիզոտրոպիա: Դրա ռեզոնանսային բնույթը օգտագործվում է նաև ֆոտոլյումինեսցենստային կարգավորիչներում և օպտոմեխանիկական մանիպուլատորներում: Ի հավելումն սրան՝ ոչ դիսիպատիվ հատկությունները կարելի է տարբերակել նաև անիզոտրոպիայով, որի շնորհիվ այն օգտագործվում է բարձր լուծաչափով նանոլիտոգրաֆիայում: Զուգահեռաբար փորձականորեն ուսումնասիրվել են ոսկե նանոսկավառակների մի քանի հատկություններ, որոնք նույնպես կարևոր են նմանատիպ համակարգերի հետագա հետազոտությունների համար:

Մեծ հետաքրքրություն ներկայացնող երևույթներից է նաև օպտիկական բիտաբիլությունը (OF), ոչ գծային մի երևույթ, որով բնութագրվում են երկու տարբեր արձագանքմամբ վիճակներով համակարգեր՝ կախված մուտքային ազդանշանի ինտենսիվության փոփոխության ուղղությունից: Նույն մուտքային ազդանշանի երկու տարբեր արձագանքման վիճակների առաջացումը կապված է բնական ցուցի ոչ գծային մոդուլացիայի հետ՝ մուտքային լույսի ինտենսիվության շերտիկ [3] մի քանի

ԵՊՀ ԳԱԱ ՖԻԶԻԿԱԿԻՐԱՆԻ ԻՆՏԵՐՆԱԿԱՆ ԽՈՐՀ
108/3 20.04.2026թ

կական մեխանիզմներ նպաստում են կոմպլեքս բեկման ցուցի փոփոխությանը՝ վաճառված ինտենսիվությունից. օրինակ՝ Կեոի ոչ գծայնությունը, ջերմաստիճանային պլոլ և ազատ լիցքակիրների դիսպլախիան, որն առաջանում է երկֆոտոնային ման հետևանքով [4-5]: Լույսի կառավարման գաղափարը հենց լույսի միջոցով ձեռք բերված է օպտիկական սարքերի պատրաստման հիմքում. հետագայում գտնվել են լայն սպեկտրային օպտիկական անջատման, տրանսբանդային գործառնությունների, օպտիկական թվային սարքերի մեջ, տվյալների մշակման, տեղեկատվության պրոցեսինգի համար և այլն:

Առաջադրանքային նպատակը

Միկրո և նանո չափային մետամակերևույթների միջոցով ստանալ որոշանագիսական դաշտի հետ փոխազդող բարելավված և կառավարելի սկալդեր և կազմաձևեր, որոնք չափերով կլինեն կոմպակտ, պատրաստման անկյունից մատչելի և պարզ, ինչպես նաև հնարավորություն կունենան ներդրվելու ձեռք սարքերում, որպես բաղադրիչ և բարելացուցիչ մաս:

Այլևս նորոյթը

Երջավոր երկարությամբ հաղորդիչ ձողի ռեզոնանսային կապը կտրված Գաբուի ձի (ԳԳ) հետ ապահովում է շրջակա միջավայրի նկատմամբ սեղանաշարտողունակության բարձր աստիճան և կառավարելիությունը վերջինիս լույս և տալիս օգտագործել համախառնային լայն տիրույթում՝ Գ<Գ-ից մինչև S<Գ: Եթե չափային չափերով վերջավոր երկարությամբ հաղորդիչ ձողերից ստացված համակարգը միկրոալիքային տիրույթում գործում է որպես բաց զգոնատոր: Ռեզոնանսային մոդերի քանակը համապատասխանում է կազմաձևում ձողերի քանակին: Այս մոդերը առաջանում են ձողերի ներսում լիցքերի կոնցենտրացիան աստիճաններից, որոնք ցույց են տալիս տարբեր անկյունային անկյուն և ուղղաձուգվում են այնքի դաշտի զգալի տեղայնացմամբ:

Ման ռեզոնանսով օժտված գլանաձև մետաղական կազմաձևը կարող է աշխատել որպես ալեհավաք, սենսոր կամ փոխանցատիչ X-տիրույթում անկար կապի հիման վրա: Փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ բարդ գլանաձև համակարգերը օժտված ֆանոն ռեզոնանսով, որը ցուցաբերվել է նաև ՋՄՈՒՄ-ի միջոցով:

Մի կողմից նախագծված բարձր արդյունավետությամբ անդրադարձնող կես իրային թիթերը կարող է հաջողությամբ փոխանցվել բևեռացումը օպտիկական տիրույթում (650-800 նմ): Գոյություն ունեն օպտիմալ երկրաչափական արամետրեր էլիպսաձև հիմքով գլանի և դիէլեկտրական տակդիրի համար, որտեղ անակարգը գործում է առավել արդյունավետ:

Սակայն նանոմետր լայնությամբ ձեղքի միջոցով ստեղծված միջուկների միջև լայնության կապը լույսի զգացված մագնիսական պլազմոնային՝ ռեզոնանսում ՄՈՒ-ի նպաստում է ուժեղ էլեկտրամագնիսական դաշտի կուտակման նանոձեղքի շրջանառում՝ ուժեղացնելով ոչ գծային արձագանքը, որը կապված է Կեոի ոչ այնուպես հետ:

Գործնական արժեքը

- Վերջավոր երկարությամբ հաղորդիչ ձողը Գաբուի գծի հետ աշխատում է որպես փակցության գոյից, որը թույլ է տալիս կառավարել թողարկման շերտի լայնությունը, թեթույթունը և բարորակությունը:
- Համակարգը, որը բարելացված է ենթաալիքային չափերով վերջավոր երկարությամբ հաղորդիչ ձողերից, ունի ներուժ այնպիսի կիրառությունների համար, որոնք պահանջում են դաշտի կտրուկ տեղայնացում և ուժեղ ռեզոնանսային վաքը:
- Ցանոն ռեզոնանսով օժտված գլանաձև մետաղական կազմաձևը կարող է աշխատել որպես ալեհավաք, սենսոր կամ փոխանցատիչ X-տիրույթում անկար կապի համակարգերում:
- Անկախ երկրաչափությունից էլիպսաձև հիմքով նանոչափային գլանից կազմված պարբերական համակարգը որպես կես այնքի թիթեր, ցույց է տալիս կայունություն և բարձր արդյունավետություն:
- Ուկու նանոմասնիկներով և ոչ գծային միջավայրով միջուկ-պատյան կազմաձևերը կարող են օգտագործվել որպես տարրական մետամակերևույթային բջիջներ օպտիկական լրիվ փոխանցատման, լույսի կառավարման և հաճախությունների միախառնման գործընթացների համար:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները

1. Գաբուի գծի հատվածում տեղակայված բարակ հաղորդիչ ձողը կատարում է փակցության ֆիլտրի (մինչև 400 բարորակությամբ) գործառնություն, որի ռեզոնանսային հաճախությունը հնարավոր է կարգավորել՝ կոնիդելով ձողը շրջապատող թաղանթի հաստությունը և դիէլեկտրիկ թափանցելիությունը:
2. Ենթաալիքային չափերով վերջավոր երկարությամբ հաղորդիչ ձողերից բարելացված համակարգը բազմամոդ ռեզոնատոր է՝ մոտ 400 բարորակությամբ, որում ճառագայթային կրոտները զգալիորեն նվազում են, երբ հարևան ձողերը տատանվում են հակափուլերում: Ալիքային դաշտի տեղայնացման ծավալը մոտ երկու կարգով պակաս է ռեզոնանսային այնքի երկարության խորանարդային արժեքից, որն ուղեկցվում է էլեկտրական դաշտի շուրջ 30 անգամ ուժեղացմամբ:
3. Բարակ խողովակաձև մետաղական կառուցվածքում տեղադրված ձողերի համակարգում դիտվում են երկու ֆանոն ռեզոնանս՝ ցուցաբերելով 300-ից ավել բարորակություն X (8-12 Գ<Գ) տիրույթում:
4. Էլիպսաձև հիմքով գլանաձև մետաղական պարբերական համակարգը համընդհանուր է անդրադարձնող կես այնքային թիթեր օպտիկական տեսանկյան տիրույթում՝ >20 դԲ բևեռացման մարման գործակցով և 99% բևեռացման փոխակերպման գործակցով:
5. 3 նմ ձեղքով առանձնացված ոչ գծային պատյանով շրջապատված պլազմոնային նանոչափային երկարադիրիցում ստեղծված միջուկների միջև ունակային կապը նպաստում է նանոձեղքում էլեկտրամագնիսական դաշտի ուժեղացման ավելի քան 3·10⁴ անգամ:

սատարանքի ներկայացումը

Ատենայնախոսության հիմնական արդյունքները գեկուցվել են Երևանի պետական համալսարանի Ֆիզիկայի ինստիտուտի և Ռադիոֆիզիկայի և հեռահաղորդակցության սեկտորի սեմինարներում, IRPhE 2022 (Yerevan, Armenia 2022), 1st Space Microwave Conference (Noordwijk, The Netherlands 2023), IRPhE-2024 (Yerevan, Armenia 2024) և Optics & Applications 12th International Symposium (Yerevan, Armenia 2024) գիտաժողովներում:

սատարանքի աշխատանքների ցանկը

Abrahimyan D, Abrahamyan T, Parsamyan H, Movsisyan A, Minasyan B, Haroyan H, Babajanyan A, Lee K, Friedman B and Nerkararyan K 2024 Dielectric coated conductive rod resonantly coupled with a cut transmission line as a tunable microwave bandstop filter and sensor Heliyon 10 e24477. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24477>

Hambaryan T, Ohanyan G, Hambaryan D, Movsisyan A, Parsamyan H, Haroyan H, Babajanyan A and Nerkararyan K 2025 Resonant enhancement and confinement of rowave field in coupled conductive rod systems Phys. Scr. 100 025515. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ada501>

Minasyan A 2025 Double Fano resonances of cylindrical metastructures in X-band based on component coupling and wave interaction *Journal of Electromagnetic Waves and Applications* 39 510–22. <https://doi.org/10.1080/09205071.2025.2456663>

Manukyan H, Minasyan B and Babajanyan A 2024 Reflective multi-layer structure based on half-wave plate structure for polarization control in the visible-near-infrared region *Phys. Scr.* 99 095545. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ad6f5a>

Minasyan A and Parsamyan H 2024 Gap-enhanced optical bistability in plasmonic core-linear shell dimers *Nanoscale* 16 2030–8. <https://doi.org/10.1039/D3NR04237E>

նենայնախոսության կառուցվածքը

Ատենայնախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք գլուխներից, ակադցությունից, երկու հավելվածից և 194 անուն գրականության ցանկից: Նենայնախոսության ընդհանուր ծավալը 121 էջ է, որում առկա է 42 նկար:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածության մեջ հիմնավորված է ատենայնախոսության արդիականությունը, հստակ արդյունքներ են նպատակը, խնդիրներն ու պաշտպանության ներկայացվող հիմնական խնդիրները: Ինչպես նաև ձևակերպված է ստացված արդյունքների գիտական նորոյթը ընդհանրական արժեքը:

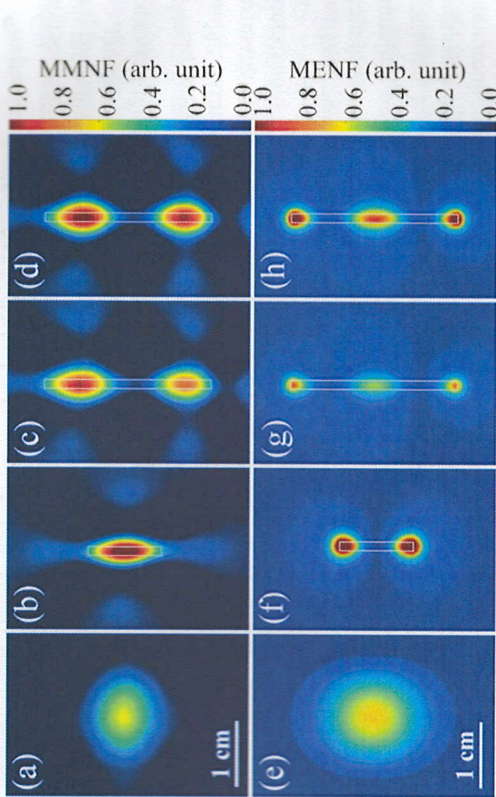
Գլուխ 1-ում ներկայացված է գերբարձր հաճախային տիրույթի համար ատենայնախոսության բաղկացած կառուցվածքների փոխազդեցությունը ստորամագնիսական դաշտի հետ:

Պարագրաֆ 1.1-ում ներածական բնույթի տեղեկություն է ներկայացվում գերբարձր հաճախությունների հիմնական կիրառությունների ոլորտների վերաբերյալ, ինչպես նաև տրված են հստակ ուղղություններ, թե ինչպես կարող են մեր կողմից նախագծված և փորձարկված համակարգերը նպաստել միկրոալիքային ինժեներության զարգացմանը և ինտեգրվել տարբեր սարքերի:

Պարագրաֆ 1.2-ում խոսվում է նյութերի ընտրության և մեթոդների կիրառության մասին: Մասնավորապես մենք օգտագործել ենք ՋԱՕՐԱ-ն որպես միկրոալիքային դաշտերի արտապատկերման մեթոդ դիֆրակցիոն շերտով պատված պլանձե ձողը ուսումնասիրելու նպատակով:

Դիֆրակցիոն շերտով ծածկված հարորդիչ ձողը ապահովում է դաշտի բարելավված տեղայնացում և ճառագայթային ավելի քիչ կորուստներ, ինչը թույլ է տալիս պրոպագուցել օգտագործել որպես կարգավորվող պարամետրերով ճառագայթային ալիքի ռեզոնատոր: Չնայած պրոպագուցման ավելի քիչ կորուստները հեշտությամբ գրգռվում են ձողի առանցքի երկայնքով բևեռացված հարթ ալիքի օգնությամբ, ճառագայթման կորուստները մեծ են: Նախ, փորձնականորեն ուսումնասիրվել են դիֆրակցիոն շերտով պատված հարորդիչ ձողի միկրոալիքային էլեկտրական մոտակա դաշտի (ՄՄՄԴ) արտապատկերումը հարթության մեջ 10 ԳՀց հաճախությամբ միկրոալիքային ճառագայթման ժամանակ: Արդյունքները պատկերված են Նկ. 1 (b) և (c) նույն 1.5 մմ տրամագծով և $h = 11$ մմ ու $h = 25$ մմ բարձրությամբ ձողերի համար: Կարելի է տեսնել, որ ՄՄՄԴ-ի բաշխումները երկու ձողերի երկայնքով ունեն որոշակի նմանություններ: Մասնավորապես՝ ձողերի մոտ առաջանում է միատեսակ դաշտ, որն ունի հակահանգույցի տեսք, տվյալ բարձրություն ունեցող ձողի համար մագնիսական դաշտի ալիքային բաշխում տեղի է ունենում միայն որոշակի ռեզոնանսային հաճախություններ դեպքում, և ձողի շուրջ կենտրոնացած ալիքային դաշտը նկատելիորեն մեծանում է:

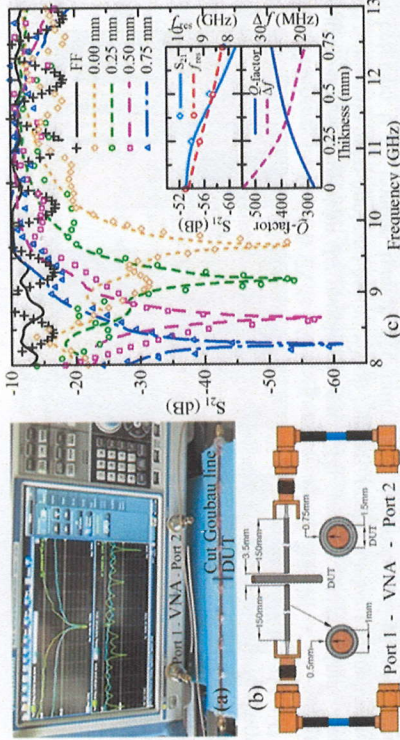
Նկ. 1 (d) ցույց է տալիս ՄՄՄԴ-ի բաշխումը պլանի ձողի համար, որը ծածկված է բարակ միատարր պոլիմերային շերտով (դիֆրակցիոն թափանցելիությունը մոտ 4 է): Ձողը նույնն է ինչ Նկ. 1 (b)-ում, իսկ պոլիմերային շերտի հաստությունը 5 մմ է: Ձողի երկայնքով կանգուն ալիքի ռեզոնանսային գրգռման և դրա բնութագրերի ամբողջական ուսումնասիրության համար անհրաժեշտ է նաև ուսումնասիրել էլեկտրական դաշտի բաշխումը: Արտապատկերված դաշտերի փորձարարական արդյունքները հաստատելու համար COMSOL Multiphysics միջավայրում իրականացվել է եռաչափ (3D) լիով ալիքային թվային վերլուծություն, որը հիմնված է վերջավոր տարրերի մեթոդի (FEM) վրա: Բոլոր երկրաչափական և ալիքային պարամետրերն ու բնութագրերը, ինչպիսիք են մոտքային հզորությունը և գրգռման ռեժիմը, փոփոխվել են փորձը: Մասնավորապես, համակարգչային նմանական մոդելը ներառում է WR-90 բաց ծայրով ալիքատար՝ տարածվող հիմնական TE մոդով: Ալիքատարի բաց ծայրի և նմուշի միջև հեռավորությունը 5 մմ է: Անբողջ մոդելը շրջապատված է գնդով, որի արտաքին շերտը ընտրվել է որպես իրեպական համաձայնեցված շերտ՝ դաշտերի հետարդարձ ցրումը բացառելու համար:



Նկ. 2: (a) Առանց նմուշ միկրոսալիքային էլեկտրական մուտակա դաշտի (ՄՄՄԴ) բաշխվածությունը: (b) 11 մմ, (c) 25 մմ բարձրության ց հաճախության դեպքում: ՄՄՄԴ-ի բաշխվածությունը (b) 11 մմ, (c) 25 մմ բարձրության ձողերի և (d) 0.5 մմ հաստությամբ դիէլեկտրիկ շերտով պատված 25 մմ բարձրության ձողի համար՝ ստացված ՋՍՕԻՄ-ի փորձարարական համակարգի միջոցով: (e-h) պատասխանաբար՝ նմանակված միկրոսալիքային էլեկտրական մուտակա դաշտի (ՄՄՄԴ) բաշխվածությունը նմուշից 1 մմ հեռավորության վրա: Բոլոր ձողերն ունեն 1.5 մմ տրամագիծ: (i) և (j) ուղանկյուններով նշված են պղնձե ձողերի եզրագծերը:

դիէլեկտրիկ պատված ալիքատարի էլեկտրական դաշտի բաշխումները և դիէլեկտրիկով պատված ձողի դաշտերը ներկայացված են համապատասխանաբար Նկ. 1 (e)-ում և (f)-ում: ՄՄՄԴ-ին համապատասխանող բաշխումները, որոնք վերաբերում են ստալիքային փորձանմուշին ներկայացված են Նկ. 1 (e-h)-ում: Կարելի է տեսնել ձևափոխված ստալիքային ստալիքային կանգուն ալիքի էլեկտրական և մագնական բաղադրիչների հակահամագույցների միջև: Նկատելի է նաև էլեկտրական և մագնական բաղադրիչների առկայությունը ձողի եզրերի շուրջ:

Ստալիքային տարրի ինտեգրումը փոխանցման գծի հետ կարող է բացել հետազոտության արդյունքները: Դա անելու համար մենք ընտրեցինք ԳԳ-ն, որն իրենից ներկայացնում է փոխանցման գիծ, որը հիմնված է հաղորդիչ գլանաձև միջուկի և արտակա ծածկույթի վրա: Ստալիքային տարրի ինտեգրումը փոխանցման գծի հետ կարող է բացել հետազոտության արդյունքները: Դա անելու համար մենք ընտրեցինք ԳԳ-ն, որն իրենից ներկայացնում է փոխանցման գիծ, որը հիմնված է հաղորդիչ գլանաձև միջուկի և արտակա ծածկույթի վրա:



Նկ. 3: (a) Մուտակա ԳԳ-ին ինտեգրացված հետազոտվող ձողի և վելտորական ցանցային վերլուծիչի (ՎՏՎ) թեստավորման կառուցվածքի (a) լուսանկարը և (b) սխեման: (c) Միկրոսալիքային աֆանսի S_{11} գործակցի արժեքները պղնձե ձողի համար (1.5 մմ տրամագիծ) և 25 մմ երկարությամբ) շրջապատող դիէլեկտրիկ շերտի տարբեր հաստությունների դեպքում: Սև հոծ գիծը ներկայացնում է համակարգն առանց պղնձե ձողի, այսինքն միայն ընդհանուր ԳԳ-ն: Վերին ներդրող ցույց է տալիս S_{21} նվազագույնի և ռեզոնանսային հաճախության կախվածությունը դիէլեկտրիկ շերտի հաստությունից: Մոդելավորման արդյունքները պատկերված են կետագծերով, իսկ փորձարարական արդյունքները՝ հոծ գծերով: Ստորին ներդրող ցույց է տալիս համակարգի բարորակության և թորունակության կախվածությունը դիէլեկտրիկ շերտի հաստությունից:

ԳԳ-ում ստեղծվում է փոքր ճեղք և ռեզոնանսային տարրը տեղադրվում է գծին ուղղահայաց բացվածքում այնպես, որ ԳԳ-ի երկու հատվածների եզրերի և ռեզոնանսային տարրի կենտրոնի միջև նվազագույն հեռավորությունը պահպանվի (1.75 մմ): ԳԳ-ի մուտքային և ելքային պորտերը միացված են Rohde & Schwarz ZNB20 ՎՏՎ-ին: Հասիման արդյունքները և փորձի սարքի սխեմատիկ պատկերը պատկերված են Նկ. 2 (a), (b)-ում: Անցման S_{21} գործակցից, որը բաղկացած է ԳԳ-ից՝ միացված գլանաձև պղնձե միջուկով և պոլիմերային ծածկույթով ռեզոնանսային տարրին 25 մմ երկարությամբ, երբ դիէլեկտրիկ շերտի հաստությունը տատանվում է 0-ից (մաքուր պղնձ) մինչև 0.75 մմ, ցույց է տրված Նկ. 2 (c)-ում: Այստեղ համեմատված են փորձարարական արդյունքները և թվային սիմուլյացիաները:

Պարագրաֆ 1.3-ում քննարկվել է միկրոսալիքային դաշտի ռեզոնանսային ուժեղացումն ու տեղայնացումը կապակցված հաղորդիչ ձողերով համակարգերում: Նկար 3-ը ցույց է տալիս ռեզոնանսների էլեկտրական դաշտի անալիտուրը և ուղղության բաշխումները, երբ համակարգը բաղկացած է երեք ձողերից: Այս համակարգում ալիքային դաշտերի վարքագիծը հիմնականում համահունչ է տեսական

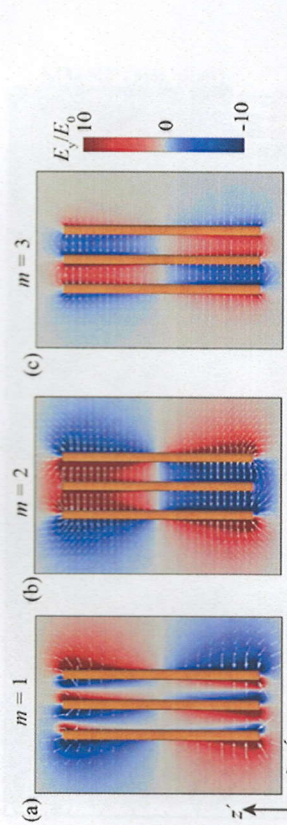
արդյունքում նկատվում է երկու ռեզոնանս, որոնք գտնվում էին միմյանցից բավականին հեռու, ինչը դարձնում է երևույթը ավելի հետաքրքիր և արժեքավոր:

Պարագրաֆ 2.3-ում ներկայացվել է արդյունքների քննարկումը և ցուցադրվել են տարբեր ֆիզիկական մեխանիզմներին բնորոշ մոդալ բաշխվածությունները:

Ինչպես արդեն նշվեց, այս գիտում ուսումնասիրված կազմաձևը ունի պարզ տեսք: Այն իրենից ներկայացնում է գլանաձև մետաղական գանձ կենտրոնում տեղադրված մետաղական ձողով: Երկու բաղադրիչներն էլ պարաստված են 99%-անոց մաքուր պղնձից: Գլանի հաստությունը $t=100$ մկմ է, պարաքին շառավիղը՝ $R_0=5$ մմ է, իսկ բարձրությունը՝ $H_1 = 15$ մմ: Ձողի շառավիղը $R_0=0.75$ մմ է, իսկ բարձրությունը՝ $H_0=14$ մմ: Երկու ձողերով կառուցվածքում նրանց միջև եղած g հեռավորությունը կազմում է 1.5 մմ: Դրանց չափերը փոխվել են փորձերի և թվային մոդելավորման ժամանակ, ինչպես նաև ուսումնասիրվել են ռեզոնանսի դիրքի և ամպլիտուդի փոփոխությունները: Մոդելավորումը կատարվել է COMSOL Multiphysics ռադիոհաճախության միջավայրի մոդուլի (RF module) օգնությամբ ՎՏՄ-ի հիման վրա, որտեղ հնարավոր է ուսումնասիրել այս համակարգը $9 < g < 9$ ալիքների միջոցով: Թվային մոդելավորման մեջ արձնի հաղորդունակության համար ընդունվել է $\sigma=5 \cdot 9 \cdot 10^7$ Ս/մ արժեքը: Դաշտը, որը ընկնում է հարթ էլեկտրամագնիսական ալիքի տեսքով, ներկայացվել է որպես ցրված դաշտ, որի մեջ առկա են էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի բաղադրիչներ: Դիտարկվել է նաև էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի ուժեղացման և ցրման կտրվածքի թվային արժեքները (scattering cross section): Քանի որ ցույց է տրված, որ համակարգը գործում է ալիքաատարի անցումային գոտում (transition zone), որանից հետևում է, որ ընկնող ալիքը կարող է մոտարկվել որպես հարթ ալիք: Հետևաբար, մոդելավորման տեսանկյունից այս կարելի է համարել որպես ազատ տարածք և հարթ ալիքի միջոցով ուսումնասիրել տվյալ կազմաձևը: Եվ նաև դիտարկումը հաստատվել է օրում՝ ազատ տարածությունում կատարված սիմուլյացիաներով, որոնց արդյունքներն ամբողջությամբ համընկել են փորձարարական արդյունքների հետ:

ՋԱՕԻՄ-ով փորձում երևում է այս ռեզոնանսներից միայն մեկը, քանի որ երկրորդը տեղայնացվում է ձողերի միջև: Այն բավականին հեռավորության վրա է գտնվում ինդիկատորից (3 մմ), և ձողերի միջև եղած հատվածում խիստ լոկալիզացված է, ինչը կանխում է դրա արտապատկերումը, քանի որ մետաղական գանձը էկրանի դեր է տանում այդ մոդի գրգռման ժամանակ: Այդ իսկ պատճառով համակարգը տեղադրվել է ալիքատարում և ստացվել է առավել ճշգրիտ սպեկտրը: չափումները իրականացվել է օգտագործելով Rohde & Schwarz ZNB20 ՎՏՎ-ն: Այս դեպքում երևում են այն երկու ռեզոնանսները, որոնք դիտվել են մոդելավորման ժամանակ: Դիտարկված թեստավորվող փորձանմուշի բարձրությունը ավելին է, քան ալիքատարի փոքր կողմը, այդ իսկ պատճառով էլ օգտագործել ենք փողային անտենա, որպեսզի ալիքատարային մոդելը հավասարաչափ տարածվեն ալիքատարի ամբողջ անցումային գոտում:

Նկար 4-ը ցույց է տալիս թվային մոդելավորման ստացված էլեկտրամագնիսական (ԷՄ) դաշտի բաշխվածության արդյունքները: Էլեկտրական դաշտի բաշխումը հետաքրքիր է նաև այն պատճառով, որ առաջին ռեզոնանսի դեպքում դաշտի



Նկ. 1.9-ում ցույց տրված պարամետրերին: E_z/E_0 : Գունավոր մակերևույթները և սլաքները ցույց են տալիս էլեկտրական դաշտի E_y բարձրիչների բաշխումը երեք ձողերով համակարգի համար, որոնք համապատասխանում են (a) $m=1$ և (b) երրորդ և (c) երրորդ կարգի ռեզոնանսային մոդերին համապատասխանաբար $9 < g < 9$, $7.50 < g < 9$ և $8.03 < g < 9$ համախոսություններին: Երկրաչափական պարամետրերը պատասխանում են Նկ. 1.9-ում ցույց տրված պարամետրերին:

որոշումը հիման վրա արված եզրակացությունների հետ: $m=1$ մոդի դեպքում երեք ձողերը տատանվում են նույն փուլով, ինչը հանգեցնում է դիպոլային ռեզոնանսային, որը բնութագրվում է զգալի ճառագայթման կորստով և ռեզոնանսային պայնացմամբ: $m=2$ մոդի համար, առաջին և երրորդ ձողերը տատանվում են երկու փուլերում, մինչդեռ երկրորդ ձողերը աննշան ներդրում են ունենում: Սա հանգեցնում է ճառագայթման քվարտրալային ցրման, ռեզոնանսային պայնության նվազման և ալիքային դաշտերի նկատելի աճի:

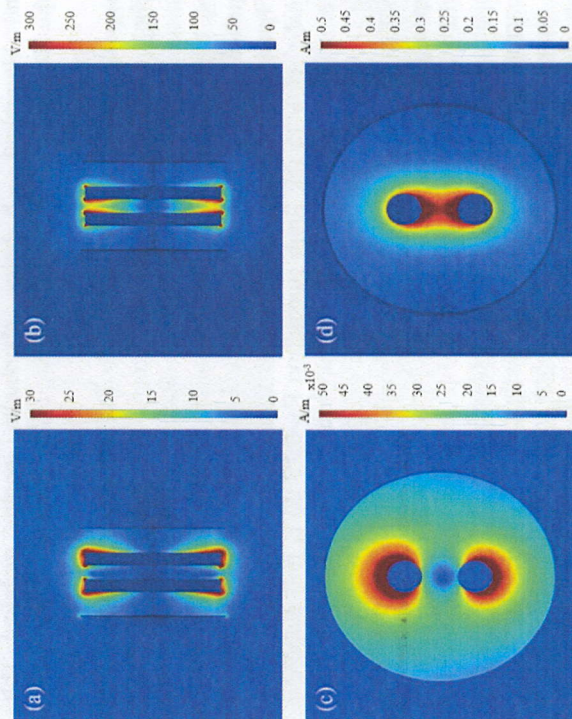
Մարագրաֆ 1.4-ում համառոտ ձևով ամփոփվել են միկրոալիքային դաշտի հետ գաղղող հաղորդիչ ձողի վրա հիմնված մետամակերևույթների արդյունքները:

Ուլի 2-ում ներկայացվել է գլանաձև մետաղական կառուցվածքում ֆանո ալիքային անսնունքի ուսումնասիրությունը: Մասնավորապես հետազոտվել են դրանց արձան բնույթը, մոդալ բաշխվածության տեսքը և ռեզոնանսների տեսքը:

Մարագրաֆ 2.1-ում համառոտ ձևով շարադրված է ֆանո ռեզոնանսների մոդալ բնույթը և տվյալ խնդրի դրվածքը: Ինչպես նաև հիմնավորված է խնդրի ակնանությունը և գիտական նորոգումը:

Մարագրաֆ 2.2-ում ներկայացվել են ուսումնասիրվող մետակառուցվածքի տեսքը ազդողության մեթոդները: Գլանաձև մետաղական կառուցվածքի մեջ տեղադրվել տարակական ձողեր մի դեպքում մեկ հատ կենտրոնում, իսկ մյուս դեպքում երկու կենտրոնից հավասար հեռավորության վրա:

Դժարարական չափումներն իրականացվել են ՋԱՕԻՄ-ի միջոցով, որը կարող է երել մագնիսական դաշտը համատեղ ինդիում-անագ օբյեկտից (ԻԱՕ) աստված ինդիկատորով: Այնուամենայնիվ, ինչպես նշեցինք, փորձերը արվել են նաև երկու ձողերով գլանաձև կազմաձևում: Այս դեպքում մոդելավորման



Էլեկտրական դաշտի բաշխվածությունը YZ հարթությունում (a), (b), մագնիսական դաշտի ածույթում XY հարթությունում (c), (d) , 8.92 ՉՀց (a), (c) և 9.56 ՉՀց (b), (d) ուղղությունների համար:

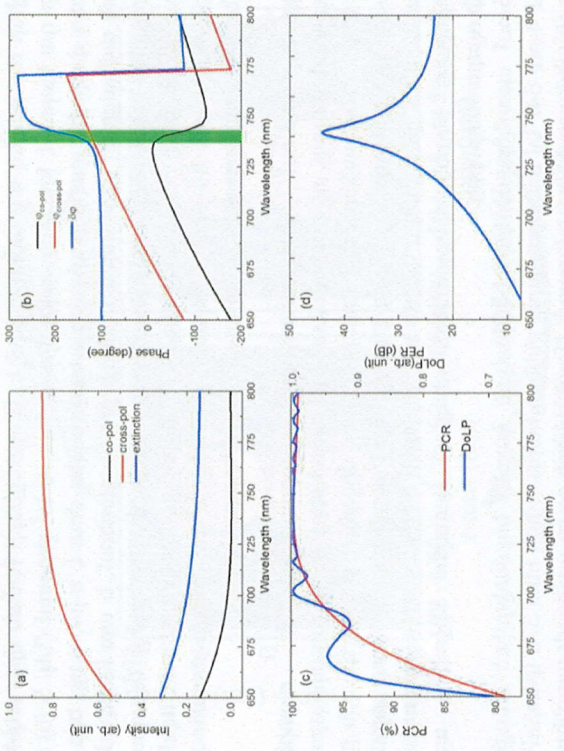
ացումը դիտվել է սիմետրիկ ձողերի արտաքին կողմի վրա (Նկ. 4 (a)), իսկ որ դեպքում ձողերի միջև (Նկ. 4 (b)):

Արագափառ 2.4-ում համառոտ ձևով ամփոփվել են գլանաձև մետաղական տարրերից կառուցված զույգի դաշտի գրգռման միջոցով առաջացող ֆանոնային ընդհանուր և մեխանիզմները:

Նախա 3-ում ուսումնասիրվել են տեսանելի տիրույթում նանոչափային տարրերից բաղկացած կառուցվածքների բարելավված կարգավորվող ցումն ու ղեկավարումը:

Արագափառ 3.1-ում ներածական բնույթի տեղեկատվություն է տրվում օպտիկական լույսի մետամատերիալների մասին: Համառոտ շարադրվել է խնդրի դրվածքը և վերլուծվել է դրա արդիականությունը, ինչպես նաև նախանշվել են գլխում ընդհանուր և հետազոտության հիմնական ուղղությունները:

Արագափառ 3.2-ում մանրամասն ներկայացված է տեսանելի տիրույթի արդիական համակարգ, որը հիմնված է մետամատերիալների վրա և հանդիսանում է արդիական:



Նկ. 5: (a) x և y ուղղություններով անդրադարձված ալիքային բաղադրիչների ինտենսիվությունները և կորուստները, (b) փոխակերպված և անփոփոխ բևեռացումով անդրադարձված ալիքների փուլերը և դրանց տարբերությունը (կանայով ներկված գույնը սպեկտրի այն հատվածն է, որտեղ փուլերի տարբերությունը π է), (c) ԲՓԳ-ի և ԳԲԱ-ի սպեկտրալ վարքը, (d) ԲԱԳ-ի սպեկտրալ վարքը:

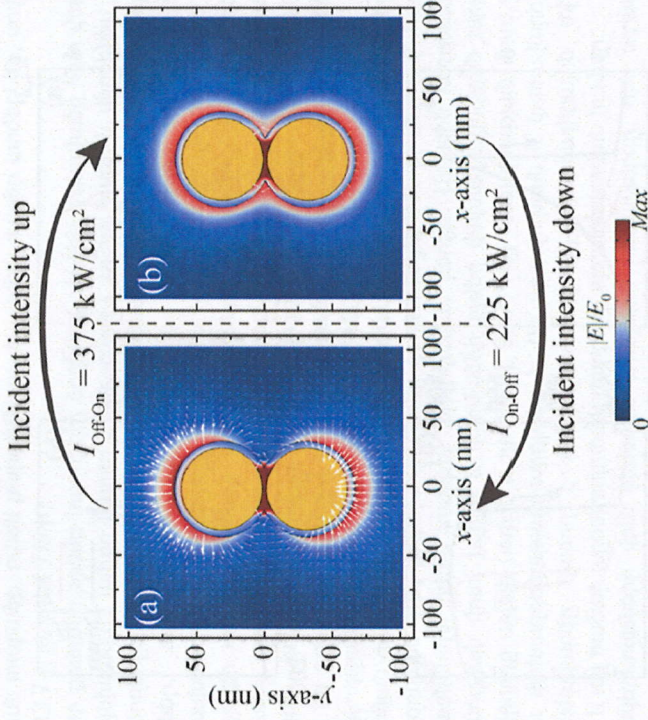
Նկար 5-ը ցույց է տալիս օպտիմալ երկրաչափական չափերով մոդելի արդյունքները: Նկար 5 (a)-ն ցույց է տալիս x և y ուղղություններով անդրադարձված ալիքների ինտենսիվությունը և անդրադարձման ժամանակ մարումը: Կողմնակի ցրում չի դիտվել և հետևաբար այս երեք բաղադրիչների գումարը միշտ պետք է հավասար լինի 1-ի: Նկար 5 (b)-ն ցույց է տալիս փոխակերպված և սկզբնական բևեռացումով անդրադարձված ալիքների փուլերը և դրանց տարբերությունը: Նկար 5 (c)-ն ցույց է տալիս բևեռացման փոխակերպման գործակցի (ԲՓԳ) և գծային բևեռացման աստիճանի (ԳԲԱ) վարքագիծը, իսկ Նկ. 5 (d)-ն ցույց է տալիս համակարգի բևեռացման մարման գործակիցը (ԲԱԳ): Մուտքային էներգիայի ավելի քան 80%-ը վերադարձվում է որպես փոխակերպված բևեռացված ալիք, ինչը լավ արդյունք է, իսկ աշխատանքային տիրույթում կորուստները կազմում են 20%-ից պակաս: ԲՓԳ-ի և ԲԱԳ-ի առումով այս համակարգը նույնպես բավականին գրավիչ է, քանի որ ԲԱԳ-ի մակարդակը 20 դբ-ից բարձր է ամբողջ աշխատանքային տիրույթում այն դարձնում է հուսալի սարք և մոտ 100 նմ-ում (700-ից 800 նմ) ԲՓԳ-ն 99% է: Ինչ վերաբերում է փուլային պարամետրերի վերլուծությանը, ապա խնդիր բարդ է և պետք է դիտարկել ամպլիտուդափուլային համատեքստում: Համաձայն տեսության, չփոխակերպված և փոխակերպված բևեռացված բաղադրիչների միջև փուլային տարբերությունը պետք է

արար քննի ոտ, որտեղ ուր ամբողջ թիվ է: Արդյունքների հիման վրա ակնհայտ է ամ, որ դա կարող է իրականացվել միայն մոտ 10 նմ շերտում (Նկ. 5 (b) կանաչ որտեղ փուլային տարբերությունը առավելապես մոտ է π -ին, բայց երբ այլիքի արդյունքն ավելացումը կորուստներն ավելի քիչ են դառնում, և այս հանգամանքով նմանավորված համակարգի արդյունավետությունը գործնականում չի նվազում, ինչի է վկայում Նկ. 5 (d)-ում պատկերված ԳԲԼ-ի վարքը, որն ընդունում է արժեքներ, գրեթե հավասար են մեկին, սկսած 710 նմ-ից և փաստացի ապահովվում է տուրմների հարաբերությունն ու փուլային տարբերությունը:

Գրադուսք 3.3-ում մանրամասնորեն շարադրված է օպտիկական բերվողության երևույթը, դրա առանձնահատկությունները և օրինաչափությունները: Ե ոսկու նանոսֆերաների տեսք ունեցող միջուկների և ոչ գծային բեկվան վ պատյանի կառուցվածքը: Ցույց է տրվել, որ կարելի է փոքր հզորություններով պ բավականին բարդրակ և կայուն օպտիկական փոխանցատիչ, որը աշխատում ատ որոշակի ինտենսիվությունների դեպքում կախված միջուկ – պատյան կարգի պարամետրերից:

ար 6-ում պատկերված են էլեկտրական դաշտի նորմավորված անկլիտոտի մը ՄՊ-ում 647 նմ երկարությամբ ընկնող հարթ ալիքի հետ 375 կՎտ/սմ² և 225 մ² ինտենսիվությունների դեպքում: Մանրիկների շուրջ սպիտակ վաքները ցույց պիս էլեկտրական դաշտի ուղղությունը: Տեսանելի են ՄՊ-ի երկու տարբեր ոնային մոդեր, համապատասխան ստորին և վերին հիսթերեզիսի հանգույցի դը: Մասնավորապես, ֆիքսերով մուտքային ալիքի երկարությունը 647 նմ-ում և աքներով ինտենսիվությունը, աստիճանաբար փոխել ենք պատյանի բեկվան և, և հիմնական պլազմոնային մոդը հայտնվում է 375 կՎտ/սմ²-ի մոտ, և ցույց է տրված Նկ. 6 (a)-ում: Այստեղ, բացի էլեկտրական դաշտի՝ նառեղքի ժեղ պարփակումից, էլեկտրական դաշտի ուժեղացում նկատվում է նաև ՄՊ-ի և ստորին եզրերին: Այստեղ պետք է նկատի ունենալ, որ այս մոդը կարելի է արվել որպես հիմնական դիալոյին մոդ, բանի որ այն միակն է, որ դիտվում է ինտենսիվություններում գծային ռեժիմում, երբ $\lambda_0 = 605$ նմ: Այնուհետև գրգռող ինտենսիվության բարձրացման դեպքում առաջանում է մեկ այլ ռեժիմ, ինչպես տրված Նկ. 6 (b)-ում: Այս պլազմոնային մոդը, որի էլեկտրական դաշտը, բացի երկի շրջակայքից, նաև կենտրոնացած է ամբողջ պատյանի շուրջ, ագրվում է ցրման արդյունավետության ակնթարթային անկմամբ, ինչը ատվում է ՄՊ-ի շուրջը էլեկտրական դաշտի վաքային գծերով և Q_{scat} -ի իբեզիսային ցիկլի վերին ճյուղի ժամանակ: ՄՊ կազմաձևի բիստաբիլ լառնալ հիմնականում պայմանավորված է նառեղքի հատվածում բարձր առաջանալ ինտենսիվության բարձրացում էր, նույնիսկ ավելի ուժեղ դաշտեր կարող պայան խտությամբ: Ինչպես և սպասվում էր, նույնիսկ ավելի ուժեղ դաշտեր կարող առաջանալ նառեղքում դրա լայնությունը նվազեցնելու հաշվին:

և էլեկտրական դաշտի նորմավորված արժեքների բաշխվածությունը ՄՊ-ի բնութագրական պլազմոնային մոդերի մուտքային (a) 375 կՎտ/սմ² և (b) 225 կՎտ/սմ² ինտենսիվությամբ ճառագայթման դեպքում: Սլաքները պատկերում են էլեկտրական դաշտերը: Երկու մոդերներում վաքների աստիճանը նույնն է:

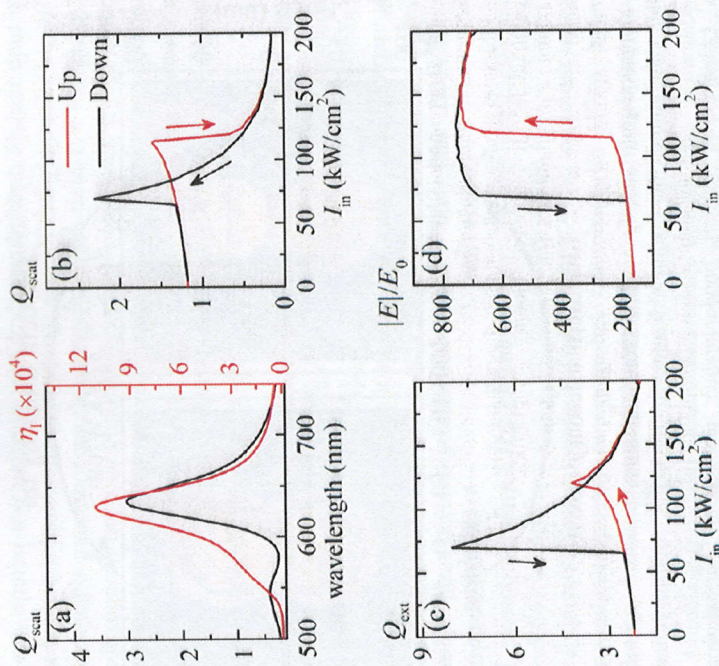


Նկ. 6: Երկու էլեկտրական դաշտի նորմավորված արժեքների բաշխվածությունը ՄՊ-ի բնութագրական պլազմոնային մոդերի մուտքային (a) 375 կՎտ/սմ² և (b) 225 կՎտ/սմ² ինտենսիվությամբ ճառագայթման դեպքում: Սլաքները պատկերում են էլեկտրական դաշտերը: Երկու մոդերներում վաքների աստիճանը նույնն է:

Նկ. 7 (a)-ում: Գծային ռեժիմում պլազմոնային ռեզոնանսը նկատվում է, երբ $\lambda_0 = 628$ նմ է ալիքի՝ ինտենսիվության ուժեղացմամբ մինչև 10^5 : Օպտիկական բիստաբիլությունը դիտարկելու համար գրգռող դաշտի ալիքի երկարությունը ընտրվել է 671 նմ:

Q_{scat} , Q_{ext} և էլեկտրական դաշտի նորմալացված արժեքի հիսթերեզիսի ցիկլերը ցույց են տրված Նկ. 7 (b-d)-ում, որտեղ կարմիր և սև գծերը ցույց են տալիս երկբաղադրիչի արձագանքի համար համապատասխանաբար մոնոտոն աճով և նվազումով գրգռող դաշտի ինտենսիվությունը: Երևում է, որ ոչ գծային արձագանքը բավականին նման է ՄՊ-ի արձագանքին՝ 3 նմ ճեղքով:

Այնուամենայնիվ, փոփոխական ինտենսիվության տիրույթը, որն ապահովում է բիստաբիլ արձագանք, նկատելիորեն կրճատվել է: Մասնավորապես, առաջին և երկրորդ ինտենսիվության շեմերը համապատասխանաբար կազմում են մոտ 118 և 67 կՎտ/սմ²:



... (a) Մարման արդյունավետության ավելորդներ (ծախ առանցք) և ինտենսիվության ցրում (աջ առանցք) ու ՄՊ երկբաղադրիչի նանոճեղքի կենտրոնում, երբ $g = 2$ է: Մնացած պարամետրերը, որոնք ներկայացված են (b-d)-ում՝ Q_{ext} , Q_{scat} և նանոճեղքի կենտրոնում սակայն դաշտի նորմալացված մեծությունը, կախված են ընկնող դաշտի ինտենսիվությունից: ան ավիքի երկարությունը 671 նմ է: Սլաքները ցույց են տալիս ընկնող դաշտի սիմիության փոփոխության ուղղությունը:

Արդարագրաֆ 3.4-ում ասկիտի տեղեկություն է տրված տեսանելի տիրույթի անմակերկրայինների աշխատանքի արդյունավետության մասին:

ԿԱՍՏՈՒԹՅՈՒՆ

Այսպիսի դիմադրությունները բացվածքի տեղամասում հարորդիչ ձողը փոխանցման տարածումը ստեղծում է կտրուկ փակման գոտի, որը չպահպանեց զգայուն է շրջակա վայրի փոփոխությունների նկատմամբ: (b-դ) նանոճեղքի կտրվածքի արագությունը, կախված է դիմադրական թաղանթի հաստությունից, մոտավորապես $1.4 \cdot Q_{scat}/g$ է: ի ձողերի բարորակությունը կախված է դրանց չափից և դիմադրական անթի հաստությունից: Ավելի երկար ձողերը, որոնք ունեն ավելի մեծ էներգիայի

տեղայնացման տարածք, ունեն բարորակության ավելի բարձր արժեքներ, սովորաբար 1.7 անգամ (12.7-ը ընդդեմ 7.5-ի):

Վերջավոր քանակությամբ հարորդիչ ձողերով զծային զանգվածի հետ փոխազդող էլեկտրամագնիսական ալիքը կարող է հաստատել ամուր կապ, և վերջինիս դեպքում հարակից ձողերը, որոնք գործում են որպես ճառագայթային ալիքների բաց անոթներ, առաջացնում են մի շարք ռեզոնանսներ՝ ձողերի քանակին համապատասխան: Ցուրաքանչյուր ռեզոնանս ցույց է տալիս տարբեր ձողերի երկայնքով լիցքի տատանումների ամպլիտուդներն ու փուլերը, ինչը հանգեցնում է ճառագայթման տարբեր կորուստների: Հատկապես նշելի է, որ համակարգում ռեզոնանսային փոխազդող երկու ձողերի լիցքի հակափուլային տատանումները հանգեցնում են գրեթե 30 անգամ տեղայնացված դաշտի լարվածության մեծացման, իսկ բարորակությունը հասնում է ընդուպ մինչև 400-ի:

Մետաղական գլանային եռաբաղադրիչ համակարգը կարող է առաջացնել ֆանոյի կրկնակի ռեզոնանս, իսկ բարորակությունը գերազանցել 300-ը: Ընդ որում այդ երկու ֆանո ռեզոնանսները ունեն տարբեր ֆիզիկական բնույթ: Առաջին ռեզոնանսը 9.05 $Q < g$ հարմարության մոտ, ալիքի և կազմաձևի ուժեղ փոխազդեցության արդյունք է, մինչդեռ երկրորդը ավելի սուր է և դիտվել է 9.47 $Q < g$ հարմարության մոտ: Վերջին ձողերի միջև փոխազդեցության արդյունք է: Իր պարզության և կառավարելիության շնորհիվ համակարգը կարող է լինել շատ գրավիչ միկրոալիքային տիրույթում սենսորների և այլ հաճախաընտրողունակ սարքերի պատրաստման համար:

Մետաձևակերտությունների վրա հիմնված եռաշերտ համակարգը, որն աշխատում է որպես կես ալիքային թիթեղ և բաղկացած է միտոն-դիէլեկտրի-մետաղ կառուցվածքից, անորարարձնող է և ցույց է տալիս գրեթե կատարյալ վայր 10 նմ ավելորդի վայնությամբ տիրություն՝ մոտ 735-745 նմ սահմաններում: Կորուստներն աննշան են, իսկ 700-800 նմ սահմաններում անորարարձնող էներգիայի 99%-ը փոխակերտվում է: Բացի այդ, համակարգն ունի առավելություն, որը բնորոշ է մետաձևակերտներին. անկախ ընկնող ալիքի անկման անկյունից, այն ցույց է տալիս բարձր արդյունավետություն, և նույնիսկ այն դեպքում, երբ ընկնող ալիքի անկման անկյունը 45° -ից փոքր է, բնեռացման փոխարկման գործակիցը մնում է ավելի քան 80%:

Տեղայնացված մակերևույթային պլազմոնային ռեզոնանսը պայմանավորված ունակային բնույթով, կապված մետաղական միջուկներով երկբաղադրիչներում կարող է հանգեցնել լուկա դաշտի ուժեղացման նանոճեղքում և հանգեցնել ոչ զծային էֆեկտների: Մասնավորապես ոչ զծային բեկման ցուցչով միջավայրում նանոճեղքով բաժանված ոսկու նանոմասնիկները կարող են առաջացնել օպտիկական բխառարիության երևույթը, որում հիսթերեզիսային փոխանցման ինտենսիվության արժեքները մի քանի հարյուր կՎտ/սմ² են: Գրգռող դաշտի փոխանցման ինտենսիվությունները կարելի է կառավարել ճեղքի չափերը փոփոխելով:

УЛУЩЕННА РЕГУЛІРУЄМА КОМБІНАЦІЯ І УПРАВЛЕННЯ МІКРО І НАНОСТРУКТУРАМИ, СОСТАЯЩИМИ ИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН И МЕТАЭЛЕМЕНТОВ

АННОТАЦІЯ

Унікальна роль метаповерхностей як ефективних систем управління волнами в нинішнє час повністю обоснована. Сучасні застосування метаповерхностей, які слугують альтернативою традиційним мікрохвильовим і оптичним матеріалам, включають управління частотно-избирательным поведением проходящих или отражённых волн, манипуляцию поляризацией и волновым фронтом, идеальное поглощение, кодирование, а также генерацию поверхностных волн. Многофункциональность метаповерхностей в основном определяется структурными характеристиками их элементарных ячеек (элементов метаповерхности), которые часто обладают особыми резонансными свойствами. Кроме того, фильтрация электромагнитных волн, являющаяся стандартной операцией в современных системах микроволновой, оптической связи и обработки сигналов, эффективно реализуется с помощью частотно-избирательной фильтрации с дисперсионными характеристиками отражения или передачи. Электромагнитный отклик метаматериалов обусловлен различными факторами, такими как геометрические параметры метаповерхности и количество элементов, а также материалы, используемые при их изготовлении. Это влияние достигается за счёт изменения размеров резонаторов, количества зазоров и их взаимного расположения.

Особый интерес представляют также мультиплетные резонансы Фано. Они могут проявляться как в радиочастотном, так и в видимом диапазоне. Естественно, мультиплетные резонансы Фано разнообразны по своей природе. В некоторых случаях один из двух резонансов возникает в результате взаимодействия поля с данной конфигурацией, тогда как второй является следствием сильного взаимодействия между компонентами. Управляемые и настраиваемые резонансы могут играть чрезвычайно важную роль в специализированных приложениях. Что касается применимости, поскольку измерения проводятся в свободном пространстве, такие системы могут использоваться в беспроводных системах связи, в отличие от многих других случаев, где коаксиальный порт возбуждает резонансную систему контактным способом. В частности, в гигагерцовом диапазоне такая структура может использоваться как полосовой фильтр. Известно, что подобные системы перспективны и в оптике и могут работать как маломощные переключатели или сенсоры, управляя задержку радиосигнала.

Parsamyar H, Haroian H and Nerkararyan K 2022 Broadband tunable mid-infrared absorber based on conductive strip-like meta-atom elements *Materials Today Communications* **31** 103692
 Yu Y, Zhu H, Sun B and Yang W 2020 Tunable toroidal Fano resonance in the multiple split-ring resonators metamaterials *Optik* **216** 164936
 Gibbs H M 1985 *Optical bistability: controlling light with light* (Orlando: Academic Press)
 Barclay P E, Srinivasan K and Painter O 2005 Nonlinear response of silicon photonic crystal micresonators excited via an integrated waveguide and fiber taper *Opt. Express* **13** 801
 Ramiro-Manzano F, Prtljaga N, Pavese L, Pucker G and Ghulinyan M 2013 Thermo-optical bistability with Si nanocrystals in a whispering gallery mode resonator *Opt. Lett.* **38** 3562

В последние годы разработка и производство золотых нанодисков значительно двинулись вперёд, что открыло широкие возможности для проектирования и экспериментального исследования различных наноразмерных оптических устройств. В свою очередь можно отметить поляризаторы, в работе которых описанные поверхности являются гиперболическими и обладают анизотропией. Их механическая природа также используется в фотолитографических регуляторах и механических манипуляторах. Кроме того, недиссипативные свойства можно выделить благодаря анизотропии, что позволяет применять их в высокоразрешающей литографии. Одним из явлений, представляющих большой интерес, также является бистабильность, нелинейное явление, характеризующее системы с двумя различными состояниями отклика в зависимости от направления изменения интенсивности входного сигнала. Возникновение двух различных состояний отклика в одном и том же входном сигнале связано с нелинейной модуляцией показателя преломления под действием интенсивности падающего света. Несколько физических механизмов способствуют изменению комплексного показателя преломления в зависимости от интенсивности, например нелинейность Керра, термооптический эффект и дисперсия свободных носителей заряда, возникающая вследствие хвостонного поглощения. В частности, в эффекте Керра, также называемом дратичным электрооптическим эффектом, функциональная зависимость показателя преломления от интенсивности входного сигнала определяется нелинейным коэффициентом. Идея управления светом с помощью самого света лежит в основе создания оптических устройств и нашла широкое применение в оптическом включении, логических операциях, оптических цифровых устройствах, обработке данных, хранении информации и др.

TUNABLE INTEGRATION AND CONTROL OF MICRO AND NANOSTRUCTURES BASED ON ELECTROMAGNETIC WAVES AND METASTRUCTURES

ANNOTATION

The unique role of metasurfaces as effective wave management systems is now fully justified. Modern applications of metasurfaces, which serve as an alternative to traditional microwave and optical materials, include controlling the frequency selective behavior of transmitted or reflected waves, polarization and wavefront manipulation, ideal absorption, encoding, and surface wave generation. The multifunctionality of metasurfaces is mainly determined by the structural characteristics of their elementary cells (metasurface elements), which often have special resonant properties. In addition, electromagnetic wave filtering, which is a standard operation in modern microwave, optical communication and signal processing systems, is effectively implemented using frequency selective filtering with dispersion characteristics of reflection or transmission. The electromagnetic response of metamaterials is determined by various factors, such as the geometric parameters of the metasurface and the number of elements, as well as the materials used in their manufacture. This effect is achieved by changing the size of the resonators, the number of gaps and their relative position.

Multiple resonances of Fano are also of particular interest. They can manifest themselves both in the radio frequency and in the visible range. Naturally, the multiplet resonances of Fano are diverse in nature. In some cases, one of the two resonances arises as a result of the interaction of the field with a given configuration, while the second is a consequence of the strong interaction between the components. Controlled and tunable resonances can play an extremely important role in specialized applications. As for applicability, since measurements are carried out in free space, such systems can be used in wireless communication systems, unlike in many other cases where the coaxial port excites the resonant system in a contact manner. In particular, in the gigahertz range, such a structure can be used as a band-pass filter. It is known that such systems are promising in optics and can work as low-power switches or sensors, controlling the delay of the radio signal.

In recent years, the development and production of gold nanodisks has made significant progress, which has opened up wide opportunities for the design and experimental research of various nanoscale optical devices. First of all, we can mention polarizers in which the described metasurfaces are hyperbolic and have anisotropy. Their

onant nature is also used in photoluminescent controllers and optomechanical manipulators. In addition, non-dissipative properties can be distinguished due to anisotropy, which allows them to be used in high-resolution nanolithography.

One of the phenomena of great interest is also optical bistability, a nonlinear phenomenon that characterizes systems with two different response states depending on the direction of change in the intensity of the input signal. The occurrence of two different response states with the same input signal is due to the nonlinear modulation of the refractive index under the influence of the intensity of the incident light. Several physical mechanisms contribute to a change in the complex refractive index depending on the intensity, for example, the Kerr nonlinearity, the thermo-optical effect, and the dispersion of the charge carriers resulting from two-photon absorption. Particularly, in the Kerr effect, also called the quadratic electro-optical effect, the functional dependence of the refractive index on the intensity of the input signal is determined by a nonlinear coefficient. The idea of controlling light using light itself underlies the creation of optical devices and has found the application in optical switching, logical operations, optical digital devices, data processing, information storage, etc.

