

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՒ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Առաքել յ ան Շանթ Խաչատուրի

ՆԱՆՈԹԱՂԱՆԹՆԵՐԸ ԳՐԱՆՑՄԱՆ ԵՒ ԱՐՏԱՊԱՏԿԵՐՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ

Ա.04.03 – «Ռադիոֆիզիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսություն
ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Արաքելյան Շանտ Խաչատուրովի

НАНОПЛЕНОК В СИСТЕМАХ РЕГИСТРАЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата

физико-математических наук по специальности

01.04.03 – “Радиофизика”

ЕРЕВАН – 2017

Ատենախոսություն թեման հաստատվել է Երեւանի պետական
համալսարանում:

Գիտական ղեկավար՝

Ֆ.մ.գ.դ., պրոֆեսոր

Խ.Վ. Ներկարարյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆ.մ.գ.դ., պրոֆեսոր

Ա.Ա. Հախումյան

Ֆ.մ.գ.թ., պրոֆեսոր
Յ.Վ. Բաղդասարյան

Առաջատար կազմակերպությունը՝ ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական
հետազոտությունների և ստիտուտ
Պաշտպանությունը կայանալու է 2017թ. նոյեմբերի 25-ին ժամը
12:00-ին

Երեւանի պետական համալսարանի 049 ֆիզիկայի մասնագիտական
խորհրդի նիստում: Հասցե՝ 0025, Երեւան, Ա. Մանուկյան 1:

Ատենախոսությունը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2017թ. հոկտեմբերի 25-ին:

Մասնագիտական խորհրդի
գիտական քարտուղար՝
Քալանտարյան



Ֆ.մ.գ.թ., դոցենտ
Վ.Պ.

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете.

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

Официальные оппоненты: д.ф.м.н., профессор
А.А. Ахумян
к.ф.м.н., профессор
О.В. Багдасарян

Ведущая организация: Институт физических исследований НАН РА

Защита диссертации состоится 25 ноября 2017г. в 12:00 часов,
на заседании специализированного совета 049 по физике Ереванского
государственного университета по адресу: 0025, Ереван, ул. А. Манукяна 1.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.
Автореферат разослан 25 октября 2017г.

Ученый секретарь
специализированного совета:



к.ф.м.н., доцент
В.П. Калантарян

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ Ը ՂԻ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Աշխատանքի արդիականումը, ...

Տեխնոլոգիաների ներկայիս զարգացող մրցավազքում
ֆիզիկական մեծությունների՝ մեծ զգայունությամբ եւ
տարածական լուծուճակությամբ գրանցումը ժամանակի
հրամայական է: Այս հանգամանքը խթանում է ֆիզիկական
մեծությունները գրանցող սարքերի կառուցելագործումը,

ինչպես նաև նորագույն համակարգերի նախագծումը եւ մշակումը: Մասնավորապես էլեկտրական եւ մագնիսական դաշտերի գրանցման տարատեսակ համակարգեր ակտիվորեն հետազոտվել են՝ նրանց զգայունությունը բարձրացնելու եւ ավելի լայն կիրառություններ գտնելու նպատակով [1-5]: Իրավիճակը սակայն փոխվում է, երբ անհրաժեշտություն է առաջանում գրանցել փոփոխական էլեկտրական կամ մագնիսական դաշտերը, այս դեպքում հարկավոր է իրականացնել մագնիսապոկկական (ՄՕ) եւ էլեկտրաօպոկկական (ԷՕ) երեւույթներով սինխրոն գրանցում՝ դաշտերի միայն դրական կամ բացասական արժեքներին համապատասխան, հակառակ դեպքում՝ գրանցվող ազդանշանը կզրոյանա: Սակայն էլեկտրամագնիսական դաշտի հաճախության աճին զուգահեռ սինխրոն գրանցումը դառնում է դժվար իրագործելի, իսկ արդեն տասյակ ԳՀց-երի դեպքում նման մեթոդներով դաշտերի գրանցումը ուղակի դառնում է անհնարին: Չարկ է նշել, որ էլեկտրամագնիսական դաշտերի արտապատկերման համար տարատեսակ սկանավորման եղանակները երբեք կենսունակ չեն լինում ժամանակից կախած չափումների համար, ուստի եւ տեսախցիկներով արտապատկերման համակարգերի մշակումը խիստ արդիական է:

Չետազոտության մեկ այլ ուղղություն է տարբեր \$իզիկական երեւույթների կապակցմամբ գրանցման համակարգերի նախագծումը: Մասնավորապես վերջին ժամանակներում ակտիվորեն ուսումնասիրվում են օպոկկամեխանիկական կապով համակարգերը [6-8]: Տարատեսակ խնդիրներում կիրառվում են օպոկկամեխանիկական կապով մեծ բարորակությամբ համակարգեր: Այստեղ պինդմարմնային նանոմեխանիկական համակարգերի հետ մեկտեղ մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում նաև հիդրոդինամիկական (կապիլյար) եւ օպոկկական համակարգերի միջեւ փոխազդեցությունը [9,10]: Չեղուկների

հիդրոդինամիկական հատկություններով պայմանավորված՝ նրանց տարածական եւ կառուցվածքային փոփոխությունները հետաքրքրական են, որպես փոփոխական երկրաչափություն օպտիկական միջավայրներ (օբյեկտներ):

Ատենախոսության մեջ ներկայացված են նաև յոթանյութերում էլեկտրամագնիսական դաշտերի կլանումը, նրանցում ջերմահաղորդականության եւ մեխանիկական երեւոյթների ուսումնասիրությունը, ինչպես նաեւ այդ երեւոյթների միջեւ կապը:

Ատենախոսության նպատակը

Ատենախոսության հիմնական նպատակն է միջավայրի ջերմաառածգական հատկություններին հիման վրա նախագծել ՊԲՅ էլեկտրամագնիսական դաշտերի արտապատկերման համակարգ, որն ընտրողաբար կկարողանա արտապատկերել թե՛ էլեկտրական, եւ թե՛ մագնիսական դաշտերի բաշխվածությունները առանձին-առանձին:

Պարզել հեղուկից դուրս ելնող կոնական մետաղապատ գագաթով օպտիկական մանրաթելից գրանցվող լուսային ազդանշանի առկայծումների բնույթը եւ վարքը:

Գիտական նորույթը

Ջերմաառածգական միջավայրում ջերմային բաշխման պայմաններում՝ բեւեռացված լույսի մանրադիտարկմամբ չափված գծային երկբեկման բաշխվածություններով հաջողվել է լուծել երկբեկման պատճառ հանդիսացող ջերմության որոշման հետադարձ խնդիրը: Ստացված լուծման շնորհիվ մշակվել է ջերմային դաշտերի բաշխվածության արտապատկերման նոր տիպի ջերմաառածգական օպտիկական ինդիկատորով մանրադիտակ (ՋԱՕԻՄ):

Մագնիսաօպտիկական արտապատկերման դեպքում շնորհիվ ինդիկատորում \$արտդեյի երեւոյթի հիսթերեզիսային

բնույթի՝ հաստատուն հոսանքի ստեղծած մազնիսական դաշտի արտապատկերման համար, օպտիկական վերլուծիչի փոխարեն մազնիսական դաշտի ուղղույթան շրջամաբ ստացվել է արտապատկերման առավել զգայուն համակարգ:

Համակարգչային նմանակմաբ պարզվել է, որ օպտիկական մանրաթելի կոնական գազաթի՝ հեղուկից դուրս գալու ընթացքում, գրանցվող առկայծունները պայմանավորված են երկու հառորդական պրոցեսներով: Դրանք են՝ հեղուկի սեղմվելը մինչեւ կոնտակտային անկյուն եւ արդեն հաստատված անկյամբ հեղուկի սահքը կոնական մակերեւոյթով:

Գործնական արժեքը

Ատենախոսույթան մեջ ներկայացված խնդիրներն ունեն կիրառական նշանակույթ ուն: Մասնավորապես առաջին գլխում քննարկված ՋԱՕԻՄ արտապատկերման համակարգում համապատասխան ինդիկատորի ընտրույթան շնորհիվ կարելի է ընտրողաբար արտապատկերել ջերմային, էլեկտրական կամ մազնիսական դաշտերի բաշխվածույթ ունները:

Երկրորդ գլխում ցուցադրված հաստատուն հոսանքի մազնիսաօպտիկական արտապատկերման համակարգի շնորհիվ՝ մազնիսական դաշտի գրանցելի նվազագույն արժեքը հասցվել է 0.2 Գ-ի, ինչը կարող է ընդլայնել այս մեթոդի կիրառույթ ունը էլեկտրոսխեմաներում հաղորդիչ գծերի թեւոյթ ունների թեստավորման եւ հայտնաբերման ոլորտում:

Երրորդ գլխում իրականցված օպտիկամեխանիկական երեւոյթների հետազոտույթ ունը թույլ է տալիս կիրառել այն նանոտատանման գրանցիչներում, եթե կոնական գազաթը պահվի հեղուկ օդ բաժանման սահմանի տիրույթում: Հեղուկում ամբողջապես ընկղմված կոնական մանրաթելի դեպքը կարող է կիրառվել հեղուկների հիդրոդինամիկական հատկույթ ունների հետազոտույթ ան, ինչպես նաեւ երկու

հեղուկների դիֆուզիայի կամ փոխազդեցության ակտիվության ուսումնասիրության ներքոմ:

Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները

1. Մշակվել է շերմաառած գական օպտիկական ինդիկատորով նոր տիպի մանրադիտակ, որի աշխատանքի հիմքում միջավայրում առաջացող երկբեկման հետեւանքով լուսային ճառագայթման բեւեռացման պտույտն է:
2. Ջերմաառած գական օպտիկական ինդիկատորով մանրադիտակում (ՋԱՕԻՄ) ինդիկատորի կլանող շերտի հատկությունների համապատասխան ընտրության ամբկարելի է արտապատկերել հետազոտվող նմուշի էլեկտրական կամ մագնիսական դաշտերի բաշխվածությունները՝ դրանց գրանցելի հաճախության ներքո շերտը ընդլայնելով մինչեւ S3g տիրույթ:
3. Ցույց է տրվել, որ հաստատուն հոսանքի մագնիսաօպտիկական արտապատկերման առաջարկված մեթոդի համար մագնիսական դաշտի նվազագույն գրանցելի արժեքը կազմում է մոտ 0.2 Գ: Առաջարկվող արտապատկերումը իրականացվում է առանց վերլուծիչի օպտիկական կողմնորոշումը փոխելու, ինչի շնորհիվ օպտիկական բաղադրիչներով պայմանավորված աղմուկները չեղարկվում են:
4. Նանոմետրական ամպլիտուդով տատանումների գրանցումն ապահովող, հեղուկից ելնող օպտիկական մանրաթելի կոնաճեւ, մետաղապատ գագաթից լույսի առկայծումները, պայմանավորված են ձեւավորվող մենիսկի լայնական չափերի փոփոխության եւ սահքի հետեւանքով ալիքատարային ռեժիմների հաստատմամբ:

Աշխատանքի ներկայացումը

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները գեկուցվել են Երեւանի պետական համալսարանի Գերբարձր հանախոսությունների ռադիոֆիզիկայի եւ հեռահաղորդակցության ամբիոնի սեմինարներում, Սոգանգ համալսարանի ֆիզիկայի ֆակուլտետի կազմակերպած սեմինարներում (Sogang University, Seoul, Korea), ինչպես նաեւ միջարժեքային գիտաժողովներում:

Յրապարակումները

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրվել են 15 գիտական աշխատանքներում, որոնց ցուցակը ներկայացված է սեղմագրի վերջում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք գլուխներից, եզրակացությունից եւ 105 անուն պարունակող գրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 105 էջ է, որում ամռան 35 նկար եւ 1 աղյուսակ:

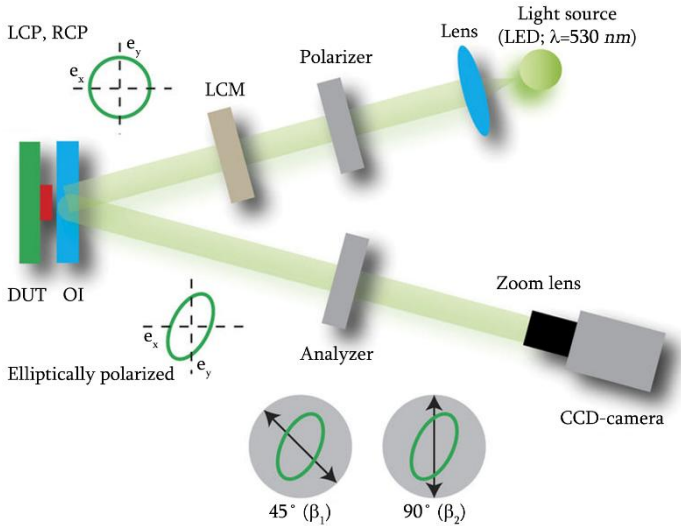
ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածության մեջ հիմնավորված է աշխատանքի արդիականությունը, ձեւակերպված են նպատակներն ու խնդիրները, ինչպես նաեւ պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները: Ներկայացված են աշխատանքի գիտական նորույթը եւ գործնական արժեքը:

Սուչիև գլխում ներկայացվում է ջերմաստճական օպտիկական ինդիկատորով, մեծ լուծունակությամբ արտապատկերման նոր մեթոդ, որտեղ արտապատկերումն իրականացվում է CCD տեսախցիկով: Արտապատկերման այս մեթոդը հնարավորություն է տալիս արտապատկերել ջերմության եւ էլեկտրամագնիսական մոտակա դաշտերի բաշխվածությունները:

1.1 Ենթազլ ու խը ներկայացնում է գոյություն ունեցող արտապատկերման համակարգերի վերաբերյալ ակնարկ, դրանցում արտապատկերման սկզբունքային բարդությունները եւ կիրառելիության սահմանների քննարկում:

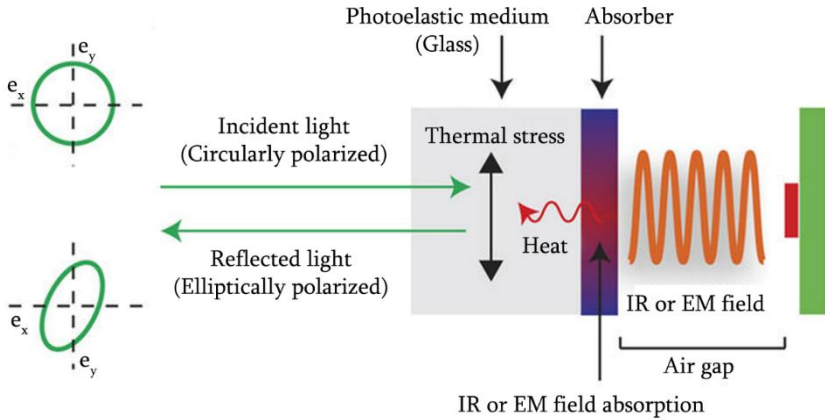
1.2 Ենթազլ խում ներկայացված է ՋՕՕԻՄԻ աշխատանքի սկզբունքը եւ փորձի նկարագրությունը (Նկ .1):



Նկ.1 Փորձի սկզբունքային սխեման: Ընկնող լույսը անցնելով գծային բևեռացուցիչով եւ հեղուկ բյուրեղային մոդուլյատորով ձեռք է բերում շրջանային բևեռացում: Ինդիկատորից անդրադարձած լույսի բևեռացվածությունը որոշվում է 45° կամ 90° անկյունային կողմնորոշմամբ վերլուծիչով անցնող եւ CCD-ի միջոցով գրանցվող լույսի ինտենսիվությամբ:

Օպտիկական ինդիկատորը՝ հետազոտվող սարքի շերտային կամ էլեկտրամագնիսական ճառագայթումը կլանող նանոմետրական շերտով ասակի է, որը դրված է հետազոտվող սարքի վրա եւ մշտադիտարկվում է բևեռացված լույսով մանրադիտակի համակարգով: Ընկնող լույսը գծային բևեռացվում է հարթ բևեռացուցիչով, այնուհետեւ հեղուկ-բյուրեղային մոդուլյատորով ձեռք է բերում շրջանային բևեռացում: Վերլուծիչից անցնելուց հետո CCD-

տեսախցիկով գրանցվող լույսի ինտենսիվության փոփոխության ամբ չափվում են ինդիկատորով անցած եւ կլանիչ շերտից անդրադարձած լույսի բեւեռակազմության փոփոխությունները: Փորձի աշխատանքի սկզբունքը ներկայացված է նկ.2-ում:



Նկ.2 Չափումների սկզբունքային սխեման: Օպտիկական ինդիկատորում մեխանիկական լարումների պատճառով առաջացող ֆոտոէլաստիկ երեւույթը ընկնող լույսի բեւեռացումը շրջանայինից փոխում է էլիպսայինի: Մեխանիկական լարումները առաջանում են ջերմային կամ էլեկտրամագնիսական դաշտի եւ ինդիկատորում կլանող շերտի միջեւ փոխադրեցումը ունից:

Աշխատանքային վիճակում հետազոտվող սարքը ունի ջերմային կամ էլեկտրամագնիսական ճառագայթում եւ կախված օպտիկական ինդիկատորի հատկություններից այդ ճառագայթումը ընտրողաբար կլանվում է ինդիկատորի կլանող շերտում: Կլանող շերտում անջատված ջերմությունը տարածվելով ջերմաառած գակաս միջավայրով նրանում առաջացնում է ջերմամեխանիկական լարվածություններ: Կախված լարվածության անցքների կողմնորոշումից եւ միջավայրի հատկություններից շրջանային բեւեռացված լույսը այդ միջավայրով տարածվելիս դառնում է էլիպսային բեւեռացված: Նկարագրված երեւույթը հայտնի է ֆոտոէլաստիկ երեւույթ անվամբ (նաեւ լարվածության

օպտիկական երեւոյթ): Օպտիկական ինդիկատորում գծային երկբեկման մշտադիտարկման շնորհիվ հնարավոր է գրանցել նրանում մեխանիկական լարվածութունը: Այնուհետեւ 0° եւ 45° աստիճան կողմնորոշմամբ վերլուծիչից անցած լույսի ինտենսիվութեան մշտադիտարկմամբ կարելի է չափել հետազոտվող սարքի պատճառով օպտիկական ինդիկատորում առաջացած գծային երկբեկման փոփոխութեանը:

1.3 ենթազլխում ներկայացված է չափումների տեսական նկարագրութեանը: Անալիտիկ հաշվարկները ցույց են տվել, որ ինդիկատորում մեխանիկական լարվածութունների առաջացման հակադարձ խնդրի լուծմամբ՝ (1) գծային երկբեկման բաշխվածութունների շնորհիվ կարելի է գտնել շերմային աղբյուրի բաշխվածութունը

$$q = C \left(2 \frac{\partial^2 \beta_z}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \beta_z}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \beta_z}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

որտեղ՝ q -ն շերմային աղբյուրի բաշխվածութունն է, β_1 եւ β_2 -ը ինդիկատորում նորմալ եւ սահքի լարումներով պայմանավորված գծային երկբեկման բաշխվածութուններն են, իսկ C -ն ինդիկատորի հատկութեանը եւ ընկնող լույսի ալիքի երկարութեանից կախված հաստատուն է: q շերմային աղբյուրի բաշխումը ինդիկատորի բարակ թաղանթում շերմային կամ էլ եկտրամագնիսական ճառագայթումով պայմանավորված շերմութունն է, ուստի եւ հաշվարկվող շերմային բաշխվածութունը կբնութագրի հետազոտվող նմուշի շերմութեան կամ էլ եկտրամագնիսական դաշտի բաշխումը: Էլեկտրական եւ մագնիսական դաշտերին համապատասխանող կլանումներով պայմանավորված շերմային աղբյուրի բաշխվածութեան համար ստացվել են հետեւյալ բանաձեւերը՝

$$q_E = \frac{\omega}{2} \varepsilon'' |E|^2, \quad q_H = \frac{R_z}{2t} |H_t|^2, \quad (2)$$

որտեղ՝ ω -ն էլեկտրամագնիսական դաշտի հաճախութունն է, ε'' -ն կորուստներով շերտի դիէլեկտրիկական թափանցելիութեան

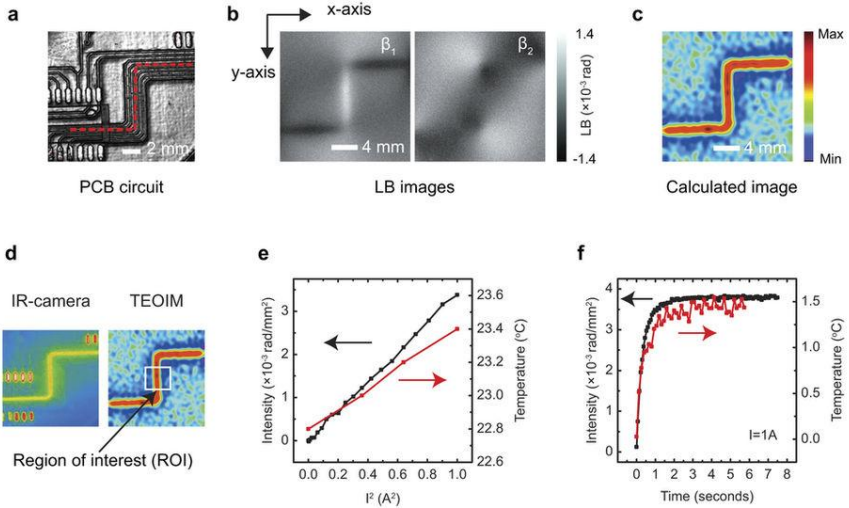
կեղծ մասն է, E -ն էլ եկտրական դաշտն է, H_z -ն մագնիսական դաշտի՝ հաղորդիչ շերտի նկատմամբ տանգենցիալ բաղադրիչն է, R_s -ը եւ t -ն համապատասխանաբար մետաղական շերտի մակերեւոյթային դիմադրութեանը եւ հաստութեանը:

1.4 Ենթազլխում քննարկված են ՋԱՕԻՄ չափումներում տվյալների հավաքագրումը եւ պատկերի մշակումը, որոնք իրականացվել են LabVIEW միջերեսում գրված մասնավոր ծրագրերի միջոցով:

1.5 Ենթազլխում ներկայացված են ՋԱՕԻՄ-ի շերմագայ ութնութայն եւ տարածական լուծունակութայն հաշվարկները: Չափումներում զգայունութայն բարձրացման եւ միջին քառակուսային շեղման նվազեցնամ նպատակով իրականացվում է CCD տեսախցիկի գրանցած նկարների միջինացում: 1000 միջինացվող կադրերի դեպքում համակարգի շերմագայ ութնութայնը հաշվարկվել է 11-14 μm , մինչդեռ 15000 միջինացման պարագայում այն նվազում է մինչեւ 4-6 μm :

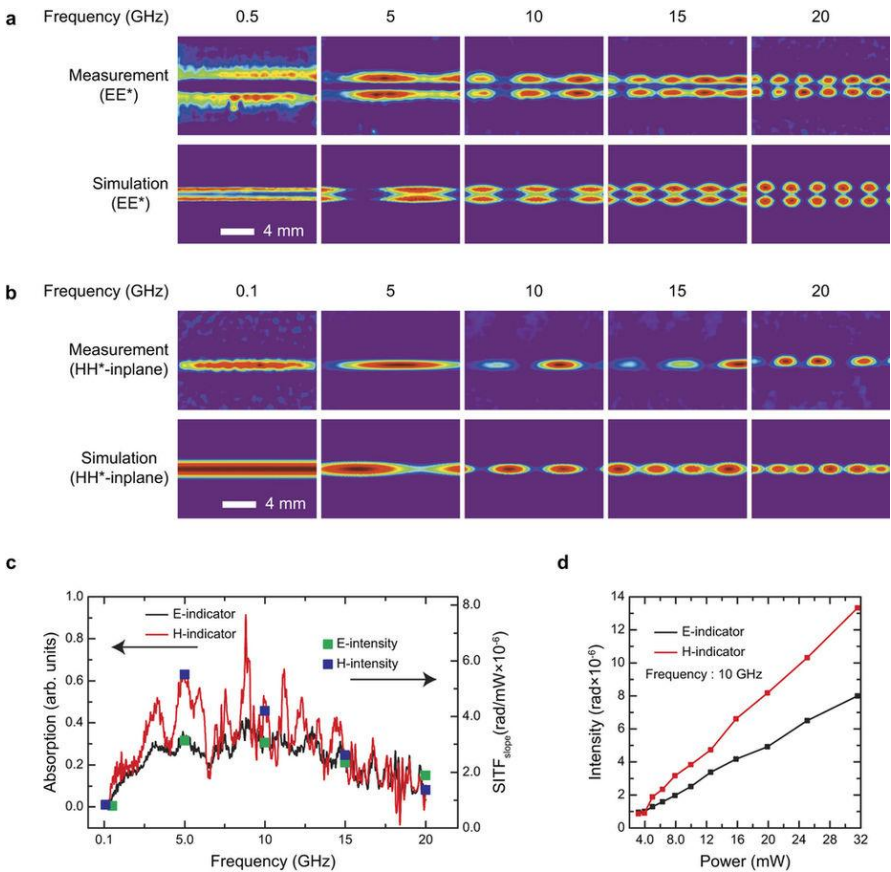
1.6 Ենթազլխում քննարկված է շերմութայն արտապատկերման օրինակ (նկ.3): Ջերմութայն արտապատկերման համար, որպես ինդիկատոր օգտագործվել է պլատինի 200 μm շերտով պատված բորոսիլիցիումային ապակե տակդիրը (Eagle XG, Corning): Օպտիկական ինդիկատորը դրվել է էլեկտրոսխեմայի վրա, որի մակերեւոյթը ինդիկատորից առանձնացված է եղել մեկուսիչ շերտով, այնպես, որ ինդիկատորի պլատինե մակերեւոյթը հավի մեկուսիչ նյութին: Այստեղ էլեկտրախեմայից անջատված շերմութայնը ապակե տակդիրին փոխանցվել է շերմահաղորդականութայն շնորհիվ: Ինչպես եւ սպասվում էր շերմային աղբյուրի բաշխվածութեանը առավելագույնն է եղել հաղորդալարին համապատասխանող տեղամասերում: Ստացված այս արդյունքները համընկնում են ինֆրիկարմիր տեսախցիկով կատարված չափումների հետ: Նկ. 3-ում ցույց է տրված, որ չափման արդյունքներում շերմային

աղբյուրի հզորության եւ գրանցվող ինտենսիվության կապը եղել գծային:



Նկ. 3 Էլ եկտրոսխեմայի ջերմային արտապատկերումը ՋԱՕԻՄ միջոցով: (a) փորձում օգտագործվող Էլ եկտրոսխեմայի իրական նկարը, (b) օպտիկական ինդիկատորի գծային երկբեկման նկարները, (c) հաշվարկված ջերմային բաշխվածությունը, (d) ինֆրակարմիր տեսախցիկով նկարված ջերմային նկարը եւ ՋԱՕԻՄ արտապատկերմամբ ստացվող ջերմային աղբյուրի բաշխումը, այստես սպիտակ ուղղանկյունով նշված է ջերմային զգայունության համար հաշվարկի տիրույթը, (e, f) նշված տիրույթում ջերմության եւ ինտենսիվության փոփոխությունների կախումը կիրառված հոսանքից (e) եւ ժամանակից (f):

1. 7 Ենթազլխում ներկայացված է ՋԱՕԻՄ-ով Էլ եկտրամագնիսական մոտակա դաշտերի արտապատկերման օրինակ (նկ. 4): Էլ եկտրական մոտակա դաշտի գրանցելի հաճախության ստորին արժեքը ստացվել է մոտավորապես 0.5 ԳՀց, մինչդեռ մագնիսական դաշտի չափումներում, նույն հզորությամբ ազդանշանի պարագայում մինիմում գրանցելի հաճախությունը եղել է ցածր քան 0.1 ԳՀց-ը:



Նկ. 4 Միկրոշերտային հաղորդիչ գծի ԳԲՀ մոտակա դաշտերի բաշխվածությունների կախումը հաճախություններից: Արտապատկերված եւ համակարգչային նմանակման ԳԲՀ մոտակա (a) ԷլԷկտրական դաշտը եւ (b) մագնիսական դաշտի տանգենցիալ բաղադրիչը: (c) ԳԲՀ կլանման սպեկտրերը այնուամենայնիւ նանոմասնիկներով (սեւ) եւ պլաստիկ (կարմիր) ինդիկատորների համար: (d) ԷլԷկտրական դաշտի (սեւ) եւ մագնիսական դաշտի տանգենցիալ բաղադրիչի (կարմիր) համար չափված միջին ինտենսիվությունների կախվածությունը մուտքային հզորություններից:

ԷլԷկտրական եւ մագնիսական ԳԲՀ մոտակա դաշտերի չափման արդյունքները ցույց են տալիս միկրոշերտային հաղորդիչ գծի դաշտերի հայտնի պատկերները ընդհուպ մինչեւ 20 ԳՀց: Այս հաճախությունը սահմանափակված է եղել փորձերում օգտագործվող սարքով: Միկրոշերտային հաղորդիչ գծի

համակարգչային նմանակմամբ ստացված էլեկտրական եւ մագնիսական դաշտերի պատկերները համընկել են արտապատկերված նկարների հետ: Այսպիսով ներկայացվող օպտիկական ինդիկատորները թույլ են տալիս ընտրողաբար արտապատկերել էլեկտրական եւ մագնիսական դաշտի բաղադրիչները առանձին-առանձին: Այս չափումների համար ԳԲՀ դաշտի գնահատված զգայունությունը եղել է 0. 1-1 մՎտ:

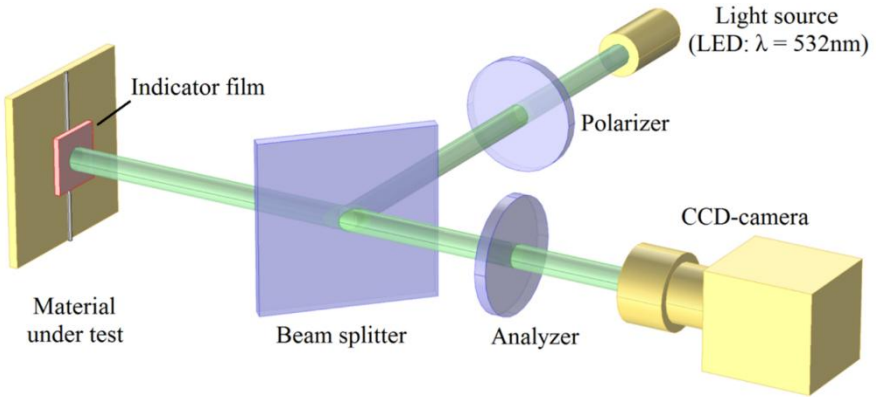
1. 8 ենթազվիտում քննարկված է ՋՍՕԻՄ-ով իրականացված հետազոտության օրինակ, որտեղ ուսումնասիրվում է USB2.0, USB3.0 եւ SSD հիշողության սարքերում պրոցեսորների եւ հիշողության բլոկների ջերմային վարքը կախված սարքերի բեռնման ֆայլերի փաթեթի չափից:

Երկրորդ գլխում քննարկված է էլեկտրասխեմայում հաստատուն հոսանքի մագնիսաօպտիկական արտապատկերում՝ մետաղ օրգանական տարալուծման մեթոդով պատրաստված բիսմութով փոխարինված իտրիում երկաթյա նռնաքարից ինդիկատորով:

2.1 ենթազվիտում գոյություն ունեցող մագնիսական գրանցիչների եւ արտապատկերման համակարգերի վերաբերյալ ներածական ակնարկ է: Այստեղ քննարկվում է նաեւ նախկինում մագնիսաօպտիկական (ՄՕ) եղանակով մագնիսական արտապատկերման դաշտի նվազագույն գրանցելի արժեքները:

2.2 ներկայացված է հաստատուն հոսանքի ստեղծած մագնիսական դաշտի արտապատկերման փորձարարական սխեման (նկ. 5): Փորձում՝ աղբյուրից, լույսը անցնում է բեւեռացուցիչի միջով, այնուհետեւ օգտագործելով կիսաթափանց հայելի այն ուղղորդվում է դեպի նմուշի դիմաց տեղադրված ՄՕ ինդիկատորը: Նմուշում հոսանքի առաջացրած մագնիսական դաշտի ազդեցությամբ գծային բեւեռացված լույսի բեւեռականությունը պտտվում է ֆարադեյի անկյամբ: Այնուհետեւ, լույսը ինդիկատորի հետին մետաղական շերտից

անդրադառնալով անցնելով վերլուծիչի միջով գրանցվում է CCD տեսախցիկով:



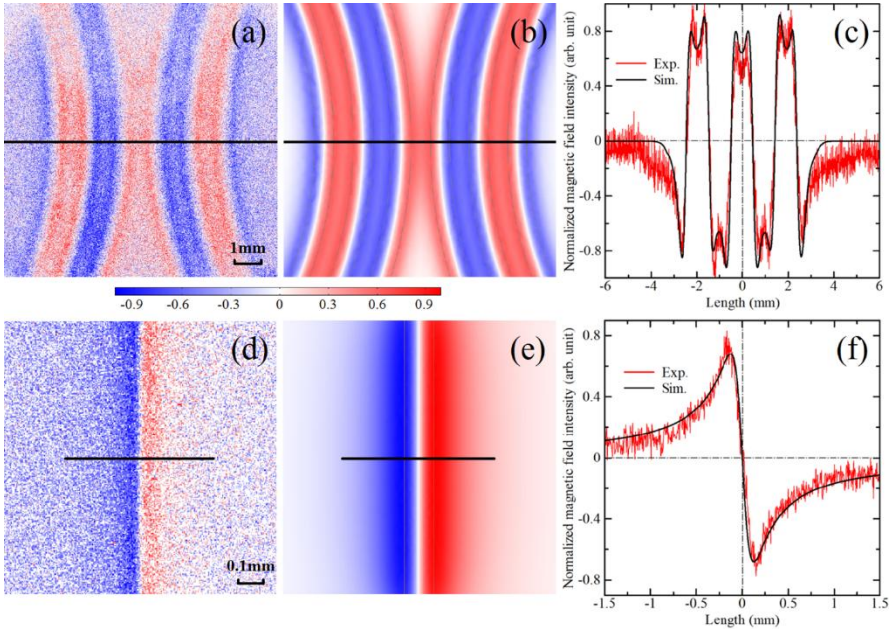
Նկ. 5 Մագնիսաօպտիկական արտապատկերման փորձարարական սխեման:

Փորձում արտապատկերումը կատարվել է նմուշում հոսանքի երկու ուղղություներին համար, այնուհետև այդ արտապատկերման արդյունքները հանվել են իրարից:

2.3 Ենթազվիտում ներկայացված է փորձի նկարագրության տեսությունը:

2.4 Ենթազվիտում քննարկված են արտապատկերման արդյունքները: Նկ. 6-ում (a)-ն ցույց է տալիս էլեկտրոսխեմայի նմուշի արտապատկերված նկարները, (b)-ն ցույց է տալիս նույն նմուշի համար մագնիսական դաշտի բաշխման COMSOL Multiphysics համակարգչային նմանակման արդյունքը, եւ (c)-ն ցույց է տալիս նշված գծի երկայնքով արտապատկերման եւ համակարգչային նմանակման արդյունքների համեմատությունը: Նկ. 6-ից կարելի է տեսնել, որ պատկերներում ինտենսիվության եւ մագնիսական դաշտերի բաշխումները ճշգրտորեն համապատասխանում են: Քանի որ ինդիկատորի մագնիսացման կախվածությունը մագնիսական դաշտից ունի հիստերեզիսային վարքագիծ, երկու հակադիր հոսանքների դեպքում մագնիսացման

տարբերությունը առնվազն երկու անգամ ավելի մեծ կլինի ֆոնային տարբերությամբ կարատվող արտապատկերման համեմատությամբ $(M(B)-M(-B)) > 2(M(B)-M(0))$: Սա նշանակում է, որ նույնիսկ կրկնակի քիչ միջինացման կադրերի քանակով ստացվող արտապատկերման նկարի ինտենսիվությունը ավելի մեծ կլինի քան ֆոնային մեթոդով արտապատկերման դեպքում:

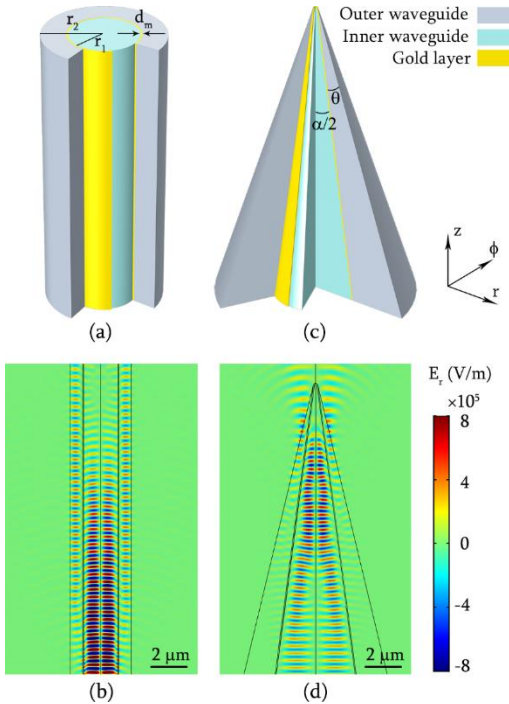


Նկ. 6 (a), (d) Մագնիսական դաշտերի բաշխման փորձարարական եւ (b), (e) համակարգչային նմանակման նկարները, (c), (f) համակարգչային նմանակման եւ փորձարարական արդյունքների համեմատությունը՝ նշված սեւ գծերի երկայնքով, համապատասխանաբար էլեկտրոսխեմայի նմուշի եւ առանձին հաղորդալարի համար:

Երրորդ գլխում ներկայացված է դիէլեկտրիկ-մետաղ-դիէլեկտրիկ կոնսկան համակարգում ներքին եւ արտաքին ալիքատարների միջեւ կապված մոդերի առաջացումը: Պարզվել է, որ էներգիայի արտամղումը ներքին ալիքատարից արտաքինին խիստ ընտրողունակ է հետազոտվող համակարգի բնութագրերի նկատմամբ:

3.1 պարագրաֆը նվիրված է օպտիկամետասնիկական համակարգերի ներածական ակնարկին:

3.2 ենթազվխում քննարկված է ներդրված գլանային ալիքատարներում հնարավոր կապի առաջացման պայմանները (նկ. 7), երբ արտաքին ալիքատարի չափերը փոփոխվում են:



Նկ. 7 Ներդրված գլանային եւ կոնական ալիքատարների համակարգեր: (a) եւ (c) գլանային եւ կոնական համակարգերի երկրաչափությունը, (b) եւ (d) համակարգչային նմանակման արդյունքները ներքին եւ արտաքին ալիքատարներում կապի առկայության դեպքում:

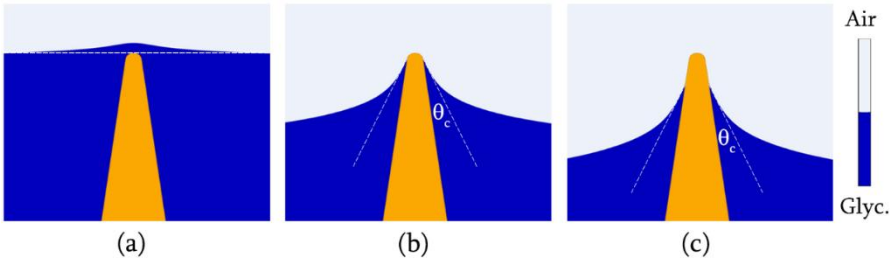
Եթե ներքին գլանային ալիքատարը փոխարինենք կոնական

գազաթիվ եւ իր առանցքի ուղղությամբ շարժվելով այն դանդաղորեն դուրս հանենք ալիքատարը թրջող հեղուկից, ապա գազաթիվրա ձեւավորվող հեղուկի մենիսկը կծառայի իբրեւ փոփոխական հաստությամբ արտաքին ալիքատար, եւ այդ հաստության որոշակի արժեքների դեպքում կոնական գազաթից կդիտվեն լույսի առկայ ծումներ:

3.3 ենթազվխում ներկայացված է փորձի նկարագրությունը: Կանաչ լույսի (530 նմ ալիքի երկարությամբ) 100 մՎտ կիսահաղորդչային լազերի փուլնջը հավաքող ոսպնյակի միջոցով ուղղորդվում է դեպի 50 մկմ տրամագծով բազմամող

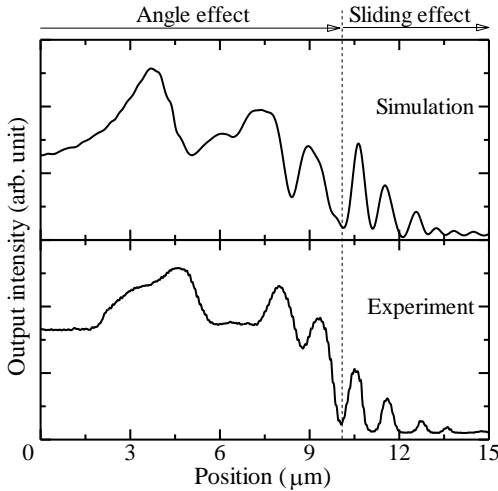
օպտիկական մանրաթել: Մանրաթելը պատված է եղել 50 նմ հաստությամբ ոսկու շերտով, իսկ որպես հեղուկ օգտագործվել է գլիցերին:

3.4 ենթագլխում քննարկված է կոնական գազաթի հեղուկից դուրս գալու հիդրոմեխանիկական երեւոյթների համակարգչային մոդելը (Նկ. 8): Պարզվել է, որ մենիսկի ձեւավորումը կարելի է մոտարկել երկու իրար հաջորդող պրոցեսներով՝ հեղուկի անկյան սեղմմամբ եւ հաստատուն անկյամբ հեղուկի սահքով, իսկ մենիսկի տեսքը կոնական գազաթին մոտտիրույթում կարելի է մոտարկել գծաթեյալով:



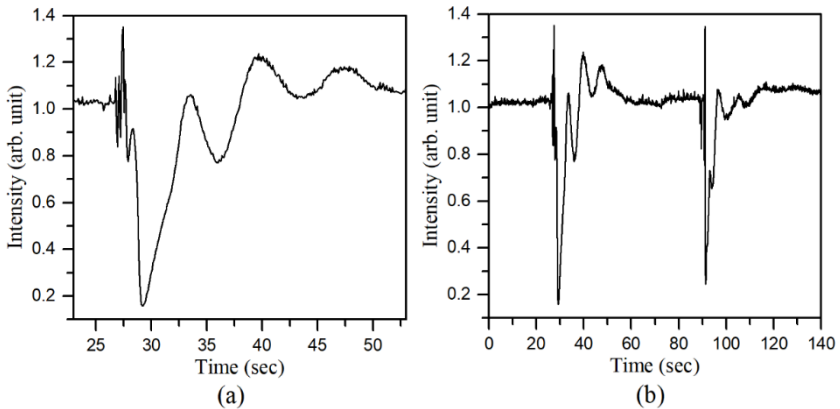
Նկ.8 Մենիսկի ձեւավորման ընթացքը: (a) սկիզբը, (b) մենիսկի սեղմվելը մինչեւ կոնտակտային անկյուն եւ (c) հեղուկի սահելը կոնական գլանի վրայով:

Այդ սեղմմանը եւ սահքին համապատասխան ներքի եւ արտաքին ալիքատարների միջեւ հաստատվում է կապ եւ լուսային էներգիան ներքին ալիքատարից անցնում է արտաքինին: Ալիքատարների միջեւ կապը հետազոտվել է համակարգչային նմանակման մոդելով: Նկ.9-ում ցույց է տրված հեղուկից դուրս եկող մանրաթելից գրանցված լույսի ինտենսիվության կախումը հեղուկի եւ մանրաթելի գազաթի հարաբերական դիրքից: Կարելի է տեսնել փորձի եւ համակարգչային նմանակման արդյունքների բավականին լավ համընկնում, ինչը թույլ է տալիս եզրակացնել, որ մենիսկի ձեւավորման առաջարկված մոտարկման մոդելը լավագույնս նկարագրում է վերը նշված հիդրոդինամիկական պրոցեսը:



Նկ. 9 Փորձնական եւ համակարգչային մոդելավորմամբ ստացվող արդյունքները: Հեղուկից դուրս եկող կոնական գազաթից գրանցվող լույսի ինտենսիվության կախումը գազաթի եւ հեղուկի միջեւ հարաբերական հեռավորության հից:

3. 5 ենթազվ խում ներկայացվում է ներքին պիքատարից դեպի արտաքին՝ լույսի ընտրողունակ առկայ ծումների մեկ այլ օրինակ:



Նկ. 10 Լույսի առկայ ծումների ժամանակային կախումը՝ 0.2 մլ ջրի կաթիլը տարա ավելացնելիս: (a) ինտենսիվության դիտարկումը ջրի կաթիլը ավելացնելուց միջեւ գրանցվող ինտենսիվության հագեցումը եւ (b) իրար հաջորդող երկու կաթիլների համար գրանցված ինտենսիվության ռնը:

Ինչպես վերը քննարկված դեպքում, այստեղ եւս հեղուկում ընկղմված կոնական գազաթից լույսի ինտենսիվության առկայ ծումներ կգրանցվեն (նկ. 10), եթե այդ հեղուկի

դիելեկտրիկական հատկությունները փոխվեն այնպիսի տիրույթում, որ արտաքին միջավայրում լույսի ալիքային վեկտորը համընկնի կոնական ալիքատարում տարածվող լույսի ալիքային վեկտորի հետ: Փորձնականորեն այդպիսի իրավիճակ ստացվել է, երբ դիմեթիլ սուլֆօքսիդի (ԴՄՍՕ) մեջ ավելացվել են ջրի կաթիլներ:

ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵՃՐԱԿԱՑՈՒ ԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Առաջարկված ջերմաստճական օպտիկական ինդիկատորով համակարգը մեծ զգայունությամբ տարածական լուծունակությամբ եւ արձագանքի տեւողությամբ արտապատկերում է նանոմետրական թաղանթում ջերմային եւ էլեկտրամագնիսական դաշտերի բաշխվածությունները:
2. Հանախությունների լայն տիրույթում ջերմաստճական օպտիկական ինդիկատորի կողմից էլեկտրամագնիսական ալիքների կլանման հնարավորությունը ապահովում է դաշտերի բաշխվածության արտապատկերում իրականացնել նաեւ ՏՀց դժվարամաչելի տիրույթում:
3. Հոսանքակիր հաղորդիչների ստեղծած մագնիսական դաշտերի արտապատկերման զգայունությունը էապես կարելի է մեծացնել օգտագործվող բեւեռացուցիչների վերակողմնորոշման փոխարեն դաշտի ուղղության փոփոխմամբ:
4. Նանոմետրական ամպլիտուդով տատանումների գրանցումն ապահովող, հեղուկից ելնող օպտիկական մանրաթելի կոնաճեւ, մետաղապատ գազաթից լույսի առկայծումները, պայմանավորված են ձեւավորվող մենիսկի լայնական չափերի փոփոխության եւ սահքի հետեւանքով ալիքատարային ռեժիմների հաստատմամբ:
5. Ամբողջությամբ հեղուկում ընկղմված կոնաճեւ մետաղապատ օպտիկական մանրաթելի գազաթից հնարավոր է լուսային

ազդանշանի առկայ ծու մ` նրա մերձակայ քու մ միջավայրի օպտիկական հատկություններին փոփոխման հետեւանքով:

Ջղված գրականություն

1. Böhi, P. et al. Imaging of microwave fields using ultracold atoms. Appl. Phys. Lett. 97, 051101 (2010).
2. Endo, Y. et al. Measurement of magnetic near field on a coplanar waveguide using a MFM tip. J. Appl. Phys. 109, 07D326 (2011).
3. Vlaminck, V. et al. Mapping microwave field distributions via the spin Hall effect. Appl. Phys. Lett. 101, 252406 (2012).
4. Wakana, S. et al. Fiber-edge electrooptic/magneto optic probe for spectral-domain analysis of electromagnetic field. IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 48, 2611 (2000).
5. Takahashi, M. et al. Electromagnetic near field measurements by using magnet garnet crystal. J. Appl. Phys. 107, 09E711 (2010).
6. S. Gigan, H. R. Böhm, M. Paternostro, F. Blaser, G. Langer, J. B. Hertzberg, K. C. Schwab, D. Bäuerle, M. Aspelmeyer, and A. Zeilinger, Self-cooling of a micromirror by radiation pressure, Nature 444, 67–70 (2006).
7. O. Arcizet, P. F. Cohadon, T. Briant, M. Pinard, and A. Heidmann, Radiation-pressure cooling and optomechanical instability of a micromirror, Nature 444, 71–74 (2006).
8. D. Kleckner and D. Bouwmeester, Sub-Kelvin optical cooling of a micromechanical resonator, Nature 444, 75–78 (2006).
9. T. Abrahamyan, E. Janunts, and K. Nerkararyan, Detecting nanometric vibrations of a liquid surface by a metal-coated fiber tip, Appl. Opt., vol. 45, no. 32, p. 8194, Nov. 2006.
10. T. Abrahamyan and K. Nerkararyan, Surface plasmon resonance on vicinity of gold-coated fiber tip, Phys. Lett. A, vol. 364, no. 6, pp. 494–496, May 2007.

Ջրատարակված աշխատանքների ցուցակը

1. S. Arakelyan, Investigation of Localized Electromagnetic Field in A Subwavelength Metallic Slit, Proc. of the YSU Phys. Math. Sciences, 51 (2017), pp. 271-276.
2. S. Arakelyan, H. Lee, Y. Jeong, A. Babajanyan, B. Friedman, K. Lee, Direct imaging of the SSD and USB memory drives heating by thermo-elastic optical indicator microscopy, Case Stud. Therm. Eng. 10 (2017) 407–412.
3. S. Arakelyan, H. Lee, D.-S. Han, A. Babajanyan, G. Berthiau, B. Friedman, K. Lee, Microwave Heating Visualization for Carbon Fibers Composite Material: Development of Tunable Microstrip Structures, IEEE Trans. Microw. Theory Tech. (2017) 1–6.
4. Y. JEONG, H. JANG, H. HAN, S. JEON, S. ARAKELYAN, H. LEE, K. LEE, D. OH, D. CHA, Enhancement of Charge Injection in an Organic Thin-Film Transistor with a Metal-Oxide Multilayer Electrode, New Phys. Sae Mulli. 67 (2017) 24–29.
5. A. Babajanyan, S. Kim, J. Kim, Sh. Arakelyan, K. Lee, J.-H. Lee, B. Friedman, Noninvasive in vitro monitoring of HbA1C with a microwave biosensor, Conf. on. AMCSE 2017, Athens, Greece, pp. amcse-151.
6. T. Abrahamyan, Sh. Arakelyan, A. Babajanyan, Kh. Nerkararyan, Detection of nanometric vibrations by using opto-mechanical sensor, Conf. on. AMCSE 2017, Athens, Greece, pp. amcse-152.
7. K. Lee, S. Kim, J. Kim, B. Friedman, A. Babajanyan, Sh. Arakelyan, H. Parsamyan, Microwave Characterization of Complex Dielectric Permittivity Dependence on Glucose Concentration in Blood Serum and Aqueous Solution, Proc. of Conf. on. MARM 2017, Yerevan, Armenia, pp. 152-155.
8. S. Arakelyan, O. Galstyan, H. Lee, A. Babajanyan, J.-H. Lee, B. Friedman, K. Lee, Direct current imaging using a magneto-optical sensor, Sensors Actuators A Phys. 238 (2016) 397–401.
9. Y. LEE, S. JEON, S. ARAKELYAN, Y. JEONG, H. JANG, H. HAN, Y. KIM, H. LEE, K. LEE, D. CHA, Pentacene Organic Thin-film Transistors with Post-annealing Treatments, New Phys. Sae Mulli. 66 (2016) 127–132.
10. S. JEON, S. ARAKELYAN, Y. LEE, Y. KIM, H. HAN, H. JANG, Y. JEONG, H. LEE, K. LEE, D. CHA, Visualization of the Magnetic Field Distribution for a Direct

Current by Using the Magneto-optical Effect, *New Phys. Sae Mulli.* 66 (2016) 231–234.

11. S. Arakelyan, T. Abrahamyan, A. Babajanyan, K. Nerkararyan, Characteristics of light transfer in the connected conical waveguides with the same symmetry axis, *Appl. Opt.* 55 (2016) 3854–3857.
12. S. JEON, H. LEE, S. ARAKELYAN, H. JANG, Y. JEONG, H. HAN, K. LEE, J. KIM, D. OH, D. CHA, Miniaturized Microwave Filter Design Using a Metamaterial, *New Phys. Sae Mulli.* 66 (2016) 1397–1401.
13. H. Lee, S. Arakelyan, B. Friedman, K. Lee, Temperature and microwave near field imaging by thermo-elastic optical indicator microscopy, *Sci. Rep.* 6 (2016) 39696.
14. A. S. Nikoghosyan, Sh. Kh. Arakelyan, Terahertz waves propagation in a LiNbO₃ wedge antenna, *Proc. of the International Conference IRPhE' 2016*
15. Sh. Araqelyan, T. Abrahamyan, A. Babajanyan, Kh. Nerkararyan, Sh. Margaryan, Sensing of the Sub-Surface Ordered Molecular Layers at Liquid-Metal Interface by the Coupled Waveguide Optical Modes, *ICTP smr2633: OPTICS 2014, Ashtarak, Armenia*, p. 149.

НАНОПЛЕНКИ В СИСТЕМАХ РЕГИСТРАЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ

АННОТАЦИЯ

Здесь мы сообщаем о разработке новой термоупругой оптической индикаторной микроскопии (ТУОИМ) для высокоточной визуализации тепловых и микроволновых полей. Принцип измерения ТУОИМ основан на реконструкции распределения источника тепла с помощью анализа распределения тепловых напряжений оптического индикатора (ОИ). В зависимости от конфигурации эксперимента и свойства материала ОИ, визуализация может описывать распределение тепла поверхности образца за счет передачи тепла при непосредственном контакте (за счет теплопроводности) или за счет генерируемого тепла при взаимодействии ОИ с электрическим или магнитным ближними полями. Преимущество предлагаемого ТУОИМ заключается в использовании обычных устройств и

материалов. Простота измерений и общность принципа визуализации различных процессов являются весьма привлекательными по отношению других методов. В диссертации приведены характеристики ТУОИМ, такие как пространственное разрешение, время отклика, широкополосность и чувствительность.

Реализована визуализация магнитного поля проводников постоянного тока с помощью магнитооптического эффекта Фарадея. В качестве индикатора использовался висмут замещенный иттриевый гранат Bi:YIG. Минимальное детектируемое значение магнитного поля датчика оценивалась примерно 0.2 Г. Чтобы улучшить контрастность визуализированного изображения, при обработке инвертировалось постоянный ток без изменения оптической ориентации между анализатором и поляризатором. Измеренное распределение магнитного поля в электросхеме совпало с результатами моделирования COMSOL Multiphysics.

Распространение света в коническом волокне с диэлектрик-металл-диэлектрик покрытием описывается связанными модами между внутренним и внешним волноводами. Перекачка энергии из внутреннего во внешний волновод имеет резонансный характер и очень чувствительна к изменениям параметров системы. Результатом этой упрощенной реализации является световая вспышка на конце конического наконечника оптического волокна с металлическим покрытием, который пересекает границу жидкость-воздух. Здесь в качестве внешнего волновода служит мениск жидкости, сформированный на кончике оптического волокна. В этом состоянии сдвиг (колебания) поверхности жидкости на 50 нм приводит к значительному изменению мощности передаваемого излучения. Возможность регистрации наноперемещений поверхности жидкости открывает новые перспективы для создания чувствительных датчиков.

Основные результаты работы:

1. Представленная система, которая использует термоупругие индикаторы, визуализирует распределение тепловых и электромагнитных полей в нанометровых тонких пленках с высокой чувствительностью, высоким пространственным разрешением и быстрым временем отклика.

2. Способность термоэластичных тонких пленок поглощать электромагнитные поля на большом диапазоне частот дает возможность визуализировать электромагнитные поля в труднодоступной области ТГц.
3. Чувствительность визуализации магнитных полей, создаваемых токопроводящими проводниками, может быть значительно увеличена путем изменения направления полей, вместо переориентации поляризаторов.
4. Вспышки светового излучения от конического покрытого слоем металла оптического волокна, на кончике которого образуется мениск жидкости, вызваны двумя эффектами: сгибом и скольжением мениска. Эти изменения геометрии приводят к связи между внутренними и внешними волноводами.
5. Полностью погруженное в жидкость коническое оптическое волокно с металлическим покрытием может передавать световые вспышки, если оптические свойства окружности области волокна изменятся.

NANOLAYERS IN SENSING AND IMAGING SYSTEMS

ANNOTATION

Here we report a new optical indicator method, thermo-elastic optical indicator microscopy (TEOIM), for the high-resolution imaging of the thermal and microwave near field distribution. The measurement principle of TEOIM is based on a reconstruction of the heat source distribution of the optical indicator (OI) from its thermal stress distribution obtained by photoelastic measurement. Depending on the experimental configuration and material property of the OI, the visualized heat source distribution can describe a transferred heat from the device under test (DUT) by a direct heat conduction process, a generated heat by an absorption of the infrared light radiated from the DUT, and a generated heat by an interaction between the OI-material and the electric or the magnetic near-field. The advantages of TEOIM are that it requires conventional device and material. The simplicity of the measurement system and the generality of the measurement principle are attractive features for the implementation of a practical measurement system resolving problems of previous methods. Here we discuss the measurement performance of TEOIM such as spatial resolution, response time, bandwidth, and sensitivity.

Magneto-optical (MO) imaging was implemented for the visualization of direct currents (DC) of patterned current wires using bismuth substituted yttrium iron garnet (Bi:YIG) sensor films prepared by the metalorganic decomposition (MOD) method. The minimum detectable magnetic field range of the MO sensor was calculated to be about 0.2 G. To enhance the contrast of DC images, in the image processing we have inverted the DC without changing the optical orientation between the analyzer and polarizer of the MO system. The measured magnetic field distributions of patterned current wires induced by a DC were in good agreement with results of COMSOL Multiphysics simulations.

The propagation of the light through the dielectric-metal-dielectric conical waveguide is described by the coupling modes between internal and external waveguides. The energy pumping from internal to the external waveguide has a resonant behavior and is very sensitive to the variations of the system parameters.

The simplified model of this process realization is the light flash at the end of the conical metal covered tip of the optical fiber that crosses the liquid–air interface. Here, as an external waveguide serves the liquid meniscus formed at the tip of the optical fiber. In this condition, the shift of liquid surface by 50 nm toward the tip end brings significant changes in the transferred radiation power. Ability to register nanometric displacements (nanovibrations) of the liquid surface opens up new ways to create sensitive sensors for different purposes.

The following main results were obtained in the thesis:

1. Presented system which utilizes thermo-elastic indicators visualizes thermal and electromagnetic fields distributions in nanometric thin films with high sensitivity, high spatial resolution and fast response time.
2. The ability of thermo elastic thin films to absorb electromagnetic fields over a large range of frequencies provides the possibility to visualize electromagnetic fields in hard-to-reach THz region.
3. The sensitivity of visualization of magnetic fields generated by current carrying conductors can be significantly increased by changing of direction of fields rather than by reorientation of polarizers.
4. The light flashes from the conical metal covered optical fiber in the head of which the liquid meniscus is formed are caused by two effects: meniscus angle shrinking and meniscus sliding. This geometry variations lead to a coupling between inner and outer waveguides.
5. Fully immersed metal covered conical optical fiber in a liquid may transmit light flashes if the optical properties of the fiber tip surrounding area change.

