

Експериментальне вивчення спектральних характеристик відкритих резонансних систем для радіоспектроскопії

1. Експериментальне вивчення спектральних, польових, енергетичних і поляризаційних характеристик відкритих резонансних систем

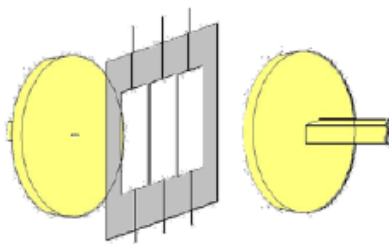
Відповідальні: Деркач В. М. (к.ф.-м.н.), Головащенко Р. В. (к.ф.-м.н.), Плевако О. С.

Результати досліджень

1.1. Відкриті резонатори

На основі вивчення властивостей відкритих дводзеркальних резонаторів (ВР) розроблено та створено:

- резонансні комірки для радіоспектрометрів і систем накачування поляризованих ядерних мішеней;
- диференціальний метод вимірювання параметрів рідких діелектриків.



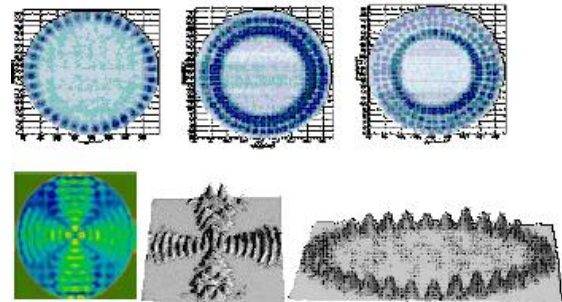
$$\epsilon' \approx \epsilon_k + \frac{3\sqrt{\pi}\Delta L}{h\xi e^{(-\xi^2)}(1+2\xi^2)}$$
$$\operatorname{tg} \delta \approx \operatorname{tg} \delta_k \left[1 + \frac{(\Delta L - \Delta l)3\sqrt{\pi}}{h\xi e^{(-\xi^2)}(1+2\xi^2)\epsilon'_k - \Delta L} \right]$$



1.2. Відкриті діжкоподібні резонатори

На основі вивчення властивостей відкритих діжкоподібних резонаторів (ВДР) розроблено та створено:

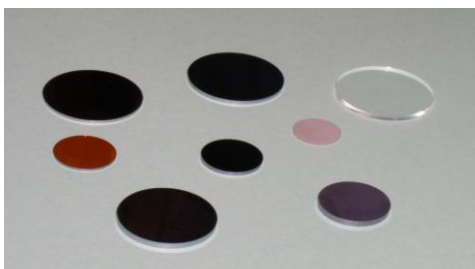
- багатоканальні резонансні комірки для діагностики плазмово-пучкових систем;
- вологоміри паперової стрічки, газоподібних і сипучих середовищ.



1.3. Відкриті дискові діелектричні резонатори на модах шепочучої галереї

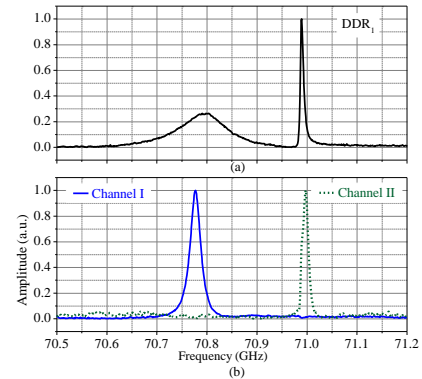
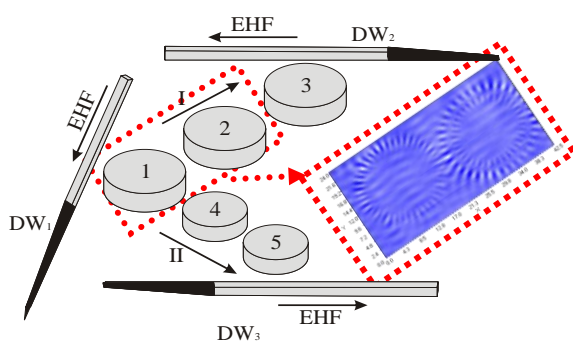
Експериментально досліджено основні властивості багатомодових дискових діелектричних резонаторів (ДДР), що працюють на модах шепочучої галереї (МШГ). На їх основі розроблено резонансні комірки для низькотемпературного радіоспектрометра та кювети для діелектричних вимірювань.

З радіопрозорих матеріалів (кварц, лейкосапфір, CVD діамант та ін.) виготовлено з оптичною точністю дискові діелектричні резонатори (ДДР) на модах шепочучої галереї (МШГ) і досліджено їх спектральні, польові та енергетичні характеристики. Результати використано для рішення практичних завдань.



1.4. Зв'язані дискові діелектричні резонатори. Керовані структури на основі зв'язаних ДДР

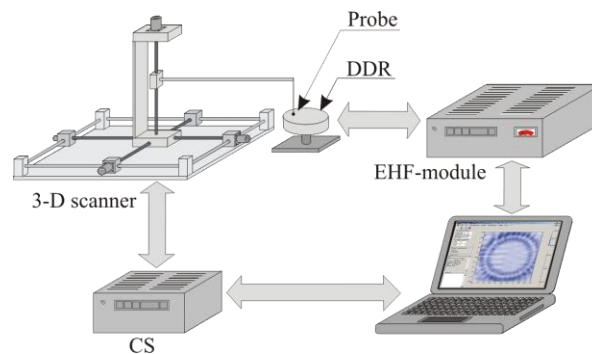
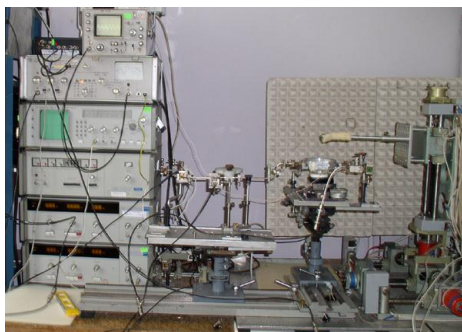
Показано можливість створення керованих структур на основі зв'язаних дискових діелектричних резонаторів (ДДР) у міліметровому діапазоні хвиль. Продемонстровано роботу двоканального селективного розгалужувача.



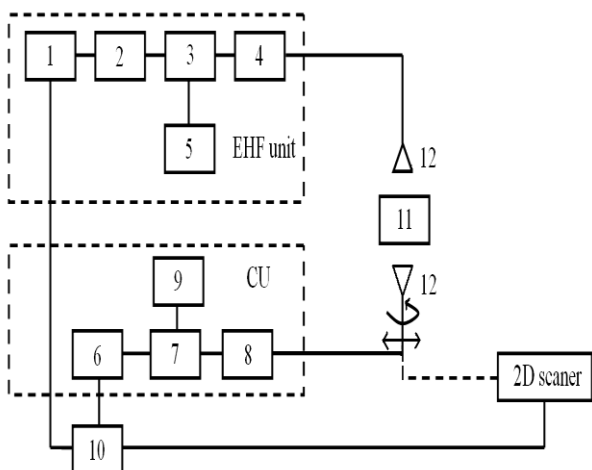
Експериментальне устаткування

Комп'ютеризовані експериментальні стенди для дослідження характеристик ВР і полів дифракції у міліметровому діапазоні довжин хвиль.

- Комп'ютеризований стенд: 3-х координатний скануючий пристрій дозволяє переміщувати пасивний (активний) зонд в об'ємі $250 \times 250 \times 250 \text{ мм}^3$ з мінімальним кроком $0,1 \text{ мм}$ і максимальною швидкістю 5 мм/сек по довільній траєкторії, що задається програмно. Використовується для вимірювання спектральних польових, енергетичних характеристик ВР у гігагерцевому діапазоні частот.



- Комп'ютеризований стенд для вимірювання просторових характеристик полів розсіювання хвиль міліметрового діапазону на фрактальних і плоско-кіральних резонансних структурах у вільному просторі.



На основі ДДР розроблено резонансні комірки для криогенного радіоспектрометра "ТОРНАДО", наднизькотемпературного радіоспектрометра квантових рідин і кювети для вимірювання параметрів рідких діелектриків.

Докладний виклад результатів представлено у публікаціях:

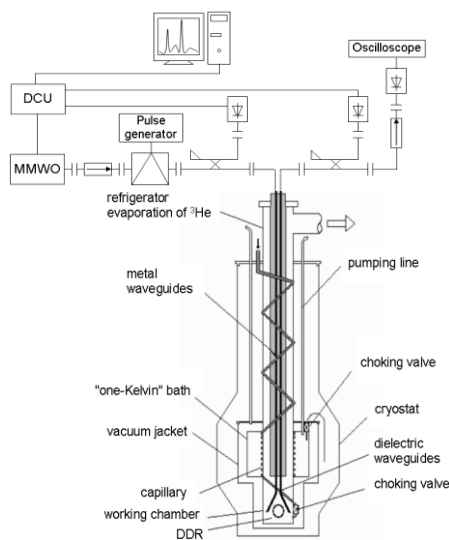
1. V.N. Derkach., O.Ye. Marykivsky Development of microwave moisture meter for free-flowing materials. Telecommunications and Radio Engineering, vol. 51, no. 6-7, 1997, pp. 167-170
DOI: <http://dx.doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v51.i6-7.270>
2. V.N. Derkach. Periscopic pumping systems for polarized proton target. Proceedings of the International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications. (ICEAA'99). Sept. 13-17 1999, Torino, Italy, p. 497-500
3. V.N. Derkach, R.V. Golovashchenko, A.S. Plevako. Investigation of field distribution in open resonators using three-coordinate scanner 2002. 12th International Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2002). Conference Proceedings. September 9-13, 2002. Sevastopol, Crimea, Ukraine. ISBN: 966-7968-12-X. IEEE Catalog Number: 02EX570. - Sevastopol: "Weber", 2002, pp. 548-549.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CRMICO.2002.1137350>
4. V. N. Derkach, R. V. Golovashchenko, Ye. V. Goroshko. Coupled disk dielectric resonators with whispering gallery modes in the millimeter-wave band. Telecommunications and Radio Engineering, 2010, Vol. 69, No. 6, pp. 481-488. DOI: <http://dx.doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v69.i6.20>
5. V. N. Derkach, R. V. Golovashchenko, E. V. Goroshko, V. G. Korzh. Millimeter waves controlled elements on the basis of disk dielectric resonators. Proceedings of the 18th International Conference on Microwave Radar and Wireless Communications (MIKON'2010), Vilnius, Lithuania, 14-16 June 2010, pp. 384-387.
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5540627>
6. V. N. Derkach R.V.Golovashchenko, O.V. Goroshko, V.G. Korzh, S.V.Nedukh, O.S.Plevako, S.I.Tarapov. Application of Whispering Gallery Resonators for Cryogenic Measurements of Low Loss Dielectrics at Millimeter Waves. Proceedings of the 10th International Symposium on Microwave and Optical Technology, ISMOT-2005, Fukuoka Institute of Technology, Fukuoka, Japan, August 22-25, 2005, pp. 700-703.
7. R.V. Golovashchenko, O.V. Goroshko, A.V.Varavin, A.S. Plevako, V.N. Derkach Hardware and software complex for mm-wave spectroscopic research. 16th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2006), September 11-15, 2006,

2. Діелектрометрія слабопоглинаючих напівпровідникових і діелектричних матеріалів у діапазоні температур $0,5 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$

Відповідальні: Деркач В.М. (к.ф.-м.н.), Головащенко Р.В. (к.ф.-м.н.), Тарапов С.І. (чл.-кор. НАНУ), Недух С.В. (к.ф.-м.н.), Острижний Є.М.

Методика та устаткування

Кріогенний комплекс для радіоспектроскопічних вимірювань – кріодіелектрометр "ТОРНАДО" – призначений для проведення низькотемпературних вимірювань діелектричних параметрів матеріалів з малими втратами у міліметровому діапазоні довжин хвиль і інтервалі температур $0,5 - 300 \text{ K}$. Кріодіелектрометр функціонально є складовим елементом наукового об'єкта "Національне надбання України"
<http://www.ire.kharkov.ua/Radiospectroscopy/1.htm>



Параметри кріогенного радіоспектрометра:

- діапазон частот - $60 \text{ ГГц} - 150 \text{ ГГц}$;
- метод вимірювання - резонаторний (дисковий діелектричний резонатор (ДДР) на модах шепочучої галереї (МШГ));
- інтервал температур – $0,8 \text{ K} - 300 \text{ K}$ (^4He), $0,5 - 300 \text{ K}$ (^3He);
- система охолодження - "Top-loading" рефрижератор із циркуляцією ^4He або ^3He ;
- об'єм робочої камери 50 cm^3 .

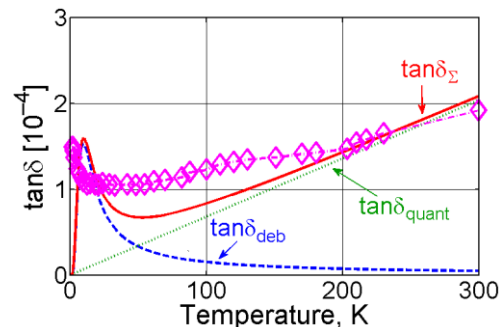
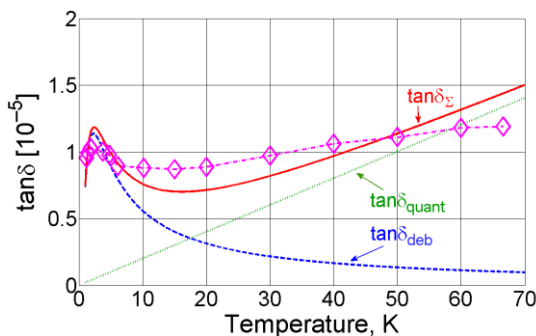


Модулі радіоспектрометра: вимірювальні та калібрувальні

Основні результати

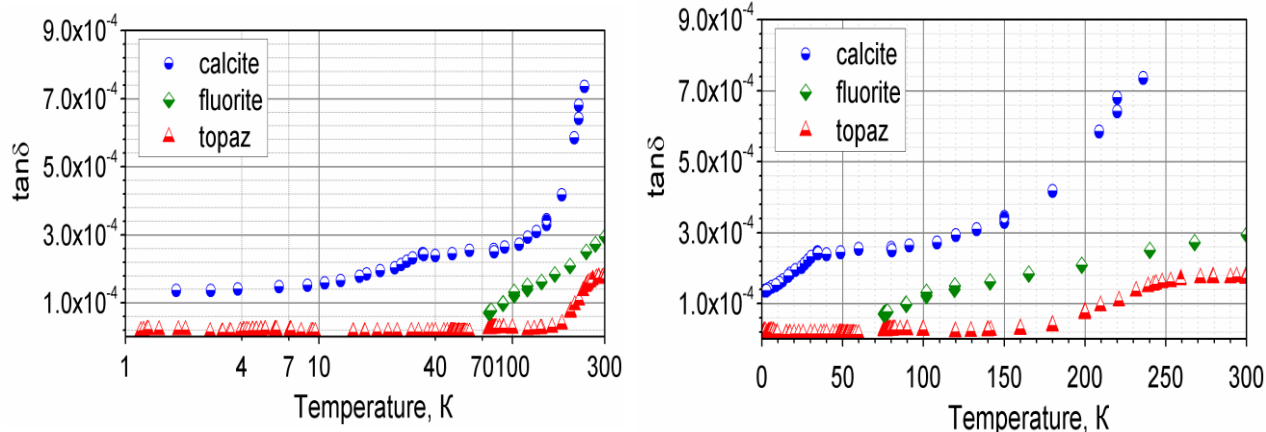
2.1. У широкому діапазоні частот (60 – 150 ГГц) і температур (0,5 – 300 К) вперше вимірено електрофізичні параметри таких алмазоподібних матеріалів як: напівпровідники: Si, Ge, Ga, In, GaAs; інші алмазоподібні матеріали.

На підставі отриманих експериментальних даних проведено аналіз механізмів діелектричних втрат для деяких алмазоподібних структур та виділено внесок основних механізмів втрат у НВЧ діапазоні. На наведених графіках показано аппроксимаційні залежності ($\tan \delta_{\Sigma}$), що описують експериментально зареєстровані втрати (крапки-ромби), обумовлені багатоквантовим механізмом власних втрат ($\tan \delta_{\text{quant}}$) і дебаєвським механізмом невласних втрат ($\tan \delta_{\text{deb}}$) для зразків InP і CVD алмаза.



Залежність тангенса кута втрат InP на частоті $f = 78$ ГГц (а) та CVD-алмаза ІЗФ РАН на частоті $f = 112$ ГГц (б) від температури

2.2. З використанням методу дискового діелектричного резонатора на модах шепочучої галереї вимірено температурні залежності тангенса кута втрат низки природних радіопрозорих матеріалів (топаз, агат, хризопраз, жадеїт, родоніт, кальцит, флюорит, сердолик, халцедон та ін.) Як видно з рисунка, для деяких мінералів дані залежності мають немонотонний характер, що, ймовірно, обумовлено конкуренцією механізмів втрат енергії, характерної для композитних діелектриків зі складною структурою. Продемонстровано унікальність характеристик топаза, пов'язана з малим рівнем втрат, що наближається за величиною до втрат у штучних кристалічних матеріалах.



Температурні залежності тангенса кута втрат для деяких природних мінералів з малими втратами (експеримент)

2.3. Розроблені дискові діелектричні резонатори і методика вимірювання за їх допомоги поглинання електромагнітного поля у середовищі, що оточує ДДР, дозволили продемонструвати взаємодію електромагнітного поля з елементарними збудженнями у надтекучому гелії [5,6].

Докладний виклад результатів представлено у публікаціях:

1. V. N. Derkach, Yu. F. Filippov, A. S. Plevako, Yu. V. Prokopenko, T. A. Smirnova, "Determination of microwave parameters of isotropic mediums by using an open quasi-optical spherical resonator", International Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2004, Vol. 25, Issue 1, pp 139–148. doi: <http://dx.doi.org/10.1023/B:IJIM.0000012769.99375.b6>
2. V. N. Derkach, R. V. Golovashchenko, S.V. Nedukh, O. S.Plevako, S. I. Tarapov, "Using of the millimeter wave dielectrometer for study of liquid helium dynamic characteristics", 15th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2005), September 12–16, 2005, Sevastopol, Crimea, Ukraine, Conference Proceedings, Sevastopol, Weber Publishing Co., 2005, pp. 836–837. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/CRMICO.2005.1565162>
3. B.M. Garin, V.I. Polyakov, A.I. Rukovishnikov, L.A. Avdeeva, V.N. Derkach, V.V. Parshin, V.G. Ralchenko, "Dielectric loss and energy distribution of the shallow levels in CVD diamonds", Diamond & Related Materials, 2006, Vol. 15, No. 11–12, pp. 1917–1920. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.diamond.2006.08.023>
4. V.N. Derkach, T.V. Bagmut, R.V. Golovashchenko, V.G. Korzh, , S.V. Nedukh, S. I. Tarapov, "A circular-disk dielectric resonator for low-temperature magnetic resonance measurements at millimeter and sub-millimeter wavelengths", Telecommunications and Radio Engineering, 2008, Vol. 67, No. 14, pp. 1239–1245. doi: <http://dx.doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v67.i14.20>
5. A. Rybalko, S. Rubets, E. Rudavskii, V. Tikhii, S. Tarapov, R. Golovashchenko, V. Derkach, "Resonance absorption of microwaves in He II: Evidence for roton emission", Physical Review B, 2007, V. 76, No. 14, paper 140503, 4 pages. doi: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevB.76.140503>
6. A. S. Rybalko, S. P. Rubets, É. Ya. Rudavskii, V. A. Tikhii, R. Golovashchenko, V. N. Derkach and S. I. Tarapov, Interaction of microwaves with superfluid flow in HeII, Low Temperature Physics. – V. 34, N. 4–5. – 2008. – P. 254–261. doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.2911649>
7. A. S. Rybalko, S. P. Rubets, É. Ya. Rudavskii, V. A. Tikhii, R. Golovashchenko, V. N. Derkach, S. I. Tarapov, "Interaction of microwaves with superfluid flow in HeII", Low

Temperature Physics, 2008, Vol. 34, No. 4–5, pp. 254–261. doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.2911649>

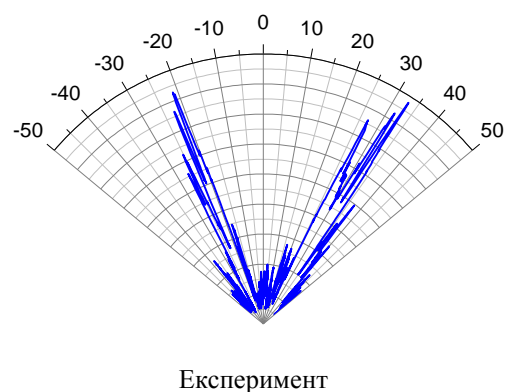
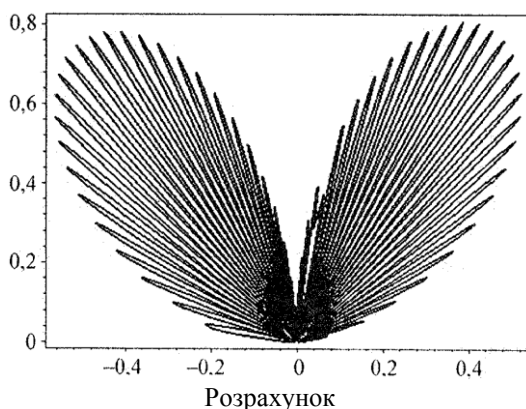
8. A. Rybalko, E. Rudavskii, S. Rubets, V. Tikhii, V. Derkach, S. Tarapov, “Resonance microwave absorption in He II”, Journal of Low Temperature Physics, 2008, Vol. 150, No. 3–4, , pp. 160–167. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10909-007-9529-0>
9. A. S. Rybalko, S. P. Rubets, É. Ya. Rudavskii, V. A. Tikhii, S. I. Tarapov, R. V. Golovashchenko, V. N. Derkach, “Microwave experiments in He II. New features of undamped superfluid flows”, Low Temperature Physics, 2008, Vol. 34, No. 7, pp. 497–502. doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.2957000>
10. A. S. Rybalko, S. P. Rubets, E. Ya. Rudavskii, V. A. Tikhii, Yu. M. Poluectov, R. V. Golovashchenko, V. N. Derkach, S. I. Tarapov, O. V. Usatenko, “Resonance excitation of single rotons in He II by an electromagnetic wave. Spectral line shape”, Low Temperature Physics, 2009, Vol. 35, No. 11, pp. 837–842. doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.3266909>
11. A. Rybalko, S. Rubets, E. Rudavskii, V. Tikhii, Y. Poluectov, V. Derkach, R. Golovashchenko, S. Tarapov, O. Usatenko, “Microwave spectroscopy of condensed helium at the roton frequency”, Journal of Low Temperature Physics, 2010, Vol. 158, No. 1–2, pp. 244–249. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10909-009-0025-6>
12. V. N. Derkach, R. V. Golovashchenko, A. S. Plevako, “Disk resonators for investigation of low-loss media characteristics in the millimeter waveband”, 23rd Int. Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2013), September 8–14, 2013, Sevastopol, Crimea, Ukraine, Conference Proceedings, 2013, pp. 992–993.
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6653160&isnumber=6652585>

3. Експериментальне вивчення спектральних характеристик полів дифракції на фрактальних і резонансних структурах

Відповідальні: Деркач В. М. (к.ф.-м.н.), Салогуб О. М., Острижний Є. М.

Результати досліджень

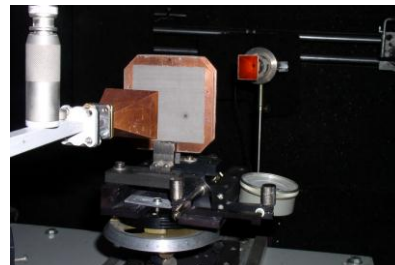
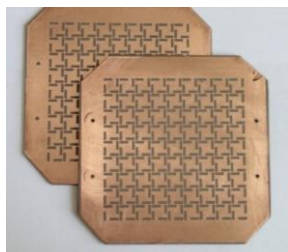
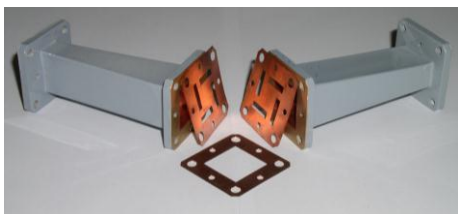
3.1. Проведено теоретичний розрахунок параметрів дофрактальних структур на основі математичної теорії самоподібних фракталів з використанням методу інтегральних рівнянь, чисельно-аналітичного методу регуляризації Векуа-Карлемана і прямого методу механічних квадратур. Досліджувалися дофрактальні дифракційні ґратки другої стадії генерації.



Експериментально вимірено діаграми спрямованості Е- поляризованої електромагнітної хвилі, що проходить, якісно відповідають результатам, отриманим теоретично.

3.2. На основі теоретичних досліджень, проведених у відділі обчислювальної електродинаміки, та експериментальних досліджень, проведених нами, розроблено і створено ефективні компактні поляризатори електромагнітного випромінювання

гігагерцевого й терагерцевого діапазонів частот, які здатні повертати кут поляризації випромінювання у смузі частот 10% від центральної на довільний заданий кут із втратами електромагнітної енергії не більше 0,1 дБ. Показано, що композитні плоско-кіральні двошарові діафрагми (КПКД) (у хвилеводному варіанті) і ґратки плоско-кіральних двошарових діафрагм (у хвилеводному варіанті та для вільного простору) виявляють властивість гігантської "оптичної активності" і приводять до повороту площини поляризації без зміни еліптичності.



На основі КПКД можуть бути створені електрично- або магнітно- керовані поляризатори із проміжком між КПКД, заповненому, наприклад, феритом, сегнетоелектриком, п'єзоелектриком або мультиферроїком, частотно селективні і поляризаційні фільтри та інші пристрої, які можуть знайти застосування у техніці НВЧ та антенній техніці. Показано також, що ґратки КПКД мають фокусуєчу властивість та можуть використовуватися як плоскі лінзи.

Докладний виклад результатів представлено у публікаціях:

1. В. Н. Деркач, Г.И. Кошевой, А.Н. Салогуб. Рассеяние волн миллиметрового диапазона длин волн на дофрактальных дифракционных решетках. 22-я Междунар. Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2012), материалы конф. – Севастополь : Вебер, 2012. – С. 833–834.
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6336212>
2. V. Derkach, A. Kirilenko, A. Salogub, S. Prikolotin, N. Kolmakova, Ye. Ostrizhnyi. Gigant optical activity in artificial plane-chiral structures. Proceedings of the 2013 International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW'2013), 21-26 June 2010, Kharkov, Ukraine, Paper W-33.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MSMW.2010.5546039>
3. Н. Деркач, А. А. Кириленко, А. Н. Салогуб, С. А. Приколотин, Н. Г. Колмакова, Е. М. Острижной. Преобразование поляризации двухслойной киральной структурой с гигантской оптической активностью. 23-я Междунар. Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2013) : материалы конф. – Севастополь : Вебер, 2013. – С. 994-995.
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6653161>
4. V. N. Derkach, A. A. Kirilenko, A. O. Perov, S. A. Prikolotin, A. M. Salogub. A giant 'optical activity' of composite plane-chiral irises at microwaves // Telecommunications and Radio Engineering. – 2014. – Vol. 73, No. 14. – P. 1219–1227.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1615/TelecomRedEng.v73.i14.10>
5. A. A. Kirilenko, N. G. Kolmakova (Don), A. O. Perov, S. A. Prikolotin, V. N. Derkach. Natural oscillations providing 90° polarization plane rotation by planar chiral double-slot irises // Radioelectronics and Communications Systems. – 2014. – Vol. 57, No. 12. – P. 521–530.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3103/S0735272714120012>