

## **Розробка і дослідження частотно-селективних структур міліметрового діапазону на основі тонких багатомодових діелектричних резонаторів.**

## **Разработка и исследование частотно-селективных структур миллиметрового диапазона на основе тонких многомодовых диэлектрических резонаторов.**

## **Research and development of frequency selective structures millimeter wave based on thin multimode dielectric resonators.**

1. Номер державної реєстрації, номер реєстрації в університеті. 0115U000358,
2. Науковий керівник (вчений ступінь, звання). Татарчук Дмитро Дмитрович к.т.н., доцент, Татарчук Дмитрий Дмитриевич к.т.н., доцент, Tatarchuk Dmytro D. PhD, associative professor

### 3. Суть розробки, основні результати

#### **(укр.)**

Отримано співвідношення для розрахунку резонансних частот і добротності частотноселективних пристроїв на основі тонких діелектричних резонаторів. Похибка розрахунку не перевищує 1...2% при розрахунку частот і 5...7% при розрахунку добротності резонансної системи, що дозволяє автоматизувати розробку таких пристроїв. Показано, що на основі тонких діелектричних резонаторів можуть бути створені фільтри НВЧ та керовані фазообертачі НВЧ з характеристиками прийнятними для практичного застосування.

Доведено, що напівпровідникові структури, такі як р-і-п діоди, виявляють НВЧ діелектричні властивості та можуть бути використані в міліметровому діапазоні довжин хвиль як резонансні елементи.

Основною перевагою використання напівпровідникових резонансних структур є можливість реалізації електронного керування резонансною частотою, що значно збільшує їх функціональні можливості.

Запропоновано конструкцію керованої надвисокочастотної системи на основі тонкого діелектричного резонатора, яка містить резонансний елемент, розташований у відрізьку хвилеводу, та керувальний елемент і відрізняються від відомих аналогів тим, що як резонансний елемент використано тонкий діелектричний резонатор, а як керувальний елемент – кроковий двигун, керований мікроконтролером. Заявлене технічне рішення підвищить точність керування, зменшить керувальну напругу та усуне проблему гістерезису, властиву п'єзокерованим системам.

Запропоновано конструкції фільтру та фазообертача міліметрового діапазону довжин хвиль з електронним керуванням на основі напівпровідникової р-і-п-структури, яка є резонансним елементом. Електрофізичні властивості р-і-п-структури залежать від прямого струму, що пропускається крізь неї. Запропонована конструкція дозволяє вирішити проблему зменшення керувальних напруг і підвищення швидкості перестроювання резонансної частоти за рахунок відсутності інерційних рухомих частин.

Означені пристрої добре узгоджуються з мікросмужковими лініями і можуть бути виготовлені за добре відпрацьованою планарною технологією, що дозволить в майбутньому створювати в єдиному технологічному циклі на одній підкладці схеми, що поєднують активні компоненти, резонансні пристрої та лінії передачі.

#### **(рос.)**

Получены соотношения для расчета резонансных частот и добротности частотноселективных устройств на основе тонких диэлектрических резонаторов. Погрешность расчета не превышает 1 ... 2% при расчете частот и 5 ... 7% при расчете добротности резонансной системы, что позволяет автоматизировать разработку таких устройств.

Показано, что на основе тонких диэлектрических резонаторов могут быть созданы фильтры СВЧ и управляемые фазовращатели СВЧ с характеристиками приемлемыми для практического применения.

Доказано, что полупроводниковые структуры, такие как p-i-n диоды, на СВЧ проявляют диэлектрические свойства и могут быть использованы в миллиметровом диапазоне длин волн как резонансные элементы.

Основным преимуществом использования полупроводниковых резонансных структур является возможность реализации электронного управления резонансной частотой, что значительно увеличивает их функциональные возможности.

Предложена конструкция управляемой сверхвысокочастотной системы на основе тонкого диэлектрического резонатора, которая содержит резонансный элемент, расположенный в отрезке волновода, а также управляющий элемент и отличается от известных аналогов тем, что как резонансный элемент использован тонкий диэлектрический резонатор, а как управляющий элемент - шаговый двигатель, управляемый микроконтроллером. Заявленное техническое решение повысит точность управления, уменьшит управляющее напряжение и устранил проблему гистерезиса, свойственную системам с пьезоуправлением.

Предложены конструкции фильтра и фазовращателя миллиметрового диапазона длин волн с электронным управлением на основе полупроводниковой p-i-n-структуры, которая является резонансным элементом. Электрофизические свойства p-i-n-структуры зависят от прямого тока, пропускаемого через нее. Предложенная конструкция позволяет решить проблему уменьшения габаритных размеров, уменьшения управляющих напряжений и повышения скорости перестройки резонансной частоты за счет отсутствия инерционных движущихся частей.

Указанные устройства хорошо согласуются с микрополосковыми линиями и могут быть изготовлены по хорошо отработанной планарной технологии, что позволит в будущем создавать в едином технологическом цикле на одной подложке схемы, сочетающие активные компоненты, резонансные устройства и линии передачи.

**(англ.)**

Equations for the of the resonant frequency and Q-factor calculation for frequency-selective devices based on thin dielectric resonators are found. Calculation error is less than 1 ... 2% for frequency and 5 ... 7% for Q-factor These equations can be the base for automatisisation of calculations during the design of the devices on the base of thin dielectric resonators.

It is shown that on the basis of thin dielectric resonator can be created filters and controlled microwave phase shifters of UHF range with the characteristics suitable for practical use. It is proved that the semiconductor structures, such as p-i-n diodes, exhibit Microwave dielectric properties and can be used as resonant elements in the millimeter wavelength range.

The main advantage of such semiconductor resonance structures is the ability to implement the resonance frequency electronic control, which considerably increases their functionality.

The design of controlled microwave systems based on the thin dielectric resonator is proposed. This design comprises a resonant element disposed in the waveguide, and the control element. As resonant element is used thin dielectric resonator, and as control element is used stepper motor controlled by the microcontroller. The claimed technical solution will increase the control accuracy, will reduce the driving voltage and will eliminate hysteresis inherent to piezoelectric systems.

The constructions of the millimeter waveband filter and phase shifter based on a semiconductor p-i-n-structures are proposed. In These constructions p-i-n-structure in the same time play two roles: firstly it is a resonator and secondly it is a control device. An electrical properties of such-structure depend on direct current which pass through it. The proposed design solves the problem of reducing the overall size, reducing the control voltage and improving the control of the resonance frequency adjustment rate due to lack of inertia of moving parts.

These devices are well consistent with the microstrip lines and may be made by well-established planar process. This fact in the future can help to combine in a single process cycle on a single substrate the active components, the resonant devices and the transmission lines.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

- Патент на корисну модель № 107297 Україна МПК G01R 27/26 (2006.01) Комірка на основі напівхвильового мікросмужкового резонатора для вимірювання комплексної діелектричної проникності матеріалів на надвисоких частотах [Текст] Пашков Валерій Маркович (UA ); Татарчук Дмитро Дмитрович (UA ); Молчанов Віталій Іванович (UA ); Поплавко Юрій Михайлович (UA ); Діденко Юрій Вікторович (UA ); Сергєєв Михайло Сергійович (UA ) заявник і власник НТУУ «КПІ». — №u201512840 від 25.12.2015 опубл. 25.05.2016 Бюл. №10. – 4 с.
- Заявка на корисну модель № u201611812 (3469) від 22.11.2016 Керована надвисокочастотна система на основі тонкого діелектричного резонатора [Текст] Татарчук Дмитро Дмитрович (UA ); Молчанов Віталій Іванович (UA ); Поплавко Юрій Михайлович (UA ); Діденко Юрій Вікторович (UA ); Франчук Антон Сергійович (UA ) заявник і власник НТУУ «КПІ»

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Результати відповідають світовому рівню.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

Застосування розроблених технологій та обладнання дозволяє значно знизити собівартість та підвищити якість частотоселективних пристроїв міліметрового діапазону та значно розширить їх споживацьку привабливість за рахунок:

- використання добре відпрацьованої планарної технології замість використовуваної натеper керамічної технології;
- розширення функціональних можливостей шляхом виготовлення в єдиному технологічному циклі на одному кристалі резонансних елементів з електронним керуванням, активних елементів та мікросмужкових ліній передачі.

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації).**

Запропоновані конструкції частотоселективних пристроїв на основі тонкого діелектричного резонатора можуть бути використані, як основа для розробки керованих фільтрів та фазообертачів сантиметрового та міліметрового діапазонів довжин хвиль на підприємствах, які спеціалізуються на виготовленні телекомунікаційного обладнання таких як ВО «ЕЛСІ», «ТОРСАТ», ВО «Радіовимірювач», НПО «Сатурн», «Оріон», «ІЗНХ», НВФ «Лекес» (м. Київ) та інші.

#### **8. Стан готовності розробки .**

Розроблені та виготовлені макети фільтрів та фазообертачів сантиметрового та міліметрового діапазонів довжин хвиль.

#### **9. Існуючі результати впровадження.**

Результати дослідження характеристик резонансних систем на основі тонких діелектричних резонаторів використані в «Інституті загальної та неорганічної хімії» НАН України для удосконалення методів дослідження електродинамічних властивостей нелінійних матеріалів.

10. Форма участі інвестора (яка краща форма участі в реалізації результатів проекту інвестора: частка в проекті%, частка від прибутку%, інше)

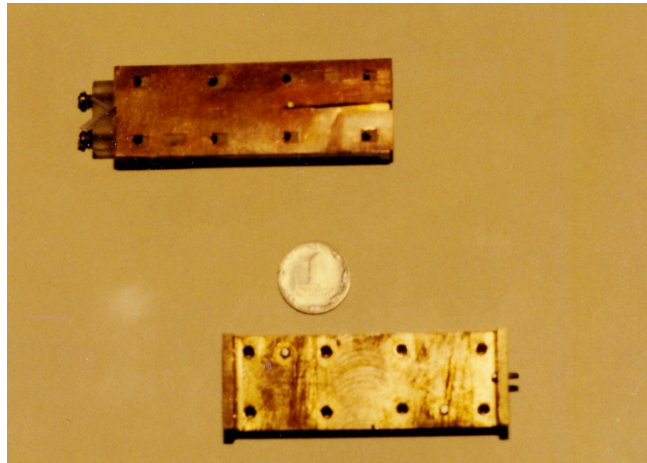
11. Обсяг інвестицій (необхідна для результатів проекту сума інвестицій в доларах США).

12. Мета інвестицій (розширення бізнесу, створення нового підприємства, інше).

13. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" НДІ прикладної електроніки, 0971521861, [d.tatarchuk@kpi.ua](mailto:d.tatarchuk@kpi.ua)

14. Фото або декілька слайдів презентації з фото розробки в електронному вигляді (**рекламного характеру**). Якщо фото надається окремим файлом, бажано використовувати JPEG формат.



Макет керованого однорезонаторного фазообертача на основі повітряної щільової лінії і кремнієвого р-і-n- діода

15. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання (*вагомі монографії, підручники, посібники, наукові статті, дисертації, інші публікації*).

**Підручники:**

Поплавко Ю.М. Фізика діелектриків: підручник / Ю.М. Поплавко; за заг. ред. акад. НАН України Ю.І. Якименка.– К.: НТУУ «КПІ», 2015.– 572 с.– Бібліогр.: с. 565-568.

**Посібники:**

1. Д.Д. Татарчук, В.І. Молчанов, М.М. Кобак Мікрохвильова електроніка: Навч. Посіб. – К.: ІВЦ „Видавництво ”Політехніка””, 2016. – 125 с.

2. Poplavko Y. M. Solid State Elementary Electrophysic. In 2 volumes. Vol. I: Symmetry, quasi-particles, metals, magnetics / Y. M. Poplavko ; editor Y. I. Yakimenko. – Kyiv: NTUU "KPI", 2016. – 364 p.

3. Poplavko Y. M. Solid State Elementary Electrophysic. In 2 volumes. Vol. II: Semiconductors, dielectrics, phase transitions / Y. M. Poplavko ; editor Y. I. Yakimenko. – Kyiv: NTUU "KPI", 2016. – 438 p.

**Наукові статті:**

1. Молчанов В.І. Вимірювання НВЧ параметрів діелектричних матеріалів методом тонкого діелектричного резонатора/ В.І. Молчанов, В.М. Пашков, Д.Д. Татарчук, А.С. Франчук // Electronics and Communications. – 2015. – Vol. 20. – №1(84). – PP. 23–26.

2. Татарчук Д.Д. Тонкие диэлектрические резонаторы миллиметрового диапазона длин волн / Д.Д. Татарчук, В.И. Молчанов, Ю.В. Диденко, А.С. Франчук // Electronics and Communications. – 2015. – Т. 20. – №6(89). – С. 6–10..

3. Татарчук Д.Д. Композиты на основе диэлектриков в технике СВЧ / Д.Д. Татарчук, Ю.М. Поплавко, В.А. Казмиренко, А.В. Борисов, Ю.В. Диденко // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2016. – Т. 59. – №2. – С. 33–43.

4. Татарчук Д. Д. Вимірювання НВЧ параметрів матеріалів методом неоднорідного мікросмушкового резонатора / Д. Д. Татарчук, В. І. Молчанов, Ю. В. Діденко, М. С. Сергєєв, Ю. М. Поплавко // Electronics and Communications. – 2016. – Т. 21. – №2(91). – С. 6–9.
5. Татарчук Д.Д. Частотно-селективные структуры на основе Тонких диэлектрических резонаторов / Д. Д. Татарчук// Electronics and Communications. – 2016. – Т. 21. – №3(92). – С. 6–9.

#### **Дисертації:**

1. Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук Прокопенка Ю. В. «Мікрохвильові діелектричні структури з мікромеханічним перелаштуванням частотних і фазових характеристик», дата захисту 7.06.2016 року.
2. Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук Сергієнка П. Ю. «Мікромеханічно перелаштовувані резонатори НВЧ на основі смужкових ліній», дата захисту 10.02.2015 року.
3. Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук Діденка Ю.В. «Мікрохвильове поглинання і термостабільність діелектричних матеріалів», дата захисту 30.06.2016 року.

#### **Доповіді на конференціях:**

- 1 Microwave Passive and Active Composites Based on Dielectrics Tatarchuk D.D., Poplavko Y.M., Kazmirenko V.A., Borisov A.V. //2015 IEEE 35th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), April 21-24, 2015, Kyiv, Ukraine, pp. 17-22.
- 2 Thermal Stability of Oscillatory Systems Based on Split Dielectric Resonator Shmygin D.A., Tatarchuk D.D., Molchanov V.I., Poplavko Y.M. //2015 IEEE 35th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), April 21-24, 2015, Kyiv, Ukraine, pp. 51 54.
- 3 Microwave Dielectric Measurement Methods on the Base of the Composite Dielectric Resonator Tatarchuk D.D., Molchanov V.I., Pashkov V.M., Franchuk A.S. //2015 IEEE 35th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), April 21-24, 2015, Kyiv, Ukraine, pp.231-234
4. Poplavko Y.M. Microwave Dielectrics with Unstable Electronic Spectrum / Y.M. Poplavko, Y.V. Didenko, D.D. Tatarchuk // Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2016): Proc. of 36th Int. Sci. Conf. (April 19 – 21, 2016, Kyiv, Ukraine). – Kyiv, 2016. – PP. 38 – 42.

#### **16. Надати ключові слова до розробки**

діелектричні резонатори, надвисока частота, діелектрична проникність, добротність, фільтри НВЧ, фазообертачі НВЧ