

**Високовибірні резонансно-тунельні кристалопоподібні пристрої обробки сигналів.**

**Высокоизбирательные резонансно-туннельные кристаллоподобные устройства обработки сигналов.**

Highselective resonant-tunneeling crystal-like signal processing devices.

**1. Номер державної реєстрації теми – 0110U002398**

**2. Науковий керівник -** д.т.н., проф. Нелін Є. А., Нелин Е. А., Nelin Evgeniy A.

**3. Суть розробки, основні результати.**

**(укр.)**

Наноелектронні пристрої обробки сигналів на основі кристалопоподібних структур є новітньою елементною базою інформаційних та телекомунікаційних систем. Запропоновано резонансно-тунельні кристалопоподібні структури та пристрої на їх основі з гранично високою спектральною вибірністю. Розроблено високоефективні мікросмужкові пристрої обробки сигналів НВЧ діапазону. Для підвищення ефективності використано кристалопоподібні структури в режимах резонансно-тунелювання – звичайне тунелювання. Спільне використання цих ефектів забезпечує максимальну розв'язку сигналів в смугах пропускання і подавлення. Розв'язку сигналів покращено з 40 дБ до 60 дБ зі зменшенням габаритів пристроїв приблизно в 2 рази. Розроблені пристрої мають такі характеристики пропускання: смугова, вузькосмугова, низькочастотна, режекторна. З метою створення високовибірних кристалопоподібних пристроїв на основі концепції імпедансу розроблено узагальнену математичну модель кристалопоподібних структур. Розроблена модель відрізняється фізичною наочністю та можливістю синтезу структур з заданими характеристиками. Виконано розробку та експериментальне дослідження нових високовибірних одно- та багатобар'єрних резонансно-тунельних структур та пристроїв. Розроблено фізико-технічні основи резонансно-тунельних кристалопоподібних пристроїв обробки сигналів, що включають математичні, фізичні та комп'ютерні моделі аналізу та синтезу таких структур, аналітичні співвідношення між характеристиками та конструктивними параметрами структури, запатентовані технічні рішення. Розроблено методику проектування мікросмужкових резонансно-тунельних кристалопоподібних пристроїв обробки сигналів.

**(рос.)**

Нанoeлектронные устройства обработки сигналов на основе кристаллоподобных структур являются новейшей элементной базой информационных и телекоммуникационных систем. Предложены резонансно-туннельные кристаллоподобные структуры и устройства на их основе с предельно высокой спектральной избирательностью. Разработаны высокоэффективные микрополосковые устройства обработки сигналов СВЧ диапазона. Для повышения эффективности использованы кристаллоподобные структуры в режимах резонансное тунелирование – обычное тунелирование. Совместное использование этих эффектов обеспечивают максимальную развязку сигналов в полосах пропускания и подавления. Развязку сигналов улучшено с 40 дБ до 60 дБ с уменьшением габаритов устройств примерно в 2 раза. Разработанные устройства имеют такие характеристики пропускания: полосовая, узкополосная, низкочастотная, режекторная. Для создания высокоизбирательных кристаллоподобных устройств на основе концепции импеданса разработана обобщенная математическая модель кристаллоподобных структур. Разработанная модель отличается физической наглядностью и возможностью синтеза структур с заданными характеристиками. Выполнена разработка и экспериментальное исследование новых высокоизбирательных одно-и многобарьерных резонансно-туннельных структур и устройств. Разработаны физико-технические основы резонансно-туннельных кристаллоподобных устройств обработки сигналов, включающие математические, физические и компьютерные модели анализа и синтеза таких структур,

аналитические соотношения между характеристиками и конструктивными параметрами структуры, запатентованные технические решения. Разработана методика проектирования микрополосковых резонансно-туннельных кристаллоподобных устройств обработки сигналов.

**(англ.)**

Nanoelectronic signal processing devices based on crystal-like structures are the newest element base of information and telecommunication systems. Resonant-tunneling crystal-like structures and devices based on them with very high spectral selectivity are proposed. High-performance microwave microstrip signal processing devices are developed. To improve the efficiency crystal-like structures used in the modes conventional tunneling – resonant tunneling. Together, these effects provide maximum decoupling of signals in the passband and stopband. Decoupling of signals is improved from 40 dB to 60 dB with decreasing size of devices about 2 times. The developed devices have such transmission characteristics: bandpass, narrowband, low-frequency, notch. To create a highselective crystal-like devices on the concept of impedance generalized mathematical model of crystal-like structures was developed. This model is characterized by physical clarity and the possibility of synthesis of structures with desired characteristics. Development and experimental investigation of new highselective single- and multi-barrier resonant tunneling structures and devices is fulfilled. The physical and technical bases of resonant-tunneling crystal-like signal processing devices, including the mathematical, physical and computer models for analysis and synthesis of such structures, analytical relationships between the characteristics and design parameters of the structure, patented solutions are developed. The methodology of microstrip resonant-tunneling crystal-like signal processing devices designing is developed.

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

- Патент на корисну модель № 47242. Фотоннокристалічний пристрій / Тимофєєва Ю.Ф., Назарько А.І., Нелін Є.А. – опубл. 25 січня 2010 р. Бюл. № 2.
- Патент на корисну модель № 53885. Фотоннокристалічний пристрій / Тимофєєва Ю.Ф., Назарько А.І., Нелін Є.А., Попсуй В. І. – опубл. 20 жовтня 2010 р. Бюл. № 20.
- Патент на корисну модель № 55752. Фотоннокристалічний пристрій з протифазними хвильовими неоднорідностями / Тимофєєва Ю.Ф., Назарько А.І., Нелін Є.А., Попсуй В. І. – опубл. 27 грудня 2010 р. Бюл. № 24.
- Патент на корисну модель № 58413. Електромагнітнокристалічний пристрій / Назарько А.І., Нелін Є.А.. – опубл. 11 квітня 2011 р. Бюл. № 7.
- Патент на корисну модель № 60664. Електромагнітнокристалічний пристрій / Назарько А.І., Нелін Є.А.. – опубл. 25 червня 2011 р. Бюл. № 12.
- Патент на корисну модель № 64315. Електромагнітнокристалічний відбивач / Тимофєєва Ю. Ф., Назарько А. І., Нелін Є. А. – опубл. 10 листопада 2011р. Бюл. № 21.

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

Рівень розробки перевищує світовий. Технічні параметри пристроїв суттєво вищі у порівнянні з відомими. Так, розв'язка сигналів покращується з 40 дБ до 60 дБ, а габарити зменшуються приблизно в 2 рази.

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

Впровадження кристалоподібних пристроїв обробки сигналів в розробки нових радіоелектронних систем дозволить досягти відчутних переваг у порівнянні з відомими технічними рішеннями. Покращуються не лише електричні, але і масогабаритні параметри. Технологія виготовлення пристроїв не потребує спеціального обладнання.

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

Результати роботи можуть бути реалізовані на підприємствах радіоелектронного профілю (ДП завод «Арсенал», НВП «Сатурн» та ін.).

#### **8. Стан готовності розробки.**

Розроблені та виготовлені макети пристроїв, відпрацьовані конструкторсько-технологічні питання проектування та виготовлення пристроїв. Можлива розробка дослідно-промислових зразків пристроїв для нових інформаційних та телекомунікаційних систем за замовленнями підприємств, впровадження у промислове виробництво.

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

Результати роботи впроваджено в навчальний процес в нових дисциплінах «Моделювання мікро- та наноструктур» та «САПР мікро- та наносистем», при підготовці дисертаційних робіт та атестаційних робіт бакалаврів, спеціалістів та магістрів. За матеріалами роботи підготовлені кандидатські дисертації «Частотновибірні електромагнітнокристалічні пристрої» та «Пристрої на основі аподизованих кристалоподобних структур». Результати роботи впроваджено на підприємстві ТОВ «Авіант».

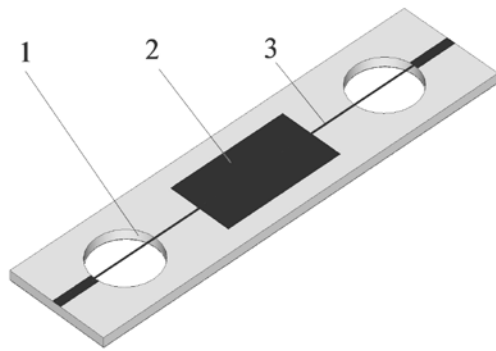
#### **10. Назва організації, телефон, E-mail.**

НТУУ"КПІ", Радіотехнічний факультет, кафедра радіоконструювання, (044) 454-90-39, e-mail: [ye.nelin@gmail.com](mailto:ye.nelin@gmail.com)

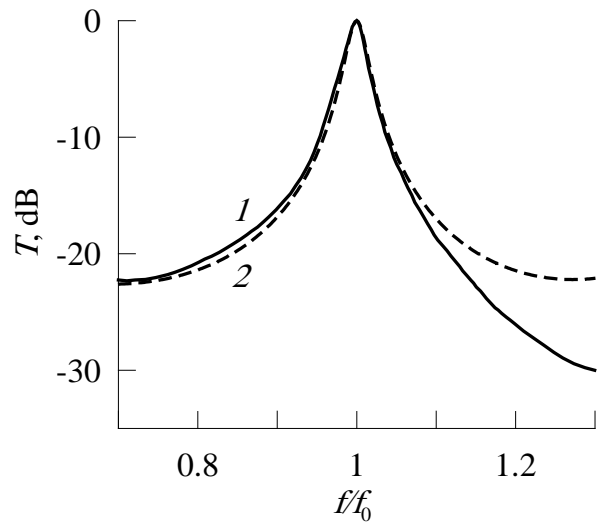
#### **11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки.**

1. Назарько А. И., Нелин Е. А., Попсуй В. И., Тимофеева Ю.Ф. Высокоизбирательный электромагнитный кристалл // Журнал технической физики. — 2010. — Т. 80, вып. 4 — С. 138 — 139.
2. Назарько А. И., Нелин Е. А., Попсуй В. И., Тимофеева Ю.Ф. Узкополосный частотный фильтр на основе кристаллоподобных неоднородностей // Журнал технической физики. — 2010. — Т. 80, вып. 10 — С. 148 — 149.
3. Назарько А. И., Тимофеева Ю. Ф., Нелин Е. А. Взаємодія електромагнітного поля з неоднорідностями електромагнітних кристалів // Вісн. НТУУ "КПІ". Серія — Радіотехніка. Радіоапаратобудування — 2010. Вип. 41. С. 65 — 67.
4. Нелин Е. А. Импедансные условия резонансного прохождения и резонансной локализации волн в барьерных структурах // Журнал технической физики. — 2011. — Т. 81, вып. 1 — С. 137 – 139.
5. Назарько А. И., Нелин Е. А., Попсуй В. И., Тимофеева Ю.Ф. Двухфазный электромагнитный кристалл // Письма в Журнал технической физики. — 2011. — Т. 37, вып. 6. — С. 81 – 85.
6. Назарько А. И., Тимофеева Ю. Ф., Нелин Е. А. Электромагнитные кристаллы на основе низкоомных неоднородностей // Журнал технической физики. — 2011. — Т. 81, вып. 5 — С. 142 – 143.
7. Nazarko A. Electromagnetic Crystals Based on Low-Impedance Inhomogeneities // Proc. XI International Conference «The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics». — Lviv-Polyana, Ukraine. — 2011. — P. 1 – 4.
8. Timofeeva J. Devices on Apodized Electromagnetic Crystals // Proc. XI International Conference «The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics». — Lviv-Polyana, Ukraine — 2011. — P. 88 – 90.

#### **12. Фото / схема розробки в електронному вигляді.**



а



б

Рисунок 1

На рис. 1,а показано структуру вузькосмугового мікросмушкового фільтра на основі електромагнітнокристалічних неоднорідностей (1 — неоднорідність, 2 — низькоімпедансний мікросмушковий відрізок, 3 — дротовий провідник). На рис.1,б приведено експериментальну (1) і розрахункову (2) амплітудно-частотні характеристики фільтра. Експериментальне значення середньої частоти  $f_0=3,14$  ГГц; експериментальне і розрахункове значення ширини смуги пропускання за рівнем  $-3$  дБ і внесених втрат відповідно дорівнюють 87 и 89 МГц, 2,6 і 2,0 дБ [2].

Експериментально досягнуто найвищих значень параметрів пристроїв на основі електромагнітних кристалів при малому числі неоднорідностей: подавлення сигналу більш, ніж на  $-60$  дБ при відносній смузі 85% забороненої зони і середній частоті 3,49 ГГц [1].