

ГОЛОГРАФИЯ НАУКА И ПРАКТИКА

XIV международная конференция
HOLOEXPO 2017

Тезисы докладов



HOLOGRAPHY. SCIENCE AND PRACTICE

XIV International Conference HOLOEXPO 2017
Proceedings

Голография. Наука и практика

XIV международная конференция
HOLOEXPO 2017

Тезисы докладов



Holography. Science and Practice

XIV International Conference
HOLOEXPO 2017

Proceedings

6.8. Многочастотный активный нелинейный резонатор на основе самоаффинного рельефа

Г. Н. Лукьянов¹, И. Н. Серов², А. В. Копыльцов³, В. Т. Барченко³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

² Фонд «Айрес», Санкт-Петербург, Россия

³ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

Свойства поверхности отличаются от свойств кристалла в объеме и формирование на ней каких-то топологических особенностей открывает неожиданные возможности для создания твердотельных элементов принципиально нового типа. Рассмотрено применение устройства с самоаффинным рельефом на поверхности. Продемонстрировано возникновение многочастотного резонансного отклика над поверхностью устройства.

Ключевые слова: Самоаффинный рельеф, Резонансный отклик, Динамическое равновесие, Синхронизация.

Введение

Регулярные структуры широко используются в оптике (дифракционные решетки, дифракционные оптические элементы), радиофизике и радиотехнике. Так, основой любой антенны являются регулярно расположенные в пространстве проводящие и диэлектрические устройства. Как правило, их особенностью является то, что они используют при функционировании такие явления, как пропускание, преломление, отражение, интерференция, дифракция и не являются самостоятельными источниками излучения. Самоаффинный поверхностный рельеф на поверхности поляризуемого электрическим полем материала позволяет получить устройство, отвечающее многочастотным откликом на любое внешнее воздействие электромагнитной волной [1]. Спектр этого отклика задается рельефом поверхности и не зависит от спектра воздействующего сигнала [2, 3].

Предмет исследования

Исследовалось взаимодействие разных видов излучения с устройствами с самоаффинным рельефом на поверхности: на основе кремниевой пластины (резонатор «АЙРЭС», [1]); на основе стеклотекстолита.

Поверхность резонаторов «АЙРЭС» изготовлена в виде криволинейных щелей (канавок), рисунок которых подчиняется законам самоподобия и масштабной инвариантности и выполнен на основе аффинных преобразований, т. е., эта поверхность является самоаффинной по построению [1]. Резонатор «АЙРЭС» изготавливается на кремниевой подложке (диаметр подложки 6 мм, толщина 1 мм), на поверхности которой сформирована сложная система кольцевых канавок прямоугольного сечения с шириной 1 мкм и глубиной 1,2 мкм, образующих регулярную самоаффинную структуру (рисунок 1).

Внешний вид устройства из стеклотекстолита представлен на рисунке 2 и принцип построения рисунка поверхности изображен на рисунке 3.

Моделирование

Моделировалось взаимодействие электромагнитной волны с поверхностью пластины для нестационарного

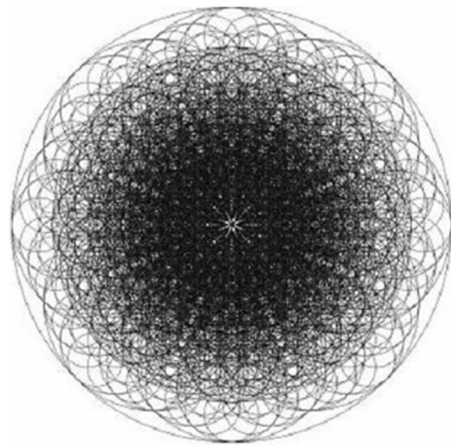


Рис. 1. Резонатор «АЙРЭС»

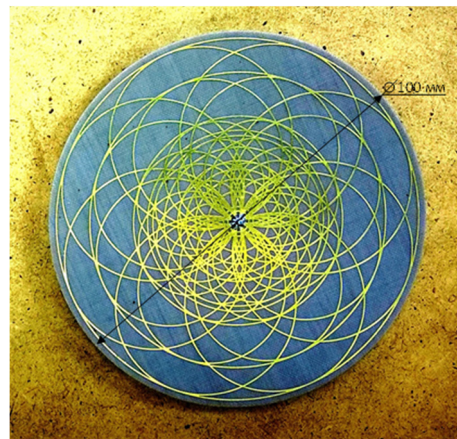


Рис. 2. Устройство с самоаффинным рельефом из стеклотекстолита

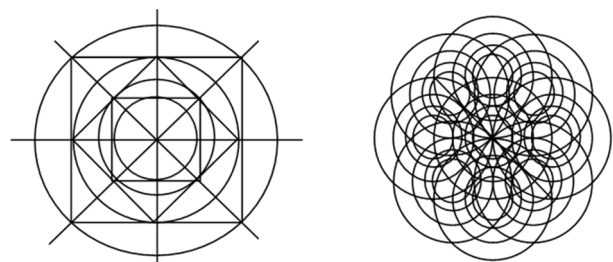


Рис. 3. Принцип построения рисунка поверхности

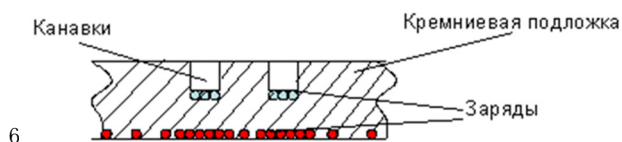


Рис. 4. Качественная картина распределения зарядов

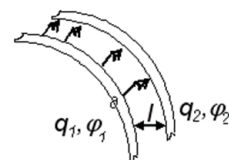


Рис. 5. Заряды в соседних канавках

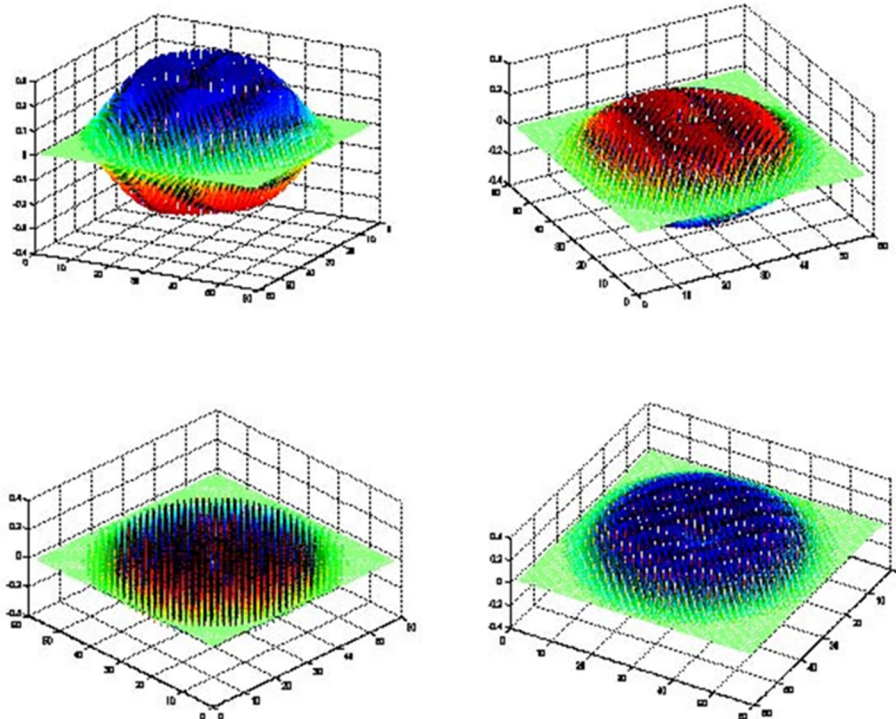
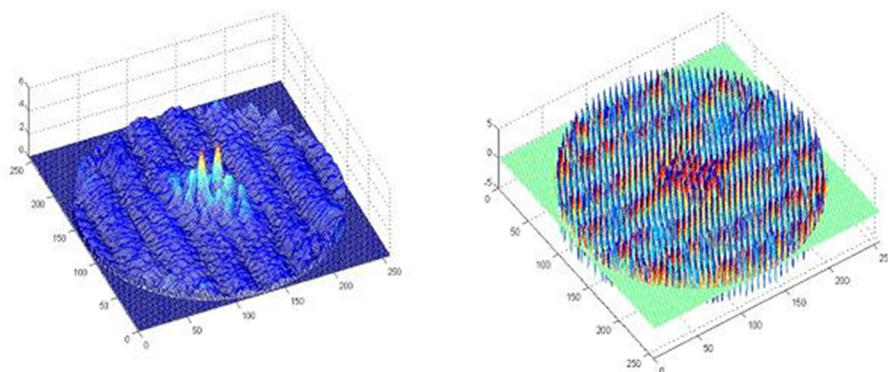

Рис. 6. Распределение напряженности E по поверхности резонатора, различные проекции


Рис. 7. Распределение интенсивности по поверхности резонатора, Слева-амплитуда, справа-фаза

ного случая, для двумерной модели, т. е. рассматривалось изменение распределения напряженности со временем по поверхности резонатора для различных граничных условий.

Электрическое поле при взаимодействии с полупроводником вызывает явление смещения зарядов и, вследствие того, что в области «канавок» пластина имеет меньшую толщину, концентрация носителей заряда в канавках будет выше, чем в соседних областях. Поэтому при моделировании принималось, что носители заряда сосредотачиваются в канавках (рисунок 4).

Пусть плотность зарядов в двух соседних канавках составляет, соответственно, q_1 и q_2 , а потенциалы φ_1 и φ_2 (рисунок 5).

При достижении потенциалом какого-то критического значения φ возникает пробой по кратчайшему расстоянию между канавками. Математическая модель для данного случая имеет вид:

$$\frac{\partial E}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} \right) - aE, \quad (1)$$

где D и a — коэффициенты, E — напряженность электрического поля, x и y — координаты, t — время.

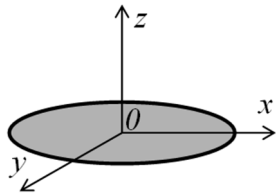
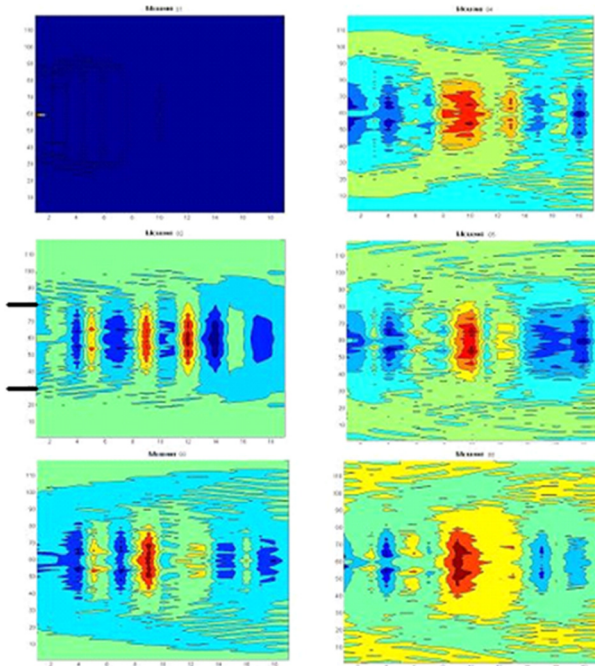


Рис. 8. Ориентация резонатора относительно системы координат



Левый верхний — момент «0», начало процесса; далее сверху вниз и правый столбик также сверху вниз — развитие процесса во времени

Рис. 9. Процесс установления поля над пластиной

Условие пробоя реализовано следующим образом: если $|E| > 0,6$, то $E = 0$. Расчеты были проведены для случая, когда $D = 0,01$ и $a = 0,001$ и в центре пластины имеется сток для зарядов. Моделирование показало, что независимо от условий на границе поверхности, спустя какое-то время тут, устанавливается устойчивое и солитоноподобное распределение напряженности электрического поля по поверхности резонатора.

Результаты моделирования приведены на рисунке 6. Для полученных результатов было определено распределение интенсивности по поверхности резонатора. Результаты расчетов приведены на рисунке 7.

Основным результатом моделирования является то, что установившееся решение, независимо от условий на границе является устойчивым и солитоноподобным. Его форма не меняется при изменении граничных условий. Это означает, что самоаффинная поверхность резонатора «АЙРЭС» разлагает излучение таким образом, что результат этого разложения не зависит от характеристик падающего на него излучения.

Также было выполнено моделирование в трехмерном варианте. Рассматривалась модель вида:

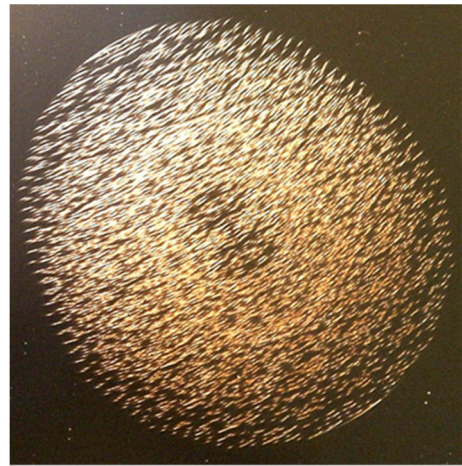


Рис. 9. Фотография резонатора, под облучением галогеновой лампой мощностью 250 Вт

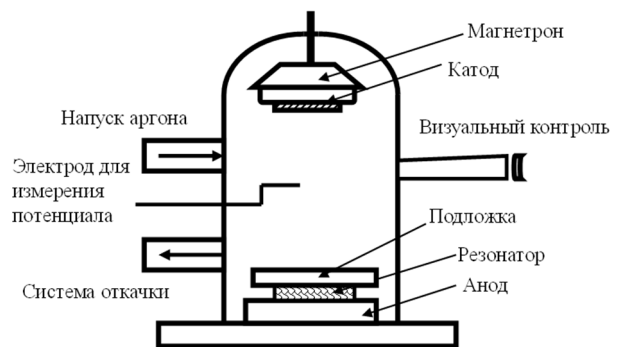


Рис. 10. Установка для магнетронного напыления

$$\frac{\partial E}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} \right) - aE. \quad (2)$$

От двумерной эта модель формально отличается только наличием третьей пространственной координаты z . Однако, это позволяет составить более полное представление о взаимодействии резонатора с излучением и получить пространственное распределение напряженности E . Поверхность резонатора лежит на плоскости xOy , начало координат в центре резонатора, ось z перпендикулярна началу координат (рисунок 8.).

Ниже приводятся результаты расчета для развития процесса установления поля над пластиной (рисунок 9).

Эксперименты

Был выполнен ряд экспериментов с воздействием на резонатор разными длинами волн различной природы: в видимой области оптического спектра; в ВЧ и СВЧ радиодиапазонах; в электромагнитном поле под колпаком установки для магнетронного распыления.

На рисунке 10 представлена фотография резонатора, при облучении его галогеновой лампой мощностью 250 Вт.

Интересные результаты получились при помещении резонатора в установку для магнетронного напыления (рисунок 10). Резонатор располагался между анодом и подложкой.

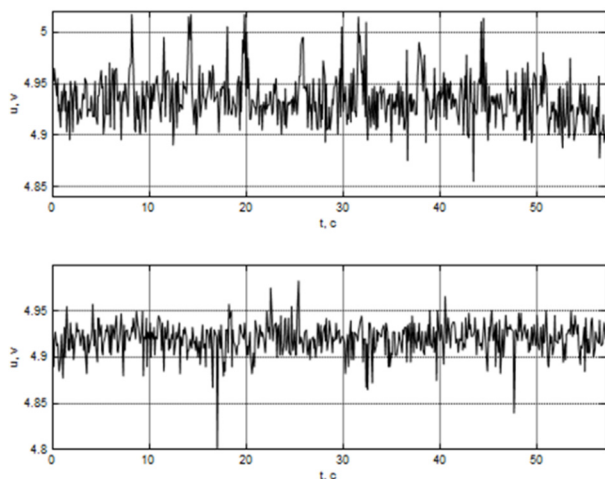
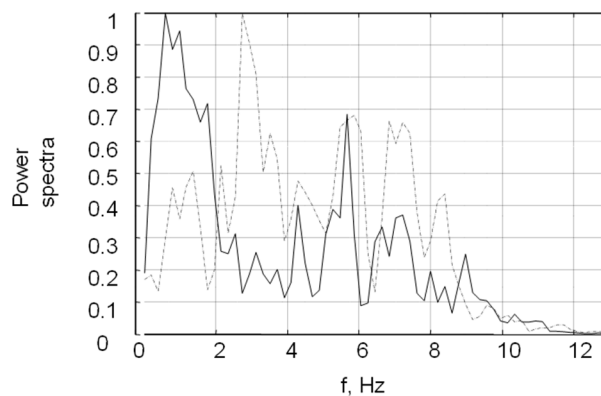


Рис. 11. Колебания потенциала на зонде под колпаком в установке для магнетронного напыления. Верхний рис. - без резонатора, нижний с резонатором

Магнетронное напыление металлических пленок на диэлектрическую или полупроводниковую поверхность происходит под действием сил, имеющих электромагнитную и тепловую природу. Оказалось, что при разности потенциалов постоянного напряжения между катодом и анодом в сотни вольт, электроды, внедренные в установку, показывают колебания потенциалов с амплитудами на уровне единиц вольт. При этом внешний вид этих колебаний различается при наличии и отсутствии резонатора между подложкой и анодом (рисунок 11). Происходит перераспределение энергии в спектре колебаний потенциала (рисунок 12).

Эксперименты проводились с устройством (рисунок 2). Изучалось преобразование частоты, излучаемой генератором поверхностью резонатора. Выполнялось возбуждение частотами 100 кГц, 1 мГц, 3 мГц, 9 мГц, 16 мГц. Результаты в виде фотографий с экрана осциллографа, при одинаковых развертках 0,1 мкс/дел; 20 нс/дел; 2 нс/дел. и масштабе 0,1 В/дел. приведены на рисунке 13.

На осциллограммах хорошо видно, что на любое возбуждение резонатор отвечает своим собственным набором частот, которые не зависят от частоты возбуждения и задаются рисунком на его поверхности [2–4].



Сплошная линия — резонатор отсутствует, штрихпунктирная — напыление проводится с резонатором

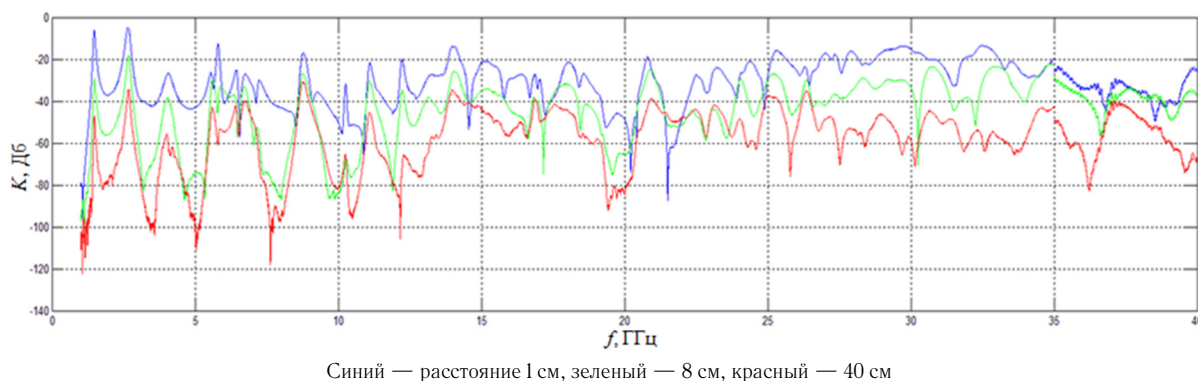
Рис. 12. Спектральные плотности мощности потенциала на зонде

Были проведены также эксперименты по определению коэффициента передачи резонатора в диапазоне частот от 1 до 40 ГГц. Для этого два одинаковых резонатора располагались друг против друга и соединялись кабелями с векторным анализатором. Кабели предварительно тестировались на разных диапазонах, чтобы учесть их собственное влияние.

На рисунке 14 представлены полученные в результате эксперимента коэффициенты передачи, измеренные на расстояниях между двумя резонаторами 1 см, 8 см, 40 см.

Закключение

Резонатор с самоаффинным поверхностным рельефом, отвечает многочастотным откликом на любое внешнее воздействие электромагнитной волной. Спектр этого отклика задается размерами и рельефом поверхности и не зависит от спектра воздействующего сигнала.



Синий — расстояние 1 см, зеленый — 8 см, красный — 40 см
Рис. 14. Коэффициенты передачи, измеренные на расстояниях между двумя резонаторами

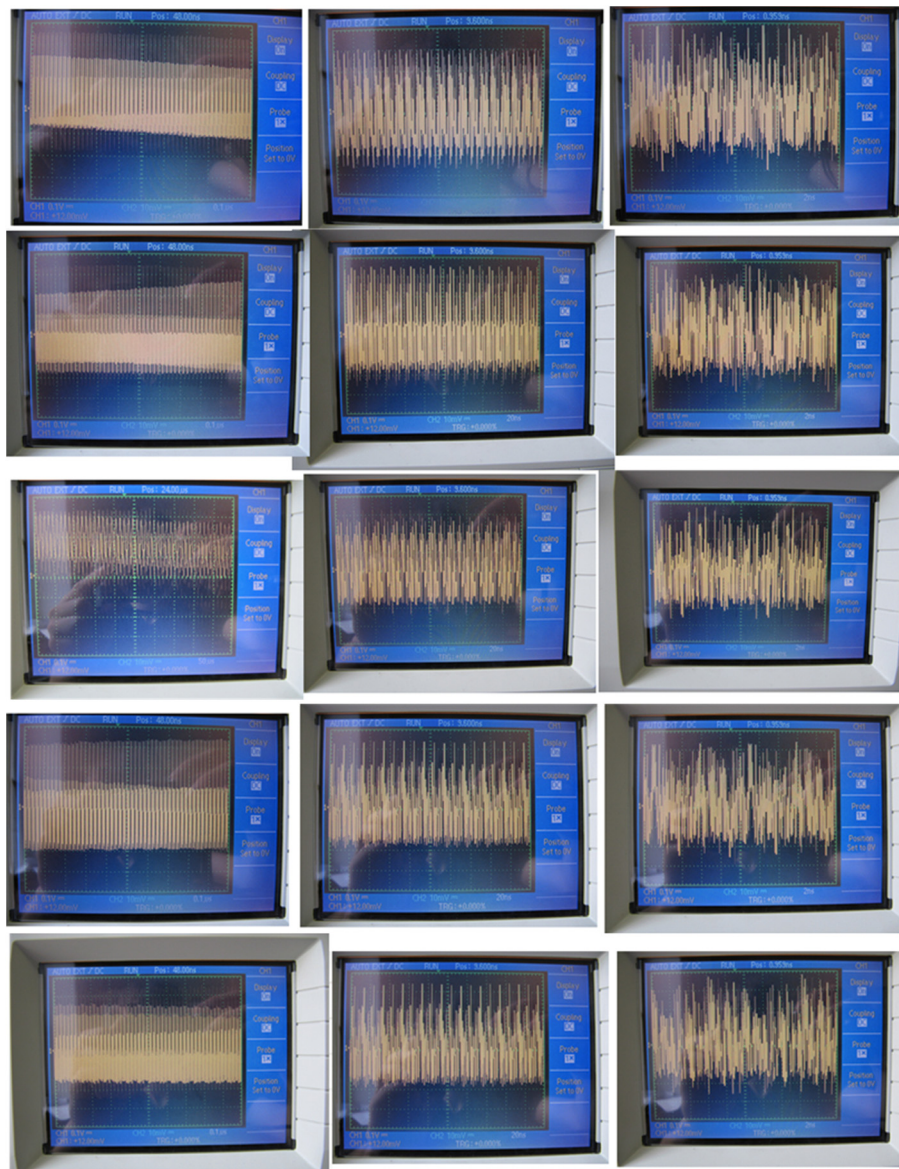


Рис. 13. Результаты возбуждения резонатора частотами 100 кГц, 1 МГц, 3 МГц, 9 МГц, 16 МГц (сверху вниз), при одинаковых развертках 0,1 мкс/дел.; 20 нс/дел.; 2 нс/дел. (слева направо) и масштабе 0,1 В/дел.

Список источников

- [1] **Serov, I.** Simulation of interaction of the electromagnetic radiation in the form of surface wave with the solid surfaces / I. Serov, G. Lukyanov // 2005 International Conference Physics and control Proceedings “PhysCon 2005”; IEEE Catalog Number: 05EX1099C, August 24-26, 2005, Saint Petersburg, Russia. — 2005. — P. 781–785.
- [2] **Серов И. Н.** Взаимодействие полупроводниковой пластины с самоаффинным рельефом поверхности с электромагнитным излучением / И. Н. Серов, А. В. Копыльцов, Г. Н. Лукьянов // Нанотехника. — 2006. — № 4(8). — С. 44–49.
- [3] **Серов И. Н.** Математическое моделирование взаимодействия электромагнитного излучения с кремниевой самоаффинной поверхностью / И. Н. Серов, А. В. Копыльцов, Г. Н. Лукьянов // Офиц. материалы науч.-практ. конф. «Голография ЭКСПО-2006». — 2006. — С. 102–103
- [4] **Серов И. Н.** Математическое моделирование взаимодействия электромагнитного излучения с кремниевой самоаффинной поверхностью / И. Н. Серов, Г. Н. Лукьянов, А. В. Копыльцов // Вестник ИНЖЭКОНа, серия: Технические науки. — 2007. — Том 19. — № 6. — С. 199–205.

Multi-frequency active nonlinear resonator based on self-affine relief

G. N. Lukyanov¹, I. N. Serov², A. V. Kopyltsov³, V. T. Barchenko³

¹ Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia

² Aires Foundation, Saint Petersburg, Russia

³ Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI", Saint Petersburg, Russia

The properties of the surface differ from the properties of the crystal in the volume and the formation on it of some kind of topological features gives unexpected possibilities for the creation of solid-state elements of a fundamentally new type. The application of the device with a self-affine relief on the surface is considered. The occurrence of a multifrequency resonant response above the surface of the device is demonstrated.

Keywords: Self-affine relief, Resonance response, Dynamic equilibrium, Synchronization.