

## **АННОТАЦИЯ**

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD)  
по специальности «6D071900 - Радиотехника, электроника и  
телекоммуникации»

### **АСАНОВ ГАНИ САТБЕКОВИЧ**

#### **Динамический хаос в наноструктурированных автоколебательных системах**

##### **Общая характеристика работы.**

Настоящая работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию, а также компьютерному моделированию и исследованию электрофизических свойств генераторов, построенных на тонких полупроводниковых пленках. Также, в данной работе представлены результаты исследования процессов синхронизации тепловыми импульсами не взаимодействующих электрически сенсорных клеток, а также фазовой перестройки динамики нейронов, которые также как и генератор на тонкой пленке являются автоколебательными системами.

##### **Актуальность темы.**

В настоящее время в электронике существует задача получения источников хаотических сигналов на основе низкоразмерных наноструктурированных систем. В связи с тем, что такие системы могут содержать в себе до десятков тысяч атомов, актуальной является задача теоретического описания и моделирования наноструктурированных систем, в частности структур на основе тонких пленок. Так как системы, в которых наблюдается динамический хаос, являются, как правило, автоколебательными, важной научной задачей является изучение наноструктурированных автоколебательных систем – генераторов хаотических сигналов, в частности на основе тонких твердотельных пленок. В некоторых автоколебательных системах, помимо динамического хаоса, наблюдается явление синхронизации, которое также является следствием нелинейности исследуемых систем. Такими системами, в частности, являются биофизические объекты – сенсорные клетки и нейроны.

**Целью работы** является теоретическое и экспериментальное исследование нелинейных явлений – динамического хаоса и синхронизации в автоколебательных системах, содержащих наноструктуры.

##### **Задачи исследования**

1. Смоделировать структуру поверхности тонкой пленки пористого кремния, используемой для генерации хаотических сигналов. Установить количественные параметры, при которых реализуется пористые поверхности.
2. Осуществить схемотехническую реализацию генератора сигналов на основе тонкой пленки из пористого кремния. Исследовать реализованный генератор на предмет генерации хаотических сигналов.
3. Методами компьютерного моделирования исследовать возможность контроля динамики биофизических клеточных автоколебательных систем

при помощи коротких тепловых импульсов, генерируемых оптически возбуждаемыми металлическими наночастицами.

4. Методами компьютерного моделирования исследовать переходные процессы в автоколебательной системе на основе нейрона при внешнем тепловом воздействии. В частности, исследовать влияние адаптационных ионных токов на переходную динамику нейрона.

**Объекты исследования:** полупроводниковые тонкие пленки пористого кремния, автогенератор хаотических сигналов на основе тонких пленок, система электрически невзаимодействующих сенсорных клеток, нейрон по модели Ходжкина-Хаксли.

**Предмет исследования:** автоколебания и динамический хаос в наноструктурированных системах – генераторе на тонкой пленке пористого кремния, частичная синхронизация в системе электрически не взаимодействующих сенсорных клеток и фазовая подстройка в автоколебательных системах на основе нейрона.

**Методы исследования:**

1. Теоретическое исследование тонких наноструктурированных пленок, используемых для генерации хаотических сигналов методами нелинейной физики и динамического хаоса.

2. Экспериментальное исследование генератора хаотических сигналов методами радиотехники и электроники.

3. Обработка экспериментальных данных сигналов генератора хаотических сигналов методами статистической и нелинейной физики.

4. Компьютерное моделирование эксперимента по синхронизации системы из  $N=1000$  электрически не взаимодействующих сенсорных клеток короткими тепловыми импульсами.

5. Компьютерное моделирование динамики колебаний нейрона, находящегося под внешним тепловым воздействием.

**Научная новизна** работы заключена в следующих результатах:

1. Поверхности тонких пленок, используемых для получения хаотических сигналов, могут быть смоделированы на основе универсального отображения фрактальной эволюции меры.

2. На основе наноразмерных пленок из пористого кремния построен генератор с внутренней обратной связью (автогенератор). Показано, что на выходе автогенератора может быть реализован сигнал динамического хаоса.

3. При помощи методов компьютерного моделирования показана возможность синхронизации ансамбля эпителиальных сенсорных клеток с помощью коротких тепловых импульсов.

4. При помощи методов компьютерного моделирования показана возможность эффективного контроля (фазовой подстройки) автоколебательной системы на основе нейрона с адаптационными токами.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Генерация хаотических сигналов может быть осуществлена с использованием тонкой пленки пористого кремния, имеющей структуру,

описываемую при помощи универсального отображения фрактальной эволюции меры.

2. Генератор на основе тонкой пленки из пористого кремния, является источником хаотических сигналов, обусловленных, главным образом, внутренней обратной связью.

3. Фототермическое воздействие короткими лазерными импульсами (5-15 мс) позволяет управлять коллективной динамикой сенсорных клеток и добиться их частичной синхронизации.

4. Наличие адаптационного тока увеличивает чувствительность автоколебательной системы на основе нейрона к статическим и динамическим изменениям температуры. Коротким тепловым воздействием можно осуществлять эффективную фазовую подстройку такой системы.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

1. С помощью отображения фрактальной эволюции меры, которое описывает хаотический процесс можно моделировать поверхности различных наноструктур. На практике это может означать, что при заданном соотношении концентраций и при известных остальных параметрах отображения можно получить заданные наноструктуры, в т.ч. пористые структуры

2. Генератор динамического хаоса на основе пленок пористого кремния показывает хаотический сигнал с параметрами, близкими к параметрам случайного сигнала в широкой области частот. Вместе с тем, его параметры являются регулируемыми, что следует непосредственно из хаотической природы сигнала. Эти генераторы могут применяться в беспроводных сенсорных сетях для приема-передачи данных, в устройствах кодирования информации, системах информационной безопасности.

3. Изучение внешнего воздействия на биофизические автоколебательные системы является необходимым для исследования и управления их динамикой, например нейронных сетей. Так как исследованная система является автоколебательной, то указанные результаты и методы можно обобщить на другие автоколебательные системы, например на нейронные сети.

4. Также осуществление вынужденного фазового сдвига нейрона позволяет применить полученные результаты в реальных электрических цепях. Для этого необходимо реализовать механизм адаптационного тока и эквивалент температурного импульса в системе.

**Степень внедрения.** По материалам диссертационной работы опубликовано 11 печатных работ, в том числе 3 - в изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 3 - в рецензируемом журнале с высоким импакт-фактором, 5 публикаций в сборниках тезисов докладов международных конференций, в т.ч. 2 зарубежных. Также по результатам исследования была подана заявка на патент.