

## НАНОКОМУНИКАЦИОННИ УСТРОЙСТВА И МРЕЖИ

### Лекция 1. ВЪВЕДЕНИЕ В НАНОКОМУНИКАЦИИТЕ

Доц. д-р инж. Галя Маринова  
2020 г.

## Нанониво/нотехнологии

Концепцията е предложена за пръв път от Ричард Фейнман през 1959 в речта му при получаването на Нобеловата награда

**“Много място на дъното”**

Нанотехнологиите се отнасят за устройства от порядъка на Една милиардна от метъра ( $10^{-9}$ )

Стратегическа технология за бъдещата икономика

- Многобройни приложения в здравеопазването
- Подобен мониторинг на хроничните заболявания
- Много точно предоставяне на лекарства
- Нанороботи за хирургията
- Приложения в аеронавтиката и науките за околната среда



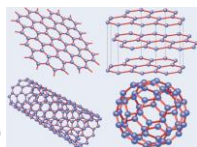
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



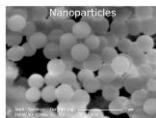
## Наноматериали и компоненти

Най-много природни компоненти се намират в биологичните системи

- Компоненти в клетките
- Графен – единичен слой въглеродни атоми
- Въглеродни нанотръби
- Покрития от наноматериали (самолет)
- Нанокристалити (запълване на пукнатини)
- Наночастици
- Магнитни наночастици (съхранение на данни)
- Керамични наночастици (Супер капацитет)
- Боросиликатни наночастици (толерантни към силни химически среди и температурни флуктуации).



<http://graphene.nus.edu.sg>



<http://www.nanotech-now.com>



TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## Наноскала

Размер	Типични елементи
1 m	1 m = 1.000.000.000 ( $10^9$ nm)
200 $\mu$ m	Размер на най-малките бузи, които можем да видим с много остър поглед
100 $\mu$ m	Типична дебелина на косъма
10-1000 $\mu$ m	Клетките в живите организми може да имат различни размери, неврните може да са и по-дълги.
8 $\mu$ m	Клетките на червените кръвни тельца
1 $\mu$ m	Бактерия
100 nm	Вирус
5-100 nm	Порядък за нанотехнологични системи изразени от атомни/молекулярни компоненти (квантумни точки, наночастици, диаметър на нанотръби и нанопроводници, пластични мембрани, влакна, ...)
10 nm	Размер на типичните молекули на антителата в живите организми за изкушна защита
6-10 nm	Дебелина на клетъчната мембрана, и типичен размер на порите в мембраната
2.5 nm	Широчина на DNA (ДНК) (но зависи от условията)
1 nm	Размер на С60-сферична молекула или молекулата на глюкозата
0.3 nm	Размер на водната молекула.
1 Å = 0.1 nm	Грубо размера на водородния атом.
0.7 Å = 70 pm	Най-добрата разделителна способност на AFM - позволява да се изобразят индивидуалните орбити в атома.

## Нанониво/наноустройства

Нанониво - 1—100 nm

При размер на устройството (наномашината) от няколко стотин нанометра до няколко микрометра, което може да извършва прости задачи като:

- Пресмятане
- Съхранение на данни
- Детектиране
- Електрическо възбуждане, задвижване.

## Наномрежи

Наномрежа или мрежа на нанониво - множество от свързани наномашини или наноустройства.

Наномрежите разширяват възможностите на единичната наномашина като сложност и порядък на операциите, като позволява координация, споделяне и свързване на информацията.

## Нанокомуникационни мрежи



Класическите парадигми на комуникацията изискват цялостна ревизия на нанонивото.

На нанониво има 2 основни начина на комуникация

- На основата на електромагнитната комуникация
- На основата на молекулярната комуникация.

## Електронни наноконпоненти



Напредъкът във **въглеродната и молекулярната електроника** създаде нова генерация електронни компоненти на нанониво:

- Нанобатерии
- Наносистеми за събиране на енергия (**energy harvesting**)
- Нанопамети
- Логически схеми на нанониво
- Наноантени

## Електромагнитна нанокомуникация



Дефинира се като предаване и приемане на електромагнитно излъчване от компоненти създадени от новите наноматериали.

От комуникационна гледна точка, специфичните свойства на наноматериалите определят:

- специфичните ленти за предаване на електромагнитно излъчване,
- времезакъснението на излъчване,
- големината на излъчената мощност
- при дадена входна енергия.

## Два способа на електромагнитна нанокомуникация



- Експериментално е доказано, че да се приема и демодулира електромагнитна вълна чрез **нанорадио** – електромагнитно резонираща въглеродна нанотръба, която може да декодира амплитудно или честотно модулирана вълна.

- **Нано-антени** от графен за потенциални електромагнитни излъчватели в **Терагерцовия обхват**.

**От 0.3 до 3 THz**,  $1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$ . Дължините на вълните на излъчването на Терагерцовия обхват са съответно от 1 mm до 0.1 mm (или 100  $\mu\text{m}$ ).

## Молекулярна нанокомуникация



Молекулярната комуникация се дефинира като предаване и приемане на информация посредством молекули.

В зависимост от начина на разпространение на молекулите има 3 вида молекулярна комуникация:

- **walkway-based** – очертана комуникация
- **flow-based** – поточна комуникация
- **diffusion-based** - дифузионна комуникация

## Очертана и поточна молекулярна комуникация



- **walkway-based** молекулярна комуникация, молекулите се разпространяват по предварително дефинирани пътища, като използват носещи вещества, като молекулярни мотори. Този вид молекулярна комуникация може да се постигне и чрез използването на бактерията [E. coli](#) като химическо такси.
- **flow-based** молекулярна комуникация, молекулите се разпространяват чрез дифузия във флуидна среда, чийто поток и турбуленция са управляеми и предвидими. Хормоналната комуникация чрез кръвния поток в човешкото тяло е такъв пример. Поточното разпространение може да се реализира може също да се реализира чрез носещи единици, чието движение може да се ограничи общо взето по специфични пътища, въпреки наличието и на случайна компонента.

## Дифузионна молекулярна комуникация



- **diffusion-based** молекулярна комуникация, молекулите се разпространяват чрез спонтанна дифузия във флуидна среда. В този случай молекулите се подчиняват единствено на закона на дифузията или могат да бъдат засегнати от непредсказуеми турбуленции, които се случват във флуидната среда. Феромонната комуникация, когато феромоните (химически фактор секрет, който предизвиква социален отговор в себеподобните) се реализират във флуидна среда като въздух или вода, са пример за дифузионна архитектура. Друг пример за този вид транспорт е калцивата сигнализация между клетките, и кворумното детектиране между бактериите.

## Междусимволна интерференция (ISI) в приемната наномашина



- На основата на макроскопичната теория за идеалната (свободна) дифузия импулсната характеристика на молекулярния комуникационен канал, се оказва че импулсната характеристика на канала на идеалната дифузна молекулярна комуникация упражнява **времево разпределение**. То има дълбоко въздействие върху поведението на системата, например чрез създаването на **междусимволна интерференция (ISI)** в приемната наномашина.
- За да се детектира концентрационни-кодирания молекулярен сигнал се прилагат 2 метода за детектиране наречени **детекция основана на пробите (SD)** и **енергийно базирана детекция (ED)**. Докато подходът SD е основан на концентрационната амплитуда само на една проба взета в подходящ момент от времето по време на продължителността на символа, Подходът ED е основан на общия акумулиран брой молекули получени по време на цялата продължителност на символа.

## Междусимволна интерференция (ISI) в приемната наномашина (2)



- За да се намали влиянието на междусимволната интерференция се предлага контролирана **широчинно-импулсно базирана молекулярна комуникационна схема**. Показано е, че е възможно да се реализира **амплитудна модулация** на много нива на основата на идеалната дифузия.

Предложена е **импулсна-бинерна и синусоидална концентрационно-кодирана молекулярна комуникационна система**.

## Изследвания върху молекулярните нанокомуникационни мрежи



Важни са в 4 посоки:

- Теоретична характеристики на молекулярния **комуникационен канал** за мрежа от наномашини,
- Дефиниция на подходящи молекулярни **комуникационни протоколи** за предаване на информация,
- Създаване на **програмни средства** за симулация на молекулярни нанокомуникационни мрежи
- Реализация на **тестови среди** и тяхното експериментално валидиране.

## Интердисциплинарни изследвания



В настоящия момент, реализацията на изкуствени наномашини е в процес на развитие, и изследователите в тази област се възползват от широкото разпространение на молекулярните нанокомуникационни мрежи в природата, за да тестват върху тях вече наличните био-компоненти, като например **популации на бактерии генетично създадени чрез инженеринг**.

Тези изследвания са на границата с биологията и изследванията на архитектурата на молекулярните наномрежи са инспирирани от биологията, както и тяхната реализация чрез средства, които вече съществуват в природата.

## Интердисциплинарни изследвания(2)

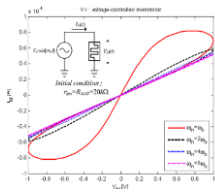


Тези изследвания имат влияние върху **нанотехнологиите, биологията и информационните и комуникационните технологии**, като тези 3 общности от специалисти работят заедно, с реалистичен и интегриран подход.

Резултатите от тези изследвания водят до напредък във фундаменталната наука, образованието и технологията, с очаквани големи ползи за обществото.

## Елементи с памет

- Мемристоры
- Мемкондензатори
- Меминдуктивности



## Елементи с памет и наноструктури

Тези елементи са типични за **нанонивото**, където динамичните свойства на електроните и йоните най-вероятно зависят от **историята на системата**, поне в определена времева скала.

Тези елементи и техните комбинации в схеми дават възможност за нова функционалност в електрониката и се очаква да намерят приложения в невроморфните устройства, които симулират процеса на **обучение, адаптивното и спонтанното поведение**.

Много системи принадлежат към този клас, включително и **термистора** (чието вътрешно състояние зависи от температурата). В частност мемристивното поведение е свойство на термисторите, молекулярните системи, спинтронните устройства и **тънките филми наноструктури**.”

## Елементи с памет и наноструктури (2)

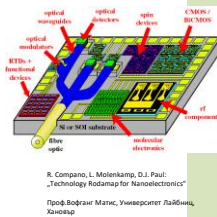
„Не е учудваща връзката с **наносистемите**, чието съпротивление изглежда зависи от тяхното състояние и динамична история, поне (вероятно за много кратки) времеви скали, предиктувани от фундаменталните променливи на състоянието, които контролират тяхното действие.”

<http://arxiv.org/pdf/0901.3682v1>  
<http://nanomorphware.blogspot.com/2009/02/mis-sing-memcapacitor-found.html>

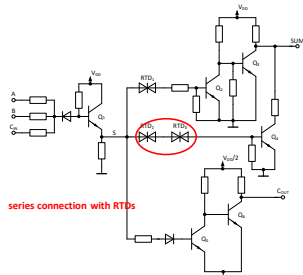
## Резонансни тунелни диоди RTD

Ще играят важна роля в бъдещите интегрални системи:

- Ултра-бързи операции
- Малки площ и консумация
- Висока функционална плътност
- Може обратно да се изчертае специалната волт-амперна хатрактеристика на RTD

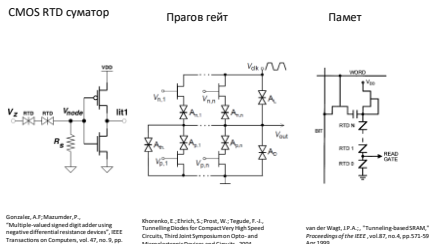


## Пример: Троен Нълен суматор



J. Hahn, J. Chen, J. McCormack, C. Zhou and M. Reed, "An RTD Transistor Switching Block and Its Possible Application in Binary and Ternary Address", IEEE Transactions on Electronic Devices, vol. 44, no. 12, pp. 2549-2553, Dec 1997

## Други схеми със серийно свързани RTD

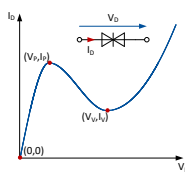


Geneste, A.F., Maczender, P., "Multiple-valued signed digit address using negative differential resistance devices", IEEE Transactions on Computers, vol. 47, no. 5, pp. 647-650, Sept 1998.

Watanabe, C., Ehrlich, C., Ohno, H., Taguchi, F., "Tunneling Diodes for Compact Very High-Speed Circuits", Third International Symposium on Very Large Scale Integration in Microelectronic Devices and Circuits, 2004

van der Walt, J.P.A., "Tunneling based SDRAM", Proceedings of the IEEE, vol. 87, no. 4, pp. 575-586, Apr 1999

## Моделиране на RTD



- RTD като статичен нелинеен резистор
- Уравнение:  $I_D = G_D(V_D)$
- Различен вид модели:
  - Физически (квантов пренос)
  - Функционален (съответствие с данните от измерванията)
  - Качествен (основни свойства)
- Линейно-отсечков полиномиален модел за подходящо приложение
- Точките на максимума и минимума може да се параметризират директно

### Класификация:

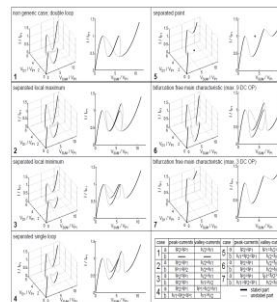
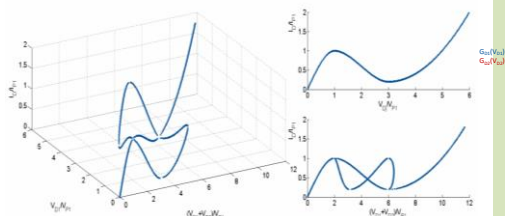
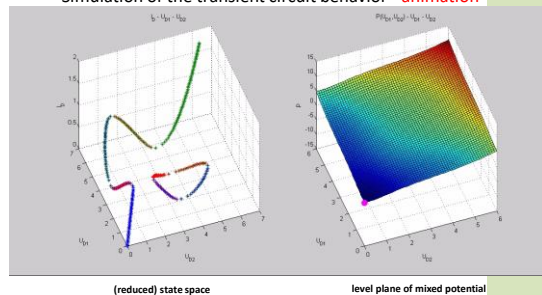


Figure 2: Classification of different shapes of S; stable part (black line); unstable part (gray line)

## Форма на конфигурационното пространство - анимация



### Simulation of the transient circuit behavior - animation



## Приложения на нанокommunikации

### ИНТЕРНЕТ на нанообектите

- Наномрежа на човешкото тяло
- Интелигентни градове

### Пазар на нанокommunikации

<https://www.globenewswire.com/news-release/2022/06/17/2464947/0/en/Nanomaterials-Market-Size-to-Worth-Around-US-43-1-Bn-by-2030.html>

Размерът на световния пазар на наноматериали се оценява на 9,68 милиарда щатски долара през 2021 г. Според Precedence Research размерът на глобалния пазар на наноматериали се очаква да струва около 43,1 милиарда щатски долара до 2030 г. и разширяване на растежа със забележителен CAGR от 18,05% от 2022 до 2030 г.



## Акценти на доклада



- Въз основа на продукта **сегментът на въглеродните нанотръби** държи най-големия пазарен дял на световния пазар и се очаква да запази господството си през прогнозния период.
- Въз основа на приложението **медицинският сегмент** държи най-големия пазарен дял на световния пазар.
- По региони **Азиатско-тихоокеанският регион държи водещия пазарен дял на пазара на наноматериали**. Въпреки това се очаква Северна Америка да бъде най-бързо развиващият се пазар за наноматериали.