



Сумський державний університет  
Кафедра електроніки, загальної та  
прикладної фізики



# ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ ГНУЧКОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

доц. Шумакова Н.І.

СУМИ 2020

# ВСТУП

- Розвиток гнучкої електроніки передбачає перехід до нових електронних пристроїв та приладів. Наприклад, малогабаритні та легко вісні електронні пристрої зберігання та відображення інформації, фотогальванічні панелі і реконфігуровані антени, гнучкі біологічні електронні імпланти, друковані батареї живлення та акумулятори створюються завдяки застосуванню сучасних технологій і матеріалів гнучкої функціональної електроніки
- Основними напрямками розвитку гнучкої електроніки можна назвати пошук нових матеріалів гнучких підкладок та адаптація відомих та розробка унікальних методів створення функціональних елементів гнучкої електроніки на основі тонких плівок металів, діелектриків та напівпровідників. Найбільш успішно застосовуються відомі технології створення металевих плівок та технології друку металевими наночастинками.
- Відмінними рисами пристроїв гнучкої електроніки можна назвати прозорість, стабільність, низький коефіцієнт термічного розширення, еластичність тощо. Цей напрям дуже швидко розвивається в останні роки, і знаходить все більше нових галузей застосування. На базі гнучкої електроніки можна розробити велику кількість застосувань.

# КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ТЕХНОЛОГІЇ ДРУКОВАНОЇ ГНУЧКОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

- Простота методів друкованих методів для використання в гнучкій електроніці викликала неабиякий інтерес в останні десятиріччя. Вони не потребують використання високих температур та високого вакууму.
- Крім того вони дають високу швидкість виготовлення та можливість нанесення на порівняно великі площі з мінімальними, або зовсім без втрат матеріалу, що викликає безперечну зацікавленість ними виробників електронних приладів та пристроїв. Усі методи друкованої електроніки можна поділити на дві великі групи.
- Наведемо основні переваги і недоліки безконтактних методів друку.
- Вони ціняться за свою простоту, швидкість, доступність, велику роздільну здатність шаблонів і просте керування.
- В контактних методах, фігурні структури з нанесеними на них чорнилами або пастами перебувають в фізичному контакті з матеріалами підкладки. Причому чим щільніший контакт, тим тоншу, і з більшою роздільною здатністю структуру можна отримати.

- Ці методи являються історично першими, і часто застосовувались в фотографії. Наведемо їх основні переваги і недоліки. Контактні методи за своїм принципом являються дуже схожими, і детально описані в роботі . Можна зазначити, що існують наступні методи: гравюрний друк; гравюрний – офсет ний друк; флексографічний друк; мікроконтактний друк; нанолітографічний друк, трансферний друк.
- Вибір між типом підкладок та технологією створення функціональних елементів гнучкої електроніки залежить від того, для побудови якої структури вони будуть використовуватись.
- Так, наприклад, очевидним являється, що для побудови сонячних елементів плівки поліаміду є абсолютно неправильним вибором через їх погану прозорість (поліімід зазвичай має від світло – жовтого до коричневого кольору), а ПК та ПЕС – поганий вибір для друкованих методів, через їх погану стійкість до розчинників.
- Для заміни звичних жорстких підкладок, гнучкі повинні мати стабільність геометричних розмірів, низьких рівень КТР, термічна стабільність, стійкість до розчинників, добрі бар'єрні властивості до дії вологи, повітря та газів.

# КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ДРУКОВАНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ





# ПРИСТРОЇ НА ОСНОВІ ПЛІВКОВИХ КРЕМНІЄВИХ ГНУЧКИХ СТРУКТУР

- З розвитком технологій охорони здоров'я та інтернет-речей попит на ультра-щільну, наднизькоякісну пам'ять зростає. З метою майбутньої заміни традиційних механічних жорстких дисків на твердотільні накопичувачі, для повноцінної електронної системи потрібні два основних пристрої: транзистори та енергонезалежна пам'ять.
- Транзистори використовуються для логічних операцій і масивів пам'яті для вбудовування, а пристрої постійної пам'яті необхідні для зберігання інформації в основній пам'яті та зберіганні кеша.
- Гнучкі компоненти постійної пам'яті обговорюються з точки зору їх функціональності, показників ефективності та аспектів надійності, які є критичними компонентами для технології постійної пам'яті.

# КЛАСИФІКАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПРИБРОЇВ ГНУЧКОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ



# ПРИСТРОЇ НА ОСНОВІ ПЛІВКОВИХ КРЕМНІЄВИХ ГНУЧКИХ СТРУКТУР

- Методи виготовлення пристроїв на основі гнучких підкладок дозволяють не тільки спростити процес виготовлення раніше існуючих пристроїв, а й дали можливість створювати принципово нові, або дало способи подивитись на них з іншого боку. До 90% усіх електронних пристроїв створюються на базі кремнію. Технологія літографії дозволила отримувати надкомпактні та надшвидкісні електронні пристрої. Їх головним недоліком можна вважати надзвичайну вартість виробничих ліній і використовуваних у методі масок. При цьому, за рахунок мініатюризації, компоненти електронних систем розташовуються дуже щільно, і вся конструкція являється майже непридатною для ремонту, при виведенні з ладу якогось із її компонент. Для забезпечення механічної міцності, розробники електронних приладів і пристроїв стали цікавитись методами гнучкої електроніки, що дозволяють значно спростити процес виготовлення і підвищити надійність виготовленої продукції.
- Схема отримання таких пристроїв показана на рис 1. Як вже зазначалось, використання кремнію в простих методах нанесення ускладнене, через необхідну високу температуру відпалу. Було запропоновано метод, за допомогою якого використання кремнію на гнучких підкладках стало можливим.





Рис. 1 Схема отримання тонкої мембрани аморфного кремнію (а): 1 – кремнієва підкладка; 2 – шар  $\text{SiO}_2$ ; 3 – шар з порами; 4 – відділена тонка плівка; 5 – готова структура. Схема отримання тонкої мембрани полікристалічного кремнію (б): 1 – кремнієва підкладка; 2 – шар  $\text{SiO}_2$ ; 3 – шар полікристалічного кремнію; 4 – шар з порами; 5 – відділена тонка плівка; 6 – готова структура.

- Дослідники з Університету Райса в Х'юстоні розробили прозорий і гнучкий модуль пам'яті. Цей модуль пам'яті можна комбінувати з різними інтегральними схемами. Розробка відрізняється високою витривалістю. Так, вона здатна витримувати температуру в 500 С. В основу розробки лягло відкриття 2010 року, суть якого полягає у тому, що якщо через окис кремнію пропустити потужний електричний заряд, то буде сформований канал з чистих кристалів кремнію, розмір яких не перевищує 5 нм. Завдяки цим властивостям і можна створювати незалежну пам'ять. Важливим є те, що елементи отриманої пам'яті можна розташовувати в тривимірних масивах, досягаючи тим самим зменшення габаритів одержуваних пристроїв. Так, як кремній сам по собі не прозорий, то висока ступінь прозорості досягається за рахунок того, що електрична схема представленого зразка занадто розряджена.
- Внаслідок низьких максимальних робочих температур більшості дешевих пластиків (температури склування для них знаходяться в області 80-150°C) граничного але допустимі температури технологічного процесу для гнучкої електроніки лежать в районі 100-150°C. Це робить неможливим використання багатьох технологій, традиційних для виготовлення приладів на кристалічному кремнії, таких, як термічне окиснення, дифузія або епітаксії, і вносить жорсткі обмеження на використання процесів плазмохімічного осадження, напилення, фотолітографії і т. д. Відповідно обмежений вибір матеріалів для приладів гнучкою електроніки.

# ТЕХНОЛОГІЯ ГНУЧКОГО ЕЛЕКТРОННОГО ПАПЕРУ

- Одне із застосувань технології гнучкої електроніки, є ультратонка електроніка, яка інтегрована в папір. Модуль пам'яті далеко не єдине гнучке рішення, представлене за останні дні. Компанія «LG Electronix» продемонструвала зразок гнучкого електронного паперу (рис.2). Це 6-дюймовий екран з роздільною здатністю 1024 × 768 пікселів. Він легко переносить навіть вельми серйозні вигини - до 40 градусів щодо центру. Домогтися гнучкості вдалося за рахунок використання в якості очистки підкладки не скла, а спеціального пластика. Це дозволило не тільки підвищити гнучкість, але ще і зробити екран більш тонким і легким.
- Принцип роботи нового електронного паперу заснований на здатності полімерів контролювати поглинання та відбиття світла. Полімери, які покривають всю поверхню, проводять електричний сигнал в будь-якій точці екрану і здатні створювати зображення високої чіткості.



Рис. 2. Зовнішній вигляді електронної книги на основі гнучкого екрану E-ink (а) гнучкий електронний папір від компанії «LG Electronix» (б).



# СЕНСОРНІ ЕЛЕМЕНТИ ГНУЧКОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

- Найбільш поширене використання гнучких плат – це виготовлення міжелементних з'єднань електронних систем. Це дозволяє зменшити масу готового виробу та значно підвищити стійкість до динамічних навантажень.
- Дослідники швейцарської компанії «École Polytechnique Fédérale de Lausanne» розробили новий метод виготовлення гнучкої і електроніки, що здатна розтягуватися (рис.3) для використання в гнучких електронних пристроях і медичних приладах. Прототип такої функціональної гнучкої структури може розтягуватися вчетверо в порівнянні з початковим розміром і повертатися в початковий стан без будь-яких втрат своїх робочих характеристик.
- Основною перевагою нової розробки є можливість нанесення на плівку дуже вузьких смужок металу (сплав золота і галію), які можуть розтягуватися і згинатися разом з підкладкою. Нанесення цих провідників здійснюється шляхом осадження галію на наплавлену металеву плівку з золота. Ці двофазні смужки можуть бути всього кілька нанометрів шириною і використовуватися для з'єднання окремих компонентів в єдиний великий, складний і гнучкий прилад. Метод нанесення на підкладку і формування певного малюнка за допомогою нанесення металу дозволяє створювати надзвичайно міцні, багат шарові і м'які інтегральні схеми, сенсори і функціональні пристрої.



- Поширеним застосування гнучких металевих функціональних структур стали радіочастотні мітки. Їх історія почалась ще в 1940 році, і використовувались у військових цілях. Взагалі, це спосіб автоматичної ідентифікації об'єктів, в якому за допомогою радіосигналів зчитуються або записуються дані, що зберігаються в так званих транспондерах, або радіочастотних мітках. Лише в 1990 році, завдяки співробітництву компаній «IBM» і торгової мережі «Walmart», такі мітки стали використовуватись для ідентифікації споживчих товарів. Такі системи прийнято поділяти на активні, пасивні та напівпасивні. В активних та напівпасивних є своє джерело живлення, а пасивні використовують антену, для отримання енергії із зчитувача. Проте, в гнучкій електроніці прийнято використовувати саме пасивні радіочастотні мітки. Приклад розміщення таких елементів на гнучкій підкладці наведено на рис.4.
- Компанія «Panasonic Corp» розробила склад гнучкого і еластичного полімерного ізоляційного матеріалу на основі гнучких, прозорих електричних провідників і спеціальної струмопровідної пасти для приклеювання провідників до полімерної основи. Комбінація всіх цих трьох компонентів дозволила зробити друковані плати для електронних пристроїв, які можна розтягувати, згинати і деформувати іншими способами без втрати їх функціональності.

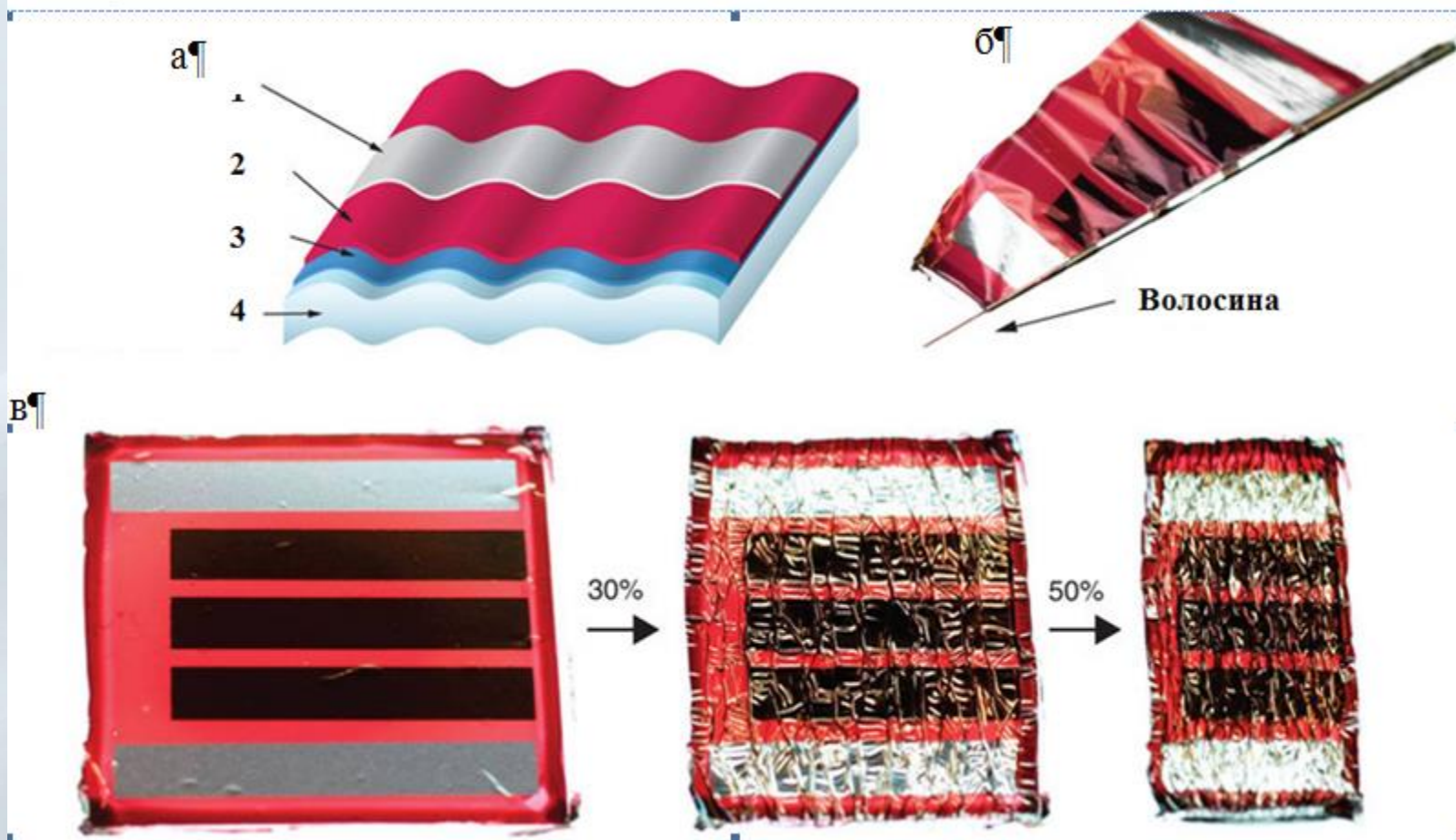


Рис.3. Схема (а) гнучкої органічної сонячної батареї та демонстрація її надзвичайної гнучкості (б) та еластичності (в): 1 – а/Ag металевий електрод (товщиною 115 нм), 2 – активний шар кремнію (товщиною 200 нм), 3 – напівпрозорий прозорий електрод (товщиною 150 нм), 4 – гнучка підкладка ПЕТ (товщиною 1,4 нм).

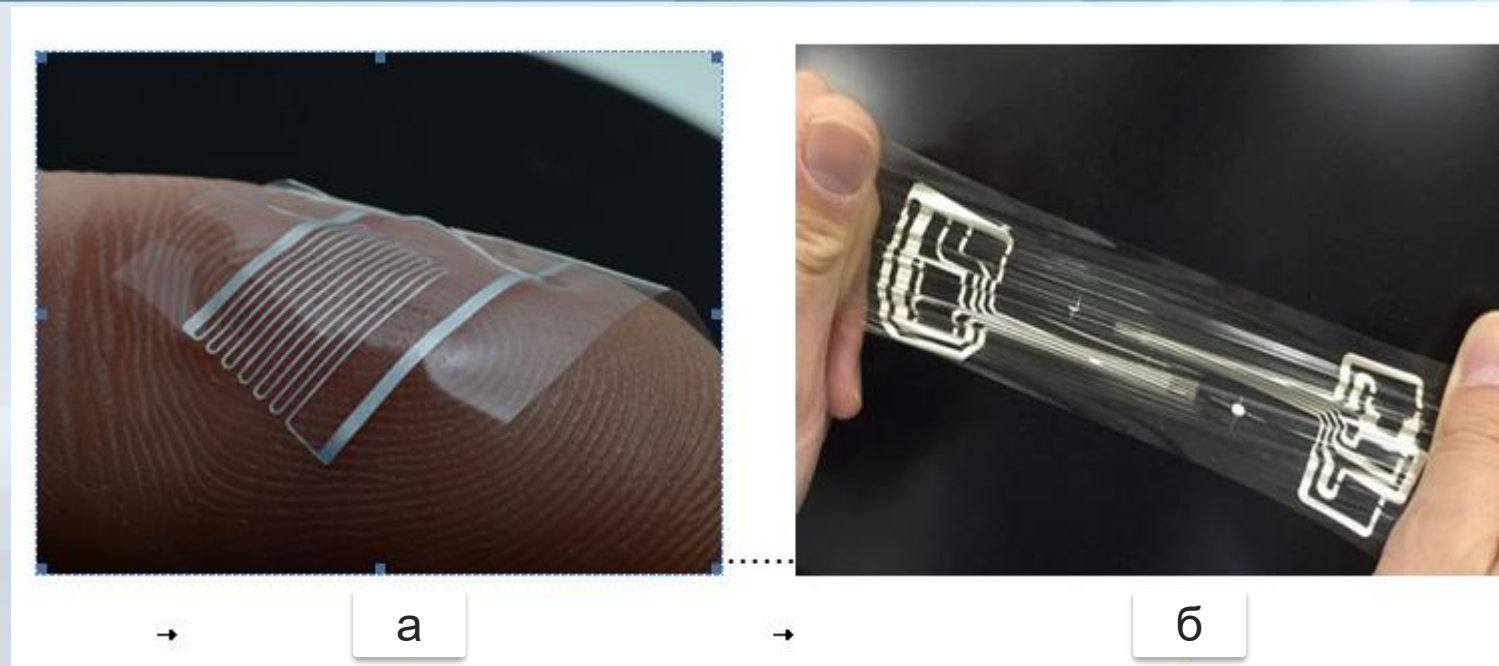


Рис. 4. Загальний вигляд гнучких електронних функціональних структур з демонстрацією їх гнучкості (а) та еластичності (б).

Матеріал, з якого виготовлено основа друкованої плати, може розтягуватися на 150 % від його оригінального розміру. Цей матеріал відрізняється відсутністю клейкості його поверхні, стійкістю до дії вологи, високої температури і деяких інших чинників.



- Такі структури, що зберігають здатність проводити електрику при розтягуванні, вигині або скручуванні, мають високе прикладне значення: штучна шкіра для протезування або аерогелеві моноліти. Аерогелеві моноліти нагадують кухонну губку, а зроблені вони з мідної нанопроволоки з використанням технології, відомої як «сушко-вимерзання». Мідні аерогелеві моноліти проводять електрику і в поєднанні з полімерними еластомерами, матеріалами з високою гнучкістю і еластичністю, можуть утворювати провідну гуму. Такому гумовому провіднику можна надавати будь-яку лінійну, плоску або об'ємну форму без погіршення електропровідності. Крім того, ступінь провідності матеріалу можна регулювати, прикладаючи навантаження.
- Гнучкі сенсори відбитків пальців, які нещодавно з'явилися в індустрії безпеки, пропонують нові можливості біометричних рішень, яких неможливо досягти, використовуючи кремнієві датчики. Крім того, що гнучкий сенсор - тонкий, легкий і небиткий, він дає можливість отримати зображення п'яти пальців одночасно. Крім того, гнучкі датчики можна легко інтегрувати не тільки в плоскі поверхні, але і в різні предмети, такі як автомобільні керма, дверні ручки і побутова електроніка. Такі можливості відкривають двері для виходу на нові ринки і розширення варіантів використання технологій. Гнучкі датчики також легше інтегрувати в смарт-карти, які є ще одним ринком збуту рішень біометрії.

## Питання на практичну роботу.

1. Конструкція і основні характеристики гнучких дисплеїв.
2. Гнучкі фотоелектричні панелі.
3. Елементи гнучкої електроніки.



**Дякую за увагу!**