

амплитудной модуляцией полезного сигнала. Нелинейность статической характеристики дискриминатора в системах без обратной связи может быть в какой-то степени скомпенсирована калибровкой системы, т.е. предварительным нахождением зависимости $k_{\phi}(x)$ и учетом этой функции при дальнейшей обработке сигнала. Однако калибровка - операция трудоемкая, и, как правило, ее требуется вести для каждого экземпляра системы в отдельности. Во-вторых, сравнительная оценка показывает, что в системах без обратной связи обеспечить разрешающую способность значительно труднее, чем в замкнутых, где она достигается специальной формой ДХ.

ВЫВОДЫ. Локационные системы без обратной связи, как правило, целесообразно использовать там, где требуемые точности измерений невысокие и в зоне локации находится не более одного объекта. Приведенные математические модели позволяют с общих позиций приступить к изложению методов исследования локационных систем, а детализация и уточнение структур осуществляются в процессе изучения принципов действия и свойств конкретных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Невлюдов І.Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева. – Київ: НАУ, 2018. – 200 с.
2. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.
3. Nevliudov, Igor, Oleksandr Tsybal, and Artem Bronnikov. "Intelligent means in the system of managing a manufacturing agent." Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries 1 (3) (2018): 33-47.

Научный руководитель: Токарева Елена Витальевна, к.т.н., доцент кафедры КИТАМ Харьковского национального университета радиоэлектроники

УДК 621.3.019; 539.5

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ГНУЧКИХ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ

Ю.М. Піцур, В. К. Матюшенко, А. А. Скрипкин
Харківський національний університет радіоелектроніки
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14
E-mail: ITZR-18-1@nure.ua

В роботі досліджено переваги гнучких комутаційних структур над традиційними жорсткими та гнучко-жорсткими друкованими платами, розглянуті передумови їх створення та застосування в існуючих та нових пристроях, які можуть бути зігнутими, прокатаними, складеними і розтягнутими при збереженні функціональної цілісності

Ключові слова: технічні засоби автоматизації, гнучкі комутаційні структури, сфера застосування

ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING OF FLEXIBLE PRINTED CIRCUIT BOARDS

Yu.Pitsur, V. Matiushenko, A. Skrypkin

Kharkiv National University of Radioelectronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14

E-mail: ITZR-18-1@nure.ua

In this paper, the advantages of flexible commutation structures over traditional hard and flexibly hard printed circuit boards are considered, and the preconditions for their creation and application in existing and new devices that can be bent, rolled, folded and stretched while maintaining functional integrity are considered

Key words: technical means of automation, flexible switching structures, scope

ВСТУП. В сучасних умовах речі дуже швидко змінюються і збільшуються аж до медіа-інтерфейсів, при цьому розмір та форма самого об'єкту зменшується [1]. Із зростанням впливу цих об'єктів на всі сфери життя сучасного суспільства неминучим стає впровадження новітніх технологій [2]. І такою технологією визнано гнучку електроніку, що швидко розвивається як сфера досліджень, розробок, експериментального виробництва [3] та випробувань [4, 5].

У міру ускладнення конструкцій нових видів виробів електронної техніки, на основі гнучких багатошарових структур, може знижуватися ефективність їх проектування, виробництва й експлуатації, зокрема при їх широкому впровадженні у конструкціях компонентів мікроелектромеханічних систем [6].

ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ НА ГНУЧКІЙ ОСНОВІ. Виробництво гнучкої електроніки в наш час орієнтується на виготовлення таких виробів, як надмініатюрні радіотехнічні модулі, в тому числі інтегровані з сенсорами і системами для збору і передачі інформації, мініатюрні навігаційно-орієнтаційні системи для автономної навігації і позиціонування, мікроаналітичні системи типу «лабораторія на чипі» матричного і капілярного типів для біомедичного та технічного контролю біотехносфери, інтелектуальний високоінтегрований багатофункціональний одяг, в тому числі з епідермальною розподіленою сенсорно-виконавчою системою, розподілені, гнучкі і інші мініатюрні джерела енергії, включаючи рекуператори з ефіру і навколишнього середовища, мікроробототехнічні засоби наземного та повітряного базування, дисплеї, гнучкі акумулятори, фотоелектричні, освітлювальні, автомобільні та оборонні прилади та багато ін. (рис. 1) [7].

Сьогодні під гнучкою електронікою розуміють сукупність всіх технологій, які можуть потенційно забезпечити гнучкість пристроїв [8]. Термін «гнучка електроніка» (полімерна, друкована) відображає дві основні складові даного напрямку:

1) матеріалознавчий базис – конструктивно-матеріалознавчі особливості підкладок, систем комутації-ізоляції і функціональних елементів. Для виготовлення пристроїв гнучкої електроніки можна використовувати розчинні і друковані методи, що значно знижує вартість технологічних процесів і збільшує їх продуктивність. Використання матеріалів гнучкою електроніки дозволяє не тільки знизити вартість одного пристрою, але також робити пристрої великої площі, знизивши при цьому вартість одиниці площі. Це відіграє велику роль у виробництві дисплеїв і сенсорних інтерфейсів [8];

2) технологічний базис – комплекс способів формування функціональних елементів і систем комутації-ізоляції, заснованих на друкованих рулонних трафаретних і крапельно-струменевих технологіях. Перевагою таких технологій є більш прості і дешеві виробничі процеси, які дозволяють знизити вартість кінцевих пристроїв в порівнянні з традиційними технологіями електроніки. Так, можна знизити кількість циклів фотолітографії, уникнути високотемпературних процесів і спеціальних вакуумних умов [9].

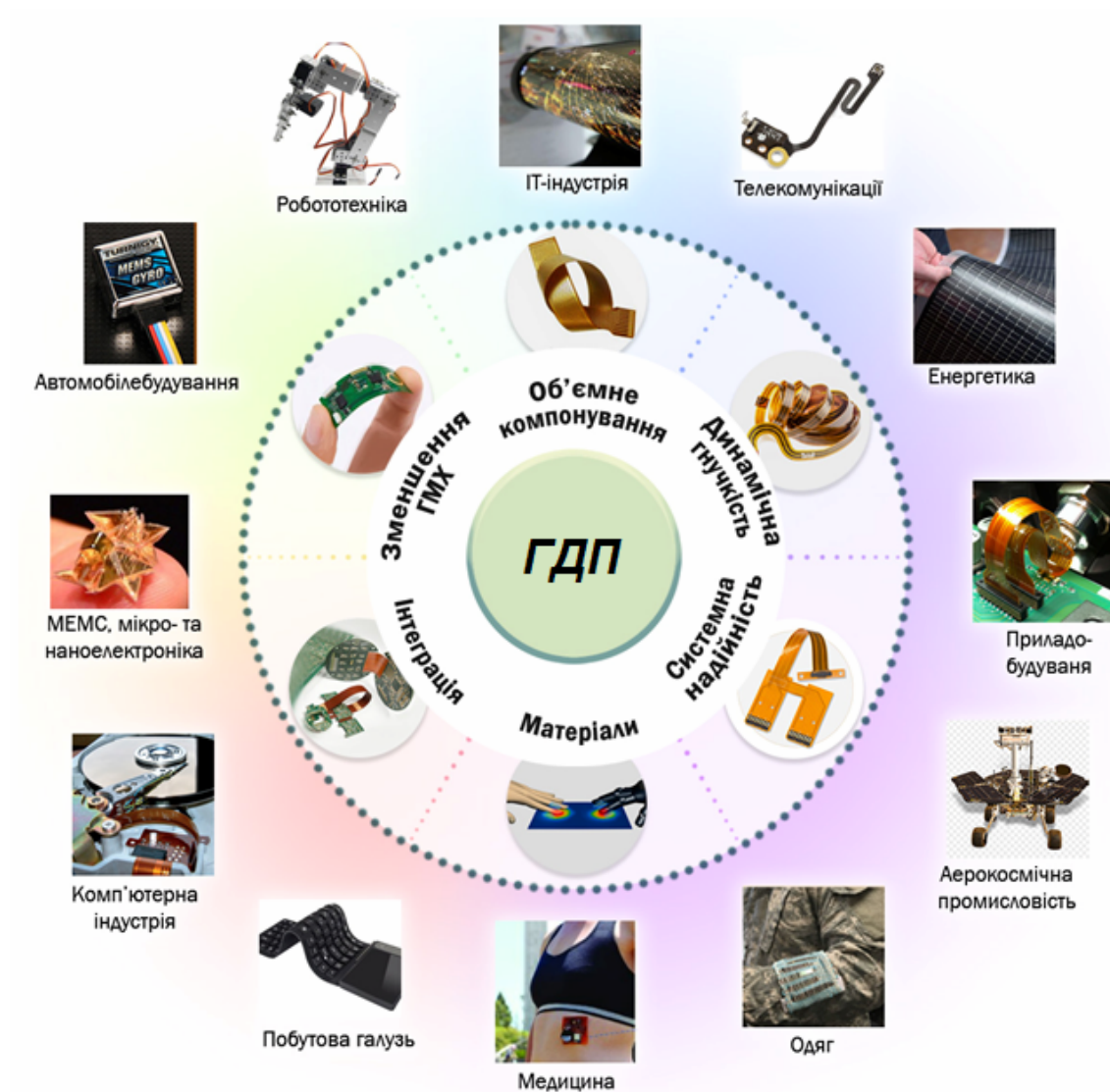


Рисунок 1 – Спектр можливих застосувань ГДП [7]

МАТЕРІАЛОЗНАВЧИЙ БАЗИС. Домінуючим базовим матеріалом для виробництва гнучких друкованих плат (ГДП) є поліімід. Хоча поліетилентерефталат значно дешевше, його застосовують значно рідше через більш вузький діапазон робочих температур і недостатню розмірну стабільність. Незважаючи на недоліки поліетилентерефталату, він все ж має ряд переваг, таких, наприклад, як хороша хімічна стійкість і низьке вологопоглинання, а також він легко формується (низькотемпературний термопласт) [10].

Адгезиви використовуються як для з'єднання мідної фольги з будь-якою плівкою, об'єднання шарів багат шарових конструкцій, приклеювання захисних шарів і ущільнювачів, так і створення клеєних ділянок на поверхні ГДП.

Мідна фольга використовується двох типів – катана ненагартована та електроосаджена. Катана фольга має більш високі механічні властивості, ніж електроосаджена, тому застосовується в основному для виробництва ГДП, розрахованих на динамічне навантаження і ГДП з подальшим формуванням контактів. Матеріали з алюмінієвою фольгою зустрічаються рідше, в основному, в екрануючих матеріалах.

Захисне покриття – це діелектричний матеріал, захищаючий зовнішні провідні шари від впливу навколишнього середовища. Може бути як у вигляді поліімідної або ПЕТФ плівки з нанесеному з одного боку шаром адгезиву, так і у вигляді рідкої фотопроявної композиції.

Плівкові матеріали характеризуються гармонійно поєднаною гнучкістю з базовими матеріалами, високою електричною і механічною міцністю, але обробляються, в основному, механічними способами, тому топологія захисних шарів має роздільну здатність. Рідкі фотопроявні покриття позбавлені цього недоліку, але так само в більшості своїй позбавлені і описаних вище переваг плівкових покриттів.

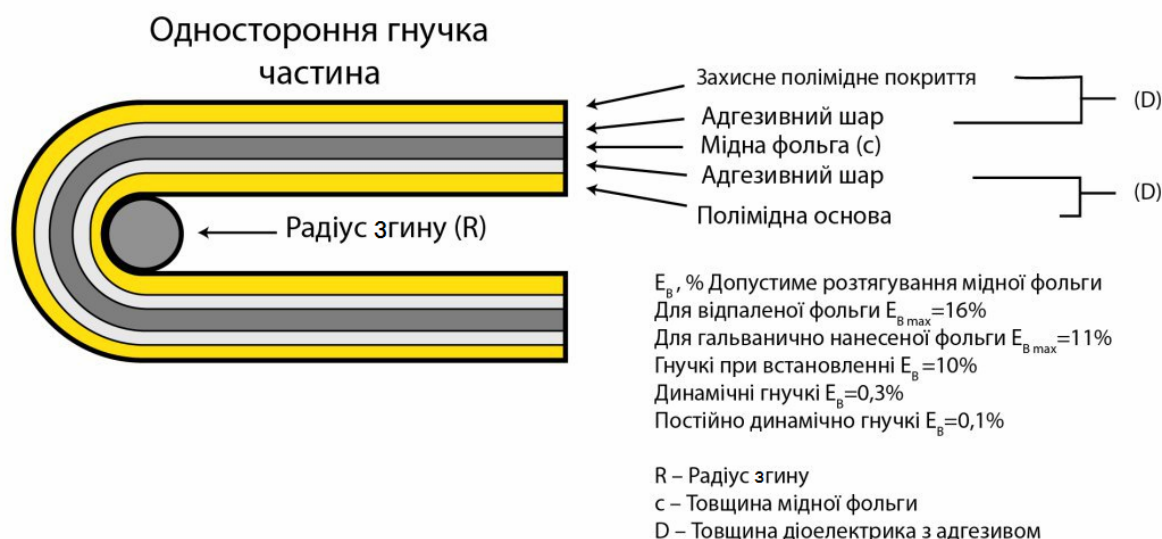
Екрануючі покриття – окремий тип покриттів, призначений для екранування провідників ГДП. Існує так само у вигляді плівкового композитного матеріалу і у вигляді рідких полімерних композицій, що містять наповнювач з провідних матеріалів, таких як мідь, срібло, графіт. Плівковий матеріал являє собою композит з діелектричного базового шару (поліфенілсульфід, PPS), шару алюмінієвої фольги електропровідного адгезиву, що дозволяє електрично зв'язати екрануючий і зовнішні провідні шари. Рідкі покриття наносяться методом сіткографії.

Для додання жорсткості окремих частин гнучких плат використовують додаткові елементи – ущільнювачі. Для їх виготовлення застосовують різні матеріали, що володіють необхідною жорсткістю: в основному це поліімід і FR4, рідше – алюміній і сталь. Як клеєні шари для ущільнювачів використовують адгезиви, чутливі до тиску або температури.

Існує досить широкий спектр матеріалів, призначених для виготовлення гнучких ПП, що відповідають різним вимогам механічних і електричних характеристик. Тим часом, далеко не всі виробники гнучких друкованих плат мають весь спектр вироблених матеріалів в наявності і обмежуються, як правило, певним набором «стандартних» типів, тому бажано заздалегідь уточнити у виробника ПП список наявних у нього матеріалів. Вибір рідко використовуваного типу матеріалу може спричинити за собою значне збільшення вартості друкованих плат і термінів виробництва.

За базу, як правило, використовують фольгований діелектрик, фольга в якому приклеєна до основи за допомогою адгезиву. Існують так само і безадгезивні матеріали, які, як правило, мають більш широкий робочий температурний діапазон, звичайний обмежуваний адгезивами, на рівні + 150 °С.

На рис. 2 показана структура адгезивного ламінату для двосторонніх і односторонніх гнучких друкованих плат відповідно [11]. У таблиці 1 представлені найбільш поширені базові матеріали.



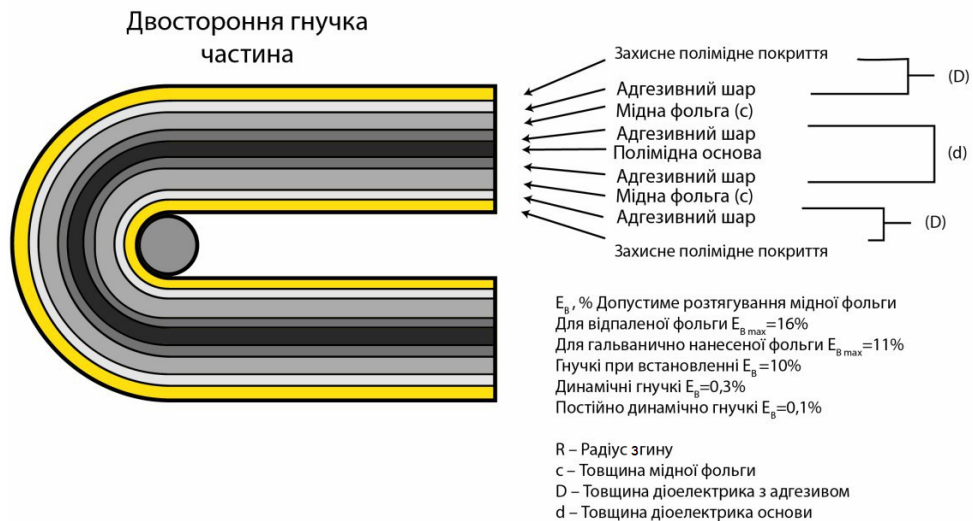


Рисунок 2 – Структура адгезивного ламінату для двосторонніх і односторонніх ГДП

Таблиця 1 – Найбільш поширені базові матеріали

Провідні шари	Поліімід	Адгезив	Фольга
1	12,5 мкм	13 мкм	18 мкм
	25 мкм	25 мкм	18 мкм
	25 мкм	25 мкм	35 мкм
2	12,5 мкм	13 мкм	18 мкм
	25 мкм	25 мкм	18 мкм
	25 мкм	25 мкм	35 мкм

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ БАЗИС. Дослідження в області матеріалів та механіки для гнучкої та розтяжної електроніки [3] обіцяють захоплююче майбутнє у носимій обчислювальній техніці та виробництві інтелектуальних об'єктів, але все ще далекі від індивідуальної конструкції. Перша – виготовлення методом рулонної обробки [3]. Літографія Roll-to-roll здатна до розміщення провідника дуже високої роздільної здатності на гнучких матеріалах підкладки, але при порівняно високій вартості.

Іншим способом виготовлення великомасштабних, недорогих гнучких матеріалів є адитивний друк провідників благородних металів, органічних провідників і навіть напівпровідників. Однак електричні та механічні характеристики отриманих матеріалів не роблять їх адекватною заміною для більш традиційних технологій виробництва. Третій підхід зосереджений на методах друку металевих провідників з наночастинок. Ці методи в даний час розробляються, тому деякі з них все ще є основними. Процеси друку на рулоні, які широко використовуються в схемах роз'ємів дисплея для забезпечення додаткової еластичності з'єднання при вбудовуванні і обмеженні задньої панелі (рис. 3) [3].

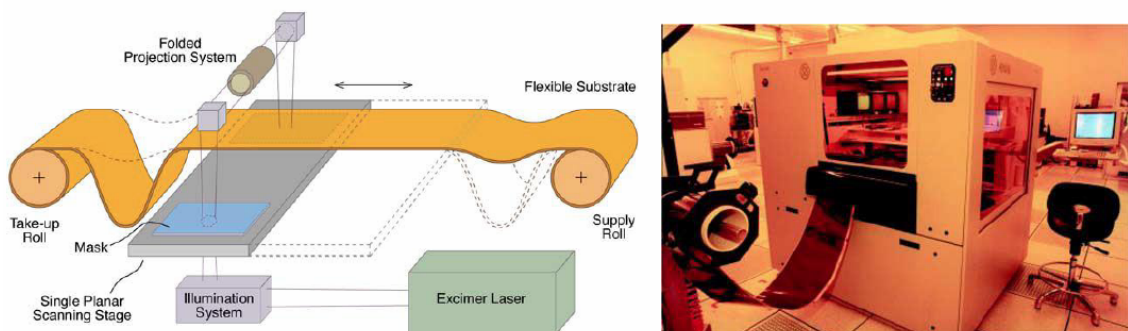


Рисунок 3 – Процеси друку на рулоні [3]

Другий процес – це друк кондуктивних слідів за допомогою срібних чорнил і готового струменевого принтера. Брались провідні срібні чорнила від Mitsubishi Paper Mill і друкували провідні сліди на папері. Опір листа становить $0,11 \Omega / \square$, $8 * 10^{-6}$ Ом-см, товщина 0,75 мкм. Друк – це процес хімічного спікання, а опір листа досягає стабільного стану через 5 ~ 10 хвилин, залежно від паперу. Незважаючи на те, що цей процес має меншу довговічність до вигину, друк із готовим принтером представляє велику перевагу в швидкому прототипуванні.

В експерименті вчені замінили чорнильний картридж (рис. 4 (b)) струменевого принтера (Brother DCP-J1 40W), а також налаштувавши налаштування друку; змогли виробляти провідні срібні сліди з однаковою якістю провідності. Перевагою даної методики є можливість швидкого створення прототипів на робочому столі. Також можна поєднати відбитки з кольоровими пігментами і навіть зондуючими матеріалами, щоб мати мультимодальний сенсорний лист, виготовлений в тому ж процесі.



(a) Приклад струменевого принтера з чорнильними картриджами із срібними наночастинками; (b) Срібні нано-чорнило і картриджі для заміни чорнила; (c) Приклад роздруківки з паперових заводів Mitsubishi обмежений

Рисунок 4 – Провідний струменевий друк з друкowanими послугами та чорнилом з провідними срібними частками [3]

Щоб реалізувати бачення гнучкої електроніки і сенсорних поверхонь, необхідно роздрукувати кожен окремий компонент, включаючи датчики, компоненти, такі як транзистори, батареї і навіть масиви пам'яті [3]. Рисунок 5 – ілюстрація художника [12] про майбутнє гнучкої електроніки, де стрічка датчика об'єднує тиск, датчики прискорення, електроніку для обробки сигналів, пам'яті і тонкоплівкових батарей. Ця компактна, автономна сенсорна стрічка може бути прикріплена до шолома для доступу до можливих травм мозку.

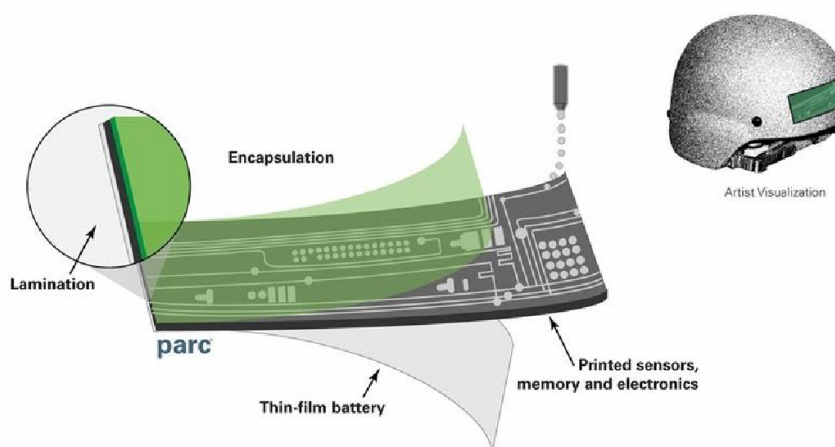


Рисунок 5 – Ілюстрація гнучкої друкованої стрічки датчика для діагностики легкої травматичної черепно-мозкової травми [3]

ВИСНОВКИ. Хоча гнучка технологія, для впровадження технології Industry 4.0, готова забезпечити безпрецедентну функціональність у майбутньому, на цьому етапі розвитку традиційні схеми все ще мають більш високі продуктивні можливості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Gong N. W. Design and applications of inkjet-printed flexible sensate surfaces : дис. – Massachusetts Institute of Technology, 2013.
2. Святний В.А. Сучасні тенденції в автоматизації промислових комплексів / В.А. Святний, Д.Ю. Бровкіна // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2016. – № 1. – С. 32-39
3. Wong W. S., Salleo A. (ed.). Flexible electronics: materials and applications. – Springer Science & Business Media, 2009. – Т. 11. – 461 p.
4. Стенд для динамічних випробувань гнучких комутаційних шлейфів та МЕМС-компонентів: патент № 108066 України на корисну модель: МПК G01M 7/02 (2006.01) / О.С. Боцман, І.В. Жарікова, В.В. Невлюдова, С.П. Новоселов та ін.; опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12. - 3 с.
5. Reboun, J., Pretl, S., Navratil, J., & Hlina, J. (2016). Bending endurance of printed conductive patterns on flexible substrates. Paper presented at the Proceedings of the International Spring Seminar on Electronics Technology, 2016 – September 184-188. doi:10.1109/ISSE.2016.7563185 Retrieved from www.scopus.com
6. Невлюдов І.Ш. Мікросистемна техніка та нанотехнології: Монографія / І.Ш. Невлюдов, В.А. Палагін. – К. : НАУ, 2017. – 528 с.
7. Демська Н.П. Гнучкі комутаційні структури: аналіз технологій та галузі застосування // Технологія приборостроєння. - 2019, №2. с. 42-48
8. Афанасьев П., Бохов О., Лучинин В. Создание технологического кластера гибкой печатной электроники //Наноиндустрия. – 2014. – №. 3. – С. 52-56.
9. Глушкова А.В. Гибкая электроника: настоящее и будущее [Электронный ресурс]: режим доступа: [https://phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-2017/04\(126\)-2017/25457/](https://phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-2017/04(126)-2017/25457/)
10. Медведев А. Гибкие печатные платы. Преимущества и применение / А. Медведев, Г. Мылов, Ю. Набатов, В. Люлина //Компоненты и технологии. – 2007. – №. 9. – С. 202-208.
11. Медведев А.М. Материалы для гибких печатных плат // Технологии в электронной промышленности. – 2011. – № 3.
12. "eMbedded Organic Memory Arrays (MOMA project)," [Online]. Available: <http://www.moma-project.eu/>.

Науковий керівник: Демська Наталія Павлівна, старший викладач кафедри КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки