

ИНТЕГРИРАНИ ЕЛЕКТРОННИ ЕЛЕМЕНТИ В ТЕКСТИЛНИТЕ МАТЕРИАЛИ

Павлик РАХНЕВ¹, Силвия ЛЕЦКОВСКА², Камен СЕЙМЕНЛИЙСКИ²

e-mail: pavlikrahnev@abv.bg, silvia@bfu.bg, kdimitrov@bfu.bg

¹Университет "Професор д-р Асен Златаров" - Бургас

²Бургаски свободен университет - Бургас

РЕЗЮМЕ

Понятието "електроника в облеклото" се появява преди около 10 години и се отнася за техника, включваща устройства, "носени" от потребителите - ръкавици, обувки и други аксесоари. Основното изискване към тези устройства са надеждността и удобството при носене. Има няколко аспекта в изследователската работа за създаването на такива устройства: вид на приборите и устройствата; конструкция на конкретния прибор; технология на производство; цена на създадения продукт. Като начало е създаването на автономно електрическо захранване - слънчеви клетки върху текстил. Вторият аспект е създаването на дисплеи на текстил. Това означава използването на добре познати органични светодиоди. Има много специфични устройства в електрониката като контролери, сензори за телесна температура и влажност, комуникация и др. Основните технологични въпроси при избора на технология са съсредоточени върху отлагане и формиране на различни материали, проводници, полупроводници и диелектрици върху текстил.

Ключови думи: умен плат, текстилна електроника, гъвкава електроника, електронни текстилни материали, органична електроника.

ELECTRONICS INTEGRATED IN TEXTIL MATERIALS

Pavlik RAHNEV¹, Silviya LETSKOVSKA², Kamen SEYMENLIYSKI²

e-mail: pavlikrahnev@abv.bg, silvia@bfu.bg, kdimitrov@bfu.bg

¹University "Prof. Dr. Assen Zlatarov" - Burgas, ²Burgas Free University - Burgas

ABSTRACT

The term weareble electronics has arrived approximately ten years ago. This technique includes devices weared by the customers as gloves, shoes and other accessories. The main requirement against this is reliability and comfortability in wearing. There are several aspects in these research works: Type of devices; Design of particular device; Technology of production; Price of the built product. As a begining, creating of autonomous electrical suply is important – solar cells on textil. This will give the independance for the customers from energy sources. Second aspect is creating displays on textil. It means using well known organic LED. There are many specific devices in electronics as charge controlers, sensors for body temperature and humidity, communication and etc. The main technology question in the choice of technology for deposition and performing of conductive materials, semiconductors and dielectrics on textitile.

Keywords: smart cloth, textile electronics, flexible electronics, E-textile materials, organic electronics.

1. Видове и приложения на Е-тъканите

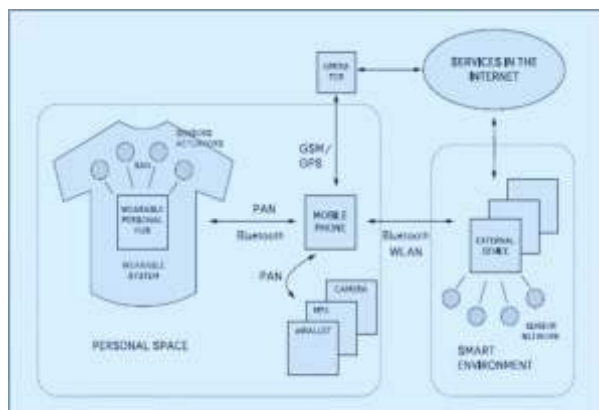
Е-тъканите ("електронна тъкан", "умна тъкан", "умни дрехи") са вид текстил, съдържащ електроника, в който успешно са интегрирани цифровите технологии [<https://en.wikipedia.org/wiki/E-textiles>].

Електронният текстил се отличава от приборите, отнасящи се към класа носими компютри, вградени в компоненти на дрехите, т.к. акцентът при него е вграждането без механичен контакт на електронни компоненти, такива като микрокомпютри, датчици или превключватели в тъканта [Gaddis, Rebecca (May 7, 2014)].

Появата на концепцията «носима електроника» е свързано с развитието на редица технологии [Cherenack, Kunigunde; Pieteron, Liesbeth van (2012-11-01)].

На първо място - с достиженията в областта на миниатюризацията и интеграцията на електронни компоненти, осигуряващи малки размери за носимите устройства и появата на нови сфери на приложение и сервизни функции.

Високото ниво на интеграция, развитието на пазара на мобилните устройства, новите технологии - всичко това наложи нови области на потребление.



Фигура 1 Типичен пример за "носима" електроника.

Електронната техника се премести от ниво на преносима или портативна до ниво на постоянно използвана (умни дрехи) и осигуряваща комфорт на човека.

Тя има широк спектър на използване - за развлечение, комуникация и връзки, военна екипировка, в медицината и здравеопазването, спорта, модата, осигуряването на лична безопасност и други (Фигура 1).

Устройствата за такъв тип електроника не са от днес, първите такива са ръчните електронни часовници. След тях - мобилните телефони и плеерите.

Днес тези устройства имат огромни изчислителни ресурси, достатъчни за автономно решаване на комплексни задачи от различен характер [US 6210771].

Вградени микродисплеи, видеокамери, персонални връзки, интегрирани устройства за въвеждане на данни и управление, датчици - всичко това се осигурява от широк спектър устройства на носимата електроника.

Основните фактори, определящи прогреса на умната тъкан са високото ниво на миниатюризация на пасивните и активни компоненти, развитието на технологиите на автоматизиран монтаж, разработката и активното използване на нови технологии и материали.

Това от една страна води до намаляване на цените, от друга - до навлизането на широкия пазар на технологии, първоначално предназначени за специализираните сектори, в които цената не е от голямо значение (специални дрехи, скафандри за пилоти и космонавти, пожарникари и подводничари).

На този етап може да се класифицират два типа или две поколения «умни дрехи».

Към първото поколение може да се отнесат дрехите, в които са предвидени части или джобове за разполагане на електрониката, а също вшити проводникови съединения между различните елементи на дрехата.

В този случай при пране или чистене на дрехите електронните блокове се свалят от дрехата.

Отделно направление е електронният текстил (e-textile).

Първоначално този термин е определял типа на тъканния материал с вшити нишки за създаване на съединения между електронните устройства.

Тъканта се ползва за ушиване на «умна дреха» (smart fabrics) с интеграция на функционални електронни устройства.

Компонентите и съединенията са части от тъканта, те са невидими и невъзприемчиви при пране и чистене, не се влияят от движенията.

Днес се използват не само проводящи материали и технологии на свързване, но и вшити устройства за въвеждане на информация в компютър, антени, датчици, т. е. в тъканта се

интегрират пасивни компоненти на носимата електроника.

Второто поколение «умни дрехи» се нарича System On Textile - SOT.

Получената система се отнася и към класа носимата електроника.

В редица случаи «умната тъкан» или дреха може да се получи и без допълнителни електронни устройства. Това става на база на уникални свойства на използваните материали.

Пример за такъв тип «умна дреха» може да е т.н. «течна броня». Материалът на тази дреха има две състояния - еластично, в неактивно състояние и свръх твърдо, когато защитата е «включена».

Има две различни технологии на "течната броня".

В първата се ползва специална течност от наночастици (практически «течен метал»). Тя се нарича «бързо втвърдяваща се течност». Течността е между два слоя здрава тъкан и не се изпарява.

Тя може да стане свръх яка за милисекунди под въздействие на външен «възбудител», такъв като куршум, нож и други подобни.

Налягането на удара при попадане на куршум, например, се разпределя на по-голяма площ и по-интензивно «втвърдява» течността, колкото по - силен е удара.

Друга технология използва като материал с модифициращи свойства магнитна течност (magnetorheological fluid), за втвърдяването на която се изисква силно магнитно поле.

2. Технологии и устройства на «електронната тъкан»

Технологиите «електронна тъкан» и «гъвкава електроника» (flexible electronics) са взаимно свързани.

Връзката е създаването на нови материали и методи за производство на електронни схеми на гъвкави подложки.

За вграждане в структурата на тъканта се изисква гъвкава клавиатура, гъвкав дисплей, гъвкави датчици за налягане и температура.

Методите са доста различни и всеки от тях има много специфична функция, като например проводимост, гъвкавост, биосъвместимост, механична устойчивост и миене.

Въпреки това, само няколко подхода са в състояние да отговарят на всички тези изисквания.

Проводниковите съединения се вплитат в Силата на натиск са фиксира от електронна схема, като се определя положението на точката на натиск и силата. процеса на формиране на тъканта.

Топологията на проводниците, вплетени в тъканта трябва да осигури потенциална възможност за съединения на различни електронни компоненти в дрехата, изготвени на базата на такава тъкан.

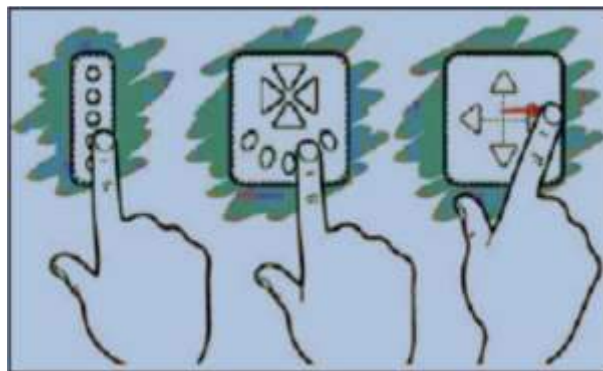
Материалът на проводниците трябва не просто да осигурява добра проводимост, но и да е еластичен и износоустойчив, за да издържи на многократни деформации, възникващи при носене и пране.

Той също трябва да е пригоден за монтажа на електронните компоненти.

Монтажът на модула на интегралната схема с проводникови съединения в тъканта може да стане със спояване или с използване на ACF (анизотропен проводящ залепващ филм), или като се ползва модул с гъвкава подложка.

2.1. Интерфейси

Технологията на текстилния тъчпад включва създаването на тъкан, чувствителна на натиск.



Фигура 2 Форми на текстилен тъч пад за вграждане в дрехи.

Такъв материал трябва да има всички свойства на обикновената тъкан и успоредно с това да позволява да се формира управляващ интерфейс за вградена в дрехата електроника (**Фигура 2**).

Тъканта е устойчива на огъване, пране, износване.

Трябва да се различават типовете докосвания - от лек натиск до силен удар.

Предлагат се тъкани с пет слоя материали (*Фигура 3*), които формират резистивната матрица.

Външният и централният са проводящи, около централния има два изолиращи слоя.

Тези параметри се интерпретират като команди за управление на електронно устройство, вградено в дрехата, например такова като iPod, мобилен телефон, смартфон или персонален компютър.



Фигура 3 Формиране на резистивната матрица.

2.2. Мастила

Електронният текстил може да се произведе чрез използване на проводими мастила. Те са на база на метали - Ag, Cu, и Au.

Повечето мастила са на водна основа: водата е основният компонент на мастилото и трябва да бъде възможно най-чиста.

Такива специализирани мастила могат да бъдат всички електропроводими мастила, които съдържат проводими компоненти и могат да бъдат принтирани (отпечатани) върху различни материали, сред които е и текстилът.

Ситопечатът също може да се интегрира с планарната електроника.

Има няколко технологии за печат на проводими материали на различни подложки

Мастилено-струйният и ситопечат са най-добри за малки обеми и висока точност на работа.

Мастилено-струйните устройства са гъвкави и разнообразни, и могат да бъдат създадени с относително малки усилия.

Те предлагат по-ниска пропускателна способност от около $100 \text{ m}^2/\text{h}$ и по-ниска резолюция (около $50 \text{ }\mu\text{m}$), подходящи за водоразтворими материали като органични полупроводници [Yang-Li Yang; Min-Chieh Chuang; Shyh-Liang Loub; Joseph Wang (2010)].

При използване на материали с висок вискозитет, като органични диелектрици и дисперсни частици, като неорганични метални мастила, възникнат затруднения поради запушване на дюзите.

За мастилено-струен печат, мастилата трябва да отговарят на следните изисквания: висока електропроводимост; устойчивост към окисление; съхнене без запушване на дюзата по време на печат; добра адхезия към основата; ниска агрегиране на частиците; подходящ вискозитет и повърхностно напрежение.

Ситопечатът е подходящ за електрозахранване и електроника, благодарение на възможността за получаването на дебели слоеве от пастообразни материали.

Методът може да се прилага за плоски или цилиндрични повърхности [Chuang, M.-C.; Windmiller, J. R.; Santhosh, P.; Ramírez, G. V.; Galik, M.; Chou, T.-Y.; Wang, J. (2010)].

В зависимост от материала на подложката и на изискванията за печатните структури може да се наложи прилагане на висока температура на уплътняване (органична подложка $T < 150^\circ \text{C}$, стъкло, керамика и метална основа $T > 500^\circ \text{C}$).

Този метод може да се ползва за получаване на пътечки от неорганични материали (например, за платки и антени), но също така и за изолационни и пасивиращи слоеве.

Обикновено производителността е около $50 \text{ m}^2/\text{h}$ с резолюция, по-ниска от 100 микрона.

Чрез оптимизиране на процеса и материала резолюцията може да се намали до 30 микрона линия за тънки гъвкави подложки.

2.3. Проводими материали като сензори

Проводимият текстил, който променя своите електрически свойства в резултат на въздействието на околната среда, може да се използва като датчик.

Типичен пример са текстилните продукти, които реагират на деформации, такива като сензори на налягане, на деформация, на дишане [Kerstin Malzahn; Joshua Ray Windmiller; Gabriela Valdés-Ramírez; Michael J. Schöning; Joseph Wang (2011)].

Влакната, които се използват за дрехи трябва да са от тъкани с по-ниско тегло на единица площ (не повече от 300 g/m^2).

Тези изисквания са в противоречие с материалите и геометриите, които са необходими за

постигане на оптимална електропроводимост, защото включването на елементи като метални проводници в текстила увеличава твърдостта и намалява еластичността.

Често в литературата не се прави разлика между метални проводници и метални нишки. Докато един тънък проводник е с диаметър между 30 микрона до 1.4 mm, металното влакно притежава диаметър от 2 до 40 микрометра.

Предимствата на металните влакна са в тяхната здравина, състав, биологична инертност.

Благодарение на инертността текстилът не е чувствителен към измиване или изпотяване. Въпреки това, те не могат да осигурят еднакво загряване и техните характеристики могат да повредят машините за прене с течение на времето.

Освен това, те са по-тежки, отколкото повечето текстилни влакна и се произвеждат трудно.

Използвайки подхода "проводяща нишка", без допълнителна стъпка след производството на плата се изисква да създаде проводимост.

Проводимостта на тези нишки е в обхвата от $10 \div 500 \Omega/m$.

В момента най-използваните методи за производство на електропроводими влакна са:

- включване на проводими пълнители (сажди, метални жици, графит и метален прах или люспи от Al, Cu, Ni, Ag);
- смесени материи, използващи проводими метални или полимерни влакна (*Фигура 4*).



Фигура 4 Приложение на полимерни влакна.

Сензорите за деформация се използват предимно за наблюдение и следене на параметрите на тялото, тъй като текстилът на дрехата е в контакт с кожата на голяма площ на тялото.

Това означава, че контролът може да се проведе на няколко места по тялото.

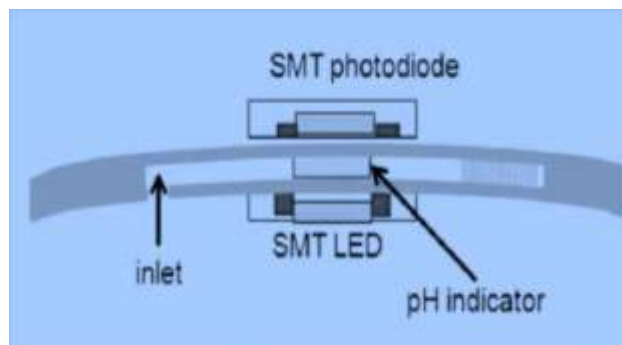
Тези сензори могат да се използват за определяне на пулс, дишане, движение и кръвно налягане.

Специфичната структура на текстилните датчици е свързана с интегрирането на влакна с пиезосъпротивителни свойства, което позволява използването им като деформационни сензори.

Първият подход за интегриране на електроника в текстилни структури със сигурност е създаването на ръкавици, свързани към компютъра, за предаване на жестове на потребителя.

Сензори в ръкавицата регистрират движения на ръката, а четири проводника са използване за всеки пръст, за да се създаде схема.

Получените напрежения са различни в зависимост от позицията на пръста.



Фигура 5 Интегрална схема върху текстил.

Разработено е и ново поколение, базирани на текстил химически сензори, които са в състояние да подобрят работата на конвенционалните физически сензори с повече информация.

Отпечатани на гъвкава и текстилна основа електрохимическите сензори могат да бъдат кандидати за неинвазивно наблюдение, но тези устройства не могат лесно да бъдат закрепени към тялото и по-специално на кожата.

Разработен е микрочип за измерване на промените в киселинността pH на потта (фиг. 5).

Промяната в цвета на чувствителен плат се отчита с използването на LED и фотодиоден модул, присъединени чрез повърхностен монтаж (SMT) от двете страни на чипа.

Устройството има 180 микрона дебелина е гъвкаво и може да се адаптира към тялото.

2.4. Захранване

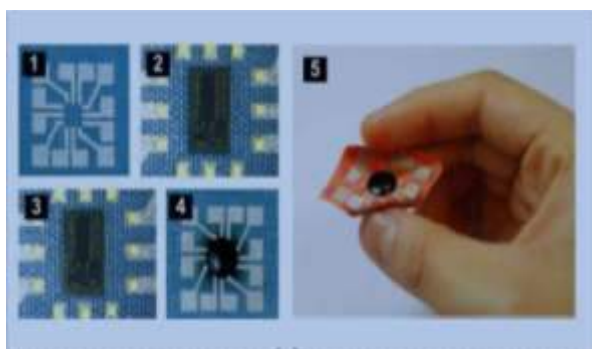
Технологиите за захранване на компонентите, интегрирани в електронен текстил все още са критичен въпрос в областта на носимата електроника.

Въпреки значителните успехи - създаване на литиеви батерии, източниците на мощност не са в крак с напредъка, поради слабата си механична стабилност.

Поради тези причини се работи по създаване на системи, позволяващи натрупване на енергията, разсейвана от тялото [Michael R. Lee; Robert D. Eckert; Karen Forberich; Gilles Dennler; Christoph J. Brabec; Russell A. Gaudiana (12 March 2009)].

2.5. Технология на печатни платки

Planar Модерни Circuit Board (P-FCB) е една от най-новите технологии, които позволяват изпълнение на печатната платка върху обикновен плат за носимата електроника.



Фигура 6 Интегрална схема върху текстил.

Равнинните електроди се отлагат върху плата директно чрез печат през копринено сито на проводими епоксидни материали или от чрез разпрашване на злато.

Първо схемното опроводяване се прави върху плата чрез ситопечат.

Така интегралната схема (ИС) се получава върху плата с опроводяването.

В края на порцеса интегралната схема се залива с непроводима епоксидна смола (Фигура 6).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Cherenack, Kunigunde; Pieterse, Liesbeth van (2012-11-01). "Smart textiles: Challenges and opportunities". *Journal of Applied Physics* (published 7 November 2012). 112 (9): 091301. ISSN 0021-8979. doi:10.1063/1.4742728
- [2] Chuang, M.-C.; Windmiller, J. R.; Santhosh, P.; Ramírez, G. V.; Galik, M.; Chou, T.-Y.; Wang, J. (2010). "Textile-based Electrochemical Sensing: Effect of Fabric Substrate and Detection of Nitroaromatic Explosives". *Electroanalysis*. 22 (21): 2511-2518. doi:10.1002/elan.201000434
- [3] Gaddis, Rebecca (May 7, 2014). "What Is The Future Of Fabric? These Smart Textiles Will Blow Your Mind". *Forbes*. Retrieved 2015-10-16.
<https://en.wikipedia.org/wiki/E-textiles>
- [4] Kerstin Malzahn; Joshua Ray Windmiller; Gabriela Valdés-Ramírez; Michael J. Schöning; Joseph Wang (2011). "Wearable Electrochemical Sensors for in situ Analysis in Marine Environments". *Analyst*. 136 (14): 2912-2917.
- [5] Michael R. Lee; Robert D. Eckert; Karen Forberich; Gilles Dennler; Christoph J. Brabec; Russell A. Gaudiana (12.03.2009). "Solar Power Wires Based on Organic Photovoltaic Materials". *Science*. American Association for the Advancement of Science. 324 (5924): 232-235. doi:10.1126/science.1168539
- [6] US 6210771 "Electrically active textiles and articles made therefrom."
- [7] Yang-Li Yang; Min-Chieh Chuang; Shyh-Liang Loub; Joseph Wang (2010). "Thick-film Textile-based Amperometric Sensors and Biosensors". *Analyst*. 135 (6): 1230-1234. doi:10.1039/B926339J