

УДК 621.38.049

ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОРГАНІЧНИХ ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР

З. Ю. Готра

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри*

Н. І. Кус

Аспірант*

E-mail: kusnatasha@gmail.com

В. В. Черпак

Доктор технічних наук, професор*

П. Й. Стахіра

Доктор технічних наук, професор*

Г. І. Баріло

Кандидат технічних наук, доцент, старший викладач*

*Кафедра «Електронні прилади»

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

В роботі проведено аналіз органічних матеріалів для використання в транзисторних структурах. Запропоновано та розроблено систему вимірювання параметрів органічних транзисторних структур. Змодельовано схему електричну принципову у програмному середовищі Proteus. Досліджено вихідні та передаточні вольт-амперні характеристики органічних транзисторних структур

Ключові слова: напівпровідниковий шар, органічні транзисторні структури, вимірвальна система

В работе проведено анализ органических материалов для использования в транзисторных структурах. Предложена и разработана система измерения параметров органических транзисторных структур. Смоделирована схема электрическая принципиальная в программной среде Proteus. Исследованы выходные и передаточные вольт-амперные характеристики органических транзисторных структур

Ключевые слова: полупроводниковый слой, органические транзисторные структуры, измерительная система

1. Вступ

На сьогодні інтенсивно досліджуються органічні матеріали для використання в транзисторних структурах в якості напівпровідникового шару [1, 2]. Такий інтерес насамперед зумовлений тим, що в порівнянні з традиційними кремнієвими пристроями вартість транзисторних структур є значно меншою, технологічно вони формуються при низьких температурах, а їх базова технологія виготовлення стає все простішою, крім того потенціально спроможність формування органічних польових транзисторів на гнучких підкладках дає можливість інтегрувати їх як активні матричні елементи гнучких дисплеїв [3].

Органічні напівпровідники показують цікаві характеристики аналогічні і відмінні від неорганічних напівпровідників. Перенесення заряду і емісійні властивості органічних напівпровідників інтенсивно досліджувалися протягом багатьох років. При включенні органічних напівпровідників в структуру польового транзистора, оцінюють їх характеристики переносу заряду в сукупності з конкретним під затворним діелектриком, таким як SiO₂. При прикладенні від'ємної напруги на затворі багато з цих матеріалів проявляють діркове накопичення, однак якщо змінити полярність напруги на затворі на позитивну то накопичення електронів спостерігається набагато менше.

Крім того, слід зауважити, що рухливості носіїв заряду для органічних низькомолекулярних матеріалів таких як фталоціанін, пентацен, антрацен та по-

хідні карбазолів є співмірними з аморфно гідрованим кремнієм(a-Si; H) [4, 5]. Зіркоподібні молекули характеризуються аморфністю завдяки непланарності молекул [6].

У зв'язку з технологічними особливостями виготовлення органічні польові транзистори володіють значним розкидом значень основних параметрів. Для їх дослідження та ефективного використання необхідно проводити дослідження для кожної виготовленої партії. Виникає потреба у створенні автоматизованих систем для проведення оперативного контролю основних параметрів транзистора.

2. Мета і задачі дослідження

Розроблення системи вимірювання параметрів для дослідження вихідних та передаточних вольт-амперних характеристик органічних транзисторних структур.

3. Дослідження і результати вимірювань органічних транзисторних структур

Структура органічного плівкового польового транзистора зображена на рис. 1. Така структура є технологічно простою та дозволяє відтворити транзисторну структуру з великою точністю і досягти найкращого відтворення вихідних параметрів та характеристик транзистора.

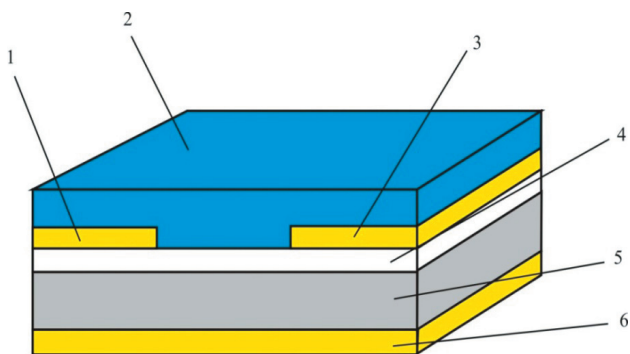


Рис. 1. Структура органічного плівкового польового транзистора: 1 – витік (Au); 2 – напівпровідник (Am98); 3 – стік (Au); 4 – діелектричний шар (SiO₂); 5 – підкладка р-типу провідності (Si); 6 – затвор (Au)

Дана транзисторна структура (рис. 1) виготовляється наступним чином: на кремнієвій пластині КЭФ-4,5 на поверхні сформована оксидна плівка (SiO₂) товщиною 0,14 мкм. Кремнієва підкладка характеризується високою чистотою, що є важливим при нанесенні плівок термовакuumним методом. Сформована оксидна плівка захищає поверхню кремнію від проникнення сторонніх хімічних речовин. Стік-витоківі золоті контакти були сформовані з використанням маски, що задає ширину (W) та довжину каналу (L).

Формування органічної чутливої плівки (Am98) здійснювалось методом термовакuumного наплення при залишковому тиску близько 10⁻³ Па шляхом випаровування дрібнодисперсного порошку похідні карбазолу з молібденового тигля, що піддають резистивному нагріву.

На межі поділу між напівпровідником та металом виникають потенціальні бар'єри, що є наслідком нерозподілу концентрацій рухомих носіїв заряду між контактуючими матеріалами. Електричні властивості граничного шару залежать як від величини, так і від напрямку зовнішньої напруги, яка прикладається.

У разі контакту метал-напівпровідник можливі різні комбінації і співвідношення термодинамічних робіт виходу з металу і напівпровідника.

Якщо розглядати контакт метал – напівпровідник р-типу, то з напівпровідника в метал переходить більшість кількості електронів, ніж в зворотньому напрямку, і в приграничному шарі напівпровідника також формується область, яка збагачена основними носіями, з малим значенням опору. Якщо термодинамічна робота виходу з напівпровідника більша ніж термодинамічна робота виходу з металу, то струм термоелектронної емісії з поверхні напівпровідника буде менший, ніж струм термоелектронної емісії з поверхні металу.

При такому контакті в при поверхневих областях напівпровідника і металу накопичуватимуться об'ємні заряди – позитивні в металі і негативні в напівпровіднику.

Дослідження вольт-амперних характеристик створеної структури проводилась за допомогою розробленої стенду, структурна схема якого показана на рис. 2.

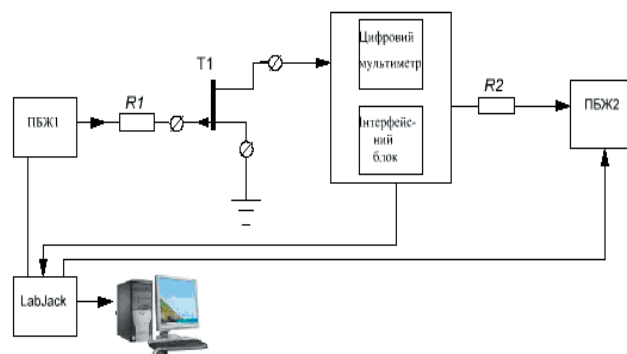


Рис. 2. Структурна схема пристрою вимірювання транзисторних структур

Для вимірювання параметрів органічних польових транзисторів використано вимірювальну систему, побудовану на основі програмно-апаратного комплексу LabJack, програмованих блоків живлення (ПБЖ1, ПБЖ2), цифрового мультиметра з інтерфейсним блоком та захисних R1 і R2. Керування компонентами системи відбувається з допомогою персонального комп'ютера через зовнішні порти пристрою LabJack.

Програмовані блоки живлення (ПБЖ1 та ПБЖ2) формують необхідну напругу для вимірювання ВАХ досліджуваних структур. Для вимірювання струму використано цифровий мультиметр із послідовним каналом зв'язку, який під'єднаний до відповідних портів пристрою LabJack. Алгоритм проведення вимірювань реалізовано з допомогою спеціалізованого програмного забезпечення DAQFactory. Вказана програма дозволяє також проводити реєстрацію та відображення результатів вимірювання у зручній для користувача формі.

Запропонована вимірювальна система дозволяє проводити вимірювання параметрів органічних структур в діапазоні напруг 0 ÷ 100В з кроком 0,5 В та вимірювання струму в діапазоні 0,01 мкА - 10 мкА.

Для дослідження залежностей параметрів органічних структур в програмованому середовищі Proteus, розроблено модель транзистора з р-каналом. Використання такої моделі дає можливість проводити дослідження, щодо практичного використання органічних польових транзисторів в реальних схемах, наприклад, для керування світловипромінюючими структурами. На рис. 3 зображена модель в процесі вимірювання параметрів.

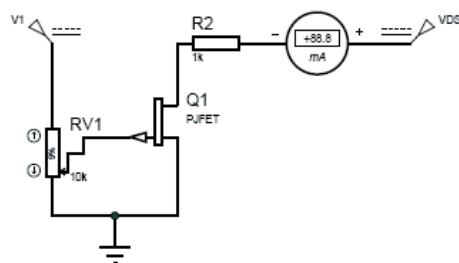


Рис. 3. Схема вимірювання ВАХ транзисторів

Залежність струму витік-стік I_d від напруги витік-стік V_d знімалась при різних напругах на затворі V_g, а саме при 0 В ÷ 100 В з інтервалом 10В, яка подавалась програмованим джерелом живлення (ПБЖ1). При ну-

льовому зміщенні на затворі струм I_{ds} повільно зростає із ростом V_{ds} і знаходиться в межах близько 0,2 мкА. При подачі на затвор напруги порядку 100 В, струм I_{ds} зростає до значення 0,18 мкА [7,8]. При $V_g = 0$ через прилад протікає струм, який визначається початковою провідністю каналу. У разі прикладання до затвора напруги $V_g < 0$ поле затвора відштовхує електрони, що приводить до зменшення їх концентрації в каналі і провідності каналу. При подачі на затвор напруги $V_g > 0$ поле затвора притягує електрони в канал з напівпровідникової пластини (підкладки) р-типу. Концентрація носіїв заряду в каналі збільшується, провідність каналу зростає, струм стоку I_d збільшується. Стічні характеристики при $V_g > 0$ розташовуються вище за початкову криву при $V_g = 0$.

У разі прикладання до затвора напруги $V_g < 0$ відносно витоку, в каналі створюється електричне поле, під впливом якого електрони виштовхуються з каналу в підкладку, а дірки потрапляють з підкладки в канал. Канал збіднюється основними носіями заряду, його провідність зменшується і струм стоку зменшується. Такий режим транзистора називають режимом збіднення. Кількість накопичених зарядів є пропорційною до V_g і ємності діелектрика C_i . Вихідні характеристики органічних польових транзисторів з каналом р-типу, тобто залежність струму стоку (I_d) від напруги стік-витік (V_{ds}) при фіксованій напрузі на затворі (V_g) $I_d = f(V_{ds})$ показані на рис. 4. З вихідних характеристик видно, що лінійний режим при низьких V_{ds} , а режим насичення при високих V_{ds} .

Для лінійного режиму, якщо $V_{ds} \ll V_g$, струм буде визначатися за формулою:

$$I_d = (W/L) \cdot \mu_{lin} \cdot C_i \cdot (V_g - V_{th}) \cdot V_{ds}$$

де μ_{lin} – рухливість в лінійному режимі; V_{ds} -напруга стік-витік.

Струм насичення є прямо пропорційний напрузі на затворі і можна визначити застосовуючи рівняння [9,10]:

$$I_{ds,sat} = (W/2L) \cdot \mu_{sat} \cdot C_i \cdot (V_g - V_{th})^2$$

де W - ширина каналу, мкм; L – довжину каналу, мкм; μ_{sat} – рухливість в режимі насичення, см \cdot В $^{-1}\cdot$ с $^{-1}$; C_i – ємність під затворного діелектрика; V_g – напруга на затворі; V_{th} – порогова напруга.

Передаточна характеристика ОППТ з каналом р-типа (залежність струму стоку від напруги на затворі) $I_d = f(V_g)$ приведена на рис. 5. При $V_{ds}=0$ концентрація носіїв заряду в каналі транзистора рівномірна. Якщо напругу стік-витік збільшити до значення $V_{ds} = V_g - V_{th}$ відбувається відсічка каналу, збіднена область формується біля стоку. Підвищення напруги стік-витік призводить до розширення області збіднення і скорочення каналу.

Так як потенціал у точці відсічення залишається рівним $V_g - V_{th}$, струм виходить на насичення. Порогова напруга залежить від природи використаних органічних напівпровідників і діелектриків. З досліджених вихідних і передаточних характеристик видно, що органічні польові транзистори можна використовувати для керування кольору в індикаторних панелях, а в смарт-картках можна використовувати для підвищення швидкості передачі і обробки інформації.

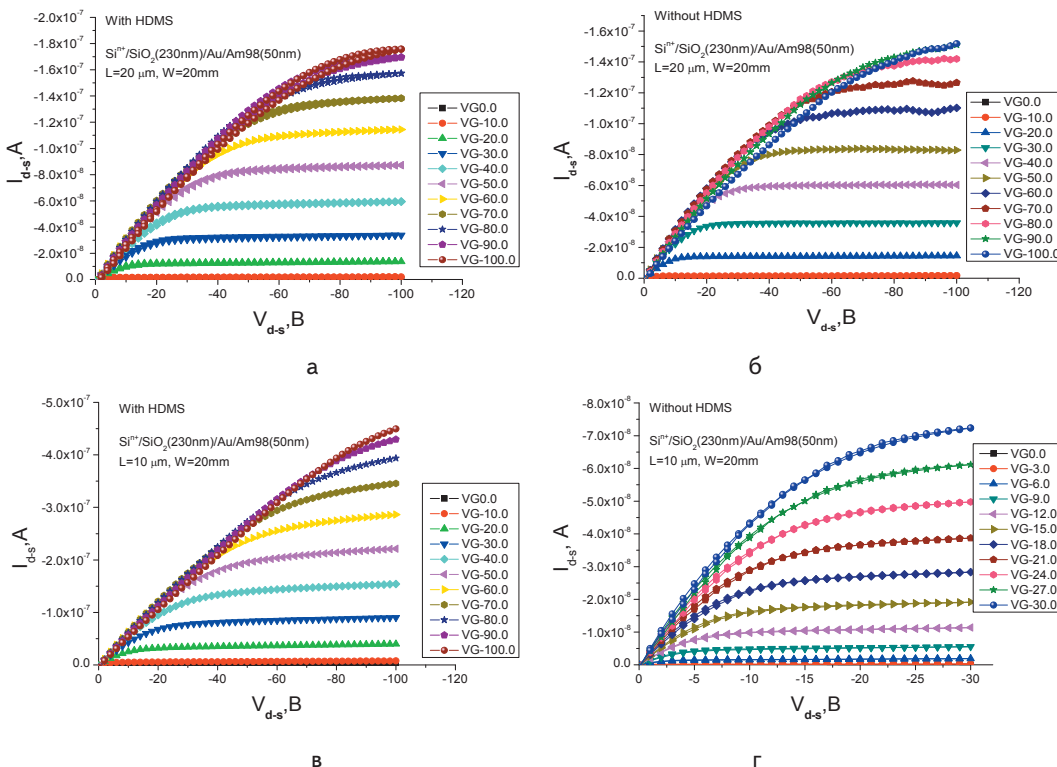


Рис. 4. Сімейство вихідних характеристик органічного транзистора, тобто залежність струму стік-витік I_{ds} від напруги стік-витік V_{ds} : а – з шаром HDMS, $L = 20$ мкм - довжина каналу, $W = 20$ мм ширина каналу; б – без шару HDMS $L = 20$ мкм - довжина каналу, $W = 20$ мм ширина каналу; в – з шаром HDMS $L = 10$ мкм - довжина каналу, $W = 20$ мм ширина каналу; г – без шару HDMS $L = 10$ мкм - довжина каналу, $W = 20$ мм ширина каналу

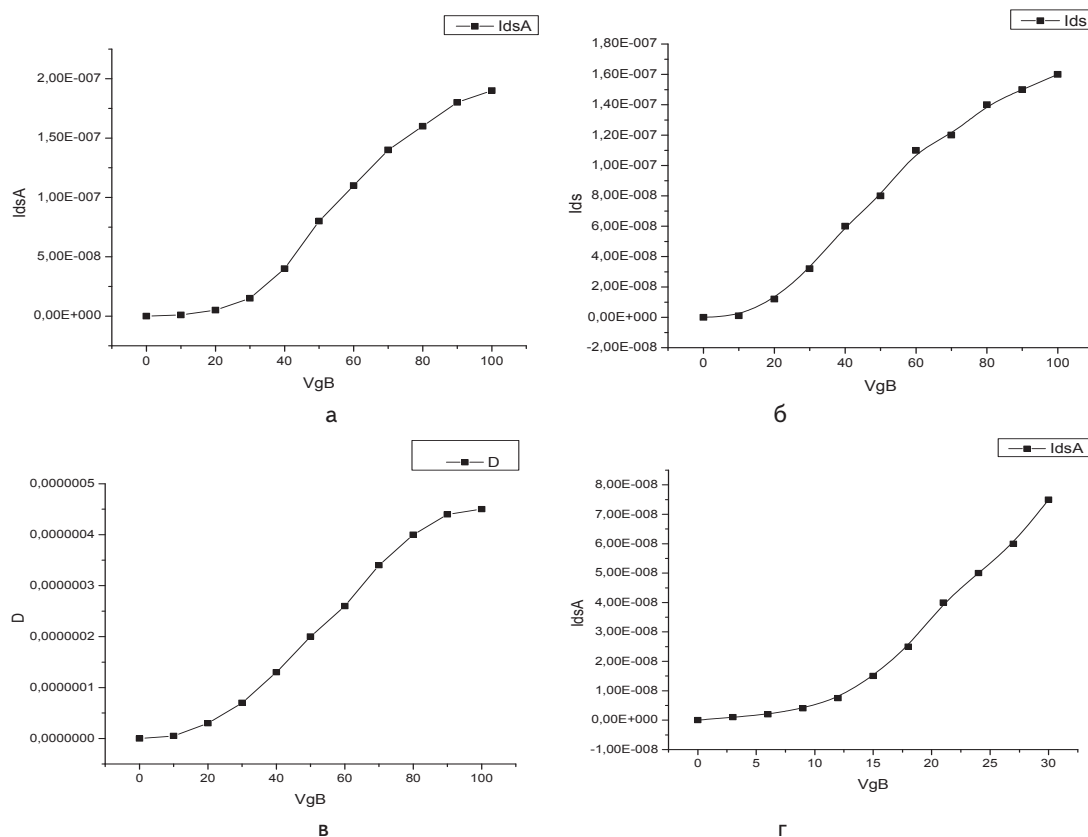


Рис. 5. Передаточна характеристика органічного транзистора, тобто залежність струму стік-витік I_{d-s} від напруги на затворі V_g : а – з шаром HDMS, $L=20$ мкм - довжина каналу, $W=20$ мм ширина каналу; б – без шару HDMS $L=20$ мкм - довжина каналу, $W=20$ мм ширина каналу; в – з шаром HDMS $L=10$ мкм - довжина каналу, $W=20$ мм ширина каналу; г – без шару HDMS $L=10$ мкм - довжина каналу, $W=20$ мм ширина каналу

4. Висновок

Таким чином, в роботі було розроблено вимірну систему для дослідження електрофізичних параметрів органічних транзисторних структур. Для розроблення вимірної системи використано сучасні елементи електронної техніки. Основними характеристиками, які показують роботу ор-

ганічних транзисторних структур є вольт-амперні характеристики: вихідні та передаточні характеристики, тобто залежність струму стік-витік (I_{ds}) від напруги стік-витік (V_{ds}) та напруги на затворі (V_g). Дослідження проводилися при різних напругах на затворі $V_g = 0 \div 100$ В з інтервалом 10 В. При збільшенні напруги на затворі зростає струм стік-витік (I_{ds}) в межах близько 0,2 мкА \div 0,1 мкА.

Література

1. Cantatore, E. A. "New Chance for Electronics, Proceedings of the SAFE [Text]" / E. A. Cantatore // IEEE Organic Materials: workshop. – 2004. – № 27. – p.267-285.
2. Forrest, S. R. "The path to ubiquitous and low-cost organic electronic appliances on plastic [Text]" / S. R. Forrest // Nature Publishing Group. – 2004. – № 428. – pp. 911-918.
3. Chandar, Shekar, B. "Organic Thin Film Transistors [Text]" / B. Chandar Shekar, Jiyeon Lee, Shi-Woo Rhee // Materials Processes and Devices. - 2004.- №.21(1).- pp. 267-285.
4. Gilles, Horowitz "Organic Field-Effect Transistors [Text]" / Gilles Horowitz // Advanced materials.-1998.-№10.-pp. 365-371.
5. Shi-Woo, Rhee "Metal-semiconductor contact in organic thin film transistors [Text]" / Rhee Shi-Woo, Yun Dong-Jin // J. Mater. Chem. - 2008.-№ 18.- pp. 5437-5444.
6. Clarisse, C. "Field-effect transistor with diphthalocyanine thin film [Text]" / C. Clarisse, M. T. Riou, M. Geuneau, M. Le Conntellec // Electron.Lett. - 1988.- № 24.- p. 674.
7. Cherpak, V. "Properties of 2,6-di-tert.-butyl-4-(2,5-diphenyl-3,4-dihydro-2H-pyrazol-3-yl)-phenol as hole-transport material for life extension of organic light emitting diodes [Text]" / V. Cherpak, P. Stakhira, S. Khomyak, D. Volunuyk, L. Voznyak, Z. Hotra, V. Sorokin, A. Rybalochka, O. Oliynyk // Opt. Mat. – 2011.- № 33.- pp. 1727-1731.

8. Терещук, Р. М. "Полупроводниковые приемно-усилительные устройства: Справочник радиолюбителя [Текст]" / Р. М. Терещук // 4-е издание.- Киев: Наук. Думка.- 1989. – с.800.
9. Zaumseil, Jana "Electron and Ambipolar Transport in Organic Field-Effect Transistor [Text]" / Jana Zaumseil, Henning Sirringhaus// Chem.Rev. – 2007.– № 107.– pp.–1296-1323.
10. Zeis, Roswitha "Single crystal field-effect transistors based on layered semiconductors[Text]" / Roswitha Zeis // Dissertation. – 2005. – pp.6-13.

Представлено оригінальні результати синтезу нанострижнів ZnO за допомогою низькотемпературних методів на підкладах ніобату літію. Вперше продемонстровано «орієнтовані канали», які виникають після відпаду зародкового шару при температурі 400°C і свідчать про початок процесу кристалізації. Проаналізовано вплив властивостей зародкового шару ZnO, сформованого золь-гель методом, на морфометричні характеристики синтезованих гідротермальним методом нанострижнів

Ключові слова: зародковий шар, золь-гель, гідротермальний метод, нанострижні ZnO

Представлены оригинальные результаты синтеза наностержней ZnO с помощью низкотемпературных методов на подложках ниобата лития. Впервые продемонстрированы «ориентированные каналы», которые возникают после отжига зародышевого слоя при температуре 400°C и свидетельствуют о начале процесса кристаллизации. Проанализировано влияние свойств зародышевого слоя ZnO, сформированного золь-гель методом, на морфометрические характеристики синтезированных гидротермальным методом наностержней

Ключевые слова: зародышевый слой, золь-гель, гидротермальний метод, наностержни ZnO

УДК 539.23

PECULIARITY OF SEED-LAYER SYNTHESIS AND MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF ZNO NANORODS

V. Ulianova

Postgraduate student*

E-mail: v.ulianova@gmail.com

A. Orlov

PhD, Associate Professor*

E-mail: a.orlov@kpi.ua

*Department of Microelectronics***

G. Pashkevich

PhD, Senior Research Fellow**

E-mail: pgena@inbox.ru

O. Bogdan

Deputy director**

E-mail: bogdan@ee.ntu-kpi.kiev.ua

Scientific and Research Institute of Applied Electronics*

***National Technical University of Ukraine

"Kyiv Polytechnic Institute"

16, Polytechnichna Str., Kyiv, Ukraine, 03056

1. Introduction

Zinc oxide (ZnO) has been commonly used in its bulk polycrystalline form for over a hundred years in a wide range of applications: ointments, catalysts, paint pigmentation, piezoelectric transducers and varistors [1].

Nowadays unique ability to form a variety of nanostructures such as nanowires, nanoribbons/nanobelts, nanocombs, nanorings, nanocages, nanocastle, nanofibers etc. have attracted considerable attention to this material for application in a wide range of nanoscale devices. Nanostructured ZnO is a suitable material for electronics, photonics and sensing due to having mechanical, piezoelectric, semiconductor, optical and electrical properties, biocompatibility, nontoxicity, chemical and photochemical stability, high specific surface area, optical transparency, electrochemical activities; it pro-

vides strong bonding sites and have large surface-to-volume ratio [2].

2. The overview of recent publications

Among complicated and expensive traditional fabrication techniques such as VLS [3] and MOCVD [4], low-temperature synthesis methods of single-crystalline ZnO nanostructures become more accepted. While electrochemical low-temperature growth [5] allows obtaining well-aligned ZnO nanorods on the conductive films the combined with sol-gel technique hydrothermal method is suitable for nanostructures synthesis almost on any substrates. The hydrothermal method has following advantages: low-cost, ease handling, scalability, opportunity to form various structures subject to