

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ У ГАЛУЗІ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація.

Проведено аналіз використання нанотехнологій у галузі світлодіодного освітлення. Досліджено підходи для покращення ефективності світлодіодного освітлення за допомогою використання нанотехнологій. Було детально розглянуто інтеграцію міні-світлодіодів з органічними тонкоплівковими транзисторами та результат цього процесу.

Ключові слова: міні-світлодіоди, LCD, органічні тонкоплівкові транзистори.

Abstract.

An analysis of the use of nanotechnology in the field of LED lighting has been conducted. Approaches to improving the efficiency of LED lighting through the use of nanotechnology have been investigated. The integration of mini-LEDs with organic thin-film transistors and the results of this process have been examined in detail.

Keywords: Mini-LEDs, LCD, organic thin-film transistors.

Вступ

В сучасному світі світлодіодне освітлення стало невід'ємною частиною побутових, промислових і комерційних систем освітлення завдяки його високій енергоефективності та довговічності. Постійний розвиток цієї технології потребує вдосконалення матеріалів, що використовуються у виробництві світлодіодів, зокрема для підвищення їхньої ефективності, стабільності та якості випромінювання. У цьому контексті наноматеріали відіграють ключову роль, відкриваючи нові можливості для оптимізації властивостей пристроїв освітлення.

Використання наночастинок, квантових точок, нанокомпозитів та інших наноструктурованих матеріалів дозволяє значно покращити характеристики світлодіодів, зокрема їхню світловіддачу, кольорову відтворюваність та теплову стабільність.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності світлодіодних джерел світла, що є важливим для енергозбереження та розвитку нових технологій у сфері освітлення. Метою роботи є аналіз сучасних тенденцій використання наноматеріалів у галузі світлодіодного освітлення, а також оцінка їхнього впливу на ключові параметри світлодіодних пристроїв.

Основна частина

Міні-світлодіоди — це світлодіоди з розмірами, як правило, від 100 до 500 мкм, які використовуються в основному як джерела підсвічування в LCD-панелях. Ключова перевага міні-світлодіодного підсвічування полягає в його здатності реалізувати локальне затемнення. Технологія міні-світлодіодного підсвічування з локальним затемненням робить революцію в індустрії дисплеїв, покращуючи якість зображення та енергоефективність. На відміну від звичайних методів підсвічування, які рівномірно освітлюють весь екран, локальне затемнення дозволяє точно контролювати окремі зони дисплея.

Ця можливість дозволяє екрану відображати глибші чорні та яскравіші білі кольори одночасно, значно покращуючи коефіцієнт контрастності та загальну чіткість зображення. Такі покращення особливо корисні для вмісту з широким динамічним діапазоном (HDR), який має чітко виражені відмінності між найяскравішими та найтемнішими частинами зображення. Оскільки споживчий попит на більш високу якість відображення зростає, розширений динамічний діапазон (HDR) став критичною особливістю для дисплеїв наступного покоління. [3] Ця технологія використовує тисячі крихітних світлодіодів як джерело підсвічування, що дозволяє точно контролювати окремі зони дисплея. Ця

точність забезпечує покращений коефіцієнт контрастності, глибший чорний і яскравіший білий, що значно покращує враження від перегляду порівняно з традиційними методами підсвічування.

На рисунку 1 [1] показано структуру міні-світлодіодної системи освітлення, яка складається з двох плівок для підвищення яскравості (BEF) із вертикальними напрямками, розсіювача, міні-світлодіодів і керуючих мікросхем, припаяних на друковану плату (PCB) і відбивача.

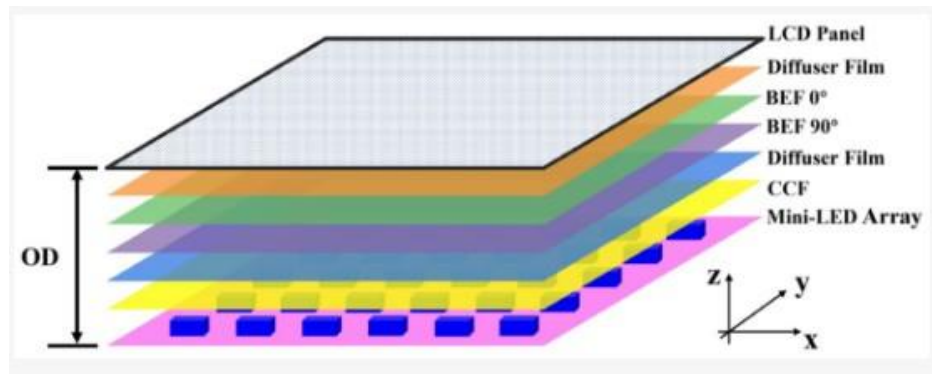


Рисунок 1 – Структура міні-світлодіодної системи освітлення

Модуль підсвічування забезпечує однорідне джерело світла для LCD-дисплея. Рефлектор відбиває спрямоване вниз світло, що випромінюється від світлодіодів, назад у верхній бік, максимізуючи використання світла. Розсіювач використовується для усунення тіні між міні-світлодіодами та розведення світлових променів, забезпечуючи рівномірне освітлення. Традиційний LCD - дисплей обмежений декількома компромісами продуктивності. [4] Крім того, оптична відстань (OD) між підсвічуванням і LCD-панеллю також потрібна для усунення гарячих точок і досягнення рівномірного розподілу яскравості. Верхня поверхня BEF має структуру призми, щоб зменшити кут світла, що досягає нижньої поверхні LCD-панелі.

Було проведено дослідження щодо інтеграції міні-світлодіодів з органічними тонкоплівковими транзисторами (OTFT). На початковому етапі міні-світлодіоди кріпили за допомогою електропровідної срібної пасти, що забезпечувало оптимальну електричну та механічну стабільність. Процес розпочинався з підготовки та очищення основи від забруднень, які могли б погіршити адгезію. Далі електропровідна паста, що містить дрібнодисперсні частинки срібла у полімерному сполучному, наносилася на підкладку методами трафаретного друку або дозування, створюючи необхідні схеми для компактного розміщення світлодіодних матриць.

Після нанесення пасти міні-світлодіодні чіпи точно розташовувалися на підкладці, забезпечуючи коректне вирівнювання та надійний контакт. Далі проводилася термічна обробка для затвердіння пасти, що сприяло формуванню міцних електричних з'єднань і механічної стабільності. Такий підхід є ефективним для виробництва міні-світлодіодних дисплеїв із високою яскравістю та надійністю.

Процес увімкнення міні-світлодіодів здійснювався за допомогою анізотропної провідної плівки (ACF) з подальшим тестуванням через програмовану вентиляну матрицю (FPGA). ACF, що містить провідні частинки у клейкій матриці, наносився на підкладку задньої плати, після чого ретельно вирівнювалися та фіксувалися відводи гнучкої друкованої плати (FPC). Під дією тепла і тиску частинки всередині ACF створювали вертикальні електричні контакти між FPC та колами задньої плати, тоді як клей забезпечував механічне закріплення компонентів.

Після завершення з'єднання FPGA використовувалася для контролю та тестування матриці міні-світлодіодів, керуючи послідовністю освітлення, рівнями яскравості та відображуваними шаблонами. Використання ACF у поєднанні з FPGA дозволило отримати надійне та гнучке рішення для розробки й перевірки високопродуктивних міні-світлодіодних задніх панелей. На рисунку 2 [2] було зображено вигляд міні-світлодіодів, приєднаних до задньої панелі OTFT.

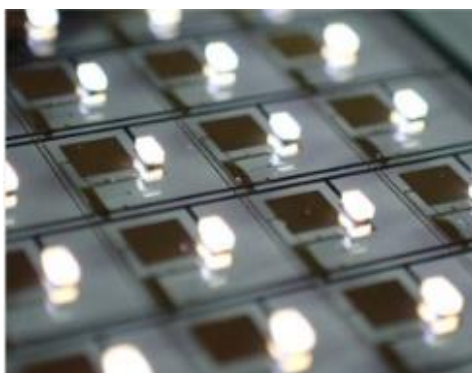


Рисунок 2 - Вигляд міні-світлодіодів, приєднаних до задньої панелі OTFT

Завдяки інтеграції OTFT з технологією міні-світлодіодів було досягнуто коефіцієнта контрастності 1 000 000:1, підвищеної енергоефективності та покращеної яскравості кольорів. OTFT з активною матрицею, виготовлений за низькотемпературним процесом (нижче 120 °C), додатково забезпечує стабільну підкладку з ефективним розподілом тепла, покращуючи загальну продуктивність і надійність цифрової системи освітлення.

Висновок

Інтеграція міні-світлодіодів з органічними тонкоплівковими транзисторами дозволяє забезпечити створення високоефективних і енергоощадних дисплеїв, сенсорних панелей та інтелектуальних освітлювальних систем. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на оптимізацію матеріалів активного шару, розробку нових структур електродів для покращення інжекції заряду, а також удосконалення методів нанесення тонкоплівкових елементів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. J. Lei, H. Zhu, X. Huang. Mini-LED Backlight: Advances and Future Perspectives. Scientific journal Crystals, Volume 14, Number 11, 2024. – pp. 1-18. ISSN: 2073-4352 <https://doi.org/10.3390/cryst14110922>
2. C. Tsai, Y. Wu, C. Huang. Digital Mini-LED Lighting Using Organic Thin-Film Transistors Reaching over 100,000 Nits of Luminance. Scientific journal Nanomaterials, Volume 15, Number 2, 2025. – pp. 1-11. ISSN: 2079-4991 <https://doi.org/10.3390/nano15020141>
3. Y. Huang, S. Wu. High fidelity mini-LED backlit liquid crystal displays. Scientific journal Liquid Crystals Today, Volume 32, Number 2, 2023. – pp. 1-13. ISSN: 1464-5181 <https://doi.org/10.1080/1358314X.2023.2265790>
4. J. Chen, C. Huang, T. Lee. Advancing LED technology: the FDCSP element's breakthrough in mini and micro-LED packaging and backlight module enhancement. Scientific journal Discover Nano, Volume 19, Number 94, 2024. – pp. 1-9. ISSN: 2731-9229 <https://doi.org/10.1186/s11671-024-04033-5>

Пругула Максим Олександрович – к.т.н., старший викладач кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: pritulamo@ukr.net

Кочмала Владислав Богданович – студент групи МНТ-24м, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: fomkalokky@gmail.com

Prytula Maksym Oleksandrovych - Ph.D., Senior Lecturer of the Department of Information Radio Electronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: pritulamo@ukr.net

Kochmala Vladyslav Bohdanovych – student of group MNT-24m, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: fomkalokky@gmail.com