

ВІДЗИВ

офіційного опонента

на дисертацію ВІСЬТАК Марії Володимирівни

«Модифікація рідкокристалічних структур та завадостійких сигнальних перетворюючів для оптичних сенсорних пристроїв»,

представлену на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

зі спеціальності 05.27.01 – твердотільна електроніка

Рідкі кристали вже досить давно зайняли своє важливе місце серед матеріалів сучасної електроніки. Без рідкокристалічних дисплеїв навряд чи було б можливим широке використання ноутбуків, смартфонів та багатьох інших пристроїв відображення, обробки та передачі інформації. Поряд з класичними електрооптичними застосуваннями, рідкі кристали відкривають ще й багато перспектив як сенсорні матеріали. Виняткова чутливість рідкокристалічних систем до відносно слабких зовнішніх впливів і відносна легкість зчитування відповідних сигналів роблять рідкокристалічні матеріали бажаними і перспективними активними середовищами для оптичних сенсорних пристроїв, які, окрім функцій простої реєстрації сигналу, можуть додатково працювати і як сигнальні перетворювачі. Ще з 60-80-х років минулого сторіччя відомі застосування рідких кристалів для реєстрації температури, візуалізації температурних та електромагнітних полів, детектування іонізуючих та УФ-випромінювань, а також детектування парів хімічних речовин в атмосфері та біологічно активних речовин на границях розділу. Особливо цікавими тут є спірально закручені (холестеричні) рідкі кристали, де індукована зовнішніми факторами зміна спектрів селективного відбивання є природною основою створення відповідних оптичних сенсорів. Останніми роками інтерес в світі до таких робіт значно посилюється внаслідок, з одного боку, синтезу нових хіральных (оптично активних) компонентів, а з іншого – можливістю внесення в рідкокристалічну матрицю різноманітних мікро- і наночастинок, що модифікують сенсорні властивості розроблюваних рідкокристалічних сенсорних матеріалів. На передньому краю сучасних світових досліджень є і робота М.В.Вісьтак, в якій зроблено значний крок від фізичної хімії сенсорних матеріалів до оптичних сенсорних пристроїв з високою стабільністю і селективністю характеристик – в термінології рецензованої дисертації. «завадостійких».

Тому актуальність і непересічне практичне значення дисертації М.В.Вісьтак не викликають жодних сумнівів. Оскільки сучасна фізика твердого тіла фактично формується як фізика конденсованого стану з частково впорядкованими середовищами типу рідких кристалів як її невід'ємною групою об'єктів, то відповідність дисертації спеціальності «твердотільна електроніка» також є безумовною.

В роботі чітко сформовані мета і задачі досліджень - модифікація РК структур як активного середовища та створення завадостійких сигнальних перетворювачів оптичних сенсорів, з відповідними конкретними етапами. В основі роботи лежить всебічне теоретичне та експериментальне дослідження проходження світла в системі первинного перетворювача (світлодіод-газочутливе середовище-фотодіод), де газочутливим середовищем слугують розроблювані в роботі композитні рідкокристалічні системи на основі індукованих холестериків з можливістю легування активуючими нанодомішками. З суто технічної точки зору, значний інтерес становлять розроблені конкретні оптоелектронні схеми перетворення і обробки первинних сигналів, які доведені авторкою до конкретних діючих моделей приладів.

У першому розділі описано сучасний стан розробок оптичних сенсорів, зокрема, сенсорів хімічних речовин, і визначено перспективний шлях розвитку в цьому напрямку з використання рідких кристалів, модифікованих внесенням наночастинок. Підкреслено важливість врахування та позбавлення паразитних впливів стороннього оптичного випромінювання та електромагнітних завад, які знижують чутливість, селективність та надійність багатьох відомих пристроїв.

У другому розділі детально обгрунтовано вибір рідкокристалічних матеріалів для розроблюваних сенсорів. В основу їх складу покладено типові нематерики типу 5CB, а також естери холестерину. На відміну від часто використовуваних хіральных домішок на основі 2-метилбутильних замісників, естери холестерину виявляють як високу розчинність в нематичній матриці, так і можливість утворення власної мезофази, що зразу знімає питання однорідності та часової стабільності рідкокристалічних сенсорних матеріалів. Окрім того, в стероїдних холестеричних матрицях істотно слабшають можливі паразитні процеси агрегації диспергованих наночастинок, що й було – підсвідомо, але абсолютно правильно – використано в роботі.

Третій розділ дисертації присвячено дослідженню спектральних характеристик нанокompозитів на основі холестеричних рідких кристалів (ХРК), в структуру яких інкорпоровано нанорозмірні частинки нітриду алюмінію та оксидів заліза.

Треба відзначити дуже детальний розгляд спектрів селективного відбивання ХРК-систем з диспергованими частинками магнетитів в формі Fe_2O_3 та Fe_3O_4 . Показано вплив

цих частинок на спектри селективного відбивання з аналізом залежності цього впливу від концентрації магнетиту, а також (що є основним) – зміна цих спектрів, з особливою увагою до зсуву максимуму, під дією абсорбованого монооксиду вуглецю. Детектування CO в атмосфері є однією з нагальних проблем сучасної екології, і можливість такого детектування за допомогою відносно нескладних і доступних ХРК-наноконструктивів, показана в цій роботі, є безумовним досягненням. Авторка досить близько підходить до визначення фізичного механізму, детально розглядаючи випадки зсуву у довго- і короткохвильову область з висловлюванням певних припущень про фактори, що визначають цей зсув. Представлено значний доробок з оптимізації складу сенсорних наноконструктивів та умов детектування. Дається природний перехід від фізико-хімічних досліджень до аналізу чутливості як технічної характеристики розроблюваного матеріалу.

Розвитком цього підходу є інтеркаляція ЖРК-наноконструктивів в наноструктуровані пористі матриці на основі оксиду алюмінію; десь далі йде мова про диспергування ХРК-наноконструктивів в полімерних плівках. Тобто, ми маємо приклади конкретних сенсорних матеріалів, практично готових до реального застосування. Не зупиняючись на цьому, в роботі показана можливість детектування за аналогічними принципами також і діоксиду сірки (використовуючи дисперговані в ХРК частинки нітриду алюмінію). Важливо підкреслити, що в дисертації послідовно проведено принцип використання довжини максимуму спектрів селективного пропускання холестеричних рідких кристалів та інших характерних особливостей форми цих спектрів як основного сигнального параметру оптичних перетворювачів. Фактично в роботі відкрито шлях до створення і багатьох інших детекторів парів – можна говорити про досить просунуту стадію створення наукових засад розробки таких детекторів.

Чомусь в наступний розділ дисертації потрапили ідеологічно пов'язані з цим підходом детектори на основі поверхневих ефектів в РК-шарах, які теж викликають значний інтерес. Але в основному четвертий розділ присвячено дослідженню та розробці активного середовища сенсорів біологічних речовин. Виявлено, що при додаванні до рідкокристалічної системи певного складу розчину білка в дистильованій воді (концентрація розчину - 10-90%) зміни довжини хвилі мінімуму селективного пропускання світла чітко залежать від концентрації білкового розчину, що створює умови для створення відповідних біосенсорів. Аналогічні можливості відзначено і обгрунтовано також для детектування глюкози, фруктози та інших вуглеводів. Запропоновано фізико-хімічний механізм, який пояснює досить нетривіальне явище взаємодії водорозчинних речовин з гідрофобним середовищем термотропного рідкого кристалу.

П'ятий розділ присвячено переходу від розроблених і протестованих на попередніх етапах сенсорних матеріалів на основі рідкокристалічних наноконкомпозитів до реальних оптоелектронних пристроїв. Ідея полягає в тому, що незначні зміни спектрів селективного пропускання ХРК-наноконкомпозиту під дією детектованих хімічних речовин, які досить проблематично реєструвати, наприклад, за допомогою стандартних спектрофотометрів, можуть бути реєстровані з високою чутливістю та надійністю, якщо світло, що входить, іде від світлодіодів, а світло, що виходить із шара ЖРК-наноконкомпозита, модульоване згідно спектра селективного пропускання, сприймається фотоприймачами, причому активні діапазони світло- і фотодіодів узгоджені з довжинами хвиль, на яких реалізується максимальна інтенсивність модуляції. Описано розроблений в дисертації метод комп'ютерного моделювання проходження світла в системі світлодіод-газочутливе середовище-фотодіод і надано, на основі проведених розрахунків, рекомендації щодо конструктивних особливостей перетворювача для оптичного сенсора. Із загальнонаукової точки зору, ці результати становлять значний внесок у визначення зв'язку між традиційною фізичною оптикою рідких кристалів і суто технічними методами обробки оптичної інформації в реальних оптоелектронних пристроях. Тут треба відзначити зроблений безсумнівний крок уперед в порівнянні з наявним рівнем, відомим з літератури.

Нарешті, у шостому розділі мова йде вже про вузькоспеціальні аспекти твердотільної електроніки як основи створення діючих електронних приладів. Розглянуто технічні аспекти розроблюваних оптоелектронних сенсорних пристроїв з точки зору їх завадостійкості (що прямо пов'язано, в інших термінах, з проблемами селективності сенсорних матеріалів). Тут розгляд іде на рівні розробки вдосконалених конвертерів імпедансу, схемотехнічні рішення яких забезпечують ефективне заглушення паразитних складових сигналів від сторонніх джерел світла та електромагнітних завад.

Характеризуючи загальне враження від дисертації, треба відзначити, що рецензовану роботу можна вважати класичним прикладом поєднання в терміні «технічні науки» фактично досить суперечливих парадигм «техніки» і «науки». Авторкою пройдено великий шлях від фізико-хімічного дослідження рідкокристалічних наноконкомпозитів, в яких встановлюються залежності «склад-властивості» (причому отримані результати мають безперечне самостійне значення для фізичної хімії та оптики рідких кристалів), через сенсорні елементи оптоелектронних комірок-пристроїв, в яких конкретизуються загальні принципи фізичної електроніки, і до реально діючих макетів оптичних приладів для детектування діючих факторів екології довкілля та біомедичних застосувань. Дисертація, з одного боку, є науково-технічною розробкою дуже високого рівня, а з

іншою – є кваліфікаційною роботою, що свідчить про високий професіоналізм авторки як в галузі твердотільної електроніки, так і в низці суміжних напрямків. Поєднання широкого кола сучасних експериментальних та теоретичних методів повністю виключає сумніви в достовірності отриманих результатів та обґрунтованості зроблених висновків. Виклад роботи є чітким, детальним і логічним. Безсумнівною є і наукова новизна основних результатів роботи, які опубліковано у більш ніж 20 статтях в фахових журналах з високим рейтингом та захищено низкою патентів. Практичне значення роботи підтверджується доданими до дисертації актами впровадження результатів роботи, які були використані в установах як промислового, так і медичного профілю. Тут треба вказати ще на один аспект – загальна методологія роботи та низка конкретних технічних рішень можуть бути використані не тільки для детектування хімічних речовин, але і для детектування інших зовнішніх факторів типу біологічно активного ультрафіолету та іонізуючих випромінювань (і вони вже реально використовуються в роботах нашого інституту). Апробація на численних міжнародних і вітчизняних конференціях засвідчила значний інтерес світової наукової спільноти до цієї роботи та високу оцінку як отриманих результатів, так і високої кваліфікації М.В.Вісьтак визнаного вченого в галузі твердотільної електроніки.

Певна річ, що така цікава і непересічна робота викликає і багато питань та створює приводи для низки зауважень.

1. В роботі практично не приділено уваги хімічній будові різноманітних хімічних речовин – компонентів РК-сумішей. Насправді конкретні зміни спектрів селективного пропускання визначаються саме особливостями взаємодії молекул детектованих речовин з РК-матрицею певного хімічного складу, але детальний фізико-хімічний аналіз на молекулярному рівні в роботі відсутній. Проте на феноменологічному рівні загальна інтерпретація і опис можливих механізмів не викликає заперечень, тому, з огляду на спеціальність, за якою подана робота, це не є істотним зауваженням, а лише побажанням для подальших поглиблених досліджень.

2. Дуже цікаві результати розділу 3 дисертації, де описано істотне підвищення чутливості оптичних сенсорів завдяки використанню нанокompatитів з інтеркальованими наночастинками золота, в авторефераті згадано лише побіжно (але при цьому надто багато уваги приділено деталям однотипних залежностей довжини хвилі селективного пропускання та спектральної чутливості від різних характеристик складу нанокompatиту та концентрації детектованої речовини). Можливо, у викладі краще було б трохи змістити акценти.

3. В розділі 6 виклад іде виключно в термінах твердотільної електроніки на рівні схемотехнічних рішень, з аналізом великої кількості практично важливих деталей. Проте тут авторка практично «забула» про сенсорні матеріали попередніх розділів. Бажано було б навести хоча б окремі приклади роботи запропонованих завадостійких електронних перетворювачів безпосередньо з рідкокристалічними сенсорними нанокompозитами. Також треба відзначити, що висновки до розділу 6, як і виклад всього розділу в цілому, виглядають надміру розтягнутими та деталізованими.

4. Можна відзначити окремі недоречності у детально представлених даних з оптичних властивостей холестеричних рідких кристалів. Так, на стор.36 (рис.1.16) по осі ординат вказано величину двозаломлення Δn , хоча наведена крива описує не двозаломлення (яке від температури майже не залежить), а ширину фотонної забороненої зони. Також в підпису під цим і наступним рисунками вказаний номер посилання не відповідає прикінцевому списку літератури.

5. Пункти наукової новизни (7 пунктів) займають більше двох сторінок тексту. Природним є питання, яке часто задають на захистах – сформулювати коротко (в 2-3 коротких реченнях) найбільш важливі нові результати роботи.

Ці зауваження жодним чином не знижують загальну високу оцінку роботи. Окрім науково-технічного значення для твердотільної електроніки та суміжних галузей, результати дисертації М.В.Вісьтак мають і безумовне практичне значення. Розроблені активні середовища для оптичних перетворювачів забезпечують сукупність характеристик, необхідних для реального використання відповідних пристроїв. Встановлені в роботі принципи реєстрації та обробки сенсорних сигналів мають загальне значення для низки подібних задач, зокрема, детектування та дозиметрію біологічно активного ультрафіолету, іонізуючих випромінювань тощо. Можна рекомендувати використання результатів дисертації в Інституті сцинтиляційних матеріалів НТК «Інститут монокристалів» НАНУ, Інституті фізики НАНУ, а також на кафедрах фізичної оптики, біофізики та медичної фізики Харківського національного університету ім.В.Н.Каразіна

Дисертація чітко викладена державною мовою, зауваження до оформлення практично відсутні.

Дисертація М.В.Вісьтак, подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.01 – твердотільна електроніка, повністю відповідає паспорту спеціальності. Вона є завершеною самостійною науково-дослідною роботою, в якій вперше отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують

конкретну важливу і актуальну задачу сучасної твердотільної електроніки – створення завадостійких сигнальних перетворювачів для оптичних сенсорних пристроїв на основі нових рідкокристалічних наноматеріалів модифікованої структури. Всі основні результати та висновки роботи належним чином опубліковані та пройшли апробацію. Результати, за якими було захищено кандидатську дисертацію, не входять до представленої дисертаційної роботи. Автореферат повністю відповідає змісту дисертації. Ознак плагіату в роботі не виявлено.

За обсягом проведених досліджень, актуальністю, ступенем обґрунтованості наукових положень і висновків, їх новизною та достовірністю, повнотою викладення, значимістю для науки і техніки, дисертація М.В.Вісьтак «Модифікація рідкокристалічних структур та завадостійких сигнальних перетворювачів для оптичних сенсорних пристроїв» повністю задовольняє вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого Кабінетом Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567, із змінами, внесеними згідно із Постановами КМ № 656 від 19.08.2015 р. та № 1159 від 30.12.2015 р. які висуваються до докторських дисертацій, а її авторка – Вісьтак Марія Володимирівна - безумовно, заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.01 – твердотільна електроніка.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук,
професор,
провідний науковий співробітник
відділу молекулярних і гетероструктурованих
матеріалів Інституту сцинтиляційних
матеріалів НАН України

Л.М.Лисецький

Підпис Л.М.Лисецького засвідчую:

Вчений секретар ІСМА НАН України
к.т.н.



Ю.М.Дацько