

ВІДГУК

офіційного опонента
доктора технічних наук,
професора кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича
Політанського Леоніда Францевича
на дисертацію

Вісьтак Марії Володимирівни

«Модифікація рідкокристалічних структур та завадостійких сигнальних
перетворювачів для оптичних сенсорних пристроїв»
на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.27.01 – твердотільна електроніка

Актуальність теми дисертації

Все до нас вже зконструйовано природою – нам залишається уважно спостерігати і використовувати на благо людей. Розроблення сенсорів є актуальною задачею на фоні росту інтересу до робототехніки, автоматизації процесу контролю виробничих приміщень та технологічних процесів на виробництві, проведення хімічного аналізу, вимірювання фізичних величин, складу хімічних та біохімічних сполук. В напрямку розроблення нових сенсорів проводяться дослідження електрофізичних властивостей неорганічних та органічних матеріалів, що використовуються в якості активного матеріалу широкого класу оптичних сенсорів.

Серед органічних матеріалів вирізняють рідкокристалічні матеріали, що закладені в основу оптичних рідкокристалічних сенсорів. Їх основні параметри визначаються фізичними властивостями рідкокристалічних матеріалів.

Однак на сьогодні потенціальні можливості рідкокристалічних матеріалів з погляду сенсорної техніки досліджені недостатньо, а також недостатньо вивчена кореляція оптичних властивостей у рідкокристалічних сенсорних структурах в залежності від зовнішнього впливу.

Мало вивченою є модифікація рідких кристалів інтеркалюваних наночастинками. Це вимагає дослідження спектральних характеристик

використовуваних рідкокристалічних структур, а також їхньої зміни під впливом зовнішніх факторів. Проведення теоретичних та експериментальних досліджень у цьому напрямку дозволить ціленаправлено модифікувати та створювати нові активні середовища для сенсорних пристроїв.

Не менш важливою задачею є розроблення перетворювачів імпедансу, що є основою функціонування таких сигнальних перетворювачів. Від їхніх параметрів залежать селективність інформативного сигналу та ефективність подавлення паразитних складових: сигналів від сторонніх джерел світла та електромагнітних завад.

Актуальність теми дисертації підтверджується також зв'язком роботи з науковими програмами та темами, що виконувались в Львівському національному медичному університеті імені Данила Галицького та Національному університеті "Львівська політехніка".

Обґрунтованість наукових положень, висновків, рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджена узгодженням теоретичних висновків і експериментальних результатів, вибором загальновідомих і визнаних методів оброблення даних, виготовленням дослідних взірців засобами промислової технології мікроелектроніки, загальноприйнятим та зрозумілим тлумаченням вихідних та прикінцевих результатів, позитивними рецензіями на опубліковані статті у фахових наукових виданнях. Наукові положення, висновки та рекомендації підтверджені результатами моделювання та проведених експериментальних досліджень. Викладене дозволяє вважати, що всі основні положення дисертації є обґрунтованими, а отримані результати – достовірними.

Новизна наукових положень, повнота їх викладу в опублікованих працях

До нових наукових результатів здобувача належать наступні:

1. Розроблено концепцію створення та прогнозування параметрів оптичних сенсорів, активною речовиною яких є ХРК, нанокомпозит ХРК–нанодомішка та наноструктура нанокомпозит–пориста матриця. Розроблено активні середовища сенсорів з оптичним методом формування інформативного сигналу, параметром детектування яких слугує довжина хвилі. Інформативний сигнал формується селективним пропусканням оптичного випромінювання крізь активне середовище, що взаємодіє з газами, рідинами та біооб'єктами. Єдиний параметр інформативного сигналу уможливив розроблення універсального завадостійкого сигнального перетворювача. Проведений комплекс досліджень дозволив сформулювати новий напрямок у створенні оптичних сенсорів, інформативним сигналом яких є довжина хвилі.
2. Встановлено основні закономірності зміни спектральних характеристик нанокомпозитів під впливом СО. Показано, що зі збільшенням концентрації СО мінімум пропускання на спектральних характеристиках зміщується, а максимальні зміни в положенні мінімуму пропускання на спектральних характеристиках спостерігаються до досягнення концентрацією СО значення 20 мг/м^3 . Саме в цьому діапазоні для нанокомпозиту на основі ХРК ЕЕ1 з домішкою магнетиту Fe_2O_3 отримано максимальне значення коефіцієнта спектральної чутливості, що становить $1,71 \text{ нм/мг/м}^3$ при концентрації магнетиту 3%. Досліджено також основні закономірності зміни спектральних характеристик нанокомпозитів під впливом двоокису сірки (SO_2). Показано, що максимальні зміни в положенні мінімуму пропускання на спектральних характеристиках для нанокомпозиту на основі CLC-2101L+5CB спостерігаються до значення концентрації SO_2 20 мг/м^3 . Коефіцієнт спектральної чутливості зростає зі збільшенням концентрації AlN у нанокомпозиті. Його максимальне значення, що становить $0,47 \text{ нм/мг/м}^3$, перебуває в діапазоні концентрацій SO_2 $25 \dots 75 \text{ мг/м}^3$ для

нанокompозиту CLC-2101L+5CB з домішкою 0,45% AlN. Для створення твердотільного газочутливого активного середовища оптичних сенсорів запропоновано використати наноструктуру, отриману внаслідок введення нанокompозиту до наноструктурованих пористих матриць на основі Al_2O_3 та SiO_2 . Коефіцієнт спектральної чутливості для матриці на основі Al_2O_3 набуває максимального значення $1,45 \text{ нм/мг/м}^3$ при концентрації монооксиду вуглецю 20 мг/м^3 та діаметрі пор 20 нм . Для матриці на основі SiO_2 максимальний коефіцієнт спектральної чутливості досягається в інтервалі $22,5 \dots 42,4 \text{ мг/м}^3$ і становить $1,47 \text{ нм/мг/м}^3$.

3. Встановлено основні закономірності зміни спектральних характеристик ХРК внаслідок введення в них водних розчинів білків і вуглеводів. Вперше виявлено, що зі збільшенням концентрації водного розчину білків і вуглеводів у РК відбувається зсув мінімуму пропускання в короткохвильову область на $10 \dots 80 \text{ нм}$. При цьому спектральна чутливість приймає значення у межах $0,54 \dots 2,11 \text{ нм/\%}$ для білків та $1,17 \dots 4,5 \text{ нм/\%}$ для вуглеводів. Фізична природа зменшення кроку холестеричної спіралі і, як наслідок, зсув мінімуму пропускання в короткохвильову область обумовлений біохімічною реакцією під час взаємодії білків з молекулами ХРК, в результаті якої має місце зміна спіральної структури РК. Зміна оптичних характеристик ХРК під час взаємодії з біоб'єктами покладена в основу створення активного середовища оптичних сенсорів для виявлення та ідентифікації біоб'єктів.

4. На основі розробленої моделі проходження світла в системі "світлодіод – газочутливе середовище – фотодіод" встановлено вимоги щодо конструктивних особливостей сигнального перетворювача для оптичного сенсора. Газочутливе середовище є системою на основі інтеркальованих ХРК в наноструктуровану матрицю. Вперше показано,

що для збільшення співвідношення сигнал/шум в якості джерела випромінювання необхідно використовувати світлодіоди з кутом розходження променя меншим ніж 10° . При більших значеннях кута розходження має місце зменшення співвідношення сигнал/шум внаслідок перерозподілу випромінювання між активними ділянками ХРК та пасивною матрицею.

5. Отримали розвиток теоретичні засади побудови широкого ряду конвертерів імпедансу сигнальних перетворювачів оптичних сенсорів з високою селективністю інформативних сигналів. Розроблені конвертери імпедансу базуються на схемах з від'ємним струмовим та додатнім резистивним зворотними зв'язками з RC-колами фільтрів другого порядку. Показано, що перевагою розроблених конвертерів імпедансу є корисний ефект додаткової резонансної режекції на частотах, що передують переходу з малих до високих значень імпедансу. При цьому відношення між коефіцієнтами перетворення на робочій частоті та частотах електромагнітних завад сягає значень понад 10^4 .
6. На основі запропонованих методів оптимізації режимів роботи отримали подальший розвиток алгоритмічно-схемні рішення транзисторних каскадів конвертерів імпедансу, що дозволяють підвищити в 2...3 рази параметричну стабільність та частотну селективність функції перетворення.

Новизна практичних розробок захищена патентами України на корисні моделі. Результати дисертації використовуються під час підготовки спеціалістів напрямку "Електроніка" Національного університету "Львівська політехніка", при виконанні науково-дослідних робіт на кафедрі біофізики Тернопільського державного медичного університету ім. І.Я. Горбачевського, під час виконання науково-дослідних робіт на підприємстві НВП "Карат" (Львів), а також у Львівських медичних закладах (5-а лікарня та

Львівська обласна клінічна лікарня). Результати впровадження підтверджено відповідними актами.

Усі наукові положення повністю викладені в наукових працях, опублікованих у фахових виданнях України (30 статей) та ближнього зарубіжжя (16 статей в реферованих журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Web of Science та/або Scopus), пройшли апробацію на науково-технічних конференціях та семінарах (опубліковано 30 тез доповідей). Аналіз публікацій засвідчує, що вони відображають зміст усіх розділів дисертації.

Практичне значення одержаних результатів

За результатами досліджень розроблено:

- активне середовище на основі структури РК матеріал – наноструктурована матриця для новостворених оптичних сенсорів шкідливих газів;
- активне середовище на основі рідких кристалів для оптичних сенсорів концентрації біологічних речовин, а саме, протеїнів і вуглеводів;
- оптичний сенсор температури на основі РК оптичного автогенератора;
- завадостійкі сигнальні перетворювачі для оптичних сенсорів.

Розроблено низькочастотний рідкокристалічний автогенератор для сенсорів фізичних величин.

Покращена методика розрахунку констант пружності в нематико-холестеричних сумішах, розроблений метод розрахунку коефіцієнта селективного відбиття активного середовища оптичних сенсорів.

Проведене моделювання впливу поверхні на характеристики холестеричних рідких кристалів для РК сенсорів.

Проведено модифікацію, розроблення і реалізацію конвертерів імпедансу.

Новизну і значущість отриманих автором практичних результатів підтверджують 3 патенти України.

Зауваження

1. В оглядовому розділі автор акцентує увагу тільки на оптичних сенсорах з активним середовищем на рідких кристалах і не проводить порівняння із сенсорами тих же фізичних величин, робота яких основана на інших принципах.
2. Вимога висунута на стор.40 "... Для багаторазового застосування сенсора необхідне забезпечення додаткового температурного режиму, відмінного від температурного режиму реєстрації. ..." означає ускладнення умов застосування такого сенсора.
3. Не пояснено чим обумовлена така стрибкоподібна зміна (рис.3.17.) залежності коефіцієнта спектральної чутливості від концентрації монооксиду вуглецю для нанокompозиту на основі пористого оксиду кремнію з холестеричним рідким кристалом EE1 із 0,3 % магнетиту Fe_3O_4 .
4. В третьому розділі на с.128 не точно вказано номер формули, слід здогадуватися, що це формула (3.5).
5. В п.3.4. не обґрунтовано, чому у якості зразка для дослідження було використані золоті наночастинки саме стрижнеподібної форми.
6. На с.86 не обов'язково описувати з яких внутрішніх блоків складається мікроконтролер – необхідна інформація міститься в документації. Необхідно було вказати як саме їх параметри впливають на роботу приладу, або для чого і як саме застосовані ці блоки. Не вказано, що за блок позначений "ПП".
7. В додатку не наведені SPICE моделі сенсорів описаних в шостому розділі, внаслідок чого відсутня можливість встановлення коректності моделі, а також не вказано в чому полягає перевага транзисторних

ковертерів імпедансу. Не приведені параметри операційного підсилювача та транзистора.

8. В шостому розділі с.184 не зрозуміло які саме частоти автор відносить до паразитних, та яким вимогам до інтегральної мікроелектроніки відповідає відсутність індуктивних елементів в схемі конвертера.
9. Було б доцільним дослідити вплив на характеристики сенсора залишкового шару РК на поверхні оксиду алюмінію. Під час приготування зразків не проводились додаткові маніпуляції для усунення залишкового шару РК з поверхні оксиду алюмінію.
10. Стилiстичні та орфографічні помилки: на рис.1.8. не показано, що позначено цифрою 9; на стор.35 порушено вимоги щодо оформлення абзацу тексту; на ст.62 присутній розрив абзацу.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

Представлена до захисту дисертація Вісьтак Марії Володимирівни “Модифікація рідкокристалічних структур та завадостійких сигнальних перетворювачів для оптичних сенсорних пристроїв” на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук є завершеною науково-дослідною працею, яка виконана на високому науковому рівні. В роботі отримано нові науково-обґрунтовані результати, які у сукупності вирішують актуальну і важливу науково-прикладну задачу створення нових сенсорів.

В огляді досить широко представлені області застосування рідкокристалічних сенсорів.

Автором зроблені висновки (с.55) щодо залежності петлі гістерезису від співвідношення товщини шару до кроку спіралі та температури вибраних сумішей.

Врахований вплив у тонких зразках холестерико-нематичного фазового переходу на гістерезисні властивості, що покладено в основу створення оптичних сенсорів температури.

Автор вміло використовує програмне забезпечення GBMOLDD для комп'ютерного моделювання молекулярних моделей. Для візуального відображення розміщення молекул у шарі РК використаний програмний продукт RasMol. Спеціалізована програма візуалізації молекул «RasMol V2.7.5 Molecular Visualisation Program», дає змогу відтворити на екрані складні органічні структури, зокрема РК, молекули ДНК тощо. Для врахування впливу оптичних властивостей окремих елементів системи структурована матриця-РК на параметри первинного перетворювача було проведено моделювання проходження світла в таких структурах за допомогою програмного продукту ZEMAX призначеного для аналізу оптичних систем на основі послідовного чи не послідовного розрахунку променів

Цікавим є рішення інтеркаляції холестеричних рідких кристалів у пористій матриці та пояснення причин виникнення явищ, що спостерігалися в досліджуваних зразках.

Зменшено паразитний вплив стороннього (неінформативного) оптичного випромінювання та електромагнітних завад на роботу розроблюваних сенсорів.

Дисертаційна робота оформлена відповідно вимог до науково-технічних текстів, матеріал дисертації викладено логічно та послідовно, грамотно. Незначні окремі граматичні, стилістичні та пунктуаційні помилки, в цілому не псують загального позитивного враження про роботу. Текст автореферату і висновки повністю відображають зміст та результати досліджень, наведені в дисертації. Основні результати роботи відображені в опублікованих наукових працях автора.

За актуальністю, науковою новизною, практичною значимістю, важливістю отриманих результатів, обсягом і рівнем публікацій дисертація відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», встановленим ВАК

України до докторських дисертацій, а її автор Вісьтак Марія Володимирівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.01 – твердотільна електроніка.

Офіційний опонент:

Д.т.н., професор, завідувач кафедри
радіотехніки та інформаційної безпеки
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича

 Л.Ф.Політанський

Підпис Політанського Л.Ф. засвідчую:

Вчений секретар
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича

І.М.Кубай

