

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Кузнецової Катерини Сергіївни
«Мікрохвильова діелектрометрія сильно поглинаючих рідин на основі шаруватих
електродинамічних структур»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 –
Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія

Актуальність дослідження представленої дисертаційної роботи зумовлена використанням шаруватих хвилевідних структур, що є складовими елементами мікрохвильових пристроїв дослідження діелектричних властивостей сильно поглинаючих рідин. Важливим аспектом при створенні цих пристроїв є вивчення особливостей поширення електромагнітних хвиль в шаруватих електродинамічних структурах з сильно поглинаючою рідиною в мікрохвильовому діапазоні частот де спостерігається максимальна частотна дисперсія комплексної діелектричної проникності води. Актуальним також є проведення моніторингу діелектричних характеристик досліджуваних сильно поглинаючих рідин у реальному часі із використанням шаруватих хвилевідних структур. Використання таких шаруватих електродинамічних структур забезпечує можливість дослідження розчинів біологічно активних речовин, що може бути застосовано у технологічних процесах виробництва фармацевтичних препаратів і дозволить проводити експрес-аналіз досліджуваних розчинів в мікрохвильовому діапазоні за визначенням комплексної діелектричної проникності цих розчинів.

Метою дисертаційної роботи є вдосконалення діелектрометричних методів дослідження сильно поглинаючих рідин, використовуючи шаруваті електродинамічні структури із сильно поглинаючою рідиною у мікрохвильовому діапазоні та виявлення особливостей поширення електромагнітних хвиль у таких структурах. Для досягнення зазначеної мети було розв'язано наступні завдання: експериментально отримані дані діелектричної проникності водних розчинів ряду біологічно активних речовин за допомогою мікрохвильової диференційної діелектрометрії; застосовано цей метод для безперервного моніторингу діелектричних властивостей розчинів в яких відбувається ферментативна реакція гідролізу білків у реальному часі; оптимізовано структуру вимірювальної кювети мікрохвильового диференційного діелектрометра із застосуванням аксіально-симетричної шаруватої хвилевідної структури комірок різної довжини з достатньо тонким шаром рідини для підвищення чутливості визначення комплексної діелектричної проникності та зменшенню похибки отримання діелектричної

проникності з вимірних даних (за рахунок повної відповідності розрахункової моделі та експериментальної комірки) для сильно поглинаючих рідин в міліметровому та сантиметровому діапазонах довжин хвиль без необхідності використання референсної рідини.

Для вирішення цих завдань використовується методика розв'язання електродинамічної задачі, заснована на розв'язанні рівнянь Максвелла, що дозволяє вивчити особливості поширення електромагнітних хвиль у шаруватих електродинамічних структурах і визначити комплексну діелектричну проникність сильно поглинаючих рідин за вимірними величинами зсуву фаз та різниці амплітуд хвилі HE_{11} , що поширюється вздовж кварцового стрижня у вимірювальних комірках мікрохвильового диференційного діелектрометра з референсною та досліджуваною рідинами.

Структура дисертаційної роботи Кузнецової К. С. містить анотацію, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних літературних джерел і додаток. Дисертаційна робота заснована на результатах автора, які були опубліковані у співавторстві, у 4 статтях у зарубіжних виданнях (2 з яких є публікаціями в журналах із квартілем Q1, 1 має квартіль Q2), індексованих у Scopus та/або Web of Science та 1 статті – у науковому фаховому виданні України, у 5 наукових працях, які засвідчують апробацію матеріалів дисертаційної роботи, в 1 главі у книзі та 1 патенту на винахід України.

Дослідження дисертаційної роботи були зосереджені на проведенні експериментальних та чисельних досліджень комплексного коефіцієнту поширення хвилі HE_{11} вздовж кварцового стрижня, оточеного шаром досліджуваної рідини. Показано, що в залежності від частоти та величини шару досліджуваної сильно поглинаючої рідини можливо оптимізувати чутливість структури вимірювальної комірки до змін комплексної діелектричної проникності сильно поглинаючої рідини, з прийнятним для застосування її у складі діелектрометра коефіцієнтом загасання хвилі HE_{11} , що поширюється в структурі, від сантиметрового до міліметрового діапазону довжин хвиль. Особливу увагу приділено визначенню комплексної діелектричної проникності ряду розчинів біологічно активних речовин і проведенню розрахунків розподілу електромагнітного поля для шаруватої структури з діелектричним стрижнем, оточеним сильно поглинаючою рідиною.

Розв'язуючи електродинамічну задачу шаруватої хвилевідної структури з кварцовим стрижнем та шаром сильно поглинаючої рідини, за вимірними значеннями різниці фаз та різниці амплітуд електромагнітної хвилі HE_{11} ,

отримано значення комплексної діелектричної проникності для ряду водних розчинів біологічно активних речовин (антибіотики, глюкоза, білки імуноглобулін G та сироватковий альбумін людини, дифтерійний анатоксин, етанол). В дисертаційній роботі представлено порівняння та отримано узгодження результатів діелектрометричних вимірювань для деяких водних розчинів біологічно активних речовин з результатами як попередніх досліджень інших авторів, так і з результатами, отриманими методами спектрофотометрії та молекулярно-динамічного моделювання, щодо зменшення кількості вільних молекул води в розчинах зі збільшенням концентрації біологічно активних речовин.

В дисертації представлено результати безперервного моніторингу ферментативної реакції гідролізу білків сироваткового альбуміну та імуноглобуліну G людини за визначенням діелектричних властивостей цих реакційних сумішей в залежності від часу реакції гідролізу. На основі отриманих даних збільшення значень комплексної діелектричної проникності реакційних сумішей впродовж часу реакції встановлено, що додавання гідролітичного ферменту до водно-білкового розчину призводить до зниження концентрації білку внаслідок розщеплення білкових молекул на більш дрібні пептиди. Отримані дані комплексної діелектричної проникності водних розчинів реакційних сумішей, в яких відбувається ферментативна реакція гідролізу білків, отримали добре узгодження в порівнянні із даними поглинання аналогічних реакційних сумішей, отриманих спектрофотометричним методом. Цим підтверджено достовірність діелектрометричних вимірювань розчинів біологічно активних речовин, концентрація яких змінюється впродовж часу реакції ферментативного гідролізу.

Наукова новизна отриманих результатів роботи визначається наступним:

1) Вперше проведено класифікацію мод круглого металевого хвилеводу з центральним діелектричним стрижнем, оточеним шаром сильно поглинаючої рідини, що не мають фіксованих частот відсікання мод у порівнянні з хвилеводом з однорідним заповненням. Встановлено, що коефіцієнт загасання хвилі HE_{11} типу є найменшим у порівнянні з іншими типами хвиль в діапазоні частот.

2) Удосконалено конструкцію кювети діелектрометра, яка не потребує референсної рідини, складається з двох комірок різної довжини, в яких компенсовано вплив дифракційних ефектів на краях комірок, що мають аксіальну симетрію та достатньо тонкий шар досліджуваної рідини, внаслідок чого підвищено чутливість визначення комплексної діелектричної проникності рідин,

зменшена похибка її отримання з вимірних величин та зменшена кількість необхідної для дослідження рідини.

3) Дістало подальший розвиток експериментальне визначення значень комплексної діелектричної проникності водних розчинів ряду біологічно активних речовин (антибіотики, глюкоза, сироватковий альбумін людини, імуноглобулін G людини, водні та сольові розчини білку альбуміну з додаванням глюкози, дифтерійний анатоксин). Значення проникності зменшуються в залежності від збільшення концентрації біологічно активних речовин зі зменшенням кількості вільних молекул води у розчині. Поведінку залежностей діелектричної проникності підтверджено методом молекулярно-динамічного моделювання згідно збільшення гідратації та часу існування водневих зв'язків між молекулами води з молекулами білка та глюкози, та узгодженням з результатами, отриманими відомим фармакопейним методом аналізу фармацевтичних препаратів – методом UV-Vis спектрофотометрії.

4) Вперше представлено нову методику моніторингу ферментативної реакції гідролізу білків у реальному часі за визначенням їх діелектричної проникності у розчині, залежності яких якісно підтверджуються методом спектрофотометрії.

Практичне значення одержаних результатів:

1) Розроблену нову методику можливо застосовувати для моніторингу біохімічних реакцій без необхідності руйнування ферменту та зупинки реакції, що продемонстровано на прикладі безперервного моніторингу ферментативної реакції гідролізу білка.

2) Запропонована методика контролю процесу переходу дифтерійного токсину в нетоксичну форму анатоксин методом мікрохвильової діелектрометрії може бути застосована у технологічному процесі виробництва вакцини проти дифтерії замість використання досліджень на тваринах.

3) Розроблена вдосконалена конструкція диференційного діелектрометра з підвищеною чутливістю визначення комплексної діелектричної проникності, зменшеною похибкою її отримання з експериментальних даних та зменшеного об'єму рідини, необхідного для вимірювання, може бути застосована у біомедичних дослідженнях, контролі якості харчових продуктів, технологічних процесах виготовлення фармацевтичних препаратів.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1) У роботі, в залежності від розділу, використовується або молярна або об'ємна величини концентрацій розчинів речовин. Використання виключно або молярної або об'ємної концентрацій у дисертації спростило би сприйняття

матеріалу, особливо при проведенні порівнянь результатів, яке можливе тільки у разі перерахунку концентрацій.

2) В тексті дисертації наведено величину похибки вимірювання характеристик, отриманих на основі похибки визначення величини мінімумів фази та амплітуди мікрохвильового сигналу мосту, а також похибки вимірювання довжини діелектричного стрижня. Зважаючи на те, що у роботі представлений діелектрометр та дослідження за його допомогою, доцільно було б розрахувати невизначеність отримання діелектричної проникності, яка враховує вплив всіх можливих чинників на кінцевий результат вимірювання та більш повно описує точність самого приладу та результатів, отриманих за його допомогою.

3) У дисертації зменшення комплексної діелектричної проникності розчинів зі збільшенням концентрації речовини пояснюється тільки зменшенням кількості вільної води, але в цьому разі обидві частини діелектричної проникності повинні змінюватися однаково для будь-якої речовини. В дійсності ж для різних речовин у розчині їх дійсна та уявна проникність змінюються по-різному та навіть цей факт використовується для визначення речовини. Що ще впливає на зміну комплексної діелектричної проникності розчину речовини?

4) У викладеному тексті четвертої глави розглянутий підхід врахування впливу температури. Дійсно, температура зразка має значний вплив на діелектричну проникність зразка. Рекомендується розглянути додаткові аспекти експериментальної частини щодо методики моніторингу ферментативної реакції гідролізу білків, зокрема, можливі варіації температурних умов досліджень (стабілізації температури досліджуваної та референсної рідини), які можуть впливати на перебіг реакції ферментативного гідролізу білків. Тому можливо було б детальніше обговорити цей ефект та його вплив на отримані результати вимірювання діелектричних властивостей рідин.

Важливо відзначити, що зауваження до дисертаційної роботи мають рекомендаційний характер та не впливають на її загальну позитивну оцінку. В дисертаційній роботі отримані нові науково обґрунтовані результати, що вирішують актуальну задачу, яка стосується з'ясування особливостей поширення електромагнітних хвиль у шаруватих електродинамічних структурах із сильно поглинаючою рідиною у мікрохвильовому діапазоні для вдосконалення діелектрометричних методів дослідження сильно поглинаючих рідин з використанням таких структур.

Відомості про дотримання академічної доброчесності. У дисертаційній роботі та наукових публікаціях Кузнецової К. С. не виявлено випадків порушення

академічної доброчесності, а дисертація відповідає існуючим вимогам оформлення.

Враховуючи зазначене, вважаю, що дисертаційна робота **«Мікрохвильова діелектрометрія сильно поглинаючих рідин на основі шаруватих електродинамічних структур»**, виконана на високому науковому рівні та повністю відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а її автор, Кузнецова Катерина Сергіївна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 1 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

Рецензент

кандидат фізико-математичних наук, старший дослідник,
старший науковий співробітник відділу радіофізики твердого тіла
ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України

О.І. Губін

Підпис О.І. Губіна засвідчую

В.О. Вченого секретаря ІРЕ ім. О. Я. Усикова НАН України
кандидат фіз.-мат. наук



О. В. Кривенко