

ВИСНОВОК

**про наукову новизну і практичне значення
результатів дисертації**

**Мацьків Олесь Ігоровича на тему: «Кінетика фотостимульованих
структурних перетворень у епоксидних полімерних матеріалах**

біосенсорного призначення»,

**що подається на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
галузі знань 10 «Природничі науки»**

Актуальність теми дисертації

Розвиток сучасного матеріалознавства, зокрема у галузі біологічної сенсорики та медичної діагностики, вимагає створення нових функціональних полімерних матеріалів із контрольованою наноструктурою. Останніми роками у світовій науці спостерігається стійка тенденція до переходу від синтетичних полімерів нафтохімічного походження до екологічно безпечних, відновлюваних біобазованих матеріалів. З огляду на це, епоксиакрилатні системи на основі акрилової епоксидованої соєвої олії (AESO) є надзвичайно перспективними кандидатами для створення іммобілізаційних матриць, наноструктурованих мембран та селективних покриттів біосенсорів завдяки їхній біосумісності та здатності до швидкого затвердіння.

Застосування методів УФ-фотополімеризації для формування таких матеріалів забезпечує низку технологічних переваг: високу швидкість процесу, енергоефективність та можливість точного просторового контролю (зокрема методами фотолітографії). Проте, функціональні характеристики кінцевих виробів (розмір і розподіл вільного об'єму, проникність, локальна механічна міцність) критично залежать від архітектури сформованої полімерної сітки, яка закладається саме на етапі фотостимульованих структурних перетворень.

Незважаючи на широке впровадження фотополімерних технологій, фундаментальні фізичні закономірності формування сітки у складних біополімерних епоксидних системах залишаються недостатньо вивченими. Зокрема, у сучасній літературі практично відсутні дослідження прямої часової кореляції між генерацією вільних радикалів та рівнем конверсії мономерів у системах на основі AESO. Не з'ясованим повною мірою залишається кінетичний механізм переходу від хімічно контрольованого до дифузійно контрольованого режиму полімеризації (гель-ефект Троммсдорфа-Норріша).

Крім того, виникнення градієнтів УФ-опромінення в об'ємі матеріалу призводить до неоднорідного поширення фронту реакції і, як наслідок, до гетерогенності полімерної сітки. Вплив такої наноструктурної неоднорідності на локальні механічні та транспортні властивості матриць потребує детального вивчення, оскільки розробка ксенобіотичних біосенсорів вимагає прецизійного контролю вільного об'єму для забезпечення селективного іонного потоку та дифузії.

У зв'язку з цим, застосування новітнього комплексного підходу, що поєднує спектроскопічні вимірювання (ЕПР та БІЧ-спектроскопія за єдиним протоколом), позитронну анігіляційну спектроскопію (ПАС) для аналізу нанопорожнин та ультрананоіндентування для локального механічного аналізу, є своєчасним і необхідним.

Отже, встановлення взаємозв'язків між кінетикою фотополімеризації, структурою полімерної сітки та функціональними властивостями епоксидних біоматеріалів є вельми актуальною науковою проблемою прикладної фізики, вирішення якої дозволить оптимізувати технологічні режими створення новітніх платформ для біосенсорних застосувань.

Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямками університету та кафедри

Дисертаційна робота відповідає основним напрямкам діяльності кафедри фізики та інформаційних систем, науково-дослідної лабораторії матеріалів твердотільної мікроелектроніки імені професора Володимира Цмоця та кафедри біології та хімії Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка.

Основні результати дисертантом отримані в рамках виконання таких тем:

1. Кафедральна тема «Отримання та дослідження фізичних властивостей нанокомпозитних матеріалів на основі широкозонних напівпровідників» (2022-2025 роки);
2. «Фотополімерні матриці та наноносії при конструюванні біосенсорів для моніторингу стану довкілля та якості питної води» (2021-2023), № державної реєстрації, за рахунок коштів загального фонду державного бюджету МОН України.
3. «Модифікація полімерних композитів за використання методів штучного інтелекту для нових біосенсорів екологічного та біомедичного призначення» (2025-2027), № державної реєстрації 0125U001054, за рахунок коштів

загального фонду державного бюджету МОН України (проект молодих вчених).

Особиста участь автора в одержанні наукових та практичних результатів, що викладені в дисертаційній роботі

Дисертаційна робота виконана на кафедрі фізики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка. Розглянувши звіт подібності щодо перевірки на плагіат, рецензенти дійшли висновку, що дисертаційна робота Мацьків О.І. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають посилання на відповідне джерело. Внесок автора у наукові роботи, виконані у співавторстві, відображено у переліку опублікованих праць за темою дисертації. Спільно з науковим керівником, кандидатом фізико-математичних наук, доцентом Кавецьким Т.С., сформульовано основну ідею дисертаційного дослідження, визначено його мету і завдання, розроблено підхід до експериментального моніторингу кінетики фотополімеризації методами електронного парамагнітного резонансу (ЕПР) та ближньої інфрачервоної (БІЧ)-спектроскопії. Здобувачем самостійно виконано аналіз літературних джерел, проведено обробку і фізичну інтерпретацію кінетичних даних [4*, 5*, 7*], виконано узагальнення результатів досліджень, встановлено кореляції між кінетичними параметрами [4*, 5*, 7*], структурною неоднорідністю [6*] та функціональними властивостями сформованих матеріалів [1*, 2*, 3*, 8*, 9*, 10*, 11*, 12*, 13*], а також сформульовано основні наукові положення і висновки роботи. У публікаціях, виконаних у співавторстві, здобувачеві належать постановка окремих задач, обробка експериментальних даних, побудова графічних залежностей, проведення частини розрахунків та участь у підготовці текстів публікацій.

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Достовірність одержаних результатів і висновків забезпечено застосуванням комплексу взаємодоповнювальних сучасних фізичних методів дослідження – електронного парамагнітного резонансу та ближньої інфрачервоної (БІЧ)-спектроскопії, наноіндентування та спектроскопії часу життя анігіляції позитронів. Обґрунтованість результатів гарантується узгодженістю кінетичних, структурних і механічних даних між собою,

застосуванням апробованих фізичних моделей фотополімеризації, вільного об'єму та дифузійного транспорту (зокрема моделі Тао-Елдрупа), а також відповідністю встановлених закономірностей сучасним уявленням про радикальну та катіонну фотополімеризацію епоксидних систем. Надійність висновків підтверджується статистичним опрацюванням результатів, їхньою відтворюваністю та узгодженістю з даними експериментальних робіт інших дослідників.

Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше:

1. За допомогою комплексного ЕПР/БІЧ підходу за розробленим однаковим протоколом вимірювання та ідентичним УФ-опроміненням встановлено часову кореляцію між утворенням вільних радикалів та конверсією подвійних зв'язків для досліджуваних епоксидних полімерів на основі AESO:VDM з фотоініціатором. Виявлена антикореляція між двома сигналами (ЕПР – вільні радикали) та (БІЧ – конверсія подвійних зв'язків), зокрема характерна особливість поблизу 55 с, є прямим експериментальним підтвердженням переходу від фотохімічно контрольованого до дифузійно контрольованого режиму полімеризації.
2. Визначено залежну від конверсії ефективну константу швидкості розпаду радикалів k для епоксиакрилатної системи AESO:VDM, що дозволило кількісно описати перехід від хімічно контрольованого до дифузійно контрольованого режиму та встановити механізм гел-ефекту на рівні елементарної константи швидкості розпаду радикалів.
3. На прикладі епоксидних полімерів на основі BADGE встановлено, що виникнення наноструктурної неоднорідності полімерної сітки визначається конкуренцією між швидкістю генерації радикалів та їх просторовою дифузією, що безпосередньо впливає на механічні характеристики матеріалу. Показано, що зростання модуля пружності та твердості для неоднорідного зразка у порівнянні з однорідним зразком корелює зі збільшенням густини зшивання в мікрообластях швидкої полімеризації за рахунок локального перегріву.
4. Встановлено, що полімерні матриці на основі AESO та їх суміші з VDA та VDM характеризуються подібною морфологією щодо розміру та розподілу вільного об'єму, тоді як додавання фотоініціатора дозволяє суттєво змінити структурну морфологію та вільні об'єми.

Наукове та практичне значення результатів дисертації. Використання результатів роботи

Результати, отримані в межах дисертаційного дослідження, поглиблюють розуміння фундаментальних закономірностей формування полімерної сітки під час фотополімеризації та механізмів зв'язку між кінетикою радикалоутворення, структурною гетерогенністю і функціональними властивостями матеріалів. Розроблена методологія комплексного спектроскопічного (ЕПР/БІЧ) моніторингу створює науково обґрунтовану основу для керованого формування фотополімерних матеріалів на основі AESO з наперед заданими структурними, механічними та транспортними характеристиками і може бути використана для оптимізації режимів УФ-опромінення та концентрації фотоініціатора без тривалого емпіричного підбору.

Розроблена методологія комплексного спектроскопічного моніторингу може бути застосована для оптимізації технологічних параметрів виготовлення фотополімерних матеріалів з контрольованою наноструктурою для біосенсорних застосувань, зокрема: трекових мембран з заданою пористістю та функціоналізованою поверхнею для селективного транспорту іонів; полімерних матриць для іммобілізації біомолекул з оптимізованими механічними та дифузійними характеристиками; фоточутливих покриттів для мікро- та наноструктурування біосенсорних платформ методами фотолітографії.

Встановлені закономірності «структура-властивості» дозволяють в подальшому цілеспрямовано керувати формуванням полімерної сітки через варіювання інтенсивності УФ-опромінення та концентрації фотоініціатора, що забезпечує відтворюваність функціональних характеристик біосенсорних пристроїв.

Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

Основні положення та результати дисертації висвітлено у 13 наукових працях, з них: 4 наукові статті, опубліковані у виданнях, що входять до списку наукових фахових видань України та проіндексованих у наукометричних базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 3 матеріалів та тез доповідей на міжнародних наукових конференціях, та 6 статей, які додатково відображають наукові результати дисертації.

Наукові статті, опубліковані у виданнях, що входять до списку наукових фахових видань України та проіндексованих у наукометричних базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus

1. Y.V. Bondaruk, T.S. Kavetskyu, A.O. Vinkovskaya, M. Kushniyazova, D.O. Dyachok, L.I. Pankiv, H.M. Klepach, O.R. Mushynska, O.V. Zubrytska, **O.I. Matskiv**, Y.V. Pavlovskyu, S.Y. Voloshanska, S.S. Monastyrskaya, L.V. Bodnar, A.E. Kiv. Improvement of new electronic materials using computer modelling // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2023. Vol. 26, No. 4. P. 470-474. (*Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, підготовці публікації до друку*).
2. T.S. Kavetskyu, O.V. Zubrytska, **O.I. Matskiv**, M. Stievenard, O. Šauša, H. Švajdlénková, V.M. Soloviev, A.O. Bielinskyi, J. Ostrauskaite, A.E. Kiv. Photopolymerization and photodegradation of polymers after long-term UV light exposure // Physics and Chemistry of Solid State. 2025. Vol. 26, No. 4. P. 718-732. (*Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, підготовці публікації до друку*).
3. D. Fink, A.E. Kiv, T.S. Kavetskyu, D.O. Dyachok, Y.V. Bondaruk, A.O. Vinkovskaya, N.K. Hoivanovych, L.I. Pankiv, O.V. Zubrytska, **O.I. Matskiv**, U.V. Khromiak, Y.Y. Pavlyshak, Y.V. Pavlovskyu, V.M. Senkiv, S.S. Monastyrskaya. Computer modeling of diffusion processes in porous materials // Physics and Chemistry of Solid State. 2026. Vol. 27, No. 1. P. 11-14. (*Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, підготовці публікації до друку*).
4. T.S. Kavetskyu, **O.I. Matskiv**, O. Šauša, H. Švajdlénková, V.M. Soloviev, A.O. Bielinskyi, A.V. Tuzhykov, J. Ostrauskaite, A.E. Kiv. A correlation between formation of free radicals and double bonds conversion during photopolymerization by in-situ EPR and NIR study and complex systems theory approach // Physics and Chemistry of Solid State. 2026. Vol. 27, No. 2, P. 299-309. (*Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, підготовці публікації до друку*).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. T.S. Kavetskyu, **O.I. Matskiv**, O. Šauša, H. Švajdlenková, V.M. Soloviev, J. Ostrauskaite, A.E. Kiv. Kinetics of photopolymerization of soybean oil-based polymers // Abstracts of Second International Conference on Bioactive, Organic and Inorganic Advanced Materials and Clean Technologies (Sofia, Bulgaria, 27-29 April 2026), P. 129. (*Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків для експериментів, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів*).
6. T. Kavetskyu, **O. Matskiv**, J. Borc, H. Švajdlenková, O. Šauša. Network inhomogeneity of the cured epoxides probed by nanoindentation // Proceedings of the XIII-th International Scientific and Practical Conference "Actual Problems of Modern Science" (Drohobych, Ukraine, 27-30 April, 2026), P. 109-111. (*Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків для експериментів, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів*).
7. T.S. Kavetskyu, **O.I. Matskiv**, O. Šauša, H. Švajdlenková, J. Ostrauskaite, V.M. Soloviev, A.E. Kiv. A correlation between concentration of free radicals and double bonds conversion during in-situ photopolymerization study // Proceedings of the XII International Conference "Topical Problems of Semiconductor Physics" (Drohobych, Ukraine, 25-29 May, 2026), P. 25. (*Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків для експериментів, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів*).

Публікації, які додатково відображають наукові результати дисертації

8. I. Donchev, D. Fink, A. Vinkovskaya, T. Kavetskyu, M. Kushniyazova, D. Dyachok, Y. Bondaruk, L. Pan'kiv, Y. Kukhazh, O. Mushynska, O. Zubrytska, **O. Matskiv**, V. Soloviev, A. Kiv. Simulation of track structures as the basis of biosensors // Acta Carpathica. 2023. Vol. 1(39). P. 66-72. (*Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, підготовці публікації до друку*).
9. A. Vinkovskaya, Y. Bondaruk, D. Fink, T. Kavetskyu, D. Dyachok, I. Donchev, L. Pankiv, Y. Kukhazh, O. Zubrytska, **O. Matskiv**, M. Kravtsiv, R. Leshko, N. Hoivanovych, A. Kiv. Features of chemical etching of track structures // Acta Carpathica. 2023. Vol. 2(40). P. 107-113. (*Особистий внесок здобувача: участь*

у формулюванні задач дослідження, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, підготовці публікації до друку).

10. D. Fink, A. Kiv, T. Kavetskyu, V. Soloviev, Y. Bondaruk, N. Hoivanovych, Y. Kukhazh, O. Zubrytska, **O. Matskiv**, A. Hijaze, O. Šauša. Mechanism for detecting contaminants in the track sensors // Acta Carpathica. 2024. Vol. 2(42). P. 23-29. (Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, підготовці публікації до друку).

11. D. Fink, A. Vinkovskaya, T. Kavetskyu, N. Hoivanovych, Y. Kukhazh, M. Kravtsiv, **O. Matskiv**, O. Šauša, A. Kiv. Mechanism of oscillations of ion currents in the nanotracks // Acta Carpathica. 2025. Vol. 1(43). P. 81-88. (Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, підготовці публікації до друку).

12. D. Fink, J. Vacik, T. Bliudnikova, T. Kavetskyu, **O. Matskiv**, Y. Kukhazh, O. Šauša, A. Kiv. Chemical etching of track polymer structures for biosensorics // Acta Carpathica. 2025. Vol. 2(44). P. 96-105. (Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, підготовці публікації до друку).

13. B. Zgardzińska, T. Kavetskyu, M. Goździuk-Gontarz, **O. Matskiv**, Y. Kukhazh, O. Šauša, J. Ostrauskaite, K. Yankova, A. Kiv. Nanostructure-based selection of biopolymer matrix for the production of xenobiotic biosensors // Acta Carpathica, 2026, Vol. 1(45). P. 97-115. (Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, підготовці публікації до друку).

Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Мова і стиль дисертації відповідають вимогам, що висуваються до праць такого рівня. Зміст дисертації відповідає чинним вимогам до оформлення дисертації, встановленим освітньо-науковою програмою «Прикладна фізика та наноматеріали» галузі знань 10 «Природничі науки» спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали». Нормативні вимоги щодо оформлення дисертації дотримані повністю.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 135 найменувань та 1 додатку. Повний обсяг дисертаційної роботи становить 151 сторінок, у тому числі містить 30 рисунків та 5 таблиць.

У ході обговорення дисертації не було висунуто зауважень щодо самої суті роботи.

Загальний висновок

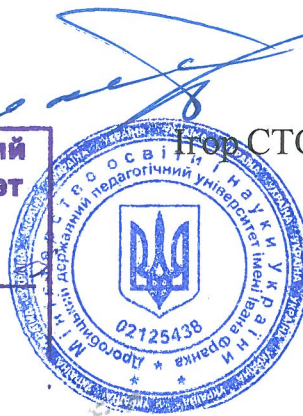
Дисертаційна робота Мацьківа О.І. «Кінетика фотостимульованих структурних перетворень у епоксидних полімерних матеріалах біосенсорного призначення», подана на здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», за її актуальністю, науково-теоретичним рівнем, новизною постановки та розв'язання проблеми, практичним значенням отриманих результатів відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44 (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 507 від 03.05.2024 р.). Дисертаційне дослідження містить обґрунтовані і достовірні висновки та результати.

За результатами публічної презентації результатів дисертації та їх обговорення на фаховому науковому семінарі кафедри фізики та інформаційних систем факультету фізики, математики, економіки та інноваційних технологій Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка дисертацію Мацьківа О.І. рекомендовано до захисту в разовій спеціалізованій вчентій раді для здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Голова засідання,

доктор фізико-математичних наук,
професор, декан факультету фізики,
математики, економіки та інноваційних
технологій, професор кафедри фізики
та інформаційних систем
Дрогобицького державного
педагогічного університету
імені Івана Франка

10.06.2026 р.



Гор.СТОЛЯРЧУК