

УДК 678.82:678.046.7:544.14:661.847

Синтез і властивості гібридних систем функціоналізований поліетилен–ZnO

О.В. Гресь¹, О.Л. Толстов¹, Д.О. Климчук²

¹Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України
48, Харківське шосе, Київ, 02160, Україна

²Інститут ботаніки ім. Н.Г. Холодного НАН України
2, вул. Терещенківська, Київ, 01601, Україна

Запропоновано новий метод синтезу гібридних систем полімер–ZnO на основі функціоналізованих поліетиленів та золю оксиду цинку. Гібридна структура отриманих систем досліджена методом ІЧ-спектроскопії, ширококутової рентгенографії, електронної мікроскопії. Встановлено, що наявність оксиду цинку в системі змінює характер термоокиснювальної деградації гібридних зразків. Ці гібридні системи характеризуються люмінесценцією у видимій області спектра в діапазоні 400–550 нм, характер якої залежить від складу зразка, наявності дефектів кристалічної структури ZnO та хімічного складу поверхні наповнювача.

Ключові слова: гібридні системи, полімери, оксид цинку, структура та властивості.

Вступ.

Серед напівпровідникових матеріалів надзвичайного поширення набув оксид цинку (ZnO). В порівнянні з іншими напівпровідниками, ZnO має низку істотних переваг, таких як: значну ширину забороненої зони, можливість отримання за «м'яких» синтетичних умов проведення синтезу, стійкість до дії вологи, кисню повітря, іонізуючого випромінювання, високе значення п'єзоелектричної константи, задовільні люмінесцентні властивості у широкому спектральному діапазоні, високу теплопровідність, здатність поглинати електромагнітне випромінювання в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні та ін. [1–3], що дає змогу отримувати різні нано- та мікроструктуровані ZnO-вмісні системи для широкого застосування. Аналіз літературних джерел підтверджує перспективність використання ZnO в різноманітних областях науки та техніки, при виготовленні сонячних батарей [4], сенсорів [5],

електронних пристроїв (змінних резисторів) [6], дисплеїв, електропровідних композицій, фотодіодів, світловипромінювальних пристроїв, антибактеріальних наповнювачів, адгезивів та ін. [7, 8].

Створення гібридних полімерних композиційних систем, в яких неорганічна, переважно дисперсна, та органічна (полімерна матриця) складові ковалентно зв'язані, – перспективний напрям отримання функціональних матеріалів з покращеними властивостями завдяки низькому рівню фазового розділення, рівномірному розподілу дисперсної складової та, у деяких випадках, взаємному впливу кожного з компонентів системи (при збереженні функціональних особливостей кожного компонента) [9]. Оксид цинку у складі полімерних гібридних матеріалів має значну хімічну стабільність у порівнянні з наночастинками ZnO, оскільки його поверхня захищена шаром полімерної

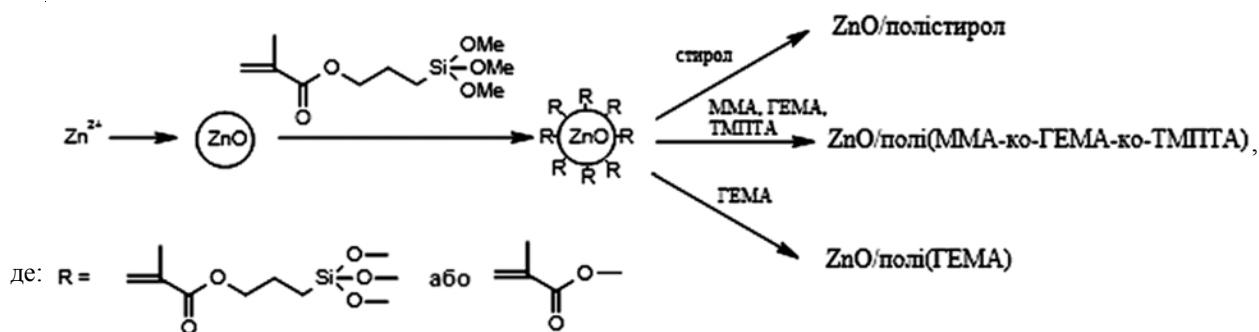


Рис. 1. Схема формування гібридних систем на основі високодисперсного ZnO

складової. Також додатковою перевагою цих гібридних систем є їх набагато вища термічна стабільність у порівнянні з чистими полімерними матеріалами, яка забезпечена введенням неорганічного наповнювача [10].

Відомі кілька способів створення гібридних ZnO-вмісних полімерних композитів шляхом кополімеризації модифікованого ZnO з мономерами різної природи, особливістю якого є попередня модифікація поверхні частинок ZnO прищепленням 3-(триметоксисиліл)пропілметакрилату [11, 12] або метакриловою кислотою [13]. Далі, шляхом проведення кополімеризації модифікованого наповнювача зі стиролом [11], сумішшю метилметакрилату (ММА), 2-гідроксіетилметакрилату (ГЕМА) та триметилпропантриакрилату (ТМПТА) [12, 13], було отримано гібридні органо-неорганічні системи з фотокаталітичними, люмінесцентними, УФ-абсорбційними властивостями. Схема отримання зазначених гібридних композицій наведена на рис. 1.

Інший напрям створення гібридних систем – використання полімерних стабілізаторів з реакційноздатними функціональними групами для отримання стабільних дисперсій ZnO для їх подальшого введення в полімерну матрицю. Спосіб використання окисненої форми монометилового етеру поліетиленгліколю (з кінцевою карбоксильною групою), який було застосовано в роботі [14], дав змогу отримати дисперсію наночастинок ZnO зі стабільною та тривалою люмінесценцією.

В нашій роботі, на відміну від наведених вище «полімеризаційних» способів створення гібридів, запропоновано, так званий, «конденсаційний» підхід отримання гібридних полімерних систем на основі промислового поліетилену (його кополімерів). При використанні поліетилену з епоксидними групами додатково було використано аміновмісний алкоксисилан для поєднання дисперсного компонента та полімерної

матриці, тоді як при використанні поліетилену з ангідридними групами ковалентне зв'язування складових відбувалося безпосередньо при взаємодії ангідридних і –ОН груп кожної із складових системи. Будова та основні властивості отриманих гібридних матеріалів були вивчені методами ІЧ-спектроскопії, ширококутової рентгенографії, термогравіметрії, електронної мікроскопії. Також досліджені люмінесцентні властивості зразків отриманих гібридних систем.

Вихідні речовини.

Як полімерні матриці було обрано кополімер етилену з гліцидилметакрилатом (ПЕГМ, вміст гліцидилметакрилату становив 8 % мас., $M_n = 4,9 \cdot 10^3$; $M_w = 2,05 \cdot 10^4$, $M_w/M_n = 4,19$; Aldrich Chemicals) і поліетилен з прищепленим малеїновим ангідридом (ПЕМА, вміст малеїнового ангідриду 3 % мас., $M_n = 4,9 \cdot 10^3$, $M_w = 2,66 \cdot 10^4$, $M_w/M_n = 5,43$; Aldrich Chemicals). Цинку нітрат гексагідрат ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, 98 %, Aldrich Chemicals) і діетаноламін ($(HOCH_2CH_2)_2NH$, 98 %, Aldrich Chemicals) було обрано для синтезу ZnO. Як «спейсер» було використано (3-амінопропіл)триетоксисилан (АПТС, 98 % Aldrich Chemicals). Толуол і 2-етоксіетанол було використано як розчинники.

Синтез гібридних систем поліетилен–ZnO.

Синтез зразків гібридних систем проводили двома шляхами залежно від типу полімерної матриці. Кополімер ПЕМА розчиняли у толуолі за температури 80 °С, після чого вводили золь ZnO, попередньо отриманий шляхом гідролізу 0,1 М розчину $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ в 2-етоксіетанолі за наявності $(HOCH_2CH_2)_2NH$ (мольне співвідношення $Zn^{2+}/(HOCH_2CH_2)_2NH = 1/2$) за температури 80 °С. Формування золь ZnO відбуваються за схемою: $Zn(NO_3)_2 + 2(HOCH_2CH_2)_2NH + H_2O \rightarrow ZnO_{(золь)} + 2(HOCH_2CH_2)_2NH_2^+NO_3^-$.

Далі змішування реакційної суміші продовжували протягом 3 год. Висока реакційна здатність ангідридних/карбоксильних груп щодо ZnO не потребує використання додаткових реагентів для поєднання

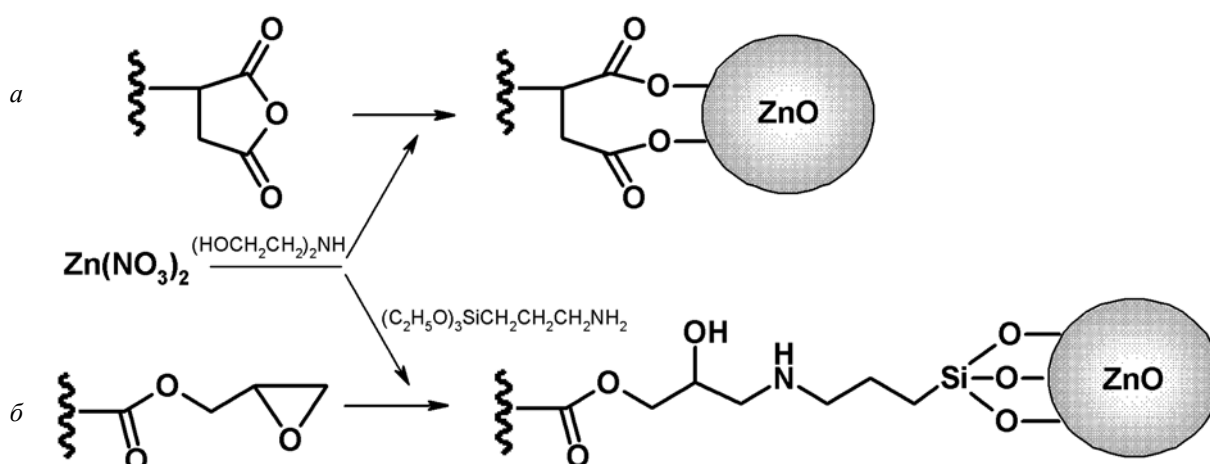


Рис. 2. Схема отримання цинквмісних органо-неорганічних гібридних нанокмозитів складу ПЕМА–ZnO (а) і ПЕГМ–ZnO (б)

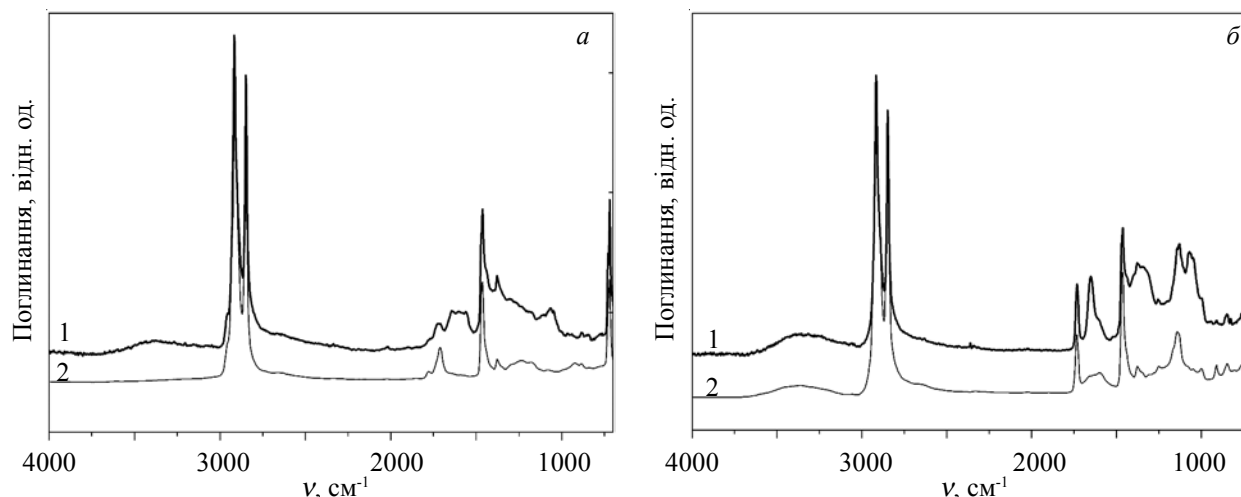


Рис. 3. ІЧ-спектри: вихідних полімерів (крива 1) і ZnO-вмісних полімерних гібридних зразків (крива 2) на основі ПЕМА (а) та ПЕГМ (б)

неорганічної складової та матриці. Схема взаємодії наведена на рис. 2а.

При використанні ПЕГМ умови синтезу було змінено внаслідок низької реакційної здатності оксиранових груп до поверхневих –ОН груп ZnO. Для успішного формування гібридної структури зразка поверхня частинок золю ZnO була модифікована прищепленням АПТС (масове співвідношення ZnO/АПТС = 95/5). Розраховану кількість модифікованого золю ZnO вводили в розчин ПЕГМ у толуолі за температури 80 °С та продовжували змішування протягом наступних 3 год. У цьому випадку АПТС виконує роль, так званого, «спейсера» для ефективного поєднання неорганічної (за рахунок взаємодії алкоксильних груп АПТС і поверхневих –ОН-груп ZnO) та органічної (за рахунок взаємодії –NH₂-груп АПТС та оксиранових груп гліцидилметакрилатних мономерних одиниць ПЕГМ). Схема взаємодії наведена на рис. 2б.

Плівки гібридних композитів отримували шляхом поливу на скляну підкладку, розчинники видаляли шляхом тривалого нагрівання за температури 60 °С. Остаточне видалення розчинників проводили за зниженого тиску за температури 60 °С. Вміст ZnO у кінцевих композитах становив 3 % мас.

Методи аналізу.

Спектральні дослідження проводили на ІЧ-спектрометрі «TENSOR-37» фірми «Bruker» у спектральній області 4000–600 см⁻¹ зі швидкістю сканування 8 см⁻¹/с методом МНПВО з Фур'є перетворенням. Фотолюмінесцентні властивості вивчали за допомогою спектрофлуориметра Shimadzu RF-5301 у спектральному діапазоні вимірювання 360–600 нм за довжини хвилі збудження 360 нм. Чутливість приладу (співвідношення сигнал/шум) становить ≥150. Похибка вимірювання приладу ± 1,5 нм. Рентгенографічні дослідження в широких (ШКР) кутах проводили на автоматичному дифрактометрі ДРОН-4-07, рентгенооптична схема якого виконана за методом Дебая-Шеррера (на

«проходження» рентгенівських променів через досліджуваний зразок) у Cu-K_α випромінюванні, що монохроматизовано Ni-фільтром. Термічні властивості гібридних систем досліджували методом термогравіметричного аналізу в температурному діапазоні 20–700 °С зі швидкістю сканування 5 °/хв. Як зразок порівняння було обрано поліетилен низької густини марки LDPE LD 156 (ExxonMobil™). Морфологічні особливості зразків визначали за допомогою сканувальної електронної мікроскопії (СЕМ) на приладі JEOL JSM 6060 LA з прискорюючою напругою 30 кВ і детектором вторинних електронів. Поверхню зразків покривали тонким однорідним шаром золота для запобігання накопичення поверхневого заряду та отримання більш контрастного зображення.

Результати дослідження та їх обговорення.

Обрання описаних вище умов синтезу ставило за мету забезпечити утворення хімічного зв'язку між полімерною матрицею (ПЕМА або ПЕГМ) і дисперсною неорганічною складовою (ZnO) для формування гібридної системи. При використанні ПЕМА зв'язування складових відбувається за рахунок поверхневих –ОН-груп ZnO та ангідридних (карбоксильних) функціональних груп ПЕМА, як це показано на рис. 2а. У випадку застосування ПЕГМ можливе утворення гідролітично лабільного зв'язку між поверхневими ОН-групами ZnO та оксирановими групами ПЕГМ (рис. 2б). Тому для забезпечення стійкої взаємодії між компонентами було застосовано біфункціональний «спейсер» – (3-амінопропіл)триетоксисилан, аміногрупи якого здатні до взаємодії з оксирановими циклами ПЕГМ, тоді як етоксигрупи реагують з поверхневими –ОН групами ZnO з відщепленням молекул CH₃CH₂OH та утворенням стійкого зв'язку Si–O–Zn (рис. 2б).

Хімічна будова гібридних систем, що утворюються за обраними методами синтезу, була досліджена методом ІЧ-спектроскопії (рис. 3). Для ІЧ-спектра

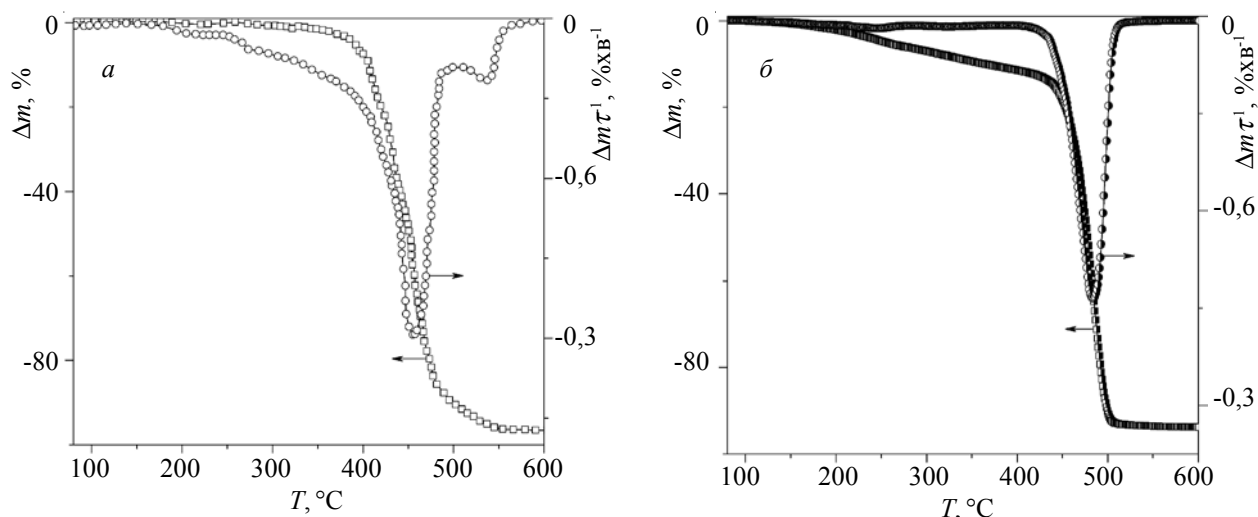


Рис. 4. Криві термогравіметричного аналізу: зразків поліетилену (а) та гібридної системи ПЕГМ–ZnO (б)

прищепленого кополімеру ПЕМА (рис. 3а) характерна наявність смуг поглинання валентних коливань СН зв'язків у діапазоні 3000–2800 і за 1462 cm^{-1} , асиметричних і симетричних коливань С=О зв'язків за 1777 і 1710 cm^{-1} відповідно та смуг поглинання С–О зв'язку ангідридного циклу за 1237, 1180 і 919 cm^{-1} . При формуванні гібридної системи спостерігали появу широкої смуги поглинання –ОН-груп ZnO, широкої смуги поглинання карбоксилат-аніонів за 1646–1554 cm^{-1} з мультимодальним розподілом інтенсивності (наявність карбоксилат-іонів також можна ідентифікувати появою помітного поглинання в діапазоні 2680–2240 cm^{-1}), а також зменшення інтенсивності основної смуги поглинання ангідридного циклу. Карбоксилатні зв'язки та комплексні сполуки хелатного типу на поверхні ZnO, які утворюються за участі –COO-груп та іонів металів змінної валентності, можуть впливати на люмінесцентні властивості неорганічної складової композиту [15].

На ІЧ-спектрі вихідного функціоналізованого поліетилену ПЕГМ (рис. 3б) відмічено наявність таких характеристичних смуг поглинання: ОН зв'язків, що утворюються при поступовому розкритті оксиранових циклів (протягом зберігання зразка кополімеру), СН зв'язків у діапазоні хвильових чисел близько 3000–2800 і за 1452 cm^{-1} , С=О метакрилатних фрагментів за 1734 cm^{-1} , С=C і С–С за 1654 та 1598 cm^{-1} відповідно, а також смуга оксиранового циклу за 911 cm^{-1} . При аналізі ІЧ-спектра гібридної системи ПЕГМ–ZnO було відмічено такі зміни, які свідчать про утворення гібридної структури цієї системи: поява смуги валентних коливань –Si–O– за 1070 cm^{-1} , смуги деформаційних коливань С–N зв'язку близько 1400 cm^{-1} та γ N–H за 1325 cm^{-1} , а також зменшення інтенсивності смуги оксиранового циклу за 911 cm^{-1} . Інші смуги поглинання залишаються незмінними.

Термостійкість систем було вивчено за допомогою методу ТГА на прикладі зразка ПЕГМ–ZnO і зразка

порівняння – поліетилену марки LDPE LD 156 (ExxonMobil™) (рис. 4).

Як видно з даних ТГА стандартного поліетилену (рис. 4а), початок термоокиснювального розкладу поліетилену відмічено за температури близько 175 °С. Друга стадія термодеструкції полімеру відбувалася у температурному інтервалі 255–330 °С. На цих стадіях мали місце первинні процеси термічної та термоокислювальної деградації макроланцюгів полімеру, тому втрата маси за обома стадіями деструкції не перевищує 2 %. Основна термоокиснювальна деструкція поліетилену відмічена на 3 та 4 стадіях розкладу у температурному діапазоні 340–560 °С, за перебігу яких втрата маси досягала 94 %. Маса вуглецевого залишку зразка становила близько 3,5 %. При дослідженні термічних властивостей гібридного зразка ПЕГМ–ZnO (рис. 4б) встановлено, що термоокиснювальний розклад системи починається за температури 160–165 °С та закінчується близько 210 °С. Подальший розклад зразка починається за температури 220 °С, але відокремити другу та наступні стадії деструкції не вдалося внаслідок перекриття їхніх температурних інтервалів. Втрата маси зразка за температури 330 °С (для порівняння зі стандартним зразком поліетилену) становила 8,5 %. Зсув температури початку термоокиснювального розкладу гібридного зразка та відносно висока інтенсивність розкладу, у порівнянні з вихідним поліетиленом, можливо, пов'язані з каталітичним впливом нітрат-іонів (утворюються при перетворенні цинквмісного прекурсора у золь ZnO) і наявності домішок діетаноламіну в іонній формі, які важко видалити з композиції традиційними методами. Необхідно зазначити, що максимальна швидкість розкладу гібридного зразка відмічена за температури 482 °С, що помітно вище, ніж для зразка порівняння (456 °С). Даний факт свідчить про повний розклад вищезазначених домішок і вивільнення продуктів їх деструкції в температурному діапазоні вище за 400 °С, а також

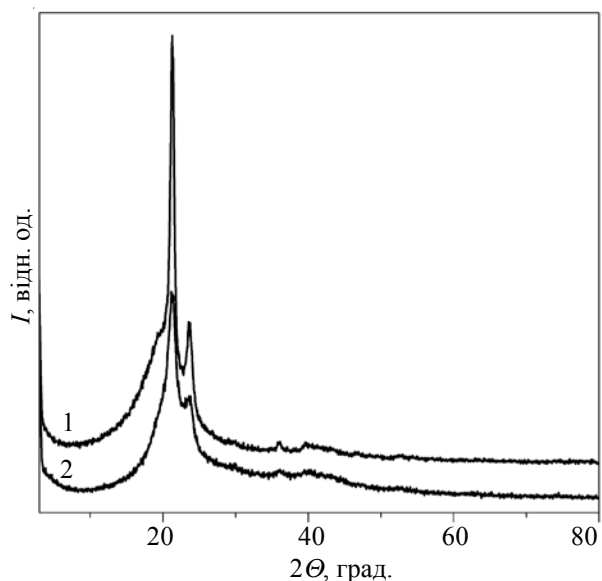


Рис. 5. Ширококутові рентгенограми зразків гібридних композитів складу ПЕМА–ZnO (1) і ПЕГМ–ZnO (2)

про деяку термічну стабілізацію полімерної матриці під впливом неорганічного наповнювача (ZnO). Ефект термічної стабілізації полімерів шляхом введення високодисперсних неорганічних наповнювачів широко відомий в літературі та має значну практичну цінність [16].

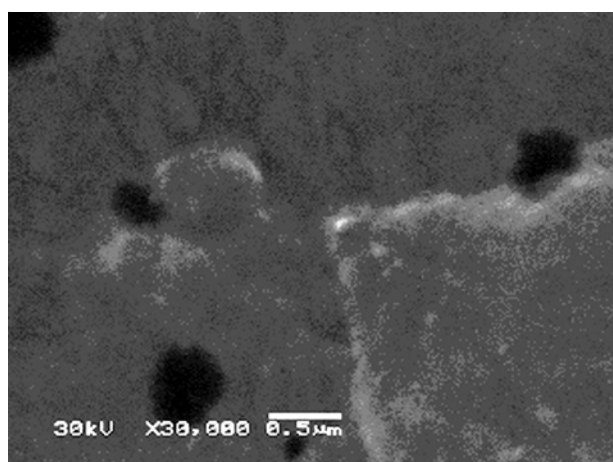
Структура отриманих гібридних систем була вивчена за допомогою ширококутової рентгенографії (рис. 5). З наведених даних видно, що отримані зразки характеризуються двома інтенсивними дифракційними максимумами кристалічної фази з кутовою позицією за 2θ близько $21,3$ і $23,7^\circ$ та дифузним розсіюванням аморфної області в кутовому діапазоні 13 – 26° . Ці характеристики типові для напівкристалічного поліетилену, який виконує роль полімерної матриці. Розраховані, на основі даних рентгенографії за основним дифракційним максимумом ($\sim 21,1^\circ$), розміри

кристалітів поліетилену та міжплощинна відстань становлять: $7,2$ і $0,416$ нм (ПЕГМ–ZnO) й $14,6$ і $0,417$ нм (ПЕМА–ZnO) відповідно. За менш інтенсивним дифракційним максимумом ($23,7^\circ$) ці характеристики становлять $9,2$ і $0,377$ нм (ПЕГМ–ZnO) й $10,4$ нм і $0,376$ нм (ПЕМА/ZnO) відповідно. Ступінь кристалічності дорівнює 29 і 34% для зразків ПЕГМ–ZnO та ПЕМА–ZnO відповідно. Розраховані параметри кристалічної фази поліетиленових матриць для обох зразків близькі для відомих зразків поліетиленів, наприклад (Riblene), тобто формування гібридної структури композитів практично не впливає на кристалізацію поліетиленової матриці.

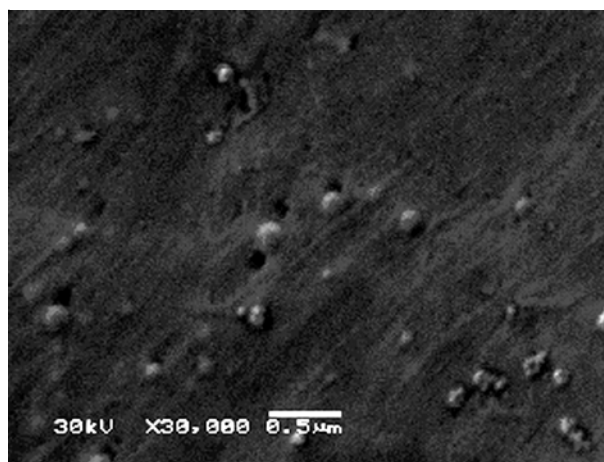
Цей метод аналізу не дає змоги підтвердити наявність у матриці полімеру нанокристалічного ZnO через його відносно низьку концентрацію в системі та розсіювання рентгенівського випромінювання домішками.

Дослідження гібридних композитів ПЕМА–ZnO і ПЕГМ–ZnO методом СЕМ (рис. 6) свідчать, що отримані зразки характеризуються відносно низьким ступенем гетерогенності. Видно, що система ПЕМА–ZnO (рис. 6а) однорідна, з диспергованими в полімерній матриці частинками ZnO розміром 90 – 150 нм. Наявність артефактів мікронного розміру на отриманій мікрофотографії зразка пов'язана зі складним процесом пробопідготовки. Для зразка ПЕГМ–ZnO (рис. 6б) відмічено наявність певної кількості агрегатів ZnO переважно сферичної форми з розміром 80 – 170 нм, які рівномірно розподілені в матриці поліетилену. Дещо більший рівень полідисперсності частинок ZnO у гібридному зразку ПЕГМ–ZnO, можливо, пов'язаний зі складністю та тривалістю методу синтезу зразка при використанні кремнійорганічного «стейсера».

З літературних даних відомо, що полімерні системи, які містять ZnO в нано- та мікроструктурованій формі, мають задовільні люмінесцентні властивості. При цьому, довжина хвилі випромінювання залежить як від способу отримання люмінофору, так і від



а



б

Рис. 6. Мікрофотографії СЕМ зразків: ПЕМА–ZnO (а) та ПЕГМ–ZnO (б)

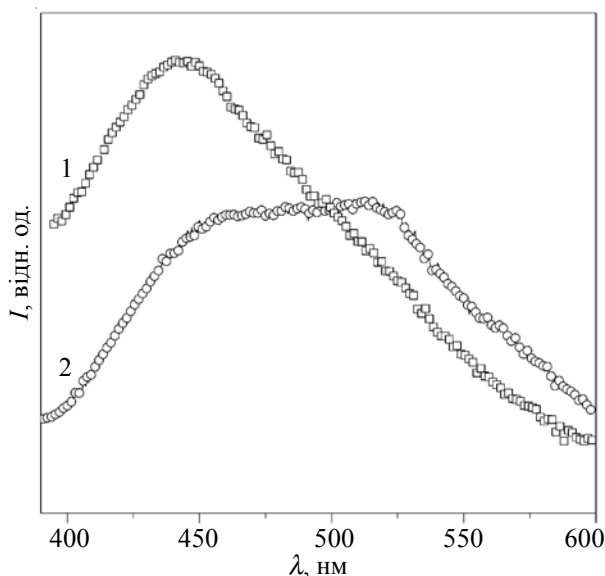


Рис. 7. Спектри фотолюмінесценції зразків: ПЕМА–ZnO (1) і ПЕГМ–ZnO (2) у видимій області спектра (довжина хвилі збудження 365 нм)

поверхневих взаємодій з полімерною складовою [17–19], яка може виконувати функцію стабілізатора або матриці. З метою оцінки перспективності запропонованого методу синтезу гібридних систем для оптичного застосування було проведено вимірювання люмінесцентних властивостей отриманих зразків (рис. 7) у спектральному діапазоні 400–700 нм за довжини хвилі збудження 365 нм. За результатами дослідження встановлено, що зразок ПЕМА/ZnO характеризується широкою смугою фотолюмінесценції у видимій області спектра з $\lambda_{\text{макс}} = 440$ нм (рис. 7, крива 1). На відміну від нього, гібридна система ПЕГМ–ZnO характеризується бімодальною інтенсивністю люмінесценції з двома чіткими максимумами за 460 і 510 нм (рис. 7, крива 2). Важливо, що люмінесценція з максимумом випромінювання до 470–475 нм, у більшості випадків, належить до власної люмінесценції кристалічної структури ZnO, тоді як смуга люмінесценції з максимумом у діапазоні понад 500 нм (переважно 510–550 нм) належить до випромінювання, пов'язаного з дефектами кристалічної ґратки ZnO (вакансії O або Zn^{2+}) [1], а також люмінесценції комплексних (у тому числі хелатних) структур, які утворюються на поверхні частинок ZnO при взаємодії поверхневих –OH-груп

Література

1. Madelung O. Semiconductors: Data Handbook (3rd ed.). –2004.–P.691.
2. Pearton S.J, Norton D.P., Ip K., Heo Y.W. et. al.//Prog. Mater. Sci.- 2009.-**50**.– P.293-340.
3. Janotti A, Van de Walle C.J.//Rep. Prog. Phys.- 2009.-**72**.– P.126501.
4. Oosterhout S.D., Wienk M.M., Al-Hashimi M. et. al.// J. Phys. Chem. C.-2011.-**115**.- P.18901-18908.

наповнювача з функціональними групами низько- та/ або високомолекулярних модифікаторів [17–19].

Висновки.

В результаті проведених досліджень запропоновано новий спосіб створення гібридних органо-неорганічних полімерних систем складу поліетилен–ZnO шляхом «конденсаційного» поєднання функціоналізованого поліетилену та високодисперсного оксиду цинку. При використанні поліетилену з ангідридними групами формування гібридної системи відбувалося безпосередньо при введенні неорганічної складової в розчин полімеру. Додаткове використання аміновмісного кремнійорганічного «спейсера» було необхідним для запобігання утворення гідролітично лабільних зв'язків «матриця–ZnO». Аналіз термічних властивостей гібридних систем свідчить про певну похибку у вимірюванні, що пов'язана з наявністю у кінцевому композиті домішок, проте позитивний вплив неорганічної складової стає помітним при порівнянні температури максимальної швидкості термоокиснювальної деструкції матеріалу. Дослідження морфології свідчать про рівномірний розподіл дисперсної неорганічної складової в отриманих гібридних системах. Отримані зразки мають задовільну інтенсивність фотолюмінесценції у видимій області спектра, причому довжина та розподіл смуг випромінювання залежать від складу зразка, наявності дефектів кристалічної структури ZnO та хімічної структури його поверхні.

Отже, запропонований спосіб синтезу гібридних систем, що містять ZnO, перспективний для отримання матеріалів сучасного оптичного спрямування та близьких до цього галузей застосування (сенсорика та фотоелектроніка).

Робота виконана за часткової фінансової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень (грант Президента України для підтримки наукових досліджень молодих вчених на 2012 рік, договір Ф36/472-2012).

Подяка. Колектив авторів оголошує подяку співробітникам ЦККП ІХВС НАН України, ЦККП ІФХ ім. Л.В. Писаржевського НАН України та ІБ ім. Н.Г. Холодного НАН України за допомогу в отриманні експериментальних даних.

5. Li H-G., Wu G., Chen H-G., et. al.//Sensor. Actuat. B: Chem.-2011.-**160** (1).- P.1136-1140.
6. Hashimov A.M., Hasanli Sh. M., Mehdizadeh R.N., et. al.//Tech. Phys.-2007.-**52**.- P.1086-1088.
7. Faber H., Hirschmann J., Klaumunzer M., et. al.//Appl. Mater. Interfaces.-2012.-**4**.- P.1693-1696.
8. Pat. 8058116 USA, IC⁷ H01L 21/20. Method of fabricating an amorphous zinc-oxide based thin film

- transistor (TFT) including source/drain electrodes formed between two oxide semiconductor layers / J.-U. Bae, H.-S. Seo, Y.-Y. Kim. -Publ. 15.11.2011.
9. Zhao Y-P., Cai Z-S., Zhou Z-Y., et. al.//Thin Solid Films.-2011.-**519 (18)**.- P.5887-5891.
10. Lee K.Y., Kumar B., Seo J-S., et. al.//Nano Lett.-2012.-**12 (4)**.- P.1959-1964.
11. Hong R.Y., Li J.H., Chen L.L. et al.//Powder Technol.-2009.-**189**.- P.426-432.
12. Huang E.H., Hsieh T-E.//Ceram. Int.-2010.-**36**.- P.1245-1251.
13. Shao Y-F., Yan B., Jiang Z-Y.//RSC Advances.-2012.-**2**.- P.9192-9200.
14. Xiong H-M., Wang Z-D., Liu D-P. et al.//Adv. Funct. Mater.-2005.-**15**.- P.1751-1756.
15. Wang Z., Zhang H., Zhang L. et. al.//Nanotechnology.-2003.-**14**.- P.11-15.
16. K.S. Cho, J.-I. Hong, C.I. Chung et. al.//Polym. Eng. Sci.-2004.-**44**.- P.1702-1706.
17. Abdullah M., I.W. Lenggoro, Okuyama K.//J. Phys. Chem. B.-2003.-**107**.- P.1957-1961.
18. Chen X., Yan B.//Mater. Lett.-2007.-**61**.- P.1707-1710.
19. Woo B.K., Chen W., Joly A.G. et al.//J. Phys. Chem. C.-2008.-**112**.- P.14292-14296.

Надійшла до редакції 18 березня 2013 р.

Синтез и свойства гибридных систем полиэтилен–ZnO

О.В. Грес¹, А.Л. Толстов¹, Д.А. Климчук²

¹Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины
48, Харьковское шоссе, Киев, 02160, Украина

²Институт ботаники им. Н.Г. Холодного НАН Украины
2, ул. Терещенковская, Киев, 01601, Украина

Предложен новый метод синтеза гибридных систем полимер–ZnO на основе функционализированных полиэтиленов и золя оксида цинка. Гибридная структура полученных систем была исследована методами ИК-спектроскопии, рентгенографии и электронной микроскопии. Установлено, что присутствие в системе оксида цинка влияет на характер термоокислительной деструкции гибридных образцов. Гибридные системы характеризуются люминесценцией в видимой области спектра в диапазоне 400–550 нм, характер которой зависит от состава образца, наличия дефектов кристаллической структуры ZnO и природы поверхности наполнителя.

Ключевые слова: гибридные системы, полимеры, оксид цинка, структура и свойства.

Synthesis and characterization of polyethylene–ZnO hybrids

O.V. Gres¹, A.L. Tolstov¹, D.A. Klymchuk²

¹Institute of Macromolecular Chemistry NAS of Ukraine
48, Kharkivske shause, Kyiv, 02160, Ukraine

²N.G. Kholodny Institute of Botany NAS of Ukraine
2, Tereshchenkivska str., Kyiv, 01601, Ukraine

A new synthetic approach for preparation of polymer–ZnO hybrids based on functionalized polyethylenes and as-prepared zinc oxide sol was proposed. A structure of synthesized hybrids has been studied by FTIR, X-ray diffraction and SEM. It was found that the presence of zinc oxide changes thermooxidative behavior of hybrid samples. Obtained hybrids have a luminescence in visible spectral region in the range of 400-550 nm, which depend on sample composition, defects in ZnO crystalline structure and a nature of filler surface.

Keywords: hybrids, polymers, zinc oxide, structure and properties