

РАДІАЦІЙНІ ПОШКОДЖЕННЯ НАНОКОМПОЗИТІВ ІЗОТАКТИЧНОГО ПОЛІПРОПІЛЕНУ З БАГАТОСТІННИМИ ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ

*Т.М. Пінчук-Ругаль*¹, О.П. Дмитренко*², М.П. Куліш*³, Ю.Є. Грабовський*⁴,
О.С. Ничипоренко*⁵, Ю.І. Семенов***, В.В. Шлапацька****

**Київський національний університет ім. Тараса Шевченка,
Київ, Україна*

¹E-mail: Pinchuk_Tatiana@ukr.net, ²E-mail: o_dmytrenko@univ.kiev.ua,

³E-mail: n_kulich@univ.kiev.ua, ⁴E-mail: grayu@bigmir.net, ⁵E-mail: renkole@gmail.com;

***Інститут хімії поверхні НАН України, Київ, Україна*

E-mail: ysementsov@tmsm.com.ua;

****Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України,
Київ, Україна*

Досліджено кристалічну структуру, спектри ІЧ-поглинання та фотолюмінесценції композитів ізотактичного поліпропілену з багатостінними вуглецевими нанотрубками з концентраціями від 0,1 до 5,0 ваг.%. Вплив радіаційних пошкоджень на структурування композитів розглянуто при електронному опроміненні ($E_e = 1,8 \text{ MeV}$) з дозами поглинання 3,0 і 4,0 МГр. Показано, що сенсibiлізація поліпропілену нанотрубками сприяє кристалізації композитів і призводить до зміни міжмолекулярної взаємодії. Опромінення складним чином впливає на процеси структурування і деградації композитів, які залежать від вмісту нанотрубок і дози опромінення.

ВСТУП

Полімерні наноккомпозити з унікальними наповнювачами, в тому числі вуглецевими нанотрубками, набувають виняткових оптичних, електронних, магнітних, механічних та термічних властивостей [1]. Оскільки вуглецеві нанотрубки мають високу поляризованість, то це створює додаткові можливості покращення композитів за рахунок орієнтаційного вибудовування наночастинок в електричних полях [2].

Важливе значення в модифікації композитних полімерних матеріалів має ступінь адгезії компонент на межі розділу, яка визначається взаємодією молекулярних складових макромолекул з вуглецевими наночастинами [3]. Оскільки ароматичні групи, які присутні в різних сімействах вінільних мономерів, є ефективними пастками радикалів, то це дозволяє здійснювати їх взаємодію з вуглецевими нанотрубками. Така взаємодія за рахунок ковалентних сил зв'язку призводить до закріплення полімерних ланцюгів нанотрубками, а також міграцію радикалів по пасткам [4]. Наявність вказаної взаємодії, навіть при незначній кількості армуючих частинок (нанотрубок), сприяє істотному підвищенню багатьох експлуатаційних властивостей полімерів. Так, в композитах одностінних вуглецевих нанотрубок (ОВНТ) з поліпропіленом (ПП), виготовлених методом екструзії у вигляді волокон, що містять всього 1,0 ваг.% ОВНТ, відбувається збільшення міцності на розтяг на 40% порівняно з чистим ПП, а пружні модулі зростають на 55% [5]. Підвищення концентрації ОВНТ до 5 ваг.% призводить до зростання міцності на 90%, пружних модулів на 150%, а провідності на 340% [6]. Аналогічно при створенні композитів з

багатостінними вуглецевими нанотрубками (БВНТ) також збільшуються межа міцності на розрив та модулі пружності [7]. Наявність міжмолекулярної взаємодії з нанотрубками проявляється в трансформації коливальних спектрів наночастинок, зокрема, в помітному зміщенні смуги раманівського розсіювання D^* , пов'язаної з дихальною коливною модою, яка виникає при розупорядкуванні структури вуглецевих нанотрубок [1, 3, 8, 9]. Очевидно, що характер взаємодії молекул полімерів з вуглецевими нанотрубками та ефективність модифікації властивостей залежать від складових композитів та умов їх приготування. Зокрема, важливе значення має можливість утворення в полімерній матриці надмолекулярних структур, оскільки вуглецеві нанотрубки служать центрами зародження кристалічної фази. Природно, що співвідношення кристалічної та аморфної складових, особливо у випадку макромолекул полімерів, які взаємодіють з жорсткими нанотрубками, впливатиме на властивості міцності наноккомпозитів.

З іншого боку, присутність в донорній матриці наночастинок з сильними акцепторними властивостями має суттєво впливати на коливальні й електронні властивості як полімерів, так і нанотрубок за рахунок створення фотогенеруючих комплексів з переносом зарядів. Помітна модифікація цих властивостей може бути досягнута за допомогою іонізуючого випромінювання, що викликає протікання різних радіаційно-хімічних процесів, зокрема, появу іонізованих збуджених молекул, вільних радикалів з наступним утворенням і зникненням подвійних зв'язків.

Відомо, що ці процеси при опроміненні призводять до зшивки молекулярних ланцюгів або їх деструкції, що може створювати додатковий хімічний вплив і визначати зміни фізичних властивостей полімерів.

У цій роботі досліджено вплив високоенергетичного електронного опромінення на кристалічну та коливну структури, а також фотолюмінесценцію композитів і-ПП з БВНТ.

1. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

БВНТ були синтезовані при спалюванні газової суміші етилену і водню в присутності залізовмісних змішаних гідроксидів металів, як диспергованих каталізаторів. У подальшому нанотрубки очищалися від мінеральних домішок протравленням в розчині $\text{NH}_4\text{F} \cdot \text{HF} : \text{H}_2\text{O} : \text{HCl}$ з певним співвідношенням компонент.

Композити ізотактичного поліпропілену (і-ПП) з БВНТ були отримані у вигляді волокон, з яких також виготовлялися плівки композитів. Концентрація нанотрубок дорівнювала 0,1; 0,5; 1,0; 3,0 і 5,0 ваг.%. Дослідження кристалічної структури композитів проводилось методом рентгенівської дифракції. Вивчення коливних спектрів здійснювалося в інфрачервоній області в інтервалі частот $450 \dots 4000 \text{ см}^{-1}$ при використанні ФТІР-спектрометра з спектральною роздільною здатністю 4 см^{-1} . Спектри фотолюмінесценції досліджувалися за допомогою аргонного лазера з довжиною хвилі $\lambda = 514,5 \text{ нм}$, а також при використанні монохроматора МДР-3. Вимірювання фотоємкості проводилися при температурі 77 К . Потужність лазера становила $0,5 \text{ Вт / см}^2$.

Опромінення електронами проводилося при використанні лінійного електронного прискорювача ІЛУ-6. Енергія бомбардуючих частинок становила $E_e = 1,8 \text{ MeV}$, доза поглинання дорівнювала 3,0 і 4,0 МГр. Температура при опроміненні не перевищувала $\sim 333 \text{ К}$.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Макромолекули і-ПП, конформація яких в основному відповідає спіралі 3_1 , має структурну організацію, яка може бути описана моноклінною елементарною коміркою. Параметри цієї комірки мають наступні значення: $a = 0,66$; $b = 2,096$; $c = 0,65 \text{ нм}$, $\alpha = 90^\circ$; $\beta = 99,3^\circ$; $\gamma = 90^\circ$.

На рис. 1 наведена картина рентгенівської дифракції від нанокомпозитів і-ПП/БВНТ. У випадку наповнення і-ПП БВНТ з різною концентрацією α -модифікація кристалічної структури зберігається. Водночас, з підвищенням вмісту нанотрубок спостерігається зміна відносних інтенсивностей окремих інтерференційних максимумів. Особливо помітним є відносне зменшення інтенсивності рефлексу (040) в порівнянні з інтенсивністю лінії (110).

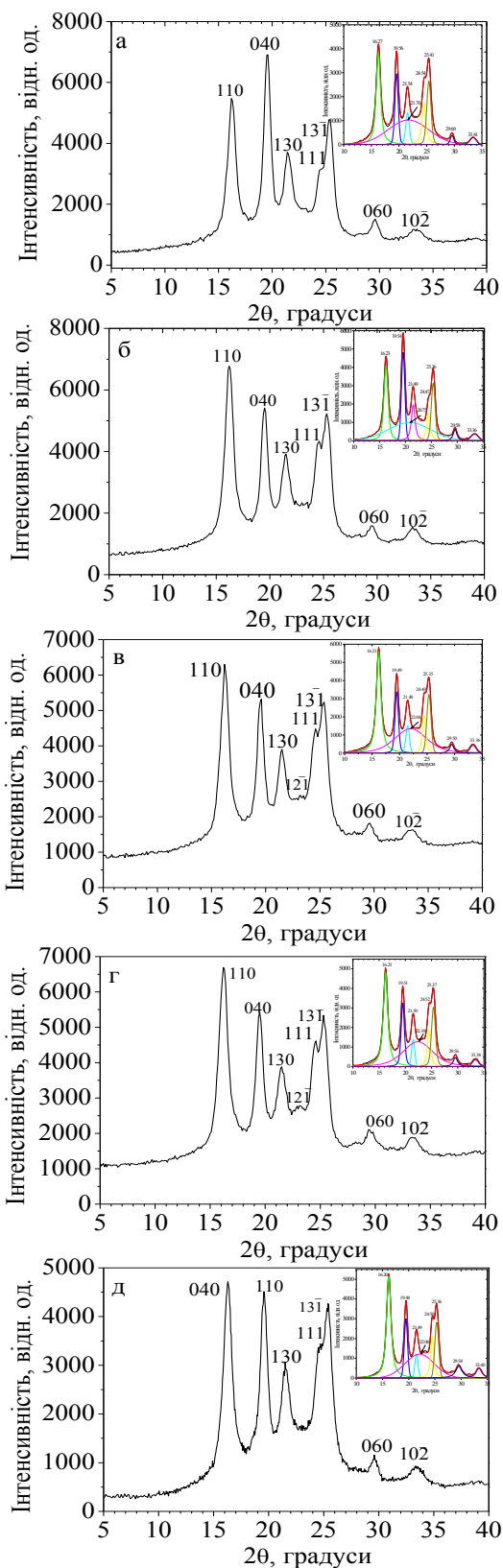


Рис. 1. Зображення рентгенівської дифракції для нанокомпозитів і-ПП з 0,1 (а); 0,5 (б); 1,0 (в); 3,0 (г) і 5,0 ваг.% (д) БВНТ (на вставках наведено розклади на аморфну і кристалічну складові, а також кути дифракції 2θ)

Спостерігається підвищення інтенсивності піка (111) порівняно з рефлексом (131). Очевидно, що в межах кристалічних областей відбувається переорієнтація кристалітів, що викликає зміну текстури. Помітною така зміна стає у випадку наповнення 0,1 об.% БВНТ, при якій інтенсивність рефлексу (040) стає меншою за інтенсивність лінії (110). Перебудова текстури є наслідком того, що нанотрубки у випадку малого вмісту виступають центрами зародкоутворення кристалічної фази і за рахунок взаємодії з макромолекулами і-ПП формують певну орієнтацію кристалітів

Не дивлячись на те, що з ростом концентрації нанотрубок інтенсивність розсіяння рентгенівських променів падає, дифракційні піки від БВНТ не з'являються.

Опромінення і-ПП та його композитів електронами з високою енергією з дозами поглинання 3,0 і 4,0 МГр не впливає на моноклінну структуру, але призводить до змін інтенсивностей окремих ліній, їх зміщення, співвідношення між аморфною та кристалічною складовими (рис. 2–3).

Внутрішньо- і міжмолекулярна будова і-ПП та його нанокompозитів з різним вмістом БВНТ після високоенергетичного електронного опромінення досліджувалась за допомогою ІЧ-поглинання. На рис. 4 наведено спектр пропускання в ІЧ-діапазоні і-ПП, з якого видно присутність багатьох ліній, властивих кристалічній та аморфній фазам та різним конформаціям 3_1 спірального ланцюга.

У спектрі пропускання видно набір ліній з частотами 458, 808, 841, 898, 973, 998, 1167, 1256, 1303, 1375, 1450, 1640, 2358, 2580, 2721, 2868...2956, 3140, 3192 cm^{-1} .

Інтенсивна смуга поглинання біля 1450 cm^{-1} не пов'язана з атактичністю ПП. Наявність смуг поглинання біля 841, 973, 997, 1167 cm^{-1} вказує на ізотактичну конформацію ПП. До речі, у спектрі відсутні лінії поблизу 867 і 962 cm^{-1} , які характерні синдіотактичному ПП. Кристалічній фазі відповідають смуги біля 808, 841, 898, 997 та 1167 cm^{-1} . Основна конформація макромолекул і-ПП відповідає спіралі 3_1 з трьома мономерними ланками. Спіральній конформації в кристалічній фазі належить лінія біля 808 cm^{-1} , яка виникає внаслідок розщеплення смуги біля 830 cm^{-1} , характерної для аморфної фази, при кристалізації і-ПП. Ця лінія існує у всіх модифікаціях. Поблизу положення 841 cm^{-1} знаходиться лінія, яка відповідає формуванню в кристалічній фазі довгих мономерних ланок ($n > 10$) у змішаній почерговій послідовності транс-гош спіральній конформації 3_1 . Смуга 997 cm^{-1} виникає при забудові кристалічної ґратки спіральними сегментами з $n > 10$.

Смуга біля 973 cm^{-1} характеризує присутність транс-гош конформерів при $n > 4$ в аморфній фазі. Поблизу лінії 1167 cm^{-1} у вигляді плеча спостерігається смуга поблизу 1151 cm^{-1} , яка відповідає згорнутій в клубок конформації, що має місце в рідкому стані та аморфній області.

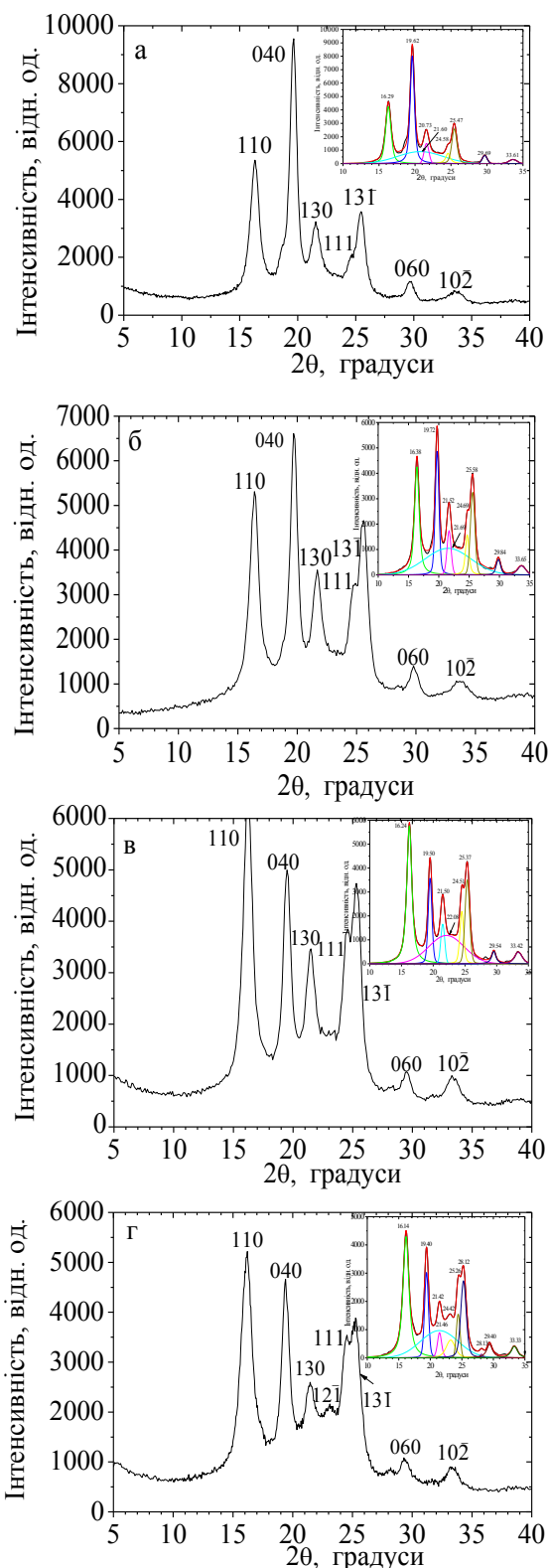


Рис. 2. Зображення рентгенівської дифракції для і-ПП (а) та його нанокompозитів з 0,5 (б); 1,0 (в); 3,0 ваг.% (г) БВНТ після електронного опромінення з дозою поглинання 3,0 МГр (на вставках наведено розклади на складові аморфної і кристалічної фази, а також кути дифракції 2θ , $E = 1,8 \text{ MeV}$)

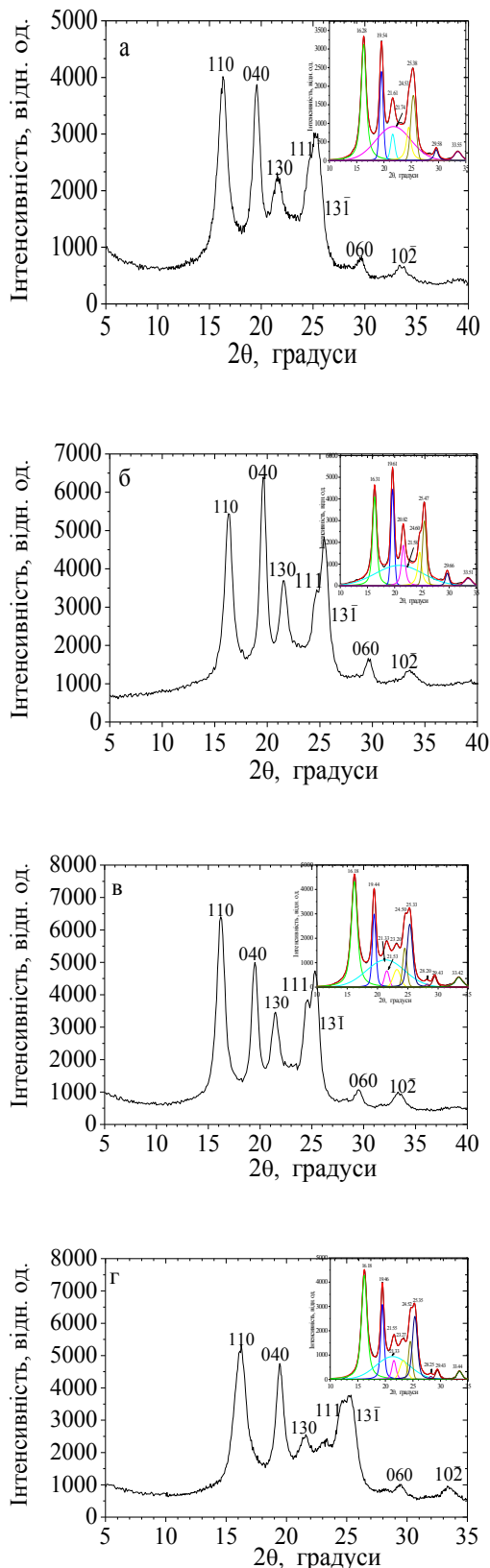


Рис. 3. Зображення рентгенівської дифракції для нанокompatивів і-ПП (а) з 0,5 (б); 1,0 (в); 3,0 ваг.% (г) БВНТ після електронного опромінення з дозою поглинання 4,0 МГр (на вставках наведено розклади на складові аморфної і кристалічної фаз, а також кути дифракції 2θ , $E=1,8$ MeV)

У спектрі ІЧ-поглинання також спостерігається кілька можливих ліній, які пов'язані з присутністю скелетного розтягу зв'язків С–С. До них належать лінії 973, 1358 і 1378 cm^{-1} , вже згадувані смуги біля 1151 і 1167 cm^{-1} . Смуги біля 808, 940, 1103 cm^{-1} відповідають валентним коливанням розтягу С–СН₃.

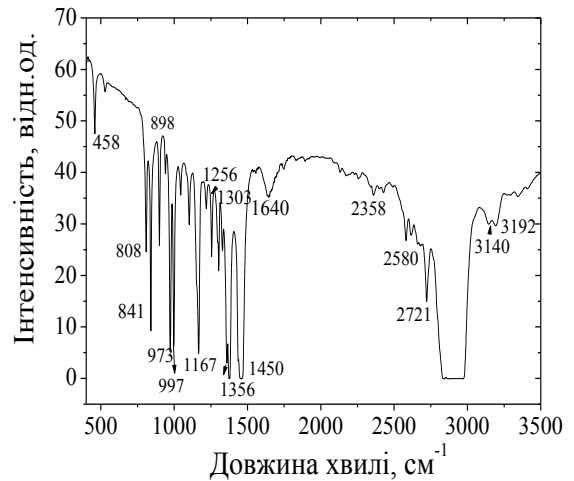


Рис. 4. Спектр ІЧ-пропускання і-ПП

Наявність α , β , γ та смектичної модифікацій кристалічної структури, крім модифікації спектра ІЧ-поглинання, в області спіральних конформацій 808 і 841 cm^{-1} призводять до змін в області валентних коливань розтягу СН₂- і СН₃-груп. Важливими також є смуги, що відповідають валентним коливанням розтягу зв'язків С=С поблизу 1556 і 1640 та зв'язків =СН біля 3140 і 3192 cm^{-1} .

На рис. 5. показано спектри ІЧ-пропускання для нанокompatиву і-ПП з 0,5 ваг.% БВНТ.

Як і для і-ПП, у спектрі ІЧ-поглинання нанокompatиву з 0,5 ваг.% БВНТ зберігаються лінії кристалічної (808, 841, 898, 997, 1167 cm^{-1}) та аморфної фаз (973, 1151 cm^{-1}).

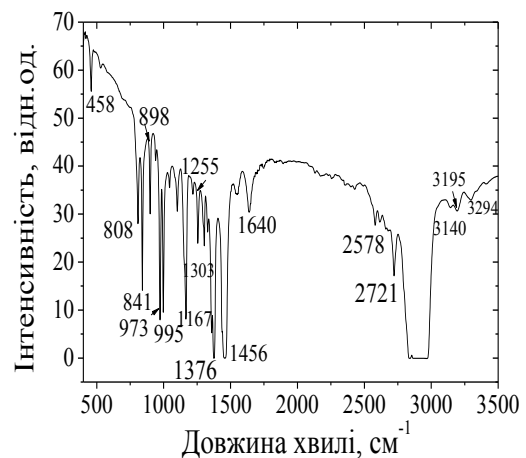


Рис. 5. Спектр ІЧ-пропускання нанокompatиву і-ПП з 0,5 ваг.% БВНТ

Водночас, спостерігається зменшення поглинання в низькочастотному діапазоні до 800 см^{-1} та смуг, які відповідають кристалічній ($808, 841, 898, 995, 1167\text{ см}^{-1}$) і аморфній (973 см^{-1}) фазам, наявності С-С-зв'язків (1358 см^{-1}).

Більше того, смуга, пов'язана із спіральною конформацією макромолекул у кристалічній фазі, змістилася до положення 995 см^{-1} . Якщо для ліній біля 808 і 898 см^{-1} поглинання зменшилося несуттєво, то його падіння для лінії поблизу 841 см^{-1} , зв'язаний з наявністю транс-гош-послідовностей в спіральній конформації макромолекул, що знаходяться в кристалічній фазі, більш помітне. Разом з тим видно зростання поглинання смуг біля 1551 і 1640 см^{-1} , що відповідають коливанням ненасичених зв'язків С=C.

На рис. 6 показано спектр ІЧ-пропускання нанокompозиту і-ПП з 1,0 ваг.% нанотрубок.

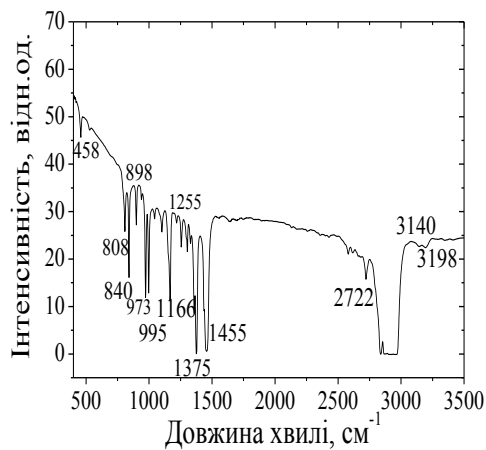


Рис. 6. Спектри ІЧ-пропускання нанокompозиту і-ПП з 1,0 ваг.% БВНТ

Видно, що в усьому діапазоні частот фон в спектрі поглинання в порівнянні з нанокompозитом і-ПП з 0,5 ваг.% БВНТ різко зростає. Водночас, змінюється поглинання в області окремих ліній. Так, несуттєво зросло поглинання біля смуг 808 і 898 см^{-1} і зменшилося поблизу ліній 841 і 995 см^{-1} . Крім того, відбулося незначне падіння поглинання поблизу смуги 973 см^{-1} .

У випадку нанокompозитів і-ПП з 3,0 та 5,0 ваг.% БВНТ спостерігається різке збільшення ІЧ-поглинання (рис. 7).

Пропускання в усьому діапазоні частот відповідає дуже малому інтервалу (0...6%). Водночас піки поглинання від нанотрубок, які мають існувати поблизу положень 873 і 1581 см^{-1} , відсутні, але зберігаються всі лінії, властиві і-ПП. Частоти, як і відносні інтенсивності цих ліній залишаються майже незмінними, що свідчить про незначний вплив нанотрубок за значних концентрацій на надмолекулярну організацію структури і-ПП. Очевидно, що нанотрубки схильні до агрегації, яка в більшій мірі проявляється за високих концентрацій, дія вказаних наповнювачів на внутрішньо- та міжмолекулярну будову і-ПП

виявляється незначною. Як витікає з аналізу поведінки ІЧ-поглинання, для неопромінених нанокompозитів і-ПП, наповнених БВНТ, лише за малих концентрацій нанотрубок (0,5 ваг.%) спостерігається суттєва перебудова спектра, переважно пов'язана зі зміною відносних інтенсивностей смуг пропускання, що відносяться до кристалічної і аморфної фаз, спіральної конформації, С-С-, С=C-зв'язків та полієнових послідовностей.

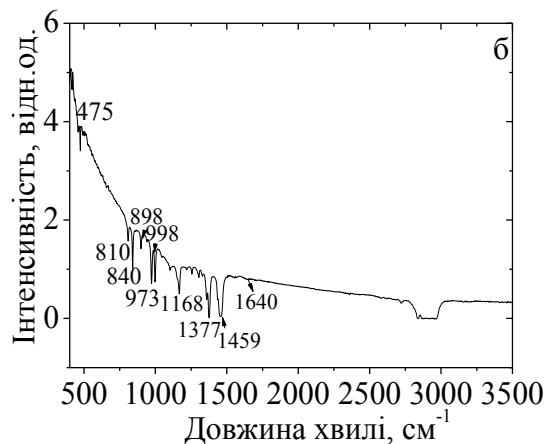
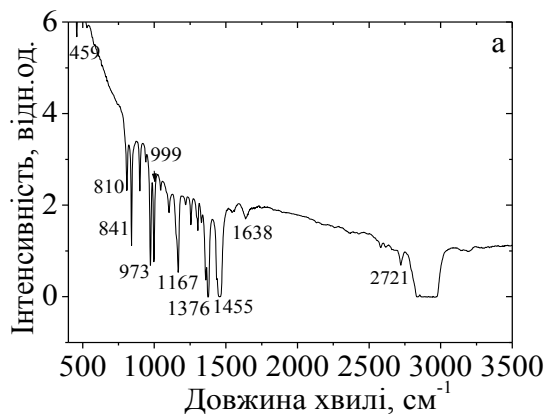


Рис. 7. Спектри ІЧ-пропускання нанокompозитів і-ПП з 3,0 (а) і 5,0 ваг.% (б) БВНТ

Перебудова електронної структури полімерів та наявність в полімерах різних видів домішок, а також полієнових послідовностей породжує виникнення в полімерах фотолюмінесценції, причому, за різних довжин хвиль ці спектри сильно відрізняються.

На рис. 8 наведено спектри фотолюмінесценції (ФЛ) і-ПП, одержані за різних довжин хвиль збудження.

У випадку $\lambda_{36} = 514,5\text{ нм}$ спостерігається сильна смуга випромінювання з максимумом біля 600 нм . Вказана смуга достатньо широка і асиметрична, що дозволяє описати її двома компонентами з максимумами поблизу 581 і 625 нм .

Збудження з довжиною хвилі $\lambda_{36} = 337\text{ нм}$ призводить до появи складного спектру в широкому інтервалі $300\text{--}1200\text{ нм}$. В цьому діапазоні при розкладі спектру ФЛ на компоненти можна виділити піки біля $375, 510, 729, 825$ і 1023 нм .

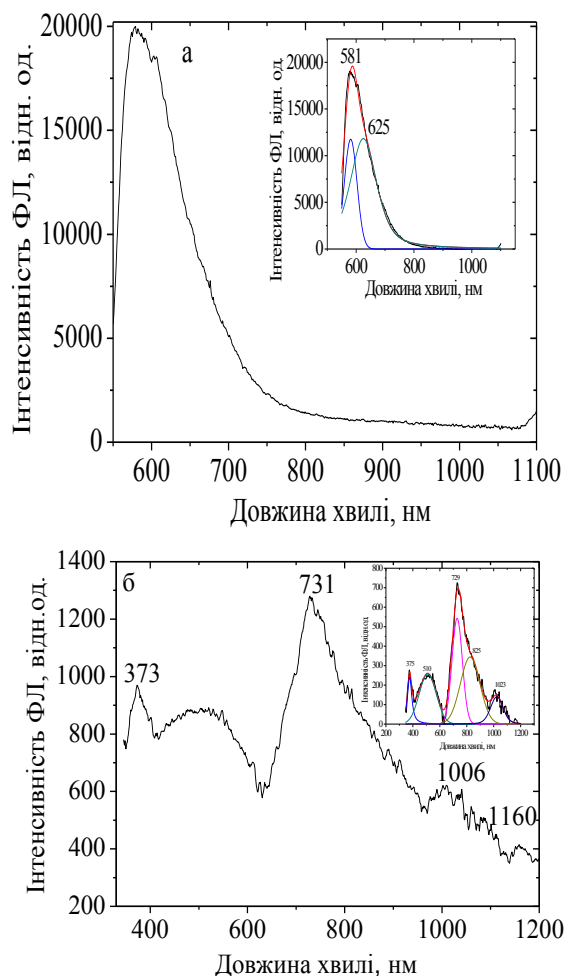


Рис. 8. Спектри фотолюмінесценції і-ПП при збудженнях з довжинами хвиль 514,5 (а); 337 нм (б) і температурі 77 К. (На вставках показано розклади спектрів ФЛ на компоненти)

Фотоопромінення і-ПП не призводить до виникнення спектра флуоресценції, оскільки в і-ПП полієнових немає структур з довгими послідовностями. Можна припустити, що карбонільні групи С=О не приймають участі в створенні спектрів ФЛ в і-ПП. Виникнення інтенсивної смуги ФЛ в цьому полімері обумовлено переходом $\pi \rightarrow \pi^*$, який відповідає ненасиченим зв'язкам С=С і, можливо, діенам. Поглинання, що реалізується на вказаних структурах, призводить до появи в спектрі ФЛ двох компонент емісії біля 581 і 625 нм. Не виключено, що асиметрія смуги ФЛ в довгохвильовій області вказує на існування в і-ПП полієнових структур з більш довгими послідовностями, але їх кількість дуже незначна і тому виявити їх присутність у випадку збудження з довжиною хвилі $\lambda_{36} = 514,5$ нм неможливо. Водночас, вигляд спектра ФЛ при $\lambda_{36} = 337$ нм свідчить про наявність спряжених структур зі значними довжинами послідовностей. З порівняння інтенсивностей ФЛ, одержаних за різних λ_{36} , очевидно, що число довгих послідовностей незначне.

Смуга біля 375 нм, як і для ПЕ, ймовірно відповідає набору вузьких ліній, що з'являються в спектрі ФЛ у результаті рекомбінації розірваних С-С-зв'язків. Всі інші смуги ФЛ обумовлені спряженими структурами з різними довжинами послідовностей. Якщо широка смуга з піком біля 510 нм пов'язана з набором ненасичених структур з короткими послідовностями, то інші смуги відповідають більш довгим ланцюгам. Серед них виділяється достатньо інтенсивна смуга з максимумом біля 729 нм. Можна припустити підвищений вміст полієнових послідовностей з довжинами, що призводять до появи даної смуги випромінювання. Видно, що в і-ПП також існують спряжені структури з досить довгими послідовностями, які призводять до випромінювання, зосередженого в широкій смузі з максимумом біля 1023 нм. Іонізаційне опромінення електронами та наповнення полімеру вуглецевими нанотрубками несуттєво впливає на утворення ненасичених та полієнових структур в і-ПП, навіть за значних доз поглинання. За дози поглинання 3,0 МГр спектри ФЛ мало змінюються для і-ПП та його нанокомпозитів з 0,5 і 1,0 ваг.% нанотрубок (рис. 9).

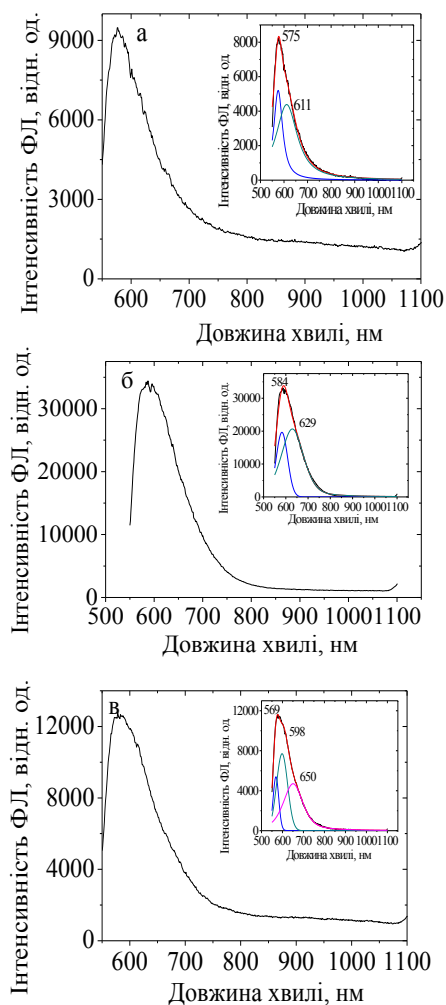


Рис. 9. Спектри ФЛ і-ПП (а) і його нанокомпозитів з 0,5 (б) і 1,0 ваг.% БВНТ (в) після електронного опромінення з дозою поглинання 3,0 МГр ($\lambda_{36} = 514,5$ нм)

Аналогічно незначна перебудова спряженої структури відбувається для і-ПП і його наноккомпозиту з 0,5 ваг.% нанотрубок після електронного опромінення з дозою поглинання 4,0 МГр (рис. 10).

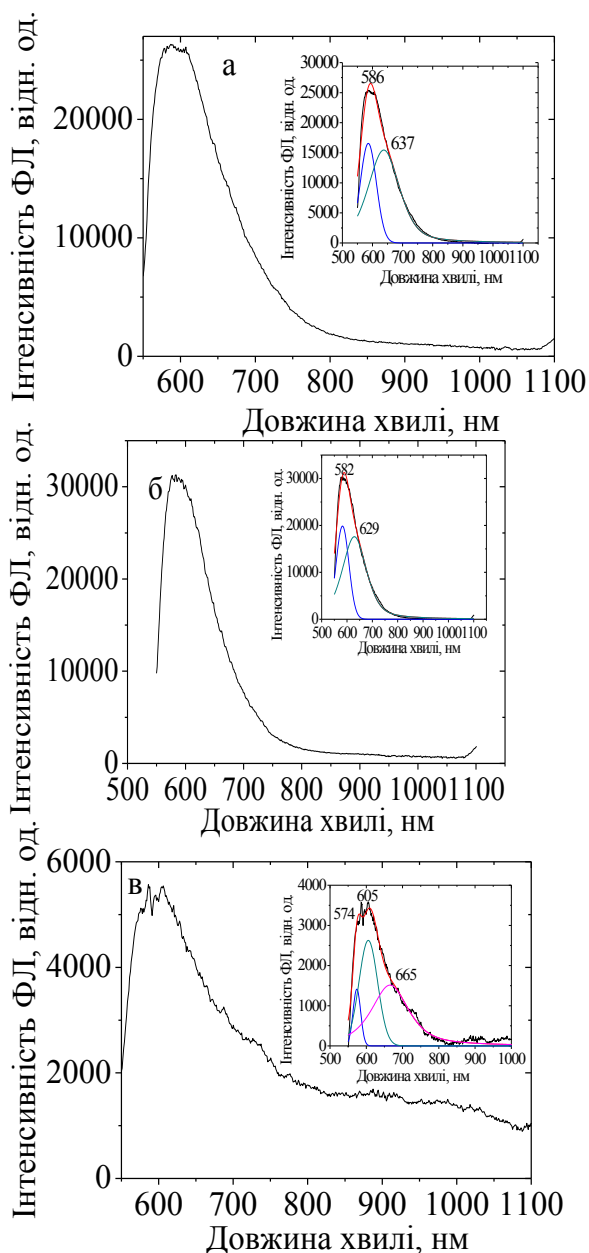


Рис. 10. Спектри ФЛ і-ПП (а) і його наноккомпозитів з 0,5 (б) і 1,0 ваг.% БВНТ (в) після електронного опромінення з дозою поглинання 4,0 МГр ($\lambda_{зб} = 514,5\text{нм}$)

Видно, що лише для наноккомпозиту з 1,0 ваг.% нанотрубок відбувається зародження полісних структур з більш довгими послідовностями.

ВИСНОВКИ

Армування і-ПП БВНТ впливає на кристалічну, коливну і електронну структури композитів. З підвищенням вмісту нанотрубок в межах 0,1...5 ваг.% сенсibiliзуюча роль наночастинок зростає, що є проявом зміни характеру взаємодії на межі розділу полімерна матриця – нанотрубки.

Радіаційні пошкодження при електронному опроміненні приводять до одночасного протікання процесів деструкції макромолекул і їх зшивання.

У вихідному стані в і-ПП наявні спряжені послідовності, які формують спектри ФЛ як при малих $\lambda_{зб} = 337\text{ нм}$, так і довших довжинах $\lambda_{зб} = 514,5\text{ нм}$ хвиль збудження. При великих дозах поглинання 3,0 і 4,0 МГр і концентрації БВНТ до 1,0 ваг.% нанотрубки мало впливають на формування полісних послідовностей і на радіаційне зшивання макроланцюгів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Q. Zhao, H.D. Wagner. Raman spectroscopy of carbon–nanotube–based composites // *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*. 2004, 362, p. 2407-2424.
2. З.З. Латыпов, О.Ф. Поздняков. Определение условий получения полимерных пленок, содержащих упорядоченную структуру углеродных нанотрубок и высших фуллеренов // *Письма в ЖТФ*. 2006, т. 32, в. 9, с. 28-33.
3. A.H. Barber, Q. Zhao, H.D. Wagner, C.A. Baillic. Characterization of E–glass–polypropylene interfaces using carbon nanotubes as strain sensors // *Compos. Sci. Technol.* 2004, v. 64, p. 1915-1919.
4. H. Kitano, K. Tachimoto, M. Gemmei-Ide, N. Tsubaki. Interaction between polymer chains covalently fixed to single – walled carbon nanotubes // *Macromol. Chem. Phys.* 2006, v. 207, p. 812-819.
5. I.K. Kearns, R.L. Shambaugh. Polypropylene fibers reinforced with carbon nanotubes // *J. Appl. Polym. Sci.* 2002, v. 86, p. 2079-2084.
6. R. Andrews, D. Iacques, A.M. Rao, T. Rantell, F. Derbyshire. Y. Chen, I. Chen, R.C. Haddon. Nanotube composite carbon fibers // *Appl. Phys. Lett.* 1999, v. 75, p. 1329-1331.
7. D. Qian, E.C. Dickey, R. Andrews, T. Rantell. Load transfer and deformation mechanism in carbon nanotubes–polystyrene composites // *Appl. Phys. Lett.* 2000, v. 76, p. 2868-2870.
8. A.R. Bhattacharyya, T.V. Sreekumar, T. Liu, S. Kumar, L.M. Ericson, R.H. Hauge, R.E. Smalley. Crystallization and orientation studies in polypropylene single wall carbon nanotube composite // *Polymer*. 2003, v. 44, p. 2373-2377.
9. I. Chen, R. Ramasubramaniam, C. Xue, H. Liu. A versatile, molecular Engineering approach to simultaneously enhanced, multifunctional carbon nanotube-polymer composites // *Funct. Mater.* 2006, v. 16, p. 114-179.

Стаття поступила в редакцію 03.09.2014 г.

РАДИАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ ИЗОТАКТИЧЕСКОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА С МНОГОСТЕННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

*Т.Н. Пинчук-Ругаль, О.П. Дмитренко, Н.П. Кулиш, Ю.Е. Грабовский, О.С. Ничипоренко,
Ю.И. Семенцов, В.В. Шлапацкая*

Исследована кристаллическая структура, ИК-спектры поглощения и фотолюминесценции композитов изотактического полипропилена с многостенными углеродными нанотрубками с концентрациями 0,1...5,0 вес.%. Влияние радиационных повреждений на структурирование композитов рассмотрено при электронном облучении ($E_e = 1,8$ МэВ) с дозами поглощения 3,0 и 4,0 МГр. Показано, что сенсбилизация полипропилена нанотрубками способствует кристаллизации композитов и приводит к изменению межмолекулярного взаимодействия. Облучение сложным образом влияет на процессы структурирования и деградации композитов, которые зависят от содержания нанотрубок и дозы облучения.

RADIATION DAMAGES OF ISOTACTIC POLYPROPYLENE NANOCOMPOSITES WITH MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES

*T.M. Pinchuk-Rugal', O.P. Dmytrenko, M.P. Kulish, Yu.Ye. Grabovskyy, O.S. Nychyporenko,
Yu.I. Sementsov, V.V. Shlapatskaya*

The crystal structure, IR absorption spectra and photoluminescence of isotactic polypropylene composites with multi-walled carbon nanotubes with concentrations ranging from 0.1 to 5.0 wt.% are investigated. The effect of radiation damages on structuring properties of composites under electron irradiation ($E_e = 1.8$ MeV) with absorption doses 3.0 and 4.0 MGy were considered. It is shown that sensitization of polypropylene by nanotubes promotes the crystallization of composites and leads to changes in the intermolecular interactions. Irradiation is difficult influences on the structure and processes of composites degradation are dependent on the content of nanotubes and irradiation dose.