

УДК 655.3.026

О. О. Сарпулова¹, В. П. Шерстюк¹, докт. хім. наук., проф., В. В. Швалагін², канд. хім. наук.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
Видавничо-поліграфічний інститут, Україна

²Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України, Україна

ДРУКОВАНІ НАНОФОТОННІ ЕЛЕМЕНТИ НА ОСНОВІ НАНОЧАСТИНОК КАРБОНУ ДЛЯ РОЗУМНИХ ПАКОВАНЬ ТА ЇХНІ ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**О. О. Sarapulova, V. P. Sherstiuk, Dr., Prof., V. V. Shvalagin, Ph.D.
PRINTED NANOPHOTONIC ELEMENTS BASED ON CARBON NANOPARTICLES
FOR SMART PACKAGING AND THEIR FUNCTIONAL CHARACTERISTICS**

Наночастинки (НЧ) карбону, завдяки наявності ряду корисних властивостей, а саме інтенсивної фотолюмінесценції у видимій області спектру, хімічній інертності, біосумісності, останнім часом інтенсивно вивчаються як перспективні об'єкти нових функціональних матеріалів з наперед заданими властивостями. Матеріали на основі таких наночастинок мають перспективу застосування для виготовлення нанофотонних елементів розумних харчових пакувань, які повідомляють споживача про стан запакованого продукту, тобто його придатність до споживання, шляхом зміни люмінесцентних характеристик. Метою роботи було вивчення можливості отримання друкованих високолюмінесцентних плівок на основі наночастинок карбону та встановлення можливостей підвищення інтенсивності люмінесценції плівок шляхом введення домішок.

Наночастинки карбону отримували шляхом кип'ятіння з азотною кислотою гуанідинвмісного розгалуженого полімеру подібно до відомої з літератури методики [1]. Спектри поглинання було записано на спектрофотометрі Specord 210. Як видно з рис. 1, розчини НЧ карбону інтенсивно поглинають світло в УФ та ближній видимій області спектру, а край смуги поглинання, який визначали як перетин дотичної до довгохвильового краю смуги поглинання з віссю абсцис, знаходиться в області 450–470 нм.

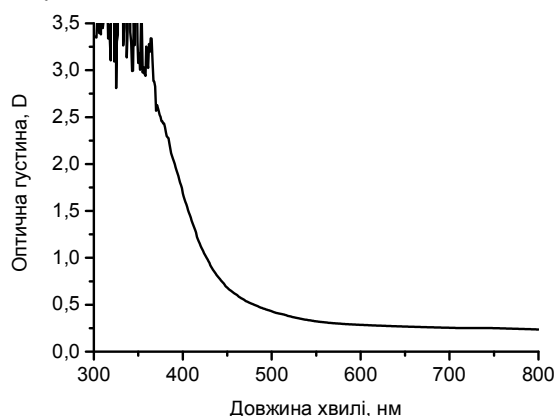


Рис. 1. Спектр поглинання вихідного розчину НЧ карбону

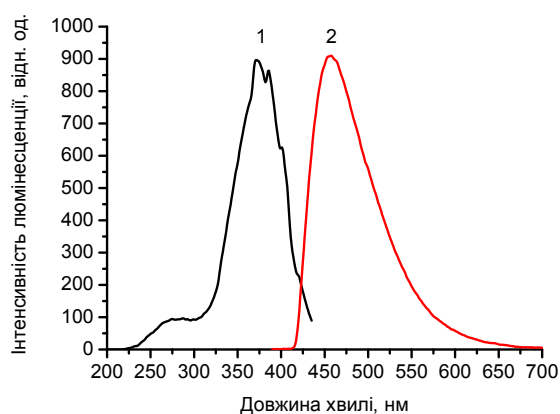


Рис. 2. Спектр збудження люмінесценції (1) та спектр люмінесценції вихідного розчину НЧ карбону (2). $\lambda_{\text{збудж.}} = 370$ нм

На рис. 2 (криві 1 і 2) наведено спектр збудження люмінесценції та спектр люмінесценції вихідного розчину НЧ карбону. Запис спектрів люмінесценції був проведений на люмінесцентному спектрофотометрі Perkin Elmer LS 55. Як видно з рис. 2, найбільш інтенсивну смугу люмінесценції можна отримати при опроміненні розчину НЧ світлом з довжиною хвилі 370 нм. Спектр люмінесценції НЧ (крива 2) характеризується однією інтенсивною та широкою смугою люмінесценції з максимумом при 460 нм.

Для отримання полімерних люмінесцентних композицій синтезовані НЧ карбону було введено в полімерні матриці. Для цього до розчину НЧ карбону при кімнатній температурі і перемішуванні було додано 10% водні розчини ряду полімерів: полівінілпіролідону (ПВП), полівінілового спирту (ПВС) та желатину. Композиції було нанесено на скляні підкладки та на папір і висушено при кімнатній температурі. Було виявлено, що після введення НЧ карбону у полімерні матриці інтенсивність їх люмінесценції незначно зростає. Найбільш рівномірні і прозорі плівки було отримано шляхом нанесення на скло розчину НЧ із додаванням ПВП.

Було встановлено вплив домішок – йонів металів (Ag^+ , Cu^{2+} , In^{3+} , Ni^{2+} , Eu^{3+} , Na^+) на інтенсивність люмінесценції композицій на основі НЧ карбону в розчинах. Для цього до водних розчинів НЧ карбону при кімнатній температурі додавали водні розчини солей металів: AgNO_3 , CuCl_2 , InCl_3 , NiCl_2 , $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$, Na_2S до отримання концентрацій йонів металів 10^{-3} та 10^{-4} моль/л. Використання концентрації йонів металів 10^{-3} моль/л призводило до зменшення інтенсивності люмінесценції розчинів – на 75% у випадку AgNO_3 і CuCl_2 та на 50% у випадку InCl_3 . Додавання йонів Eu^{3+} і Na^+ у концентрації 10^{-3} моль/л практично не впливало на інтенсивність люмінесценції розчинів. Зменшення концентрації у розчинах йонів металів до 10^{-4} моль/л дозволило підвищити інтенсивність люмінесценції розчинів у випадку використання йонів Eu^{3+} (на 4%) та Na^+ (на 28%). У випадку використання йонів Ni^{2+} , Cu^{2+} та Ag^+ спостерігалось зниження інтенсивності люмінесценції розчинів, а у випадку In^{3+} інтенсивність люмінесценції незначно зростала.

Після введення у вищевказані композиції 10% водного розчину ПВП та нанесення отриманих композицій на скляні підкладки (товщина шарів складала близько 25 мкм) збільшення інтенсивності люмінесценції у плівках спостерігалось у випадку Na_2S . Було встановлено, що найбільше підвищення інтенсивності люмінесценції шарів (на 30-33%) досягається при концентрації Na_2S у вихідному розчині $1 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

Отже, в результаті проведених досліджень було отримано НЧ карбону, які володіють інтенсивною люмінесценцією у видимій ділянці спектру. Було отримано плівкові покриття на основі синтезованих НЧ та досліджено вплив полімерів у композиції на інтенсивність люмінесценції НЧ карбону у розчинах та в шарах на скляній і паперовій поверхнях. Було встановлено вплив домішок йонів металів на інтенсивність люмінесценції розчинів і шарів на основі НЧ карбону і виявлено, що додавання в композиції Na_2S з концентрацією $1 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-4}$ моль/л дозволяє підвищити інтенсивність люмінесценції композицій на основі НЧ карбону у розчинах і шарах в середньому на 30%. Розроблені і досліджені композиції є нетоксичними та безпечними, тож можуть бути використані для виготовлення поліграфічними методами активних і розумних систем пакувань.

Література

1. Shen L. The production of pH-sensitive photoluminescent carbon nanoparticles by the carbonization of polyethylenimine and their use for bioimaging / L. Shen, L. Zhang, M. Chen et al. // Carbon. – 2013. – Vol. 55. – P. 343–349.